

# 第1回 全国圧送技術大会 論文報告集

The 1st Japan Concrete Pumping  
Technology Conference  
Journal of Concrete Pumping  
Technology



一般  
社団法人

**全国コンクリート圧送事業団体連合会**

Japan Concrete Pumping Association



# 第1回 全国圧送技術大会

The 1st Japan Concrete Pumping  
Technology Conference

日時 2018 (平成 30) 年 2 月 24 日 (土) 9:00~19:00  
会場 日本大学理工学部駿河台校舎 1号館  
C S Tホール (6階)、121大会議室 (2階)

主催:  **一般 全国コンクリート圧送事業団体連合会**  
社団法人  
Japan Concrete Pumping Association

後援: (一社)日本建築学会、(公社)土木学会、(公社)日本コンクリート工学会、  
(一社)セメント協会、全国生コンクリート工業組合連合会、コンクリート用化学混和剤協会、  
(一社)日本建設機械施工協会、(一社)日本建設機械工業会、  
(一社)日本建設業連合会、(一社)全国建設業協会、(一社)建設産業専門団体連合会

展示会出展・広告掲載企業: 極東開発工業(株)、日工(株)、プツマイスタージャパン(株)、(有)ベトンテック、  
(株)岩田商会、(株)名和、大和機工(株)、(株)シバシン商会、ライネックス(株)、タケ・サイト(株)、  
(有)オカダ技研、BASF ジャパン(株)、(株)フローリック、花王(株)、(株)東京測器研究所、(株)エヌ・エス・ピー、  
大興物産(株)、GSFKcp(株)、(株)イノフィス、ユーピーアール(株)

## 第1回全国圧送技術大会 委員会名簿

(敬称略・順不同)

### 大会委員会

#### 委員長:

長谷川員典 (全圧連会長)

#### 委員:

佐藤隆彦 (全圧連副会長・経営委員長)、土井豊実 (全圧連副会長)、安井貢 (全圧連副会長)、岡本圭市 (全圧連常務理事・技術委員長) 早水久司 (全圧連常務理事)

### 組織委員会

#### 委員長:

十河茂幸 (近未来コンクリート研究会)

#### 幹事:

和美廣喜 (島根大学名誉教授)、栗田守朗 (清水建設株)、中田善久 (日本大学)、鈴木澄江 (建材試験センター)

#### 委員:

太田達見 (清水建設株)、陣内浩 (東京工芸大学)、柳井修司 (鹿島建設株)、岩清水隆 (株竹中工務店)、平田隆祥 (株大林組)、黒岩秀介 (大成建設株)、山崎順二 (株浅沼組)、杉山隆文 (北海道大学)、久田真 (東北大学)、宮里心一 (金沢工業大学)、中村光 (名古屋大学)、中村成春 (大阪工業大学)、橋本親典 (徳島大学)、濱田秀則 (九州大学)、佐野雅二 (全国生コンクリート工業組合連合会)、永山勝 (日本建築総合試験所)、谷口円 (北方建築総合研究所)

### 実行委員会

#### 委員長:

中田善久 (日本大学)

#### 幹事:

柳井修司 (鹿島建設株)、大塚秀三 (ものづくり大学)、田中猛 (日本建設機械工業会)、北口延郎 (全圧連専務理事)

#### 委員:

檜垣誠 (コンクリート用化学混和剤協会)、内田直之 (日本建設機械工業会)、吉田兼治 (全圧連技術委員)、高野 博 (全圧連技術委員)、田中徹 (全圧連技術委員)、住井次郎 (全圧連技術委員)、永田哲夫 (全圧連技術委員)、岩永健二 (全圧連技術委員)

### 論文審査・表彰委員会

#### 委員長:

鈴木澄江 (建材試験センター)

#### 幹事:

陣内浩 (東京工芸大学)、太田達見 (清水建設株)、岡本圭市 (全圧連技術委員長)、北口延郎 (全圧連専務理事)

#### 委員:

橋本紳一郎 (福岡大学)、辻大二郎 (株竹中工務店)、桜井邦昭 (株大林組)、温品達也 (徳山工業高等専門学校)、小泉信一 (BASF ジャパン株)

## 目 次

### 指針・実態調査 1

1. 報告 圧送業界における安全および技術・技能向上教育等の取り組み ..... 9  
*Safety, Technology and Work on Skills Improve Education in Japan Concrete Pumping Association*  
○(一社)全国コンクリート圧送事業団体連合会 北口 延郎  
西本 茂治  
○Japan Concrete Pumping Association, KITAGUCHI Nobuo  
NISHIMOTO Shigeharu
2. 報告 コンクリートポンプ工法関係の指針における規定経緯と問題点について ..... 13  
*Circumstances of Enactment and the Point at Issue in Guideline in Plactice of Placing Concrete by Pumping Method*  
○日本大学 理工学部建築学科 中田 善久  
十河 茂幸, 和美 廣喜  
○College of Science and Technology, Nihon Univ., NAKATA Yoshihisa  
SOGO Shigeyuki, WAMI Hiroki
3. 報告 土木学会コンクリートポンプ施工指針の変遷~2回の改訂に伴う圧送技術の  
歴史的経緯と課題 ..... 15  
*History of Recommendations for Concrete Pumping Published by Japan Society of Civil Engineers*  
○徳島大学大学院 社会産業理工学研究部 橋本 親典  
○Tokushima Univ., Graduate School of Technology, Industrial and Social Sciences,  
HASHIMOTO Chikanori
4. 報告 博多駅前陥没事故における流動化処理土圧送による復旧工事報告 ..... 19  
*Reconstruction Report of Pumping Liquefaction Soil about Caving Accident of the Front HAKATA Station*  
○福岡佐賀コンクリートポンプ協同組合 井戸 貢  
北園 滋巳, 小宮 洋, 下川 龍一, 田中 耕二, 田中 博文,  
時安 剛彦, 眞鍋 慎太郎, 三宅 修藏, 元岡 善孝  
○Fukuoka Saga Concrete Pump Cooperative, IDO Mitsugi  
KITAZONO Shigemi, KOMIYA Hiroshi, SHIMOKAWA Ryuichi, TANAKA Koji, TANAKA Hirofumi,  
TOKIYASU Takehiko, MANABE Shin-ichiro, MIYAKE Shuzo, MOTOOKA Yoshitaka
5. 報告 風化させてはならない東日本大震災 - 教訓からの対策 - ..... 21  
*Measures of the Lessons learned from the Great East Japan Earthquake and Tsunami which should Never be Forget*  
○宮城県コンクリート圧送協会 薄 賢史, 山川 進  
遠藤 光一郎, 中塩 亮尋, 高橋 篤,  
三浦 義幸, 堀内 高美, 佐藤 潤, 澤村 武  
○Miyagi Concrete Pumping Association, USUKI Takeshi, YAMAKAWA Susumu  
ENDO Kouichiro, NAKASHIO Akihiro, ATSUSHI Takahashi, MIURA Yoshiyuki,  
HORIUCHI Takayoshi, SATO Jun, SAWAMURA Takeshi

### 実態調査 2

6. 報告 施工管理者を対象としたコンクリートポンプ工法に関する技術講習会の実施報告  
*Report on Lecture Sessions of Concrete Pumping Methods for Contractor* ..... 25  
○東海地区コンクリート圧送有限責任事業組合 長谷川 恭裕  
中田 善久, 長谷川員典, 河崎 慎吾, 住井 次郎, 宮田 敦典  
○Toukai Area Concrete Pumping LLP, HASEGAWA Yasuhiro  
NAKATA Yoshihisa, HASEGAWA Kazunori, KAWASAKI Shingo, SUMII Jiro, MIYATA Atsunori

7. 報告 神奈川県の圧送業者を対象としたコンクリートの圧送性に関する  
アンケート調査 ..... 27  
*Questionnaire Survey about Concrete Pumpability for Pumping Constructor in Kanagawa*  
○神奈川県コンクリート圧送業協同組合 田中 徹  
中田 善久, 宮田 敦典  
○Kanagawa Concrete Pumping Cooperative Association, TANAKA Toru  
NAKATA Yoshihisa, MIYATA Atsunori
8. 報告 東海地区の圧送業者を対象とした圧送計画の立案方法に関する  
アンケート調査 ..... 29  
*Questionnaire Survey about Pumping Plan on Concrete Pumping Contractors in Tokai Area*  
○東海地区コンクリート圧送有限責任事業組合 河崎 慎吾  
中田 善久, 住井 次郎, 大塚 秀三, 宮田 敦典  
○Toukai Area Concrete Pumping LLP, KAWASAKI Shingo  
NAKATA Yoshihisa, SUMII Jiro, OTSUKA Shuzo, MIYATA Atsunori
9. 報告 近畿地区における圧送従事者への閉塞事例に関するアンケート調査の分析 ... 31  
*Analysis of the Questionnaire about the Blockage to Pumping worker in the Kinki Area*  
○トモエポンプ 共田 昌一  
高見 錦一, 中村 成春, 岩清水 隆, 木村 芳幹, 山崎 順二,  
山田 藍, 永田 哲夫, 浅田 武彦, 豊田 裕, 岸 繁樹  
○Tomoe Pump, TOMODA Shoichi  
TAKAMI Kin-ichi, NAKAMURA Shigeharu, IWASHIMIZU Takashi, KIMURA Yoshimoto,  
YAMASAKI Junji, YAMADA Ai, NAGATA Tetsuo, ASADA Takehiko, TOYOTA Yutaka, KISHI Shigeki
10. 報告 実施工におけるコンクリートの閉塞事例に関する考察 ..... 35  
*Consideration on Blockage of Pumping Concrete in Actual Construction*  
○(有)イケケン商事 豊田 裕  
山崎 順二, 中村 成春, 岩清水 隆, 木村 芳幹, 高見 錦一,  
山田 藍, 永田 哲夫, 浅田 武彦, 共田 昌一, 岸 繁樹  
○Ikken Co.,Ltd., TOYOTA Yutaka  
YAMASAKI Junji, NAKAMURA Shigeharu, IWASHIMIZU Takashi, KIMURA Yoshimoto,  
TAKAMI Kin-ichi, YAMADA Ai, NAGATA Tetsuo, ASADA Takehiko, TOMODA Shoichi, KISHI Shigeki

## 圧送材料・圧送機材

11. 論文 圧送改善剤を用いたモルタル特性の改質向上ならびにコンクリートの圧送性  
に関する基礎的研究 ..... 39  
*Basic Study about Character of Mortar and Concrete Pumpability by a New Developed Pumpability  
Improvement Agent*  
○花王(株) テクノケミカル研究所 吉浪 雄亮  
谷所 美明, 泉 達男, 橋本 紳一郎, 北野 潤一  
○Kao Co.,Ltd., YOSHINAMI Yusuke  
TANISHO Yoshiaki, IZUMI Tatsuo, HASHIMOTO Shin-ichiro, KITANO Junichi
12. 論文 増粘成分を含む流動化剤および高性能 AE 減水剤を用いたコンクリートの  
ポンプ圧送性に関する実験的検討 ..... 43  
*Experimental Study on Pumpability of Concrete Containing Thickening One-pack Type Plasticizer  
or Air Entraining and High-range Water Reducing Agent*  
○(株)大林組 技術研究所 吉田 理紗  
神代 泰道  
○Obayashi Co.,Ltd., YOSHIDA Risa  
KOSHIRO Yasumichi
13. 論文 フレッシュコンクリートの性状改善に関する実験的検討 ..... 47  
*Study on Rheological Properties Improvement of Fresh Concrete*  
○BASF ジャパン(株) 建設化学品事業部 亀島 健太

作榮 二郎, 小泉 信一, 杉山 知巳  
○BASF Japan Co.,Ltd., Construction Chemicals Engineer, KAMESHIMA Kenta  
SAKUE Jiro, KOIZUMI Shinichi, SUGIYAMA Tomomi

14. 論文 吊るし打ちを前提とした扁平ゴムホースの材料分離抑制効果 ..... 51  
*Suppression of Material Separation by Hanging Concrete Placing Using Flat Rubber Hose*  
○鹿島建設(株) 技術研究所 土木材料グループ 橋本 学  
柳井 修司, 石橋 靖亨, 伊豆内 毅  
○Kajima Co.,Ltd., Technical Research Institute, HASHIMOTO Manabu  
YANAI Shuji, ISHIBASHI Yasuyuki, IZUUCHI Tsuyoshi
15. 報告 コンクリートポンプ車の機種別ブーム配管の圧送量目安の導入 ..... 55  
*Introduction of Pumping Rate Standard of Boom Piping by Type of Concrete Pump Car*  
○(株)ヤマコン 福島支店 荒井 淳  
佐藤 隆彦, 吉田 兼治, 山田 譲, 海谷 明  
○Yamakon Co.,Ltd., Fukushima Office, ARAI Atsushi  
SATO Takahiko, YOSHIDA Kenji, YAMADA Yuzuru, KAIYA Akira

## 圧送前後の品質変化・圧送性評価 1

16. 論文 圧送に伴うコンクリートの品質変化に関する実験的検討 ..... 57  
*Experimental Study on Quality Variation through Pumping*  
○日本大学 理工学部建築学科 宮田 敦典  
中田 善久, 大塚 秀三, 岡本 圭市  
○College of Science and Technology, Nihon Univ., MIYATA Atsunori  
NAKATA Yoshihisa, OTSUKA Shuzo, OKAMOTO Keiichi
17. 論文 コンクリートポンプ工法における圧送前後の品質変化に関する文献的検討 ... 61  
*Literature Study on Quality Variation in Pumping Methods*  
○日本大学 理工学部建築学科 宮田 敦典  
中田 善久, 大塚 秀三, 岡本 圭市  
○College of Science and Technology, Nihon Univ., MIYATA Atsunori  
NAKATA Yoshihisa, OTSUKA Shuzo, OKAMOTO Keiichi
18. 論文 コンクリートの圧送における空気量の変化とその抑制方法に関する検討 ..... 65  
*Study on Control Method for Change of Air Content by Pumping Concrete*  
○(株)浅沼組 技術研究所 山崎 順二  
高見 錦一, 山田 藍, 木村 芳幹, 中村 成春, 岩清水 隆,  
永田 哲夫, 豊田 裕, 浅田 武彦, 岸 繁樹, 共田 昌一  
○Asanuma Co.,Ltd., Technical Research Institute, YAMASAKI Junji  
TAKAMI Kin-ichi, YAMADA Ai, KIMURA Yoshimoto, NAKAMURA Shigeharu, IWASHIMIZU Takashi,  
NAGATA Tetsuo, TOYOTA Yutaka, ASADA Takehiko, KISHI Shigeki, TOMODA Syoichi
19. 論文 関西地区におけるコンクリートの実大圧送実験から得られた管内圧力損失に関する  
研究 その1 直管の管内圧力損失を中心として ..... 69  
*Study on Loss of Pumping Pressure of Actual scale Pumping Experiment in Kansai Area  
Part 1 Loss of Pumping Pressure in Straight Pipe*  
○(株)竹中工務店 大阪本店技術部 山田 藍  
岩清水 隆, 中村 成春, 岸 繁樹, 木村 芳幹, 山崎 順二,  
高見 錦一, 浅田 武彦, 永田 哲夫, 豊田 裕, 共田 昌一  
○Takenaka Co.,Ltd., Osaka Main Office, YAMADA Ai  
IWASHIMIZU Takashi, NAKAMURA Shigeharu, KISHI Shigeki, KIMURA Yoshimoto, YAMASAKI Junji,  
TAKAMI Kin-ichi, ASADA Takehiko, NAGATA Tetsuo, TOYOTA Yutaka, TOMODA Shoichi
20. 論文 関西地区におけるコンクリートの実大圧送実験から得られた管内圧力損失に関する  
研究 その2 ベント管およびテーパ管の管内圧力損失を中心として ..... 73  
*Study on Loss of Pumping Pressure of Actual scale Pumping Experiment in Kansai Area  
Part 2 Loss of Pumping Pressure in Bent Pipe and Tapered Pipe*

○(株)竹中工務店 大阪本店技術部 岩清水 隆  
 山田 藍, 中村 成春, 岸 繁樹, 木村 芳幹, 山崎 順二,  
 高見 錦一, 浅田 武彦, 永田 哲夫, 豊田 裕, 共田 昌一  
 ○Takenaka Co.,Ltd., Osaka Main Office, IWASHIMIZU Takashi  
 YAMADA Ai, NAKAMURA Shigeharu, KISHI Shigeki, KIMURA Yoshimoto, YAMASAKI Junji,  
 TAKAMI Kin-ichi, ASADA Takehiko, NAGATA Tetsuo, TOYOTA Yutaka, TOMODA Shoichi

## 圧送性評価 2

21. 論文 実現場における振動加速度計を用いたコンクリートの圧送性評価システムの  
 提案 ..... 77  
*Proposal of Evaluation System of Pumpability by Measurement of Vibration Accelerometer in  
 Construction Site*  
 ○福岡大学 工学部社会デザイン工学科 橋本 紳一郎  
 北野 潤一, 南 浩輔, 太田 健司, 竹山 博之  
 ○Fukuoka Univ., Department of Civil Engineering, HASHIMOTO Shin-ichiro  
 KITANO Junichi, MINAMI Kosuke, OHTA Kenji, TAKEYAMA Hiroyuki
22. 論文 検知管と振動加速度計を用いたコンクリートの簡易圧送性評価 ..... 81  
*Simplified Evaluating Method for Pumpability of Fresh Concrete by Using Detecting Pipe and  
 Vibration Accelerometer*  
 ○前田建設工業(株) 技術研究所 太田 健司  
 南 浩輔, 橋本 紳一郎, 吉田 兼治  
 ○Maeda Co.,Ltd., OHTA Kenji  
 MINAMI Kosuke, HASHIMOTO Shin-ichiro, YOSHIDA Kenji
23. 論文 輸送管のひずみ計測による圧送状況の推定 ..... 85  
*Estimate of the State of Pumpability by Measurement of the Pipe Strain*  
 ○(一財)日本建築総合試験所 木村 芳幹  
 中村 成春, 岩清水 隆, 岸 繁樹, 山崎 順二,  
 高見 錦一, 浅田 武彦, 永田 哲夫, 豊田 裕  
 ○General Building Research Corporation of Japan, KIMURA Yoshimoto  
 NAKAMURA Shigeharu, IWASHIMIZU Takashi, KISHI Shigeki, YMAZAKI Junji,  
 TAKAMI Kin-ichi, ASADA Takehiko, NAGATA Tetsuo, TOYOTA Yutaka
24. 報告 圧送性評価ソフトの開発 ..... 89  
*Development of Pumping Methods Simulation System*  
 ○近畿生コンクリート圧送協同組合 岸 繁樹  
 高見 錦一, 山崎 順二, 中村 成春, 岩清水 隆, 木村 芳幹,  
 山田 藍, 永田 哲夫, 浅田 武彦, 豊田 裕, 共田 昌一  
 ○Kinki Ready-Mixed Concrete Pumping Cooperative, KISHI Shigeki  
 TAKAMI Kin-ichi, YAMASAKI Junji, NAKAMURA Shigeharu, IWASHIMIZU Takashi, KIMURA Yoshimoto,  
 YAMADA Ai, NAGATA Tetsuo, ASADA Takehiko, TOYOTA Yutaka, TOMODA Shoichi
25. 報告 圧力損失(K値)推定ソフトの開発 ..... 93  
*Development of Pressure Loss Estimated Software*  
 ○(株)浅沼組 建築事業本部 高見 錦一  
 山崎 順二, 山田 藍, 木村 芳幹, 中村 成春, 岩清水 隆,  
 永田 哲夫, 豊田 裕, 浅田 武彦, 岸 繁樹, 共田 昌一  
 ○Asanuma Co.,Ltd., TAKAMI Kinichi, YAMASAKI Junji, YAMADA Ai,  
 KIMURA Yoshimoto, NAKAMURA Shigeharu, IWASHIMIZU Takashi, NAGATA Tetsuo,  
 TOYOTA Yutaka, ASADA Takehiko, KISHI Shigeki, TOMODA Syoichi



## 圧送方法・その他

26. 論文 ブーム装置の負荷に及ぼす先端ホースの長さおよび姿勢の影響に関する研究 ..... 97  
*Effect of Length of Tip Horse and Posture of Boom on Overload of Boom*  
○(一社)全国コンクリート圧送事業団体連合会 岡本 圭市  
中田 善久, 大塚 秀三, 宮田 敦典  
○Japan Concrete Pumping Association, OKAMOTO Keiichi  
NAKATA Yoshihisa, Otsuka Shuzo, Miyata Atsunori
27. 報告 コンクリートポンプ工法における施工性改善に関する提案 その1 実大吊打ち  
実験の概要と使用したコンクリートの試験結果と吊打ちによる打込み状況 ..... 101  
*Proposal about Improvement of Execution in Pumping Concrete*  
*Part1 Experiment of Real Size Model Execution and Results of Concrete Properties and Situation*  
*of Placing by Hanged Hose*  
○(株)太喜 永田 哲夫  
高見 錦一, 中村 成春, 岩清水 隆, 木村 芳幹, 山崎 順二,  
山田 藍, 浅田 武彦, 豊田 裕, 共田 昌一, 岸 繁樹  
○Taiki Co.,Ltd., NAGATA Tetsuo  
TAKAMI Kin-ichi, NAKAMURA Shigeharu, IWASHIMIZU Takashi, KIMURA Yoshimoto,  
YAMASAKI Junji, YAMADA Ai, ASADA Takehiko, TOYOTA Yutaka, TOMODA Shoichi, KISHI Shigeki
28. 報告 コンクリートポンプ工法における施工性改善に関する提案 その2 脱型後の表面  
状態観察および非破壊試験結果とコア供試体試験結果 ..... 105  
*Proposal about Improvement of Execution In Pumping Concrete*  
*Part 2 Surface Observation and Nondestructive Test Results and Results of Core Specimen*  
○(株)太喜 永田 哲夫  
高見 錦一, 中村 成春, 岩清水 隆, 木村 芳幹, 山崎 順二,  
山田 藍, 浅田 武彦, 豊田 裕, 共田 昌一, 岸 繁樹  
○Taiki Co.,Ltd., NAGATA Tetsuo  
TAKAMI Kin-ichi, NAKAMURA Shigeharu, IWASHIMIZU Takashi, KIMURA Yoshimoto,  
YAMASAKI Junji, YAMADA Ai, ASADA Takehiko, TOYOTA Yutaka, TOMODA Shoichi, KISHI Shigeki
29. 報告 ブーム先端からの延長配管した圧送施工の測定結果報告 ..... 109  
*Report of Results on Pumpability under Extension Pipeline from Boom Tip*  
○東海地区コンクリート圧送有限責任事業組合 住井 次郎  
中田 善久, 河崎 慎吾, 大塚 秀三, 宮田 敦典\*  
○Toukai Area Concrete Pumping LLP, SUMII Jiro  
NAKATA Yoshihisa, KAWASAKI Shingo, OTSUKA Shuzo, MIYATA Atsunori
30. 報告 集合住宅におけるコンクリートポンプ工法を用いたコンクリート工事の施工体制に  
関する調査 ..... 111  
*Research on Construction System of Placing and Compaction of Concrete Using Concrete Pumping*  
*Method at an Apartment Building*  
○ものづくり大学 技能工芸学部建設学科 奥山 夏樹  
大塚 秀三, 中田 善久, 田鶴 大樹  
○Monotsukuri Institute of Technologists Univ., OKUYAMA Natsuki  
OTSUKA Shuzo, NAKATA Yoshihisa, TAZURU Daiki

## 特殊圧送 1

31. 報告 2000mを超える長距離圧送を伴うシールドトンネルインバートの施工 ..... 115  
*Placing Concrete for Long-Distance Pumping Exceeding 2000 Meters*  
○(有)エステック 関根 和宏

根本 浩史, 川島 恵介, 細井 元規  
○The Estec Co.,Ltd., SEKINE Kazuhiro  
NEMOTO Hiroshi, KAWASHIMA Keisuke, HOSOI Motonori

32. 論文 2000m を超える長距離圧送におけるコンクリートの配合に関する  
一考察 ..... 117  
*Discussion of Mix Proportions for Long-Distance Pumping Exceeding 2000 Meters*  
○清水建設(株) 土木技術本部 根本 浩史  
伊達 重之, 橋本 紳一郎, 吉田 匠吾, 北野 潤一  
○Shimizu Co.,Ltd., NEMOTO Hiroshi  
DATE Shigeyuki, HASHIMOTO Shin-ichiro, YOSHIDA Shogo, KITANO Junichi
33. 報告 山間部における谷止間の保護コンクリートへの長距離圧送事例 ..... 121  
*Long-Distance Pumping for Casting Concrete Mats in the Mountain Area*  
○武谷コンクリートサービス(株) 福田 剛士  
岸 貴典  
○Buya Concrete Service Co.,Ltd., FUKUDA Takeshi  
KISHI Takanori
34. 報告 高所長距離圧送への圧送改善剤の適用 ..... 123  
*Application of the Pumpability Improvement Agent when Sending Long Distance Pressurized to a Height*  
○(株)安藤・間 土木事業本部 土木設計部 白岩 誠史  
吉浪 雄亮, 高瀬 清隆, 泉 達男, 松本 勝, 田川 理  
○Hazama Ando Co.,Ltd., SHIRAIWA Seishi  
YOSHINAMI Yusuke, TAKASE Kiyotaka, IZUMI Tatsuo, MATSUMOTO Masaru, TAGAWA Osamu
35. 報告 山間部送電線鉄塔基礎工事における高所・長距離圧送工事事例 ..... 127  
*Toward Upside and Long-Distance Pumping for a Pylon Grounds Work in the Mountain Area*  
○九州圧送事業協同組合連合会 岩永 健二  
立川 春昭, 吉良 五男, 児玉 祐治, 近藤 大樹  
○Kyusyu Concrete Pumping Cooperative Association, IWANAGA Keiji  
TATSUKAWA Haruaki, KIRA Itsuo, KODAMA Yuji, KONDO Daiki
36. 報告 深礎杭施工における高所・長距離圧送の事前試験および施工実績 ..... 131  
*Toward Upside and Long-Distance Pumping for Caisson Type Pile*  
○(株)IZUDA (イズダ) 郷原 倫明  
野尻 浩之, 村上 正一, 野津 文司, 森脇 彰, 澤田 裕太郎  
○IZUDA Co.,Ltd., GOUBARA Tomoaki  
NOJIRI Hiroaki, MURAKAMI Syoichi, NOTSU Bunji, MORIWAKI Akira SAWADA Yutaro

## 特殊圧送 2

37. 報告 ディストリビュータ工法を適用した高層 RC 造の圧送工事事例 ..... 133  
*Example of Pumping Construction of High-Rise RC Construction Applied with Distributor Method*  
○(株)ヤマコン 関東支店 関谷 明生  
川原 崇嘉, 佐藤 隆彦, 吉田 兼治, 宮田 敦典, 中田 善久, 大塚 秀三  
○Yamakon Co.,Ltd., Kanto Office, SEKIYA Akio  
KAWAHARA Takayoshi, SATO Takahiko, YOSHIDA Kenji,  
MIYATA Atsunori, NAKATA Yoshihisa, OTSUKA Shuzo
38. 報告 高層建築におけるコンクリート充填鋼管構造 (CFT 造) への高強度コンクリート  
圧入施工に関する報告 ..... 135  
*Press Fitting of High-Strength Concrete at High-Rise Building Using Concrete Filled Tube*  
○(有)土井企業 篠原 伊久夫  
○Doi Kigyo Co.,Ltd., SHINOHARA Ikuo

39. 報告 下方圧送における管内圧力の計測結果報告 ..... 139  
*Report of Measuring Results on Pumping Pressure by Pumping Downward*  
 ○(株)早水圧送 竹下 正臣  
 早水 久司, 加藤 孝幸  
 ○Hayamizu Assou Co.,Ltd., TAKESHITA Masaomi  
 HAYAMIZU Hisashi, KATO Takayuki
40. 報告 分岐管工法による LNG 地下式貯槽底版コンクリートへの 54 時間連続打込みに  
 関する報告 ..... 143  
*Report of 54 Hours of Nonstop Concrete Pumping for LNG Inground Tank by Bifurcating Pipe  
 Layout Method*  
 ○(有)南総 高野 博  
 荒川 雄大, 山田 大章  
 ○Nanso Co.,Ltd., TAKANO Hiroshi  
 ARAKAWA Yudai, YAMADA Hiroaki
41. 報告 実施工における軽量コンクリートの超高所圧送 ..... 145  
*Super-Height-Pumping of Lightweight Concrete in Site*  
 ○(株)泉北ニシイ 浅田 武彦  
 浅田 武彦, 岩清水 隆, 中村 成春, 山田 藍, 木村 芳幹,  
 山崎 順二, 高見 錦一, 永田 哲夫, 豊田 裕, 共田 昌一, 岸 繁樹  
 ○Senboku Nishii Co.,Ltd., ASADA Takehiko  
 IWASHIMIZU Takashi, NAKAMURA Shigeharu, YAMADA Ai, KIMURA Yoshimoto, YAMASAKI Jyunji,  
 TAKAMI Kin-ichi, NAGATA Tetsuo, TOYOTA Yutaka, TOMODA Syoichi, KISHI Shigeki



# 報告 圧送業界における安全および技術・技能向上教育等の取り組み

○北口 延郎\*<sup>1</sup> 西本 茂治\*<sup>2</sup>

安全教育                      労働災害防止                      安全衛生特別教育  
 圧送施工技能士              登録基幹技能者                  経営改善

## 1. はじめに

全国のコンクリート圧送工事業者で組織する業界団体である（一社）全国コンクリート圧送事業団体連合会（以下、略称である全圧連と称す。）では、設立以来、圧送従事者の技術・技能の向上と労働災害の防止に向けた各種事業を展開するとともに、技能資格の創設と有資格者の育成に努めている。これらの全圧連の事業活動内容を、業界の動向と併せて報告する。

## 2. 全圧連の沿革と組織

全圧連は、前身である全日本コンクリート圧送事業団体連合会（1974年設立）を経て、1988年に建設大臣（現：国土交通大臣）から社団法人として認可された。コンクリート圧送工事業者で組織する団体である正会員（26団体・464社）と、コンクリートポンプメーカー・関連機器メーカー等の賛助会員（14社、2017年6月現在）からなる組織である（2017年9月現在）。

## 3. 安全教育と技術・技能の向上への取り組み

### 3.1 全国統一安全・技術講習会

全圧連では1977年より、コンクリートの基礎知識とコンクリートポンプ工法の専門知識、労働災害の防止に向けた安全に対する十分な知識を、全国統一のカリキュラムで習得させる「全国統一安全・技術講習会」を全国各地で開催しており、会員企業のすべての圧送従事者に毎年1回、この講習会の受講を義務付けている。

コンクリートポンプ車が急速に普及した昭和40～50年代、コンクリート圧送工事の労災保険は建設現場（元請）の労災保険の対象外で、独立適用となっていた。

建設業の下請であり、かつ建設構造物の重要な部分を占めるコンクリートの打込みに直接関わり、中心的な役割を担う職種でありながら、当時の圧送工事業者は「その他建設業」として高い保険料率を強いられていた。

このため、当時全圧連では、コンクリート圧送工事の労災保険の現場労災適用を目指し、継続した安全教育の徹底に努める会員の取り組みを訴え、関係各所への陳情活動を続けてきた。

そして、全圧連が毎年全会員を対象に実施し続けてきたこの「全国統一安全・技術講習会」が国に評価され、1985年4月より、労働省（現・厚生労働省）から、「生コンクリートの圧送を行う事業に係る労災保険適用について」建設事業として現場労災を適用するよう改正する通達が発せられた（1985年労働省発勞発第5号・基発第46号）。

コンクリート圧送工事の現場労災適用は、「全国統一安全・技術講習会」を毎年受講する全圧連会員のみにならず、会員外の圧送業者もその恩恵を受けているが、さらなる安全作業の徹底と技術・技能の向上に努めるべく、現在も全国で毎年約4,500人の会員企業の圧送従事者が講習会を受講・修了している。

「全国統一安全・技術講習会」は自主的な教育であり、法的な制約はないが、その評価は高く、現在、土木学会・日本建築学会など、この講習会を紹介し、修了者をコンクリート施工時に配置するよう明記する工事仕様書等も多く出されており、本講習会の修了者による施工を指示する建設現場（元請）も増えてきている。全国統一安全・技術講習会の受講者数の推移を表-1に、講習会の修了証明書 の例を写真-1に示す。

表-1 全国統一安全・技術講習会の受講者数の推移（1989～2016年度）

年度	適用	受講企業数 (社)	受講者数 (人)	年度	適用	受講企業数 (社)	受講者数 (人)
1989		407	3,481	2003		444	4,572
90		396	3,421	04		407	3,930
91		597	6,009	05		439	4,310
92		587	5,583	06		456	4,472
93		567	5,199	07		477	4,656
94		561	5,441	08		451	4,765
95		529	5,268	09		419	4,526
96		522	5,084	10		382	4,016
97		549	5,147	11		385	4,011
98		539	5,165	12		398	4,059
99		493	4,845	13		394	4,078
2000		432	4,207	14		422	4,404
01		417	4,057	15		429	4,443
02		421	4,213	16		434	4,605

### 3.2 法令に定めるコンクリートポンプ車特別教育

労働安全衛生法では、厚生労働省が定める危険、かつ有害な業務に労働者を就かせるときは、その業務に関する安全または衛生のための特別の教育を行わなければならないことが定められている。

コンクリートポンプ車の操作の業務は、1990年の労働安全衛生法関係法令の改正により、特別教育を必要とする業務として定められた。



写真-1 全国統一安全・技術講習会修了証明書の例

現在、コンクリート圧送作業に従事する者は、労働安全衛生法関係法令に基づく「車両系建設機械（コンクリート打設用）の作業装置の操作の業務に係る特別教育」を修了することが義務付けられており、全圧連では1991年より、会員企業の圧送従事者を主な対象として、この特別教育の実施に努めている。

この特別教育は、法律上は圧送作業に初めて従事するときに一度修了すればよいこととなっているが、時間の経過とともに教育内容を失念されてしまったり、慣れなどから作業手順を省略して思わぬ災害を引き起こすことを防止する観点から、「定期」および「随時（取り扱う設備などが新しいもの変わった時）」に、「当該業務に関する労働災害の動向、技術革新の進展当に対応した事項につき再教育を行うことが望ましい」との労働基準局長通達が1991年に出されている。

この通達を重視し、全圧連では2003年より特別教育の修了者に対して、安全作業を再認識し徹底を図るとともに、施工方法、コンクリートの材料・配合およびコンクリートポンプ車の改良・開発などの日々変化する情報に対応できる圧送技能者の育成を目的とした3年に1度の再教育制度を導入している。

特別教育および再教育修了者数の推移を表-2に、修了証の例を写真-2に示す。

#### 4. 有資格者の育成と評価・活用に向けた取組み

##### 4.1 コンクリート圧送施工技能士

技能検定は、働く人々の持つ技能を一定の基準によって検定し、その技能をあることを証明する国家検定制度（1959年に発足）で、働く人々の技能を習得しようとする意欲を増進させ、技能と地位の向上を図り、わが国の産業の発展に寄与することを目的に、職業能力開発促進法第44条に基づき厚生労働省が実施している。

技能検定の職種は、2017年現在126職種におよび、コンクリート圧送施工技能士（1級・2級）は、1986年度より技能検定職種として追加された。

全圧連では1984年より、旧・労働大臣認定による民間

表-2 コンクリートポンプ車特別教育および再教育修了者数の推移

年度	特別教育修了者数		特別教育再教育修了者数
	会員	会員外	
1991	6,564		
92	1,541		
93	865	1,217	
94	690	98	
95	605	120	
96	816	133	
97	721	58	
98	586	94	
99	528	102	
2000	523	142	
01	432	74	
02	416	70	
03	448	49	2,890
04	383	95	593
05	332	143	2,143
06	449	104	1,671
07	370	84	222
08	367	108	1,911
09	262	44	1,783
10	195	86	371
11	259	78	1,470
12	367	108	1,751
13	348	104	312
14	371	90	1,555
15	326	94	1,779
16	298	61	538



写真-2 コンクリートポンプ車特別教育修了証の例（写真右は再教育修了を兼ねた修了証）

資格「コンクリート圧送技能審査」を業界に導入し、「コンクリート圧送技士」資格者を育成してきたが、国家資格である「コンクリート圧送施工技能士」が制定されてからは、受験対策過去問題集を定期的に発刊するなど、この技能士資格取得を励行するとともに、技能士有資格者の現場起用・配置のPRに努めている。現在では、コンクリート圧送施工技能士を品質保証の観点から優先起用・現場配置することを明記する工事仕様書も多く、コンクリート圧送施工技能士による施工を指示する建設現場も多数にのぼる。

2016年度までのコンクリート圧送施工技能検定合格者は、全国で17,444名を数えている（1級8,922名、2級8,522名。2級取得後1級取得の重複者を含む）。1級合格者には厚生労働大臣より、2級合格者には都道府県知事より合格証書が授与される。コンクリート圧送施工技能検定合格者数の推移を表-3に、合格証書の例を写真-3に示す。

##### 4.2 登録コンクリート圧送基幹技能者

登録基幹技能者とは、国土交通省が1996年に策定した建設産業における新しい技能者像で、現場施工だけでなく

表-3 コンクリート圧送施工技能検定の  
受験者数と合格者数の推移 (1986年~2016年)

年度	1級			2級		
	受験者数 (人)	合格者数 (人)	合格率 (%)	受験者数 (人)	合格者数 (人)	合格率 (%)
1986	2,788	2,090	75.0	1,459	1,150	78.8
87	633	236	37.3	562	256	45.6
88	630	311	49.4	491	230	46.8
89	423	164	38.8	504	201	39.9
90	388	146	37.6	625	217	34.7
91	440	197	44.8	755	369	48.9
92	448	273	60.9	723	444	61.4
93	370	205	55.4	490	316	64.5
94	412	229	55.6	673	401	59.6
95	355	163	45.9	553	305	55.2
96	401	262	65.3	523	336	64.2
97	332	197	59.3	548	328	59.9
98	386	229	59.3	529	345	65.2
99	377	230	61.0	494	271	54.9
2000	407	212	52.1	418	210	50.2
1	394	253	64.2	433	293	67.7
2	416	271	65.1	375	250	66.7
3	478	307	64.2	462	260	56.3
4	633	356	56.2	345	163	47.2
5	518	321	62.0	346	259	74.9
6	462	277	60.0	265	173	65.3
7	404	231	57.2	281	200	71.2
8	398	255	64.1	250	179	71.6
9	416	251	60.3	289	224	77.5
10	374	178	47.6	231	147	63.6
11	388	231	59.5	188	129	68.6
12	291	132	45.4	177	144	81.4
13	330	139	42.1	212	257	121.2
14	360	210	58.3	226	143	63.3
15	348	194	55.7	236	166	70.3
16	321	172	53.6	250	156	62.4
計	15,321	8,922	58.2	13,913	8,522	61.3

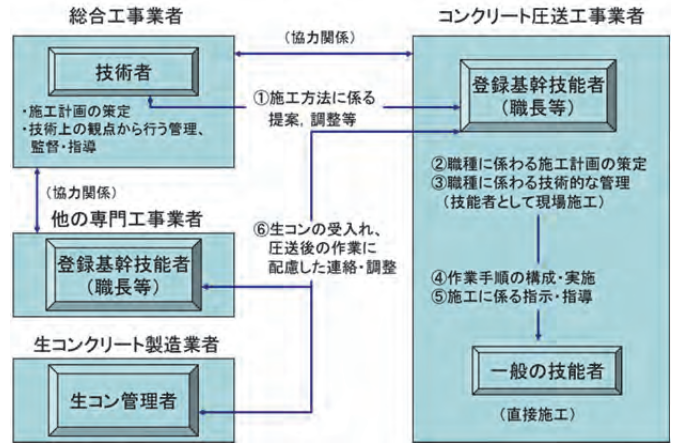


図-3 登録コンクリート圧送基幹技能者  
と関連職種との関係

めの受講要件は、

- ① コンクリート圧送施工の実務経験が10年以上
- ② 職長教育修了後の実務経験が3年以上
- ③ コンクリート圧送施工技能士1級を取得

上記3つの条件をすべて満たしていることである。

最近では、建設生産物の品質・安全の確保、生産性の向上の観点から、登録基幹技能者の入札時の総合評価制度での加点や、建設現場への配置を進める自治体・発注者が増えてきており、登録基幹技能者に対する評価は、今後ますます高まっていくものと思われる。

日本建築学会・土木学会など各種の工事仕様書でも、高度な技術を必要とするコンクリートの圧送（高所圧送・下向き圧送・コンクリート充填鋼管柱の施工など）においては、施工管理者は、コンクリートポンプの能力・性能を熟知し、実務経験が豊富な登録コンクリート圧送基幹技能者と協議した上で圧送計画を作成することがよいとされている。

2017年12月現在、全国で808名の登録コンクリート圧送基幹技能者が活躍している。登録講習・試験の実施結果の推移を表-4に、合格者に発行される修了証を写真-4に示す。



写真-3 コンクリート圧送施工技能検定  
合格証書の例（1級）

元請技術者への技術的提案、他職長との連携・調整、技能者の指導・育成を行う役割を担う技能者であり、2017年3月現在、34の建設専門工事業職種で56,977名の登録基幹技能者が誕生し活躍している。

このうちの1つである登録コンクリート圧送基幹技能者は、コンクリート工事全般に対する施工管理能力を有する者に与えられる資格で、2005年に制定されている。2008年からは国土交通大臣の認可を受け、建設業法施行規則に基づく経営事項審査（経審）の対象となる制度へと移行している。登録コンクリート圧送基幹技能者と関連職種との関係を図-3に示す。

全圧連は、登録コンクリート基幹技能者を認定する登録機関として、登録講習・試験、および資格取得者に5年に1度義務付けられている更新講習等を運営している。

登録コンクリート圧送基幹技能者の資格を取得するた

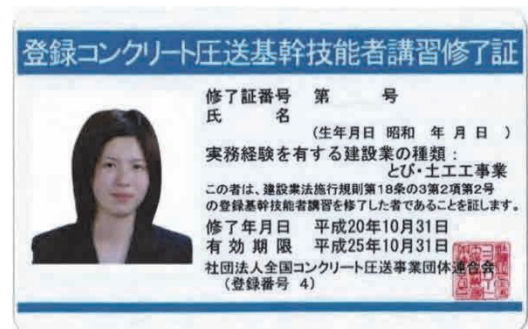


写真-4 登録コンクリート圧送基幹技能者  
講習修了証の例

表-4 登録コンクリート圧送基幹技能者登録講習・試験および更新講習の実施結果

適用 年度	登録講習・試験			更新講習 受講者数 (人)	
	受講者 数 (人)	合格者 数 (人)	合格率 (%)		
2005	123	89	72.4		
06	100	84	84.0		
07	91	77	84.6		
08	51	45	88.2		
09	78	68	87.2		
10	56	50	89.3		
11	76	68	80.3		
12	65	57	87.7		
13	66	54	81.8		292
14	66	52	78.8		70
15	104	76	73.1		56
16	94	69	73.4		54
17	95	69	72.6		137
計	1,065	858	80.6	609	

2017年12月時点の登録コンクリート圧送基幹技能者数：808名

### 5. コンクリートポンプ工法の発展に向けた取り組み

全圧連では、コンクリート圧送技術の向上を図り、安全施工の推進とより良いコンクリート構造物を造るための会員の座右の書となることを目指し、「コンクリートポンプ圧送マニュアル」を1983年に発刊した。これは、数少ないコンクリートポンプ工法の実務に関する技術書である。



写真-5 圧送マニュアル 2006年版

その後、コンクリート構造物の高層化・長大化や高強度・高流動といったコンクリートの高度化、コンクリートポンプ車の開発・改良による性能強化といった数々の技術的革新に対応するため、1999年に「改訂版」を発刊、その後再改訂した「2006年版」(写真-5)を発刊、現在は、新たな改訂版を編纂している。

また、土木学会、日本建築学会のポンプ施工指針の改訂作業や、日本コンクリート工学会の「コンクリート圧送工法ガイドライン 2009」の策定にも参画している。

### 5. 経営改善と取引の適正化に向けた取り組み

全圧連では創設以来、業界の経営の健全化に取り組んできた。その一つに、地域や工事規模、受注形態によりばらっていた圧送料金の体系的な統一化がある。2000年度には、1稼働あたりの基本料金と1m<sup>3</sup>あたりの圧送料からなる「基本料金制」の全国的な浸透を目指し活動を展開した。現在、この基本料金制は公共建築工事の市場単価調査にも導入されている。

しかしながら、長引く建設市場の低迷と元請の受注競争

によるしわ寄せを受け、圧送工事業界の経営環境は平成のデフレ不況からリーマンショックの時期にかけて著しく疲弊した。

その影響は東日本大震災以降の繁忙期を経ても大きく、全圧連では、業界の健全経営を取り戻すべく、適正な原価積算に基づく基本料金・附帯料金や安全管理経費の確保に向けた会員企業への啓発として「コンクリート圧送工事経営ハンドブック」を2014年に発刊した(写真-6)。

その後、国土交通省が推進する建設業の社会保険未加入対策に対応すべく、技能労働者の社会保険料の事業主負担額を工事単価と別枠で見積提示する方法を解説した、本ハンドブックの補完版「法定福利費別枠明示版」を2016年に発刊している。



写真-6 経営ハンドブック

### 6. 圧送業界の抱える課題

全圧連が毎年会員企業に対して実施している経営実態調査によると、現在国内で稼働しているコンクリートポンプ車の5割超が初度登録後10年以上を経過している。コンクリートポンプ車の法定償却年数は6年である。近年では耐震性・耐久性を追求した高強度・高流動コンクリートなどの技術の高度化が進んでおり、老朽化したポンプ車でこれらの粘性が高く圧送負荷の大きいコンクリートを扱うことに起因すると思われるトラブルや、ブーム折損などの重大災害が近年多発していることを大変憂慮している。

若手技能者の不足も大きな課題である。コンクリート圧送工事業は、高額なコンクリートポンプ車を用い、かつ過酷な作業であるにもかかわらず対価が低い現状が、設備更新の停滞や若手技能者の不足の最大要因となっている。生産コストの削減に努めることは業界の使命であるにしても、品質確保と安全施工、技能者の育成に必要なコストが適正に授受されなければ、高度な圧送技術・技能を次代に受け継がせることはできないだろうと危惧している。

### 7. おわりに

震災以降、建設業は人の命を守り、安心・安全を提供する、社会資本整備になくてはならないものであることが認識されつつあると感じる。わが国の災害対策と復興に係るコンクリート圧送工事は、低コスト優先でなく、安全施工と品質確保に優れた有資格者による施工でなければならないことを広くPRして行きたい。

全圧連会員一同は、わが国の社会資本整備を支える“良質のコンクリート構造物を提供する”専門工事業として、今後も一段と邁進したいと考えている。

\*1 全国コンクリート圧送事業団体連合会 専務理事、\*2 全国コンクリート圧送事業団体連合会 事務局次長



# 報告 コンクリートポンプ工法関係の指針における規定経緯と問題点について

○中田 善久\*1 十河 茂幸\*2  
和美 廣喜\*3

コンクリートポンプ工法 指針 圧送性 圧力区分  
ベント管 圧送負荷

## 1. はじめに

2009年に日本建築学会「コンクリートポンプ工法施工指針・同解説」<sup>1)</sup>(以下、ポンプ指針という。)の第3次改定が行われ、同年に、日本コンクリート工学協会(現コンクリート工学会)から「コンクリート圧送工法ガイドライン2009および解説」<sup>2)</sup>(以下、ガイドラインという。)が発刊された。このガイドラインは土木と建築の指針類の整合を目指したものの、未だ、整合できていない部分や問題が残されている。筆者らもこれらの改定作業に関わってきたが、これらの指針の利用者がコンクリートポンプ工法に関わる用語や問題点についての経緯や問題点をわからずに用いていることがある。

そこで、本報告は、コンクリートポンプ工法における指針の規定経緯と問題点をまとめておくこととした。

## 2. コンクリートポンプ工法関係の指針における規定経緯と問題点

### 2.1 圧送性

コンクリートポンプに関する用語は、JIS A 0203における「ポンプ圧送性(pumpability)」が代表的であり、「コンクリートポンプによって、フレッシュコンクリート又はフレッシュモルタルを圧送するときの圧送の難易性」とされている。そのため、多くの研究者や技術者がこの「ポンプ圧送性」を論文や指針の中で使われてきた。2009年のガイドライン<sup>2)</sup>の制定のときに、毛見虎雄先生を含めた有識者によって、この“ポンプ圧送性”という用語が議論された。英訳すると“pumpability”となるが、日本語の“ポンプ圧送性”を直訳できないので“圧送性”に統一され、ポンプ指針<sup>1)</sup>などにも反映された。今後、JIS A 0203の改定のときに修正されることを望む。

### 2.2 スクイズ式ポンプ車

コンクリートポンプの構造形式は、大きくピストン式とスクイズ式に分類できる。このスクイズ式は、ホップ底部の吸入口に接続されたポンピングチューブをポンプケース内に配置し、油圧モータで回転させるロータに取り付けられた複数のロータにより、ポンプケース内でポンピングチューブを押圧しながら連続してコンクリートを絞り出し吐出させる方式である。この「絞り出す」は、




英語で「Squeeze」となり、これが日本語になった和製英語である。そのため、「スクィーズ」や「スクイズ」などと呼ばれることもあり、ポンプ車の機種名にまで使われることもあった。この用語については、「スクイズ」に統一してポンプ指針<sup>1)</sup>やガイドライン<sup>2)</sup>に反映されている。

### 2.3 輸送管の圧力区分

ポンプ指針<sup>1)</sup>やガイドライン<sup>2)</sup>に規定されている輸送管と継手の選定基準を表1に示す。これまでの指針関係には輸送管の許容圧力区分の規定はなかった。実務では、輸送管は標準圧管をS管、中圧管をM管および高圧管をH管と呼称されていた。これは、圧送技能者からすると呼称により圧力区分が明確になっていた。しかし、この輸送管についてメーカーごとに常用圧力と試験圧力を調査すると、常用圧力よりも試験圧力の方が大きくなっており、メーカーによって大きく異なること<sup>2)</sup>がわかった。メーカーによってはこの許容圧力区分を試験圧力で満足するものもあったが、この現状を踏まえて表1に示すような許容圧力区分を定めた。そのため、この許容圧力区分は、メーカーの呼称を統一するための目標となるようにしたと解説されている。この点はメーカーで是非、協議して頂きたい。

また、輸送管の摩耗限界肉厚は、許容圧力区分ごとに規定している。これは、もともと日本建設機械工業会「コンクリートポンプ車安全マニュアル」<sup>3)</sup>のコンクリート

表1 輸送管と継手の選定基準<sup>1)</sup>

名称	許容圧力区分 (N/mm <sup>2</sup> )	輸送管の肉厚 (mm)	継手
標準圧	4.0 以下	2.0 ~ 3.0 (1.0)	ワンタッチ式 
中 圧	4.0 超 8.0 以下	3.5 ~ 4.5 (2.0)	ワンタッチ式 
高 圧	8.0 超	6.0 以上 (3.0)	両ボルト式 

( )は摩耗限界肉厚  
注記：管継手の型式やパイプの端部構造によって使用圧力が制限される場合がある。

表2 ベント管の換算長さ

ベント管	ポンプ指針	圧送マニュアル
500 R	0.785 m	1.0 m
1000 R	1.570 m	

輸送管摩耗限界肉厚の図から求めたものである。これは、輸送管径ごとに輸送管摩耗肉厚とコンクリート圧力の関係を示したものである。しかし、実務上、わかりにくいいため、この図より輸送管の摩耗限界肉厚を定めてポンプ指針<sup>1)</sup>やガイドライン<sup>2)</sup>に反映されている。

## 2.4 ベント管の換算長さ

ベント管は、一般的に500Rと1000Rが用いられることが多い。ポンプ指針<sup>1)</sup>においてベント管の換算長さは、実際の長さを求めた値に換算係数3を乗じている。もともと、初版ポンプ指針<sup>1)</sup>においてベント管の換算長さをすべて1mとしている。この影響により全国コンクリート圧送事業団体「圧送マニュアル2006」<sup>4)</sup>も同様にベント管の換算長さをすべて1mとしている。ベント管の換算長さを表2に示す。両者の差は大きくないものの1000Rの場合は危険側の計算となる。この問題は、圧送計画を圧送技能者が作成したときに差が生じ、実際の長さを求めた値を圧送技能者が求められるかという点である。また、最近では350Rのベント管が用いられることもあり、本来は鷹巣<sup>5)</sup>のようにコンクリートの種類ごとにベント管の換算係数が異なることを議論しなければならない。

## 2.5 圧送負荷の算定

圧送負荷の算定は、初版ポンプ指針<sup>1)</sup>において、水平換算距離の算定による機種を選定と圧送負荷による機種を選定が規定されていた。水平換算距離の算定による機種を選定は、各種輸送管の水平換算長さが示され、現状の土木のポンプ指針<sup>6)</sup>に近い形になっていた。また、圧送負荷による機種を選定は、(1)式により求められていた。

$$P=KL+\frac{1}{10}WH+3KM+2KN+2KT \quad \dots (1)$$

ここに、P:コンクリートポンプに加わる圧送負荷(kg/cm<sup>2</sup>)、K:輸送管1m当りの管内圧力損失(kgf/cm<sup>2</sup>/m)、L:配管の実長(直管のほか、ベント管・テーパ管など)(m)、W:まだ固まらないコンクリートの単位容積重量(t/m<sup>3</sup>)、H:圧送高さ(m)、M:ベント管の長さ(m)、N:フレキシブルホースの長さ(m)、T:テーパ管の長さ(m) [注](1)輸送管1m当りの管内圧力損失Kの算定は、信頼できる資料による。(2)輸送管径が途中で変わる場合は、それぞれの管径別にKL、KM、KNおよびKTを算出する。(3)テーパ管では、径の小さいほうの管とみなす。(4)ベント管の長さは、ベント管1本を1mとみなす。

第3版ポンプ指針<sup>1)</sup>や「圧送マニュアル2006」<sup>4)</sup>において圧送負荷の算定は、(2)式により求められていた。

$$P=K(L+3B+2T+2F)+0.1 \times WH \quad \dots (2)$$

ここに、P:コンクリートポンプに加わる圧送負荷(kgf/cm<sup>2</sup>)、K:水平管の管内圧力損失(kgf/cm<sup>2</sup>/m)、L:直管の長さ(m)、B:ベント管の長さ(m)、T:テーパ管の長さ(m)、F:フレキシブルホースの長さ(m)、W:フレッシュコンクリートの単位容積当りの重量(tf/m<sup>3</sup>)、H:圧送高さ(m) [注](1)ベント管の長さは、実長とする。(2)テーパ管では、径の小さいほうの管とみなす。

この(2)式が第3版ポンプ指針<sup>1)</sup>のときにSI単位の導入に伴い、(3)式のようにになった。

$$P=K(L+3B+2T+2F)+WH \times 10^{-3} \quad \dots (3)$$

ここに、P:コンクリートポンプに加わる圧送負荷(N/mm<sup>2</sup>)、K:水平配管の管内圧力損失(N/mm<sup>2</sup>/m)、L:直管の長さ(m)、B:ベント管の長さ(m)、T:テーパ管の長さ(m)、F:フレキシブルホースの長さ(m)、W:フレッシュコンクリートの単位容積重量(kN/m<sup>3</sup>)、H:圧送高さ(m)

[注1]ベント管の長さは実長とする、[注2]テーパ管では径の小さいほうの管とみなす。

ここで、建築のポンプ指針<sup>1)</sup>のような(3)式は、「圧送マニュアル2006」<sup>4)</sup>に記述されているため圧送技能者に理解しやすいものとなっているが、土木のポンプ指針<sup>6)</sup>と乖離している部分もあり、この点も配管式とブーム式ごととして初版の建築のポンプ指針<sup>1)</sup>のように計算式を統一させる必要がある。また、WHのWを便宜上、単位容積重量(kN/m<sup>3</sup>)と表記したものの圧送技能者には理解しがたいものになってしまった。この高さ方向の圧力は、どのように考えて普及させていくかが重要と考えられ、例えば、0.01WHのように表現するか0.024Hのように表現するかを議論していく必要がある。

## 3. まとめ

この他にも土木ポンプ指針とK値の整合性なども問題があり、現在の日本コンクリート工学会の「コンクリート圧送技術調査委員会」において議論して、土木と建築の整合をさせ、実務の圧送技術者が困らない形にしていきたいと考えている。

## 謝辞

指針の改定やガイドラインの作成に当たり、多くの委員と議論させて頂いた。ここに記して、謝意を表する。

## 参考文献

- 1) 日本建築学会:コンクリートポンプ工法施工指針・同解説, 2009.12
- 2) 日本コンクリート工学会:コンクリート圧送工法ガイドライン2009および解説, 2009.6
- 3) 日本建設機械工業会:コンクリートポンプ車安全マニュアル, 2005.8
- 4) 全国コンクリート圧送事業団体連合会:コンクリートポンプ圧送マニュアル, 2006.8
- 5) 鷹巣飛鳥, 中田善久, 大塚秀三, 宮田敦典, 岡本圭市:「水セメント比の違いがベント管の圧力損失に及ぼす影響」:2016年度日本建築学会関東支部研究報告集I, pp161-165, 2016.2
- 6) 土木学会:コンクリートのポンプ施工指針 [2012年版], 2012.4

\*1 日本大学理工学部建築学科 教授 博士 (工学), \*2 近未来コンクリート研究会 代表 工学博士, \*3 島根大学 名誉教授 博士 (工学)

# 報告 土木学会コンクリートポンプ施工指針の変遷 ～2回の改訂に伴う圧送技術の歴史的経緯と課題

○橋本 親典\*<sup>1</sup>

土木学会                      ポンプ施工指針                      改訂  
性能照査型設計              配管式とブーム式              安全・環境

## 1. はじめに

昭和60年11月に、コンクリート施工小委員会（村田二郎委員長）が中心となって「コンクリートのポンプ施工指針（案）」を制定した<sup>1)</sup>。その後、平成12年1月に、コンクリート委員会が委員会の活動経費を負担する第1種委員会として設置されたコンクリートのポンプ施工指針改訂小委員会（田澤栄一委員長）が、「コンクリートのポンプ施工指針」の改訂を行った<sup>2)</sup>。改訂版は、出版後10年を経過した平成22年度時点で、年間300冊程度の販売実績があり、コンクリートライブラリーで最も売れている指針の1冊であった。さらに、平成24年度に著者が委員長として、2回目の改訂が行われた<sup>3)</sup>。2回目の改訂の委員会は、外部の企業・団体からの委託事業とする第2種委員会であった。

図-1に、初版、平成12年版、2012年版の表紙を掲載する。初版は、コンクリートライブラリー57号、平成12年版はコンクリートライブラリー100号として出版され、2012年版は、コンクリートライブラリー135号として出版された。なお、2012年版の販売実績は、2012年度1394冊、2013年度488冊、2014年度401冊、2015年度279冊、2016年度323冊で、5年間平均で年間577冊である。2012年版も平成12年版と同様に高い販売数である。

本報告では、土木学会コンクリートポンプ施工指針の変遷、特に、圧送技術の歴史的経緯と課題について報告する。

## 2. 委員会組織の変遷

委員会組織の変遷を図-2に示す。コンクリートポンプ

施工としての特殊性から、建設会社や圧送業者等の代表者が多く、大学等の研究者は少ない。委員総員数は、昭和60年版が13名、平成12年版が15名、2011年版が16名と他の調査研究小委員会の委員数と比較して少人数である。

昭和60年版は、土木学会コンクリート標準示方書の施工編を担当するコンクリート施工小委員会の委員から、本指針を作成するための委員とそれ以外の特別委員が選出され、ポンプ施工指針WGが組織された。平成12年版では、コンクリート委員会から1種委員会として、示方書改訂小委員会とは別に、改訂小委員会が組織された。このとき、昭和60年版から平成12年版では、田澤、鈴木、菊川、栗田、三浦の5名の委員が留任された。

2012年版は、建設企業5社、全国コンクリート圧送事業団体連合会、プレストレスト・コンクリート建設業協会、S.Q.C 構造物開発・普及協会、コンクリート用化学混和剤協会、全国生コンクリート工業組合連合会の委託を受け、2種委員会として改訂小委員会が設置された。受託者委員として、日本建設機械工業会コンクリートポンプ部会からコンクリートポンプの製造メーカーの技術者が正式に参加することとなった。平成12年版から2011年版では、橋本、新藤、三浦の3名の委員が留任されており、昭和60年版、平成12年版および2012年版の全委員会に参画された委員は、三浦委員1名である。継続性を考慮した場合、留任委員は貴重であり、今後の委員会組織を考える上で、参考になると思われる。



初版 B5版 総195頁



平成12年版 A4版 総226頁



2012年版 A4版 総247頁

図-1 初版、平成12年版、2012年版の表紙

昭和60年版(初版)

コンクリート施工研究小委員会 ポンプ施工指針WG委員会 委員構成	
委員長	村田 二郎
主査	田澤 榮一
委員	青景 平昌 岩崎 安宏*
	菊川 浩治 木村 隆*
	栗田 守朗* 佐久田 昌治*
	坂本 全布* 鈴木 一雄
	長尾 信夫* 三浦 律彦*
	山田 一宇
	*特別委員 (50音順 敬称略)

平成12年版

コンクリート委員会 「コンクリートのポンプ施工指針」改訂小委員会 委員構成	
委員長	田澤 榮一(広島大学)
幹事	鈴木 一雄(全国生コン工組連合会中央技術研究所)
幹事	橋本 親典(徳島大学)
委員	伊藤 祐二(株式会社技術研究所) 大村 高慶(石川島建機株式会社)
	菊川 浩治(名城大学) 栗田 守朗(清水建設株式会社)
	黒井 登起雄(足利工業大学) 小池 茂(社)全国コンクリート圧送 事業団体連合会)
	新藤 竹文(大成建設株式会社) 田村 一美(三菱重工株式会社)
	出口 秀夫(フツマイスタージャパン株式会社) 三浦 律彦(株式会社)
	溝淵 利明(鹿島建設株式会社) 渡部 正(前田建設工業株式会社)

2012年版

コンクリート委員会 「コンクリートのポンプ施工指針」改訂小委員会 委員構成	
委員長	橋本 親典(徳島大学)
幹事	新藤 竹文(大成建設株式会社)
委託者側委員兼幹事	浦野 真次(清水建設株式会社) 柳井 修司(鹿島建設株式会社)
委員	綾野 克紀(岡山大学) 橋本 紳一郎(福岡大学)
	熊野 知司(摂南大学) 吉田 正敏(極東開発工業株式会社)
委託者側委員	岡本 圭市(岡岡本建設重機(全国コンクリート圧送事業団体連合会)) 城国 省二(全国生コンクリート工業組合連合会)
	菊地 真(鉄建建設株式会社) 羽瀬 貴士(東亜建設工業株式会社)
	齊藤 和秀(竹本油脂株式会社) 三浦 律彦(株式会社)
	佐藤 文則(前田建設工業株式会社) 渡部 寛文(川田建設株式会社)

図-2 ポンプ指針作成のための委員会組織の変遷

今後の委員会組織としては、コンクリート委員会の財源の観点からも、1種よりは2種委員会として組織し、民間企業や各種専門業種の協会出身委員が中心になり、その時点でのコンクリートポンプ施工技術の現状を取り入れて指針作成を行える委員を選出するのが望ましいと思われる。

3. 指針の変遷

指針の目次構成の変遷を図-3と図-4に示す。昭和60年版と平成12年版は、章、節、条の名称が異なっただけであり、構成に大きな変化はない。追加された項目は、5章に「5.4.3 ゲートバルブによる広範囲一括施工法」と「5.4.4 分岐管工法による広範囲一括施工法」が、削除された項目は、昭和60年版の7章「46条 コンクリートの品質検査」であった。

一方、2012年版は、前回の平成12年版の構成を、標準示方書の施工編の施工マニュアルの構成に準拠させ、各章や各節に、できるだけ「総則」を追加した。前2版では、「圧送条件の検討」という項(昭和60年版13条、平成12年版2.3.5)があったが、「コンクリートのポンプの機種および台数の選定」に、吐出圧力算定手法を改訂し、機械効

コンクリートのポンプ施工指針(案)[昭和60年版]

- 1章 総則
  - 1条 適用の範囲
  - 2条 コンクリートの品質
  - 3条 用語
- 2章 施工計画
  - 4条 総則
  - 1節 基本計画
    - 5条 作業組織
    - 6条 仮設計画
    - 7条 運搬計画および打込み計画
    - 8条 品質管理計画および検査計画
    - 9条 不測の事態への対応策
  - 2節 コンクリートの圧送計画
    - 10条 圧送計画
    - 11条 配管計画
    - 12条 コンクリートポンプの機種および台数の選定
    - 13条 圧送条件の検討
- 3章 材料および配合
  - 14条 総則
  - 15条 セメント
  - 16条 細骨材および粗骨材
  - 17条 混和材料
  - 4節 配合
    - 18条 総則
    - 19条 粗骨材の最大寸法
    - 20条 スランプ
    - 21条 空気量
    - 22条 単位セメント量
    - 23条 細骨材率
- 4章 コンクリートの製造および供給
  - 24条 レデーミクストコンクリート
  - 25条 現場プラントで製造するコンクリート
  - 6節 コンクリートの供給
    - 26条 コンクリートの供給計画
    - 27条 コンクリートの供給
- 5章 圧送
  - 7節 配管作業
    - 28条 配管材料の選定
    - 29条 配管の固定
  - 8節 圧送前の確認事項
    - 30条 圧送計画と作業組織の確認
    - 31条 コンクリートポンプおよび配管の確認
  - 9節 圧送作業
    - 32条 圧送準備
    - 33条 圧送運転
    - 34条 圧送の中断
    - 35条 閉塞の防止とその処置
    - 36条 圧送終了時の処置
- 10節 特殊な考慮を要する圧送
  - 37条 特殊なコンクリートの圧送
  - 38条 特殊な条件下の圧送
- 6章 コンクリートの打込み
  - 39条 打込み
  - 40条 締固め
  - 41条 仕上げおよび養生
- 7章 品質管理および検査
  - 42条 総則
  - 43条 コンクリートの製造時の管理
  - 44条 コンクリートの受入れ検査および試験
  - 45条 圧送開始から打込みまでの管理
  - 46条 コンクリートの品質検査

コンクリートのポンプ施工指針[平成12年版]

- 1章 総則
  - 1.1 適用の範囲
  - 1.2 コンクリートの品質
  - 1.3 用語
- 2章 施工計画
  - 2.1 総則
  - 2.2 基本計画
    - 2.2.1 作業組織
    - 2.2.2 仮設計画
    - 2.2.3 運搬計画および打込み計画
    - 2.2.4 品質管理計画および検査計画
    - 2.2.5 不測の事態への対応策
  - 2.3 コンクリートの圧送計画
    - 2.3.1 圧送計画
    - 2.3.2 配管計画
    - 2.3.4 コンクリートポンプの機種および台数の選定
    - 2.3.5 圧送条件の検討
- 3章 材料および配合
  - 3.1 材料
    - 3.1.1 総則
    - 3.1.2 セメント
    - 3.1.3 細骨材および粗骨材
    - 3.1.4 混和材料
  - 3.2 配合
    - 3.2.1 総則
    - 3.2.2 粗骨材の最大寸法
    - 3.2.3 スランプ
    - 3.2.4 空気量
    - 3.2.5 単位セメント量
    - 3.2.6 細骨材率
- 4章 コンクリートの製造および供給
  - 4.1 コンクリートの製造
    - 4.1.1 レデーミクストコンクリート
    - 4.1.2 現場プラントで製造するコンクリート
  - 4.2 コンクリートの供給
    - 4.2.1 コンクリートの供給計画
    - 4.2.2 コンクリートの供給
- 5章 圧送
  - 5.1 配管作業
    - 5.1.1 配管材料の選定
    - 5.1.2 配管の固定
  - 5.2 圧送前の確認事項
    - 5.2.1 圧送計画と作業組織の確認
    - 5.2.2 コンクリートポンプおよび配管の確認
  - 5.3 圧送作業
    - 5.3.1 圧送準備
    - 5.3.2 圧送運転
    - 5.3.3 圧送の中断
    - 5.3.4 閉塞の防止とその処置
    - 5.3.5 圧送終了時の処置
  - 5.4 特殊な考慮を要する圧送
    - 5.4.1 特殊なコンクリートの圧送
    - 5.4.2 特殊な条件下の圧送
    - 5.4.3 ゲートバルブによる広範囲一括施工法
    - 5.4.4 分岐管工法による広範囲一括工法
- 6章 コンクリートの打込み
  - 6.1 打込み
  - 6.2 締固め
  - 6.3 仕上げおよび養生
- 7章 品質管理および検査
  - 7.1 総則
  - 7.2 コンクリートの製造時の管理
  - 7.3 コンクリートの受入れ検査および試験
  - 7.4 圧送開始から打込みまでの管理

図-3 昭和60年版および平成12年版の指針の目次の比較

率と作業効率を導入し、「圧送条件の検討」という項を削除した。前2版の7章「品質管理および検査」を、「施工管理」と「検査」に分けた。「施工管理」は、「コンクリートの品質管理」、「コンクリートの圧送管理」および「安全管理」の3つに分類し、詳細に記述した。5章の「圧送」の節を4節から7節に増やし、圧送技術の最新情報を多く盛り込んだ。特に、「特殊な考慮を要する圧送」と「広範囲一括工法」を分離させた。

標準示方書は、2002年制定から、性能照査型指針に移行した。したがって、今回の指針改訂においても、性能照査型に修正する必要がある。しかしながら、元来、ポンプ指針は、圧送するコンクリートのスランプや吐出量に応じ、コンクリートポンプの機種や台数を選定し、施工計画を立案することになっている。そして、この照査として、現場圧送実験を行うことを前提としている。この考えは、性能

コンクリートのポンプ施工指針(2012年版)	
1章 総則	5章 (続き)
1.1 適用の範囲	5.2.3 輸送管の設置(ブームによる圧送)
1.2 安全・環境に対する配慮	5.3 圧送前の確認事項
1.3 コンクリートの品質	5.3.1 圧送計画と作業組織の確認
1.4 用語	5.3.2 コンクリートポンプの確認
2章 施工計画	5.3.3 配管の確認
2.1 総則	5.4 圧送作業
2.2 基本計画	5.4.1 圧送準備
2.2.1 作業組織	5.4.2 圧送運転
2.2.2 仮設計画	5.4.3 圧送の中断
2.2.3 運搬計画および打込み計画	5.4.4 閉塞をはじめとするトラブル等への対応策
2.2.4 品質管理計画および検査計画	5.4.5 圧送終了時の処置
2.2.5 不測の事態への対応策	5.5 特殊コンクリートの圧送
2.3 コンクリートの圧送計画	5.6 特殊な条件下の圧送
2.3.1 圧送計画	5.6.1 高所への圧送
2.3.2 配管計画	5.6.2 低所への圧送(鉛直下向き配管 および斜め下り配管における圧送)
2.3.4 コンクリートポンプの機種および台数の選定	5.6.3 長距離圧送
3章 材料および配合	5.6.4 水中でのコンクリートの圧送
3.1 材料	5.6.5 暑中における圧送
3.1.1 総則	5.6.6 寒中における圧送
3.1.2 セメント	5.7 広範囲一括施工法
3.1.3 細骨材および粗骨材	5.7.1 ゲートバルブを用いた工法
3.1.4 混和材料	5.7.2 分岐管工法による広範囲一括工法
3.2 配合	6章 コンクリートの打込み
3.2.1 総則	6.1 総則
3.2.2 粗骨材の最大寸法	6.2 打込み
3.2.3 スランプ	6.3 締固め
3.2.4 空気量	6.4 仕上げおよび養生
3.2.5 単位水量および単位セメント量	7章 施工管理
3.2.6 細骨材率	7.1 総則
4章 コンクリートの製造および供給	7.2 コンクリートの品質管理
4.1 総則	7.3 コンクリートの圧送管理
4.2 コンクリートの製造	7.3.1 先送り材の圧送における管理
4.2.1 レデーミクストコンクリート	7.3.2 コンクリートポンプの操作
4.2.2 現場プラントで製造するコンクリート	7.3.3 フーム操作
4.3 コンクリートの供給	7.3.4 簡先作業
4.3.1 コンクリートの供給計画	7.3.5 圧送終了後の作業における管理
4.3.2 コンクリートの供給	7.4 安全管理
5章 圧送	7.4.1 安全管理の考え方
5.1 総則	7.4.2 安全管理上の留意点
5.2 配管作業	8章 検査
5.2.1 輸送管・機材の選定	8.1 総則
5.2.2 輸送管の設置(配管による圧送)	8.2 コンクリートの受入れ検査

図-4 2012年版の指針の目次

を設定し照査するという性能照査型の考え方であり、示方書が仕様規定遵守型のと時から性能照査型であった。そのため、2012年版も、特に性能照査型に拘らず、従来の構成を踏襲する形になっている。

前2版と2012年版の照査の違いは、前2版は、設定したスランプと吐出量で求める最大吐出圧とコンクリートポンプの最大吐出圧を比較することで、コンクリートポンプの機種や台数を決定したが、2012年版は、吐出圧力に関する性能と、圧送後のコンクリートの品質として「打込みの最小スランプ」を確保するという性能の両者を満足するようにした点である。

また、前2版は、配管式コンクリート施工を対象にした記述が多く、ブーム式コンクリート施工は対象外であった。しかしながら、ブーム式コンクリートポンプ車の高性能化が進み、土木の現場でもブーム式コンクリート施工が広く用いられ、2012年版では、ブーム式コンクリート施工を含めた場合の記述が多くなった。

#### 4. 参考資料編の変遷

参考資料編の目次構成の変遷を図-5と図-6にまとめて示す。参考資料編は、指針において記述された内容のバックデータの意味合いが強い。したがって、コンクリートポンプに関する最新データの詳細を紹介することになり、目次としては常に変わらない。しかし、2012年版では、「1 圧送に関する法令」を追加した。これは、最近多発するコンクリートのポンプ施工に関するトラブルや事故

[昭和60年版]	
II. 参考資料編	
1 コンクリートポンプの形式および作動機構	
1.1 コンクリートポンプの種類	
1.2 圧送方式による分類	
1.3 吸入吐出弁による分類	
1.4 架装方式による分類	
2 コンクリートポンプの機構ならびに諸元	
3 輸送管と関連部品および付帯機器	
3.1 輸送管	
3.2 関連部品および付帯機器	
4 コンクリートポンプ車の不具合、原因と対策	
5 ディストリビュータの種類と性能	
6 加圧ブリーディング試験方法	
7 試験圧送による管内圧力損失の求め方	
7.1 試験圧送における測定項目	
7.2 試験圧送の方法	
7.3 結果の整理	
8 関連規程類抜粋	
8.1 流動化コンクリート施工指針(案)土木学会	
8.2 レデーミクストコンクリート JIS A 5308(1985)	
8.3 コンクリート用砕砂 JIS A 5004(1980)	
8.4 コンクリート用砕石 JIS A 5005(1977)	
9 流動化コンクリートのポンプ圧送性	
9.1 研究の概要	
9.2 流動化コンクリートのポンプ圧送性に関する室内実験	
9.3 ポンプ圧送現場試験	
10 全日本コンクリート圧送事業団体連合会(略称・全圧連)の概要	
10.1 全圧連の組織概要	
10.2 全圧連の事業概要	
11 コンクリートポンプによる施工実績(特殊な考慮を要する圧送)	
12 参考文献	

図-5 昭和60年版の参考資料編の目次

を未然に防ぐための安全対策としての各種の法令が制定されており、これらの情報を土木技術者として遵守する必要があることによる。25年前は、安全や環境に関する項目は、コンクリート委員会として取り扱うべき内容という意識が少なく、品質の良いコンクリートを如何に造るのかということに主眼があった感が強い。現在は、安全や環境に配慮しながら、品質の良いコンクリートを造ることが求められる。指針の解説等では盛り込むことができない細かい内容を、参考資料編に記載しており、この傾向は、今後も続くものと思われる。

ポンプ施工指針では、これまでに2つの土木学会規準が制定されている。「加圧ブリーディング試験方法(案)(JSCE-F 502-2013)」と「フレッシュコンクリートの変形性評価試験方法(案)(JSCE-F 509-2013)」である。前者は、昭和60年版の参考資料編で初めて掲載された。後者は、平成12年版で掲載された。掲載当時は、土木学会規準の試験方法ではなかった。本指針が発行されて一定の期間が経過したのち、1種委員会である規準関連小委員会の審議を経て、コンクリート常任委員会でも承認され、それぞれ土木学会規準の番号が付与された。通常、土木学会規準に制定されたあとは、本指針改訂小委員会の管理を離れる。2012年版の参考資料編に「11.加圧ブリーディング試験」として記述されているのは、本指針の解説において言及しているA,BおよびCの標準曲線について解説するためである。試験方法自体の加筆・修正および削除は、本指針改訂小委員会の所掌事項ではなく、規準関連小委員会のフレッシュコンクリート部会が担当する。

関連規準の抜粋に関しては、その時点における最新の関連規準を掲載しており、内容は異なるが編集方針は同じである。

施工実績や参考文献に関しては、最新の10年間でのデータを中心に編集しており、内容や表記方法は異なるが、編集方針は同じである。

5. 今後の課題

従来、土木と建築のコンクリートは取り扱うスランブが異なっていた。土木はスランブ 8cm の硬練りコンクリート、建築はスランブ 18cm の軟練りコンクリートの違いである。しかしながら、最近では高性能 A E 減水剤や高機能 A E 減水剤の発達・普及や施工性能をコンクリートの要求性能の一つに明確に追加するようになってきた。土木分野でもスランブ 12cm の軟練りコンクリートを扱う工事が多くなってきた。

2017 年 7 月から国交省では、コンクリート生産性向上を目的した「流動性を高めた現場打ちコンクリートの活用に関するガイドライン」が運用されている。土木と建築のコンクリートの垣根はなくなりつつあり、コンクリートポンプに関係する指針もこの垣根を取り払う必要がある。2012 年版では、用語をできるだけ日本建築学会のポンプ指針と合わせ、圧送圧の計算方法や圧送計画の方法も考え方を合わせた。

今後は、圧送圧の計算方法や圧送計画そのものの統一化を図ることが課題である。

6. おわりに

2011 年 3 月 11 日発生の東日本大地震による巨大津波が発生した。この津波によって停止した東京電力の福島第一原子力発電所の原子炉建屋が、次々と水素爆発を起こし、建屋の屋根が飛散し、側壁上部の鉄骨がむき出しになった無惨な映像がテレビに何度も映し出された。原子炉の緊急冷却として水を放水するために用いた機械は、ブーム付きコンクリートポンプ車であった。消防車よりも、大量の水を、遠隔装置により自動で放水できる機械として利用された。もちろん、本来のコンクリートポンプ車の使い方ではない。しかしながら、一般市民にコンクリートポンプ車が広く知られることになったのは事実である。

今後、コンクリート工事においてポンプ施工技術がなくなることはまずない。場所打ちコンクリートによる施工がある限り、コンクリートポンプ車とブームや配管を用いた施工方法が最も確実に現場内運搬できる技術である。

広く知られることになったコンクリートポンプ工法を安全に実施し、品質の高い土木構造物を構築するための技術書が、本指針である。コンクリート 2 次製品が多くなった現在においても、多数派はコンクリートポンプ工法である。

[平成12年版]	
II. 参考資料編	
1	コンクリートポンプの形式および作動機構
1.1	コンクリートポンプの種類
1.2	圧送方式による分類
1.3	吸入吐出弁による分類
1.4	架装方式による分類
2	コンクリートポンプの機構ならびに諸元
2.1	コンクリートポンプ仕様一覧
2.2	最大理論吐出圧力と吐出量の関係
3	輸送管と関連部品および付帯機器
3.1	輸送管
3.2	関連部品および付帯機器
4	コンクリートポンプ車の不具合、原因と対策
5	ディストリビュータの種類と性能
6	加圧ブリーディング試験方法(案)(JSCE-F 502-1990)
1	適用範囲
2	引用規格
3	試験用器具
4	試料
5	試験
6	結果の整理
7	報告
7	フレッシュコンクリートの変形評価試験方法(案)
1	適用範囲
2	引用規格
3	試験用器具
4	試験方法
5	試験の結果
6	計算
7	報告
解説	
1	はじめに
2	実験概要
3	変形評価試験結果および考察
4	まとめ
8	可視化実験結果
8.1	研究の概要
8.2	フレッシュコンクリートの可視化モデル
8.3	実際のフレッシュコンクリートと可視化モデルの相似性
8.4	変形管を流動するコンクリートの可視化
8.5	まとめ
9	コンクリートの管内流動
9.1	流動性状予測の必要性
9.2	コンクリートのレオロジー
9.3	管壁ですべりを伴うコンクリートの管内流動
10	試験圧送による管内圧力損失の求め方
10.1	試験圧送のおける測定項目
10.2	試験圧送の方法
10.3	測定値の整理方法
11	流動化コンクリートのポンプ圧送性
11.1	研究の概要
11.2	流動化コンクリートのポンプ圧送性に関する室内実験
11.3	ポンプ圧送現場試験
12	関連規準類抜粋
12.1	高流動コンクリート施工指針(土木学会)
12.2	レディーミクスコンクリート (JIS A 5308-1998)
12.3	コンクリート用フライアッシュ (JIS A 6201-1999)
12.4	コンクリート用石灰石微粉末品質規格(案)(JCI-C44 石灰石微粉末の特性とコンクリートへの利用に関するシンポジウム委員会報告書)
13	全日本コンクリート圧送事業団体連合会(略称・全圧連)の概要
13.1	全圧連の組織概要
13.2	全圧連の事業概要
14	コンクリートポンプによる施工実績(特殊な考慮を要する圧送)
15	参考文献

[2012年版]	
II. 参考資料編	
1	圧送に関する法令
1.1	安全衛生関連
1.2	道路交通安全・環境関連
1.3	環境関連
2	全日本コンクリート圧送事業団体連合会(略称・全圧連)の概要
2.1	全圧連の組織概要
2.2	全圧連の事業概要
2.3	圧送に関する資格
3	コンクリートポンプの形式および作動機構
3.1	コンクリートポンプの種類
3.2	圧送方式による分類
3.3	吸入吐出弁による分類
3.4	架装方式による分類
4	コンクリートポンプの機構ならびに諸元
4.1	コンクリートポンプ仕様一覧
4.2	最大理論吐出圧力と吐出量の関係
5	輸送管と関連部品および付帯機器
5.1	輸送管
5.2	関連部品および付帯機器
6	ディストリビュータの種類と性能
7	点検
7.1	コンクリートポンプの点検
7.2	輸送管の点検と磨耗限界肉厚
7.3	継手の点検
8	ブームの取扱い
8.1	ブームの姿勢と作用する曲げモーメント
8.2	送電線からの離隔距離
9	トラブル・事故
9.1	トラブル・事故の例とその対応
9.2	コンクリートポンプの不具合、原因と対策
10	ポンプ機種および台数の選定例
11	加圧ブリーディング試験
11.1	加圧ブリーディング試験方法(JSCE-F 502-2010)
11.2	加圧ブリーディング試験における標準曲線
12	試験圧送による管内圧力損失の求め方
12.1	試験圧送のおける測定項目
12.2	試験圧送の方法
12.3	測定値の整理方法
13	関連規準類抜粋
13.1	高流動コンクリートの配合設計・施工指針
13.2	レディーミクスコンクリート (JIS A 5308-2009)
13.3	混和材料
(1)	コンクリート用フライアッシュ (JIS A 6201-2008)
(2)	コンクリート用高炉スラグ微粉末 (JIS A 6206-2008)
(3)	コンクリート用砕石粉 (JIS A 5041-2009)
(4)	コンクリート用石灰石微粉末品質規格(案)(JCI-C44 石灰石微粉末の特性とコンクリートへの利用に関するシンポジウム委員会報告書)
13.4	骨材
(1)	構造用軽量コンクリート (JIS A 5002-2009)
(2)	コンクリート用スラグ骨材
(3)	高炉スラグ骨材 (JIS A 5011-1:2003)
(4)	フェロニッケルスラグ骨材 (JIS A 5001-2:2003)
(5)	銅スラグ骨材 (JIS A 5001-3:2003)
(6)	電気炉酸化スラグ骨材 (JIS A 5001-4:2003)
(7)	コンクリート用再生骨材 (H JIS A 5021-2005)
14	コンクリートポンプによる施工実績(特殊な考慮を要する圧送)
14.1	軽量骨材コンクリート
14.2	低スランブまたは貧配合コンクリート
14.3	高強度または富配合コンクリート
14.4	大粒径骨材コンクリート
14.5	長距離圧送・超長距離圧送
14.6	高所圧送
14.7	下り勾配
14.8	広範囲一括施工
15	参考文献
15.1	指針に引用した参考文献一覧
15.2	ポンプ施工に関わる論文一覧
16	コンクリートのポンプ施工指針の変遷

図-6 平成 12 年版および 2012 年版の参考資料編の目次の比較

初版と平成 12 年版は絶版である。過去の指針がどのような構成であったのかを伝えていくことが必要である。本報告がこの一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) 土木学会編：コンクリートのポンプ施工指針(案)，コンクリートライブラリー57号，1985.11
  - 2) 土木学会編：コンクリートのポンプ施工指針[平成 12 年版]，コンクリートライブラリー100号，2000.2
  - 3) 土木学会編：コンクリートのポンプ施工指針[2012 年版]，コンクリートライブラリー135号，2012.4
- 注 本報告は、参考文献<sup>3)</sup>の参考資料「16 コンクリートのポンプ施工指針の変遷」を再編集したものである。

# 報告 博多駅前陥没事故における流動化処理土圧送による復旧工事報告

○井戸 貢\*<sup>1</sup> 北園 滋巳\*<sup>2</sup> 小宮 洋\*<sup>3</sup> 下川 龍一\*<sup>4</sup>  
 田中 耕二\*<sup>5</sup> 田中 博文\*<sup>6</sup> 時安 剛彦\*<sup>7</sup> 眞鍋 慎太郎\*<sup>8</sup>  
 三宅 修藏\*<sup>9</sup> 元岡 善孝\*<sup>10</sup>

災害復旧 流動化処理土 ブーム圧送

## 1. はじめに

コンクリートポンプは、建設現場におけるコンクリートの打込み作業のほか、災害時の緊急の復旧作業で活躍するケースも多い。

ここでは、2016年11月、福岡市のJR博多駅前で発生した大規模な道路陥没事故における、コンクリートポンプ車を使用した流動化処理土による埋戻しの復旧作業について報告する。

## 2. 事故発生と圧送業界への復旧作業の要請

2016年11月8日午前5時15分頃、JR博多駅前の市道「はかた駅前通り」で道路が陥没した。陥没箇所は約3時間後には、およそ幅27m、長さ30m、深さ15mに広がった(図-1)。

陥没箇所では、地下約19mより下に市営地下鉄の延伸のためのトンネルを掘る工事が24時間態勢で行われていて、トンネル天井部の岩盤が崩れ始め、大量の地下水が流れこんだことが発端であった。

同日午前10時頃には、地下鉄工事を請け負う元請会社より、地元の圧送業団体である福岡佐賀コンクリートポン

プ協同組合(九州圧送事業協同組合連合会所属)に、「早急にポンプ車を手配してほしい」との協力要請があり、復旧作業へ即時対応が可能な組合員会社を探し5社を確認、ブーム長30mクラスのコンクリートポンプ車2台を同日午後1時に現場到着で、さらに追加で2台を午後3時現場到着で出動させることを打ち合わせた。

## 3. 流動化処理土等による埋め戻し作業

### (1) 1日目(11月8日)

午後からの作業に備え、事故発生日11時に組合員2社の30mクラスのブーム車2台を現場に設置し、陥没箇所を埋め戻す作業について元請会社と協議を行った。

埋戻し材料は、実績があり早期強度が期待できる流動化処理土が選定された。流動化処理土は、建設残土に水とセメントなどの固化材を混ぜて作る埋戻し材で、流動性が高いため均し作業を必要とせず均一に充填することができる特徴がある。

他の組合員2社より追加のポンプ車2台が現場に到着し待機、元請会社との打合せで、さらにブーム長30mクラスのポンプ車1台と予備のポンプ車1台を追加で要請することが決定した。

陥没箇所の西側(博多駅と対面方向)は、午後2時30分より流動化処理土の打込みを開始した(写真-1)。一方、陥没箇所の東側(博多駅側)は、ポンプ車設置スペースを確保した後、午後7時から打込みが行われた(図-2)。現場に流動化処理土を搬入するプラントは6社に及んだ。

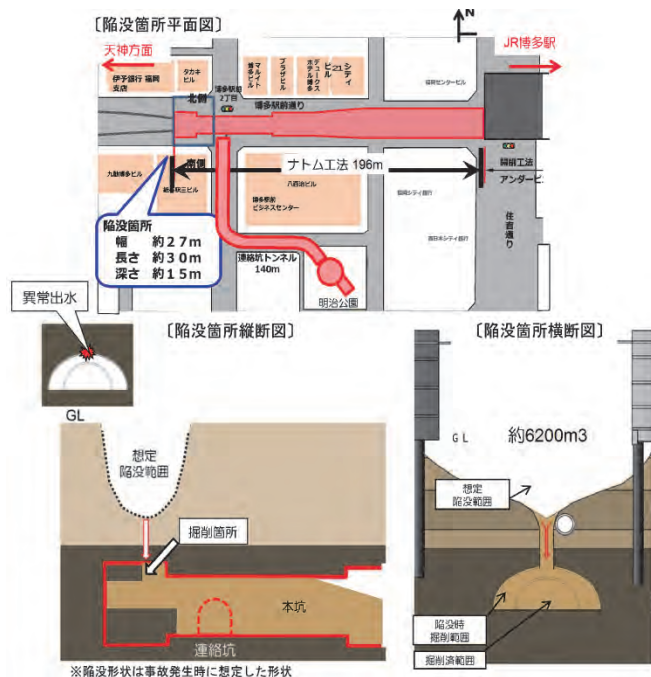


図-1 事故発生時の状況  
(福岡市交通局 HP より抜粋)



写真-1 流動化処理土の圧送作業の様子

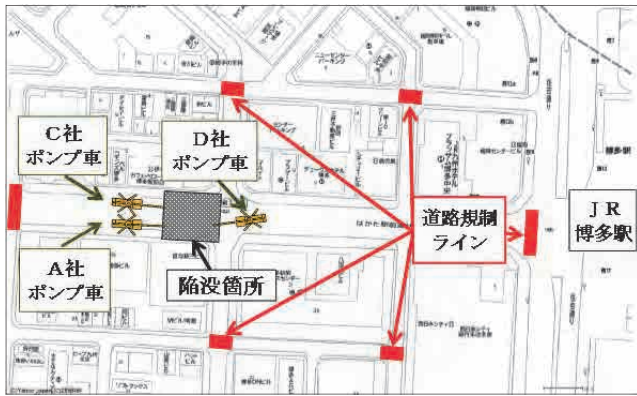


図-2 コンクリートポンプ車の配置図

午後9時の元請会社との打合せで、プラント6社のうち4社からの受け入れが終わった時点でポンプ車の作業を1台減らすことを決め、深夜の午前3時に東側の1台が作業を終了、残る2台で翌日朝までの作業を継続することとなった。

(2) 2日目 (11月9日)

復旧工事では陥没箇所を早急に埋め戻す必要があったが、湧き出た大量の地下水等により陥没箇所底部の状況が把握できないため、正確な数量の算出が困難であった。

午後1時の打合せでは、流動化処理土を搬入できるプラントが無くなりつつあり、ポンプ車2台のうち1台の作業終了を決め、午後5時から1台での作業となった。

午後6時の打合せで、3日目と4日目の夜間の圧送作業に関する協議を行い、組合員会社へ出動できるポンプ車を手配した。この後、流動化処理土が水面から顔を出すようになり、ようやく打設数量の目途がたち、午後7時40分までに約3000m<sup>3</sup>を打ち込み、作業を終了した。

(3) 3日目 (11月10日)

2日目の打ち込みで道路部の埋戻しが終わり、3日目から、周辺の構造物の直下に局所的に生じた空洞の充填を開始した。段取り替えのため、打ち込み作業は翌日午前4時から開始となった。

空洞の充填は、充填した流動化処理土の硬化状態や型枠の状態を見ながらの作業となった。ブーム先端に輸送管を3本設置してブームを延長し、適宜ポンプ車を移動させながら打ち込み、午前8時30分に打ち込み作業を終了した。

(4) 4日目 (11月11日)

前日に続く夜間作業となる4日目は、翌12日の午前2時40分から打ち込み作業を開始し、午前7時30分に打ち込み作業を終了した。

(5) 5日目 (11月12日)

最後の夜間作業となる5日目は、ポンプ車1台により翌13日の午前4時から打ち込み作業を開始し、午前6時10分に打ち込み作業を完了した。

その後、上下水道管を通す復旧作業、砕石による簡易土

留めの工事が行われ、午前8時より上下水道の基礎部分に生コンクリートを16m<sup>3</sup>打込み、ポンプ車による埋戻し作業をすべて完了した。

今回の復旧工事におけるポンプ車による埋戻し作業の流れを図-3に示す。

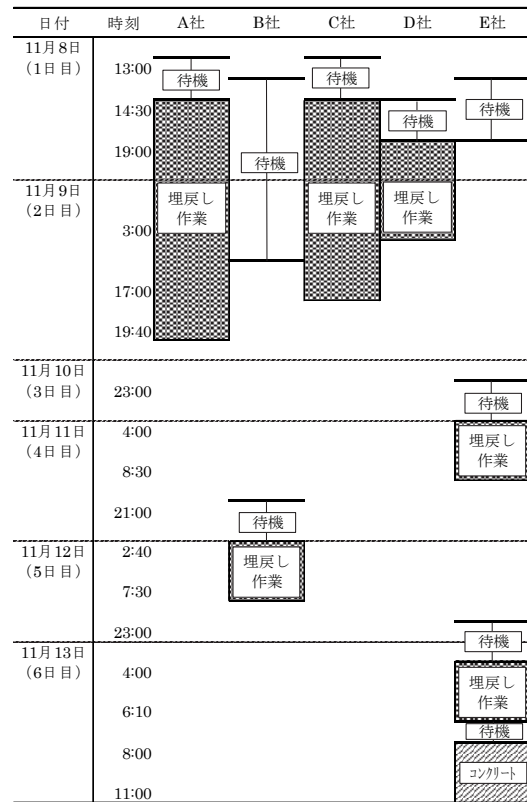


図-3 ポンプ車による埋戻し作業の流れ

4. おわりに

陥没直後から5日間、昼夜にわたり約3400m<sup>3</sup>の流動化処理土による埋戻しを行った。砕石や土砂ではなく流動化処理土を採用したことが早期復旧のポイントの1つになった。砕石や土砂であれば、巻き出し・転圧・締固め管理が必要になるなど、施工が煩雑となり1週間での道路開放はなかったと思われる。また、プラント6社の協力の下、刻々と変わる施工状況に応じて、大量の流動化処理土、ポンプ車等の資機材、ポンプオペレータ等の作業員を迅速に用意できたことも、早期復旧の一つの要因と考えており、当協同組合が短期間の道路開放に貢献できたことは喜ばしい限りである。

大規模な事故であったが、発生初度の現場の迅速な判断と行政との連携による早期の立入規制、避難勧告により、一人の負傷者も出ることがなかったことは不幸中の幸いであった。今後は、県や市など自治体との災害協定も視野に入れ、緊急時に圧送業界として万全の体制がとれるよう検討していきたい。

\*1 福岡佐賀コンクリートポンプ協同組合 理事長/久留米圧送, \*2 九州圧送, \*3 小宮圧送, \*4 南筑圧送, \*5 福岡協立, \*6 ヘイワ技建, \*7 東宝リース, \*8 ナンキュウ, \*9 新星興産, \*5 ゼンコー産業



# 報告 風化させてはならない東日本大震災 — 教訓からの対策 —

○薄 賢史\*<sup>1</sup>      ○山川 進\*<sup>2</sup>      遠藤 光一郎\*<sup>3</sup>  
 中塩 亮尋\*<sup>4</sup>      高橋 篤\*<sup>5</sup>      三浦 義幸\*<sup>6</sup>  
 堀内 高美\*<sup>7</sup>      佐藤 潤\*<sup>8</sup>      澤村 武\*<sup>9</sup>

災害                      復旧・復興工事                      業界組織  
 助成制度                      災害防止協定

## 1. 震災時の被害状況

平成 23 年 3 月 11 日 14 時 46 分、三陸沖でマグニチュード 9.0 のエネルギーを持つ東日本大震災が発生した。宮城県内では、震度 6 以上の地震が各地で発生し、地震による揺れだけでなく、地殻変動や地盤沈下などによってライフラインも寸断された。また、この地震でさらに被害を拡大させたのは、10 メートルを超える津波だった。圧倒的な量と破壊力を有する水が街・家・人を飲み込むその様は、まさにこの世の終わりのような光景だったと言える（写真-1）。

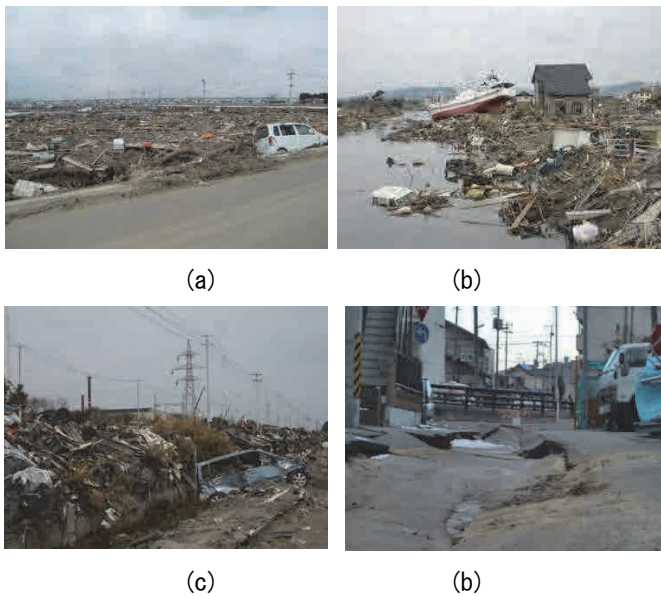


写真-1 震災直後の被災地の状況

(a) 石巻・矢本地区 (b) 石巻・大曲地区  
 (c) 仙台港付近 (d) 石巻市内・住宅街

その結果、東日本大震災は戦後史上最大の災害となり、2017 年 9 月 1 日時点で死者数は 19,575 人、行方不明者に至っても 2,577 人となり、非常に甚大な被害となった。建物に関しても、半壊では 280,326 棟、全壊では 121,766 棟、一部損壊では 744,269 棟が被害を受け、現在でもまだ多くの方が仮設住宅から抜け出せない状況にある。多大な爪痕を残した東日本大震災での被害金額は 9 兆円を上回った。

特に、沿岸部の被害は甚大であり、完全な復興と言える状態になるのは何十年も先になると予想される（写真-2）。



(a) (b)

写真-2 震災直後の建築物の倒壊の様子

(a) 石巻駅付近 (b) 仙台・七北田川下流付近

宮城県内の圧送業者 14 社で組織する宮城県コンクリート圧送協会においては、震災時には沿岸部に事務所を構えるほぼ全ての事業者が被害を被った。

各社ごとに被害の状況は異なるが、事務所の床上浸水、事務機器・備品全ての損失、ポンプ車・トラック・家用車の流失などの被害を受け、事業所の運営機能はことごとく失われた状況にあった（写真-3、写真-4）。

未曾有の大災害に直面し、多くの人は平静とは言い難い環境と精神状態を強制されることとなった。東日本大震災は多くの人々にとって、悪い意味で忘れられない災害となったと言えるだろう。



写真-3 志津川付近にて津波で大破したポンプ車



写真-4 仙台市内にて津波で大破したポンプ車

## 2. 震災時の活動状況

東日本大震災の被害を受け、宮城県コンクリート圧送協会でも、各社の被害状況の実態の把握はできたが、今までどおりの事業をすぐに動かすことはできなかった（写真-5）。



写真-5 震災直後の会員会社の事務所の様子

震災発生時から3日ほどはライフラインが断絶され、最優先とした各社全員の安否確認が最終的にとれるまでには、1週間から10日ほどの日数を要した。特に、電気の復旧に時間を要したことが、安否確認が遅れた大きな原因であった。

被災地が混乱の渦中にあるこのような状況下でも、宮城県コンクリート圧送協会では、ライフラインや道路などの生活の基盤となるものから復旧作業に尽力した。各社で動きは異なるが、当時の事例として、震災から4日後には倒壊したガス施設の架台の補強、10日後には崩壊した擁壁の打ち直し、2週間後には地盤沈下に対するエアモルタルの注入など、各地の災害復旧工事に取りかかっている。

そして、震災発生から1ヶ月ほど経った頃には、コンク

リートポンプ車を使用して、駐車場などにたまった汚泥の洗浄作業を行ったり（写真-6、写真-7）、とび・土工、足場解体の手伝いをしたり、瓦やブロックの災害復旧工事に従事するなど、各社それぞれ事業を継続するため、圧送業以外の仕事を行うことにシフトしていった。



写真-6, 写真-7 汚泥の洗浄作業の様子

圧送工事の受注は、震災から2~3ヶ月ほど時間が経過してから少しずつ増加していったが、本格的な受注には半年ほどの時間を要している。こうした動きをみても協会各社のほとんどが、震災からしばらくの間は、ライフラインに関わる緊急復旧工事を除いてコンクリート圧送業者としての仕事はなく、ほぼ休業状態を余儀なくされた。

このような状況下の中、宮城県コンクリート圧送協会としては、従業員の雇用と会社を維持するため、政府の雇用調整助成金の利用を各社に推進した。雇用調整助成金は、景気の変動や産業構造の変化などの経済上の理由によって事業活動の縮小を余儀なくされた場合に、労働者の雇用の維持を図る事業主を対象とした制度であるが、東日本大震災により被災した企業において有用な制度となった。諸条件はあるが、雇用者に対して8割の賃金を助成金によって保証することができ、その結果、協会各社とも会社都合による離職者を出すことがなかったのが幸いであった。

## 3. 震災後の復旧・復興工事の状況

震災から1年ほどは、宮城県内の建設産業においても宮城県コンクリート圧送協会においても、本格的な復旧作業

というより被災地のクリーン化が大きな目的となっていた。建設業全体の取り組みとして、瓦礫の撤去による寸断したライフラインの復旧など、日常生活への足掛かりを作る作業に追われる日々となった。

震災から2年目になり、復旧・復興への本格的な提案・取り組みが始まり、被災地における大規模な工事の計画が次々と策定された。混乱した状況から回復しつつ、被災地の現状を受け止め、東日本大震災後によって失われた住宅の代わりとなる仮設住宅の建設も急速に増加していった。その後、本格的な復興工事がスタートし、街づくりや宅地造成、失われた公共物の再建、道路の新設など、宮城県コンクリート圧送協会でも忙しい日々が訪れることとなった（写真-8～写真-11）。



写真-10 仙台市・白鳥防災避難タワー



写真-8, 写真-9 南蒲生浄化センター  
災害復旧工事の様子

復興工事の本格化を受け、協会員の中でも被害が大きかった企業4社では、宮城県コンクリート圧送協会の支援により、中小企業等グループ施設等復旧整備補助金の申請手続きを開始した。この補助金は、流失した機材や設備・建物など、復興計画において必要不可欠な施設物を現状復旧するための必要経費を最大で3分の4まで支援する補助金



写真-11 仙台市荒浜港付近・吉田浜防潮堤

である。

ただし、受給を受けるための要件や条件は容易なものではなく、協会によるバックアップがなければこの補助金の認定を受けることはできなかったであろう。

こうした協力の動きは、その後も生かされ、宮城県コンクリート圧送協会が各社の近況状況を把握し、工事に対応しきれない場合は他社に応援要請を行う、従来よりも強い“絆”を持つ体制が出来上がった。これは、宮城県コンクリート圧送協会という組織としての取り組みが功をなした結果と言えるだろう。現在では、復興工事は落ちつきつつあるが、各社の受注工事のスケジュール状況に応じて、様々な調整を行うようになった。

### 3. 宮城県の圧送業界の現状

現在の宮城県内の圧送工事は、仙台市内では落ちつきつつあり、復興工事はほとんど終了し震災前の状況に戻ったといえる。しかし、気仙沼市や石巻市などの沿岸部においては、震災関連の土工事の進捗率は50%前後であり、本格的な復旧にはまだ遠い状況にある。

建築工事においては、沿岸部の都市で復興公営住宅などの建設が大分進んでいるが、それでもまだ被災者全体をカ

バーするほどの進捗状況ではなく、仮設住宅がゼロになる未来もまだ見えていない。

また、震災から歳月が過ぎてしまったことにより、沿岸部の人口流失は激しく、土工事による復旧作業が終わる頃には、以前のような商業施設の再開や新たな街を形成していくという動きは縮小されていくことだろう。

また、建設業界全体の課題とされている人材不足と技術・技能の継承への危惧は、わかりやすい形で浮き彫りとなっている。宮城県コンクリート圧送協会においても、技術・技能があったとしてもそれを引き継ぐ者が居ないという状況が大きなネックとなってきている。

いずれは建設工事に対する需要と供給のバランスは崩れ、受注時に値下げ要求をされる場面も出てくるであろう。今まで以上に組織力の高い協会作りを形成し、会員各社の原価意識を維持することに努めていかなければならない。

#### 4. 未来のために

今回の震災を受けて、宮城県コンクリート圧送協会としてさらに強力な体制を整えるため、県や市と災害防止協定を締結することを目標としている。協定が締結できれば、

宮城県コンクリート圧送協会そのものが災害防止や拡大防止に直接参入して活動することが可能になるため、県民や市民に対して圧送業界から安心・安全を供給できると考えている。

また、宮城県コンクリート圧送協会では現在、インターネットでの掲示板やメール、LINEなどを活用した緊急連絡体制の構築ができています。大規模な災害発生時においても容易に連絡を取ることが可能であり、安否の把握も迅速に行える体制ができたといえる。

今後は、BCP（事業継続計画）の策定を検討し、より災害対策の明確化を図っていきたいと考えている。

最後に、協会が抱える大きな課題として、働き方改革と魅力ある職場環境への改善がある。この課題を解決するため、すでに若手経営者を中心とした協議会を発足して検討を重ねているが、壁は高い。優秀な技能者を確保・育成し、働く者に魅力ある企業として存続するためには、適正な圧送工事原価を確保・維持していくことが必須要件である。

山積みの課題を解決するため、“絆”の力で困難に立ち向かっていきたいと考えている（写真－12 参照）。



写真－12 宮城県コンクリート圧送協会役員一同

- \*1 宮城県コンクリート圧送協会 理事 / 第一圧送 専務取締役,  
 \*2 宮城県コンクリート圧送協会 監事 / ヤマコン仙台支店 支店長,  
 \*3 宮城県コンクリート圧送協会 会長 / 小野光商事 代表取締役,  
 \*4 ヤマコン宮城 専務取締役, \*5 中央圧送 専務取締役, \*6 三浦産業圧送 専務取締役,  
 \*7 山孝建材 専務取締役, \*8 ミヤギミニポンプ 専務取締役, \*9 トミヤ 代表取締役

# 報告 施工管理者を対象としたコンクリートポンプ工法に関する技術講習会の実施報告

○長谷川恭裕<sup>\*1</sup> 中田 善久<sup>\*2</sup>  
 長谷川員典<sup>\*1</sup> 河崎 慎吾<sup>\*1</sup>  
 住井 次郎<sup>\*1</sup> 宮田 敦典<sup>\*3</sup>

講習会 施工管理者 現場作業  
 トラブル 事故事例 アンケート

## 1. はじめに

東海地区コンクリート圧送有限責任事業組合では、当組合の基本理念である「革新的な共同事業により、新しい圧送業を創造し専門工事業者として建設業の健全な発展に貢献する。」の一環として、平成29年6月10日(土)に「施工管理者のための圧送計画の第一歩」と題した技術講習会を実施した。本報告では、本講習会の開催目的、講習会の概要に加え、当日に聴講者から得られたアンケート結果について報告する。

## 2. 技術講習会の開催目的

圧送業界全体として、圧送技術、技能の向上、労災事故の防止および人材育成に力を入れているものの、現場に常駐しない圧送業は、現場の中でも理解されにくい業種の一つとなっている。そこで、当組合は、本技術講習会をきっかけに、圧送技能者の建設現場における段取りから一連の作業の流れ、トラブル時の対応、多発している事故などを施工管理者に理解していただき、圧送業者と施工管理者とのコンクリートポンプ工法の共有の第一歩となることを目的として技術講習会を開催した。

## 3. 講習会の内容

講習会は、平成29年6月10日(土)に名古屋国際会議場(4階 レセプションホール)にて開催し、全国から約300名が参加した。講習会の内容は、1部「ポンプに使われるコンクリートの知識」、2部「安全な圧送計画のために」の2部構成とし、1部「ポンプに使われるコンクリートの知識」でコンクリートの基本から調査、圧送による品質変

化について解説し、2部「安全な圧送計画のために」でコンクリートポンプ工法の基本に加え、圧送計画の立案方法(1日の打込み量の決定、圧送負荷の算定方法など)、近年多発しているコンクリートポンプにかかわる事故・トラブルなどについて解説した。

## 4. 聴講者向けアンケート

### 4.1 アンケートの概要

アンケートは、講習会に参加した約300名に配布し、講習会終了後に回収した。回答数は198件であった。調査項目および設問項目を表-1に示す。調査項目は、参加者の属性および講習会に関する事項とし、講習会に関する設問内容は、講習会の参加に関する事項および講習内容の業務への有用性とした。

### 4.2 アンケートの結果

#### (1) 参加者の属性

参加者の属性を図-1に示す。参加者の性別は、97%が男性であり、世代的には20代から60代までの幅広い世代の施工管理者が参加した。参加者の職種は、土木系技術

表-1 講習会のパンフレット

調査項目	設問項目
参加者の属性について	(1)性別 (2)年齢 (3)職種 (4)年間で扱うコンクリート量
講習会について	(1)講習会開催を知ったきっかけ (2)参加を決めた理由 (3)講習会の理解度 (4)業務への有用性 (5)業務に役立つと感じた内容 (6)講習会の満足度 (7)次回以降の参加の意欲

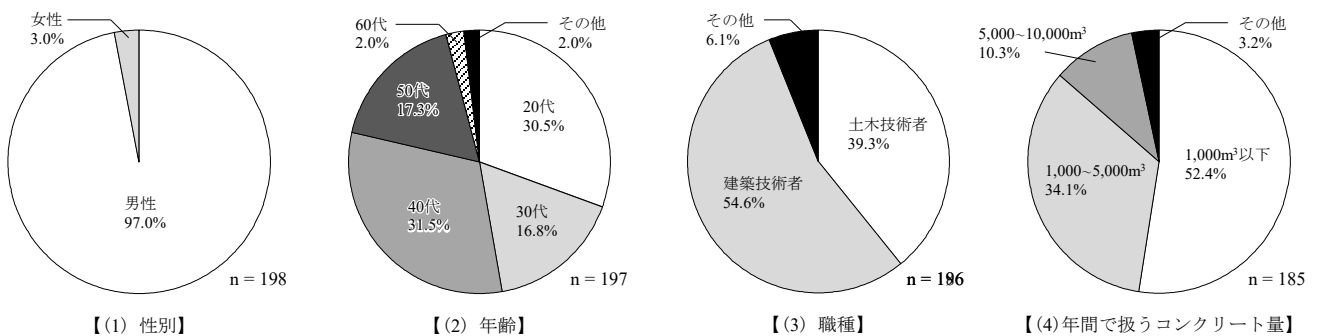


図-1 参加者の属性について

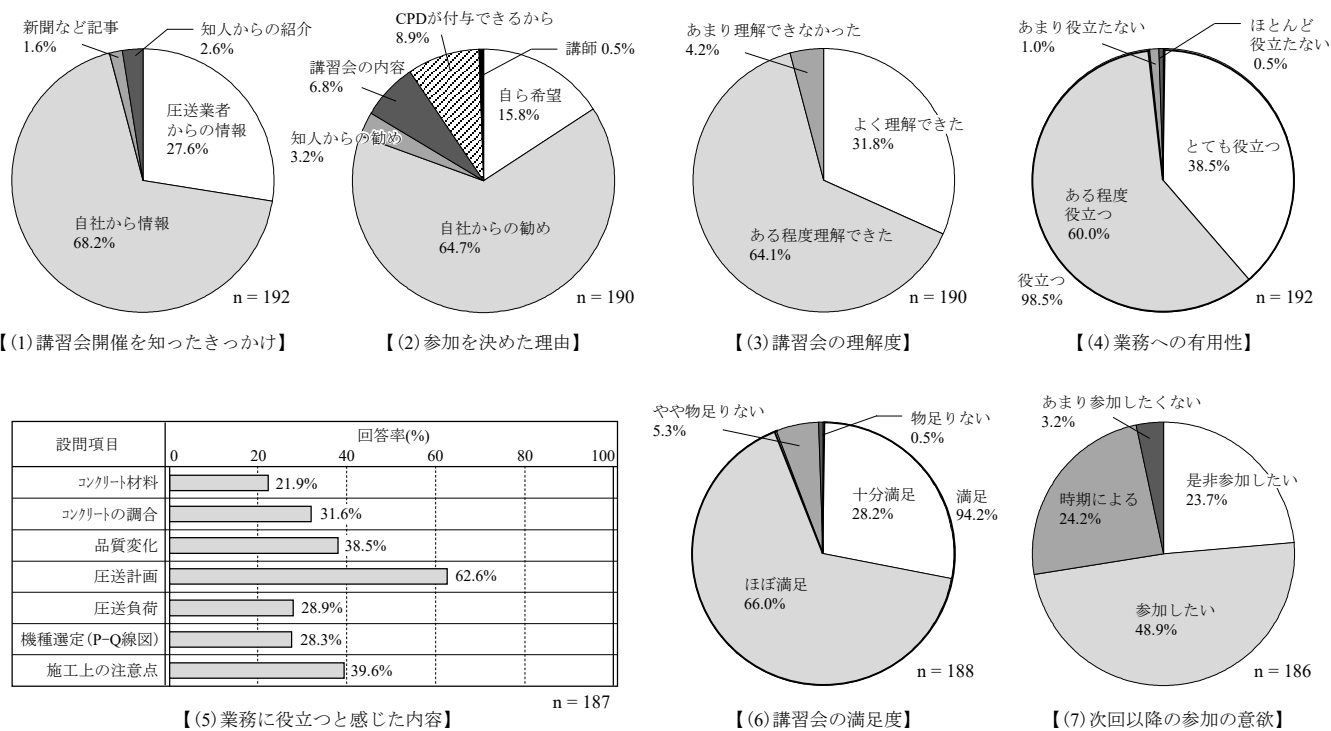


図-2 講習会に関するアンケート結果

者が39.3%であり、建築系技術者が54.6%であった。また、参加者は、施工管理者だけではなく、圧送業以外の専門工事業者や資機材メーカーからの参加も見られた。参加者が年間で扱うコンクリート量は、1,000m<sup>3</sup>が最も多く、全体の過半数以上であり、参加者の中には最大で30,000m<sup>3</sup>という回答も見られた。

(2) 講習会について

講習会に関するアンケート結果を図-2に示す。

講習会開催を知ったきっかけは、“自社からの情報”が68.2%と最も多く、続いて“圧送業者からの情報”が27.6%と多かった。これは、本講習会の開催に際し、当組合から施工会社を主とする関連企業に案内状を配布したことによるものである。

参加を決めた理由は、“自社からの勧め”が64.7%と最も多く、施工会社の圧送工事における技術の向上や労災事故の防止の意向がうかがえる。また、“自ら希望”の回答や“CPDが付与できるから”という回答も多く見られた。

講習会の理解度は、“よく理解できた”および“ある程度理解できた”の回答が合わせて95.9%であった。

講習会が日頃の業務に役立つとする回答は、“とても役立つ”および“ある程度役立つ”を合わせて98.5%であった。

業務に役立つと感じた内容は、圧送計画が62.6%と最も多く、続いて施工上の注意点や品質変化が多かった。実際

の施工現場において、圧送工事の技術的事項は、圧送従事者に移管される傾向があるため、本講習会をきっかけに施工管理者と圧送従事者の連携をとり、更なる工事が円滑にかつ安全に進められることを期待する。

講習会の満足度は、“十分満足”および“ほぼ満足”の回答が合わせて94.2%であった。本講習会の開催は、参加者にとって有用であったといえる。

次回以降の参加の意欲は、“是非参加したい”および“参加したい”を合わせて98.5%であった。引き続き、本講習会のような技術的な講習会を実施することが必要であると考える。

5. 講習会を終えて

コンクリート圧送工事の安全と品質の確保のために、業種を超えた情報の共有が重要であると考えており、今回の講習会は、その足掛かりとなる有意義な時間になったと自負している。当組合は、今後も引き続き情報の共有の場を設け、更なる信用と信頼の向上を目指し様々な取組みを行う予定である。

最後に、本講習会に参加いただいた方々ならびに開催にあたり多大なるご協力をいただいた全国コンクリート圧送事業団体連合会事務局をはじめとする関係者各位に、この場を借りてお礼申し上げます。

\*<sub>1</sub> 東海地区コンクリート圧送有限責任事業組合, \*<sub>2</sub> 日本大学理工学部建築学科 教授, 博士 (工学), \*<sub>3</sub> 日本大学理工学部建築学科 助手, 修士 (工学)

# 報告 神奈川県を対象としたコンクリートの圧送性に関するアンケート調査

○ 田中 徹<sup>\*1</sup> 中田 善久<sup>\*2</sup>  
宮田 敦典<sup>\*3</sup>

圧送性                    圧送業者                    アンケート  
閉塞                      神奈川県                    圧送業者

## 1. はじめに

コンクリートポンプ工法におけるコンクリートの圧送性は、コンクリートの調合や圧送条件などのいろいろな要因によって左右される。これらの要因は、「コンクリートポンプ圧送マニュアル」をはじめとする指針やマニュアルにも解説されているものの、実際の施工現場において、コンクリート圧送従事者が感じている圧送性の実態は十分に把握されているとは言い難い。このような背景を鑑みて、筆者らの一部は、東海地区を対象としてコンクリートの圧送性に関するアンケート調査を実施してきた<sup>1)</sup>。

本報告は、アンケート調査の対象を神奈川県における圧送施工に携わっている圧送従業者として、コンクリートポンプの施工の実状や直面している課題などを調査することを目的とした。

## 2. アンケート調査の概要

アンケート調査期間は、平成27年3月から平成27年4月とした。

### 2.1 調査項目および設問項目

調査項目および設問項目を表-1に示す。調査項目は、圧送施工に関連する「コンクリートの圧送性に関する意識」

表-1 調査項目および設問項目

調査項目		設問項目
回答者の属性		(1) 経験年数 (2) 保有資格
コンクリートの圧送性に関する意識	1日の圧送作業中における差異	(1) 一時的な圧送性の差異 (2) 圧送性の差異が生じる要因
	レディーミキストコンクリート工場の差異	(1) 圧送性の差異 (2) 圧送性の差異を感じる頻度 (3) 圧送性の差異が生じる要因
閉塞の実状		(1) 閉塞の経験の有無 (2) 閉塞の頻度

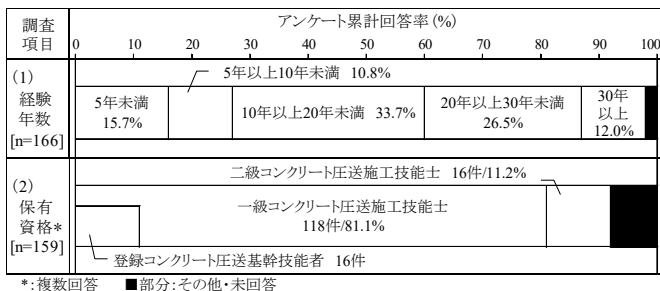


図-1 回答者の属性

および「閉塞の実状」とした。コンクリートの圧送性に関する意識の調査項目は、「1日の圧送作業中における差異」および「レディーミキストコンクリート工場の差異」とし、設問項目は、圧送性の差異とその要因に関する事項とした。閉塞の実状の設問は、閉塞の経験の有無および閉塞の頻度とした。なお、回答にあたって対象とする圧送作業は、ブーム先端からの延長配管を含む配管による圧送としている。また、設問形式は、選択式もしくは記述式とした。

## 2.2 アンケートの対象者

アンケートの対象者は、神奈川県のコンクリート圧送業者から構成される神奈川県コンクリート圧送業共同組合の圧送従事者とした。アンケートの回答数は、圧送従事者166名であった。

## 3. 回答者の属性

回答者の属性を図-1に示す。

### (1) 経験年数

回答者の経験年数は、「10年以上20年未満」が33.7%と最も多く、経験年数10年以上が全体の約72%を占めた。また、経験年数10年未満が26.5%であった。これらのことから、当組合は、コンクリートポンプによる圧送施工の十分な経験を有している技能者が多く、さらに、本調査は、経験年数の少ない技能者の回答を含めた包括的な回答が得られたといえる。

### (2) 保有資格

保有資格は、「一級コンクリート圧送施工技能士」が81.1% (118名) と最も多く、このうち「登録コンクリート圧送基幹技能者」が16名であった。

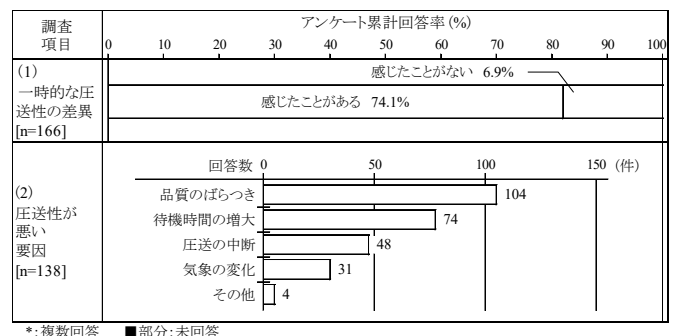


図-2 1日の圧送作業中における圧送性の差異

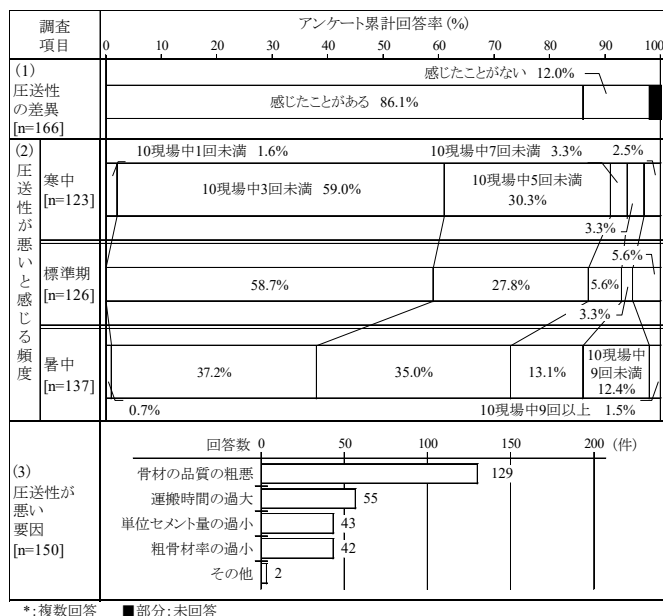


図-3 レディーミクストコンクリート工場の違いによる圧送性の差異

#### 4. コンクリートの圧送性に関する意識

##### 4.1 1日の圧送作業中における差異

1日の圧送作業中における圧送性の差異を図-2に示す。1日の圧送作業中に「一時的な圧送性の差異を感じたことがある」が74.1%を占めており、これは、圧送従事者の多くが1日の圧送作業中における一時的な圧送性の差異を感じることを示している。この圧送性の差異を生じる要因は、「コンクリートの品質のばらつき」が最も多かった。これより、圧送従事者が「長時間に渡る待機時間」、「圧送の中断」などの施工現場特有の要因や、「気象の変化」などの環境条件による要因よりも、レディーミクストコンクリートの品質による要因の方が圧送性に及ぼす影響が大きいと感じていると思われる。

##### 4.2 レディーミクストコンクリート工場の差異

レディーミクストコンクリート工場の違いによる圧送性の差異を図-3に示す。レディーミクストコンクリート工場の違いによる「圧送性の差異を感じたことがある」が86.1%を占めており、技能者の多くがレディーミクストコンクリート工場の違いによる圧送性の差異を感じている。この圧送性の差異を感じる頻度は、時期によって異なり、暑中、標準期、寒中の順で高かった。また、暑中における圧送性の差異を感じる頻度は、10現場中5回以上が27%を占めており、その頻度が高いことが伺える。暑中に閉塞が多い理由は、外気温が高いことによりスランプが低下しやすくなるためと思われる。

コンクリートの圧送性の差異が生じる要因は、「骨材の品質の粗悪」が最も多く、圧送従事者の多くがコンクリー

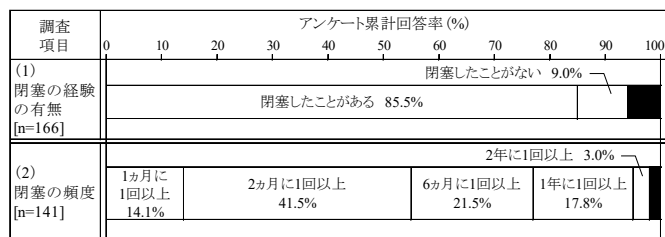


図-4 閉塞の経験の有無および頻度

トの骨材に問題があると感じていることがわかる。また、レディーミクストコンクリートの調合による要因である「単位セメント量の過小」や「細骨材率の過小」も多かった。このように、レディーミクストコンクリートの使用材料や調合に関する回答が多かったことは、圧送従業者がフレッシュコンクリートのワーカビリティの相違に敏感であることが考えられる。

#### 5. 閉塞の実状

閉塞の経験の有無および頻度を図-4に示す。「閉塞を経験したことがある」が85.5%となった。これは、永田らの調査<sup>2)</sup>において、閉塞を経験した圧送従業者が30%~40%であった結果に対して著しく多く、神奈川県において閉塞を経験したことがある圧送従業者が多いことがわかった。閉塞の頻度は、1か月に1回以上が約40%となった。

#### 6. まとめ

##### (1) コンクリートの圧送性に関する意識

技能者は、1日の圧送作業中やレディーミクストコンクリート工場の違いによって圧送性の差異を感じており、この要因としてコンクリートの品質のばらつきを挙げる回答が多かった。また、レディーミクストコンクリート工場の違いによる圧送性の差異を感じる頻度は、暑中に多く、2現場中1回以上が27%であった。

##### (2) 閉塞の実状

圧送施工における閉塞は、神奈川県における圧送従業者の多くが経験しており、既往の報告に比べて著しく多い結果であった。また、閉塞の頻度は、1か月に1回以上が約40%となった。

本アンケート調査の結果は、既報<sup>1)</sup>の結果と概ね同様の傾向であり、都心部におけるコンクリートの圧送性に対する意識に著しい違いはないものと考えられる。

#### 参考文献

- 1) 宮田敦典, 中田善久, 大塚秀三, 荒巻卓見: 東海地区の圧送業者を対象としたコンクリートポンプ工法における閉塞に関するアンケート調査, 日本建築学会技術報告集, 第22巻, 第50号, pp.1-4, 2016.2
- 2) 永田哲夫, 高見錦一, 山崎順二, 中村成春, 木村芳幹, 岸繁樹: 近畿地区における圧送従事者への閉塞事例に関するアンケート調査の分析 その1 アンケートの概要と圧送作業の現況, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.589-590, 2014.9

\*<sup>1</sup> 神奈川県コンクリート圧送業協同組合 理事, \*<sup>2</sup> 日本大学理工学部建築学科 教授, 博士 (工学), \*<sup>3</sup> 日本大学理工学部建築学科 助手, 修士 (工学)



# 報告 東海地区の圧送業者を対象とした圧送計画の立案方法に関するアンケート調査

○河崎 慎吾<sup>\*1</sup> 中田 善久<sup>\*2</sup>  
 住井 次郎<sup>\*1</sup> 大塚 秀三<sup>\*3</sup>  
 宮田 敦典<sup>\*4</sup>

圧送計画 圧送業者 アンケート  
 東海地区

## 1. はじめに

圧送作業を円滑に行うためには、作業手順や安全・環境問題など、工事内容に合わせて不備のない圧送計画を立案することが重要であり、あらかじめ施工管理者と綿密な打合せを行い、十分に協議する必要がある。しかし、実際の圧送工事において、圧送業者がどのような内容の圧送計画をどのように立案しているか不明な点が多い。

そこで、本報告は、圧送計画の実態を明らかにするために、東海地区コンクリート圧送有限責任事業組合に加盟する圧送業者を対象に圧送計画の内容およびその立案方法についてアンケート調査した。

## 2. アンケート調査の概要

本アンケート調査は、平成28年2月から3月に実施し、37社に配布し、36社(97.3%)の回答を得た。

## 3. 調査結果および考察

### (1) 圧送計画の立案について

圧送計画を立案する条件を図-1に示す。元請会社から圧送計画の要求される事例で最も多いのは、工事内容にかかわらず、元請会社の社内規定という回答であり、全体の41.9%であった。また、圧送条件やコンクリートの種類によって要求されるという回答が約25%であり、特殊な圧送条件やコンクリートの種類などの圧送が困難となる場合に圧送計画を立案する事例が多いことが読み取れる。自社において自主的に圧送計画を立案するときは、圧送経験のないコンクリートの種類や配管計画の場合が最も多く、全体

の41.9%であった。また、圧送計画を必ず立案するとしての回答が約10%であり、圧送作業を円滑に遂行しようとする意向が伺える。

圧送計画書の記載内容を図-2に示す。圧送計画書に記載する項目として、「ポンプの機種」、「作業員の配置」および「残コンの処理方法」を必ず記載するとしての回答がいずれも約半数を占めており、これらの項目が元請会社および圧送業者の両者にとって重要項目であることが伺える。一方、「圧送負荷」や「ポンプのP-Q線図」は、必ず記載するとしての回答が少なく、反対に、記載したことがないとした回答が30%以上であった。これは、元請会社にとって、圧送作業を円滑に遂行する上で、これらの項目が直接的に影響しない要因であることや、算出方法が他の項目と比べて複雑であることが考えられる。

### (2) 管内圧力損失、圧送負荷の算定方法について

管内圧力損失の算定方法を図-3に示す。管内圧力損失の算定方法は、「社内の実績」が最も多く、建築工事および土木工事のいずれも約30%を占めた。これは、各種指針やテキストにおいて管内圧力損失の標準値は示されているものの、管内圧力損失は圧送するコンクリートによって異なるため、どの値を用いればよいか不明確であることが影響しているものと考えられる。また、管内圧力損失の算出方法は、建築工事および土木工事で参照される指針・テキスト等の割合に僅かに違いがあるものの、全国コン

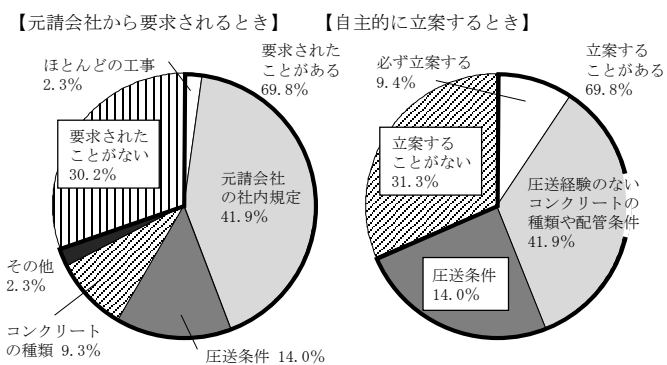


図-1 圧送計画を立案する条件

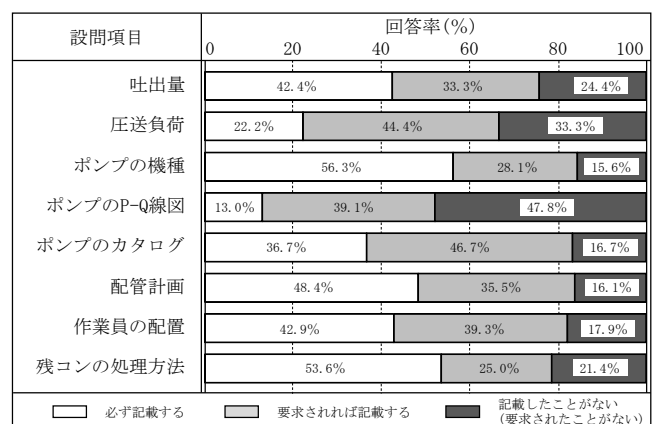


図-2 圧送計画書の記載内容

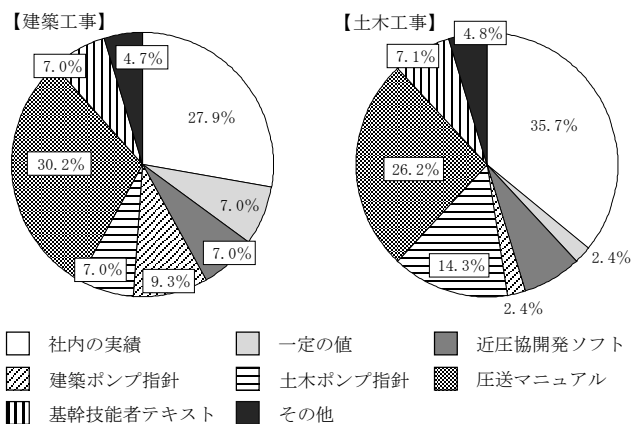


図-3 管内圧力損失の算定方法

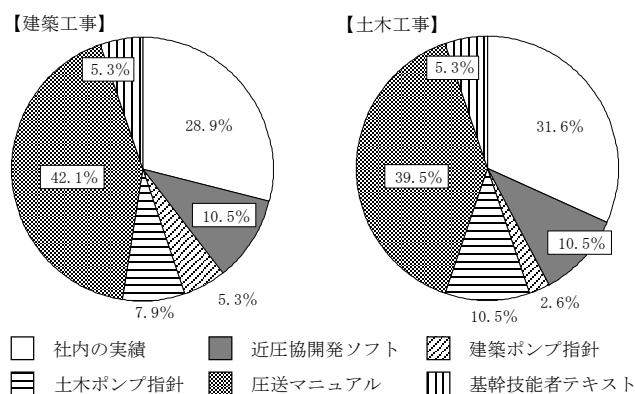


図-4 圧送負荷の算定方法

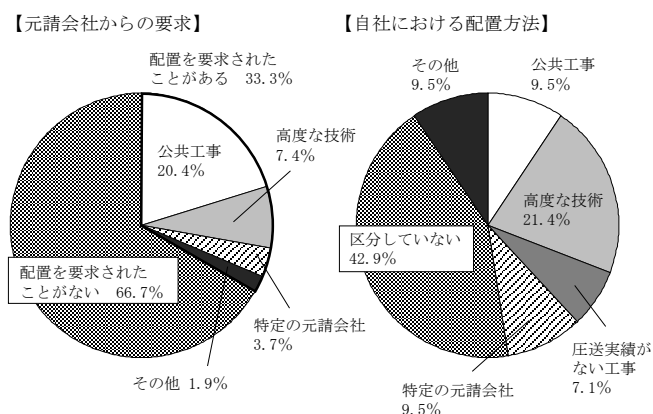


図-5 登録基幹技能者の配置方法

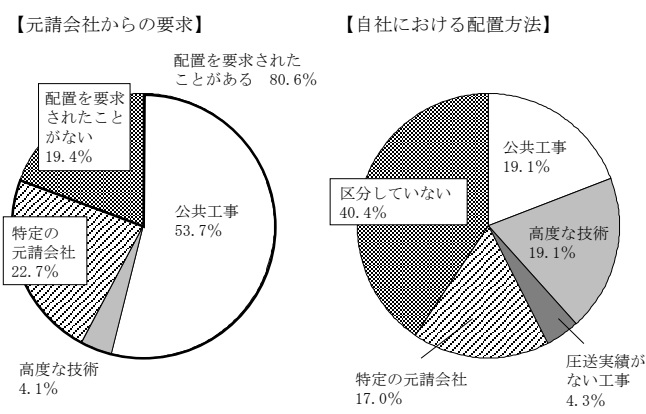


図-6 一級圧送施工技能士の配置方法

クリート圧送事業団体連合会「コンクリートポンプ圧送マニュアル」(以下、「圧送マニュアル」)が多い結果であった。

圧送負荷の算定方法を図-4に示す。圧送負荷の算定方法は、建築物および土木工事のいずれにおいても、「圧送マニュアル」が多く、圧送マニュアルが圧送技能者の実用的手引書として広く参照されていることが伺える。また、圧送負荷の算定方法は、「社内の実績」が約30%を占めており、管内圧力損失の算定方法と同様に、経験に基づいて算出している回答が多かった。

### (3) 有資格者の配置方法について

登録基幹技能者の配置方法を図-5に示す。元請会社から登録基幹技能者の配置を要求されたことがあるとした回答が33.3%であり、配置を要求されたことがないとした回答を下回る結果であった。これより、ある一定の能力を担保している目安となっているため、一部の元請会社から評価されている一方で、登録基幹技能者の活用が浸透していないことがうかがえる。また、元請会社から基幹技能者の配置を要求される場合として公共工事が多く、この背景に、国・都道府県の公共工事の総合評価方式における評価・活用が影響しているものと考えられる。自社における登録

基幹技能者の配置は、区分していないという回答が42.9%と最も多く、元請会社からの要求されたことがないとした回答よりも少ないものの、社内においても基幹技能者の評価・活用があまり浸透していないことが伺える。しかし、高度な技術や社内実績のない工事で配置するという回答が一部あり、圧送が困難とされる工事において重要な役割を果たしていることが示唆される。

一級圧送施工技能士の配置方法を図-6に示す。元請会社から一級圧送施工技能士の配置を要求されたことがあるとした回答が80.6%であり、基幹技能者に比べて多い結果であった。また、元請会社から基幹技能者の配置を要求される場合として公共工事が53.7%と最も多かった。自社における一級圧送施工技能士の配置は、区分していないという回答が40.4%と最も多かつたものの、登録基幹技能者と同様に、高度な技術や社内実績のない工事で配置するという回答が多く回答された。

### 4. まとめ

本報告は、東海地区の圧送業者を対象に圧送計画の内容およびその立案方法についてアンケート調査した結果を示した。

\*1 東海地区コンクリート圧送有限責任事業組合, \*2 日本大学理工学部建築学科 教授, 博士 (工学)

\*3 ものつくり大学技能工芸学部建設学科 准教授, 博士 (工学), \*4 日本大学理工学部建築学科 助手, 修士 (工学)

# 報告 近畿地区における圧送従事者への閉塞事例に関するアンケート調査の分析

○共田 昌一\*<sup>1</sup>      高見 錦一\*<sup>2</sup>      中村 成春\*<sup>3</sup>  
 岩清水 隆\*<sup>4</sup>      木村 芳幹\*<sup>5</sup>      山崎 順二\*<sup>6</sup>  
 山田 藍\*<sup>7</sup>      永田 哲夫\*<sup>8</sup>      浅田 武彦\*<sup>9</sup>  
 豊田 裕\*<sup>10</sup>      岸 繁樹\*<sup>11</sup>

コンクリート      圧送      閉塞  
 アンケート

## 1. はじめに

近畿生コンクリート圧送協同組合（以下近圧協）では「全圧連続安全技術講習会」において、2004年からその受講者である近畿地区のポンプ圧送業務従事者の方を対象にアンケートを実施している。

本アンケートは、①安全、技術技能の高揚と向上、②圧送従事者の現状認識と労働環境の改善、③閉塞の実態調査を主な目的として実施している。

アンケートにおける質問項目は、安全作業に関する項目、機器の点検補修に関する事項、発注者（現場）との関係、圧送技能等の制度、会社における労働安全衛生制度の状況、コンクリートの閉塞事例、残コン処理の状況など多岐に渡っている。

ここでは、2011年～2013年のアンケート結果のうち、主に閉塞に関するものについて報告する。

## 2. アンケートの概要と圧送作業の現況

### 2.1 アンケートの概要

表1に本報告で取り上げた主な質問項目を示す。

回答者数およびその内訳を表2に示す。年度ごとの全回答者数は、2011年は546名、2012年675名、2013年は699名であり、3年間の延べ人数は1920名である。全回答者の内、経営者と従業員の区分では1920名中9割強の1750名が従業員である。

また回答者が通常乗務しているポンプ車は、図1に示すように年度による大型車・小型車の割合の変動はほぼなく、

表1 アンケートの内容

No.	質問項目
1	あなたは、主としてどちら(大型車・小型車)に乗っていますか？
2	圧送計画や事前打合せがありますか？
3	あなたは、普段から圧送計画(事前に、現場・生コン工場・圧送業者による協議で、機種・選定・ポンプ設置場所・配管経路・生コンの供給などを決定していく)に基づいて、圧送作業をおこなっていますか？
4	昼の休憩時に、つなぎの生コン車を頼みますか？
5	あなたは、自分が管理しているポンプ車を老朽化していると思っていますか？
6	始業前に、輸送管やジョイントを点検していますか？
7	あなたは、最近、閉塞や配管破裂などのトラブルが多いと思いますか？
8	あなたは、最近の生コンが高強度・高流動などで圧送しにくいと感じていますか？
9	この1年間で、あなたは閉塞を経験しましたか(その時の生コン工場名)
10	上記の場合の生コンの配合等を記入(or言葉に丸を)してください
	(1) 強度 [      ] N・スランプ [      ] cm・骨材寸法 [      ] mm
	(2) 種別 [普通・軽量]
	(3) セメント種別 [N(普通)・L(低熱)・H(早強)・BB(高炉)]
	(4) 季節 [春・夏・秋・冬]
(5) 時間 [午前      時頃・正午      時頃]	
11	上記の場合、閉塞の原因は何だと思いますか？思い当たる項目に意見を書き入れてください
	(1) 時間がたったこと(継時)例・昼休み(      )
	(2) 骨材の粒度分布の変化(      )
	(3) 材料分離(      )
	(4) 混和剤-AE高性能減水剤(      )
流動化剤(      )・早強剤(      )	
(5) その他、また、目視による生コンの状況も記入ください	
12	上記の場合、閉塞箇所はどこですか？
	(1) ピストン切り替え弁(Sバルブ内)・ポンピングチューブ内
	(2) ホッパ吸い込み口
	(3) 7-6 テーパー部      (4) 6-5 テーパー部
	(5) ブーム配管内      (6) 下部曲管
	(7) 上部水平管      5-4 テーパー部      (8) 上部水平管      曲管
	(9) 上部水平管      先端ホースのテーパー管      (10) 上部水平管      先端ホース部
	(11) その他

表2 アンケートの回答者数

	2011年	2012年	2013年	計
回答者数	546	675	699	1920
内従業員	496	611	643	1750
大型車	257	317	338	912
小型車	264	318	325	907

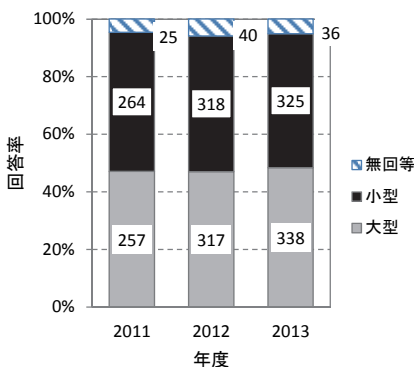


図1 使用ポンプ車

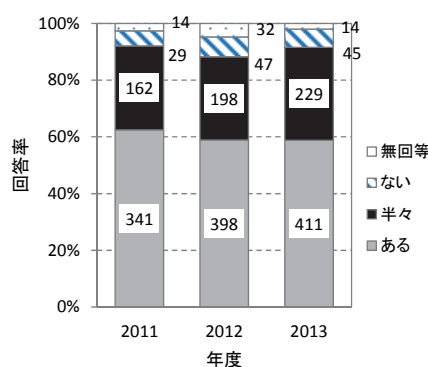


図2 圧送作業の事前協議

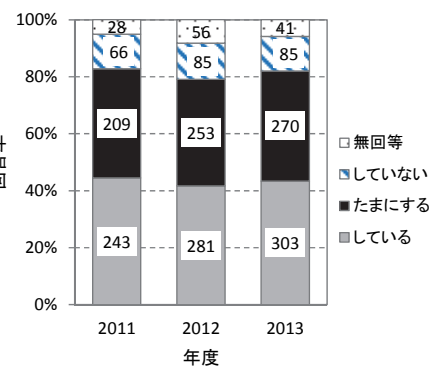


図3 圧送計画の実施

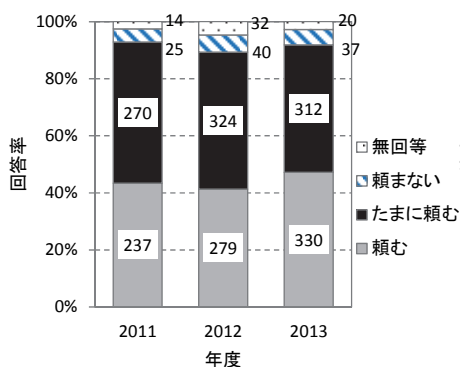


図4 休憩時のつなぎコンクリートの依頼

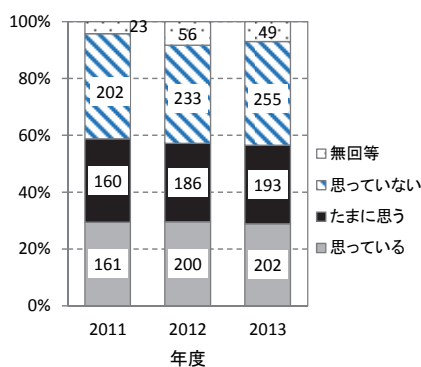


図5 ポンプ車の老朽化

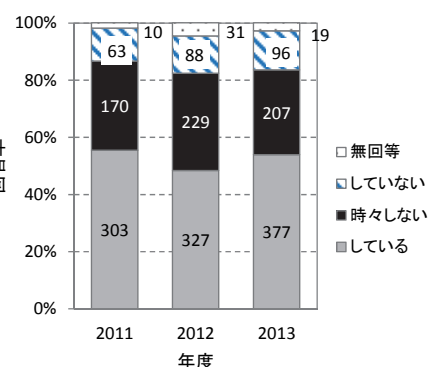


図6 輸送管・ジョイントの点検実施状況

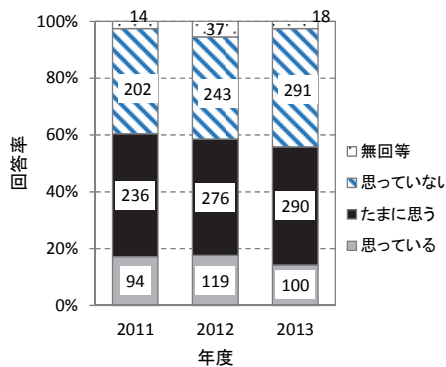


図7 圧送状況トラブル発生状況

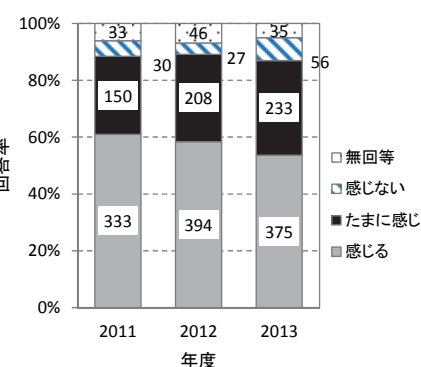


図8 最近のコンクリートの圧送性

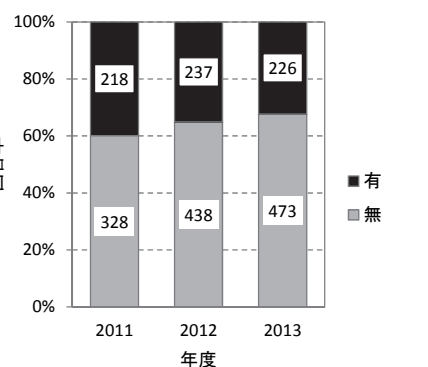


図9 閉塞経験の有無

大型車が延べ 912 名、小型車が延べ 907 名でほぼ同数である。

なお、2013 年調査における近圧協組合員の 8t 以上の大型車保有台数は 237 台、8t 未満の小型車保有台数は 293 台であり、回答と同傾向である。

## 2.2 圧送作業の現況

### (1) 圧送計画

図 2 に示す様に、作業所との圧送作業の事前協議があるとの回答が毎年 6 割程度であり、3 割が半々との回答であった。このことから、圧送作業の事前協議は、ほとんどの工事で実施されていることが分かる。

詳細の圧送計画に基づく圧送作業の実施状況は、図 3 に示すように、4 割以上が事前に現場・生コン工場・圧送業者による協議によって、機種を選定・ポンプ設置場所・配管経路・生コンの供給などを決定し、それに基づき圧送作業を行っている。

図 4 に示すように、昼の休憩時に、つなぎの生コン車を 4 割～5 割の人が頼んでいる。たまに頼む人を含めると 9 割を超える人が閉塞事故防止のためにつなぎの生コン車を頼んでいる。

### (2) ポンプ車の老朽化と点検

図 5 に示すように、約 3 割の人がポンプ車の老朽化を感じている。たまに思う人も含めると半数を超える人が老朽化を感じている。

図 6 に輸送管やジョイントの始業前点検状況を示す。たまにしない人を含めると 8 割程度の人が、輸送管やジョイントの始業前点検を実施している。

### (3) トラブル発生状況

「最近、閉塞や配管破裂などのトラブルが多いと思いますか？」という質問に対し、図 7 に示すように 2 割弱の人がトラブルが多いと思っており、思っていない人は 4 割程度である。

「最近の生コンが高強度・高流動などで圧送しにくいと感じているか？」という質問に対し、図 8 に示すように 5～6 割の人が圧送しにくいと感じており、たまに感じる人を含めると 9 割以上の人が圧送しにくいと感じている。しかし、圧送しにくいと感じていると回答した人の割合は年々減少している。

## 2.3 閉塞事例

図 9 に示すように、過去一年に閉塞を経験したことがある人は、毎年 200 名を超え、3 割～4 割を占めている。しかし、その比率は年々若干ではあるが減少している。

## 3. 閉塞の発生状況と原因

### 3.1 閉塞が発生したコンクリート

閉塞が発生したコンクリートの強度を年度別に図 10 に示す。大阪広域生コンクリート協同組合におけるコンクリ

ートの強度別出荷量 1 万 m<sup>3</sup> に対する閉塞発生頻度を図 11 に示す。出荷量に対して、呼び強度 18 や 21 の低強度のコンクリートにおいて閉塞が発生したとの回答が多い。

閉塞が発生したコンクリートのスランブを年度別に図 12 に示す。大阪広域生コンクリート協同組合におけるコンクリートのスランブ別出荷量 1 万 m<sup>3</sup> に対する閉塞発生頻度を図 13 に示す。特にスランブ 15cm で閉塞が多く、出荷量に対して、比較的低スランブのコンクリートにおいて閉塞が発生したとの回答が多い。

これらのことから、低強度で低スランブの粘性の小さなコンクリートにおいて閉塞が発生しやすいことがわかる。

### 3.2 閉塞の発生季節・時刻

閉塞の発生季節は、一般的に夏が多いと考えられているが、図 14 のように冬の発生が多く回答されており、次いで夏の発生が多く回答されている。

冬は、単位水量の減少など粘性が大きい傾向にあること。また夏は経時変化による硬化がみられるが、圧送従事者も夏は経時変化によって硬化が進みやすく閉塞しやすいとの意識のもと注意して施工を行っていることが考えられる。

閉塞発生時刻は図 15 のように午前中が多い。朝は、生コンの品質が安定しないことが多く、その場合には圧送できるように元請を通じて生コン工場に調整を行っている。そのため、午後は生コンの品質が安定し、閉塞事故が午前と較べて減少する傾向にあるものと推察される。

### 3.3 閉塞の発生箇所

図 16 に閉塞の発生箇所を示す。閉塞箇所はテーパ管部分が 4～5 割を占め、次いでホッパやピストン吸込み口となっている。ベント管や直管での閉塞は少ない。

これらのことから、閉塞の発生原因は、コンクリートの時間経過による硬化や粘性の増加より、コンクリートの材料分離によるものが多いと思われる。

### 3.4 閉塞の原因

図 17 に閉塞の原因を示す。材料分離という回答が 4 割程度であり、粒度分布の変化と時間の経過がいずれも 2～3 割を占める。

材料分離以外の回答に併記されたコメントも材料分離に繋がるコメントが多かった。また、粒度分布の変化という回答に併記されたコメントでは、コンクリート品質の全体の変化について記入されたものが多かった。

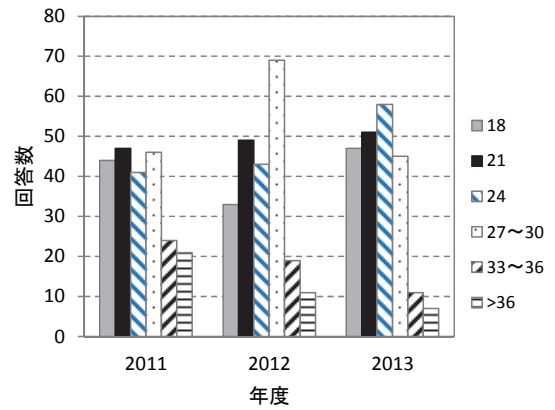


図10 コンクリートの呼び強度

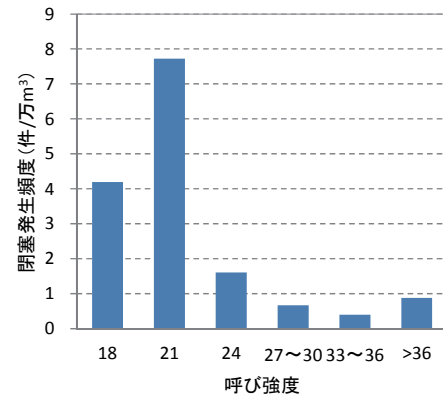


図11 呼び強度ごとの発生頻度

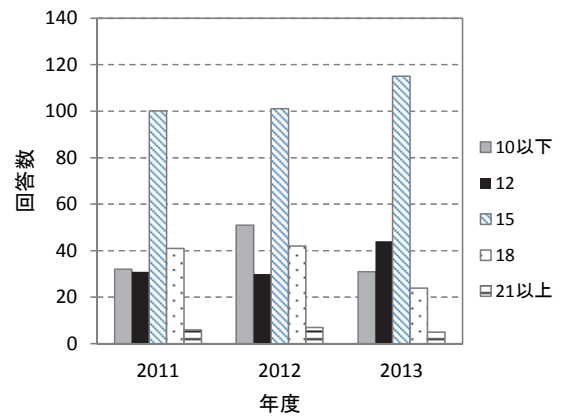


図12 コンクリートのスランブ

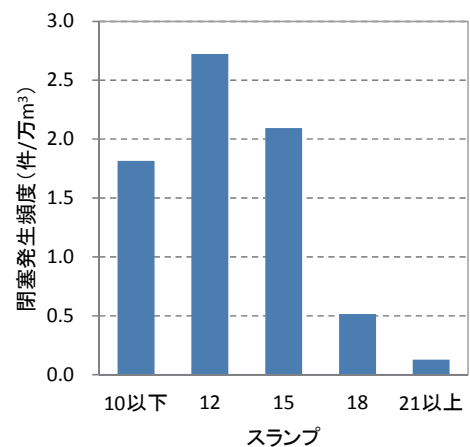


図13 スランブごとの発生頻度

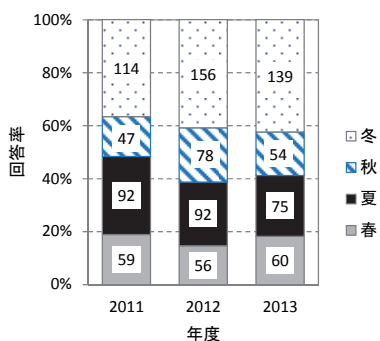


図 14 閉塞発生の季節

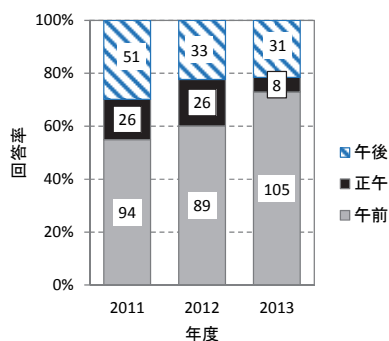


図 15 閉塞発生の時刻

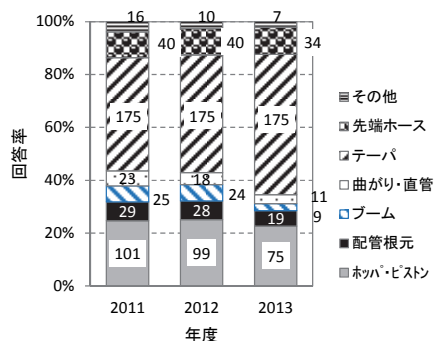


図 16 閉塞が発生した箇所

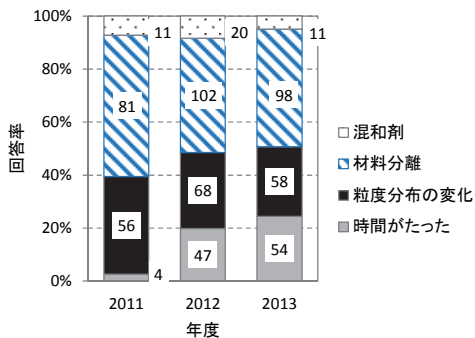


図 17 閉塞の原因

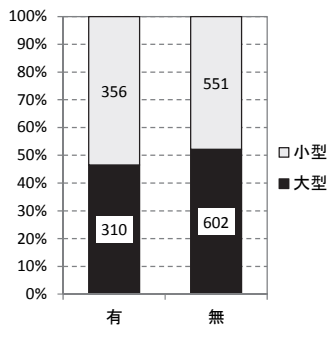


図 18 閉塞有無とポンプ車

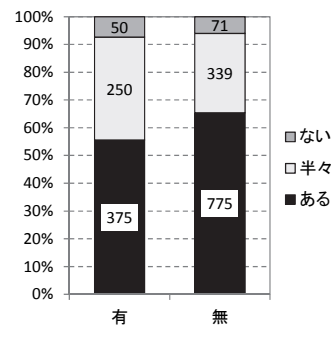


図 19 閉塞有無と事前協議

#### 4. 閉塞の有無とその他の回答

2011年から2013年の3年間の回答において、直近1年間に閉塞が発生したと回答した方が他の設問にどう答えているかについて検討した。閉塞有無によって違いが認められた設問を以下に示す。

##### 4.1 使用ポンプ車

図18に閉塞の有無と使用ポンプ車の関係を示す。全体の回答者は大型と小型がほぼ同数である。閉塞無しと回答した人の大型車と小型車の割合はほぼ同じであるが、閉塞有りとは回答した人は、大型車より小型車の方が若干多かった。これは、小型車はスクィーズ式が多く、大型車はピストン式が多い。この型式の違いによって、閉塞事故の発生頻度に若干の差異が生じたものと考えられる。

##### 4.2 圧送作業の事前協議

圧送作業の事前協議実施状況と閉塞有無の関係を図19に示す。閉塞無しと回答した人の方が、閉塞有りとは回答した人より圧送の圧送作業の事前協議の実施率が若干高い。

##### 4.3 輸送管の始業前点検

圧送作業前に通常の始業前点検以外に実施している輸送管やジョイントの点検実施状況と閉塞の有無の関係を図20に示す。輸送管やジョイントの始業前点検を確実にこなっていると回答した人の方が、閉塞の発生が少なかった。

以上の事から、圧送の事前協議を十分に行い、ポンプ車や配管の始業前点検を確実に行うなど、閉塞の危険性を常に考慮しながら圧送作業を行うことで、閉塞事故の発生を減少できると考えられる。

#### 5. まとめ

コンクリートの閉塞に関して、過去3年間のアンケート結果から以下の傾向が伺えた。

- 1) 1年間に閉塞事故を経験する圧送従事者は3~4割を占めるが、若干減少傾向にある。
- 2) 閉塞は冬に多く発生したという報告が多く、発生時間帯は午前中が多い。
- 3) 閉塞は、テーパ管部分で多く発生している。
- 4) 低強度や低スランプのコンクリートで閉塞が多い。
- 5) コンクリート品質の変化などによってコンクリートが分離して閉塞が発生することが多い。

今後も、継続的にアンケートを実施し、その情報を公開することで閉塞事故発生への減少に寄与していきたい。

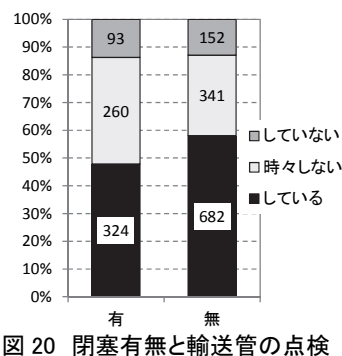


図 20 閉塞有無と輸送管の点検

\*1 トモエポンプ, \*2 浅沼組, \*3 大阪工業大学, \*4 竹中工務店, \*5 日本建築総合試験所, \*6 浅沼組, \*7 竹中工務店, \*8 大喜, \*9 泉北ニシイ, \*10 イッケン商事, \*11 近畿生コンクリート圧送協同組合

# 報告 実施工におけるコンクリートの閉塞事例に関する考察

○豊田 裕\*<sup>1</sup>      山崎 順二\*<sup>2</sup>      中村 成春\*<sup>3</sup>  
 岩清水 隆\*<sup>4</sup>      木村 芳幹\*<sup>5</sup>      高見 錦一\*<sup>6</sup>  
 山田 藍\*<sup>7</sup>      永田 哲夫\*<sup>8</sup>      浅田 武彦\*<sup>9</sup>  
 共田 昌一\*<sup>10</sup>      岸 繁樹\*<sup>11</sup>

圧送性                      閉塞                      テーパー管  
 実施工                      ふるい分け              配管

## 1. はじめに

コンクリートの圧送作業中に輸送管内でコンクリートの閉塞が生じると、輸送管の管内圧力が急激に上昇し、輸送管ジョイント部での破損や輸送管自体が破裂するなど、重大な建設事故に繋がる危険性がある。それと同時に、打込みの中断を余儀なくされ、打重ね時間間隔の限度を超えることによりコールドジョイントが発生し、構造体コンクリートの品質に悪影響を及ぼすことになる。

圧送中に発生するコンクリートの閉塞は、材料・調合要因として単位セメント量、スランプ、コンシステンシー、水セメント比、細骨材率、骨材粒形、施工要因として配管形状、先送りモルタルの調合と圧送量、圧送負荷、圧送速度、輸送管内の摩擦抵抗、ポンプ・輸送管の整備不良、機種選定の不備など、これら各種の要因が相互に関連して発生すると想定される。

このような不具合発生を少しでも軽減することを目的として、日本建築学会近畿支部材料・施工部会では、近畿生コンクリート圧送協同組合（近圧協）と共同で部会内に「ポンプ工法ワーキンググループ」を組織し、建設作業所において重大な問題となる「圧送中のコンクリートの閉塞」を取り上げ、閉塞危険性の評価方法や閉塞メカニズムの解明に関する実験的研究をこれまで数年間実施してきた<sup>1)</sup>。

その一環として近圧協では、2008年6月頃から実施工時の圧送中に閉塞が生じた際に、閉塞部からコンクリート試料を採取し、閉塞が生じたコンクリートの性状に何らかの傾向や特異性があるかについて調査することとした。この調査では、閉塞が発生した際のコンクリート工事における施工条件を詳細に記録するとともに、閉塞が生じた際に圧送していたコンクリート試料を採取して各種の調査分析を行った。調査結果から、閉塞したコンクリートに何らかの特異性や変状を見いだすことができれば、閉塞の原因推定や解明に加え、閉塞危険性の回避に繋がる有益な情報が得られると考えられる。

本報では、閉塞調査の概要と閉塞が生じた施工状況および近圧協傘下の圧送施工技能者によって収集された情報の分析結果を述べる。

## 2. 閉塞調査の概要

### 2.1 閉塞が生じた際のコンクリート試料の採取

実施工においてコンクリートの圧送中に閉塞が生じた場合、まず、閉塞した位置の直前の輸送管内のコンクリートを、閉塞部のフレッシュコンクリートとして5(L)程度採取した。次に、閉塞を復旧して正常な圧送状態に戻った時点で、再度、筒先からフレッシュコンクリートを比較用として採取した。前者を「閉塞部」試料、後者を「正常部」試料と表記する。採取した両方の試料には超遅延剤を添加混和し、まだ固まらないコンクリートの状態で試験室に持ち込み、以降に示す調査および分析に供した。

### 2.2 閉塞が生じたコンクリート工事の状況調査

閉塞した際に従事していた圧送施工技能者が、閉塞したコンクリートの種類、呼び強度、スランプ、閉塞時間、閉塞位置、輸送管径や配管距離などの配管条件をイラストも含めて記録した。

### 2.3 採取したコンクリート試料での測定項目および方法

超遅延剤を混和した閉塞部および正常部の試料は、試験室内で表1に示す項目について測定を実施した。測定方法の概要を併せて示す。このほか、圧送施工技能者のヒアリング調査も併せて行った。

表1 コンクリート試料の測定項目および方法

試験項目	試験方法
試料の総質量	湿潤状態のまま測定
試料の湿潤かさ密度	湿潤状態でのかさ密度を測定
フレッシュコンクリートの空気量	モルタルエアメータを用いて測定
試料中の骨材の粒度分布	試料を水ふるいにより分級して測定
骨材質量	水ふるいで分級された骨材質量を測定
粉体質量	水ふるいにより75 $\mu$ mふるいを通過するセメント、骨材微粉、微粒分を「粉体」とし、その質量を計算
見かけの細骨材率	75 $\mu$ mふるいに留まる全ての骨材質量に対する5mm網ふるいを通過する細骨材質量の割合として計算

### 3. 閉塞調査の結果および考察

2008年6月から2012年3月までの間に近畿生コンクリート圧送協同組合に報告のあったコンクリートの閉塞事例は25件であった。当協組が一月当たり約3500作業所にてコンクリートの圧送工事に従事しているとすれば、閉塞が生じた割合は約0.02%となる。

#### 3.1 閉塞したコンクリートの種類

閉塞が生じたコンクリートについて、呼び強度とスランブの関係を図1に示す。呼び強度18~39の25事例のうち、呼び強度24のコンクリートが11件と最も多く、呼び強度が小さく貧調合のコンクリートの方が閉塞の危険性が高くなる傾向にあると考えられる。またスランブについては15cmのものが11件と最も多いが、18cmでも6件あり、必ずしもスランブの小さいコンクリートの圧送性が悪く閉塞危険性が高いといえない。

閉塞したコンクリートの調合は、図2に示すように呼び強度24-スランブ15cmのものが最も多く、次いで呼び強度18スランブ15cmのコンクリートであった。

土木・建築構造物では、全25事例のうち土木工事が6件、建築工事が19件であった。また、コンクリートの種類としては、軽量コンクリート1種が2件、最大寸法40mmの土木用の普通コンクリートが1件含まれ、セメント種別では、普通セメントが21件、高炉セメントB種が2件、低熱セメントが1件、早強セメントが1件であった。

#### 3.2 閉塞が生じた時間および時期

圧送開始時または圧送中に閉塞が生じた時間については、図3に示すように、収集された情報の範囲内においては午前中が11件と最も多く、次いで圧送開始時が6件と、午前中の閉塞事例が多い。この理由は、生コン工場の品質管理レベルに依存するが、午後と比べて朝一の出荷開始時や午前中には、一般に生コン製造時の品質変動が大きくなる傾向にあることや、外気温の日内変動が大きくなる初春や晩秋では、外気温の変化によってもフレッシュコンクリートの性状が変動するためと推察される。次に時期(月)について、閉塞時期に明確な傾向はないが、冬期(2月および12月)に全体の約35%の閉塞事例が報告されており、夏期や標準期では平均2件であった。

#### 3.3 閉塞が生じた輸送管の位置

閉塞が生じた輸送管の位置を図4に示す。閉塞の発生は打込み階に配管されたテーパ管部が11件と最も多く、次に輸送管根元やピストン切替え弁(Sバルブ内)であった。いずれも、輸送管径が変化する部位での粗骨材の嵌合や、コンクリートの分離により流動性が低下することによって閉塞が生じたと推察される。なお収集された事例の範囲内では、バント管位置での閉塞はなかった。

### 3.4 閉塞調査のまとめ

3.1~3.3から次のことがわかった。

- (1) 呼び強度が小さい貧調合のコンクリートや、スランブが小さいコンクリートにおいて閉塞が生じやすい。
  - (2) 季節にはあまり関係なく、午前中に閉塞が生じやすい。
  - (3) テーパ管位置において閉塞が最も生じやすい。
- ことを示す傾向が認められた。

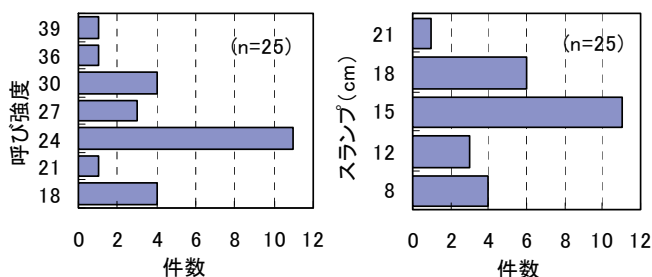


図1 閉塞したコンクリートの呼び強度とスランブ

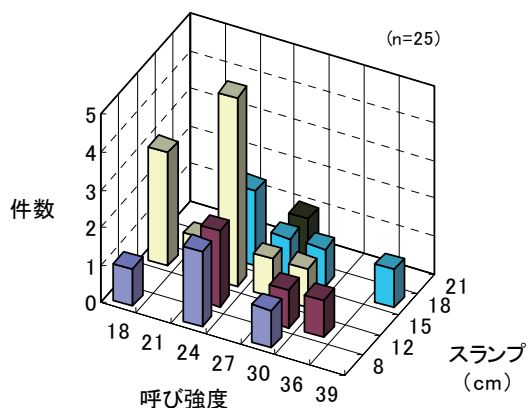


図2 閉塞したコンクリートの調合

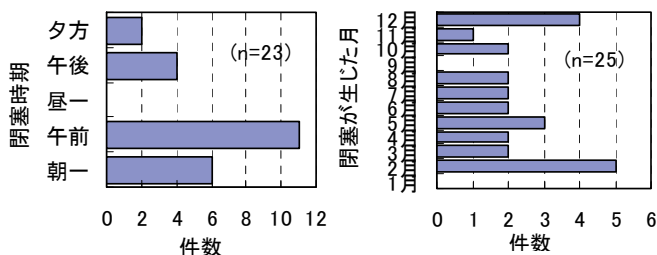


図3 閉塞が生じた時間および時期(月)

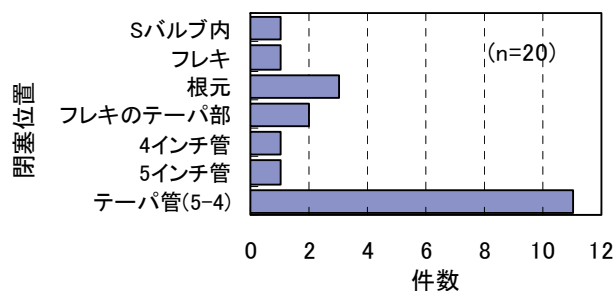


図4 閉塞が生じた輸送管の位置



4. 閉塞が発生したコンクリート工事における配管状況

表2 閉塞が生じたコンクリートの調査条件と配管条件

閉塞が生じた調査と配管状況の一覧を表2に示す。事例には配管長さが最大360m、ベント管が最大19ヶ所など、特殊と考えられる配管条件もある。

また配管根元以外にはテーパ管を使用しない状況でも配管長さが長く圧送負荷が高くなる配管条件、ベント管を多用した配管条件、全配管長さのうち4インチ管の配管長さが比較的長くなる配管条件、下向き圧送などでは、閉塞の危険性が高くなる傾向にあると考えられる。

呼び強度	調査				配管状況										事例No.
	スランプ(cm)	骨材寸法(mm)	Con種別	セメント種別	全配管長(ブーム込み)	ブーム使用有無	ブーム長さ(m)	5inch管(m)	4inch管(m)	4inch/全長(%)	先端ホース(m)	先端ホース径(inch)	圧送高さ(m)	ベント箇所数(ヶ所)	
18	8	40	普通	BB	33	有り	26	0	0	0.0	7	4.5	0	0	17
18	15	20	普通	N	49	有り	17	0	24	49.0	8	3.5	5	6	9
18	15	20	普通	N	49	有り	26	0	15	30.6	8	3.5	-5	0	10
18	15	20	普通	N	88	無し	0	81	0	0.0	7	4	-4+1	19	12
21	15	20	普通	N	34	有り	26	0	0	0.0	8	3.75	-3	0	23
24	8	20	普通	N	71	有り	26	37	0	0.0	8	4	-3	2	1
24	8	20	普通	BB	39	有り	31	0	0	0.0	8	4	4	0	18
24	12	20	普通	N	360	無し	0	355	0	0.0	5	3.75	0	10	21
24	15	20	普通	N	56	有り	26	19	3	5.4	8	3.75	5	1	22
24	15	20	普通	N	79	無し	0	11	60	75.9	8	3.75	7	5	11
24	15	20	普通	N	40	有り	36	0	0	0.0	4	3.5	-3	0	14
24	15	20	普通	N	72	有り	26	11	27	37.5	8	3.75	3	11	19
24	18	20	普通	N	127	無し	0	120	0	0.0	7	4	0	5	13
24	18	15	軽量	N	107	有り	26	70	3	2.8	8	4	25	2	24
27	15	20	普通	N	41	有り	33	0	0	0.0	8	3.75	-3	0	5
27	18	15	軽量	N	52	無し	0	42	2	3.8	8	3.75	30	3	4
27	21	20	普通	N	89	無し	0	63	18	20.2	8	3.5	48	3	6
30	8	20	普通	L	35	有り	28	0	0	0.0	7	4.5	0	0	16
30	15	20	普通	N	34	有り	26	0	0	0.0	8	4	0	0	20
30	18	20	普通	N	125	無し	0	38	79	63.2	8	3.5	0	15	8
36	12	20	普通	H	43	有り	36	0	0	0.0	7	4.5	20	0	7

(「-」は下向き)

このことから、配管条件に

配慮することによって閉塞危険性を低減するためには、①可能な限り短くかつベント管の少ない直線的な配管経路とする、②打込み位置直前まで5インチの輸送管を使用する、③できるだけ先端ホースは4インチのものとする、など、圧送負荷や圧力損失が小さくなる配管条件とすることが重要である。

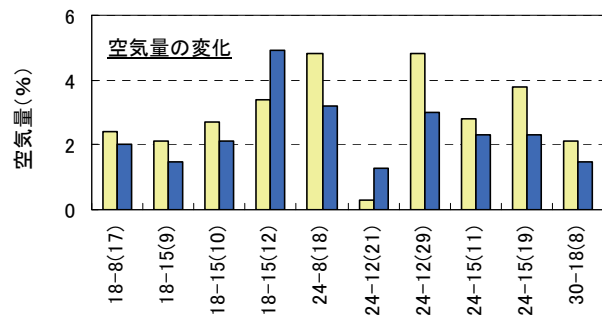
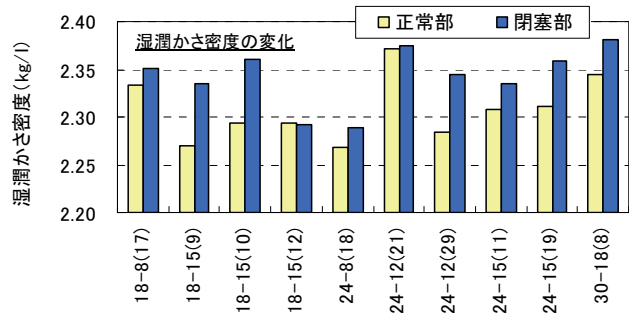


図5 正常部および閉塞部での湿潤かさ密度と空気量

低下することによって閉塞が生じたと考えられる。

さらにNo.9では、閉塞部において見かけの細骨材率が大きく低下しているが、これはNo.12と異なり4インチ管のみでの圧送であり、No.9は呼び強度18の事例の中でも厳しい配管条件であったと考えられる。また、呼び強度の高いコンクリートは見かけの細骨材率の低下が比較的小さいことから、これらの調査では、主として配管条件や施

5. コンクリート試料の分析調査

5.1 湿潤かさ密度および空気量の変化

正常部および閉塞部から採取した試料の湿潤かさ密度および空気量を図5に示す。凡例の( )内は事例No.を示す。No.9,10,29において顕著であるが、閉塞部で湿潤かさ密度が増大しかつ空気量が減少している。これらは18-15(呼び強度-スランプ)や24-12など貧調査かつ細骨材率の小さい調査であり、変化の原因は閉塞部でモルタル分が分離し減少したことによるものと推察される。このことから、呼び強度24程度以下のコンクリートを厳しい配管条件で圧送する場合は、細骨材率を増大させることやスランプを大きくする等の調査上の対策を講じることが、閉塞危険性の低減に有効な手法と考えられる。

5.2 粉体質量および見かけの細骨材率の変化

正常部および閉塞部におけるコンクリート質量に対する粉体質量の割合と、見かけの細骨材率の変化を図6に示す。No.9,12では粉体質量が大きく減少している。これらの事例は18-15であり、閉塞部で分離が生じていると推察されたものである。粉体量の減少は呼び強度18においてその他の調査よりも顕著であることから、コンシステンシーの低い貧調査コンクリートでは、テーパ管部でペースト分や微粒分が分離し、ワーカビリティが

工条件などの要因に起因して閉塞が生じたものと推察される。

このことから、同じ調査条件でも、配管条件の良悪が材料分離などに起因する閉塞危険性の程度に影響を及ぼしており、輸送管径が小さくなると、特に貧調合のコンクリートでは圧送負荷によるペースト分や微粒分が分離のみでなく、細骨材と粗骨材の粒度分布にも変化が生じることが確認できた。

一方、No.11では、No.9,12とは逆に閉塞部において粉体質量が増大し、見かけの細骨材率が低下している。これよりNo.11では、圧送負荷によるフレッシュコンクリートの分離ではなく、製造時の骨材の粒度分布の変動が閉塞発生に主として起因した可能性も示唆される。

### 5.3 閉塞部における骨材の粒度分布の変化

閉塞部でのコンクリートにおける骨材粒度分布の変化の特徴的なものについて、正常部と閉塞部の試料中の細・粗骨材の各ふるい通過率を比較して図7に示す。

No.9,11では、閉塞部において10mmふるい通過率が増加、No.12では1.2~10mmふるい通過率が減少しそれ以外の特に15~20mmふるい通過率が増加、No.23においても15mmと20mm通過率が増加している。これらは全てテーパ管部での閉塞事例であるが、テーパ管の位置において5mm以上の粗骨材が増加していることが分かる。これより、コンクリートがテーパ管を流動する際に圧送負荷によりモルタル部分が分離(流動中に損失)し、ワーカビリティの低下したコンクリートの粗骨材同士が嵌合して閉塞が生じたと考えられる。

## 6. まとめ

閉塞部から採取したコンクリート試料を分析した結果、閉塞発生の要因は、材料要因として貧調合や低スランプのコンクリートの材料分離や圧送による骨材粒度の変動、施工要因として圧送条件の良悪が影響していることが確認できた。また、貧調合や低スランプのコンクリートでなくても閉塞が生じることから、圧送中の閉塞は、材料要因と配管条件や作業条件などの施工要因が複合して発生していることが調査結果から確認できた。

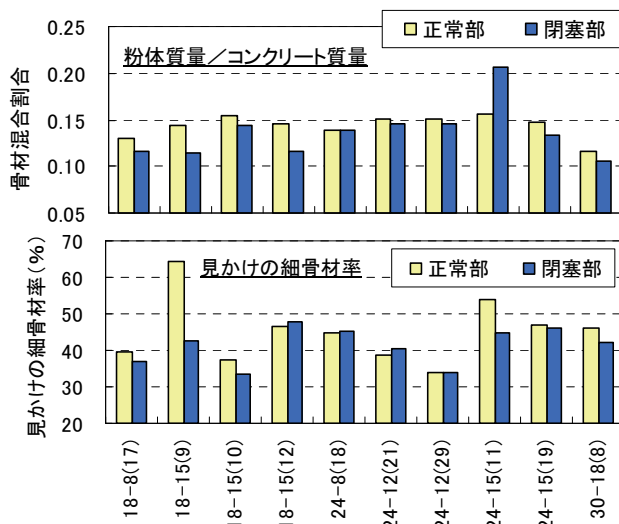


図6 粉体質量の割合と見かけの細骨材率の変化

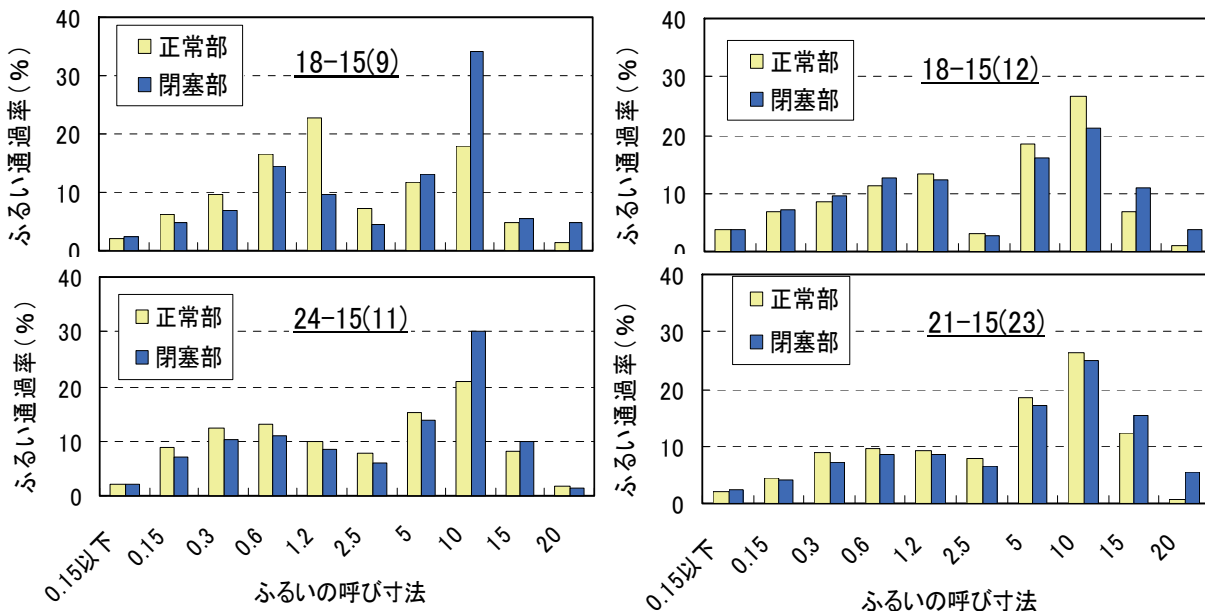


図7 正常部と閉塞部の試料中の細・粗骨材の各ふるい通過率の比較

\*1 イッケン商事, \*2 浅沼組, \*3 大阪工業大学, \*4 竹中工務店, \*5 日本建築総合試験所, \*6 浅沼組, \*7 竹中工務店, \*8 大喜, \*9 泉北ニシイ, \*10 トモエポンプ, \*11 近畿生コンクリート圧送協同組合

# 論文 圧送改善剤を用いたモルタル特性の改質向上ならびにコンクリート圧送性に関する基礎研究

○吉浪 雄亮\*<sup>1</sup> 谷所 美明\*<sup>2</sup>  
 泉 達男\*<sup>3</sup> 橋本 紳一郎\*<sup>4</sup>  
 北野 潤一\*<sup>5</sup>

流動保持性                  空気安定性                  変形性  
 圧送性                          混和剤                          単位セメント量

## 1. はじめに

近年施工現場ではコンクリートのポンプ圧送を用いた打込みが主流となっており、建築・土木分野を問わず多くの施工現場で一般的に採用されている。コンクリートのポンプ圧送性は工程の短縮および省力化に多大な効果を図れるなどの利点があるが、配管内で閉塞を引き起こす可能性など課題がある。配管が閉塞を引き起こすことにより、配管の復旧に伴う費用の損失や配管の破裂による事故など多くの問題が報告されている。そのため、コンクリートのポンプ圧送において閉塞の発生を抑制することは非常に重要である。

圧送性を向上させる手法として、流動化剤などの混和剤が普及しているが、混和剤添加による性状変化が課題として挙げられ、施工性能や耐久性に影響を与えることが懸念される。

そこで、本稿では新たに開発した圧送改善剤に対して、モルタル試験による基礎的研究を行った上で、コンクリート試験による圧送性向上効果について検討を行った結果を報告する。

## 2. 圧送改善剤

圧送改善剤は、滑材成分、分離防止成分、流動保持成分、気泡制御成分の4つの成分から組成されている。

## 3. モルタル試験の概要

### 3.1 モルタル試験の使用材料

モルタル試験に用いた材料を表-1に示す。基準モルタルには、市販の標準形AE減水剤（リグニンスルホン酸化合物とポリオール複合体）を使用した。また、改質モルタルには、基準モルタルを練混ぜた後に圧送改善剤を添加した。

表-1 モルタル試験に用いた材料

材料の種類	記号	内容
水	W	上水道水
セメント	C	普通ポルトランドセメント
細骨材	S	セメント強さ試験用標準砂
混和剤	AE	市販AE減水剤 標準形
	ADV	圧送改善剤

## 3.2 モルタル試験

### (1) モルタルの配合と練混ぜ方法

モルタル試験の配合を、表-2に示す目標スランプ8cmのコンクリート配合から粗骨材を除いた量とした。また、1バッチ当たりの練混ぜ量は、細骨材の量を2700グラム（標準砂2袋分）として残りの材料を表-2に従い比例算出した。試験に用いたモルタル配合を表-3に示す。モルタルの製造は、モルタルミキサに1/2量の細骨材、セメント、1/2量の細骨材混練水（AEを含む）の順に投入し、63rpmの攪拌速度にて120秒間混練を行い、その後、圧送改善剤を加えて同攪拌速度にて30秒間混練を行った。基準モルタルについても圧送改善剤を加えずに同様の混練時間にて製造した。

表-2 モルタル試験配合のベースとした

目標スランプ8cmのコンクリート配合

配合 No.	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				AE (C×%)
			W	C	S	G	
1	60	44.9		283	824		
2	50	43.4	170	340	776	1012	
3	40	41.1		425	706		

表-3 試験に用いたモルタルの配合

配合 No.	W/C (%)	S/C	単位量 (g/バッチ)		
			W	C	S
1	60	2.91	557	928	
2	50	2.28	591	1183	2700
3	40	1.66	650	1626	

### (2) 流動性の測定と単位フロー変化量

流動性は、モルタルフロー試験（JIS R 5201）にて測定した。但し、タッピングは15打まで行い、0, 5, 10, 15打での各フロー値を測定した。なお、変形性を表す指標となる“単位フロー変化量”は、次式により算出した。

$$K_{sf} = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i S_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n S_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (n \sum_{i=1}^n x_i)^2}$$

ここに、 $K_{sf}$ ：単位フロー変化量 (mm/回)  
 $n$ ：測定した回数  
 $x_i$ ： $i$ 回目の測定時におけるタッピング回数(回)  
 $S_i$ ： $i$ 回目の測定時におけるフロー値 (mm)

(3) 空気量の測定

空気量は、JIS A 1171 (ポリマーセメントモルタルの試験方法) の単位容積質量試験に準拠して単位容積質量を測定し、JIS A 1116 (フレッシュコンクリートの単位容積質量試験方法及び空気量の質量による試験方法) の空気量算出方法にて求めた。但し、単位容積質量の測定容器の容量は400ccとした。

(4) 経時的モルタル特性の測定

モルタル特性は、練上がり直後と30分経過後について測定した。経時変化試験の条件は、圧送工法に関する既往の研究<sup>1)</sup>を参考に、モルタル試料に加える外力の異なる条件で、経時的なモルタルの変形性を調べた。具体的な経時変化試験の条件を表-4に示す。なお、空気量の経時変化については、攪拌法でのみ検討を行った。

表-4 モルタル試験の経時変化試験条件

区分	概要
攪拌法	湿潤状態で静置した試料を測定前にモルタルミキサにて15秒間低速(63rpm)攪拌した。
静置法	フローコーンに試料を充填し、所定の時間まで静置した。
載荷法	フローコーンに充填した試料に500グラムの荷重を積載し、所定の時間まで静置した。

4. コンクリート試験の概要

4.1 使用材料および照査図

コンクリート試験の使用材料を表-5に示し、土木学会指針<sup>1)</sup>で示されている圧送性を確保する荷下しスランプと単位セメント量の関係を図-1に示す。本研究において、圧送改善剤の適用範囲は、所定のスランプに対応する単位セメント量の関係(図-1)から、低領域、中領域、と大きく二つの領域を設定し、圧送改善剤を適用したコンクリートの圧送性について各領域を検討した。

表-5 コンクリート試験に用いた材料

材料の種類	記号	概要
水	W	地下水
セメント	C	普通ポルトランドセメント、密度:3.15g/cm <sup>3</sup>
細骨材	S	海砂、表乾密度:2.59g/cm <sup>3</sup> 、F.M:2.81
粗骨材	G	碎石、表乾密度:2.75g/cm <sup>3</sup> 、Gmax:20mm、実積率:59.4%
混和剤	Ad	AE減水剤(リグニンスルホン酸系)
	ADV	圧送改善剤

4.2 コンクリートの配合条件

コンクリート試験で使用した配合条件を表-6に示す。配合条件は、図-1の領域に沿って低領域と中領域で実施した。低領域は単位セメント量:266kg/m<sup>3</sup>、中領域は単位セメント量:338kg/m<sup>3</sup>とし、細骨材率:43%は一定条件とした。また、同一条件の配合に対して、それぞれ圧送改善剤の有無を設定し、圧送性の違いを評価することとした。

4.3 試験方法および概要

コンクリートの圧送性評価試験は、スランプ(8.0±1.0cm)と空気量(4.5±1.0%)を満足していることを確認した後、フレッシュコンクリートの変形性評価試験方法(案)(JSCF-F 509-2010)に準じて行った。また、タンピング試験は、参考文献<sup>2)</sup>に示された試験方法に準拠して行った。なお、本研究ではタンピング回数を48回に変更して実験を行った。順調な圧送が予想される中領域では、(1)練上がり直後そのまま圧送(2)管内でコンクリートを15分間静置し、練上がりから30分後に圧送する2つの圧送手順(以降、圧送手順(1)、(2)と称す)を設定し検討を行った。

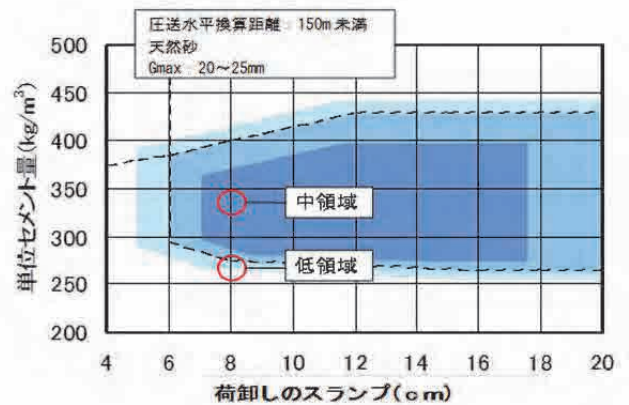


図-1 荷下しスランプと単位セメント量の関係

表-6 試験に用いたコンクリートの配合

配合No.	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )					ADV
			W	C	S	G	Ad	
1	61	43	162	266	789	1111	1.73	-
2								1.0
3	48	43	162	338	764	1075	1.35	-
4								1.0

5. モルタル試験の結果および考察

一般にコンクリートを圧送するのに適している条件としては、(1)管壁でコンクリートが滑動するための流動性、(2)管内のコンクリートが形状変化できる変形性、(3)圧力の時間的、位置的変動に耐える分離抵抗性、の3つの性能を保有する必要がある<sup>3)</sup>。(1)、(2)の性能を付与する目的で流動保持剤、ボールベアリング効果が期待される安定な気泡剤、更には潤滑剤を、(3)の材料分離抵抗性は保水性に優れた増粘剤を、それぞれ検討して開発した圧送改善剤ADVを用いて、ここでは(1)および(2)の性能を

確認した。

検討は水セメント比を変えて圧送改善剤によるモルタル特性への影響を調べた。試験結果の一覧を表-7に示す。さらに、流動保持性、空気量安定性、単位フロー変化量(載荷法:10打時)の試験結果を図-2, 3および4に示す。圧送改善剤を加えた系では、図-2からは流動保持性に優れること、図-3からは空気量を高く保つことができることを確認した。また、図-4からは、変形性に優れることも示唆された。この様にすべての配合において、モルタル特性改質の効果が確認できた。

表-7 モルタル特性への影響確認試験結果

配合No.	モルタルの種類	経過時間(分)	経時方法	フロー値 (mm)				フローの経時変化量 (mm)	モルタル空気量 (%)
				0打	5打	10打	15打		
1	無添加	直後	-	171	210	232	246	-	3.6
		30分後	攪拌法	155	195	219	236	-17	2.7
		静置法	102	128	153	174	-	-	
	ADV	直後	-	179	217	238	253	-	4.0
		30分後	攪拌法	168	207	230	248	-11	3.4
		静置法	103	138	172	195	-	-	
2	無添加	直後	-	148	187	210	226	-	4.5
		30分後	攪拌法	136	176	201	217	-13	3.7
		静置法	103	134	163	184	-	-	
	ADV	直後	-	152	194	215	231	-	5.0
		30分後	攪拌法	146	186	209	225	-6	5.4
		静置法	103	139	168	191	-	-	
3	無添加	直後	-	109	154	177	193	-	4.8
		30分後	攪拌法	107	148	171	187	-3	3.8
		静置法	101	128	151	170	-	-	
	ADV	直後	-	109	159	185	201	-	6.2
		30分後	攪拌法	107	155	180	197	-2	7.1
		静置法	101	130	157	176	-	-	
4	無添加	直後	-	102	124	147	166	-	-
		30分後	攪拌法	102	124	147	166	-	-
		静置法	102	124	147	166	-	-	
	ADV	直後	-	102	124	147	166	-	-
		30分後	攪拌法	102	124	147	166	-	-
		静置法	102	124	147	166	-	-	

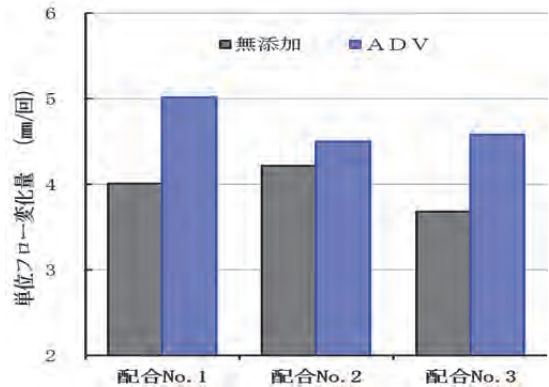


図-4 単位フロー変化量の試験結果 : 載荷法-10打時(配合別)

6. コンクリート試験の結果および考察

変形性評価試験による圧送状態の評価および圧送実験に使用したコンクリートのフレッシュ性状結果を表-8に示す。配合No.1および配合No.3:圧送手順(2)は、筒先からコンクリートが排出されておらず、目視確認により閉塞であると判断した。しかしながら、配合No.2および配合No.4:圧送手順(2)は不安定ながらも筒先からの排出が見られ、圧送が可能であるという結果であった。圧送改善剤の適用が、単位セメント量の少ない低領域においては、圧送性を補助する効果を付与し、中領域では、コンクリートの変形性(チキソトロピー性)の低下を抑制していることが圧送実験の結果から推察できる。

配合No.2における、圧送時間と管内圧力の結果を図-5に示す。配合No.2は、管内の圧力および圧力の変動は大きいですが、最大圧力1.25MPaに達することなく、不安定ながらも圧送できていることが確認できる。圧送改善剤の滑剤成分、分離防止成分が、圧送性の悪い貧配合に対して、有効に効果を発揮したと考えられる。

全ての圧送実験における、平均管内圧力と変動係数の関係を図-6に示す。順調な圧送が確認された配合No.3, No.4:各圧送条件(1)においても、圧送改善剤の適用により適用していないものに比べて、平均管内圧力および変動係数は低減されるという結果となった。圧送改善剤の適用により、圧送性が向上するのは、圧送状態が悪い配合に限らず、圧送状態が良好である配合も対象となることが分かった。また、管内で静置した配合No.3, 配合No.4:各圧送手順(2)の結果から、モルタル試験でも得られていた圧送改善剤添加による流動保持性の改善がコンクリートに対しても得られたと考えられる。

配合No.1-4におけるタンピング試験結果を図-7および図-8に示す。配合No.1に比べて、配合No.2はスランプ及びスランプフローの累積変化量が大きくなる傾向を示し、配合No.3, 配合No.4においては、より顕著に表れる結果となった。圧送改善剤の適用により、コンクリートの変形性の向上効果につながることを明らかにした。

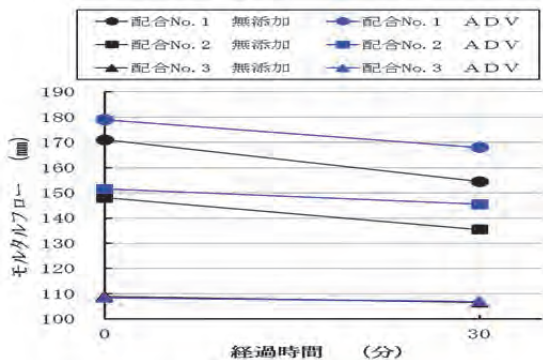


図-2 流動保持性の試験結果(配合別)

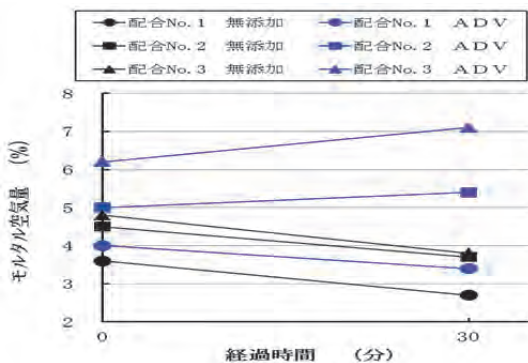


図-3 空気量安定性の試験結果(配合別)

表-8 性状試験および試験圧送の結果

配合 No.	圧送手順	フレッシュ性状試験結果		圧送改善剤の添加	圧送状態
		実測スランプ(cm)	実測空気量(%)		
1	手順:(1)	9.0	4.7		閉塞
2	手順:(1)	8.5	4.7	○	不安定
3	手順:(1)	9.0	4.7		順調
	手順:(2)				閉塞
4	手順:(1)	8.5	4.1	○	順調
	手順:(2)				不安定

※圧送手順:(1)通常圧送 圧送手順:(2)管内静置15分

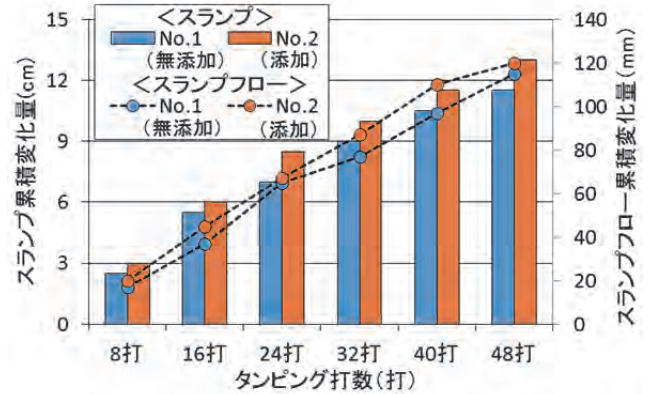


図-7 タッピング試験結果(低領域)

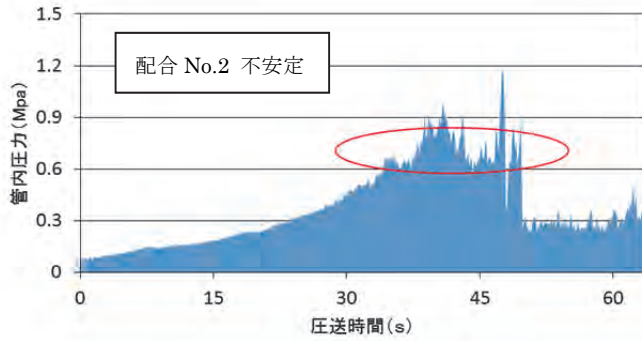


図-5 圧送時間と管内圧力との関係(配合 No. 2)

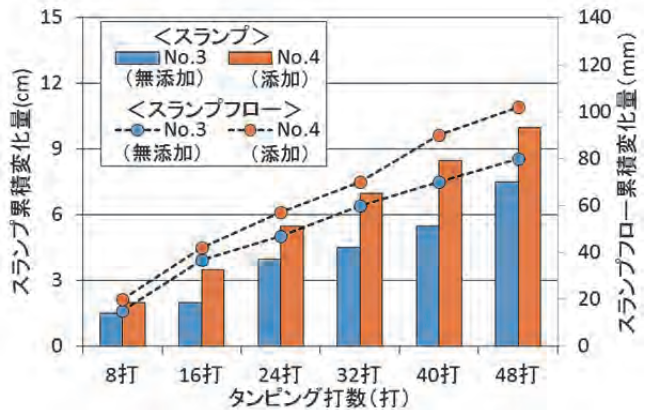


図-8 タッピング試験結果(中領域)

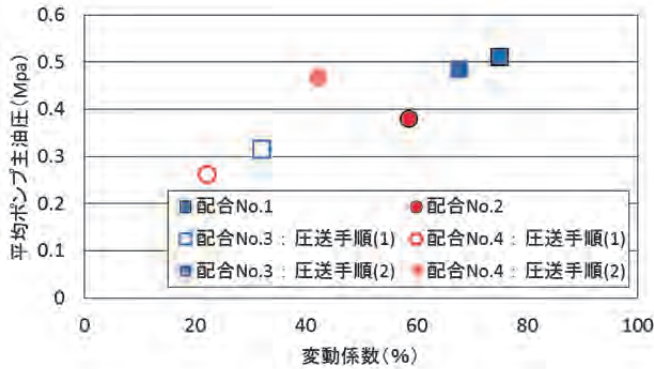


図-6 平均管内圧力と変動係数との関係(全領域)

7. まとめ

モルタル試験により、圧送改善剤が流動保持性および変形性を向上させることを確認した。またコンクリート試験により、圧送改善剤が圧送性を向上させることを確認した。特に単位セメント量の少ない低領域に対しては、顕著に圧送を補助する効果が確認できた。また、中領域では時間経過に伴うコンクリートの変形性(チキソトロピー性)の低下を抑制していることが示唆された。

参考文献

- 1) 根本浩史, 田之倉誠, 橋本紳一郎, 吉田匠吾: 2000mを超える長距離圧送におけるコンクリートの配合および品質管理に関する一考察, コンクリート工学, Vol.54, No.8, pp.768-776, 2016.8
- 2) 土木学会「施工性能にもとづくコンクリートの配合設計・施工指針(コンクリートライブラリー145号), 2016年版
- 3) 栗田工, 橋本親典, 渡辺健, 石丸啓輔: 現場循環圧送によるフレッシュコンクリートのポンプ圧送性能評価に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.1371-1376, 2004

\*1花王 テクノケミカル研究所 修士(理学), \*2花王 テクノケミカル研究所 主任研究員, \*3前田化学 修士(工学), \*4福岡大学工学部社会デザイン工学科 助教 博士(工学), \*5福岡大学大学院 工学研究科建設工学専攻

# 報告 増粘成分を含む流動化剤および高性能 AE 減水剤を用いたコンクリートのポンプ圧送性に関する実験的検討

○吉田 理紗\*<sup>1</sup> 神代 泰道\*<sup>2</sup>

軽量コンクリート I 種      流動化コンクリート      高流動コンクリート  
ポンプ圧送

## 1. はじめに

近年、建築物の超高層化や大規模化にともない、コンクリートの流動性が経過時間とポンプ圧送によって低下することが、施工上の課題となっている。

現状では、流動性の低下に対して JIS A 5308(レディーミクストコンクリート)および建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事(以下, JASS5)の規定から、単位水量 185kg/m<sup>3</sup>以下かつスランプ(以下, SL)21cm 以下の範囲で、高性能 AE 減水剤を用いて対応をしている。しかし、大きなスランプロスが見込まれる場合や、特に軽量コンクリートを高所圧送して骨材の加圧吸水作用により流動性が低下する場合には、なお課題となっている。

ここで、増粘成分を含む流動化剤(以下, OVSP)と高性能 AE 減水剤(以下, SPV)は、増粘成分が材料分離を防ぐことで、従来の高性能 AE 減水剤(以下, SP)に比べて、少ない単位セメント量においても流動性を高めることができる。既報<sup>1)</sup>では、JIS A 6204(コンクリート用化学混和剤)に適合した OVSP によって、経過時間による流動性低下を防ぐことを確認した。

本報では、経過時間とポンプ圧送による流動性低下を防ぐことを目的として、軽量コンクリート I 種と普通コンクリートに OVSP と SPV を適用して、ポンプ圧送実験を行った結果について報告する。

## 2. 実験概要

### 2.1 コンクリートの使用材料および調査

実験に用いたコンクリートの使用材料と調査を表-1, 表-2 に示す。

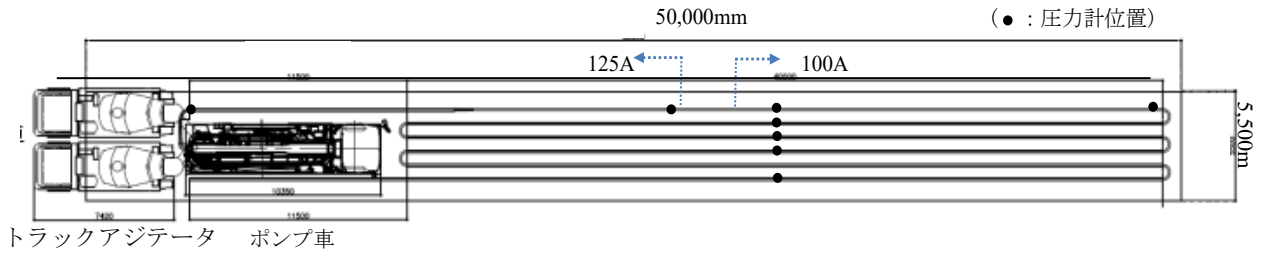
表-1 使用材料

材料	記号	種類および品質
セメント	C	普通ポルトランドセメント, 密度 3.16g/cm <sup>3</sup>
細骨材	S	砕砂(75%): 表乾密度 2.61g/cm <sup>3</sup> , F.M.2.50
		山砂(25%): 表乾密度 2.63g/cm <sup>3</sup> , F.M.3.10
粗骨材	LG	人工軽量粗骨材, 絶乾密度 1.29g/cm <sup>3</sup> 実積率 65.0%, Gmax15mm, 含水率 28.0%
	G	碎石, 表乾密度 2.70g/cm <sup>3</sup> , 実積率 61.0%, Gmax20mm
水	W	工業用水・上澄水
化学混和剤	SP	高性能 AE 減水剤
	SPV	増粘剤一液型高性能 AE 減水剤
	OVSP	増粘剤一液型流動化剤

表-2 コンクリートの調査

No.	Case		設定 SL(cm)		W/C (%)	s/a (%)	単位容積質量(kg/m <sup>3</sup> )								
			ベース	流動化後			W	C	S	LG	G				
1	軽量 I 種	従来	L21(SP)	21	-	51.2	51.7	180	352	892	410	-	0.95	-	-
2		流動化	L21(SP)→23(OVSP)	21	23									-	0.15
3		中流動	L23(SP)	23	-									51.7	180
4	普通	従来	N21(SP)	21	-	51.4	50	175	341	879	-	909	1.25	-	-
5		流動化	N21(SP)→55(OVSP)	21	55									-	0.65
6		高流動	N55(SP)	55	-									50.6	175

※Case 名の( )内は化学混和剤の種類を示す。



共通：125A 直管 26.4m，125A→100A テーパー管 2.9m，100A ベント管 1.2m，  
 軽量コン：100A 直管 246.6m，排出の垂直負 0.04MPa，普通コン：100A 直管 166.9m，排出の垂直負荷 0.05MPa

図-1 配管状況および圧力計位置



写真-1 ポンプ圧送実験の様子

軽量コンクリート I 種について、No.1 は SP を用いて  $SL21 \pm 1\text{cm}$  の従来品とし、No.2 は No.1 と同様のベースコンクリートに OVSP を後添加して  $SL23 \pm 1\text{cm}$  と設定し、No.3 は SPV を用いて  $SL23 \pm 1\text{cm}$  とした。普通コンクリートについて、No.4 は SP を用いて  $SL21 \pm 1\text{cm}$  の従来品とし、No.5 は No.4 と同様のベースコンクリートに OVSP を後添加してスランプフロー（以下、SF） $55 \pm 7.5\text{cm}$  とし、No.6 は SPV を用いて  $SF55 \pm 7.5\text{cm}$  と設定した。

空気量は、軽量コンクリート I 種で  $5.0 \pm 1.5\%$ 、普通コンクリートで  $4.5 \pm 1.5\%$  と設定した。

## 2.2 ポンプ圧送実験方法

ポンプ圧送実験では、図-1 に示すように全長 285m の配管を水平に敷設した。その状況を写真-1 に示す。軽量コンクリート I 種を用いてポンプ圧送実験を行った。配管長は、軽量コンクリート I 種を垂直高さ 150m の高所に、吐出量  $30 \text{ m}^3/\text{h}$  で圧送することを想定して設定した。普通コンクリートの場合には、配管を途中切断して全長 204m の配管で実験を行った。吐出量を 15, 30,  $45 \text{ m}^3/\text{h}$  と設定し、図-1 に示す位置に圧力計を設置し、実吐出量と管内圧力損失を算定した。各調合で管内充填した後、各設定吐出量でストロークが 10 回となるように計測した。

ポンプ圧送と経過時間によるフレッシュ性状への影響を検討するため、1)練上がり直後、2)受入れ時、3)流動化剤の添加直後、4) ポンプ圧送終了時、および 5)ポンプ圧送実験後の筒先から採取した試料を用いて、フレッシュ試験を

行った。

なお、フレッシュ試験はスランプ試験(JIS A 1101)、スランプフロー試験(JIS A 1150)、コンクリート温度測定(JIS A 1156)、外気温測定、空気量測定(JIS A 1128)を行った。

圧送による強度性状への影響を検討するため、受入れ時にトラックアジテータから採取した試料と、ポンプ圧送実験後に筒先から採取した試料を用いて圧縮強度試験(JIS A 1108)を行い比較した。

## 3. 実験結果

### 3.1 フレッシュ試験結果

#### (1) スランプおよびスランプフロー

軽量コンクリート I 種 No.1~3 のスランプ試験結果と、普通コンクリート No.4~6 のスランプフロー試験結果の経時変化を図-2、図-3 に示す。なお、レディーミクストコンクリート工場での練上がり直後を経過時間 0 分とした。破線矢印の先端の白抜き点に、ポンプ圧送された試料を用いた試験結果を示す。

軽量コンクリート I 種について、図-2 の実線から、圧送終了時のスランプ値は、従来の  $SL21 \pm 1\text{cm}$  の No.1 と比較して、OVSP を後添加した No.2 や SPV を用いた No.3 の方が高くなった。

図-2 の破線から、ベースコンクリートに SP を使用した No.1~2 の圧送ロス是比较的小さく、特に OVSP を後添加した No.2 は、No.1 と比べて圧送後のスランプ値も高く、圧送性が良好であった。ベースコンクリートに SPV を



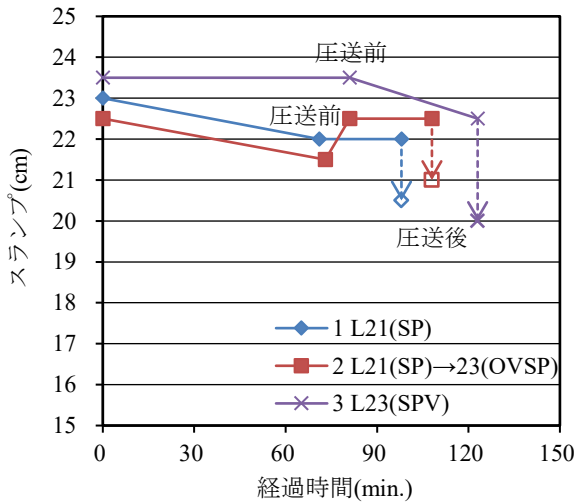


図-2 軽量コンクリート I 種のスランプ変化

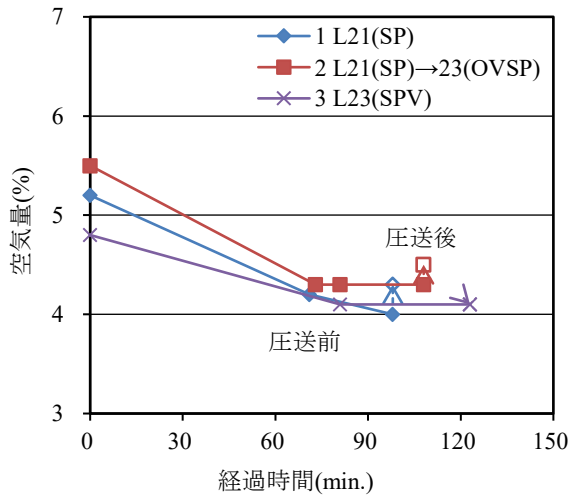


図-4 軽量コンクリート I 種の空気量変化

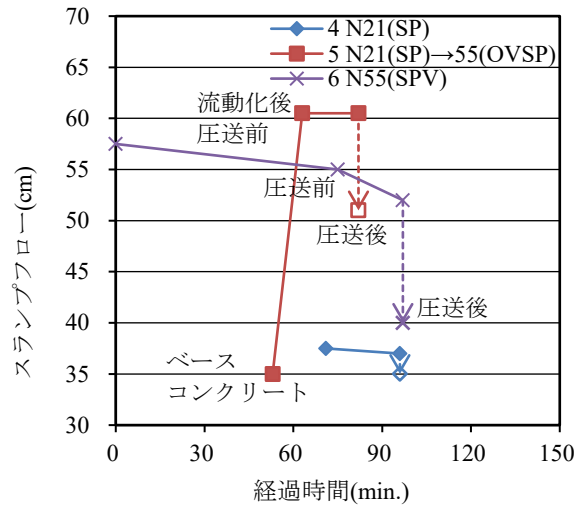


図-3 普通コンクリートのスランプフロー変化

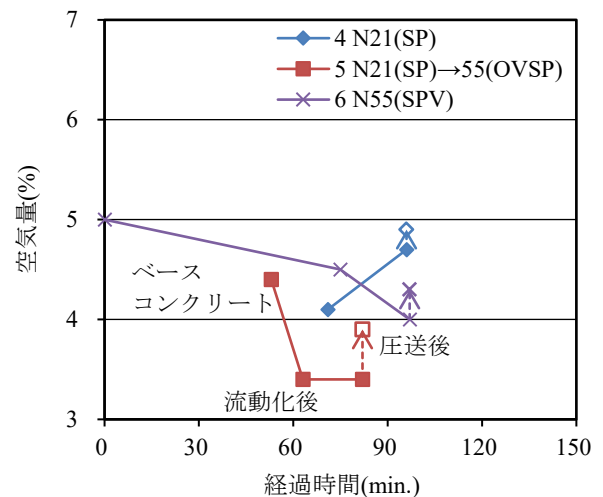


図-5 普通コンクリートの空気量変化

用いた No.3 の圧送ロス是比较的大きく、No.1 と比べて圧送後のスランプ値も低かった。

普通コンクリートに OVSP を後添加した No.5 や SPV を用いた No.6 のスランプフロー試験において、材料分離がないことを確認した。図-3 の実線から、圧送終了時のスランプフロー値は、従来の SL21±1cm の No.4 と比較して、OVSP を後添加した No.5 や SPV を用いた No.6 の方が高くなった。

図-3 の破線から、No.5~6 の圧送ロスは大きいものの、No.4 と比較して、圧送後も高い流動性を保持した。

以上より、ポンプ圧送性の改善効果について、軽量コンクリート I 種では SPV の効果は確認できなかったが、OVSP の効果は確認できた。普通骨材を用いた場合には、SPV および OVSP の両方で効果が確認でき、特に OVSP で良好な結果が得られた。

## (2) 空気量

軽量コンクリート I 種 No.1~3 と、普通コンクリート No.4~6 の空気量の経時変化を図-4、図-5 に示す。なお、

レディーミクストコンクリート工場での練上がり直後を 0 分とし、破線矢印の先端の白抜き点に、ポンプ圧送された試料を用いた結果を示す。いずれも、軽量コンクリート I 種は 5.0±1.5%、普通コンクリートは 4.5±1.5% と設定した範囲内であった。

図-4 の実線から、軽量コンクリート I 種 No.1~3 の空気量は運搬中に低下する傾向を示した。一般的に、運搬中に空気量は減少するといわれており<sup>2)</sup>、本実験においてもその傾向がみられた。図-4、図-5 の破線から、圧送後の空気量は、いずれも若干増加傾向にあった。これは、圧送中にエントラップドエアが混入したためと考えられる。

## (3) 外気温およびコンクリート温度

実験を行った際の外気温は 22~26℃、コンクリート温度は 26~29℃であった。

## 3.2 管内圧力損失

圧力計の計測値から求めた実吐出量とφ100の管を使用した場合の管内圧力損失との関係を図-6、図-7 に示す。

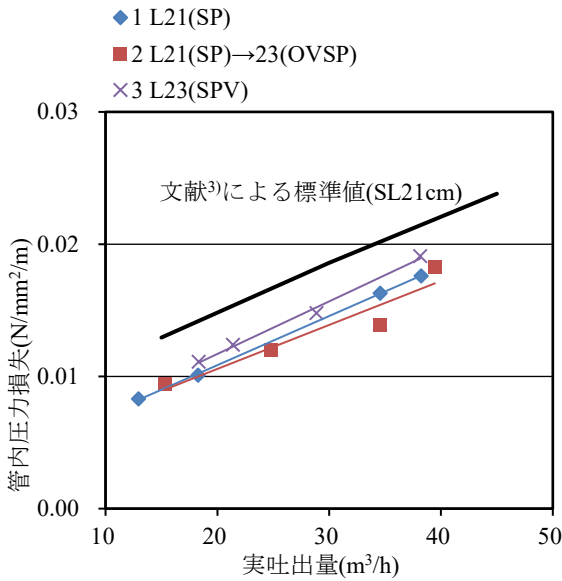


図-6 軽量 I 種コンクリートの管内圧力損失

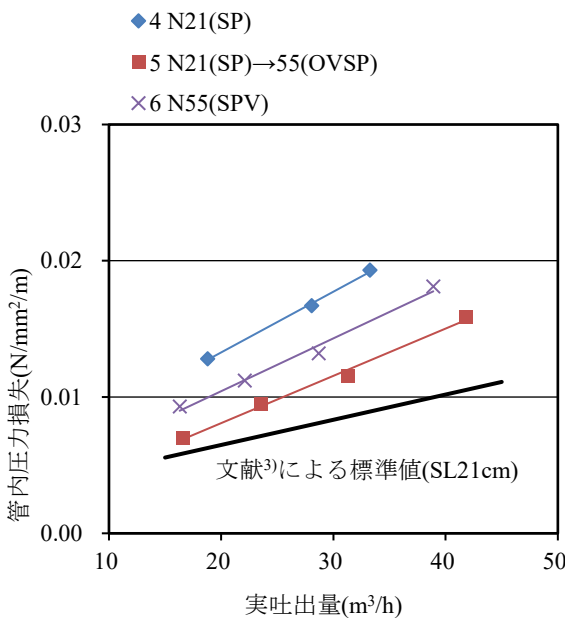


図-7 普通コンクリートの管内圧力損失

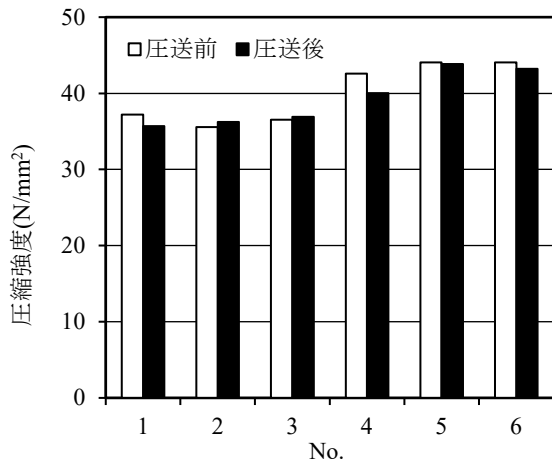


図-8 圧縮強度試験結果

文献<sup>3)</sup>による SL21cm の標準値を黒の太線で示す。

軽量コンクリート I 種について、図-6 に示すように No.1~3 の管内圧力損失は、文献<sup>3)</sup>で示す標準値よりも低い傾向にあった。SL21±1cm とした No.1 と、OVSP や SPV を用いて SL23±1cm とした No.2~3 の管内圧力損失は、いずれも同程度であり、圧送負荷は同等であった。これは、設定したスランブの差が小さいためと考えられる。

普通骨材を用いた場合について、図-7 に示すように No.4~6 の管内圧力損失は、文献<sup>3)</sup>で示す標準値よりも高い傾向にあった。SL21±1cm とした No.4 と比較して、OVSP や SPV を用いて SF55±7.5cm とした No.5~6 の管内圧力損失は小さい傾向を示し、圧送負荷を低減することができた。

### 3.3 圧縮強度試験結果

ポンプ圧送前後で採取した供試体の材齢 28 日での圧縮強度試験結果を図-8 に示す。

軽量コンクリート I 種 No.1~No.3 と普通コンクリート No.4~No.6 において、それぞれ圧縮強度は同程度であり、OVSP や SPV の添加による影響はみられなかった。

各調査において、圧送前後で圧縮強度は同程度であり、圧送による大きな影響はみられなかった。圧送後の強度の方が若干低くなっている No.1 および No.4 については、圧送中に混入したエントラップトエアによるものと考えられる。

### 4. まとめ

増粘成分を含む流動化剤と高性能 AE 減水剤をコンクリートに適用して、ポンプ圧送性について実験的に検討を行った。得られた知見を以下に示す。

- 1) ポンプ圧送実験から、増粘成分を含む流動化剤および高性能 AE 減水剤により、圧送後の流動性確保に効果があることを確認した。
- 2) 圧送負荷について、SL21cm を基準とすると、SL23cm とした軽量コンクリート I 種では同等であったが、SF55cm とした普通コンクリートでは低減することができた。
- 3) 増粘成分を含む流動化剤と高性能 AE 減水剤による圧縮強度への影響はみられなかった。

### 参考文献

- 1) 吉田 理紗, 神代 泰道, 酒井 正樹, 並木 憲司: 軽量コンクリートのスランブロス対策に関する実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), pp.495-496, 2015.9
- 2) 日本コンクリート工学協会: コンクリート技術の要点, 2016
- 3) 日本建築学会: コンクリートポンプ工法施工指針・同解説, pp.68-69, 212-214, 2009.1

\*1 大林組 技術研究所 修士(工学), \*2 大林組 技術研究所 博士(工学)

# 論文 フレッシュコンクリートの性状改善に関する実験的検討

○亀島 健太\*<sup>1</sup>      作榮 二郎\*<sup>2</sup>  
 小泉 信一\*<sup>3</sup>      杉山 知巳\*<sup>4</sup>

高性能 AE 減水剤      フレッシュ性状      粘性  
 経時変化              施工性

## 1. はじめに

コンクリート工事においては、コンクリートポンプ工法による打込みが主流となっている。一方でポンプ圧送による打込みの際にはコンクリートの粘性が高い場合、圧力損失が大きく、圧送性が低下するため、粘性の低いコンクリートが求められている<sup>1)</sup>。しかし、近年では天然資源の枯渇により品質の悪い骨材の利用や環境負荷低減による副産物の利用拡大に伴い、フレッシュコンクリートの粘性増大のリスクが高まっており施工性やポンプ圧送性の低下が懸念されている。

そこで本研究では、主成分の異なる高性能 AE 減水剤を用いたコンクリートの粘性低減効果の検証を目的とし、近年主流となっている粘性低減型のポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤（以降、SP1 と称す）と新規分散剤である PAE 化合物<sup>2)</sup>を主成分とする高性能 AE 減水剤（以降、SP2 を称す）を用い、フレッシュモルタルでの変形性および粘性の違いを評価した。

## 2. 本論文の構成

本論文では、先ず Phase-1 として、モルタルの練混ぜ直後と経時変化後の変形性と粘性を確認した。次に Phase-2 として、配管内の圧送環境を模擬的に想定し、ポンプ圧送がモルタルの変形性と粘性に与える影響について検討を行った。

表-1 使用材料

材料	記号	産地・主成分
セメント	C	普通ポルトランドセメント (密度:3.16g/cm <sup>3</sup> )
細骨材	S	大井川水系陸砂 (表乾密度:2.58g/cm <sup>3</sup> )
水	W	上水道水
高性能AE減水剤	SP1	ポリカルボン酸エーテル系化合物
	SP2	PAE化合物
消泡剤	DF	ポリアルキレングリコール誘導体

## 3. 使用材料・配合・練混ぜ方法

使用材料を表-1に示す。化学混和剤は、主成分の異なる2種類の高性能 AE 減水剤を用いて評価を行った。モルタルの配合を表-2に示す。粘性の違いを確認するために、粘性が高い条件になるように W/C=30.0%で評価を行った。また、S/Cは1.5, 1.8 および 2.0 の条件で試験を行った。Phase-1の練混ぜにはモルタルミキサーを用い、180秒間の練り混ぜを行った。Phase-2の練り混ぜには公称容量55リットルのパン型強制練りミキサーを用い、全材料投入後180秒間練り混ぜた。練上がり温度は20℃で各測定を行った。

## 4. 試験方法

フレッシュモルタルの評価には、図-1, 2に示すモルタルコーンとモルタル用V漏斗を用い、変形性と粘性を定量的に評価した<sup>3)</sup>。それら物性・値の評価方法として、下式(1), (2)に示すモルタルの相対フロー面積比（以降、Γm と称す）およびモルタルの相対漏斗速度比（以降、Rm と称す）を適用した。

$$\Gamma m = (d1 \times d2 - 100^2) / 100^2 \quad (1)$$

$$Rm = 10/t \quad (2)$$

ここで、d1, d2: モルタルフロー値(mm)

t: 流下時間(秒)

表-2 配合条件

W/C(%)	S/C		
30.0	1.5	1.8	2.0

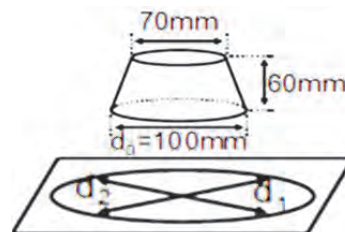


図-1 モルタルフロー試験

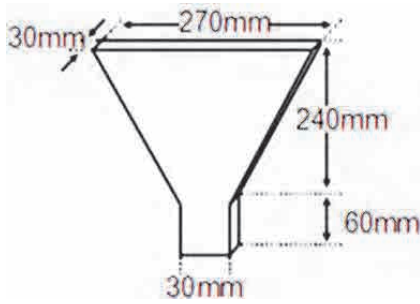


図-2 モルタルV漏斗流下試験

表-3 圧送条件

使用ポンプ	スネークモルタルポンプ DM15
配管	フレキシブルホース (φ2.5cm×5m)
吐出量	約0.24m <sup>3</sup> /h
圧送時間	10分
	20分
	30分

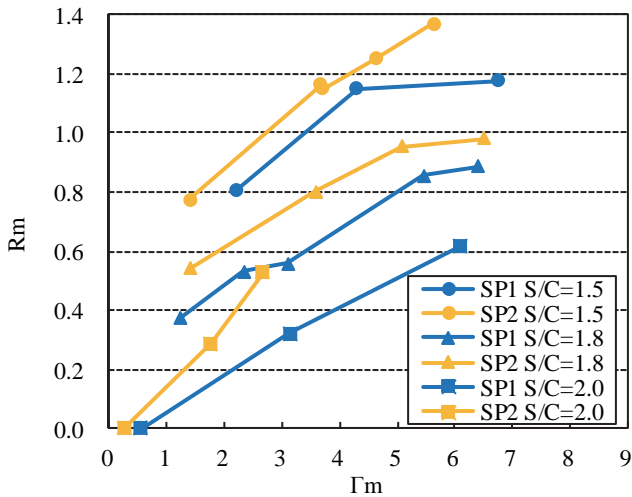


図-3 練混ぜ直後のΓmとRmの関係

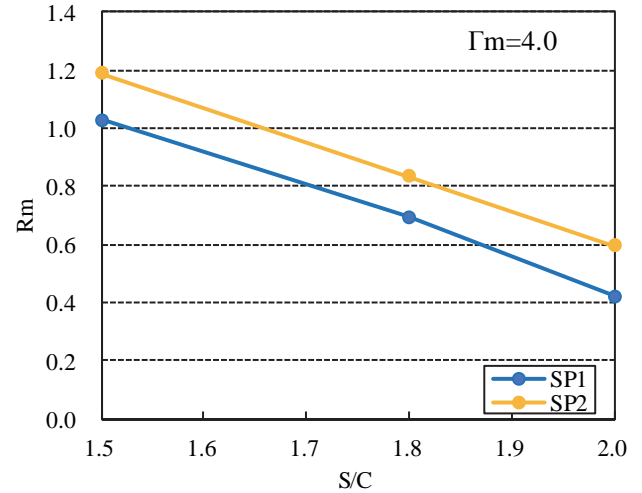


図-4 Γm=4における練混ぜ直後のS/CとRmの関係

Γmは、変形性を表し、値が大きいくほど変形性が高く降伏値が低いことを示している。一方、Rmは、値が大きいくほど粘性が低いことを表している。同一配合での変形性は、高性能 AE 減水剤の添加量を変化させて調整した。また、空気量はその増減による変形性および粘性への影響をなくすため、消泡剤を添加して空気量が2.0±1.0%に収まるように調整した。

Phase-1では、練混ぜ直後と静置状態での経時30分および60分後にΓm, Rmをそれぞれ測定し、粘性の評価を行った。

Phase-2では、ポンプ圧送前後におけるΓm, Rmをそれぞれ測定し、粘性の評価を行った。圧送条件を表-3に示す。所定のモルタルをパン型強制練りミキサで練り混ぜた後、モルタルをモルタルポンプの中に入れて、内径2.5cm長さ5mのフレキシブルホースの中を圧送速度が0.24m<sup>3</sup>/hとなる条件で圧送を行った<sup>4)</sup>。また、配管出口をモルタルポンプのホッパーに接続し、同一のモルタルを順次配管内に循環させた。測定間隔は、練混ぜ直後のモルタルを静置用とポンプ圧送用に分け、静置用のモルタルは、経時0分、10分、20分および30分の間隔で測定を行った。ポンプ圧送用のモルタルは、練混ぜ直後のモルタルをモルタルポンプに投入し、配管内を循環させ、経時10分、20分および

30分の間隔で測定を行った。

## 5. 試験結果および考察

### 5.1 Phase-1

図-3に練混ぜ直後のΓmとRmの関係を示す。既往の研究<sup>5)</sup>と同様にΓmが大きくなるにつれてRmは大きくなる傾向にあった。高性能 AE 減水剤の違いで比較すると、いずれの条件でもSP1に比べてSP2の方がRmは大きくなっており、SP2の方が粘性は低い位置づけであった。また、既往の研究<sup>5)</sup>によれば、高性能 AE 減水剤の使用量を変化させた時のΓmとRmの関係は累乗近似で表わされるため、本研究でも同様にRmの値を式(3)によって近似し、便宜的にΓm=4の時のRm値の比較を行った。

$$Rm = A \times \Gamma_m^X \quad (3)$$

図-4にΓm=4の時の練混ぜ直後のS/CとRmの関係を示す。いずれのS/CもSP1に比べてSP2の方がRmは大きく、細骨材同士の摩擦抵抗が大きくなる条件下においてもSP1に比べてSP2の方が粘性が低い傾向であった。そのため、SP2はSP1に比べて細骨材同士の摩擦が低いことから、骨材変動の影響を受けにくい可能性があると考えられる。

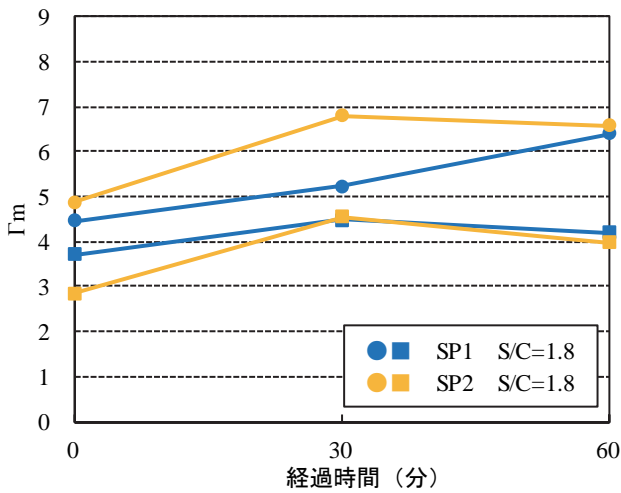


図-5  $\Gamma_m$  の経時変化

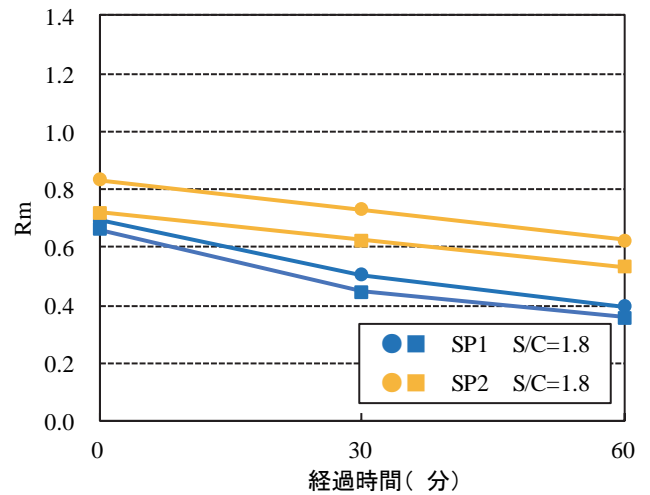


図-6  $R_m$  の経時変化

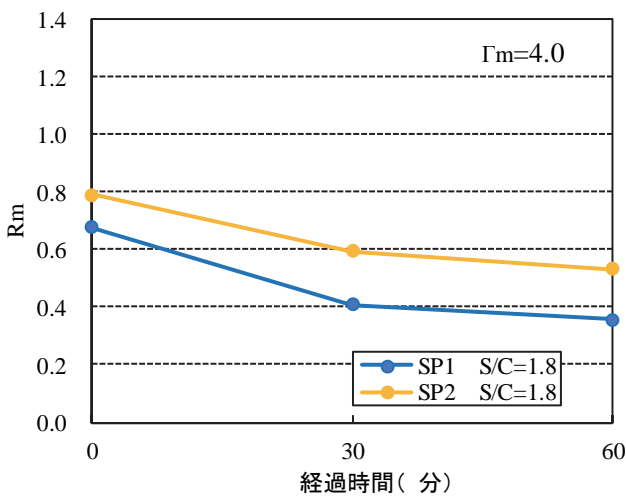


図-7  $\Gamma_m=4$  における  $R_m$  の経時変化

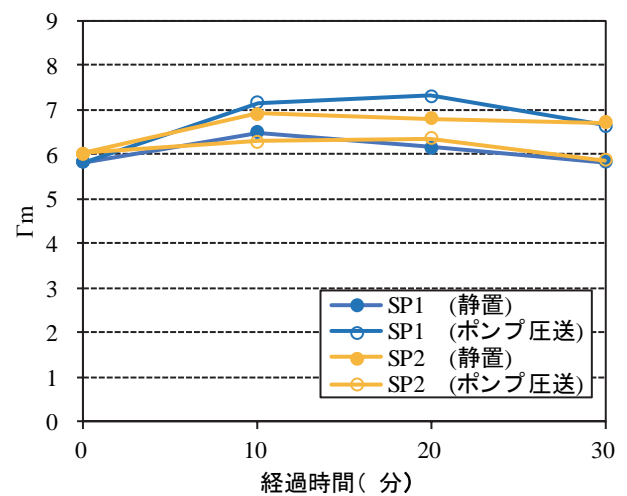


図-8 ポンプ圧送による  $\Gamma_m$  の経時変化

図-5, 6に  $S/C=1.8$  での  $\Gamma_m$ ,  $R_m$  の経時変化をそれぞれ示す。プロットの形の違いは、高性能 AE 減水剤の使用量の違いを意味している。 $\Gamma_m$  の経時変化は、練上がり直後と経時 60 分では、SP1 と SP2 の両方とも少し増加傾向であった。一方、 $R_m$  は経時 0~60 分にかけていずれも SP1 に比べて SP2 の方が大きくなった。

図-7に  $\Gamma_m=4$  の時の  $R_m$  の経時変化を示す。図-4と同様に、図-5および図-6の結果を式(3)で近似し、 $\Gamma_m$  が 4 の時の  $R_m$  について評価を行った。その結果、SP1 と SP2 とともに経時 0~60 分にかけて  $R_m$  は低下する傾向にあるものの、SP1 に比べて SP2 の方が  $R_m$  の低下は小さく、SP2 を用いることで粘性低減効果がより持続されることが確認された。

## 5.2 Phase-2

図-8にモルタルのポンプ圧送時および静置時における  $\Gamma_m$  の経時変化を示す。静置したモルタルの  $\Gamma_m$  は、SP1 は練混ぜ直後から経過時間 30 分で概ね同程度であった。

また、SP2 も SP1 と同様の位置づけであった。また、通常  $W/C=30\%$  の条件においては、 $S/C=1.3$  程度が一般的な配合であるが、本実験においては、 $S/C=1.8$  とし  $W/C=30\%$  においては細骨材の割合が高い条件になるように実験を行った。骨材同士の摩擦により圧力損失が大きくなりモルタルの流動性が低下することを想定し細骨材の割合を高くしたが、SP1 と SP2 の両方とも、ポンプ圧送による変形性の低下は起こらず、安定した経時変化を示した。図-9にモルタルのポンプ圧送時における  $R_m$  の変化を示す。静置したモルタルの  $R_m$  は、いずれの高性能 AE 減水剤を使用しても、練混ぜ直後から経過時間 30 分で小さくなっており、その変化量は概ね同等であった。ただし、SP2 は SP1 に比べて粘性が低い位置づけにあり、この挙動は Phase-1 の結果と同様であった。一方、ポンプ圧送を行った場合には、SP1 は SP2 とともに静置時にみられた、 $R_m$  の低下は認められず、練混ぜ直後の粘性を維持する結果となった。

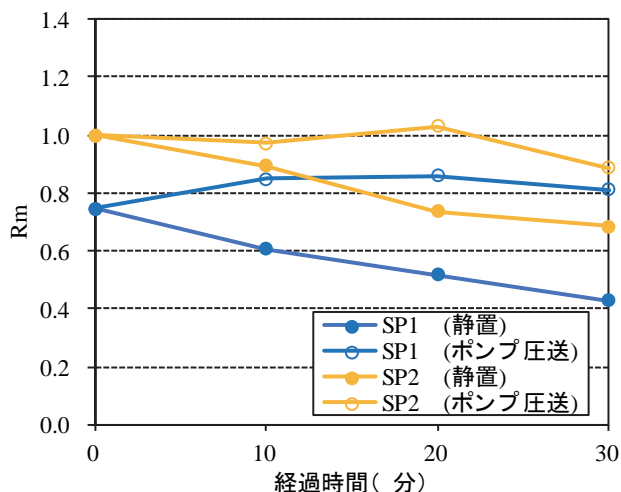


図-9 ポンプ圧送による Rm の経時変化

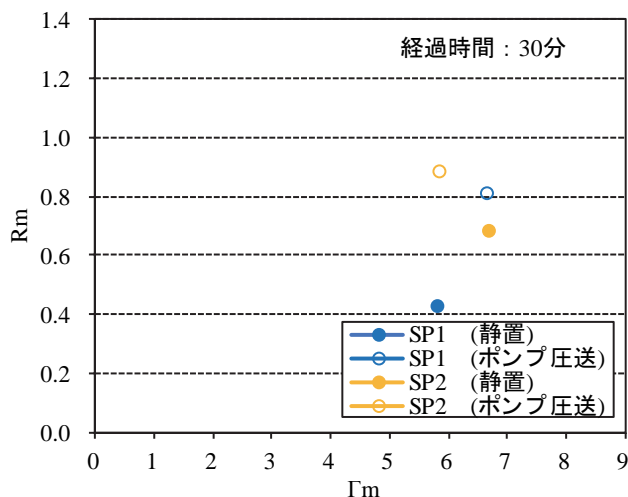


図-10 ポンプ圧送による  $\Gamma_m$  と Rm の関係

図-10 にモルタルのポンプ圧送時および静置した場合の経時 30 分における  $\Gamma_m$  と Rm の関係を示す。静置時と圧送時の Rm の差を比較すると、SP1 を使用した場合が約 0.4 に対して SP2 を使用した場合は約 0.2 となっており、静置時と圧送時で Rm の変化が小さいことが確認された。この傾向はすなわち、SP1 よりも SP2 の方が静置状態においてペーストの凝集構造が形成されにくい性質を有するため、コンクリートを再流動・再圧送させるために必要な外力が低減できることを示唆しているものと考えられた。

## 6. まとめ

本論文では、主成分の異なる 2 種類の高性能 AE 減水剤を用いたコンクリートの粘性低減効果の検証を目的とし、フレッシュモルタルでの変形性および粘性の違いを評価した。得られた知見を以下に示す。

- (1) 練混ぜ直後の粘性は、SP1 に比べて SP2 の方が低い。
- (2) 経時後の粘性は、静置およびポンプ圧送時のいずれも SP1 に比べて SP2 の方が低い。
- (3) SP2 は SP1 よりも静置状態におけるペーストの凝集作用を軽減できる性質があるため、コンクリートを再流動・再圧送させるために必要な外力が低減できる可能性がある。

以上の結果から、

SP2 を用いた場合は SP1 に比べて骨材同士の摩擦抵抗を低減する。また、チキソトロピー性が低い傾向にあることが示唆されたため、引き続き、骨材種類の影響や条件を変えて詳細に検討を行う予定である。

## 参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：コンクリートポンプ施工技術調査委員会報告書，P.82，2007.9
- 2) A. Kraus, O. Mazanec, J. Dengler, N. Hillesheim, J. Bokern : Influence of PAE, SMD and PCE superplasticizers on the rheological properties of mortars and concretes, International RILEM Conference on Application of Superabsorbent Polymers and Other New Admixtures in Concrete Construction, pp.115-126, 2014
- 3) 大内雅博・枝松良展・小澤一雄・岡村甫：自己充填コンクリート中の粗骨材・モルタル粒子間相互作用の簡易評価法，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.21, No2, 1999
- 4) 松尾茂美，永峯秀則，太田晃：新規なポンプ圧送向上剤の作用機構，セメントコンクリート論文集，No.52, pp.224-229,1998
- 5) 菅俣匠・枝松良展・大内雅博：高性能 AE 減水剤の分散保持作用に関する定量評価，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.22, No2, pp.163-168, 2000

\*1 \*2 BASF ジャパン 建設化学品事業部 エンジニア 修士 (工学) ，

\*3 BASF ジャパン 建設化学品事業部 マネージャー 博士 (工学) ，

\*4 BASF ジャパン 建設化学品事業部 シニアマネージャー

# 論文 吊るし打ちを前提とした扁平ゴムホースの材料分離抑制効果

○橋本 学\*<sup>1</sup> 柳井 修司\*<sup>2</sup>  
石橋 靖亨\*<sup>3</sup> 伊豆内 毅\*<sup>4</sup>

先端ホース          扁平ホース          吊るし打ち  
材料分離

## 1. はじめに

高度成長期に造られた社会インフラが 50 年以上経過している昨今、これらの構造物を維持するための補修や更新に膨大な費用がかかるものと試算されている。これを踏まえ、東北地整<sup>1)</sup>や山口県<sup>2)</sup>をはじめとした各地整や自治体では、今後、新設するコンクリート構造物の長寿命化を図り、維持管理コストを削減することを目的とした、コンクリートの品質確保のための様々な取組みがなされている。

このような背景のもと、著者らは、コンクリートポンプによる圧送の際に用いる先端のフレキシブルホースに着目し、先端から排出されるコンクリートを分離させることなく、打ち込むことのできる「扁平ホース」を開発した。

本稿では、先端を扁平形状に加工した扁平ホースの概要とこれを用いた実証実験や現場適用を通じて得られた、その効果について報告する。

## 2. 扁平ホースの開発の背景

コンクリートポンプ車のブームを介したコンクリートの打込みでは、先端へ取り付けるホースは、ゴム製のフレキシブルホースが用いられ、その断面形状は「円形」であることが一般的である。また、打込み方法は、図-1に示すような筒先を寝かせた姿勢となる「寝かし打ち」と、筒先を吊るした状態の姿勢をとる「吊るし打ち」がある。基準類<sup>3), 4)</sup>では、コンクリートの材料分離を抑制するために「寝かし打ち」にて施工することを基本としているが、コンクリートの材料分離抵抗性が高く、かつ排出時の衝撃によって鉄筋や型枠が乱されないことを事前に確認できた場合のみ、「吊るし打ち」でも良いとされている。

実際の施工では、「寝かし打ち」はホースを預けるための鉄筋や作業スペースが必要となることから、柱や壁などの鉛直部材では実施が困難となる。そのため、先端ホースを型枠の奥深くまで挿入することや、サニーホースを組み合わせることで、コンクリートの材料分離を抑制するような工夫をしているのが実状である。また、施工条件によっては、やむを得ず「吊るし打ち」になるケースもあり、その場合には、打込みの過程で材料分離が生じている可能性が十分に考えられる。

こうした実状を勘案し、「吊るし打ち」を行った際でも、先端から排出されるコンクリートの材料分離を抑制して

打ち込むことのできる扁平ホースを開発し、性能評価実験を経て実工事へ適用した。

## 3. 扁平ホースの特長

### 3. 1 扁平ホースの概要

写真-1および図-2に扁平ホースの形状、構造図を示す。ポンプ車のブーム接続部は口径が4インチ(100A)ないしは5インチ(125A)の一般的な円形形状であり、写真-2に示すように、ビクトリックジョイントにて接続可能な構造となっている。ホースは円形部、テーパ部、扁平部

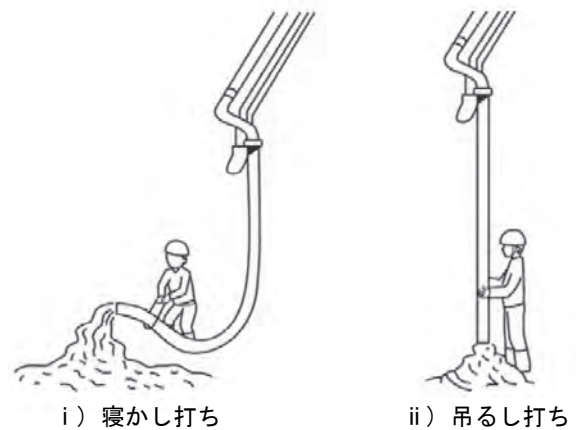


図-1 圧送による打込み方法

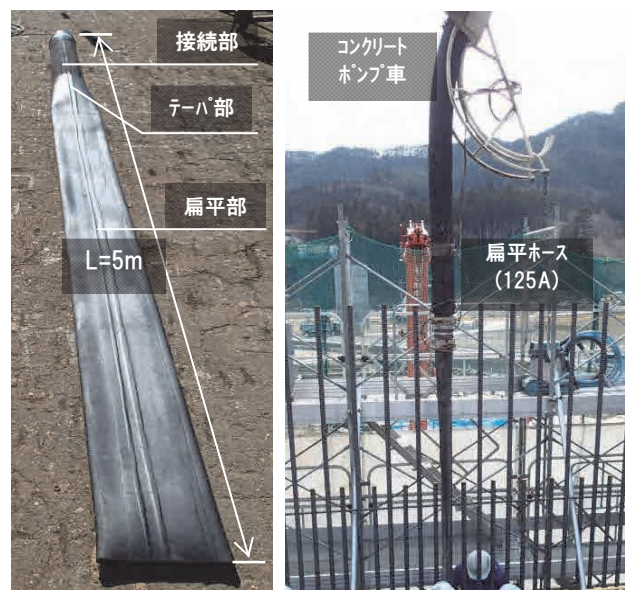


写真-1 扁平ホースの形状

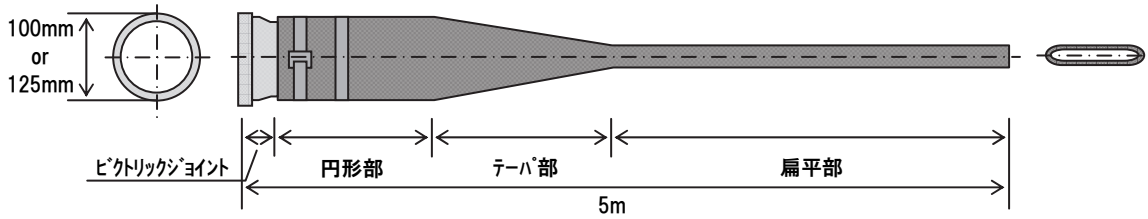


図-2 扁平ホースの構造図



写真-2 接続部の詳細

表-1 使用材料

種類	仕様
水	回収水・地下水
セメント	普通ポルトランドセメント(密度:3.16g/cm <sup>3</sup> )
細骨材	川砂(表乾密度:2.62g/cm <sup>3</sup> ), 山砂(表乾密度:2.58g/cm <sup>3</sup> ) (フリット比=6:4)
粗骨材	川砂利 2505(表乾密度:2.66g/cm <sup>3</sup> ), 碎石 2005(表乾密度:2.70g/cm <sup>3</sup> ) (フリット比=5:5)
混和剤	AE減水剤(標準形,主成分:リグニンスルホン酸)

表-2 コンクリート配合 (30-8-20N)

水セメント比 (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				混和剤
			水	セメント	細骨材	粗骨材	
42.5	8.0	4.5	165	388	650	1120	4.27

表-3 実験項目

試験項目	試験方法
スランプ	JIS A 1101 「コンクリートのスランプ試験方法」
空気量	JIS A 1128 「フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法」
凍結融解抵抗性	JIS A 1148 「コンクリートの凍結融解試験方法(A法)」

からなる全長 5.0m のホースで、扁平部の形状は、事前検討において、コンクリートの配合、粘性およびスランプなどの様々な条件を考慮して決定した。

### 3.2 扁平ホースの性能評価実験の概要

吊るし打ちを想定した、円形ホースと扁平ホースを用いて、コンクリートの材料分離に関する性能評価実験を実施した。表-1 に実験で使用した材料を、表-2 にコンクリートの配合を示す。コンクリートの配合は、橋脚の施工に用いられる一般的な配合 (30 8 20 N) にて実施した。

口径が 5 インチ (125A) の一般的な円形形状のホースと、同じ口径の扁平ホースの 2 種類それぞれをポンプ車のブーム先端に接続し、筒先を 1.5m の高さに保持してコンクリートを排出し、排出状況の違いを目視にて比較した。これは、コンクリート標準示方書 [施工編]<sup>5)</sup>では、打込み高さが 1.5m 以下と定められており、通常の施工で最も材料分離しやすい状況を想定したものである。

実験にて実施した実験項目を表-3 に示す。実験では、4m<sup>3</sup> 積みのアジテータ車を用い、受入れ時のコンクリートのフレッシュ性状を確認した後、型枠内に自由落下させ、材料の分離状況を確認した。また、排出されたコンクリートの圧送・落下後のフレッシュ時の空気量についても測定した。その後、排出された試料を用いて、凍結融解試験用の供試体 (□-10×10×40cm) を作製した。

### 3.3 性能評価実験の結果

#### ① コンクリートの分離状況

吊るし打ちによる比較実験の結果を写真-3 に示す。受入れ時のコンクリートのスランプは 9.0cm であり、規格値 (8±2.5cm) 内であることを確認した後、試験に供した。円形形状のホースを使用した場合のコンクリートは、ホース内の落下過程で分離し、打込み面に到達するとさらに材料分離が顕著となり、モルタルと粗骨材が飛散する状況が確認された。一方、扁平ホースを使用した場合のコンクリ



i) 円形ホース ii) 扁平ホース

写真-3 吊るし打ちによる比較実験



ートは、落下中ならびに打込み面に到達後も材料分離を生じることなく、モルタルと粗骨材は全く飛散しない状況であった。これは、扁平形状のホース内においてコンクリートの自由落下が防止され、排出されるものと考えられた。また、筒先からのコンクリートは、落下中においてもほとんど途切れることなく連続的に排出されることから、打込み面における粗骨材の衝撃も緩和できているものと考えられる。

② フレッシュ時の空気量の変化

図-3にフレッシュ時の空気量の比較を示す。圧送後の空気量について、円形ホースでは圧送前の4.4%から圧送・落下後には3.1%で1.3%減少したことにに対し、扁平ホースの場合では0.5%の減少にとどまる結果となった。これも、自由落下時の材料分離が抑制されたためと考えられる。

③ 凍結融解抵抗性

図-4に凍結融解の試験結果を示す。円形ホースでは240サイクルを超えた時点で、相対動弾性係数が劣化の目安となる60%以下となった。一方で、扁平ホースを用いたケースでは、凍結融解に対して十分な耐久性を有するとされる300サイクルまで60%以上を満足する結果となった。扁平ホースを用いることでコンクリートに必要な空気量が確保され、凍結融解に対する耐久性を満足できることが確認された。

4. 扁平ホースの現場への適用

1リフトの高さが4,000mmである橋脚の施工時およびコンクリート壁（壁厚2,200mm、高さ4,000mm）を構築する

工事に、ポンプ車のブーム先端に扁平ホースを接続して吊るし打ちを行った状況を写真-4、写真-5に示す。圧送開始時および圧送中は、コンクリートが連続的に排出され、材料分離が生じていない状況が確認された（写真-6）。これにより、型枠面の汚れを大幅に軽減することができるとともに、鉄筋へのモルタル付着も軽減できることから、施工中の鉄筋清掃等の作業が省略でき、作業の省力化を図ることができた。さらに、かぶり部付近においても粗骨材とモルタルが一体となって移動していく様子が確認され、かぶり部のコンクリートの品質向上にも寄与しているものと判断された（写真-7）。その他の効果として、筒先においてコンクリートの飛散や、先端ホースの振動や暴れがほとんどないため、締固めを行う作業員や、ホース周辺の作業の安全性も向上した。また、圧送停止時にはホースのテーパ部に残ったコンクリートを扁平部が「ふた」としての役割を担うことで落下を防止することができ、写真-8に示すとおり、ホースを自在に折り曲げることで、ホース位置を変更する際の作業性も向上した。また、先端ホースからコンクリートがこぼれ落ちることがないことから、ホース位置の段取り替えの作業が容易となった。

浄水場の構築工事では、壁厚が300mmの狭隘な箇所に扁平ホースを使用した。通常円形ホース4インチ(100A)では、ホース筒先が鉄筋と干渉するため、筒先を中まで挿入できない状況であったが、扁平ホースを用いることで、鉄筋かぶり部でも先端ホースを挿入することができ、材料分離を起こすことなく、品質を損なわずにコンクリートを打ち込むことができた（写真-9）。

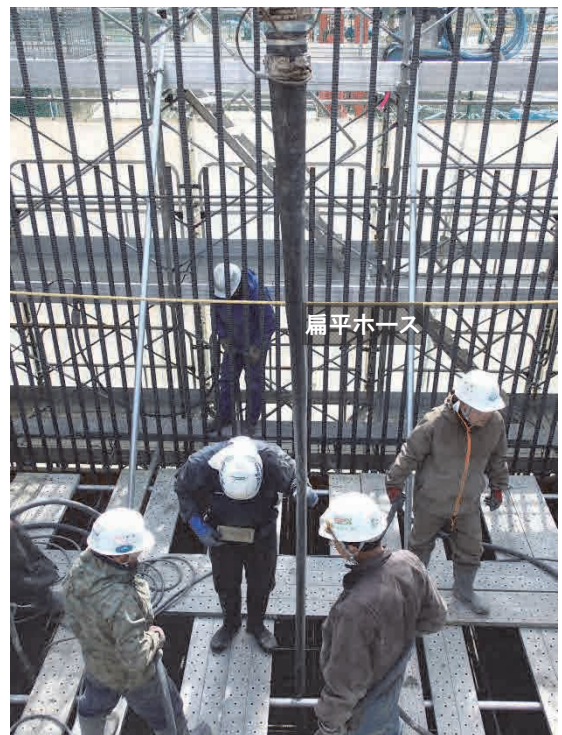
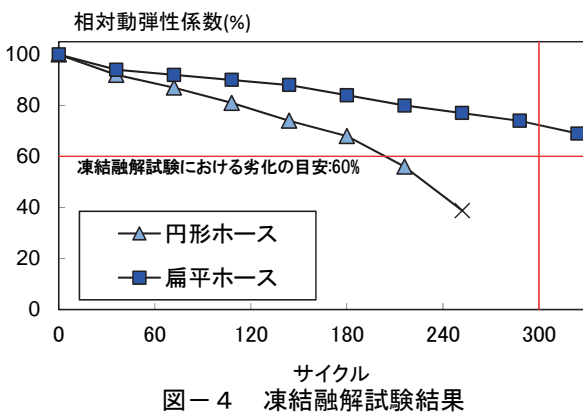
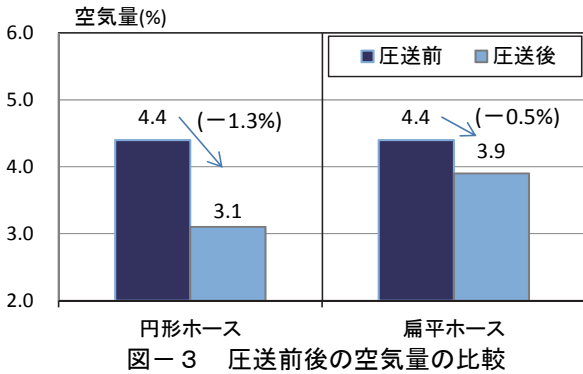


写真-4 吊るし打ちの状況①



写真-5 吊るし打ちの状況②

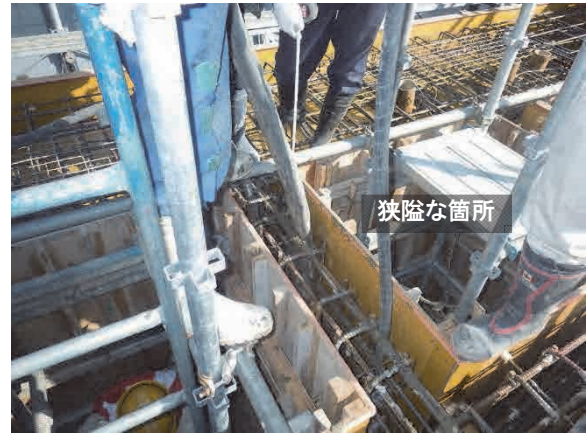


写真-9 狭隘な箇所への適用例



写真-6 排出状況



写真-7 かぶり部  
付近の打込み状況



i) 円形ホース      ii) 扁平ホース  
写真-10 コンクリート表面の出来栄えの比較



写真-8 扁平ホース移動時の状況

鉄道高架橋の構築では、表層品質の向上を目的として扁平ホースを適用した。写真-10に円形ホースと扁平ホースを用いたときのコンクリートの出来栄えの比較を示す。扁平ホースを用いることで材料分離が抑制され、骨材とモルタルのバランスが均一となること、打込み時の巻込みの空気が抑制されることから、表面気泡や色むらが少なく、非常に良好な仕上がりとなることが確認された。

上記で示した施工事例の他に、扁平ホースを用いた吊るし打ちによる施工では、スラブのような広い面積を施工する場合にも有効であること、また、中流動、高流動コンクリートといった流動性の高いコンクリートに対しても、適用できることを確認している。なお、筒先の段取り替え等で打込みを中断した際には、再圧送時に圧送負荷が大きく

なり、閉塞等が懸念されることから、段取り替えの前にホースを外し、ホース内を洗浄できるように予め準備しておくなど留意すべき点があることも補足しておく。

## 5. おわりに

扁平ホースは、吊るし打ちを行った場合でも、打込み時の材料分離を抑制することで耐久性や美観性の高いコンクリートを構築することを可能にする。また、筒先移動の際の作業性の向上や、コンクリートの飛散に伴う鉄筋や型枠の清掃作業の簡略化など生産性向上に寄与することも分かった。本稿が、現場における品質確保・向上、さらには生産性向上の一助となれば幸いである。

## 参考文献

- 1) 国土交通省 東北地方整備局:コンクリート構造物の品質確保の手引き (案), 2015.12
- 2) 山口県土木建築部:コンクリート構造物品質確保ガイド2017, 2017.4
- 3) 土木学会:コンクリートのポンプ施工指針(2012年版)
- 4) 日本コンクリート工学会:コンクリート圧送工法ガイドライン 2009
- 5) 土木学会:2012年制定 コンクリート標準示方書 [施工編]

# 報告 コンクリートポンプ車の機種別ブーム配管の圧送量目安の導入

○荒井 淳\*<sup>1</sup> 佐藤 隆彦\*<sup>2</sup>  
 吉田 兼治\*<sup>3</sup> 山田 譲\*<sup>4</sup>  
 海谷 明\*<sup>5</sup>

コンクリートポンプ工法      輸送管      摩耗  
 通過量                      圧力              点検精度

## 1. はじめに

コンクリートポンプ車のブーム配管は、亀裂の有無や残存肉厚を目視確認、打音検査および超音波肉厚計などによって定期的に点検し、必要に応じて配管の取替えを行っている。この点検の頻度は、技能者の経験則によっておおよその点検時期を設定し実施されていることが多い。そこで、本報告は、適切な輸送管の点検時期を設定するために、コンクリートポンプの理論吐出圧力およびブーム配管の仕様から薄肉円筒理論に基づいて摩耗限界肉厚を算出し、圧送量と配管のすり減り量の関係からブーム配管の圧送量の目安を算定した。

## 2. 輸送管の点検の現状

輸送管の点検方法は、写真-1 および写真-2 に示すような打音検査および超音波肉厚計による検査などが一般的である。これらの検査は、技能者が定期的実施しており、検査の頻度は技能者各自で設定していることがほとんどである。そのため、検査の頻度は、技能者によって異なっている。輸送管の検査は、その頻度が高いことに越したことはないものの、必要以上に行うことは非合理的であり、一方、検査を怠り写真-3 に示すような輸送管の破裂が生じると、重篤事故に繋がる可能性がある。そこで、本報告では、合理的に肉厚測定の間点検時期を判断できるようにコンクリートポンプ車の理論吐出圧力とすり減り量の関係から圧送量の目安を設けることとした。



写真-2 超音波肉厚検査



写真-3 配管の破裂



写真-1 打音検査

## 3. 圧送量目安の設定

### 3.1 すり減り量の算定

肉厚の測定位置を図-1 に示し、輸送管の仕様を表-1 に示す。肉厚の測定は、超音波肉厚計（測定方法：超音波パルス反射方式 測定範囲：0.8mm～100.0mm）を用いて行い、図-1 に示す輸送管（直管およびベント管）を測定することとした。また、測定位置は、インパクトエリアと呼ばれる最もすり減り量が多いとされる点において測定することとした。なお、輸送管のすり減り量を測定したコンクリートポンプ車は、山形県内の建築工事および土木工事において圧送施工したものであり、各工事における圧送は、

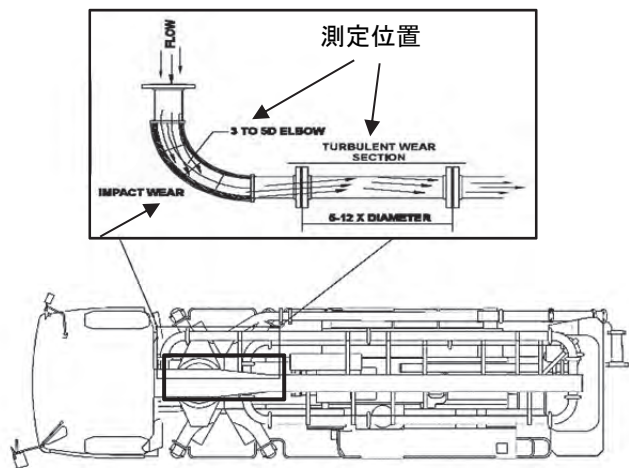


図-1 肉厚の測定位置

ブーム先端からの延長配管を含む一般的なブームを用いた圧送施工であった。すり減り量の測定結果を表-2に示す。

すり減り量は、直管およびベント管についてそれぞれ3回ずつ測定し、測定結果から算出したすり減り量1mmあたりの通過量は、平均で直管が6,073m<sup>3</sup>/mmであり、ベント管が1,617m<sup>3</sup>/mmであった。これより、目安の算定に用いるすり減り量1mmあたりの通過量には、算出の利便性を考慮して、直管6,000m<sup>3</sup>/mmとし、ベント管を1,600m<sup>3</sup>/mmとした。

表-1 輸送管の仕様

種類	名称	許容圧力 (N/mm <sup>2</sup> )	肉厚 (mm)	材質	外径 (mm)
直管	標準圧	4.0	4.5	STK500	139.8
ベント管	標準圧	4.0	4.5	STK500	139.8

表-2 すり減り量の測定結果

測定項目	測定結果			平均	
	1回目	2回目	3回目		
直管	すり減り量(mm)	1.0	2.0	1.0	-
	すり減り量1mmあたりの通過量(m <sup>3</sup> /mm)	6,120	5,880	6,220	6,073
ベント管	すり減り量	1.0	2.0	1.0	-
	すり減り量1mmあたりの通過量	1,660	1,580	1,610	1,617

### 3.2 目安の算出

輸送管の耐圧力は、輸送管の材質、外径および肉厚から薄肉円筒理論に基づいて(1)式より算出することができる。

$$Pa = \frac{2 \times t \times \sigma}{D} \times 0.35 \quad (1)$$

ここに、Pa：耐圧力(N/mm<sup>2</sup>)

D：外径(mm)

t：肉厚(mm)

σ：応力(N/mm<sup>2</sup>)

本報では、(1)式より輸送管に加わる圧力、輸送管の材質および外径から摩耗限界肉厚を算出し、すり減り量1mm

あたりの通過量と摩耗限界肉厚の関係からブーム配管の圧送量の目安を設定した。なお、輸送管に加わる圧力は、輸送管を設置する位置によって異なるものの、十分な安全率を見込んでコンクリートポンプ車の最大理論吐出圧力を代入している<sup>※注1</sup>。

ブーム配管の圧送量の目安を表-3に示す。この圧送量の目安は、コンクリートポンプ車ごとに累計圧送量を記録することで、輸送管の点検時期の目安の一つとして活用することができる。

目安を設定することで得られたメリットを次に示す。

①小型スクィーズ式の場合、住宅基礎が主な工事のため、1回あたりの圧送量が少なく輸送管の摩耗も小さい。そのため点検が忘れがちになる傾向であったが、目安を設定することで点検が定期的に行われるようになった。

②大型ピストン式の場合、理論吐出圧力が高いため日常点検も定期的に行われていたが、目安を設定することで、各技能者によるばらつきをさらに小さくすることができた。

※注1：圧送負荷が4N/mm<sup>2</sup>を超えるコンクリートを圧送する場合は、ブーム配管を用いてはならないことになっているものの、最大理論吐出圧力が4N/mm<sup>2</sup>を超える機種においても安全率を見込んで機種ごとの最大理論吐出圧力を代入している。

表-3 ブーム配管の圧送量の目安

コンクリートポンプ		輸送管				圧送量の目安 (m <sup>3</sup> )
型式	理論吐出圧力 (N/mm <sup>2</sup> )	種類	材質	外径 (mm)	摩耗限界肉厚 (mm)	
PH50B-17	1.8	直管	STK500	139.8	0.59	10,273
		ベント管	STK500	139.8	0.59	2,739
PY115A-26C	5.6	直管	STK500	139.8	2.24	13,579
		ベント管	STK500	139.8	2.24	3,621
PY125-36A	5.9	直管	STK500	139.8	2.36	12,860
		ベント管	STK500	139.8	2.36	3,429
NCP11FB-303	4.9	直管	STK500	139.8	1.96	15,257
		ベント管	STK500	139.8	1.96	4,068
IPG115B-7E30	4.5	直管	STK500	139.8	1.80	16,215
		ベント管	STK500	139.8	1.80	4,324

### 4. まとめ

本報告は、薄肉円筒理論に基づいてブーム配管の圧送量の目安を算定している。この圧送量の目安は、ブーム配管の点検時期や取替え時期を判断する合理的な方法と考えられる。

#### 参考文献

- 立松和彦, 高見錦一, 山崎順二: 高強度コンクリートのポンプ圧送性による配管のすり減りに関する検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.319-320, 2006.9
- 岡田太輔, 宮田敦典, 中田善久, 大塚秀三: 吉田兼治: 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1 分冊, pp.829, 2016.8
- 土木学会: コンクリートのポンプ施工指針, pp.161-163

\*1 ヤマコン福島支店 副支店長, \*2 ヤマコン 代表取締役社長, \*3 ヤマコン事業開発室 執行役員室長,

\*4 ヤマコン山形支店 執行役員支店長, \*5 ヤマコン山形支店 山形営業所工務長



卸し地点), F1 (ホッパ内), F2~F4 (圧送過程) および F5 (筒先) の合計7箇所において図-1に示す位置で採取した。このF1 (ホッパ内) の試料は, コンクリート投入後に90秒間かくはんした試料をホッパから採取した。空気量試験は, 製造直後において無注水法のみとし, F0 (荷卸し地点) ~ F5 (筒先) において注水法を行った。また, コンクリートの経時変化による影響を明らかにするために, いずれのコンクリートも荷卸し地点において採取して静置した試料および傾胴式ミキサ (容量60L) によりかくはんした試料の2種類について測定した。さらに, 圧送による空気量の変化が品質に及ぼす影響を明らかにするために, F0 (荷卸し地点) およびF5 (筒先) より採取した試料において凍結融解試験および促進中性化試験を行った。

### 3. 結果および考察

#### 3.1 圧送によるスランプ, スランプフローおよび空気量の変化

##### (1) AE 減水剤コンクリート

圧送による AE 減水剤コンクリートの圧送前後のスランプおよび空気量の変化を図-2に示す。圧送による AE 減水剤コンクリートのスランプは, 吐出量の変化にかかわらず圧送距離が長くなると, ばらつきがあるものの低下する傾向を示した。また, この傾向は, 文献調査<sup>4)</sup>による傾向と概ね一致した。

製造直後からの経過時間によるスランプの変化は, 圧送した試料と経時変化用試料 (静置した試料およびかくはん試料) とほぼ同等な傾向を示した。この結果から, AE 減水剤コンクリートにおける圧送前後のスランプの変化は, 圧送による影響よりも経時変化による影響の方が大きいものと考えられる。

圧送による AE 減水剤コンクリートの空気量は, 吐出量の変化にかかわらず圧送距離が長くなると, ばらつきがあるものの増加する傾向を示し, 文献調査による傾向と概ね一致した。この圧送による空気量の変化は, ホッパ内において増加し F2 において著しく低下した後, 圧送距離が長くなると増加する傾向を示した。

製造直後からの経過時間による空気量の変化は, 経時変化用試料 (静置した試料およびかくはん試料) よりも圧送した試料の方が若干大きくなる傾向を示した。この結果から, AE 減水剤コンクリートにおける圧送前後の空気量の変化は, 経時変化による影響よりも圧送による影響の方が大きいものと考えられる。これは, 杉本らの報告<sup>2)</sup>と同様な傾向であり, ホッパ内においてコンクリートをかくはんしたときエントラップトエアが増加し, 圧送した直後 (F2) において圧送圧力がかかりその空気が抜けたためと考えられる。この圧送により空気量が増加する傾向の理由は, 断定できないものの, 本実験において F2→F3 においてベント管が9箇所あり, F3→F4 においてベント管が9箇所あることから, ベント管の中でせん断層流の複雑な動きにより起泡作用が再活性され空気量が増加した可能性がある

表-3 試験項目および方法

試験項目	試料採取位置	試験方法	試験概要
スランプ (スランプフロー) 試験	出荷 および F0~F5	JIS A 1101 JIS A 1150	-
空気量試験		JIS A 1128	製造直後: 無注水法 F0~F5: 注水法
単位容積質量		JIS A 1116	-
圧縮強度試験		JIS A 1108	試験材齢28日
凍結融解試験	F0, F5	JIS A 1148(B法)	凍結融解300サイクル
促進中性化試験	F0, F5	JIS A 1153	促進期間26週

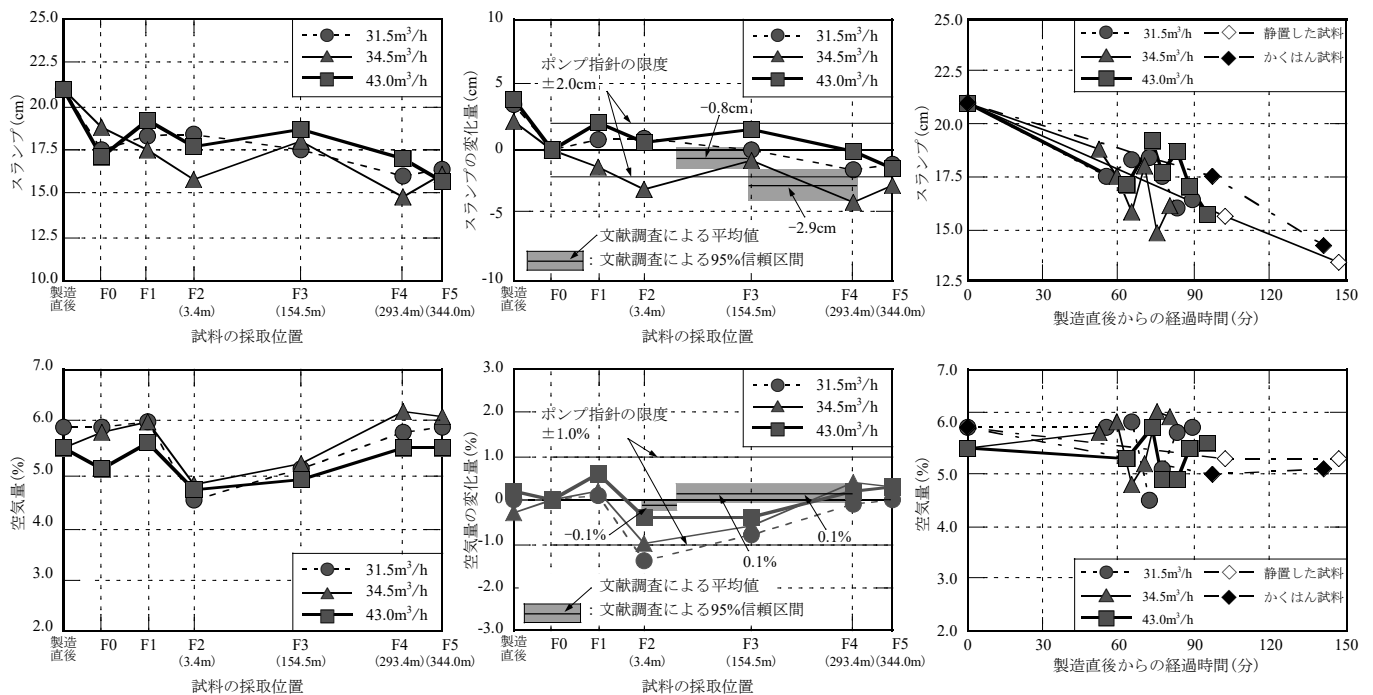


図-2 圧送による AE 減水剤コンクリートの圧送前後のスランプおよび空気量の変化

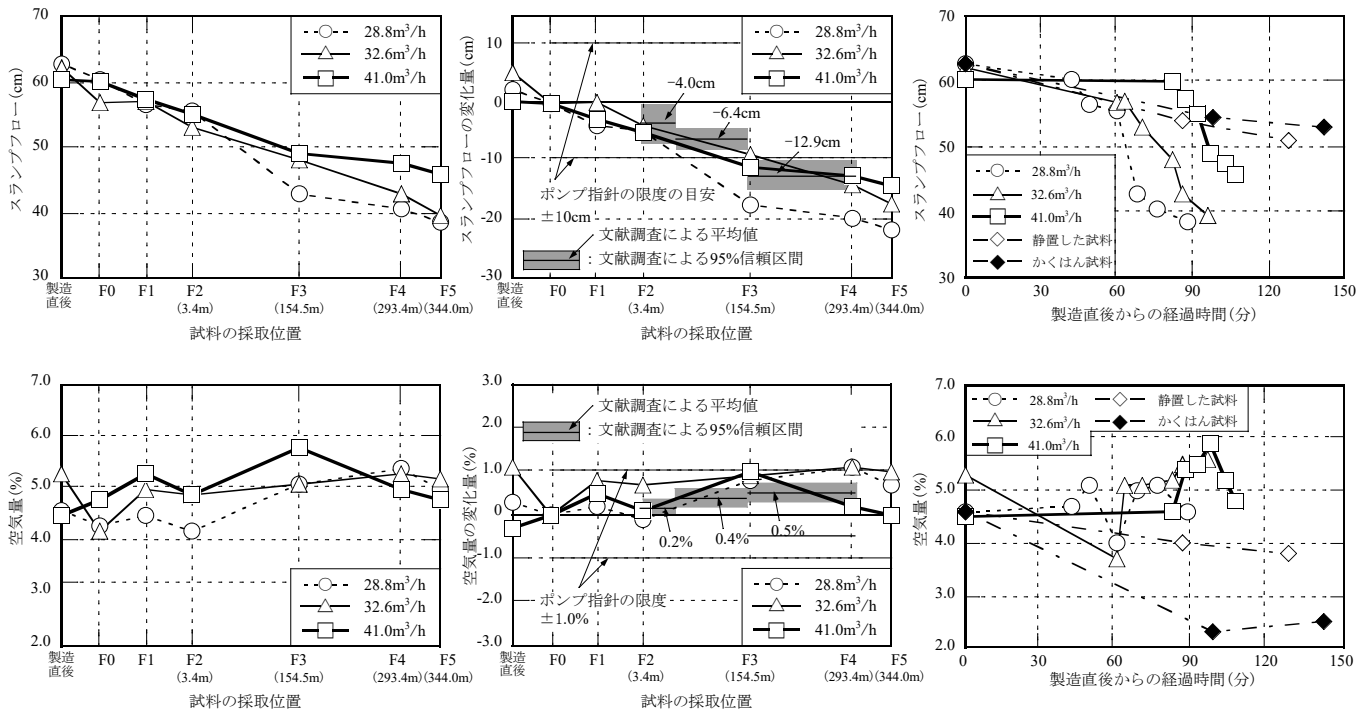


図-3 圧送による高性能AE減水剤コンクリートの圧送前後のスランプおよび空気量の変化

考えられる。

## (2) 高性能AE減水剤コンクリート

圧送による高性能AE減水剤コンクリートのスランプフローおよび空気量の変化を図-3に示す。圧送による高性能AE減水剤コンクリートのスランプフローは、吐出量の変化にかかわらず低下する傾向を示し、文献調査<sup>4)</sup>による傾向と概ね一致した。また、スランプフローの変化量は、圧送距離が150mより長くなるとポンプ指針のスランプフローの限度目安の範囲を超える傾向を示した。

製造直後からの経過時間によるスランプフローの変化は、経時変化用試料（静置した試料およびかくはん試料）よりも圧送した試料の方が著しく低下する傾向を示し、経時変化による影響よりも圧送による影響の方が大きいものと考えられる。これは、ベント管の中でコンクリートのせん断層流の複雑な動きによりセメント粒子からカルシウムイオンや硫酸イオンが分解され、これに高性能AE減水剤のポリマーが吸着してスランプが低下したためと考えられる。カルシウムイオンや硫酸イオンの分散量は、圧送距離が長くなるにつれて累加して多くなり、スランプの低下量に影響したものと考えられる。

圧送による高性能AE減水剤コンクリートの空気量は、AE減水剤コンクリートと同様に、ばらつきがあるものの増加する傾向を示し、文献調査による傾向と概ね一致した。この現象は、前述したAE減水剤コンクリートと同様な傾向であり、断定できないものの、ベント管の中でせん断層流の複雑な動きにより起泡作用が再活性化され空気量が増加した可能性があると考えられる。

製造直後からの経過時間による空気量の変化は、経時変

化用試料よりも圧送した試料の方が著しく大きくなる傾向を示し、経時変化による影響よりも圧送による影響の方が大きいものと考えられる。

## 3.2 圧送によるコンクリートの圧縮強度の変化

圧送によるAE減水剤コンクリートおよび高性能AE減水剤コンクリートの圧縮強度の変化を図-4に示す。圧送によるAE減水剤コンクリートおよび高性能AE減水剤コンクリートの圧縮強度は、荷卸し地点から筒先までの間でばらつきがあるもののほぼ同等な値を示し、いずれも文献調査<sup>4)</sup>による傾向と概ね一致した。しかし、吐出量の違いや前述した空気量の増加による影響は小さいものと考えられる。

## 3.3 圧送による空気量の変化が凍結融解抵抗性および中性化抵抗性に及ぼす影響

### (1) 凍結融解抵抗性

凍結融解300サイクル後における圧送前後の相対動弾性係数の変化を図-5に示す。いずれのコンクリートも圧送前後の相対動弾性係数の変化は、ばらつきがあるもののF0（荷卸し地点）に比べてF5（筒先）の方が若干大きくなる傾向を示した。これは、前述した起泡作用が再活性化されて微細な気泡が若干増加した可能性があると考えられる。圧送前後の気泡について村田<sup>3)</sup>が50～250μmの気泡数が増加するという報告もあり圧送による空気量の変化が僅かであるが凍結融解抵抗性に有利になる傾向を示した。

### (2) 中性化抵抗性

圧送前後の中性化深さの変化を図-6に示す。いずれのコンクリートも中性化深さはばらつきがあるものの、F0（荷

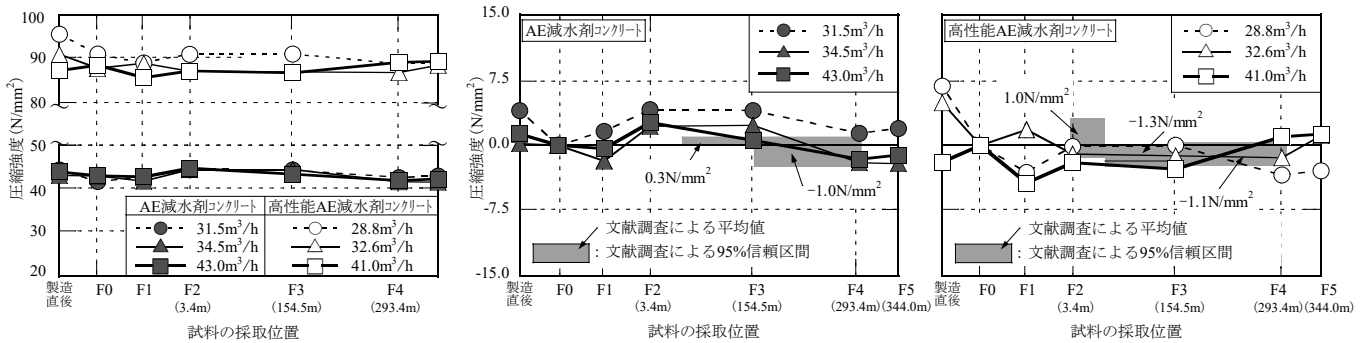


図-4 圧送によるAE減水剤コンクリートおよび高性能AE減水剤コンクリートの圧送前後の圧縮強度の変化

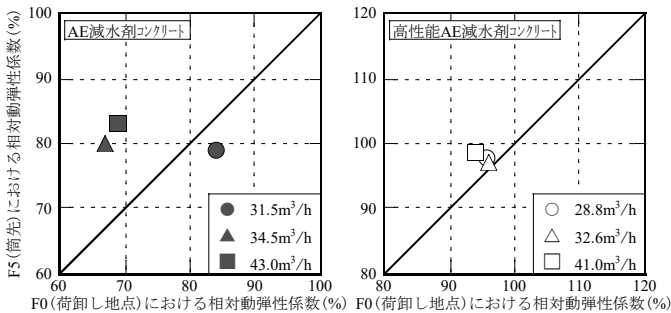


図-5 凍結融解300サイクル後における圧送前後の相対動弾性係数の変化

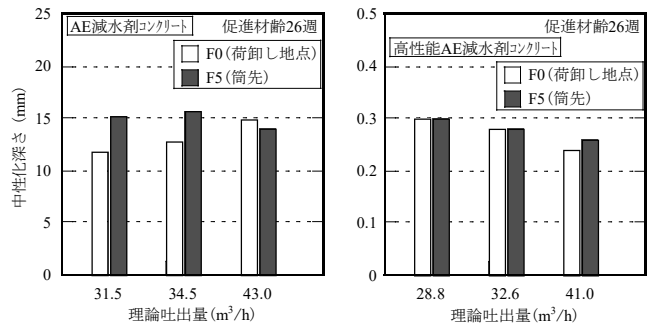


図-6 圧送前後の中性化深さの変化

表-4 圧送実験におけるコンクリートの品質変化

試験項目	AE減水剤コンクリート				高性能AE減水剤コンクリート				
	ホッパ内	50m未満	50m以上150m未満	150m以上	ホッパ内	50m未満	50m以上150m未満	150m以上	
スランプ (スランプフロー)	ほぼ同等の値を示す。	圧送距離が長くなると、ばらつきはあるものの低下する傾向を示し、文献調査 <sup>4)</sup> による傾向と概ね一致する傾向を示す。経時変化による影響が大きいものの、ポンプ指針の限度の範囲を超える可能性がある。	圧送距離が長くなると、ばらつきはあるものの増加する傾向を示し、文献調査 <sup>4)</sup> による傾向と概ね一致する傾向を示す。圧送による影響が大きいものの、概ねポンプ指針の限度の範囲となる。	若干大きくなる傾向を示し、圧送による影響が小さい。	僅かに減少する傾向を示す。	圧送距離が長くなると低下する傾向を示し、文献調査 <sup>4)</sup> による傾向と概ね一致する傾向を示す。	圧送距離が長くなると低下する傾向を示し、文献調査 <sup>4)</sup> による傾向と概ね一致する傾向を示す。	圧送距離が長くなると、ばらつきはあるものの低下する傾向を示し、文献調査 <sup>4)</sup> による傾向と概ね一致する傾向を示す。圧送による影響が大きいものの、ポンプ指針の限度目安の範囲を超える可能性がある。	若干大きくなる傾向を示し、圧送による影響が小さい。
空気量	僅かに増加する傾向を示す。	圧送により著しく減少する傾向を示す。	圧送距離が長くなると、ばらつきはあるものの増加する傾向を示し、文献調査 <sup>4)</sup> による傾向と概ね一致する傾向を示す。圧送による影響が大きいものの、概ねポンプ指針の限度の範囲となる。	若干大きくなる傾向を示し、圧送による影響が小さい。	僅かに増加する傾向を示す。	圧送により減少する傾向を示す。	圧送距離が長くなると、ばらつきはあるものの増加する傾向を示し、文献調査 <sup>4)</sup> による傾向と概ね一致する傾向を示す。圧送による影響が大きいものの、概ねポンプ指針の限度の範囲となる。	若干大きくなる傾向を示し、圧送による影響が小さい。	
圧縮強度	ばらつきはあるもののほぼ同等の値を示し、圧送による影響が小さい。				ばらつきはあるもののほぼ同等の値を示し、圧送による影響が小さい。				
相対動弾性係数*	若干大きくなる傾向を示し、圧送による影響が小さい。				若干大きくなる傾向を示し、圧送による影響が小さい。				
中性化深さ*	ほぼ同等の値を示し、圧送による影響が小さい。				ほぼ同等の値を示し、圧送による影響が小さい。				

\*: 相対動弾性係数および中性化深さは、圧送前後の結果を比較している

卸し地点)とF5(筒先)とほぼ同等の値を示した。圧送による空気量の変化が中性化抵抗性に及ぼす影響は小さいものと考えられる。

4. まとめ

圧送によるコンクリートの品質変化を実験的に検討した結果をまとめると表-4に示すようになる。

参考文献

- 1) 日本建築学会：コンクリートポンプ工法施工指針・同解説，2009.12
- 2) 杉本勝幸，岩竹秀昭，岩清水隆，木村芳幹，元木亮，永田哲夫：コンクリートの圧送性に及ぼす粗骨材径およびベント管形状の影響に関する研究 その12 空気量の変動に関する検討，日本建

- 築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊，pp.617-618，2012.9
- 3) 村田隆男，高橋洋，杉本勝幸，木村芳幹，高見錦一，山崎順二：コンクリートのポンプ圧送性評価手法に関する研究 その3 ポンプ圧送がコンクリートの気泡間隔係数に及ぼす影響，日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊，pp.923-924，2008.7
- 本論文は，下記の既発表論文を再構築したものである。
- 4) 宮田敦典，中田善久，大塚秀三，岡本圭市：コンクリートポンプ工法における圧送距離が圧送前後の品質変化に及ぼす一考察，日本建築学会構造系論文集，第78巻，第688号，pp.1035-1044，2013.6

\*<sup>1</sup> 日本大学理工学部建築学科 助手，修士(工学)，\*<sup>2</sup> 日本大学理工学部建築学科 教授，博士(工学)，\*<sup>3</sup> ものつくり大学技能工芸学部建設学科 准教授，博士(工学)，\*<sup>4</sup> 岡本建設重機



## 論文 コンクリートポンプ工法における圧送前後の品質変化に関する文献的検討

○宮田 敦典<sup>\*1</sup> 中田 善久<sup>\*2</sup>  
大塚 秀三<sup>\*3</sup> 岡本 圭市<sup>\*4</sup>

品質変化                      圧送距離                      AE 減水剤  
高性能 AE 減水剤              文献調査

## 1. はじめに

コンクリートポンプ工法における圧送の品質変化は、コンクリートの調合や施工計画を立案するときに無視することができない。2009年に日本コンクリート工学協会(現:コンクリート工学会)からコンクリート圧送工法ガイドライン2009および解説<sup>1)</sup>(以下、ガイドラインという)が発刊され、同年に日本建築学会「コンクリートポンプ工法施工指針・同解説」<sup>2)</sup>(以下、ポンプ指針という)が改定された。この改定のポイントとして、フレッシュコンクリートの品質変化に対する考え方を明確にしたことがあげられ、荷卸しから筒先までの圧送前後のコンクリートの品質が変化することは、周知の事実となっている。この品質変化について、ポンプ指針は圧送前後の観点から普通コンクリートにおけるスランプの低下量が-0.5cmとなる傾向と空気量の変化量が-0.2%となる傾向を解説している。また、これに対して、筆者らの一部は、近年のコンクリートの使用材料や調合が変化したことを踏まえ、文献調査をよって高性能AE減水剤コンクリートの空気量がAE減水剤コンクリートと異なり圧送後に増加する傾向を報告してきた<sup>3)</sup>。

水平換算距離とスランプの低下量の関係について、土木学会「施工性能にもとづくコンクリートの配合設計・施工指針(案)」<sup>4)</sup>によると圧送距離が長くなるとスランプの低下量が大きくなることを示しているものの、浦野ら<sup>5)</sup>は、比較的長距離圧送実験において、水平換算距離とスランプの低下量に比例関係が認められない報告をしている。コンクリートポンプに関する研究は、フィールド実験が主であり、実験数を多くできないことや条件によって結果にばらつきがあることから結論を導きにくい側面がある。

そこで、本研究は、コンクリートポンプ工法における圧送距離(300m程度以下)が圧送前後の品質変化に及ぼす影響を明らかにするために、AE減水剤コンクリートおよび高性能AE減水剤コンクリートについて、文献調査より圧送距離(水平換算距離)ごとの品質変化を系統的に調査したものである。

## 2. 文献調査の概要

## (1) 調査対象とする文献

対象とする文献は、1990年から2012年の間に、日本建築学会、土木学会および日本コンクリート工学会において発表されたコンクリートポンプ工法に関する文献645編と

した。この文献のうち、圧送実験を実施しているもの277編、圧入工法に関するもの58編であり、圧送前後の品質変化について検討している220編を対象とした。また、この中で化学混和剤にAE減水剤を用いているもの38編であり、高性能AE減水剤を用いているもの185編であった。なお、重複する文献も含まれるため、文献数は一致しない。

## (2) 検討対象とするデータ

圧送前後の品質変化は使用材料、調合および圧送する条件により異なる。そのため、検討対象とするデータは、化学混和剤にAE減水剤または高性能AE減水剤を用いて、ピストン式ポンプ車により配管形式(輸送管径5B)のものに限定した。

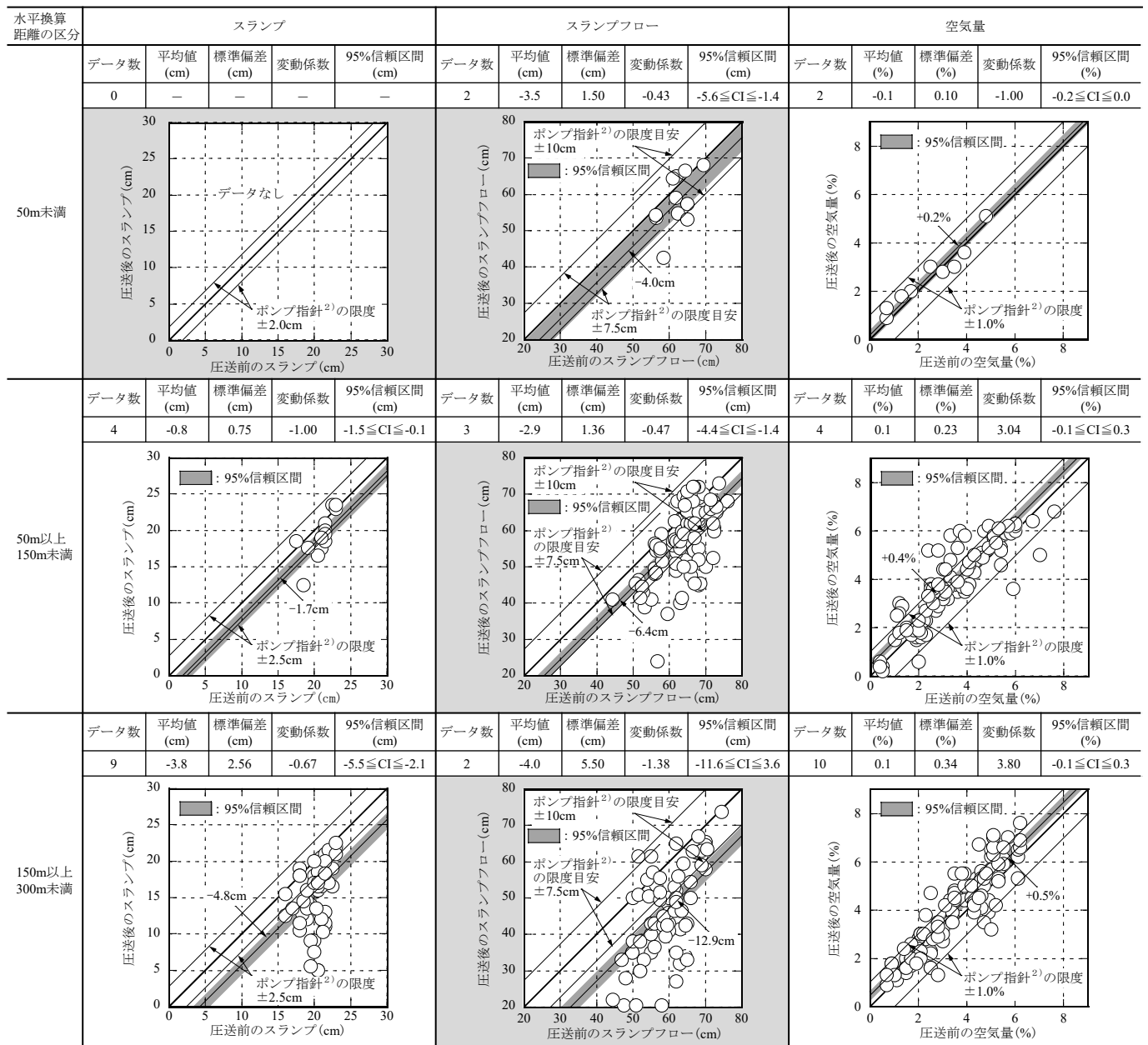
圧送前後のスランプ、スランプフロー、空気量および材齢28日における圧縮強度の変化は、水平換算距離を「50m未満」、「50m以上150m未満」および「150m以上300m未満」の3つに区分して検討した。水平換算距離が文献中に表記されていない場合、配管図が示されているものは、土木学会「コンクリートのポンプ施工指針2012年版」<sup>6)</sup>の換算方法に準拠し算出した値を用いた。ただし、AE減水剤コンクリートのW/Cが45.0%未満のもの、高性能AE減水剤コンクリートのW/Cが50.0%を超えるもの、骨材に軽量骨材を用いているもの、水平換算距離が不明なものおよび300m以上のものは除外した。

以上の条件で調査した結果、AE減水剤コンクリートのW/Cの範囲は、45.0～62.0%となり、高性能AE減水剤コンクリートのW/Cの範囲は、13.0～50.0%となった。

## 3. 圧送前後のスランプ、スランプフローおよび空気量の変化

## (1) AE減水剤コンクリート

AE減水剤コンクリートの圧送前後のスランプ、スランプフローおよび空気量の変化を図-1に示す。AE減水剤コンクリートの圧送前後のスランプおよびスランプフローの変化は、これまでのポンプ指針で解説されているように、低下する傾向を示し、水平換算距離が長くなるとその低下量が大きくなる傾向を示した。これは、コンクリートの調合および輸送管径がほぼ同一の場合、水平換算距離が長くなると輸送管内のコンクリートにかかる圧送圧力が増加することに加え、輸送管内、特にベント管における強制的なせん断力が増大したこと<sup>7)</sup>がスランプおよびスランプフ



■ : データが無いまたは著しく少ないものを示す

図-1 AE 減水剤コンクリートの圧送前後のスランブ、スランブフローおよび空気量の変化

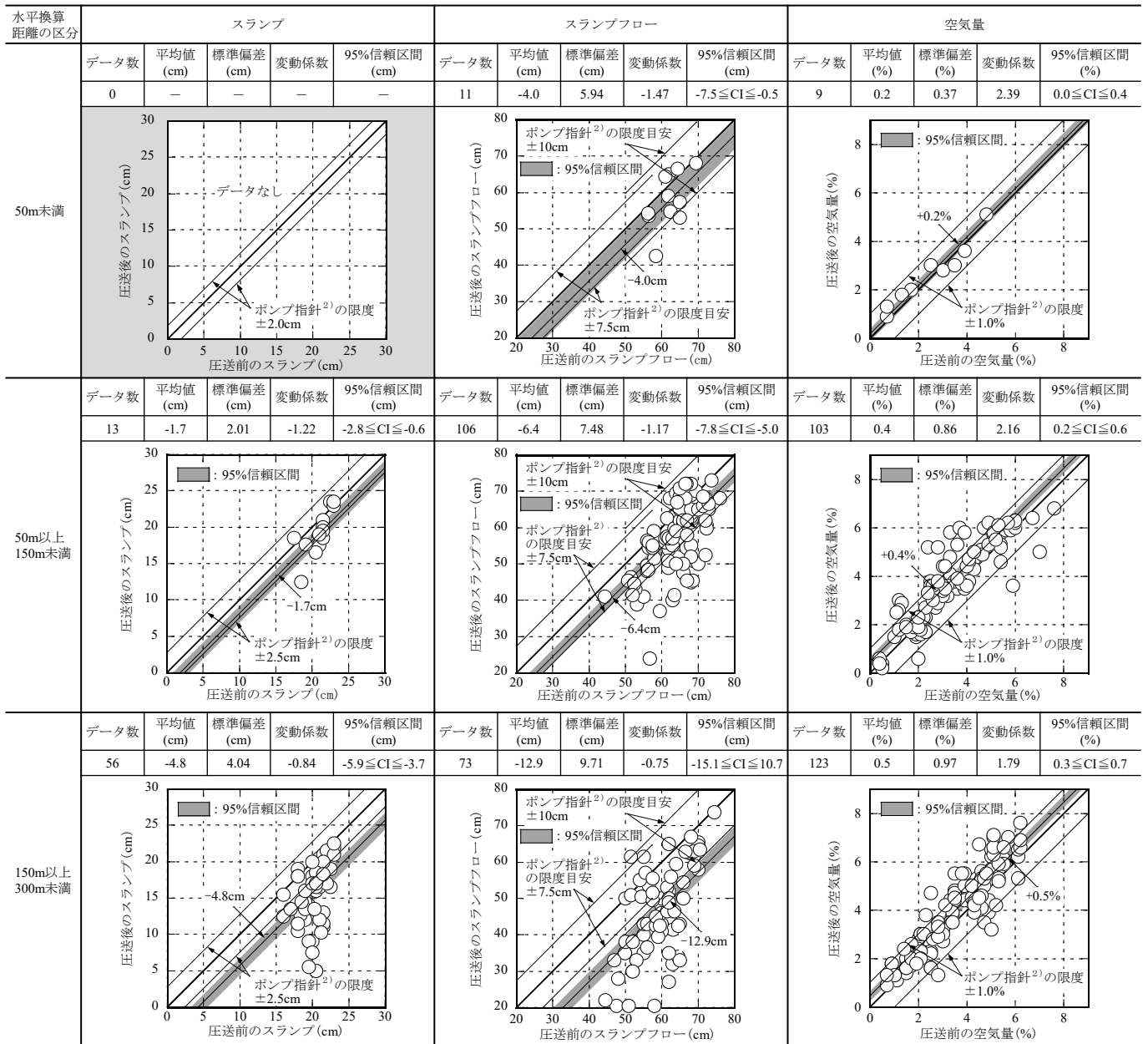
ローの低下量に影響したものと考えられる。また、圧送前のスランブおよびスランブフローが小さいほど低下量が大きくなる傾向を示した。圧送前のスランブおよびスランブフローが小さいコンクリートは、単位セメント量や総ペースト量が少なくなること、混和剤の使用量が少ないことおよびこれによる圧送負荷が増大したことが影響したためと考えられる。水平換算距離が150m以上300m未満のスランブは、ポンプ指針<sup>2)</sup>のスランブの限度の範囲を超える傾向を示した。

文献調査によるAE減水剤コンクリートの圧送前後の空気量の変化は、僅かに増加する傾向を示し、従来のポンプ指針<sup>2)</sup>に示される傾向と異なる傾向を示した。これは、水セメント比が従来のポンプ指針<sup>2)</sup>に示される水セメント比よりも小さくなり、圧送によりコンクリート中の空気が抜

けにくくなったためと考えられる。しかし、水平換算距離が圧送前後の空気量の変化に及ぼす影響は小さいものと考えられる。

## (2) 高性能AE減水剤コンクリート

文献調査による高性能AE減水剤コンクリートの圧送前後のスランブ、スランブフローおよび空気量の変化を図-2に示す。高性能AE減水剤コンクリートの圧送前後のスランブおよびスランブフローは、AE減水剤コンクリートと同様に、低下する傾向を示し、水平換算距離が長くなるとその低下量が大きくなる傾向を示した。また、高性能AE減水剤コンクリートの圧送前後のスランブおよびスランブフローの低下量は、AE減水剤コンクリートに比べて大きな値を示した。このスランブが低下する傾向は、本文献調査のデータ数のうち約80%で見られた。高性能AE



■ : データが無いまたは著しく少ないものを示す

図-2 高性能 AE 減水剤コンクリートの圧送前後のスランブ、スランブフローおよび空気量の変化

減水剤コンクリートは、AE 減水剤コンクリートに比べて W/C が小さいため圧送負荷が大きくなり、さらに、水平換算距離が長くなると輸送管内のコンクリートにかかる圧送圧力が増加することに加え、輸送管内、特にベント管における強制的なせん断力が増大したこと<sup>7)</sup>がスランブおよびスランブフローの低下量に影響したものと考えられる。圧送前のスランブおよびスランブフローが小さいコンクリートは、低下量が大きくなる傾向を示した。これは、前述(1) AE 減水剤コンクリートと同様な理由と考えられる。また、水平換算距離が 150m 以上 300m 未満のスランブおよびスランブフローは、ポンプ指針<sup>2)</sup>のスランブの限度およびスランブフローの限度目安の範囲を超える傾向を示した。

高性能 AE 減水剤コンクリートの圧送前後の空気量は若干増加する傾向を示し、その増加量は AE 減水剤コンクリ

ートに比べて大きくなった。これは、高性能 AE 減水剤コンクリートの単位セメント量が多くなり、モルタルの粘性を増大させ、圧送によりコンクリート中の空気が抜けにくくなったためと考えられる。しかし、水平換算距離が空気量の変化に及ぼす影響は小さいものと考えられる。

#### 4. コンクリートの圧送前後の圧縮強度の変化

文献調査による AE 減水剤コンクリートおよび高性能 AE 減水剤コンクリートの圧送前後の圧縮強度の変化を図-3 に示す。AE 減水剤コンクリートおよび高性能 AE 減水剤コンクリートの圧送前後の圧縮強度は、水平換算距離にかかわらずほぼ同等の値を示し、水平換算距離が長くなるとデータ数に差があるものの標準偏差が大きくなる傾向を示した。

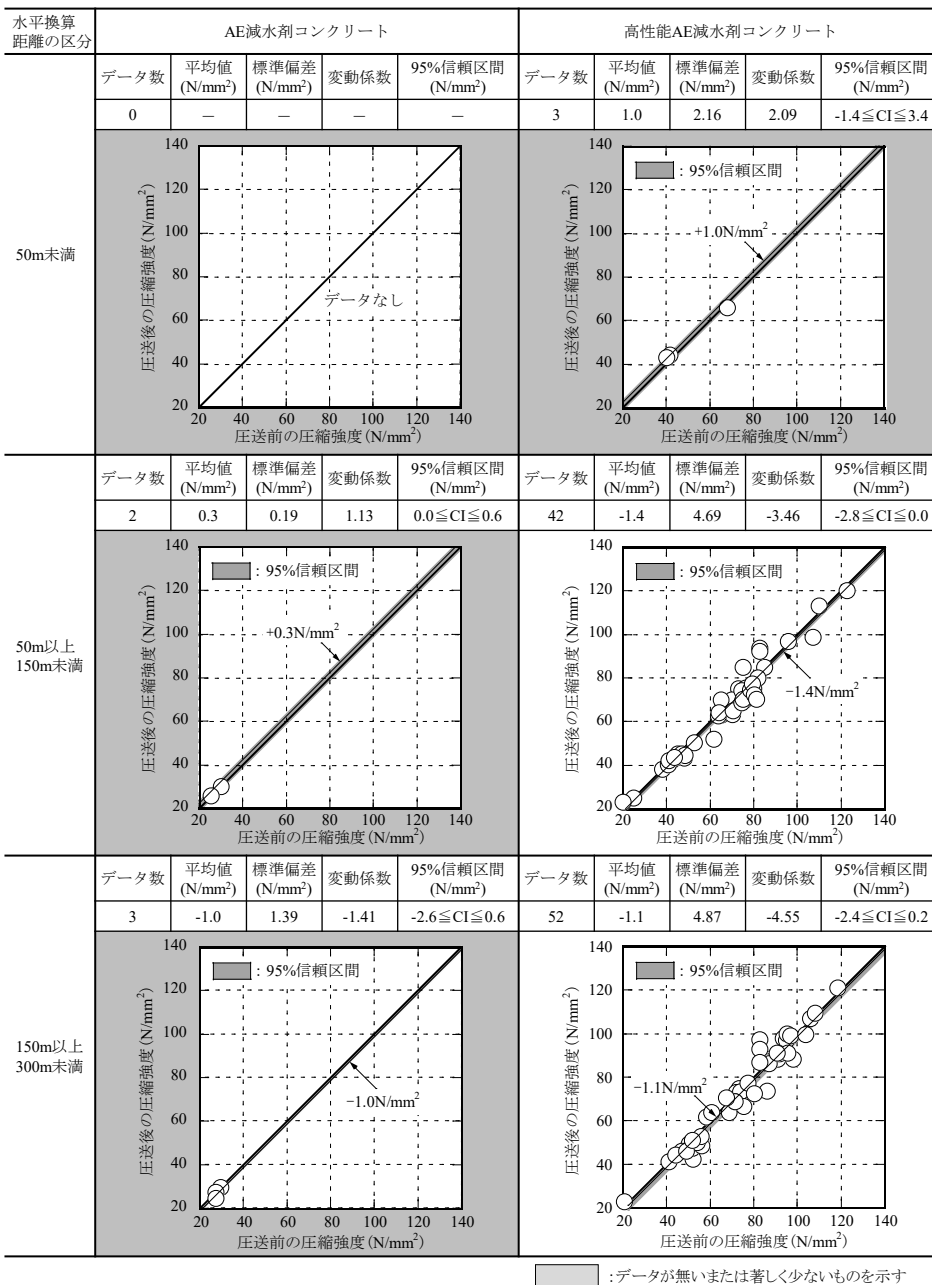


図-3 AE減水剤コンクリートおよび高性能AE減水剤コンクリートの圧送前後の圧縮強度の変化

表-1 コンクリートの圧送前後の品質変化の傾向

種類	水平換算距離の区分	スランプ	スランプフロー	空気量	材齢28日圧縮強度
AEコンクリート	50m未満	-	-3.8cm	-3.8%	-
	50m以上150m未満	-0.8cm	-2.9cm	0.1%	0.3N/mm <sup>2</sup>
	150m以上300m未満	-3.8cm	-4.0cm	0.1%	-1.0N/mm <sup>2</sup>
高性能AEコンクリート	50m未満	-	-4.0cm	0.2%	1.0N/mm <sup>2</sup>
	50m以上150m未満	-1.7cm	-6.4cm	0.4%	-1.4N/mm <sup>2</sup>
	150m以上300m未満	-4.8cm	-12.9cm	0.5%	-1.1N/mm <sup>2</sup>

：データが無いまたは著しく少ないものを示す

## 5. まとめ

コンクリートポンプ工法における圧送距離(300m程度以下)が圧送前後の品質変化を明らかにするために、文献調査により圧送距離ごとの品質変化を系統的に調査した結果、圧送前後のスランプ、スランプフロー、空気量および材齢28日における圧縮強度の平均値をまとめると表-1のようになる。スランプおよびスランプフローは、圧送後に低下する傾向を示し、圧送距離が長くなるとこの低下量が大きくなる傾向を示した。空気量は、圧送後に僅かに増加する傾向を示し、圧送距離による影響は小さい傾向を示した。

### 謝辞

本文献調査は、引用させて頂いた文献が多数あるため、文献名を割愛させて頂いた。ここに、執筆者の方々に敬意を表すとともに、多数の貴重な研究が公表されていることに感謝いたします。

### 参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会：コンクリート圧送工法ガイドライン2009および解説，2009.6
  - 2) 日本建築学会：コンクリートポンプ工法施工指針・同解説，2009.12
  - 3) 中田善久，大塚秀三，毛見虎雄：ポンプ圧送に伴う高性能AE減水剤コンクリートの圧送前後の品質変化に関する文献的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.29，No.2，pp.223-228，2007.7
  - 4) 土木学会：施工性能にもとづくコンクリートの配合設計・施工指針（案），pp.72-75，2007.3
  - 5) 浦野真司，熊野知司，名倉健二，河井徹：ポンプ圧送によるフレッシュコンクリートの性状変化に関する実験的検討，コンクリート工学年次論文集報告集，Vol.21，No.2，pp.445-450，1999.6
  - 6) 土木学会：コンクリートポンプ施工指針2012年版，2012.6
  - 7) 例えば大友健，田辺清，中川修，松木田正義：地下連続壁用低発熱高流動コンクリートの特性に関する研究，コンクリート工学年次論文集，第5巻第2号，pp.33-47，1994.7
- 本論文は、これまでに報告した下記の論文を再構築したものである。宮田敦典，中田善久，大塚秀三，岡本圭市：コンクリートポンプ工法における圧送距離が圧送前後の品質変化に及ぼす一考察，日本建築学会構造系論文集，第78巻，第688号，pp.1035-1044，2013.6

\*1 日本大学理工学部建築学科 助手，修士（工学），\*2 日本大学理工学部建築学科 教授，博士（工学）

\*3 ものつくり大学技能工芸学部建設学科 准教授，博士（工学），\*4 株式会社岡本建設重機

# 論文 コンクリートの圧送における空気量の変化とその制御方法に関する検討

○山崎 順二\*<sup>1</sup>      高見 錦一\*<sup>2</sup>      山田 藍\*<sup>3</sup>  
 木村 芳幹\*<sup>4</sup>      中村 成春\*<sup>5</sup>      岩清水 隆\*<sup>3</sup>  
 永田 哲夫\*<sup>6</sup>      豊田 裕\*<sup>7</sup>      浅田 武彦\*<sup>8</sup>  
 岸 繁樹\*<sup>9</sup>      共田 昌一\*<sup>10</sup>

空気量                      AE 剤                      消泡剤  
 ポンプ車                    ホッパ                    攪拌

## 1. はじめに

コンクリートを圧送することによってその前後でフレッシュコンクリートの性状が変化し、圧送後にはスランブの低下などが生じることが知られている。また空気量は、圧送によって概ね同等かやや減少すると認識されている。

しかし筆者らは、圧送後に空気量が増加する事例を指摘しており<sup>1)</sup>、その後、宮田・中田ら<sup>2)</sup>も、同様の事象について、フレッシュコンクリートの空気量の変動は、ホッパ内でのエントラップドエアの増加および圧送圧力による消失と、ベント管内でのせん断層流の複雑な動きにより起泡作用が再活性化することが複合し、結果として圧送後に空気量が増加する可能性があることを述べている。加えて、AE 減水剤を用いるよりも高性能 AE 減水剤の方が圧送後に空気量が増加しやすく、かつ経時による影響よりも圧送による影響の方が大きいと考察している。

そこで、コンクリートのポンプ車による圧送前後のフレッシュコンクリートの空気量の変化に着目して各種の検討を行うこととした。まず、圧送中に空気量が増加する要因を実大圧送実験および室内試験によって調査するとともに、空気量変化の有無を推定する手法、さらに、圧送前後の空気量変化を抑制・制御する手法についても検討した。

## 2. 圧送前後におけるフレッシュコンクリートの性状

### 2.1 スランブおよび空気量の変化

呼び強度 21~36 (W/C44%~63%)、スランブ 8cm~21cm の 98 調査のコンクリート<sup>1),3)~9)</sup>の圧送前後におけるスランブの変化を図-1 に、空気量の変化(スランブ別および化学混和剤別)を図-2 に示す。

圧送後のスランブは、圧送距離による影響、運搬時間による影響、温度による影響などを受けるが、概ね圧送後に 0~4cm のスランブの低下が認められた。また空気量については、スランブ 8cm の低スランブのコンクリートにおいて圧送後に空気量が低下し、逆に、スランブ 18cm および 21cm のコンクリートでは圧送後に約 1%程度空気量が増加する傾向が認められた。特に、化学混和剤の違いによる影響が顕著であり、主として高性能 AE 減水剤を使用した

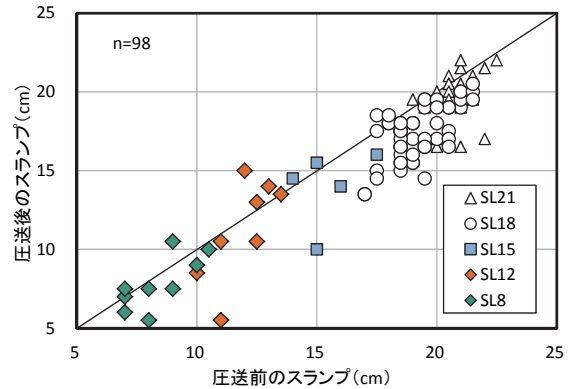


図-1 圧送前後におけるスランブの変化

コンクリートにおいては、既往の文献<sup>2)</sup>と同様に、圧送後に空気量が増大する傾向にあることが分かった。

なお、図中には極端に大きなスランブの低下や空気量の変化が生じているものもあるが、これらは暑中期のコンクリートの圧送など、特殊な圧送条件による結果である。

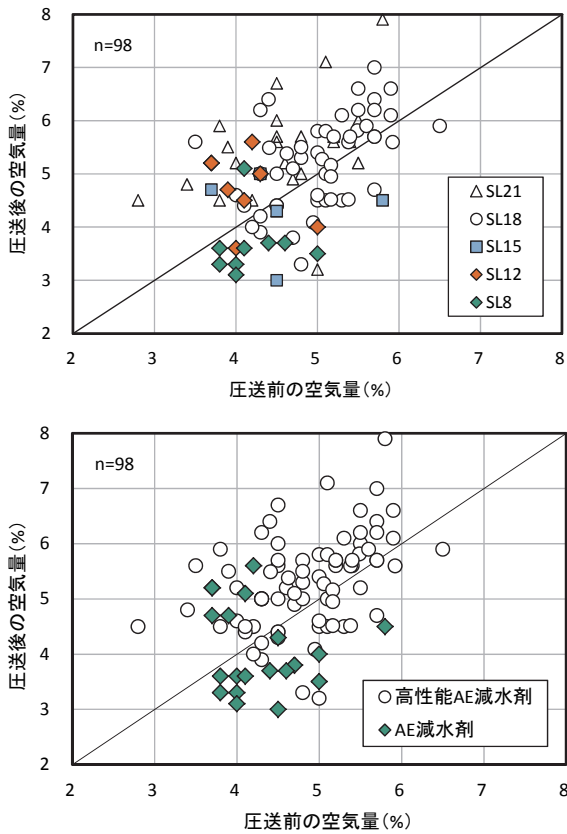
フレッシュコンクリートの空気量が圧送中に増加する現象は通常の圧送状態では考えにくいことから、その要因としては、ポンプ車ホッパ内にフレッシュコンクリートが滞留している間に、ホッパブレードにより攪拌されて気泡を巻き込むことが考えられる。

そこで、ポンプ車ホッパ内でのコンクリートの空気量の変化について以下に検討する。

### 2.2 ポンプ車のホッパ内における空気量の変化

#### (1) 実験概要

コンクリートが製造されてポンプ車の筒先から吐出されるまでのどの段階で空気量が増加しているかを調査するため、出荷時・荷卸し時・シュート(ホッパ投入時)・ホッパ・圧送後(筒先)の 5 時点においてフレッシュコンクリートを採取し、それぞれの時点で空気量を測定した。ここで「ホッパ」のコンクリートとは、アジテータ車のシュートからポンプ車のホッパにフレッシュコンクリートを投入し、約 20 秒間滞留させている間にホッパブレードを回転させて攪拌した後に、ホッパ中央部(ブレード間)



(上：スランプ別・下：化学混和剤別)  
図-2 圧送前後における空気量の変化

から 2L の容器を用いて採取した。

圧送実験に供したA工場およびB工場のコンクリートの使用材料を表-1に、調合概要を表-2に示す。調合番号①~⑧は高性能AE減水剤を使用したスランプ18cmのコンクリート、調合番号⑨~⑬はスランプ15cm以下のAE減水剤(高機能タイプ)および高炉セメントB種を使用した主として土木用のコンクリートである。調合記号の表記は、「呼び強度-スランプ-セメント種類-工場名(消泡剤添加量)」を示している。これらのコンクリートを工場のみキサで4.5m<sup>3</sup>ずつ製造し、同じポンプ車で実験を行った。輸送管長さは実長約100mとし、文献9)に示すカギ型(最長直線距離は約75m)に配管して圧送実験を行った。

表-1 実験に供したコンクリートの使用材料

(A工場)	
セメント	普通ポルトランドセメント P社製 密度3.16g/cm <sup>3</sup>
	早強ポルトランドセメント P社製 密度3.14g/cm <sup>3</sup>
	高炉セメントB種 P社製 密度3.04g/cm <sup>3</sup>
水	地下水
細骨材	S1: 砕砂 福岡県北九州市小倉区産 表乾密度2.69g/cm <sup>3</sup> F.M.2.58
	S2: 砕砂 兵庫県赤穂市西有年産 表乾密度2.58g/cm <sup>3</sup> F.M.2.80
粗骨材	G1: 砕石 2010兵庫県赤穂市西有年産 表乾密度2.60g/cm <sup>3</sup> 実積率61%
	G2: 砕石 1505兵庫県赤穂市西有年産 表乾密度2.60g/cm <sup>3</sup> 実積率58%
	G3: 砕石 2005大分県津久見市青江産 表乾密度2.69g/cm <sup>3</sup> 実積率60%
混和剤	高性能1: AE減水剤(高機能タイプ) X社製
	高性能1: 高性能AE減水剤 X社製
(B工場)	
セメント	普通ポルトランドセメント Q社製 密度3.15g/cm <sup>3</sup>
	高炉セメントB種 Q社製 密度3.04g/cm <sup>3</sup>
	高炉セメントC種 O社製 密度2.97g/cm <sup>3</sup>
水	工業用水・上澄水
細骨材	S1: 海砂 佐賀県唐津産 表乾密度2.57g/cm <sup>3</sup> F.M.2.66
	S2: 砕砂 姫路市家島町西島産 表乾密度2.60g/cm <sup>3</sup> F.M.2.97
粗骨材	G1・G2: 砕石2005姫路市家島町西島産 表乾密度2.62g/cm <sup>3</sup> 実積率58%
	高性能2: 高性能AE減水剤 Y社製
混和剤	高性能2: AE減水剤(高機能タイプ) Y社製
	高性能3: AE減水剤(高機能タイプ) Z社製(BBFS用)

(2) 実験結果および考察

各地点で採取したコンクリートの空気量の変化について、調合番号②・④・⑤~⑧の30-18におけるセメント種類および使用材料の違いによる影響を図-3に、調合番号⑨・⑩・⑪・⑬のAE減水剤(高機能タイプ)を使用したコンクリートのスランプおよび呼び強度の違いによる影響を図-4に示す。

図-3から、練上がり後(圧送前)から圧送後までの空気量の変化は様々であるが、シュートからホップの時点では、セメント種類や使用材料の違いに無関係に全ての調合においてフレッシュコンクリートの空気量が増加する傾向にあり、空気量の増加にはホップブレードでの攪拌の影響が大きいことが推察される。

一方、図-4では、調合番号⑩のみホップの時点で異なる傾向を示しているが、圧送後にはいずれの調合においても空気量が減少している。これらは全てAE減水剤(高機能タイプ)を使用したコンクリートであり、これらのフレッシュコンクリートの空気量は、ホップでの攪拌による影響をほぼ受けていないものと考えられる。

表-2 実験に供したコンクリートの調合概要

調合記号	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )							化学混和剤			
			W	C	S1	S2	G1	G2	G3	種類	混和剤(C×%)	AE剤	消泡剤
① 30-18 N-A(0.5T)	50	49.9	180	360	442	426	301	301	267	高性能1	0.65	0.13A	0.5T
② 30-18 N-A(2T)	50	49.9	180	360	442	426	301	301	267	高性能1	0.65	1.0A	2.0T
③ 30-18 N-B(0.5T)	50	48.3	180	360	574	249	358	538	—	高性能2	1.00	2.0A	0.5T
④ 30-18 N-B(2T)	50	48.3	180	360	574	249	358	538	—	高性能2	1.00	4.0A	2.0T
⑤ 30-18 BB-A	50	49.8	180	360	437	421	301	301	267	高性能1	0.58	0.5A	1.0T
⑥ 30-18 BB-B	48	47.4	180	375	556	241	360	539	—	高性能2	0.90	2.5A	0.5T
⑦ 30-18 BC-B	50	49.5	185	370	574	249	342	512	—	高機能3	1.50	4.0A	0.5T
⑧ 30-18 H-A	50	49.6	180	360	441	424	301	301	267	高性能1	0.66	1.0A	1.5T
⑨ 21-15 BB-B	60	48.1	180	300	585	254	368	552	—	高機能2	1.20	3.0A	0.0T
⑩ 21-12 BB-B	60	47.4	175	292	583	253	377	566	—	高機能2	1.20	3.0A	0.0T
⑪ 21-8 BB-B	60	46.6	165	275	586	254	392	588	—	高機能2	1.20	3.0A	0.0T
⑬ 18-8 BB-B	67	47.8	165	246	610	264	388	581	—	高機能2	1.20	3.0A	0.0T

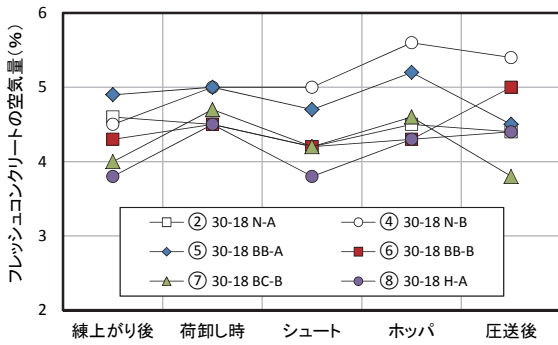


図-3 30-18 の各採取時点における空気量の変化

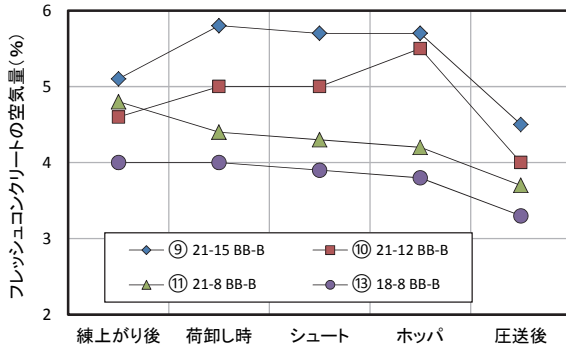


図-4 スランプの違いによる空気量の変化

また、化学混和剤の種類に関わらず、圧送中（ホッパから圧送後の間）には空気量が概ね減少する傾向にあり、ホッパ内での空気量の増加の程度によって、圧送前（荷卸し時）と圧送後の空気量の差が変動することになる。

以上のことから、高性能 AE 減水剤を使用したコンクリートについては、ポンプ車ホッパ内のパドルによる攪拌によってフレッシュコンクリートの空気量が増加しやすい傾向にあり、その影響程度の大小に起因して圧送後に空気量が増加する場合があると考えられる。

### 3. 圧送における空気量変化に関する検証

#### 3.1 インバータ付ミキサを用いた空気量変化の推定

ポンプ車による圧送によってフレッシュコンクリートの空気量が大きく変化すると、その大きさによっては圧縮強度や凍結融解抵抗性などの耐久性状に悪影響を及ぼす危険性がある。そのため、室内実験において空気量増加の可能性を調査し、増加傾向にあるコンクリートについては、調査上の対策を講じることによって圧送後の空気量の増加を抑制・制御することができれば、前述のような硬化後のコンクリートへの悪影響は回避できる。

そこで著者らは、室内試験練りミキサにインバータを付してパドル回転数を調整することによって、ミキサをポンプ車のホッパに見立て、空気量の変化の程度を推定することを試みた。一連の実験結果から、図-5 に示したような空気量の変化を推定するための手法を提案<sup>8)</sup>した。

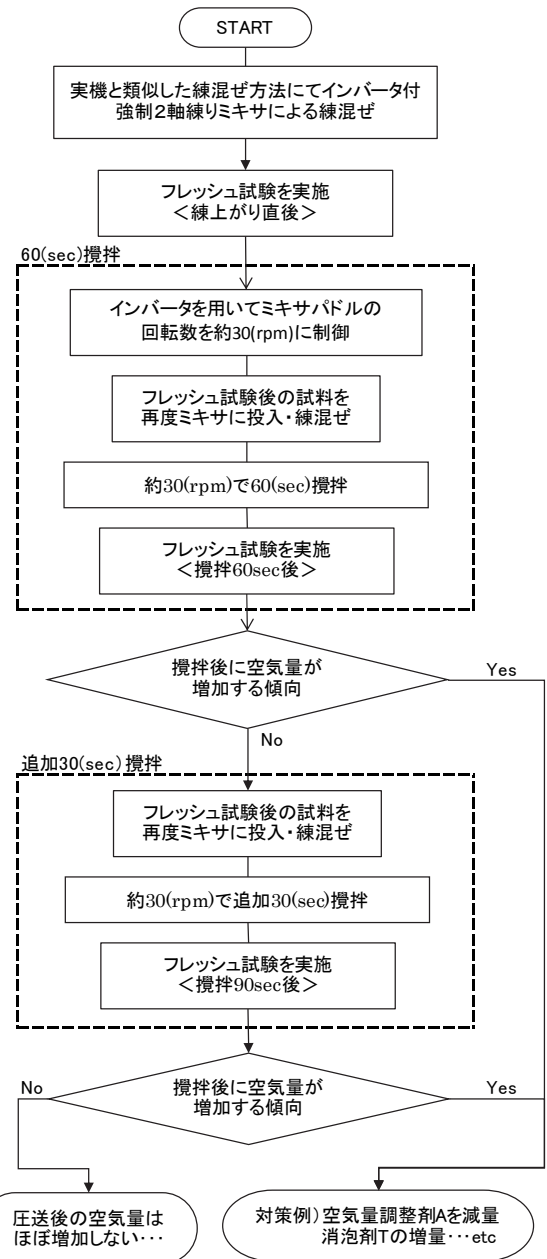


図-5 室内実験による空気量変化の推定チャート

#### 3.2 室内実験と圧送実験における空気量変化の相関性

図-5 に示した空気量変化の推定のためのチャートに基づき、圧送実験時に工場の実機練りミキサで練り混ぜた表-2 に示す 12 種類のコンクリートを練混ぜ直後に採取し、インバータ付ミキサを用いて室内実験を実施し、室内実験と圧送実験時のポンプ車ホッパ内での空気量の変化の挙動との相関性について検証した。

圧送実験においては、実験場までアジテータ車で運搬（A工場は約 5 分、B 工場は約 40 分）した後、まず最初に室内実験用のコンクリートを採取し、その後、ポンプ車のホッパにコンクリートを投入して圧送実験を実施した。

その際、荷卸し時、アジテータ車シュート（ホッパ投入直前）、ホッパ内での攪拌後（コンクリート投入後の滞留・攪拌時間は 20 秒）および圧送後（筒先）の 4 時点からコ

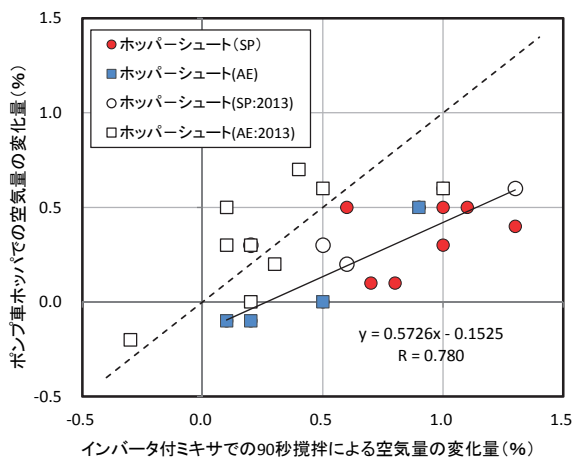


図-6 室内実験とホップでの空気量変化の関係

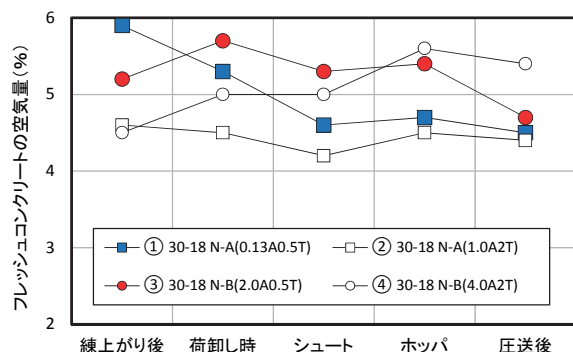


図-7 圧送実験における空気量の変化

ンクリートを採取し、空気量を含むフレッシュコンクリートの性状を確認した。

図-6 に、室内実験におけるインバータ付ミキサでの空気量の変化量と、圧送実験でのポンプ車のホップにおける空気量の変化量との関係を示す。図には既往の実験結果<sup>8)</sup>を併せて示した。相関係数  $R=0.780$  とやや高い相関があり、ポンプ車ホップでの空気量の変化量は、室内実験における変化量の概ね 60%程度となっていることが分かる。以上のことから、インバータ付ミキサを用いた室内実験によって、コンクリートの圧送時におけるポンプ車ホップでの空気量増大の傾向が把握できることが示唆された。

#### 4. 圧送による空気量変化の抑制・制御手法の例

A 工場における調合番号①と②、B 工場における調合番号③と④に示すように、同調合で AE 剤と消泡剤の添加量の割合を変えたコンクリートをそれぞれ製造し、圧送実験に供した。各時点での空気量の変化を図-7 に比較して例示する。凡例の末尾には AE 剤(A)と消泡剤(T)の添加量を併記した。工場ごとにみると、AE 剤の使用量が多い②および④では、ホップの時点で空気量が①および③と比較し

て増加していることが分かる。このことから、ポンプ車ホップでの攪拌によって空気量が増加傾向にあるコンクリートについては、フレッシュコンクリートの空気量の許容範囲を満たすことを条件に、AE 剤の使用量を可能な限り少なくすることが、圧送による空気量の変化を制御(増大を抑制)するためには有効な手段と考えられる。

#### 5. まとめ

コンクリートの圧送中に空気量が増加する要因について実験を行い検討した結果、主として高性能 AE 減水剤を使用したコンクリートでは、ポンプ車ホップでの攪拌によって空気量が増加しやすい傾向にあることが分かった。

また、圧送による空気量の変化を抑制・制御するためには、空気量の許容範囲を満足する範囲内で AE 剤の添加量が少なくなるように調合することが有効な手法である。

#### 参考文献

- 1) 第7回圧送技術研究会:コンクリートポンプ工法に関する総合的な検討, 2010.12.15.
- 2) 宮田敦典・中田善久・大塚秀三・岡本圭市:コンクリートポンプ工法における圧送距離が圧送前後の品質変化に及ぼす一考察, 日本建築学会構造系論文集, 第78巻, 第688号, 1035-1044、2013.6.
- 3) 第3回圧送技術研究会:生コンクリートの性能とポンプ圧送性の評価手法について, 2006.9.21.
- 4) 第4回圧送技術研究会:コンクリートポンプ圧送性評価手法, 2007.10.30.
- 5) 第5回圧送技術研究会:生コンクリートによるポンプ圧送性評価, 2008.11.17.
- 6) 第6回圧送技術研究会:コンクリートのポンプ圧送性に関する総合的な評価, 2009.10.22.
- 7) 第8回圧送技術研究会:コンクリートポンプ施工法の改善と圧送メカニズムの検討, 2012.2.15.
- 8) 第10回圧送技術研究会:低スランプコンクリートの圧送性の評価を中心として, 2014.2.19.
- 9) 第11回圧送技術研究会:スランプと使用材料の違いが圧送性に及ぼす影響, 2015.2.18.

<sup>\*1</sup> 浅沼組 技術研究所 工修, <sup>\*2</sup> 浅沼組 建築事業本部, <sup>\*3</sup> 竹中工務店 大阪本店技術部 工修, <sup>\*4</sup> 日本建築総合試験所 材料部, <sup>\*5</sup> 大阪工業大学 工学部建築学科 准教授 工博, <sup>\*6</sup> 太喜, <sup>\*7</sup> イッケン商事, <sup>\*8</sup> 泉北ニシイ, <sup>\*9</sup> 近畿生コンクリート圧送協同組合, <sup>\*10</sup> トモエポンプ



# 論文 関西地区におけるコンクリートの実大圧送実験から得られた管内圧力損失に関する研究 その1 直管の管内圧力損失を中心として

○山田 藍\*<sup>1</sup>      岩清水 隆\*<sup>1</sup>      中村 成春\*<sup>2</sup>  
 岸 繁樹\*<sup>3</sup>      木村 芳幹\*<sup>4</sup>      山崎 順二\*<sup>5</sup>  
 高見 錦一\*<sup>5</sup>      浅田 武彦\*<sup>6</sup>      永田 哲夫\*<sup>7</sup>  
 豊田 裕\*<sup>8</sup>      共田 昌一\*<sup>9</sup>

実大圧送実験      圧力計      直管  
 管内圧力損失

## 1. はじめに

近年、コンクリートの設計基準強度の増大や使用材料の変化により、圧送性は大きく変わっている。特に、関西地区においては、砕石・砕砂や高性能 AE 減水剤の使用により、従来の日本建築学会のポンプ指針<sup>1)</sup>等の管内圧力損失の値との違いが認められるようになってきている。そこで、日本建築学会近畿支部材料・施工部会では、ポンプ工法に関する技術の向上や、圧送性評価手法の確立、安全施工などについて、総合的かつ技術的に検討することを目的として、2004年に部会内に「ポンプ工法研究会」を組織し、近畿生コンクリート圧送協同組合と共同で研究活動を継続的にを行い、これまでに13回の圧送技術研究会を開催した。その概要を表-1に示す。2005年よりこれまでに、材料や調合、圧送距離などを要因とした11回のField実験や、作業所における計測を行い、コンクリートの圧送性について検討を重ねてきた。その結果、各種コンクリートの管内圧力損失(K値)を推定するための式を提案し、2006年に圧送性評価ソフトを開発し、その後4回のバージョンアップを行ってきた。本報では、圧送性の計測方法や計算方法が確立された2013年~2016年<sup>2)~5)</sup>に実施したField実験の結果のうち、圧力計から得られた管内圧力損失の値について報告する。その1では直管を中心に、その2ではベント管とテーパ管を中心にまとめた。

## 2. 実験概要

### 2.1 実験計画概要

コンクリートの代表的な使用材料を表-2に、配管状況を図-1~3に、調合、フレッシュコンクリートの試験結果および圧送状況を表-3に示す。

2013年の調合は、呼び強度が小さく、スランプも小さい土木用調合が主体であり、セメントはBBが多い。図-1に示す様にポンプ配管はテーパ管が無く、125A直管と125Aベント管で構成されている。

2014年の調合は呼び強度30、スランプ18cmが主体であるがセメントの種類を変化させている。呼び強度21の土木用コンクリートでスランプを変化させている。図-2

表-1 これまでの圧送技術研究会の概要

回	開催日	主な内容
1	2004/7/10	・ポンプ圧送の現状に関する問題の提示 ・パネルディスカッション (ポンプ圧送の現状と今後取り組むべき課題)
2	2005/7/23	・30m圧送実験(第1回Field実験(2005))の報告 ・実施現場における高強度コンクリートの圧送に関する報告
3	2006/9/21	・300m圧送実験(第2回Field実験(2006))の報告 ・高所圧送実験に関する報告
4	2007/10/30	・100m圧送実験(第3回Field実験(2007))の報告 ・ピストン油圧から求める管内圧力損失の全国調査
5	2008/11/17	・30m圧送実験(第4回Field実験(2008))の報告 ・圧送性を評価するためのフレッシュコンクリート試験に関する提案
6	2009/10/22	・200m圧送実験(第5回Field実験(2009))の報告 ・テーパ管・ベント管の圧力損失の把握 ・吊打ち工法による構造体の均質性の評価
7	2010/12/15	・100m圧送実験(第6回Field実験(2010))の報告 ・軽量コンクリートの圧送性の把握
8	2012/2/15	・100/200m圧送実験(第7回Field実験(2011))の報告 ・軽量コンクリートの圧送性の把握
9	2013/2/20	・GL+270m実施工圧送実験(2012)の報告 ・軽量コンクリートの超高所への圧送性の把握
10	2014/2/19	・90m圧送実験(第8回Field実験(2013))の報告 ・土木用コンクリートの圧送性の把握
11	2015/2/18	・110m圧送実験(第9回Field実験(2014))の報告 ・スランプと使用材料による圧送性への影響の把握
12	2016/2/24	・150m圧送実験(第10回Field実験(2015))の報告 ・ポンプ機種による圧送性への影響と閉塞危険性評価
13	2017/2/22	・150m圧送実験(第11回Field実験(2016))の報告 ・暑中期におけるコンクリートの圧送性の評価

表-2 コンクリートの使用材料 (A工場の代表的な材料)

セメント	C:普通ポルトランドセメント T社製
水	W:地下水および上澄水
細骨材	S1:砕砂 福岡県北九州市小倉区産 表乾密度 2.68g/cm <sup>3</sup> 、粗粒率 2.55 S2:砕砂 兵庫県赤穂市西有年産 表乾密度 2.58g/cm <sup>3</sup> 、粗粒率 2.75
粗骨材	G1:砕石 2005 兵庫県赤穂市西有年産 表乾密度 2.60g/cm <sup>3</sup> 、実積率 58.0% G2:砕石 2005 大分県津久見市青江産 表乾密度 2.69g/cm <sup>3</sup> 、実積率 60.0%
混和剤	ad1:高性能 AE 減水剤 F社製 ad2:AE 減水剤 (高機能タイプ) F社製

に示す様に、配管は中央部分にテーパ管を配置しており、125Aベント管が1つ、100Aベント管が1つ存在する。

2015年の調合は呼び強度30、スランプ18cmが中心で、ポンプの機種や使用材料を変化させている。混和剤は高性能 AE 減水剤がほとんどであった。また、ポンプの機種も

変化させたのが特徴である。配管は、図-3に示す様に、テーパ管の位置をポンプ根元から遠くし、125A ベント管2つ、100A ベント管1つとしている。

2016年では、呼び強度、スランプ共に変化させ幅広い調査となっている。配管は、2015年と同じである。

### 2.2 管内圧力の測定方法

管内圧力の測定には、容量5MPaの圧力変換器を用い、測定箇所が配管の全長に渡ってほぼ均等な距離になるような位置に設置した(図-1~3参照)。

### 2.3 圧送状況

表-3に示す様に、圧送実験においては、閉塞または閉塞傾向(閉塞しかかった状況)を示した調査もあった。そのため、閉塞の可能性がある調査に関しては、テーパ管を取り外すなどの対応をとっている。

### 3. 直管の管内圧力損失測定結果

直管部の管内圧力損失は、適切に距離が離れ、圧力計の精度が信頼できる2か所の圧力計の管内圧力差から算出している。

#### (1) 実吐出量の影響

図-4に、実吐出量と直管の管内圧力損失の関係のうち、呼び強度30の場合の一例を示す。スランプが小さくなるほど管内圧力損失は大きくなる傾向が認められたが、混和剤の種類によりその大きさが異なる傾向が認められた。日本建築学会の値<sup>6)</sup>と比較すると、傾きが大きくなっており、特に実吐出量が大きくなると実測値が大きくなる傾向が認められた。

#### (2) スランプの影響

図-5に、2013年~2016年に実施した呼び強度30の調査に関して、実吐出量60m<sup>3</sup>/hの場合の設定スランプと125A直管及び100A直管の管内圧力損失の関係を示す。

125A直管の場合には、スランプが大きくなるほど管内圧力損失は小さくなる傾向が認められた。一方、100A直管の場合には、設定スランプとの明確な関係は認められなかった。この傾向は、圧送前・圧送後スランプを横軸にした場合や、他の呼び強度及び実吐出量の場合も同様であった。これは、125A直管の方がせん断流動しやすく、スランプの影響が出やすいためと考えられる。これに対して、100A直管はせん断変形をしにくいために、すべり流動しやすくなり、管内圧力損失がスランプの影響を受けにくいものと考えられた。

以上の結果から、呼び強度が同一であれば、125A直管では管内圧力損失はスランプにより推定可能であるが、100A直管に関しては推定が困難であると考えられる。

#### (3) 呼び強度の影響

図-6には、2013年~2016年に実施した実験から得られた125A直管の呼び強度と管内圧力損失の関係を示す。スランプが大きい程呼び強度と直管の管内圧力損失の寄与率が大きくなっている。ただし、スランプ18cmに関しては、呼び強度30で各種の材料を使用したコンクリートで圧送実験を行っているため、寄与率は小さくなって

いる。100A直管においても同様の傾向が認められたが、スランプ21cm以外は、125A直管程明確な関係は認められなかった。

以上の結果から、スランプが同じであれば、呼び強度が高くなるほど管内圧力損失は大きくなる傾向があることが分かった。

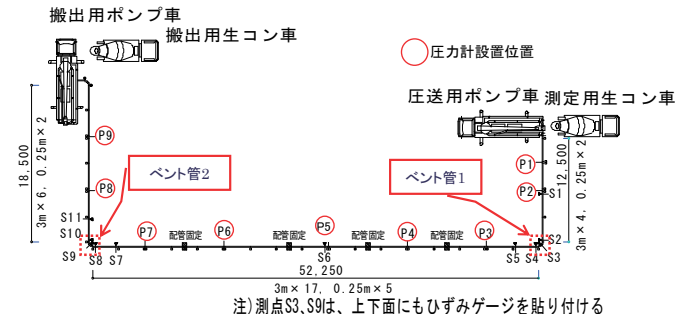


図-1 第8回Field実験(2013)の配管状況と圧力計の位置

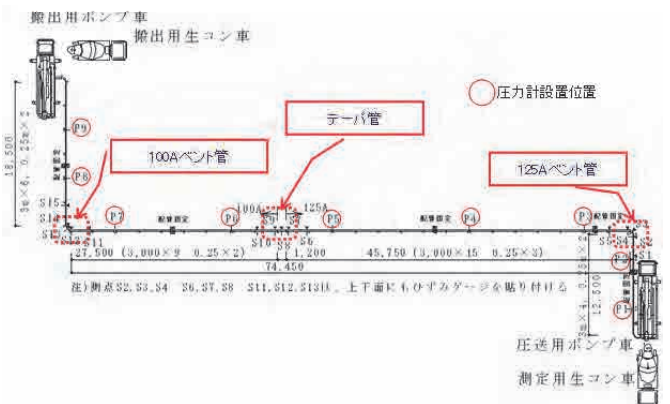


図-2 第9回Field実験(2014)の配管状況と圧力計の位置

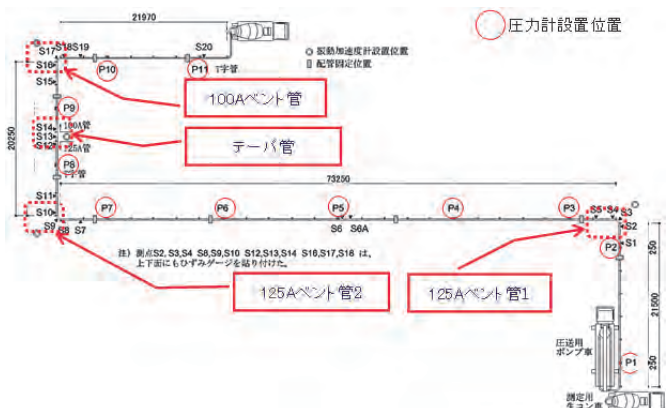


図-3 第10回Field実験(2015)および第11回Field実験(2016)の配管状況と圧力計の位置

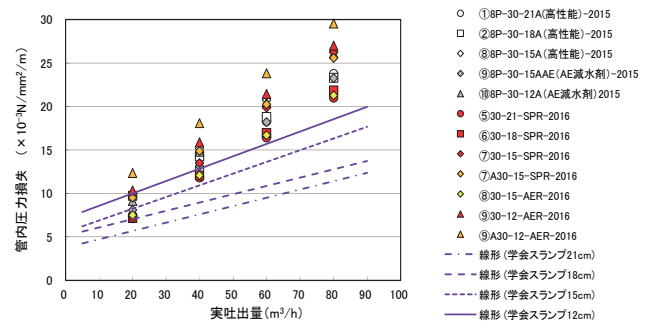


図-4 実吐出量と管内圧力損失の関係<sup>6)</sup>

(4) 輸送管径の影響

図-7には、2014年～2016年の125A直管と100A直管の管内圧力損失の関係を示した。100A直管の管内圧力損失は、平均的に125A直管の1.75倍程度となっている。

図-8には、スランプ21cmの125A直管と100A直管の管内圧力損失比を実吐出量との関係で示した。図中には、日本建築学会及び土木学会の図<sup>17)</sup>から読み取った比

率も示している。管内圧力損失比は大きなばらつきを示しているが、平均的には日本建築学会や土木学会の値と近いものになっている。しかし、2016年の実験においては、スランプ21cmの調査で、低実吐出量の領域で呼び強度が小さくなるほど圧力損失比が大きくなる傾向が認められた。

表-3 コンクリートの調合・フレッシュコンクリートの試験結果・圧送状況

実験名称 実施年	実験記号	出荷 工場	設定							測定								圧送状況	
			呼び 強度	スラン プ (cm)	W/C (%)	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )	単位 セメント量 (kg/m <sup>3</sup> )	セメント の種類	混和剤の種類	スランプ (cm)		スランプフロー (cm)		空気量 (%)		CT (°C)		テーパ 管の 有無	圧送状況
										圧送前	圧送後	圧送前	圧送後	圧送前	圧送後	圧送前	圧送後		
第8回 Field実験 2013	①18-8-20BB	A	18	8	67	165	246	BB	AE減水剤	8.0	7.5	21.5	21.5	3.5	4.6	27	27	無	良好
	②21-8-20BB	A	21	8	60	165	275	BB	AE減水剤	7.0	7.0	21.5	21.0	3.7	4.1	26	27	無	良好
	③27-8-20BB	A	27	8	52	165	317	BB	AE減水剤	9.0	7.5	22.5	21.5	3.6	4.0	27	27	無	良好
	④21-12-20BB	A	21	12	60	175	292	BB	AE減水剤	12.5	13.0	25.5	25.0	3.6	4.5	27	27	無	良好
	⑤21-15-20BB	A	21	15	60	180	300	BB	AE減水剤	17.5	16.0	30.0	28.5	2.0	3.8	27	27	無	良好
	⑥21-8-20BB(s/a=40)	A	21	8	60	160	267	BB	AE減水剤	10.0	9.0	21.0	21.0	3.6	4.0	27	28	無	閉塞傾向
	⑦21-8-40BB	A	21	8	60	160	264	BB	AE減水剤	10.5	10.0	21.0	22.0	3.1	3.8	27	28	無	良好
	⑧21-8-20N	A	21	8	62	165	266	N	AE減水剤	7.0	7.5	21.5	21.0	3.3	4.3	28	28	無	良好
	⑨40-12-20H	B	40	12	37	170	459	H	高性能AE減水剤	13.5	13.5	24.0	23.5	5.0	5.1	29	29	無	良好
	⑩30-18-20N	A	30	18	50	180	360	N	高性能AE減水剤	17.5	15.0	30.5	27.0	4.5	4.8	26	27	無	良好
	⑩2 30-18-20N	A	30	18	50	180	360	N	高性能AE減水剤	19.5	19.0	31.5	32.0	5.3	5.1	26	28	無	良好
	⑩3 30-18-20N	A	30	18	50	180	360	N	高性能AE減水剤	18.5	18.0	31.0	30.0	5.0	4.8	27	27	無	良好
	⑩30-18-20N(FA20)	A	30	18	50*	180	288	N	高性能AE減水剤	18	18	29.5	30.0	3.3	-	28	28	無	良好
第9回 Field実験 2014	①30-18N-A(0.5T)	A	30	18	50	180	360	N	高性能AE減水剤	19.0	15.5	31.5	27.0	5.3	4.5	25	27	有	良好
	②30-18N-A(2T)	A	30	18	50	180	360	N	高性能AE減水剤	17.0	13.5	27.5	24.5	4.5	4.4	26	27	有	良好
	③30-18N-B(0.5T)	B	30	18	50	180	360	N	高性能AE減水剤	18.5	16.5	30.5	26.0	5.7	4.7	28	28	有	良好
	④30-18N-B(2T)	B	30	18	50	180	360	N	高性能AE減水剤	19.0	15.5	29.0	26.5	5.0	5.4	29	29	有	良好
	⑤30-18BB-A	A	30	18	48	180	375	BB	高性能AE減水剤	19.5	16.5	32.0	29.0	5.0	4.5	27	27	有	良好
	⑥30-18BB-B	B	30	18	48	180	375	BB	高性能AE減水剤	20.5	17.5	30.5	30.0	4.5	5.0	26	28	有	良好
	⑦30-18BC-B	B	30	18	50	185	370	BC	AE減水剤	19.5	16.5	31.0	28.0	4.7	3.8	25	27	有	良好
	⑧30-18H-A	A	30	18	50	180	360	H	高性能AE減水剤	19.5	19.5	32.5	32.5	4.5	4.4	27	28	有	良好
	⑨21-15BB-B	B	21	15	60	180	300	BB	AE減水剤	16.0	14.0	26.5	25.0	5.8	4.5	28	28	有	良好
	⑩21-12BB-B	B	18	12	60	175	292	BB	AE減水剤	10.0	8.5	22.0	22.5	5.0	4.0	28	28	有	良好
	⑪21-8BB-B	B	21	8	60	165	275	BB	AE減水剤	7.0	6.0	21.0	20.5	4.4	3.7	27	29	有	良好
	⑫18-8BB-A(入替)	A	18	8	67	165	246	BB	AE減水剤	8.0	-	21.5	-	6.2	-	25	-	有	閉塞
	⑬18-8BB-B(入替)	B	18	8	67	165	246	BB	AE減水剤	8.0	-	21.0	-	4.0	3.3	28	28	有	良好
	⑭18-8BB-B	B	18	8	67	165	246	BB	AE減水剤	8.0	5.5	21.0	20.5	4.0	3.3	28	28	有	良好
	⑮30-55N-A(0.8A)	A	21	55	50	175	350	N	高性能AE減水剤	25.5	24.0	54.5	42.5	8.2	8.2	26	27	有	良好
⑯30-55N-A(0.5A)	A	21	55	50	175	350	N	高性能AE減水剤	24.5	23.0	49.0	44.0	5.6	6.8	26	27	有	良好	
第10回 Field実験 2015	①8P-30-21A	A	30	21	50	185	370	N	高性能AE減水剤	22.0	23.0	37.5	40.5	4.9	5.4	24	23.0	有	良好
	②8P-30-18A	A	30	18	50	180	360	N	高性能AE減水剤	20.0	20.5	34.0	36.5	4.5	4.8	24	24.0	有	良好
	③TP-30-18A	A	30	18	50	180	360	N	高性能AE減水剤	17.0	17.5	27.5	29.5	3.9	5.4	25	26.0	有	閉塞傾向大
	④8S-30-18A	A	30	18	50	180	360	N	高性能AE減水剤	18.5	17.5	29.0	30.0	3.9	4.0	24	26.0	有	閉塞傾向
	⑤4S-30-18A	A	30	18	50	180	360	N	高性能AE減水剤	19.0	20.5	32.0	37.0	3.8	3.8	26	26.0	有	良好
	⑥8P-30-18B	C	30	18	50	180	360	N	高性能AE減水剤	18.5	17.5	29.5	31.0	4.2	4.5	24	23.0	有	閉塞傾向
	⑦8P-30-18BCu	C	30	18	50	180	360	N	高性能AE減水剤	20.0	20.5	35.5	36.5	4.9	5.1	23	24.0	有	良好
	⑧8P-30-15A	A	30	15	50	175	350	N	高性能AE減水剤	17.0	18.0	32.0	31.5	4.5	4.8	23	24.0	有	良好
	⑨8P-30-15AAE	A	30	15	50	180	360	N	AE減水剤	13.5	15.0	26.5	28.0	3.8	4.5	24	24.0	有	良好
	⑩8P-30-12A	A	30	12	50	175	350	N	AE減水剤	17.0	0.0	29.0	0.0	4.7	-	24	-	有	良好
	⑪TP-21-15A	A	21	15	62	180	290	N	AE減水剤	13.5	14.0	25.0	24.5	4.0	4.3	26	26.0	有	閉塞傾向大
	⑫8S-21-15A	A	21	15	62	180	290	N	AE減水剤	17.5	17.0	30.5	29.0	3.9	4.1	24	25.0	有	閉塞傾向
	⑬4S-21-15A	A	21	15	62	180	290	N	AE減水剤	16.0	15.0	26.0	27.0	4.3	3.9	26	26.0	有	良好
	⑭8P-18-15A	A	18	15	68	180	265	N	AE減水剤	17.0	16.0	27.5	27.0	4.1	3.5	24	23.0	有	閉塞
	⑮8P-18-15B	C	18	15	68	180	265	N	AE減水剤	16.0	15.0	28.0	27.0	3.9	4.4	24	23.0	有	閉塞傾向大
	⑯8P-18-15BCu	C	18	15	68	180	265	N	AE減水剤	16.5	17.5	30.0	33.0	3.2	3.5	24	23.0	有	良好
第11回 Field実験 2016	①42-21-SPR	A	42	21	38	185	487	N	高性能AE減水剤	20.5	20.8	34.2	34.8	4.4	5.1	32	33.0	有	良好
	②36-21-SPR	A	36	21	44	185	420	N	高性能AE減水剤	20.5	21.4	35.1	35.5	4.9	5.2	32	34.0	有	良好
	③36-18-SPR	A	36	18	44	180	409	N	高性能AE減水剤	18.5	18.9	31.2	31.4	4.4	4.7	32	34.0	有	良好
	④36-15-SPR	A	36	15	44	175	398	N	高性能AE減水剤	15.5	16.5	26.8	27.8	4.4	4.0	32	34.0	有	良好
	⑤30-21-SPR	A	30	21	50	185	370	N	高性能AE減水剤	21.5	20.6	35.0	35.0	5.0	5.5	32	34.0	有	良好
	⑥30-18-SPR	A	30	18	50	180	360	N	高性能AE減水剤	20.0	17.8	32.3	31.6	4.8	5.2	32	35.0	有	良好
	⑦30-15-SPR	A	30	15	50	175	350	N	高性能AE減水剤	16.0	14.8	27.0	26.3	4.7	4.5	32	35.0	有	閉塞
	⑧30-15-SPR	A	30	15	50	175	350	N	高性能AE減水剤	17.0	7.7	31.0	22.0	4.5	3.9	32	35.0	有	閉塞傾向
	⑨30-15-AER	A	30	15	50	180	360	N	AE減水剤	15.0	13.5	25.8	25.1	3.8	4.0	31	32.0	有	良好
	⑩30-12-AER	A	30	12	50	175	350	N	AE減水剤	13.5	11.8	25.1	24.1	4.0	4.3	32	34.0	無	良好
	⑪30-12-AER	A	30	12	50	175	350	N	AE減水剤	13.5	9.7	25.3	23.1	4.6	3.5	32	35.0	無	良好
	⑫30-08-AER	A	24	8	50	165	330	N	AE減水剤	9.5	21.5	22.4	35.3	4.6	4.9	31	32.0	有	閉塞
	⑬24-21-SPR	A	24	21	57	185	325	N	高性能AE減水剤	21.5	19.0	35.3	29.8	4.9	5.2	32	31.0	有	良好
	⑭24-18-SPR	A	24	18	57	180	316	N	高性能AE減水剤	19.0	16.8	29.8	28.2	5.2	4.2	31	32.0	有	評価不可
	⑮24-15-SPR	A	24	15	57	175	307	N	高性能AE減水剤	17.0	12.2	27.8	24.4	5.5	4.5	32	35.0	無	良好
	⑯24-15-AER	A	24	15	57	180	316	N	AE減水剤	-	-	-	-	-	-	-	-	有	閉塞
再⑭24-15-AER	A	24	15	57	180	316	N	AE減水剤	15.5	13.0	28.5	24.8	4.0	5.3	32	32.0	無	良好	
⑰24-12-AER	A	24	12	57	175	307	N	AE減水剤	13.0	11.4	24.8	23.8	5.3	4.4	32	34.0	無	良好	
⑱24-08-AER	A	24	8	57	165	289	N	AE減水剤	10.0	8.6	23.0	22.3	4.8	4.6	32	34.0	無	良好	

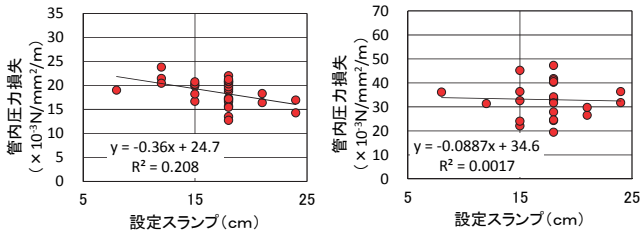


図-5 設定スランブと管内圧力損失の関係 (実吐出量 60m<sup>3</sup>/h)<sup>5)</sup>

低吐出量の場合には、特に 100A 直管においてせん断流動する場合のコンクリートの変形に対する抵抗性が高くなるのが原因と考えられた。特に、暑中期においては、スランブの低下が大きいため、その抵抗性がより高くなり、管内圧力損失比も大きくなったためと考えられた。

図-9 は、スランブ 21cm の調査において、呼び強度と 100A 直管及び 125A 直管の管内圧力損失比の関係を示したものである。実吐出量が小さい場合には、呼び強度が大きくなるほど管内圧力損失比が小さくなる傾向が強くなり、実吐出量が大きくなるに従ってその傾向が小さくなり、実吐出量 60m<sup>3</sup>/h 以上の場合には、呼び強度が変化しても管内圧力損失比はあまり変わらない結果となっている。これは、前述のように、実吐出量が小さい場合にはせん断流動しやすく、直管の管内圧力損失の大きさは、管径により各種要因に対する影響が異なることが分かった。特に、呼び強度が小さく、低吐出量の場合の 100A 直管の管内圧力損失は、125A 直管と比較して大きくなる傾向があるため注意が必要である。管径が小さい程せん断変形に対する抵抗が大きくなるが、スランブと呼び強度が共に大きい場合には単位セメント量が多いためせん断変形しやすくなり、管径の影響を受けにくくなるのが原因であると考えられる。

4. まとめ

直管の管内圧力損失は、管径により各種要因に対する影響が異なることが分かった。特に、呼び強度が小さく、低吐出量の場合の 100A 直管の管内圧力損失は、125A 直管と比較して大きくなる傾向があるため注意が必要である。

参考文献

- 1) 日本建築学会:コンクリートポンプ工法施工指針・同解説, 2009.12
- 2) (社)日本建築学会近畿支部材料施工部会:第10回圧送技術研究会-低スランブコンクリートの圧送性の評価を中心として, 2014.2
- 3) (社)日本建築学会近畿支部材料施工部会:第11回圧送技術研究会-スランブと使用材料の違いが圧送性に及ぼす影響, 2015.2
- 4) (社)日本建築学会近畿支部材料施工部会:第12回圧送技術研究会-ポンプ機種が圧送性に及ぼす影響と閉塞危険性の評価, 2016.2
- 5) (社)日本建築学会近畿支部材料施工部会:第13回圧送技術研究会-暑中期におけるコンクリートの圧送性, 2017.2
- 6) 岸ほか:ポンプ機種が圧送性に及ぼす影響と閉塞危険性の評

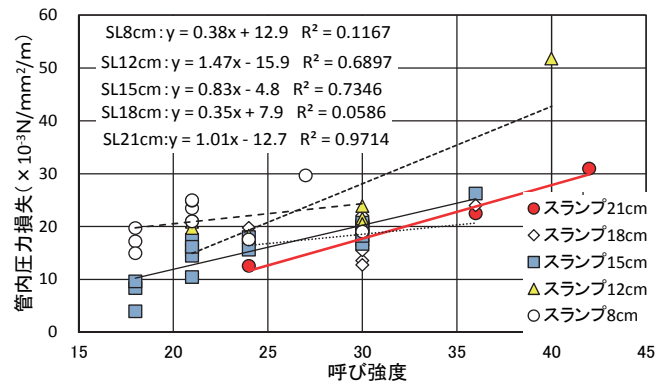


図-6 呼び強度と直管の管内圧力損失の関係<sup>6)</sup>

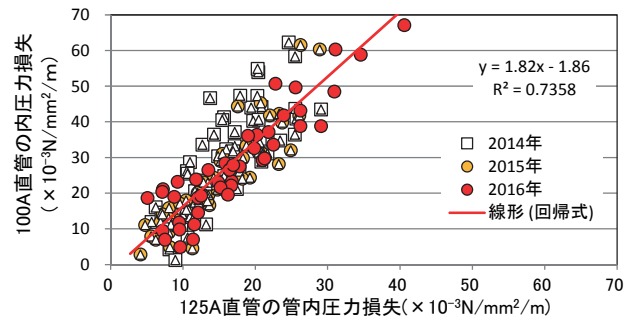


図-7 125A 直管と 100A 直管の管内圧力損失の関係<sup>6)</sup>

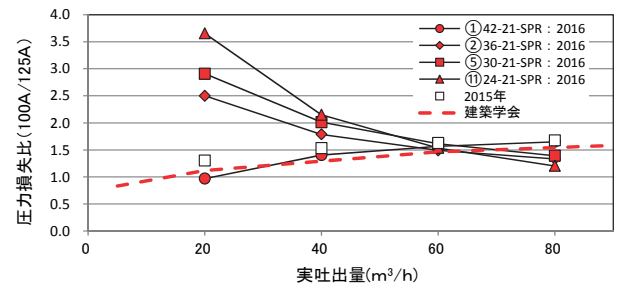


図-8 実吐出量と直管の管内圧力損失比の関係<sup>6)</sup>

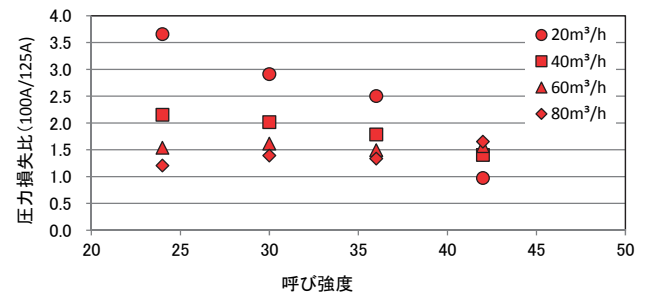


図-9 呼び強度と直管の管内圧力損失比の関係<sup>6)</sup>

価(その1~20), 日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)材料施工 pp.427-466, 2017.9

- 7) 土木学会「コンクリートのポンプ施工指針 2012年版」

\*<sup>1</sup> 竹中工務店, \*<sup>2</sup> 大阪工業大学, \*<sup>3</sup> 近畿生コンクリート圧送協同組合, \*<sup>4</sup> 日本建築総合試験所, \*<sup>5</sup> 浅沼組, \*<sup>6</sup> 泉北ニシイ, \*<sup>7</sup> 太喜, \*<sup>8</sup> イッケン商事, \*<sup>9</sup> トモエポンプ

# 論文 関西地区におけるコンクリートの実大圧送実験から得られた管内圧力損失に関する研究 その2 ベント管及びテーパ管の管内圧力損失を中心として

○岩清水 隆\*<sup>1</sup>      山田 藍\*<sup>1</sup>      中村 成春\*<sup>2</sup>  
 岸 繁樹\*<sup>3</sup>      木村 芳幹\*<sup>4</sup>      山崎 順二\*<sup>5</sup>  
 高見 錦一\*<sup>5</sup>      浅田 武彦\*<sup>6</sup>      永田 哲夫\*<sup>7</sup>  
 豊田 裕\*<sup>8</sup>      共田 昌一\*<sup>9</sup>

実大圧送実験      圧力計      ベント管  
 テーパ管      管内圧力損失

## 1. はじめに

本報では、その1に続き、圧力計により測定したベント管及びテーパ管の管内圧力損失に関して検討を行った。

## 2. ベント管管内圧力損失測定結果

ベント管の管内圧力損失は、ベント管前後の圧力計の圧力差から、直管部分の管内圧力差を補正して求めた。

### (1) 実吐出量の影響

図-1に、2013年～2016年の呼び強度30、スランプ18cmのコンクリートの実験結果をまとめて示した。全体的にベント管の管内圧力損失はばらつきが大きく、その傾向も異なる結果であった。直管部分の管内圧力差を補正していることから、マイナスの値も認められた。

### (2) スランプの影響

図-2に、2015年と2016年の設定スランプと実吐出量60m<sup>3</sup>/h、呼び強度30の場合のベント管の管内圧力損失の関係を示す。2015年の結果ではスランプが大きくなるほどベント管の管内圧力損失が小さくなる傾向を示しているが、2016年は明確な傾向が得られなかった。2016年においては、特に低スランプ領域での管内圧力損失が小さくなる傾向が認められた。暑中期の圧送においては、スランプの経時変化が大きく、特にスランプの小さな領域で、流動時のせん断変形時の粗骨材の噛み合わせ状態が変化したことがこれらの現象の原因の一つではないかと考えられた。

### (3) 呼び強度の影響

図-3には、スランプ21cmと15cmの場合の、実吐出量60m<sup>3</sup>/hの際の呼び強度とベント管の管内圧力損失の関係を示した。スランプ21cmの場合には、呼び強度が24と小さくなると急激にベント管の管内圧力損失が大きくなる傾向を示した。スランプ15cmの場合には、呼び強度30が最も高くなる傾向を示した。スランプや調合によって、ベント管内をせん断変形して流動する際の抵抗がより小さくなる条件があるものと考えられた。

### (4) ベント管の位置の影響

図-4は、ベント管の位置と管内圧力損失の関係を示し

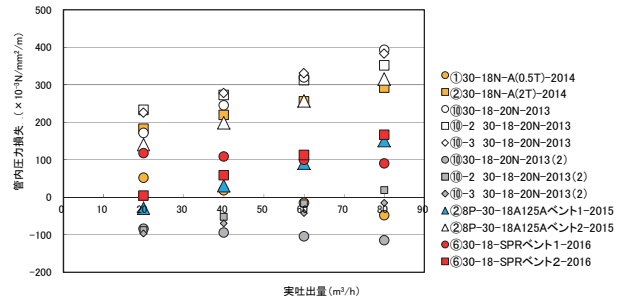


図-1 実吐出量とベント管管内圧力損失の関係 (125A)<sup>3)</sup>

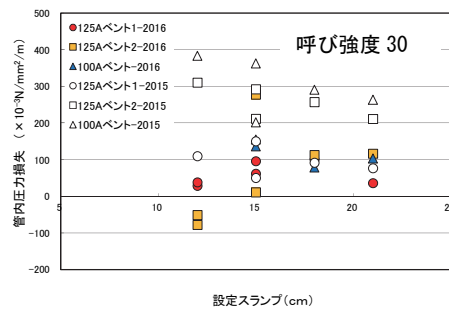
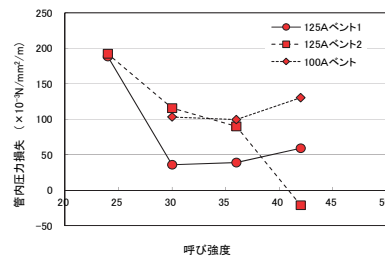
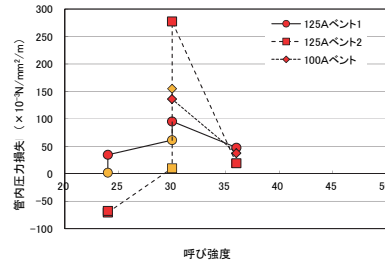


図-2 スランプとベント管の管内圧力損失の関係<sup>4)</sup>



(a) スランプ 21cm



(b) スランプ 15cm

図-3 呼び強度とベント管の管内圧力損失の関係<sup>4)</sup>

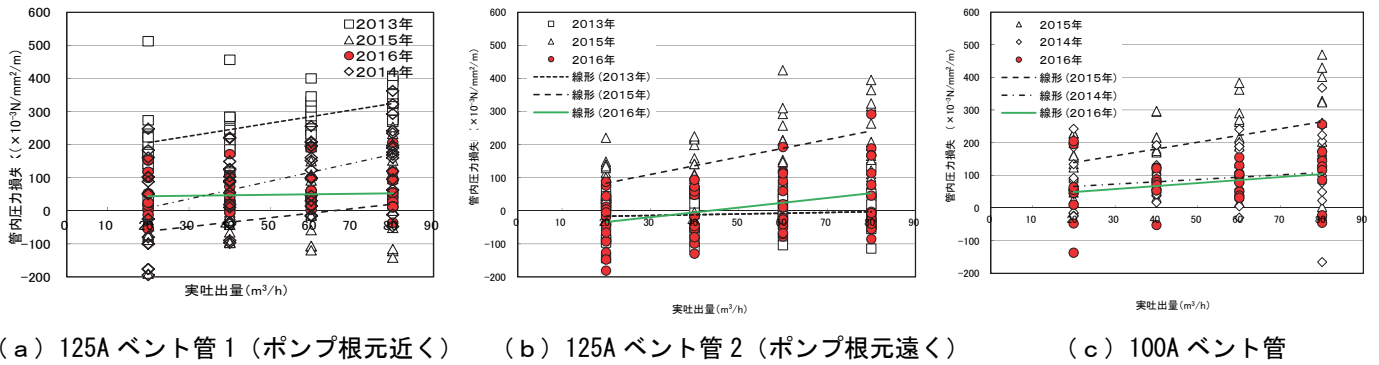


図-4 実吐出量とベント管の管内圧力損失の関係 (ベント管の位置)<sup>4)</sup>

たものである。ポンプの根元に一番近い 125A ベント管 1 に関しては、2015 年が小さく 2013 年が大きく、2014 年が中間的な値を示した。しかし、2016 年は実吐出量が大きくなっても管内圧力損失はほとんど変化せず一定の値を示した。

また、125A ベント管 2 は、125A ベント管 1 とは逆に 2015 年が大きく、2013 年が小さな値を示し、2016 年は 2013 年に近い値で、傾きは 125A ベント管 1 と同様に小さく 2013 年に近い値であった。直管部の管内圧力を補正して計算により求めていることからマイナスの値も多くなっている。

100A ベント管に関しては、125A ベント管 2 と同様の結果であった。

以上のように、ベント管の管内圧力損失は、配管内の位置やベント管との位置関係などにより、異なる傾向を示している。ベント管の管内圧力損失を推定する場合には、配管状況も考慮する必要があるものと考えられる。

(5) ベント管径の影響

図-5 には、100A ベント管と 125A ベント管の管内圧力損失の関係を示す。2015 年と 2016 年の結果では、125A ベント管 1 及び 125A ベント管 2 共に、実吐出量が大きくなり 100A ベント管の管内圧力損失が大きくなるほど、管内圧力損失が 100A ベント管と比較して小さくなる傾向が示されている。2014 年のポンプ根元近くの 125A ベント管 1 の管内圧力損失は、100A ベント管の管内圧力損失が全体的に小さいこともあり、100A ベント管と比較して大きな値を示している。

以上の結果から、100A ベント管の管内圧力損失が大きい際に、125A ベント管の管内圧力損失は小さくなる傾向を示し、逆に小さい場合には割合によっては大きくなる傾向を示すと言える。

3. テーパ管の管内圧力損失

テーパ管の管内圧力損失は、テーパ管前後の圧力計の圧力差から、直管部分の管内圧力差を補正して求めた。

(1) 実吐出量の影響

図-6 は、2014 年～2016 年の実吐出量とテーパ管の管内圧力損失の関係を示している。2014 年が最も高く、2016 年は平均的には 2015 年と同程度ではあるが、実吐出量が増加してもベント管と同様に、テーパ管の管内

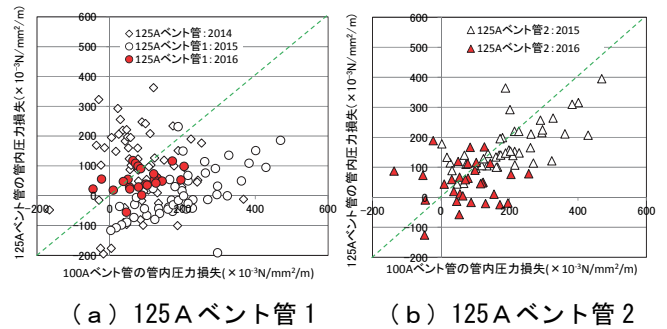


図-5 100A と 125A のベント管の管内圧力損失の関係<sup>4)</sup>

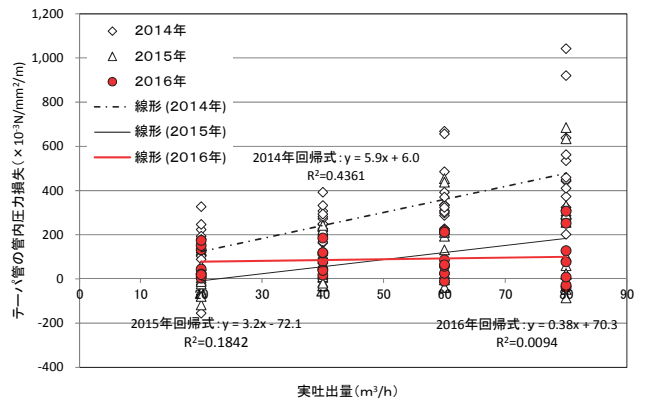


図-6 実吐出量とテーパ管の管内圧力損失の関係<sup>4)</sup>

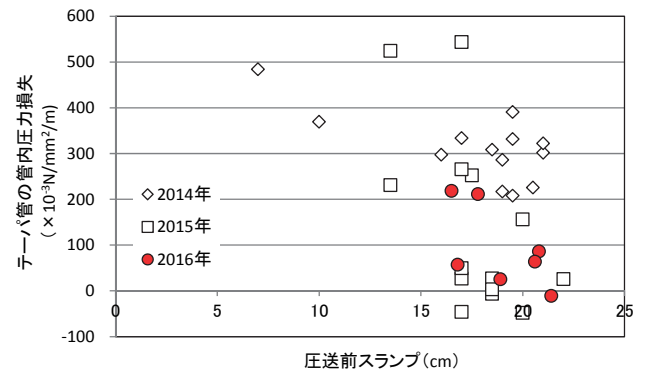


図-7 圧送前スランプとテーパ管の管内圧力損失の関係<sup>4)</sup>

圧力損失はあまり変化しない結果となった。特に、低実吐出量の場合に、管内圧力損失が大きくなる傾向を示し

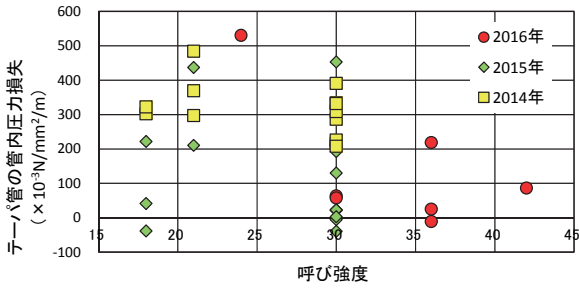


図-8 呼び強度とテーパ管の管内圧力損失の関係<sup>4)</sup>

ていることが、変化していない原因となっていると考えられる。

(2) スランプの影響

図-7には、圧送前スランプと実吐出量が60m<sup>3</sup>/hの場合のテーパ管の管内圧力損失の関係を示す。全体的には、スランプが大きくなるほどテーパ管の管内圧力損失は小さくなる傾向が認められた。

(3) 呼び強度の影響

図-8には、過去の実験結果も含めて、実吐出量が60m<sup>3</sup>/hの場合の呼び強度とテーパ管の管内圧力損失の関係を示す。呼び強度が大きくなる程、テーパ管の管内圧力損失は小さくなる傾向が認められる。呼び強度が大きくなるほどスランプも大きくなるケースが多いため、このような傾向になっていると考えられる。呼び強度のみからでは、テーパ管の管内圧力損失の値は判断できないものと考えられる。

4. 管内圧力損失の比

圧力計により測定した、ベント管及びテーパ管の管内圧力損失と直管の管内圧力損失の比に関してまとめた。

4.1 直管とベント管の管内圧力損失の比率

図-9に、2013年～2016年の実験から得られた、直管の管内圧力損失とベント管の管内圧力損失の関係を示す。

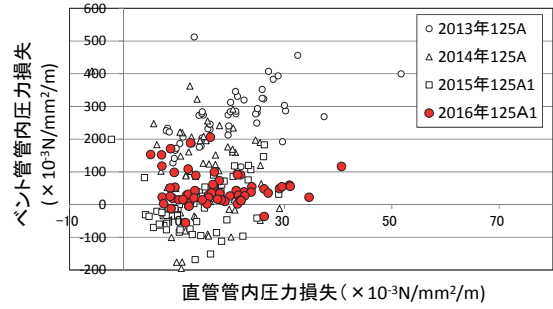
125Aベント管1に関しては、全体的に直管の管内圧力損失が大きくなると、ベント管の管内圧力損失も大きくなる傾向が認められた。ただし、実験によってその値の大きさは大きく違いを示していた。

125Aベント管2に関しては、125Aベント管1と傾向は類似しているが、値は小さなものであった。

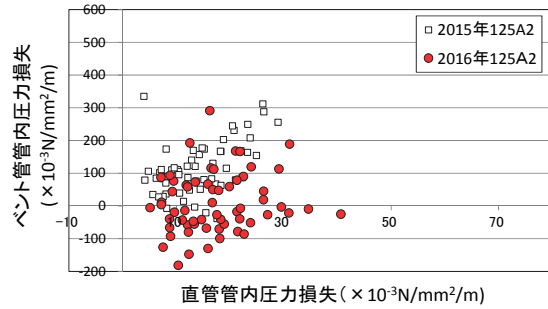
100Aベント管は、100A直管の管内圧力損失が大きくなっても、管内圧力損失が変わらない傾向が認められた。

図-10には、2013年～2016年の実験から得られた、実吐出量と直管とベント管の管内圧力損失の比の関係を示す。大きなばらつきは示しているが、平均値は実吐出量に関わらずほぼ同様の値となっている。

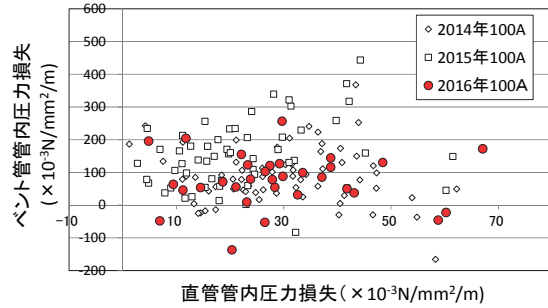
表-1には、直管とベント管の管内圧力損失の比を数値で示している。平均値は、125Aが4.6、100Aが5.1でほぼ同じ値となっている。土木学会<sup>1)</sup>の数値6よりは小さく、日本建築学会<sup>2)</sup>の値3より大きな値となった。



(a) 125A ベント管 1

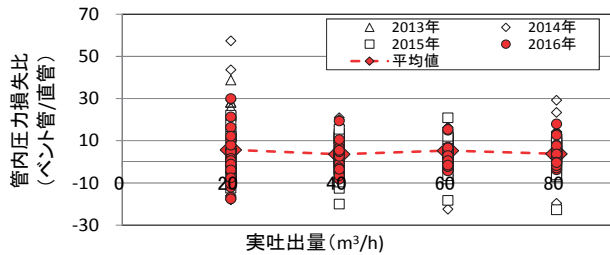


(b) 125A ベント管 2

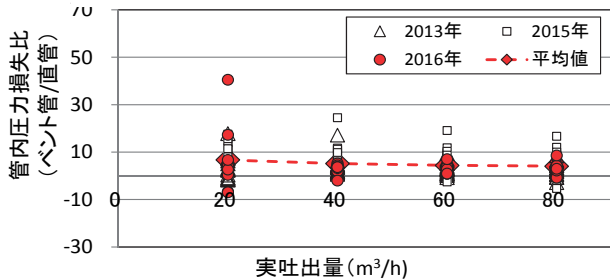


(c) 100A ベント

図-9 直管とベント管の管内圧力損失の関係<sup>4)</sup>



(a) 125A ベント管



(b) 100A ベント管

図-10 直管とベント管の管内圧力損失の比<sup>4)</sup>

### 4.2 直管とテーパ管の管内圧力損失の比率

図-11に、100A直管の管内圧力損失とテーパ管の管内圧力損失の関係を示す。直管の管内圧力損失が大きくなるほど、テーパ管の管内圧力損失は大きくなる傾向が認められる。

図-12には、実吐出量と100A直管とテーパ管の管内圧力損失の比の関係を示した。管内圧力損失比は大きくなるにつけを示しているが、表-2に示すように、直管とテーパ管の管内圧力損失の比の平均値は、実吐出量が20m<sup>3</sup>/hと小さい場合には小さな値となっているが、40m<sup>3</sup>/h以上ではほぼ同様の値となった。全体の平均値は5.7で、日本建築学会<sup>2)</sup>の2および土木学会<sup>1)</sup>の3と比較すると大きな値となっている。

### 5. まとめ

圧力計により得られた関西地区のコンクリートの管内圧力損失に関してまとめると以下ようになる。

- (1) 直管の管内圧力損失は、スランプや呼び強度の影響を受けるが、単独の要因で推定することは困難である。圧送性評価ソフトに取り入れているように、スランプ15cm以下は、水セメント比、単位セメント量、スランプ、単位容積質量および細骨材率から推定し、スランプ18cm以上は、水セメント比、単位セメント量、F/S(スランプフロー/スランプ)及び単位容積質量から推定する手法等が有効であると言える。
- (2) 直管の管内圧力損失は、スランプが小さくなるほど大きくなる傾向は認められたが、その値は日本建築学会指針の値よりも大きくなった。
- (3) 直管の管内圧力損失は、管径により、各種要因の影響が異なる傾向が認められた。特に、スランプが大きく、呼び強度が小さく、実吐出量が小さい領域で、100A管の管内圧力損失が125A管よりも大きくなる傾向が認められた。
- (4) ベント管の管内圧力損失は、スランプが大きくなるほど小さくなる傾向が認められた。ただし、低スランプ領域で、小さな管内圧力損失を示す結果もあった。
- (5) ベント管の管内圧力損失は、呼び強度によって変化するが、スランプによって最も大きくなる呼び強度が異なっていた。これは、調合的要因で流動性状が異なることが原因であると思われる。
- (6) テーパ管の管内圧力損失は、スランプが大きくなるほど大きくなる傾向が認められたが、呼び強度とは明確な関係は認められなかった。
- (7) 直管とベント管の管内圧力損失の比は、平均値が125A管で4.6、100A管は5.1であった。
- (8) 直管とテーパ管の管内圧力損失の比は、平均値が5.7であった。

表-1 直管とベント管の管内圧力損失の比

実吐出量 (m <sup>3</sup> /h)	平均管内圧力損失比 (ベント管/直管)		日本 建築学会	土木学会
	125A	100A		
20	5.7	6.7	3	6
40	3.6	5.2		
60	5.3	4.4		
80	3.8	4.1		

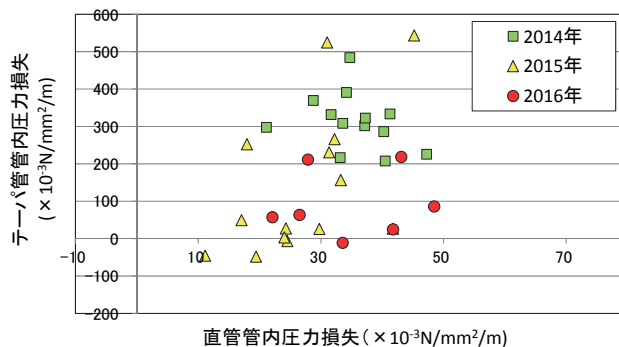


図-11 直管とテーパ管の管内圧力損失の関係<sup>4)</sup>

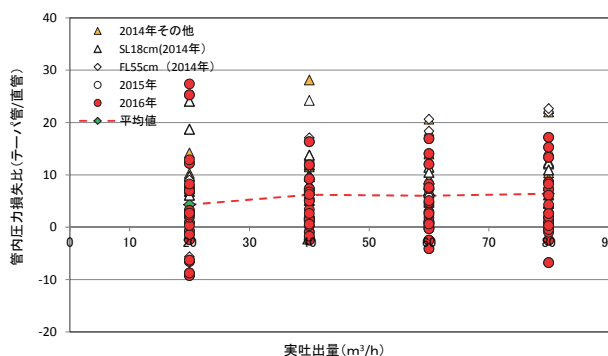


図-12 実吐出量と直管とテーパ管の管内圧力損失比の関係<sup>4)</sup>

表-2 100A直管とテーパ管の管内圧力損失の比<sup>4)</sup>

実吐出量 (m <sup>3</sup> /h)	平均管内圧力損失比 (テーパ管/直管)	日本 建築学会	土木学会
20	4.3	2	3
40	6.2		
60	6.0		
80	6.4		

### 参考文献

- 1) 土木学会「コンクリートのポンプ施工指針 2012年版」
- 2) 日本建築学会:コンクリートポンプ工法施工指針・同解説,pp.24～83,2009.12
- 3) (社)日本建築学会近畿支部材料施工部会:第13回圧送技術研究会—暑中期におけるコンクリートの圧送性の評価—,2017.02
- 4) 岸ほか:ポンプ機種が圧送性に及ぼす影響と閉塞危険性の評価(その1~20),日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)材料施工 pp.427-466, 2017.9

\*<sup>1</sup> 竹中工務店, \*<sup>2</sup> 大阪工業大学, \*<sup>3</sup> 近畿生コンクリート圧送協同組合, \*<sup>4</sup> 日本建築総合試験所, \*<sup>5</sup> 浅沼組, \*<sup>6</sup> 泉北ニシイ, \*<sup>7</sup> 太喜, \*<sup>8</sup> イッケン商事, \*<sup>9</sup> トモエポンプ



# 論文 実現場における振動加速度計を用いたコンクリートの圧送性評価システムの提案

○橋本 紳一郎\*<sup>1</sup> 北野 潤一\*<sup>2</sup>  
南 浩輔\*<sup>3</sup> 太田 健司\*<sup>4</sup>  
竹山 博之\*<sup>4</sup>

圧送性 閉塞 振動加速度  
周波数 ベント管 水平管

## 1. はじめに

近年、コンクリートのポンプ施工は、多くの施工現場で用いられようになり、一般的な圧送条件での圧送の他、特殊な条件下の圧送も行われるようになった。また、特殊コンクリートの圧送も行われるようになった。

その一方で、圧送中のトラブルや事故も多く報告されており、トラブルの中でもその多くが閉塞である。閉塞の発生には様々な要因が関連するが、現状ではコンクリートの圧送性を評価・確認する方法がないため、ピストン稼働の異常時や筒先からのコンクリート排出状況で、初めて閉塞に気付く。閉塞が発生した際は、その対応作業だけではなく、閉塞時またはその直前までコンクリートポンプや配管に大きな負荷がかかるため、他のトラブルにつながる可能性もある。実際に、輸送管の破裂など非常に危険なトラブルに発展した事例も報告されている<sup>1)</sup>。以上から圧送性を把握することは非常に重要である。

これらに対して、土木学会では、加圧ブリーディング試験と変形性評価試験<sup>1)</sup>が提案されているが、これらの試験は圧力下（圧送）での材料分離の状態など配合の検討に有効な試験であり、実際の圧送条件や施工条件を再現しているわけではないため、事前の試験で完全に施工現場の圧送状態を検討することは難しい。

試験圧送は、実際の圧送条件や施工条件に近い状態で行える試験であるが、特殊なコンクリートの圧送性やコンクリートの品質変化を把握することが主であり、通常の施工現場での圧送に対して実施することはほとんどない。また、試験圧送の際の圧送性評価に用いるコンクリートの管内圧力測定やその他に提案<sup>2)</sup>されている測定方法を通常の施工現場で行うには、計測器具を取り付けるための特殊な配管や多くの測定機材、人員が必要となるため難しい。

以上から、特殊な測定装置や測定用の配管の準備が必要なく、コンクリートポンプの圧送性を簡易に測定・評価することのできる計測システムが必要である。そこで、本研究では、容易に実施できる新しい圧送性評価手法について検討した。

## 2. 加速度センサーによる圧送性評価

コンクリートの圧送の際に、コンクリート中の粗骨材は粗骨材粒子群同士あるいは配管壁と衝突を繰り返し生じながら圧送され、閉塞が発生する直前には、粗骨材粒子群とモルタル相の間に大きな乱れが発生することが明らかになっている<sup>3)</sup>。その際に、配管には粗骨材の衝突による微細な振動が発生しており、それらは管内で順調に圧送されているコンクリートと閉塞直前の状態では異なることが予測される。また、粗骨材の衝突による振動は、直管と閉塞を生じやすい箇所となるテーパ管やベント管では、その大きさに違いが表れることが予測される。そこで、本研究では、試験圧送時に振動加速度計によって計測し、コンクリート圧送時に配管に発生する振動の加速度及び周波数特性からコンクリートの圧送性を評価することを検討した。

## 3. 実験概要

### 3.1 使用材料及びコンクリートの配合

本研究で使用したコンクリートの配合を表-1に示す。配合は、試験開始時の目標スランプ：15.0±1.0cmの配合No.1と配合No.1のスランプを試験開始時の目標スランプ：8.0±1.0cmまで低下させた配合No.2、配合No.1のスランプを試験開始時の目標スランプ：3.0±1.0cmまで低下させた配合No.3の合計3水準で検討した。

### 3.2 フレッシュ性状試験

コンクリートのフレッシュ性状試験では、スランプ試験をJIS A1101、空気量試験をJIS A 1128に従い測定した。配合No.1のコンクリートは、所定の目標スランプと目標空気量：4.5±1.0%を満たしていることを確認した後、圧送試験を実施した。配合No.2と配合No.3は、所定のスランプを満たしていることを確認した後、圧送試験を実施した。

### 3.3 圧送方法

図-1に試験圧送の配管図を示す。配管は、90度ベント管を3箇所と8mのフレキシブルホースを配置した水平換算距離86.9mとした。圧送方法は、フレキシブルホースをポンプ車に設置することで、繰り返し圧送可能な循環圧送方式とした。圧送速度は30m<sup>3</sup>/hで圧送した。

### 3.4 振動加速度計による計測方法及び評価方法

振動加速度計は、ハンディタイプのデータレコーダーに端子で取り外し可能な直径 1.5cm の小型の加速度センサーを取り付けて使用した。加速度センサーは、先端をマグネット式に加工されたもので、被測振動体（配管）にはマグネットで直接取り付け、固定ができるものである。

図-1 に振動加速度計の加速度センサーの取り付け位置（図中の○印）と同時に計測した管内の圧力測定のための測定位置を示す。加速度計は、ベント管に3箇所（ポンプ車から簡先に向かって進行方向順にベント管 1, 2, 3 と称す）、水平管に2箇所（ポンプ車から簡先に向かって進行方向順に水平管 1, 2 と称す）設置した。管内の圧力測定は水平管とベント管部の計 8 箇所（P1～P8）に設置し、測定を行った。

写真-1 に加速度センサーの取り付け状況を示す。ベント管での加速度センサーの取り付け位置は、各ベント管に共通して簡先に向かってベント管入口に1点（測定点:1）、簡先に向かって内側と外側に各1点（簡先に向かってベント管内側が測定点:2、簡先に向かってベント管外側が測定点:3）、簡先に向かってベント管出口に1点（測定点:4）の計4点とした。水平管での加速度センサーの取り付け位置は、簡先に向かって並列に3点（測定点:1～3）で計測した。計測後、計測した加速度の評価及びFFT解析により周波数と振幅の関係で評価した。

## 4. 結果及び考察

### 4.1 管内圧力による圧送性評価

表-2 に各配合の水平管における平均圧力損失と管内圧力の変動係数の関係、圧送状態の評価、スランプの実測値を示す。各配合では、スランプの最も小さい配合 No.3 の平均圧力損失と管内圧力の変動係数が高い値を示した。また、各配合の圧送状態は、平均圧力損失と管内圧力の変動係数の値、目視により簡先からのコンクリートの排出状態から判定した。その結果、管内圧力の変動係数も低く、常に一定の状態で簡先からコンクリートが排出されていた配合 No.1 と配合 No.2 を順調圧送状態（以降、順調と称す）とし、圧送は可能であったが、管内圧力の変動係数が非常に高く、簡先からコンクリートが不規則に排出されていた配合 No.3 を不安定圧送状態（以降、不安定と称す）とした。以降、これらの圧送状態と振動加速度計により計測した結果について比較検討した。

### 4.2 水平管及びベント管での振動加速度計の計測結果

図-2 にベント管 1 と水平管 1 での測定点:1 で計測した先送りモルタルの計測時間と加速度の関係を示す。加速度の値はベント管 1 と水平管で共に非常に小さく、値に変化は見られなかった。この結果は、既往の室内試験で確認した結果<sup>4)</sup>と同様であり、試験圧送においても粗骨材のないモルタルでは加速度の値は小さく、値に変化が見られない傾向であった。

表-1 コンクリートの配合

配合名	s/a (%)	w/c (%)	単用量 (kg/m <sup>3</sup> )				目標スランプ (cm)	目標空気量 (%)
			W	C	S	G		
No.1	48	56	166	296	851	929	15±1.0	4.5±1.5
No.2							8±1.0	
No.3							3±1.0	

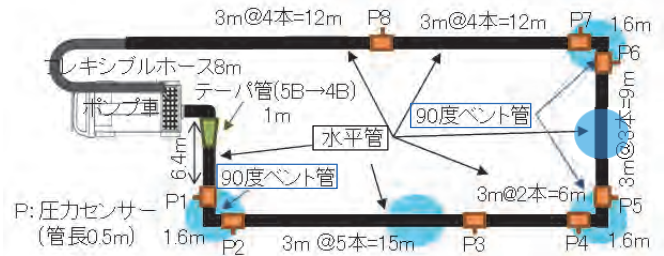


図-1 配管図及び加速度センサーの取り付け位置 (○印) 及び管内の圧力測定の測定位置

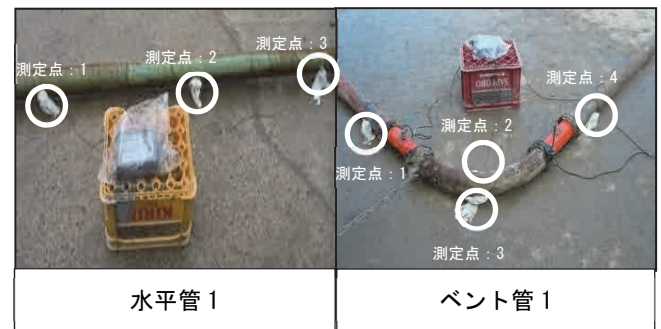


写真-1 水平管とベント管の加速度センサーの取り付け状況 (左: 水平管 1、右: ベント管 1)

表-2 各配合の圧送状態の判定

配合名	スランプ (cm)	平均ポンプ油圧 (Mpa)	変動係数 (%)	圧送状態
No.1	15cm	0.618	1.719	順調
No.2	8cm	0.708	4.736	
No.3	3cm	1.074	41.38	不安定

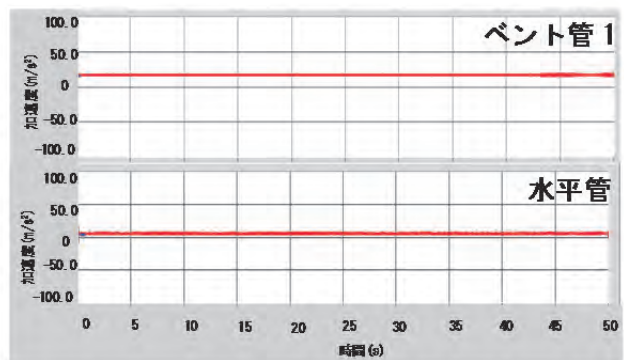


図-2 先送りモルタルの計測時間と加速度の関係

図-3 に水平管 2 で計測した各配合の計測時間と加速度の関係を示す。各配合の加速度の値は、先送りモルタルの計測結果と異なり、加速度の値自体も大きく、また、既往の室内試験の結果<sup>4)</sup>の約5倍程度の大きさであった。これは、本計測手法では粗骨材の影響が大きいことを示しており、既往の室内試験とは試験条件が異なり、ピストン式のポンプ車を使用した試験圧送の場合、圧送圧力が高いため加速度の値も大きくなったと考えられる。また、加速度の値は一定時間間隔で確認でき、これはピストン稼働時間と同様であることから、ピストンの動きに合わせてコンクリート中の粗骨材も配管内を移動していることを示している。コンクリートの配合別では、順調の配合 No.1 と配合 No.2 の加速度の値は同程度であった。また、不安定であった配合 No.3 は、順調の加速度の形状とは異なるが、その値は小さく、水平管の計測結果から圧送状態を判定することは難しいと考えられる。

図-4 に順調であった配合 No.2 と不安定であった配合 No.3 の水平管 1 とベント管 1 で計測した計測時間と加速度の関係を示す。ベント管の計測結果は外側で計測したものである。順調と不安定の配合を比較すると、加速度の値に関しては、順調の場合、水平管に対してベント管の加速度の値が大きくなった。これに対して、不安定の場合、水平管の加速度の値は小さく、加速度の値が示される間隔が短くなった。不安定のベント管での加速度の値は順調に比べて非常に大きく、また、加速度波形の大きな乱れが確認できた。このことから、ベント管での順調と不安定では圧送時のコンクリート、特に粗骨材の動きが異なることを示した。以上から、本計測手法では水平管よりベント管で加速度の値に圧送状態の違いが表れやすく、加速度の値の大きさや加速度波形の乱れから圧送性の違いを判定できると考えられる。

#### 4.3 振動加速度計の計測による圧送性の定量的評価

図-5 にベント管 1 の外側で計測した配合 No.2 (順調) と配合 No.3 (不安定) の FFT 解析によって算出した加速度と周波数の関係を示す。順調と不安定では加速度と周波数の関係が大きく異なり、特に不安定の場合は、1500~2500Hz の周波数の領域で加速度の高い値が確認された。これらの周波数の領域で、不安定の場合、マル (○) 印で記したように加速度が最も大きくなる値を加速度のピーク値とした。加速度のピーク値を示す周波数は、本実験の順調と不安定の何れの配合も 1000~2000Hz であった。

図-6 にベント管 1 の外側と水平管で計測した配合 No.2 (順調)、配合 No.3 (不安定) の FFT 解析によって算出した加速度のピーク値を示す。水平管の加速度のピーク値では圧送性の違いによらず同程度の値を示したが、ベント管 1 では圧送性の違いが顕著に表れ、順調と不安定の加速度のピーク値で約 4.0m/s<sup>2</sup> の値の違いが確認できた。これら圧送性の違いを相対的な定量評価ではなく、絶対的な定量評価とするため、配合間の相対比較ではなく、配合ごとにべ

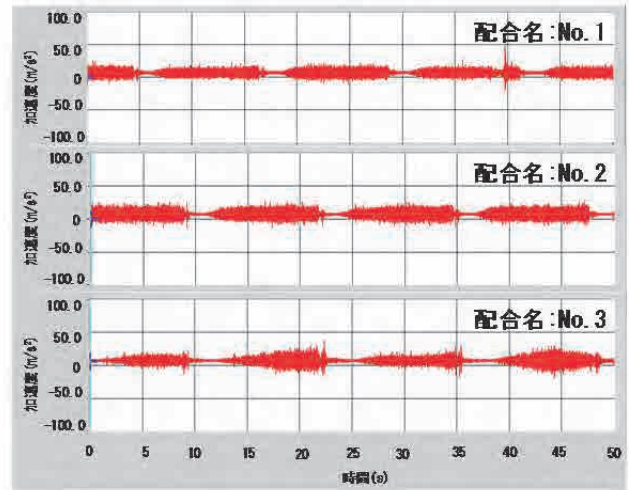


図-3 各配合の計測時間と加速度の関係 (水平管 2)

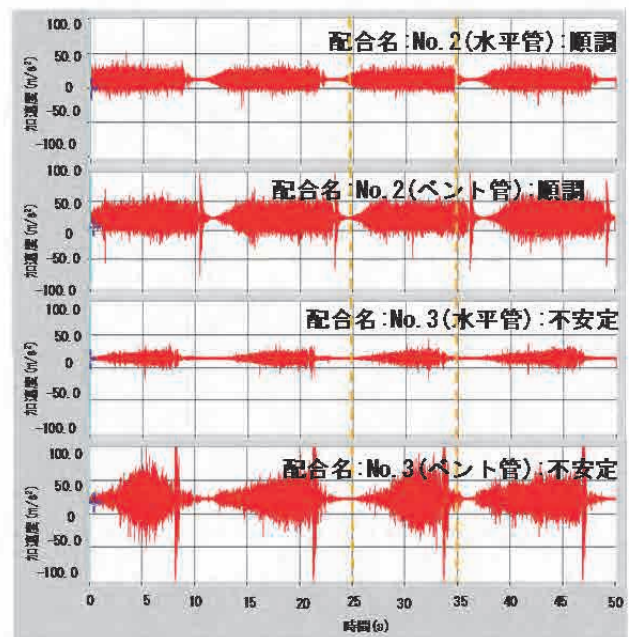


図-4 水平管 1 とベント管 1 で計測した計測時間と加速度の関係 (配合 No. 2, 配合 No. 3)

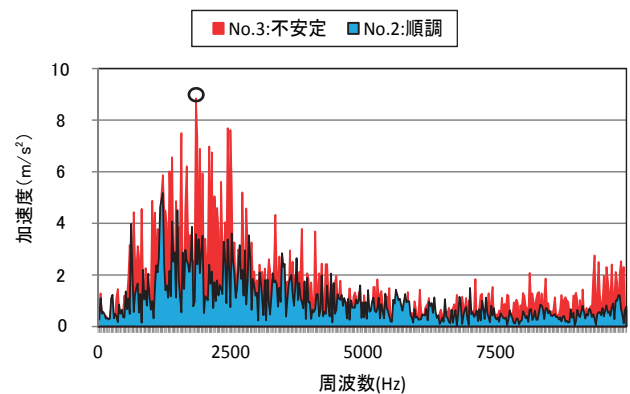


図-5 ベント管 1 で計測した各配合の周波数と加速度の関係 (配合 No. 2, 配合 No. 3)

ント管1と水平管の加速度のピーク値の差を用いて評価することとした。順調の場合はベント管1と水平管のピーク値の差が約  $0.1\text{m/s}^2$  に対して、不安定の場合はベント管1と水平管の加速度のピーク値の差が約  $3.0\text{m/s}^2$  のように圧送性の違いを確認できた。

同様に既往の研究<sup>4),5),6)</sup>の結果をベント管と水平管の加速度のピーク値の差を用いて評価したものを本研究結果とともに図-7に示す。なお、ベント管と水平管の加速度のピーク値の差を示す周波数が異なっているのは、既往の研究<sup>4),5),6)</sup>より配管の設置条件によるものである。これまでの既往の研究成果<sup>5),6)</sup>より、ベント管と水平管の加速度のピーク値の差を用いて評価した場合、順調はベント管と水平管の加速度のピーク値の差が約  $1.0\text{m/s}^2$  であり、不安定や閉塞になるとベント管と水平管の加速度のピーク値の差が約  $3.0\text{m/s}^2$  以上となる。また、図-8に圧送速度別に既往の研究の結果<sup>4),5),6)</sup>をベント管と水平管の加速度のピーク値の差を用いて評価した結果を本研究結果とともに示す。圧送速度が速くなることにより、やや不安定や閉塞の場合でベント管と水平管の加速度のピーク値の差が大きくなっているが約  $3.0\text{m/s}^2$  以上で圧送状態に違いがあることは変わらない。順調は、圧送速度が速くなってもベント管と水平管の加速度のピーク値の差は一定の値を示した。

以上から、現在の本計測手法での閾値はベント管と水平管の加速度のピーク値の差が約  $3.0\text{m/s}^2$  以上と定めることができる。例えば、この値を基準に実際の施工現場で本計測を実施することにより、荷卸し時の配合やコンクリートの状態を確認するなど、閉塞や不安定な圧送状態を未然に防ぎ、圧送条件に対する配合の適否を確認することにつながる事が可能となる。そのためには、今後、圧送性の評価・判定の精度を高める必要があり、実際の施工現場での多くのデータを収集し、安全側に配慮できるように、圧送が困難となる前の状態で評価・判定できるような閾値の見直しや計測位置の影響を検討していく予定である。

### 5. まとめ

振動加速度計を用いた圧送性評価について検討した結果、ベント管で計測した加速度の波形状態(乱れなど)から圧送性の違いを評価・判定できる。また、ベント管と水平管で計測した加速度のピーク値の差を用いることにより、定量的に圧送性の違いを評価でき、現時点での圧送性評価・判定の閾値は約  $3.0\text{m/s}^2$  以上と定めることができる。

### 参考文献

- 1) 土木学会編：コンクリートライブラリー135, コンクリートのポンプ施工指針 [2012年版], 2012.6
- 2) 日本建築学会編：コンクリートポンプ工法施工指針・同解説, 2009.12
- 3) 辻村直哉ら：管内を流れるコンクリートの閉塞感知システムの開発に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 10, No.2, pp.73-78, 1988
- 4) 橋本紳一郎ら：コンクリートのポンプ圧送性簡易評価手法の検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.1, pp.1186-1191, 2012
- 5) 案浦侑己ら：振動加速度計を用いたコンクリートの圧送性簡易評価手法の検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.1201-1206, 2013
- 6) 日本建築学会近畿支部材料・施工部会：第11回圧送技術研究会報告書, 2016

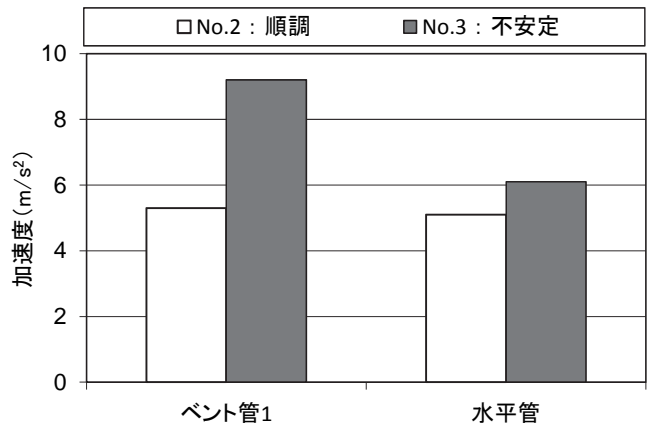


図-6 ベント管1と水平管で計測した各配合の加速度のピーク値 (配合 No. 2, 配合 No. 3)

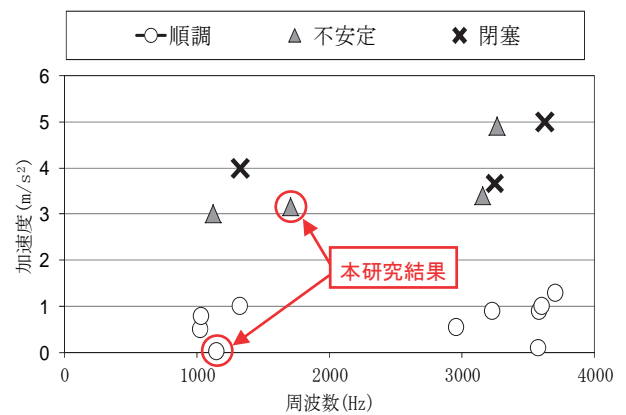


図-7 加速度のピーク値を用いた圧送性の評価

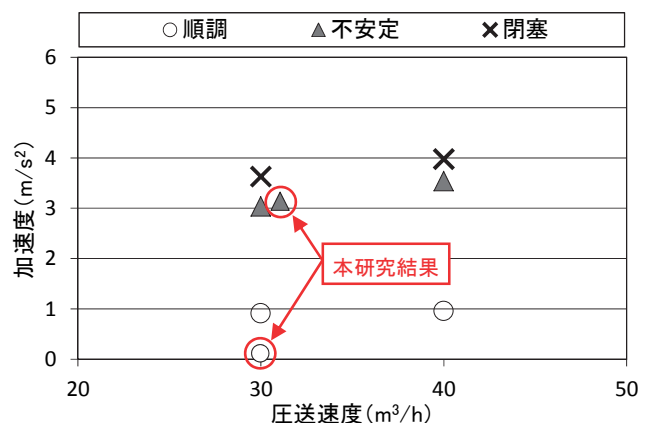


図-8 加速度のピーク値を用いた圧送性の評価 (圧送速度の違い)

\*1 福岡大学工学部社会デザイン工学科 助教 博士 (工学), \*2 福岡大学大学院工学研究科建設工学専攻

\*3 前田建設工業 成長戦略室 マネージャー, \*4 前田建設工業 技術研究所 研究員

# 論文 検知管と振動加速度計を用いたコンクリートの簡易圧送性評価

○太田 健司\*<sup>1</sup> 南 浩輔\*<sup>2</sup>  
橋本 紳一郎\*<sup>3</sup> 吉田 兼治\*<sup>4</sup>

検知管 振動加速度計 圧送性  
閉塞 管内圧力

## 1. はじめに

建設現場のコンクリート工事においては、ポンプ圧送技術の向上からコンクリートポンプによる打込みが主流であり、長距離圧送や高所への圧送など搬送効率は飛躍的に向上している。一方、コンクリートの製造については、天然骨材の枯渇や使用材料の多様化、混和剤の技術の発展に伴い、施工用途に合わせた多種多様なコンクリートが産み出され、同じスランプを有する配合であっても圧送性などの施工性能は大きく異なる。実際に、受入検査に合格し、基準を満足した場合でも、アーチングや材料分離の影響により配管の閉塞や、配管破裂などが発生している。

これらに対し、著者らは施工中の圧送状態を現地で確認する手法として、振動加速度計を用いた簡易な圧送性評価手法を提案している<sup>1)</sup>。ポンプ近傍に設置されたベント管や水平管の計測結果を用いて、振動加速度計により取得した加速度の波形やFFT解析により、加速度ピーク値やピーク周波数の値から圧送性の評価が可能であることを示している<sup>2), 3)</sup>。

しかし、配管経路は様々であり、必要な箇所に計測対象となるベント管や水平管が設置されているとは限らない。そこで、あらゆる配管経路や配合条件に対し圧送性の定量評価が可能となるように、特殊な形状を有する輸送管を開発した(以下、検知管)<sup>4)</sup>。

本研究では、配合条件の異なるフレッシュコンクリートに対して、振動加速度計と検知管を用いた簡易圧送性評価手法の適用性や閉塞評価について検討した。

## 2. 振動加速度計を用いた簡易圧送性評価手法

現在圧送性評価は、試験圧送を行い、圧送距離と管内圧力の関係から圧力損失を算出し評価している。この手法は、圧力計の他に、圧力計を取り付けられる特殊な輸送管が必要になり、配管長や配管経路により計測点が多数必要になるなど、多くの手間やコストを要する。

そこで橋本ら<sup>1)</sup>は、特殊な測定装置や測定用の配管を準備する必要がなく、圧送性を簡易的に測定、評価できる手法として、配管の外側に振動加速度計を直接貼り付け計測する方法を提案している。

ポンプ圧送時に粗骨材は、粗骨材粒子群同士あるいは管壁との衝突を繰り返す。この衝突による振動は、順調圧送時と閉塞直前では状態が異なり(図-1参照)、振動の違い

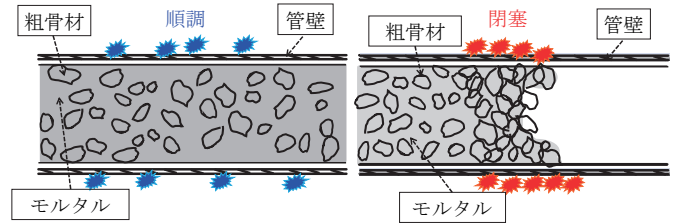


図-1 粗骨材粒子群同士あるいは管壁との衝突イメージ

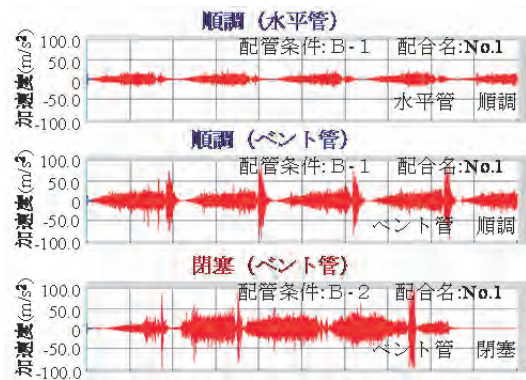


図-2 振動加速度波形の違い

を振動加速度計により計測する。この手法では、圧送負荷の小さい水平管と、水平管より圧送負荷の大きいベント管やテーパ管で違いがより明確に表れている<sup>1)</sup>。

既往の研究<sup>3)</sup>で、計測された加速度波形の一例を図-2に示す。前述のように水平管とベント管では振動状態が大きく異なるが、同じベント管であっても順調圧送と閉塞直前で加速度波形の形状は大きく異なる。閉塞直前では、規則的な波形から不規則な波形へと変化し、加速度振幅が大きくなる。また、FFT解析により、加速度振幅と周波数の関係を求め、各測定箇所計測した加速度振幅のピーク値の変化を算出できる。このベント管と水平管のピーク加速度振幅の差分から、簡易な圧送性評価が可能となる。

この手法をポンプ近傍の配管に適用することで、閉塞の危険性をより早い段階で見つけることができるため、現場の安全管理や品質管理の向上につながる。しかし、配管経路は施工環境に左右され、必ずしもポンプ近傍にベント管が設置されているとは限らない。また、圧送されるコンクリートのフレッシュ性状は様々であるため、これらの定量評価が可能となるように、特殊な形状を有する検知管(写

真-1 参照)を開発した。検知管は、圧送中に閉塞が生じない程度の負荷が掛かるように、流入口から中央部に向かって絞りを持つ形状を有している。検知管を用いることで、ベント管やテーパー管を用いた場合と同等の圧送性評価ができ、配管経路に依らず様々な配合条件のコンクリートの圧送性を評価することができる<sup>4)</sup>。



写真-1 検知管

表-1 使用材料

項目	記号	材料	密度[g/cm <sup>3</sup> ]
セメント	C	普通ポルトランドセメント	3.16
砕砂	S1	栃木県栃木市鍋山町産	2.66
山砂	S2	千葉県成田市前林産	2.59
碎石2005	G1	埼玉県秩父郡横瀬町産	2.70
	G2	栃木県栃木市鍋山町産	2.70
混和剤	Ad	AE減水剤	1.07

表-2 配合表

配合名	W/C [%]	s/a [%]	単位量[kg/m <sup>3</sup> ]					
			W	C	S1	S2	G1	G2
基準	55.0	47.4	295	617	259	497	497	3.69
C+50kg/m <sup>3</sup>	47.0	46.2	345	588	246	497	497	4.14
C-50kg/m <sup>3</sup>	66.0	48.5	245	646	269			3.55
s/a+5%	55.0	52.4	295	684	285	450	450	3.69
s/a-5%	55.0	42.4		553	231	544	544	2.95

### 3. 検知管を用いた簡易圧送性評価

著者らは、検知管をポンプ近傍に設置しておき、水平管の箇所と併せて各々から加速度データを取得することで、圧送経路に依らず圧送性の評価が可能であることを示している<sup>4)</sup>。一方、既往の研究では、検知管の近傍あるいは配管経路にベント管が含まれている場合があり、連結された配管に生じた振動加速度がその影響を受けている可能性が払拭できない。そこで本実験では、不確実な要因を全て排除するため、ベント管を含まない直線配管で検知管の性能確認を実施した。また、検知管とテーパー管において、両者での圧送性評価への適用性についても検討した。

#### 3.1 使用材料および配合条件

表-1、表-2に使用材料および配合条件を示す。本検討では、JIS 認証を持つレディーミクストコンクリート工場で行われる 27-8-20N を基準配合とし、基準配合に対して、単位水量および単位粗骨材量一定条件のもと単位セメント量を 50kg/m<sup>3</sup> 増減させた配合、細骨材率を 5% 増減させた配合の計 5 種類の配合を用いた。

#### 3.2 コンクリートのフレッシュ性状

表-3 に荷卸し時のフレッシュ試験結果を示す。試験は、JIS A 1101, JIS A 1128 に準拠した。荷卸し時に所要のフレッシュ性状を満たしていることを確認した後、圧送試験を行った。

表-3 荷卸し時のフレッシュ試験結果

配合名	W/C [%]	s/a [%]	スランプ [cm]	空気量 [%]	C.T [°C]
基準	55.0	47.4	10.0	3.9	24.7
C+50kg/m <sup>3</sup>	47.0	46.2	8.5	3.3	23.8
C-50kg/m <sup>3</sup>	66.0	48.5	7.0	5.4	23.2
s/a+5%	55.0	52.4	9.0	5.0	24.0
s/a-5%	55.0	42.4	9.0	3.8	23.7

室内配合試験時のフレッシュ性状の目視観察結果では、C+50kg/m<sup>3</sup> や C-50kg/m<sup>3</sup> は、粘性に違いはあるものの概ね良好なフレッシュ性状を示した。一方、s/a+5%は塑性が高めであり、経時変化に伴う締りが大きい状態となった。また、s/a-5%は、細骨材率の低下により自立した形状を保持できず崩れやすい状態となった。本実験で用いたフレッシュコンクリートは、初期のフレッシュ性状に対して、単位セメント量の影響は小さく、細骨材率の影響が大きい結果となった。

#### 3.3 配管条件および圧送方法

図-3 に圧送試験に用いた配管図を示す。圧送は定置式のポンプ（理論吐出量：14~26m<sup>3</sup>/h、ピストン前面圧力 4.09MPa）を用い、輸送管は外径が 150A（以下、6B）、125A（以下、5B）、100A（以下、4B）の 3 種類の直管（以下、水平管）を用いた。また、外径の異なる輸送管の接続部には、各々 6B→5B、5B→4B のテーパー管を用いた。配管は延長 33.5m（水平換算距離：39.5m）の直線配置とした。配管は、ポンプ吐出口（6B）から 1.0m の直管（6B）を接続し、次に 1.5m のテーパー管（6B→5B）を設置、その後、

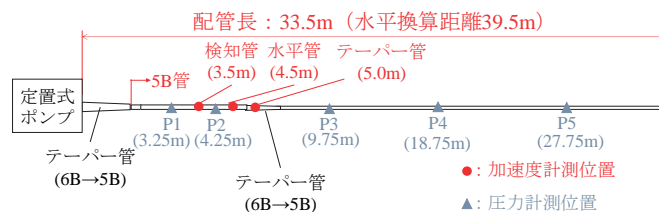


図-3 配管および計器配置図

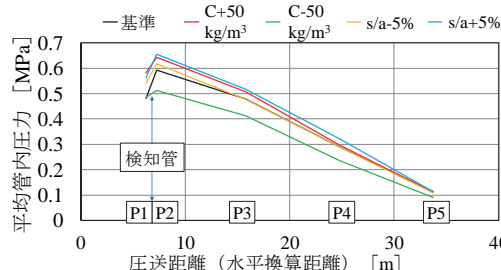


図-4 圧送距離と平均管内圧力の関係

計測対象部となる検知管を含め、2.5m 分の直管を接続し、1.5m のテーパー管（5B→4B）により 4B に絞った後、実配管長で 33.5m となるよう 4B の直管を延長した。圧送の際

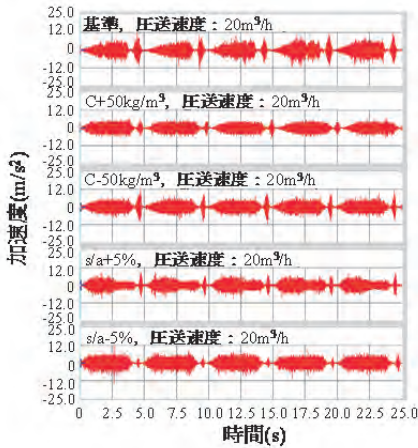


図-5 水平管での加速度波形

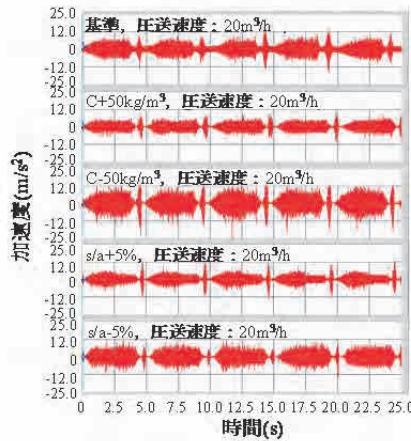


図-6 検知管での加速度波形

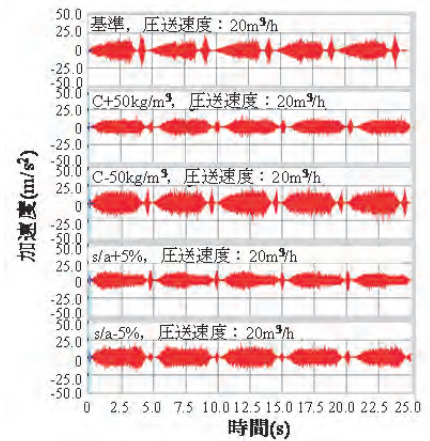


図-7 テーパー管での加速度波形

の配管内の未充填による管内圧力計測への影響を排除するため、筒先に対して上り勾配とすることで常に満管状態を維持できるように配慮した。圧送速度は、理論吐出量で  $15\text{m}^3/\text{h}$  と  $20\text{m}^3/\text{h}$  の 2 水準とした。吐出量の設定は、圧送が安定して行える範囲を選定した。

### 3.4 計測方法

計測は、振動加速度計（圧電式）および圧力計（フラッシュダイヤフラム型）を使用し、振動加速度計は配管外周面に直接貼り付け、圧力計の設置には圧力計測用の輸送管を用いた。図-3 に振動加速度計および圧力計の取り付け位置を示す。なお、筒先から排出されたコンクリートをホッパに戻し、圧送速度を変更後、繰返し計測を行った。

### 3.5 実験結果

圧送開始直後においては、全ての配合で順調に圧送された。しかし、s/a+5%のみ経時変化に伴い閉塞が生じた。以上のことを踏まえ、圧送性評価について検討する。

#### 3.5.1 順調圧送時の平均管内圧力と配合条件の関係

図-4 に平均管内圧力の計測結果を示す。平均管内圧力の算出は、圧送開始直後と圧送終了直前を除き、圧力波形が安定した計測値を平均して求めた。図-4 より、検知管前後において若干管内圧力の変動がみられるが、圧送距離に対して平均管内圧力が線形的に低下していることから、本試験の範囲では、検知管が管内圧力計測に及ぼす影響は小さいと考えられる。

基準配合と比較した場合、C+50kg/m<sup>3</sup>の平均管内圧力は上昇し、C-50kg/m<sup>3</sup>では低下する結果となった。前者では単位セメント量の増加に伴い粘性が増し材料分離抵抗性が高まったのに対し、後者は単位セメント量を減じたことで粘性が低下したことに起因するものと考えられる。また、細骨材率をパラメータとして増減した場合では、細骨材減少に伴う材料バランスの影響から s/a-5%で平均管内圧力が最も高い結果となった。なお、s/a+5%は塑性的な性状が強く表れたが、順調圧送時は、基準配合と同程度の値を示

した。

#### 3.5.2 順調圧送時の振動加速度と配合の関係

図-5～図-7 に  $20\text{m}^3/\text{h}$  で圧送した際の配合と形状の異なる輸送管（水平管、検知管、テーパ管）で得られた順調圧送時の加速度波形を示す。また、図-8、図-9 にピーク加速度振幅を示す。ピーク加速度振幅の算出は、既往の研究と異なりパワースペクトルを用いて実施した。図-8、図-9 は、荷卸し時の目視観察の結果、圧送の抵抗性が小さい（ピーク加速度振幅が小さい）と想定された配合条件を左から順に示している。前述より、振動加速度計で得られた波形は、平均管内圧力と同様の圧送状態を表しているものと考えられる。しかし、水平管のように圧送負荷が小さい輸送管の形状では、配合条件の違いが加速度振幅や波形に表れにくく、圧送中に負荷が生じ易い検知管やテーパ管において、加速度波形に配合の違いが色濃く表れる結果となった。また、図-6 と図-7、および図-8 と図-9 を各々比較した場合、圧送中に負荷が生じる機構は同様でも、形状が異なる検知管とテーパ管では、検知管において配合条件の違いを捉えやすい傾向にある。例えば図-6 と図-7 を比較すると、図-6 において加速度振幅の最大値の違いがより顕著に表れていることや、図-8 と図-9 を比較すると、図-8 ではピーク加速度振幅と配合条件の関係がより明確に捉えられている。

図-6、図-8 より、加速度波形ならびにピーク加速度振幅と配合条件の関係を検討してみる。基準配合に対し、材料分離がみられた s/a-5%は、ピーク加速度振幅が大きく、ピストンの駆動開始時から加速度振幅が大きく表れている。s/a+5%については、単位粗骨材量が最も少なく順調圧送時であったため加速度が小さく表れたと推察される。一方、材料分離抵抗性に優れた C+50kg/m<sup>3</sup>は、ピーク加速度振幅が小さく、加速度波形も安定している。粘性の違いはあるものの材料分離抵抗性はほぼ同程度とみられた C-50kg/m<sup>3</sup>は、圧送に伴う外力が加えられた結果、明らかに加速度の最大値が大きくなっている。これは、単位セメント量の減

少によりペースト分が減り、圧送抵抗が増加した現象を捉えたものと推察される。また、本稿では紙面の関係で図は割愛するが、圧送速度が 15m<sup>3</sup>/h の場合においても同じ傾向を示した。

### 3.5.3 検知管を用いた閉塞性の評価

前項では、順調に圧送された場合の試験結果について報告した。次に、圧送中に閉塞を生じた s/a+5%に着目する。圧送性の評価に際しては、経時変化に伴いテーパー管(5B→4B)において閉塞が生じた s/a+5%、圧送速度 15m<sup>3</sup>/h の計測結果を用いた。

図-10 に順調圧送ならびに閉塞時の検知管と水平管の加速度振幅の差による評価を、図-11 に平均管内圧力の計測結果を示す。図-10 より、順調圧送時では、検知管と水平管から得られる加速度振幅の差は小さいが、閉塞時には大きな差が生じている。これは既往の研究<sup>5)</sup>と同様であり、検知管がベント管の代替として圧送性評価に適用できることが判る。また、図-11 より、順調圧送時はポンプ近傍の平均管内圧力が小さいが、閉塞時に急激に上昇する現象が確認された。このことから、簡易圧送性評価は、平均管内圧力と同様の現象を捉えることが可能と考えられる。

## 4. まとめ

本研究では、配合条件の異なるフレッシュコンクリートに対し、振動加速度計と検知管を組み合わせた簡易圧送性評価手法の適用性や閉塞の評価を試みた。その結果、検知管および振動加速度計を用いることで、管内圧力計測と同様に配合条件の違いやこれに起因する圧送性の変化を確認でき、閉塞現象も捉えることができる。また、検知管と水平管のピーク加速度振幅の差分を用いることで、ベント管と水平管を用いた従来の手法と同等の圧送性評価を行うことができる。以上より、振動加速度計を用いた簡易圧送性評価手法に検知管を組み合わせることで、配合条件の違いが圧送性に及ぼす影響を概ね捉えることが可能となる。

### 参考文献

- 1) 橋本紳一郎, 江本幸雄, 伊達重之, 橋本親典: コンクリートのポンプ圧送性簡易評価手法の検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.1, pp.1186-1191, 2012
- 2) 橋本紳一郎, 平川恭奨, 南浩輔, 中島良光: コンクリートの簡易圧送性計測手法における配管条件及び圧送性判定の検討, セメント・コンクリート論文集, Vol.69, No.1, pp.272-278, 2015
- 3) 橋本紳一郎, 平川恭奨, 南浩輔, 中島良光, 渡辺健, 橋本親典: 振動加速度の計測によるコンクリートの圧送性の評価～加速度のピーク値と周波数を指標とした圧送性評価～, 土木学会年次学術講演会概要集, Vol.70, V-214, pp.429-430, 2015

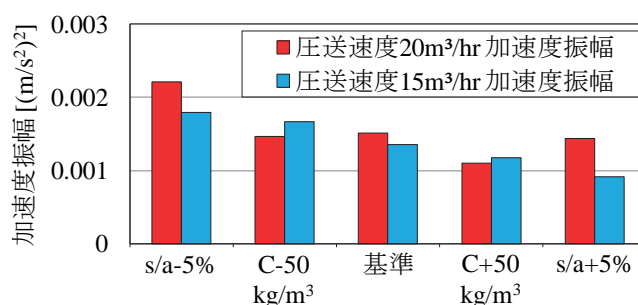


図-8 配合条件とピーク加速度振幅 (検知管)

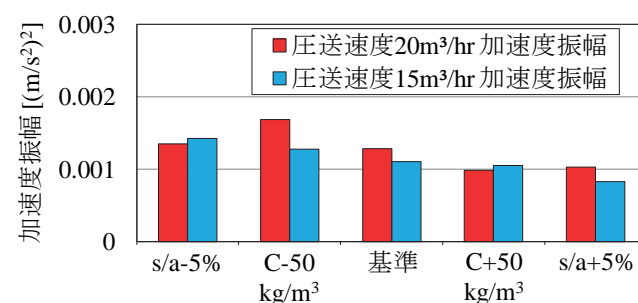


図-9 配合条件とピーク加速度振幅 (テーパー管)

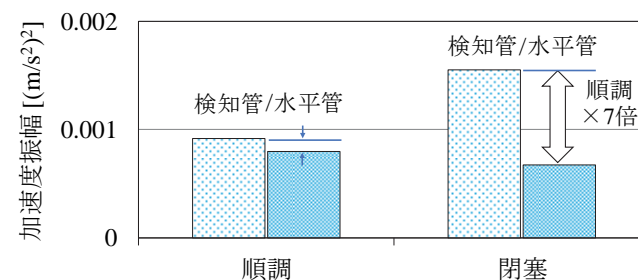


図-10 検知管と水平管のピーク加速度振幅の差

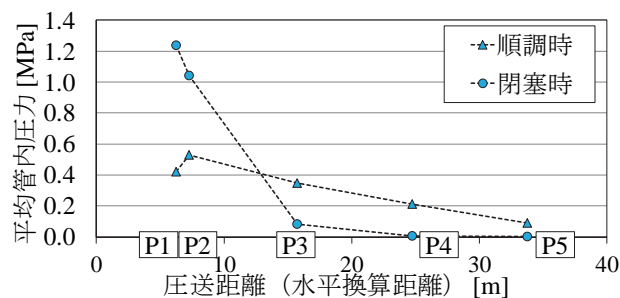


図-11 順調圧送時および閉塞時における平均管内圧力

- 4) 中島良光, 南浩輔, 橋本紳一郎, 平川恭奨: 振動加速度計の計測によるコンクリートの圧送性の評価～振動加速度計と検知管を用いたコンクリートの圧送性評価～, 土木学会年次学術講演会概要集, Vol.70, V-216, pp.431-432, 2015

\*1 前田建設工業 技術研究所 研究員, \*2 前田建設工業 成長戦略室 マネージャー, \*3 福岡大学 工学部社会デザイン工学科 助教 博士(工学), \*4 ヤマコン 事業開発室 室長



# 論文 輸送管のひずみ計測による圧送状況の推定

○木村 芳幹\*<sup>1</sup>      中村 成春\*<sup>2</sup>  
 岩清水 隆\*<sup>3</sup>      岸 繁樹\*<sup>4</sup>  
 山崎 順二\*<sup>5</sup>      高見 錦一\*<sup>6</sup>  
 浅田 武彦\*<sup>7</sup>      永田 哲夫\*<sup>8</sup>  
 豊田 裕\*<sup>9</sup>

実大実験                  ひずみ                  ベント管  
 テーパ管                  管内圧力              軸方向応力

## 1. まえがき

一般に、コンクリートの圧送時に閉塞が生じる箇所の大半がテーパ管であるといわれる<sup>1)</sup>。これは、テーパ管内では、輸送管の径が徐々に小さくなることから、コンクリートがせん断変形を伴って圧送される<sup>1)</sup>ことにより、骨材が噛み合いやすい状況になることによるものである。また、コンクリートを構成する材料には密度の違いがあることから、ベント管を圧送される際には、遠心力を受けてこれらが分離し、骨材が輸送管断面内で偏在する可能性が極めて高い。このことから、閉塞が生じる可能性は、フレッシュコンクリートの性状ばかりでなく、配管の状況によっても大きく影響されると考えられる。

そこで、筆者らは、輸送管にひずみゲージを貼り付け、その変形を測定することによって、ベント管やテーパ管の圧送状況を推定することを試みている<sup>2)</sup>。本論文では、2015年に行った実大実験<sup>3)</sup>のうち、ピストン式ブーム付きポンプを用いた呼び強度 30 の普通コンクリートについて、輸送管のひずみから推定した圧送状況について述べる。

## 2 実験概要

### 2.1 使用材料および調査

使用材料および調査を、圧送前のスランプ(SL)を併記して表1、2に示す。対象としたコンクリートの目標スランプは12~21cmの範囲であり、目標スランプ15cmには、高性能AE減水剤とAE減水剤を用いた2調査がある。

表1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント
水	地下水および上澄水
細骨材	S1 砕砂 福岡県北九州市産 S2 砕砂 兵庫県赤穂市産
粗骨材	G1 砕石 2005 兵庫県赤穂③ G2 砕石 2005 大分県津久見市産
混和剤	ad. 高性能AE減水剤 AE減水剤

表2 コンクリートの計画調査

記号	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )						ad. (C×%)	SL (cm)
			W	C	S1	S2	G1	G2		
①30-21	50	52.5	185	370	460	442	564	250	0.675	22.0
②30-18	50	49.9	180	360	442	426	602	267	0.575	20.0
⑧30-15	50	48.4	175	350	434	418	628	278	0.575	17.0
⑨30-15AE	50	48.7	180	360	431	415	617	274	0.75	16.5
⑩30-12AE	50	48.0	175	350	430	414	633	281	0.70	13.5

\*: 記号の凡例: 番号, 呼び強度-目標スランプ

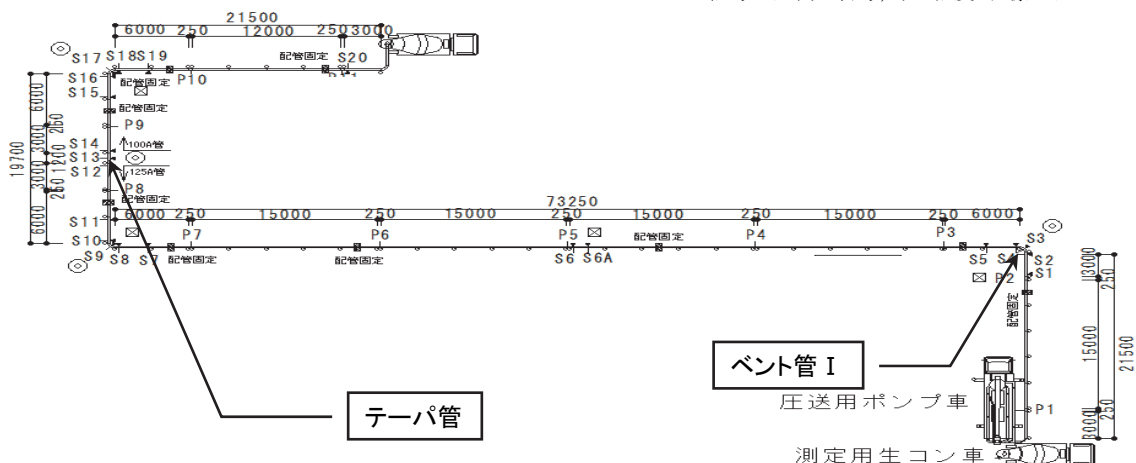


図1 配管状況

## 2.2 配管計画

配管状況を、ひずみの測定位置 (S1~S20) および圧力計による測定位置 (P1~P11) を併記して図1に示す。輸送管には、圧送距離 108m 付近に設置したテーパ管の前 (ポンプ車側) を 125A 管 (厚さ約 6.5mm), テーパ管の後 (筒先側) を 100A 管 (厚さ約 3.5mm) を用いた。なお、本論文では、3 箇所あるベント管のうち、圧送距離 23m 付近の 125A ベント管をベント管 I として述べる。

## 2.3 ひずみ測定の概要

ひずみの計測には、検長 5mm のひずみゲージを用い、直管では 1 箇所の測点につき、筒先に向かって右側と左側の 2 箇所、ベント管、テーパ管の直前、中央、および直後では、これに上側と下側を含めた合計 4 箇所において、それぞれ軸方向と周方向に貼り付けた。ひずみの計測頻度は 1 秒間あたり 10 回とした。

## 2.4 管内圧力と軸方向応力の評価方法

測定したひずみから、(1)式および(2)式<sup>2)</sup>を用いて管内圧力および軸方向応力を推定した。

$$\tau_s = \frac{E(\nu\varepsilon_2 + \varepsilon_1)}{1-\nu^2} \times 10^{-3} \quad \dots (1)$$

$$\sigma_n = \frac{tE(\nu\varepsilon_1 + \varepsilon_2)/(1-\nu^2)}{r} \times 10^{-3} \quad \dots (2)$$

ここに、 $\tau_s$ :軸方向応力(N/mm<sup>2</sup>),  $\sigma_n$ :管内圧力(N/mm<sup>2</sup>), r:輸送管半径(mm), t:輸送管の厚さ(mm),  $\nu$ :ポアソン比(=0.3), E:ヤング係数(=210kN/mm<sup>2</sup>),  $\varepsilon_1$ :軸方向ひずみ( $\mu$ ),  $\varepsilon_2$ :周方向ひずみ( $\mu$ )

つぎに、各ストロークの管内圧力と軸方向応力は、1 ストロークにおける 0.5 秒間 (6 測定) の変動係数が最も小さいときとした。また、同一速度で圧送したとき (3~7 ストローク) の平均値を、その圧送速度 (実吐出量) における管内圧力および軸方向応力として評価することとした。

## 3. 測定結果と考察

### 3.1 ひずみおよび管内圧力・軸方向応力の状況

①30-21 のベント管 I (測点 S3) の軸方向, 周方向のひずみ推移を図2に示す。同図は、輸送管 4 断面で測定したひずみを平均して示したものである。安定した状態の軸方向ひずみは低速時で 15 $\mu$ , 高速時で 40 $\mu$ , 周方向ひずみは低速時で 50 $\mu$ , 高速時で 150 $\mu$  程度であった。

つぎに、図2に示したひずみから、(1), (2)式を用いて推定した管内圧力と軸方向応力の推移を図3に示す。同図によると、管内圧力, 軸方向応力はともに安定した状態の波形であり、管内圧力の増減に対応して軸方向応力も増減していることが分かる。①30-21 におけるベント管 I の軸方向応力の大きさは、低速時で 5N/mm<sup>2</sup>, 高速時で 13N/mm<sup>2</sup> 程度であった。

### 3.2 圧力計による測定値との比較

図4に、同一圧送距離付近で測定した圧力計による測定

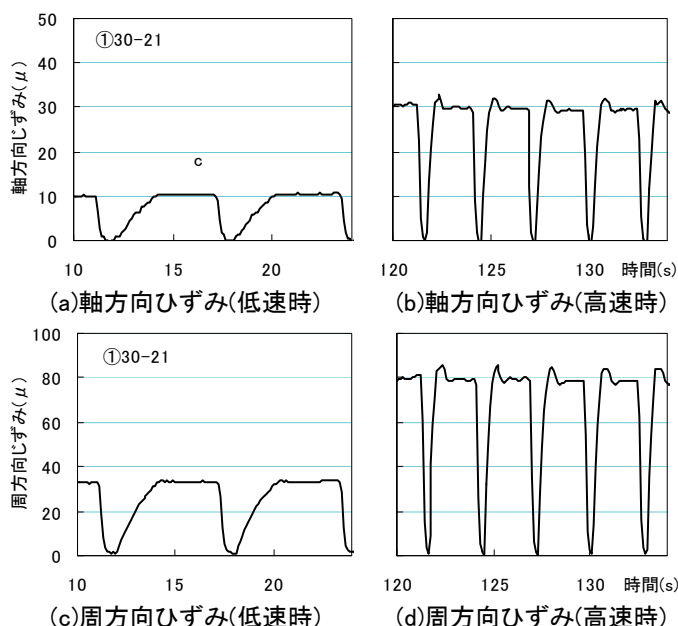


図2 ひずみの推移(①30-21 測点 S3)

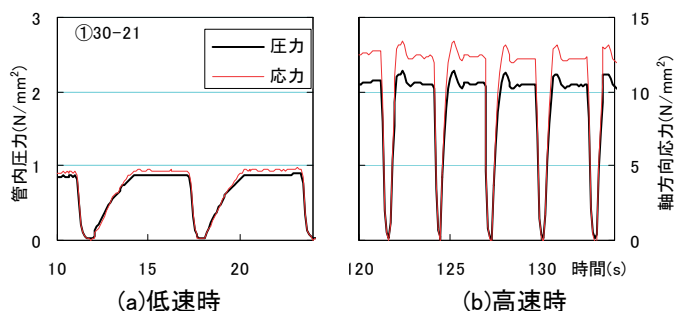


図3 管内圧力と軸方向応力の推移 (①30-21 測点 S3)

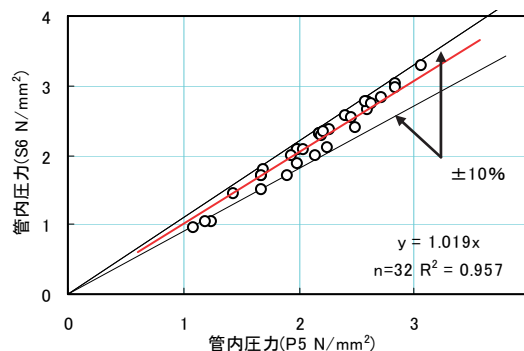


図4 圧力計による管内圧力との比較(圧力計 P5, ひずみ S6)

値(P5)とひずみ(S6)から(2)式を用いて推定した管内圧力を比較して示す。ただし、同図にプロットした値は、同一の実吐出量で圧送した 3~7 ストロークの平均値であり、ひずみによる測定値は断面の平均値である。同図によると、輸送管のひずみによる管内圧力の推定値は、圧力計による測定値と概ね一致していることが分かる。輸送管のひずみを測定することで、管内圧力が推定できるといえる。

### 3.3 管内圧力と軸方向応力との関係

配管根元付近の直管の測点 S1 と筒先付近の直管の測点 S20 について、管内圧力と軸方向応力との関係を図5に示す。同図によると、配管根元付近ではスランプにかかわら

ず管内圧力と軸方向応力との関係には一定の相関が認められる。しかし、筒先付近では同一調査においてもばらつきがみられる。ただし、スランブによるばらつきの程度の違いは明確でない。これは、根元付近と筒先付近では、同一圧送速度においても管内圧力が異なることによって、圧送のモード(せん断流動とすべり流動)が異なったことによると示唆される。つまり、配管根元付近では、主としてすべり抵抗だけが軸方向応力として作用しているため、同じ圧送速度では一定の軸方向応力が作用していると考えられる。しかし、筒先付近ではすべり抵抗に加え、せん断流動により確率的に生じる骨材の噛み合いを除去する反力が軸方向応力として作用することによって、同じ管内圧力においても、軸方向応力にばらつきが生じたと考えられる。

### 3.4 テーパ管の圧送状況

一例として①30-21について、テーパ管とその近傍の直管における圧送距離と管内圧力および軸方向応力との関係を図6に示す。同図は、実吐出量が65.0m<sup>3</sup>/hの時点について、左右側、上下側の推定値を平均値で示した。

同図によると、テーパ管内の管内圧力および軸方向応力は、左右側では距離とともに増加しているが、上下側では減少していることが分かる。同図の範囲では、テーパ管先端付近の左右側でせん断変形に伴う粗骨材の噛み合いが生じ、その反力として輸送管の軸方向に応力が作用した一方で、上下側はスムーズな圧送状況であったと考えられる。

しかし、断面の平均でみると、管内圧力はほぼ同じ値で推移している。つまり、管内圧力損失がほとんど生じていない。これは、テーパ管では、コンクリートが圧送される力(推進力:荷重)が抵抗を受けて減少したとしても、輸送管の断面積が距離とともに小さくなることから、圧力が減少するとは限らないことによると考えられる。そこで、テーパ管およびその前後の直管において、以下のように推進力と抵抗力を定義して検討を加える。

$$\text{推進力} : P \times A1 \quad \dots \dots (3)$$

$$\text{抵抗力} : \sigma \times A2 \quad \dots \dots (4)$$

ここに、P:管内圧力(N/mm<sup>2</sup>)、σ:軸方向応力(N/mm<sup>2</sup>)、A1:輸送管の断面積(mm<sup>2</sup>)、A2:輸送管肉厚の断面積(mm<sup>2</sup>)

図7に、テーパ管付近における圧送距離と推進力および抵抗力との関係を示す。同図より、推進力の断面平均は、テーパ管内ではほぼ一定の割合で減少していることが分かる。断面位置で比較すると、推進力は入口付近では上下側で大きく、出口付近では左右側で大きい。

一方、抵抗力の断面平均は、入口付近が出口付近よりも大きい。断面位置で抵抗力を比較すると、上下側はほぼ一定の割合で減少しているが、左右側は出口付近で大きくなっている。つまり、テーパ管の入口付近で上下側、出口付近では左右側の抵抗が大きくなることにより、推進力が減少していると考えられる。他の調査でも同様な傾向が認められたことから、本実験の配管では、テーパ管の入口と出

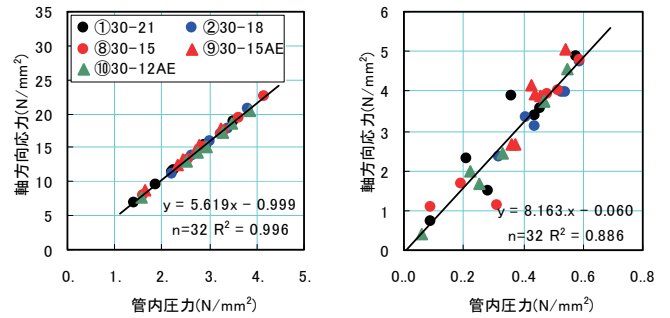


図5 管内圧力と軸方向応力との関係(左 S1, 右 S2)

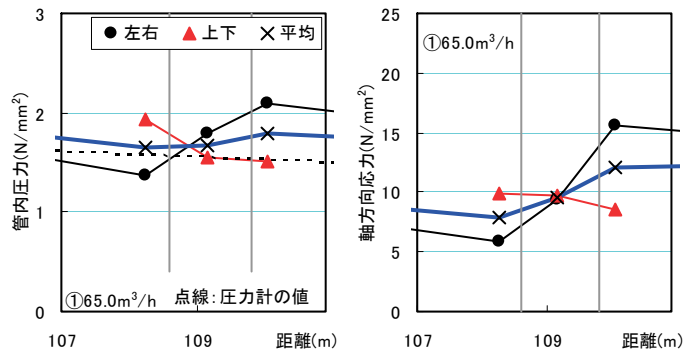


図6 圧送距離と管内圧力、軸方向応力との関係(テーパ管)

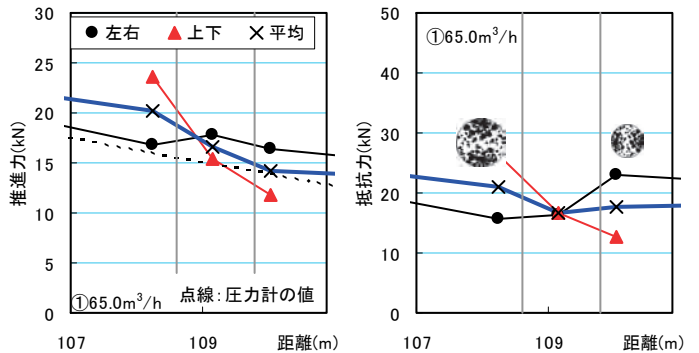


図7 圧送距離と推進力、抵抗力との関係(テーパ管)

口で骨材の噛み合う断面位置が異なっていたと考えられる。

つぎに、各調査のテーパ管とその前後の直管における推進力と抵抗力との関係を図8に示す。ただし、同図は、断面平均で示したものである。同図によると、推進力と抵抗力との関係は、いずれの測定位置でもスランブによる明確な違いは認められない。また、切片を0とした一次回帰式の傾きを比較すると、S13<S12<S14の順に大きくなっている。つまり、推進力に対する抵抗力の割合は、テーパ管内<入口付近<出口付近の順に高くなるといえる。テーパ管では、特に出口付近で抵抗に対応するための推進力が小さくなる傾向にあるといえる。

### 3.5 ベント管の圧送状況

①30-21について、ベント管Iとその近傍の直管における圧送距離と管内圧力および軸方向応力との関係を図9に示す。同図は、実吐出量を65.0m<sup>3</sup>/hとした時点について、4断面それぞれの推定値を示したものである。同図によると、ベント管Iに至るまでは、断面内でほぼ均等な管内圧

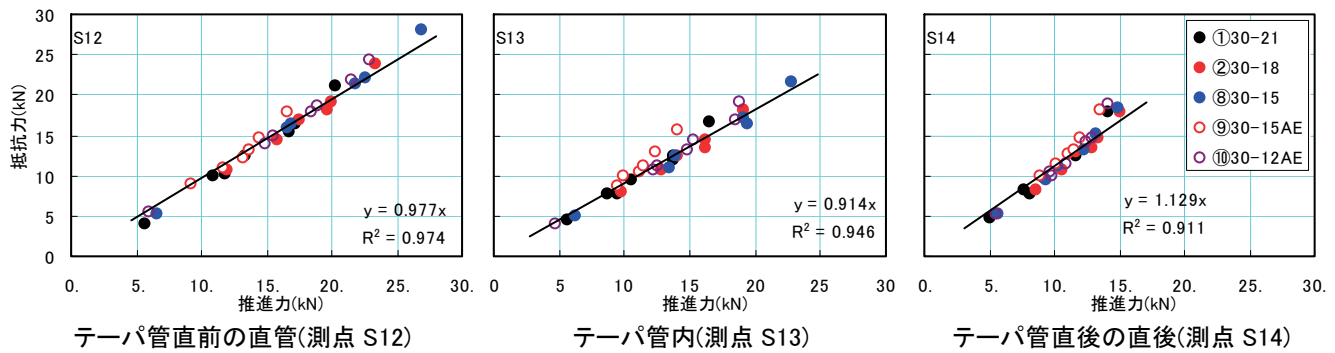


図8 推進力と抵抗力との関係 (テーパ管付近)

力であるが、ベント管内では左右 (内外) 側で高く、上下側では低くなっていることが分かる。特に、上下側では負圧となっている。したがって、ベント管内では左右側のコンクリートが上下側にも移動しようとする力が作用していると考えられる。また、左右 (内外) 側で管内圧力を比較すると右 (内) 側で高くなっている。これは、これまでの実験で得られた結果<sup>2)</sup>と同様な傾向であり、遠心力により輸送管が左右方向(内外方向)に変形することに加え、外側で流速が速くなることから、コンクリートは粘性を持つ流動体ではあるが、ベルヌーイの定理によって圧力が小さくなることが示唆される。軸方向応力も同様に、左(内)側のほうが右(外)側のほうが大きい。しかし、軸方向応力は、ベント管直前直後の直管においても左(内)側で大きい。これは、この部分でコンクリートが必ずせん断変形する<sup>1)</sup>ことから、その際に生じる応力が外側よりも内側で大きく作用していることによると考えられる。

すべての調査について、ベント管内の測点 S3 の実吐出量と管内圧力との関係を図 10 に、ベント管 I 直後の測点 S4 の実吐出量と軸方向応力との関係を図 11 に示す。同図より、ベント管 I の管内圧力および軸方向応力の断面内の状況は、実吐出量にかかわらず、いずれの調査でも同様な傾向であったことが分かる。

#### 4. まとめ

本論文では、2015 年に行った呼び強度 30 の普通コンクリートについて、輸送管のひずみから推定された管内圧力と軸方向応力をもとに、テーパ管内やベント管 I 付近の管内圧力および軸方向応力について検討した。結果は以下のとおりである。

- (1) 輸送管のひずみの測定により、管内圧力が推定できる。
- (2) テーパ管では、出口付近で抵抗に対応するための推進力が小さくなる。
- (3) ベント管 I 内の管内圧力は外側よりも

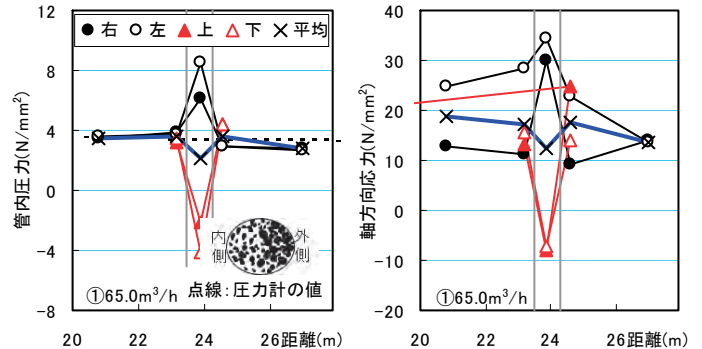


図9 圧送距離と管内圧力、軸方向応力との関係(ベント管①)

内側で高くなる。軸方向応力は、ベント管 I 直前直後の直管においても内側で大きくなる傾向がみられる。

#### 参考文献

- 1) 日本建築学会：コンクリートポンプ工法施工指針・同解説, pp.192~235, 1995
- 2) 岸ほか：フレッシュコンクリートの性能とポンプ圧送性の評価に関する研究(その 1~13), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.537~562, 2007.9
- 3) 岸ほか：ポンプ機種が圧送性に及ぼす影響と閉塞危険性の評価(その 1~17), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.793~826, 2016.9

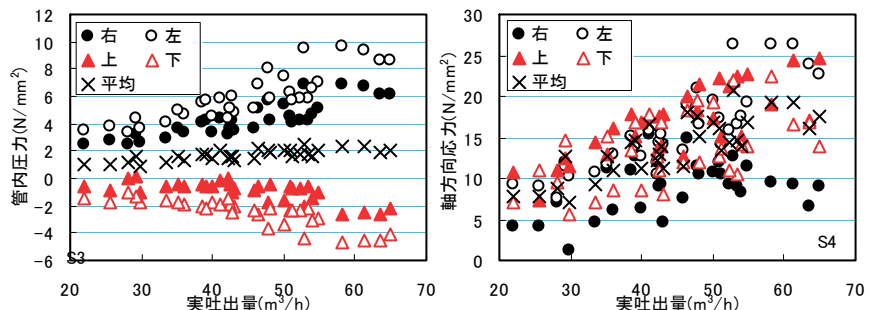


図 10 実吐出量と管内圧力との関係 (ベント管①内 測点 S3) 図 11 実吐出量と軸方向応力との関係 (ベント管直後 測点 S4)

\*1 日本建築総合試験所, \*2 大阪工業大学, \*3 竹中工務店, \*4 近畿生コンクリート圧送協同組合, \*5, \*6 浅沼組, \*7 泉北ニシイ, \*8 太喜, \*9, イッケン商事

# 報告 圧送性評価ソフトの開発

○岸 繁樹\*<sup>1</sup>                      高見 錦一\*<sup>2</sup>                      山崎 順二\*<sup>3</sup>  
 中村 成春\*<sup>4</sup>                      岩清水 隆\*<sup>5</sup>                      木村 芳幹\*<sup>6</sup>  
 山田 藍\*<sup>7</sup>                          永田 哲夫\*<sup>8</sup>                      浅田 武彦\*<sup>9</sup>  
 豊田 裕\*<sup>10</sup>                          共田 昌一\*<sup>11</sup>

ポンプ                      圧送性                      ソフトウェア  
 管内圧力損失

## 1. はじめに

昭和 41 年頃からのポンプ車の急激な普及により、それまでの現場練りのコンクリートを人力で運搬して打ち込んでいた時代から、コンクリートを圧送して打ち込む機械化施工が主流となった。ポンプ車の急激な普及は、コンクリートの品質向上ではなく施工の便利さが目的であり、この段階でコンクリートの打込み方法や構造体の品質が大きく変化したと考えられる。

コンクリートポンプの性能向上によって長距離圧送や超高所圧送が可能となってきたが、このような特殊な圧送施工において無駄のない合理的かつ高精度な圧送計画を立案するためには、時として施工者は実大規模の圧送実験を実施し、圧送するコンクリートの管内圧力損失（以下、K 値）などを求めることが必要になる。

しかし、昨今の施工実績の蓄積とコンクリートポンプの能力向上が相まって、徐々に圧送実験事例が少なくなっている。これは、実大規模の実験には多大な費用と手間を要することもその一因と考えられる。

このような状況のなか、近畿生コンクリート圧送協同組合（近圧協）と日本建築学会近畿支部は 2004 年に研究会を組織し、これまで圧送距離 30～300m までの実大規模の圧送実験や、高さ 300m までの高所圧送時の圧力計測、建設現場でのポンプ車の主油圧計測を実施し、それらの結果を発表している。

この研究会の成果の代表的なものには、合理的な圧送計画立案のための支援ツールとして、「圧送性評価ソフト」および「K 値推定ソフト」の作成と Web への公開、圧送従事者の労力軽減のための吊り打ち施工実験、圧送中の輸送管内でのコンクリートの閉塞に関する全国調査の実施などがある。本報告では、その「圧送性評価ソフト」について説明する。

## 2. 圧送性評価ソフトの概要

ポンプ車の機種選定など圧送計画立案の合理化のための支援ツールとしての「圧送性評価ソフト」を共同で 2006 年に作成し、その後改良を加えながら近畿生コンクリート圧送協同組合の HP にて公開している

(<http://kinatsukyou.com>)。

圧送性評価ソフトでは、コンクリート打込み計画概要と使用するコンクリートの情報を入力することによって、ポンプに加わる圧送負荷を自動的に算定し、必要なポンプを簡易に選定することができる。また、必要な配管種別が自動的に選択される。

このソフトには、前述の 100 バッチを超える実大圧送実験の結果を基に、建築・土木で使用される一般のスランブコンクリートに加え、スランブフローで管理する高強度・高流動コンクリート、鋼管充填コンクリートといった、あらゆる種類のコンクリートに対して、コンクリートの調合やフレッシュコンクリートの性状からコンクリートの管内圧力損失（K 値）を推定する式が組み込まれており、圧送するコンクリートに応じたポンプ車が選定される。ソフトの概要を図-1 に示す。

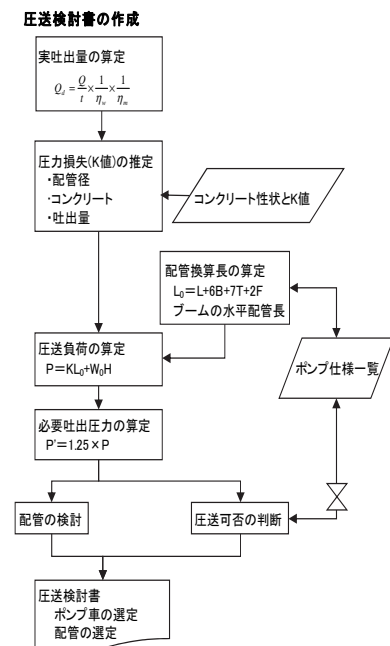


図-1 ソフトの概要

誰でもが容易に使い、かつ内容を理解しやすいように、計算過程も表示され、使用者がその内容確認を容易にできるようにした。また、各社固有のデータを保有している場合には、設定値も自由に変更できるようにした。

### 3. 適用範囲

適用範囲は、スランブ管理のコンクリート、スランブフロー管理の高強度・高流動コンクリートに加え、スランブ15cm以下のコンクリート（NとBBの2種類）にも適用でき、広範囲のコンクリートの圧送計画に対応できる。

### 4. ソフト入力

圧送性評価ソフトの入力画面を図-3に、入力項目を表-1に示す。表中の\*が必須項目である。

簡便化を図るために、入力項目はできるだけ少なくするとともに、プルダウンメニューからの選択方式を多用した。

### 5. 計算の仕組み

#### 5.1 吐出量の算定

実吐出量は、一日の総打ち込み量の入力値と打ち込み部位による作業効率や吸込み効率などから自動的に算出される。吸込み効率は、コンクリート種別とスランブ値から自動的に選択する他、試験練りが終わっている場合には、スランブ管理のコンクリートとフロー管理のコンクリートに分けてその性状から自動的に算出できる。

なお、CFT柱への圧入充填の場合は、圧入充填時のコンクリートの上昇速度を1m/分以下とする必要がある。そのため、CFT鋼管柱の形状に応じて、上昇速度が1m/分となるように打設速度を自動的に算出している。

表-1 入力項目

打設計画概要	配管条件	コンクリート関連	
打設部位*	ブーム使用の有無*	コンクリート種別*	スランブ*
生コン車配置*	使用配管径*	使用セメント種別	スランブフロー
1日の総打設数量*	圧送高さ(m)*	呼び強度*	単位容積質量
1日の実作業時間*	配管長さ(m)*	W/C	Lフロー初速度
		単位セメント量	Vロート流下時間

\*:必須入力項目

#### 5.2 圧力損失の算定

圧送計画立案の際に一番重要なコンクリートの圧力損失（以下K値）は、コンクリートの調合・フレッシュ性状から自動的に算出される。

ソフト使用時のコンクリートに関する情報によって図-2に示す8ケースでK値を推定することとした。

K①は、通常のコンクリートであり、スランブ15cm以下では土木学会指針の値を、スランブ18cm以上では「コンクリートポンプ工法施工指針・解説（建築学会）」に示されているK値の標準値を採用している。K②は、研究会各社の保有するデータを元に、セメント量によってK値の補正を行なっている。K③④⑤はこれまで圧送技術研究会において報告された各種のK値の推定式である。

なお、K値の推定式は、種々の実験結果を基にスランブ値やセメント種別ごとに重回帰分析によって実験定数を定めた。ただし、実験で使用した配管種別は125Aであるため、計画されている配管種別が100Aでは125Aで算出したK値に補正係数を乗じている。

$$K = a \cdot Qd + b \quad \text{(式1)}$$

K: 125A直管の管内圧力損失( $\times 10^{-3} \text{N/mm}^2/\text{m}$ )

Qd: 実吐出量( $\text{m}^3/\text{h}$ )

a, b: 実験定数

#### 5.3 水平管算長さ

ベント管やテーパ管の換算長さは、2015年の実験結果<sup>1)</sup>からベント管は6倍、テーパ管は7倍とした。

#### 5.4 ポンプ車データベース

ポンプ車の膨大なデータベースを保有しており、圧送可能なポンプ機種が容易に選定できる。

本プログラムでは、162機種のポンプ仕様データを有している。国内に現存するポンプの中にはかなり古い機種もあるが、データとして保有しているポンプは現行の機種か、過去15年以内に製造した機種である。それぞれのポンプ仕様の概要は、ポンプを選択した時に、画面に表示されるようになっている。また、個々のポンプの詳細仕様を確認したい場合には、ポンプ仕様一覧表が用意されている。

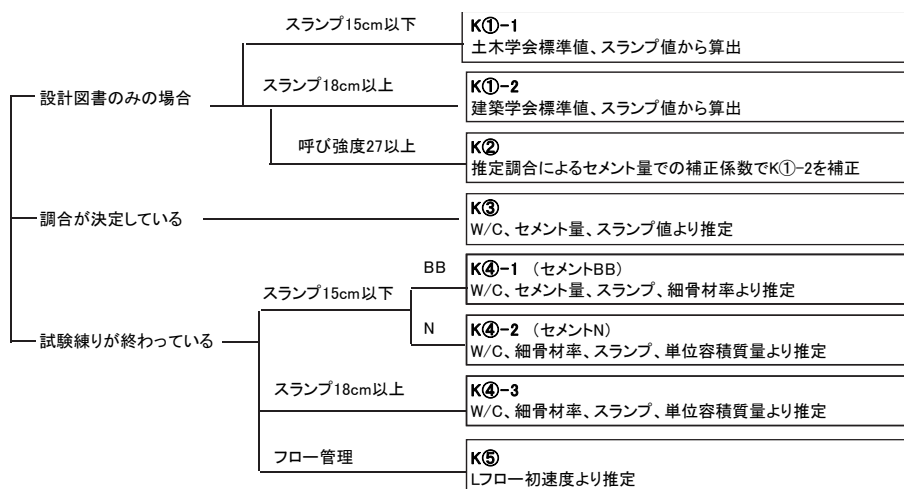


図-2 管内圧力損失（K値）推定式の構成

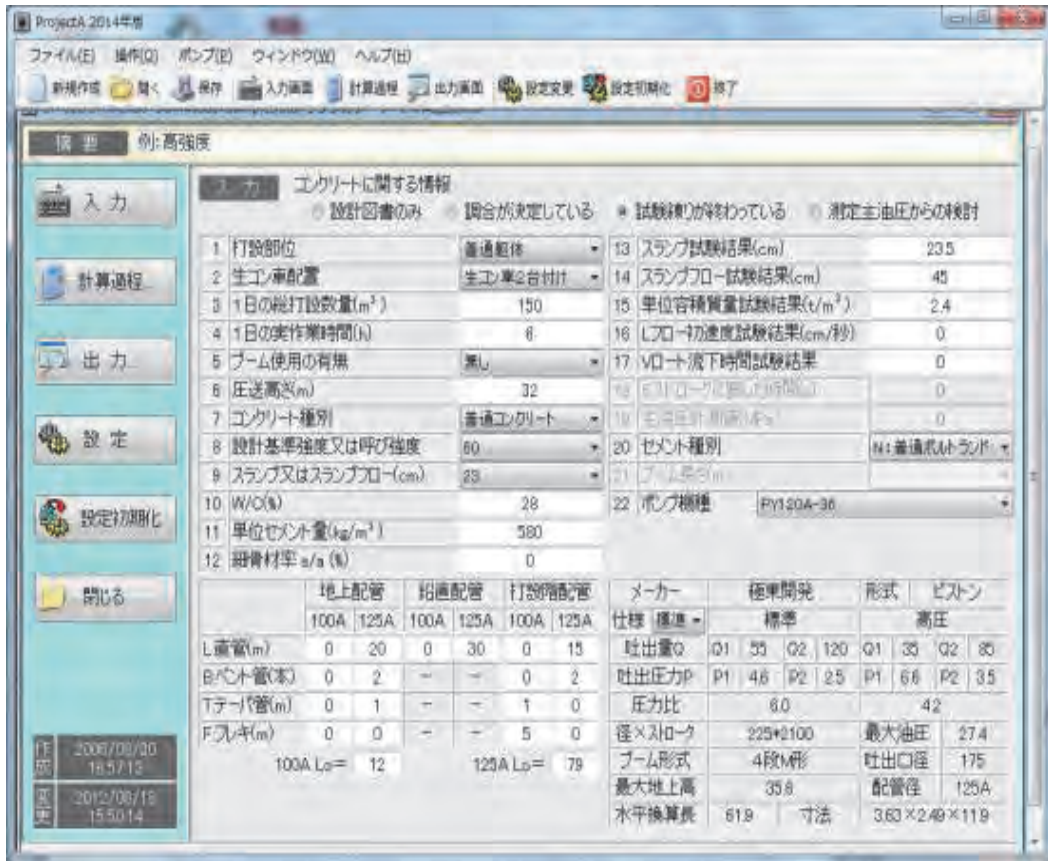


図-3 圧送性評価ソフトの入力画面

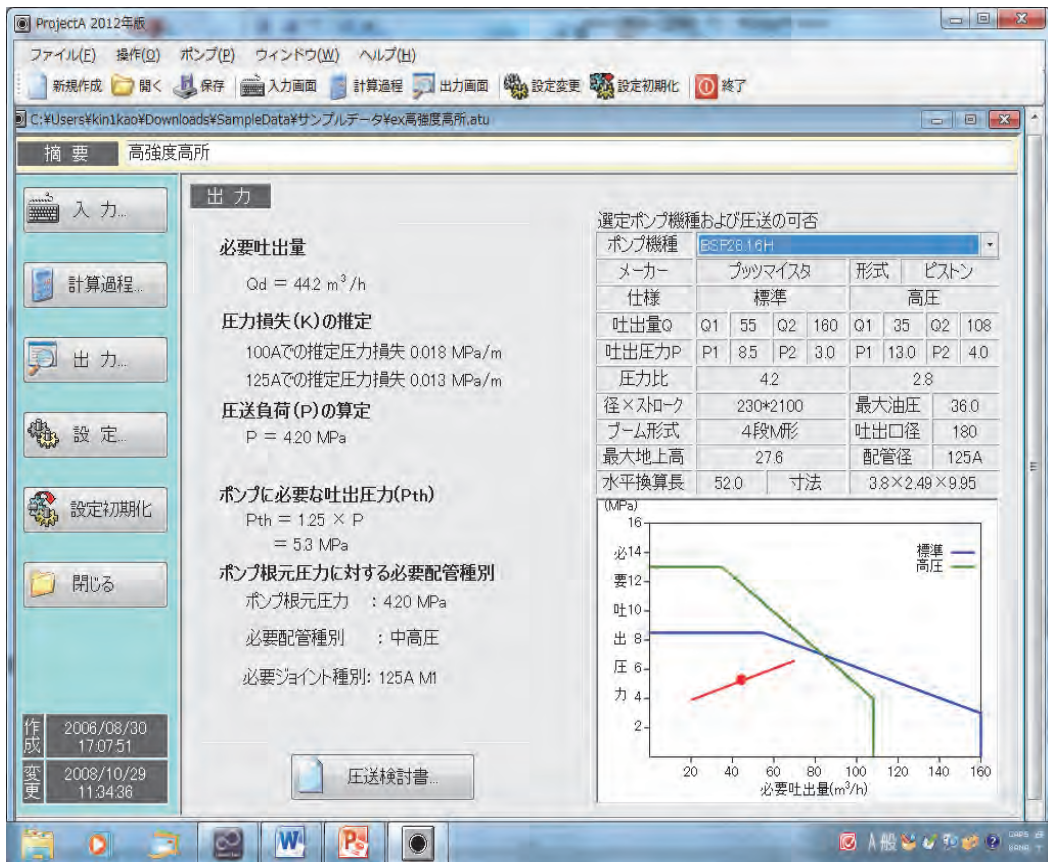


図-4 圧送性評価ソフトの出力画面の例

## 6. 結果の出力

出力画面の一例を図-4に示す。

ポンプ車を入力画面内のプルダウンメニューから選ぶことで、ポンプ車の能力線図(P-Q線図)が図-4の出力画面の右下に表示され、併せて計算結果の一覧が確認できる。ポンプ車のP-Q線図に落とし込んだ図を表示することで、圧送可否がその余裕も含めてビジュアルに判断できるようにした。

算定した吐出量での必要吐出圧力がP-Q線図で囲まれている圧送可能範囲を超える場合は、「ポンプを選定しなおすか入力値を修正して下さい」というエラーメッセージが表示され、再検討を促す仕組みとした。

また、125Aの配管を対象に、算定された圧送負荷と配管やジョイントの常用圧力を比較して、ポンプ根元配管に必要な配管とジョイントを自動選定するようにした。なお、安全率は2とした。

出力結果は、圧送検討書としてプリントアウトが可能である。

圧送性評価ソフトによる推定K値と実験から実測によって得られた実測K値は、図-5に示すように寄与率 $R^2 = 0.70 \sim 0.85$ と高い相関があり、さまざまな調査条件のコンクリートに対するK値の推定精度が高いことがわかる。

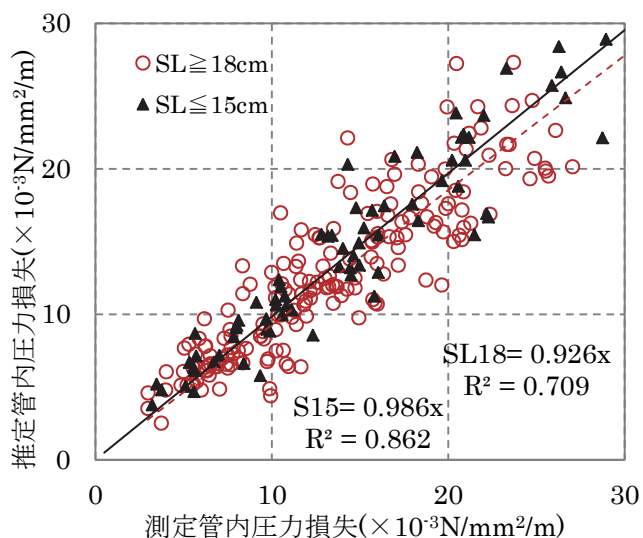


図-5 管内圧力損失の測定値と推定値

## 7. まとめ

本評価ソフトを用いれば、圧送従事者の経験知に任せることなく、圧送条件に適した能力のポンプ機種の選定が机上で容易に精度よくシミュレーションできるので、無駄のない合理的な圧送施工が可能となる。さらに、施工計画段階に圧送検討書を活用すれば、監理者、施工管理者、圧送従事者らが共通認識をもって協議することも可能となる。

前述のとおり本ソフトは、近畿生コンクリート圧送協同組合のホームページからダウンロードできる。ホームページ画面を図-6に示す。なお、2016年版圧送性評価ソフト・K値推定ソフトのこれまでのダウンロード数は、2017年9月現在で895件である。

今後、さらにデータの蓄積を行い、推定精度の向上やソフトの発展を目指したい。

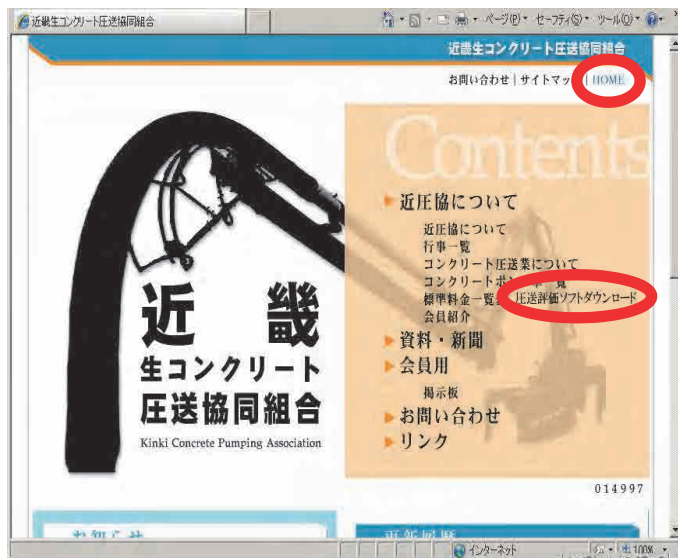


図-6 圧送性評価ソフトのダウンロード  
- 近圧協 HP トップページ -

## 参考文献

- 1) 岸ほか：ポンプ機種が圧送性に及ぼす影響と閉塞危険性の評価(その1~20)、日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)材料施工, pp. 427-466, 2017.9

\*1 近畿生コンクリート圧送協同組合, \*2, \*3 浅沼組 \*4 大阪工業大学, \*5 竹中工務店, \*6 日本建築総合試験所, \*7 竹中工務店, \*8 大喜, \*9 泉北ニシイ, \*10 イッケン商事, \*11 トモエポンプ



# 報告 圧力損失（K値）推定ソフトの開発

○高見 錦一\*<sup>1</sup>      山崎 順二\*<sup>2</sup>      山田 藍\*<sup>3</sup>  
 木村 芳幹\*<sup>4</sup>      中村 成春\*<sup>5</sup>      岩清水 隆\*<sup>3</sup>  
 永田 哲夫\*<sup>6</sup>      豊田 裕\*<sup>7</sup>      浅田 武彦\*<sup>8</sup>  
 岸 繁樹\*<sup>9</sup>      共田 昌一\*<sup>10</sup>

圧力損失                      主油圧                      配管根元圧力  
 現場計測                      ソフト

## 1. はじめに

圧送計画を立案する際には、コンクリートの水平管の圧力損失（以下 K 値）を推定することが重要である。ポンプ指針<sup>1)</sup>に輸送管径ごとに示されているが、コンクリートによってはその値と異なることがある。特に高強度コンクリートなど特殊なコンクリートでは、大きく異なる。圧送実験によって K 値を測定できれば良いのだが、圧送実験は多額の費用を要する。簡易に K 値の概略値を得る手法として、実際のコンクリート打込み時に、ポンプ主油圧とピストンストロークを測定する方法がある。本稿では、上記の測定方法を述べるとともに、測定結果を入力することで自動的に K 値を算出できる「K 値推定ソフト」の概要を報告する。なお、本ソフトは、近畿生コンクリート圧送協同組合のホームページで公開している。

<http://kinatsukyou.com/soft/index.html>

## 2. ソフトの概要

ソフトの概要を図-1に示す。ソフトでは、フレッシュコンクリートの性状、使用ポンプ車の機種、配管状況、およびコンクリート打込み時の主油圧とピストンストローク時間の測定結果を入力することで、自動的にそのコンクリートの K 値を算出し、更に、圧送限界高さも計算できる。

## 2.1 K 値推定の方法

日本建築学会ポンプ指針では、ポンプ車に加わる圧送負荷は式(1)で示されている。この式を K 値を示す式に変形したものが式(2)である。すなわち、輸送管根元圧力からコンクリート自重による圧力を引き、輸送管の水平換算長さで除すことで K 値が算定できる。

ポンプ主油圧と輸送管根元圧力の関係を図-2および式(3)に示す。ポンプ指針<sup>\*1)</sup>では、圧送負荷算定起点は輸送管根元の 150A-125A テーパー管の 150A 側とされ、この圧送負荷算定開起点となる輸送管根元圧力 (P) は、式(3)で示される。ここで、Pth はポンプを駆動する主油圧の値をコンクリートを押すピストン前面の圧力に換算した理論吐出圧力（ピストン前面圧）である。

すなわち、測定したポンプを駆動する主油圧の値をコンクリートを押すピストン前面の圧力に換算した理論吐出圧力（ピストン前面圧）から、ポンプ車固有の機械損失 (Pm) とコンクリート性状によって異なるポンプ内部流過損失 (Pe) を減じたものが輸送管根元圧力となる。

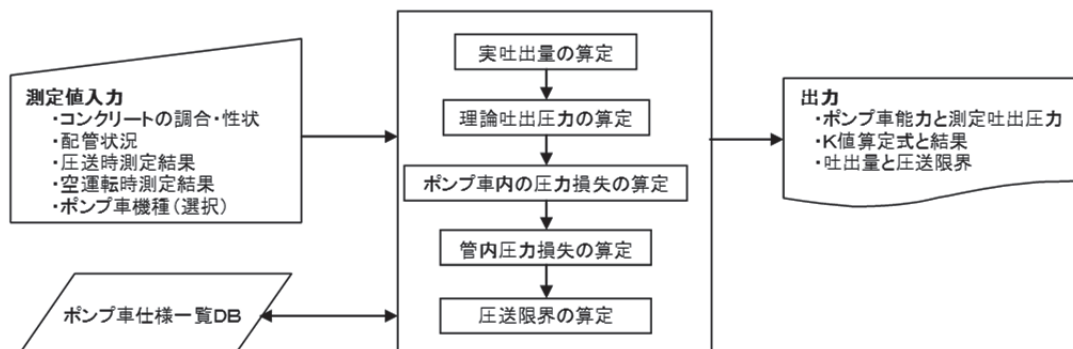


図-1 ソフト概要

機械損失 (Pm) は、作動油の温度や機械各部の損耗状況によって影響を受けるが、ポンプ車個々の性能値として、空運転時圧力が指針に示されている。また、ポンプ内部流過損失 (Pe) はコンクリートバルブ機構や圧送負荷算定開始点までの輸送管状態、圧送速度およびコンクリートの品質等の影響を受けると考えられるが、図-3に示すように理論吐出圧力よりかなり小さいため、ソフト内では安全側の推定となるが Pe=0 としている。

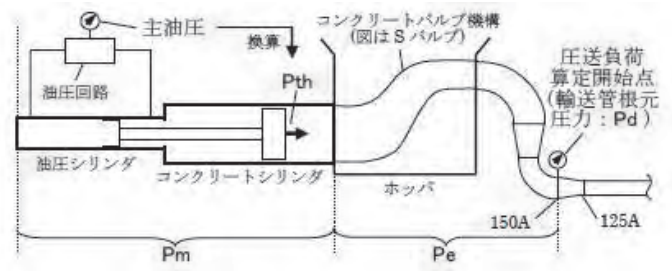


図-2 主油圧と配管根元圧

$$P = K(L + 3B + 2T + 2F) + WH \times 10^{-3} \quad (1)$$

$$K = \{P - (WH \times 10^{-3})\} / (L + 3B + 2T + 2F) \quad (2)$$

- P: コンクリートポンプに加わる圧送負荷 (N/mm<sup>2</sup>)
- K: 水平管の管内圧力損失 (N/mm<sup>2</sup>/m)
- L: 直管の長さ (m)
- B: ベント管の長さ (m)
- T: テーブ管の長さ (m)
- F: フレキシブルホースの長さ (m)
- W: コンクリートの単位容積質量 (kN/m<sup>3</sup>)
- H: 圧送高さ (m)

$$P = P_{th} - (P_m + P_e) \quad (3)$$

- P: コンクリートポンプに加わる圧送負荷 (N/mm<sup>2</sup>)
- Pth: 理論吐出圧 (=ピストン前面圧) (N/mm<sup>2</sup>)
- Pm: 機械損失 (N/mm<sup>2</sup>)
- Pe: ポンプ内流過損失 (N/mm<sup>2</sup>)

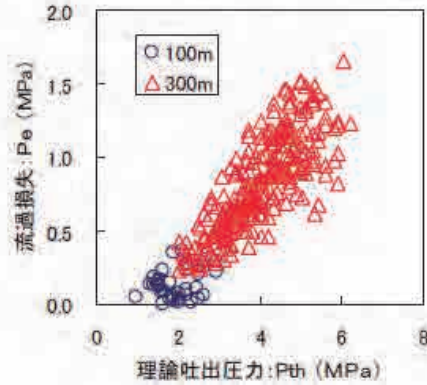


図-3 理論吐出圧と流過損失

## 2.2 計測および入力項目

K 値推定ソフトの入力画面を図-4に示す。K 値を求めたいコンクリートを実際に使用するピストン式ポンプ車を用いて打ち込む際に、打込み速度を3水準以上変化させてポンプ車の主油圧とストローク時間の計測を行ない、以下の項目を入力する。



図-4 入力画面の一例

1) コンクリートの調合・性状

呼び強度、コンクリート種別、単位セメント量などの調合とスランプ、単位容積質量などのフレッシュコンクリートの性状試験結果を入力する。ただし、単位容積質量の試験を行っていない場合は呼び強度から自動的にソフトで推定する。

2) 使用ポンプ車

計測に用いたポンプ車機種を一覧から選択し、圧送モード（高圧／標準）を選択する。また、ブームの使用の有無を選択する。

3) 配管状況

計測時の打込み高さおよび配管状況を、配管径ごとに直管・ベント管・テーパ管・フレキシブルホースの長さを入力する。ブームを使用した場合は、ポンプ車 DB より自動的に水平換算長が入力される。なお、圧送高さ限界を得るためには、想定している地上部と打込みフロアでの水平配管を入力する。

4) 主油圧計測結果

コンクリート打設時、および空運転時の主油圧計測結果を入力する。計測は、圧力損失の吐出量による変化を確認するために、20, 40, 60, 80m<sup>3</sup>/h というように3水準以上でその差をできるだけ大きく設定する。

吐出量が一定化した5ストローク以上を1回の計測とし、ポンプ主油圧の値を計器から読み取ると同時に、ストップウォッチにて5ストロークに要した時間を計測する。

なお、空運転による測定ができない場合は、ポンプ内部の機械的損失（Pm）はポンプ車 DB より、それぞれのポンプ車空運転圧力から吐出量に比例するとして自動的に算定する。

なお、作業所での主油圧計測の方法についても、データ記入用の書式と計測方法をビデオで作成し、近畿圧送協同組合のホームページで公開している。

2.3 計算と結果の出力

出力結果の一例を図-5に示す。計測結果である吐出量と測定吐出圧力の関係、吐出量と圧力損失の関係、および吐出量と圧送限界高さの関係がグラフ表示される。なお、入力したコンクリートの調合・性状、ポンプ車機種、配管条件も出力ができる。

また、出力結果は、データとグラフに分けてプリントアウトができる。グラフの印刷出力例を図-6に示す。

本ソフトにおいては、画面左側タブの「計算過程」のボタンをクリックすることで、実吐出量の算定、計測ごとの管内圧力損失、圧送限界の各計算過程が示される。

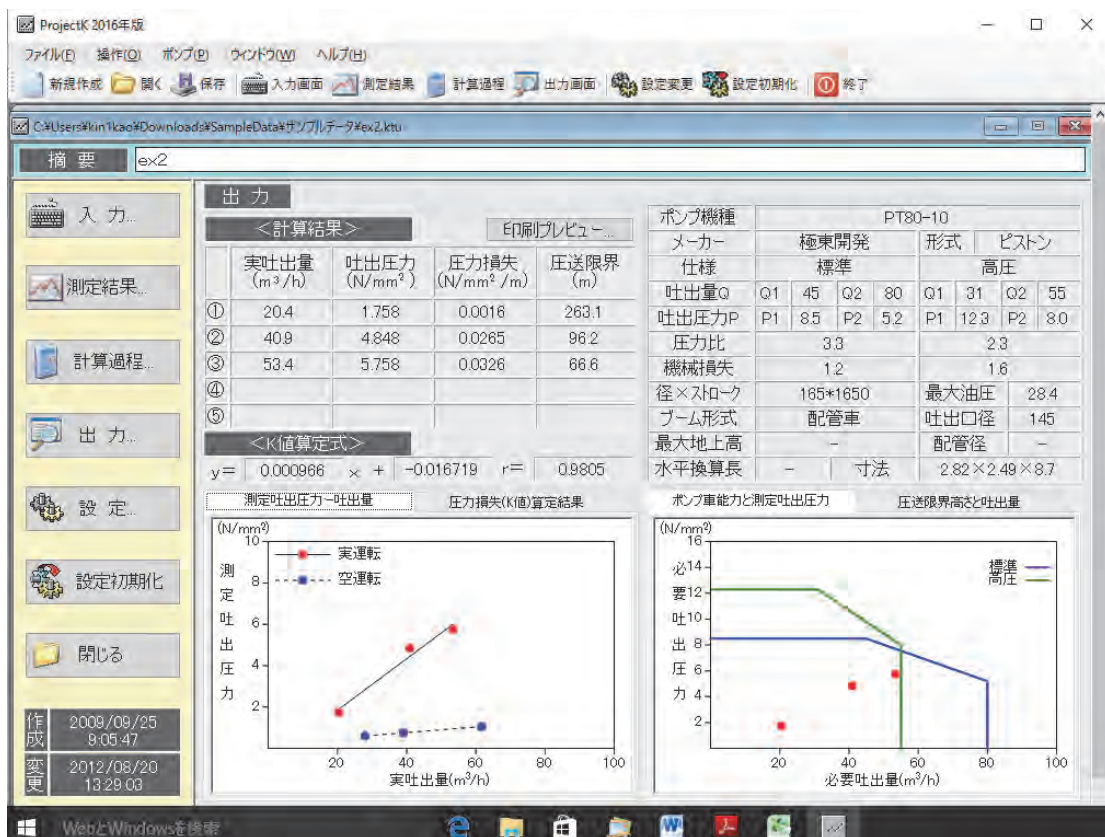


図-5 出力画面の一例

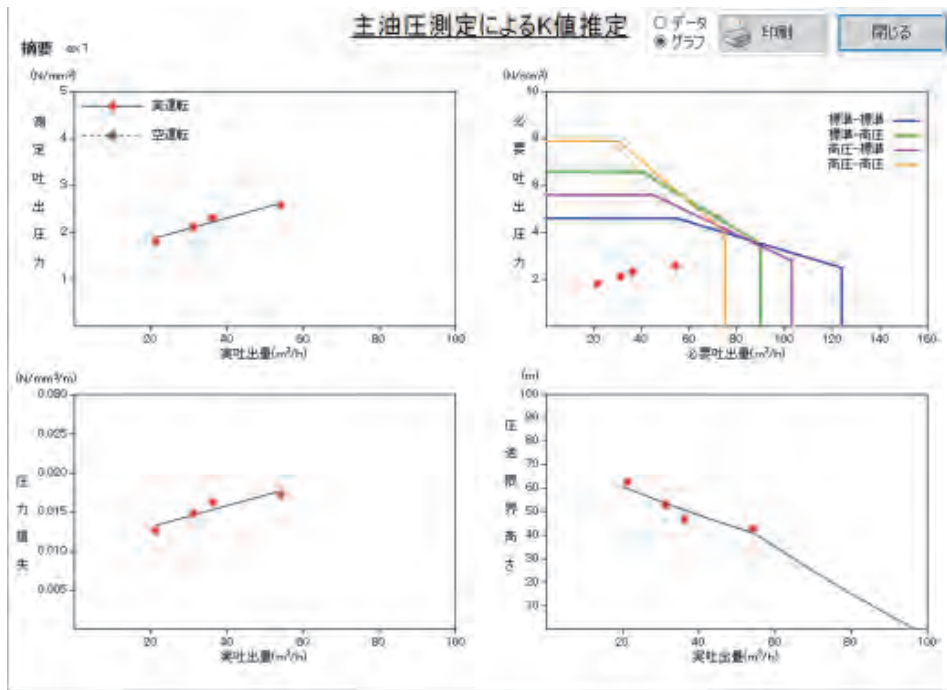


図-6 出力印刷の一例

なお、吐出量は計測結果から理論吐出量を求め、スランプおよび吐出量と吸い込み効率の関係から実吐出量を推定している。また、100A 管の水平換算長さは、100A 管に対する 125A 管の圧力損失の比をスランプとコンクリート吐出量の関係から式を求め 100A 管の水平換算長さを 125A 管に変換して求めている。

筆者らの過去の実験における主油圧からソフトと同様の手順によって算定した配管根元圧力と圧力計の測定結果から求めた根元圧力との関係を図-7 に示す<sup>3)</sup>。ポンプ内部の流過損失  $P_e$  を 0 と仮定していることもあり、全体的に圧力計での測定から推定した根元圧力より大きめであるが、相関関係にあり、主油圧測定においても精度よく推定できている。

### 3. おわりに

2007 年に本ソフトを公開し、その後各種の実験を繰り返して、その成果をソフトに取り込むとともに、ポンプ車データベースの改訂やソフトの利便性向上を図るために数度の改訂を行ってきた。今後も、改良を行い、ソフトの利便性・精度の向上を図っていきたい。

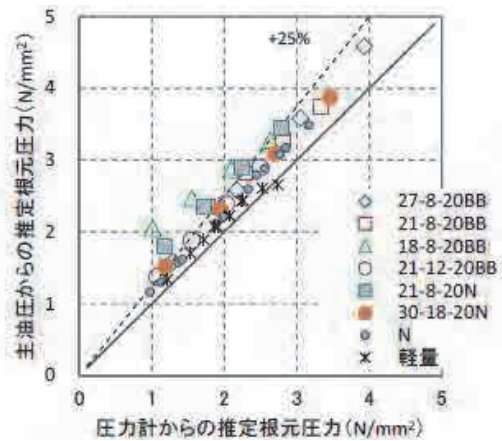


図-7 圧力計と主油圧からの根元圧力

### 参考文献

- 1) 日本建築学会：ポンプ工法施工指針・同解説、2009
- 2) 千々岩伸佐久他：コンクリートのポンプ圧送性評価手法に関する研究 その 9 主油圧と輸送管根元圧力に関する考察、日本建築学会大会梗概集 A-1, pp. 935-936, 2008.7
- 3) 中村瑞士他：調合条件の違いがコンクリートの圧送性に及ぼす影響 その 6 主油圧から求めた輸送管根元圧力、日本建築学会大会梗概集 A-1, pp. 567-568, 2014.9
- 4) 第 4 回圧送技術研究会：コンクリートポンプ圧送性評価手法、2007.10.30
- 5) 第 5 回圧送技術研究会：生コンクリートによるポンプ圧送性評価、2008.11.17
- 6) 第 6 回圧送技術研究会：コンクリートのポンプ圧送性に関する総合的な評価、2009.10.22

\*<sup>1</sup> 浅沼組 建築事業本部, \*<sup>2</sup> 浅沼組 技術研究所 工修, \*<sup>3</sup> 竹中工務店 大阪本店技術部 工修, \*<sup>4</sup> 日本建築総合試験所 材料部, \*<sup>5</sup> 大阪工業大学 工学部建築学科 准教授 工博, \*<sup>6</sup> 大喜, \*<sup>7</sup> イッケン商事, \*<sup>8</sup> 泉北ニシイ, \*<sup>9</sup> 近畿生コンクリート圧送協同組合, \*<sup>10</sup> トモエポンプ

## 論文 ブーム装置の負荷に及ぼす先端ホースの長さおよび姿勢の影響に関する研究

○岡本圭市\*<sup>1</sup> 中田善久\*<sup>2</sup>  
大塚秀三\*<sup>3</sup> 宮田敦典\*<sup>4</sup>コンクリートポンプ工法 ブーム装置 過負荷  
先端ホース ホースの長さ ホースの姿勢

## 1. はじめに

ブーム付コンクリートポンプ車は、ポンプ本体およびブーム装置などをトラックに搭載し、現場への移動が容易にでき、コンクリート工事において必要不可欠な建設機械の1つとなっている。わが国のブーム付コンクリートポンプ車は、道車両総重量を20 t以下にすると特殊車両の通行許可申請が不要となるため、ブーム装置や輸送管などの軽量化が図られ、最近では最大地上高さが37.5 m以下のものが主流となっている。

平成15年にブームの折損により死亡事故が発生し、厚生労働省は「コンクリートポンプ車のブーム破損による労働災害の防止について」を関係部署に通達した。このような背景からJIS A 8612:2006「コンクリート及びモルタルの圧送ポンプ、吹付機及びブーム装置—安全要求事項」<sup>1)</sup>(以下、JIS A 8612という。)が制定され、ブーム装置に対する過負荷防止のために、先端ホースの長さなどが規定された。しかし、この先端ホースの長さを規定通りに作業してもブームの輸送管の管内圧力、ブーム自体の曲げ応力およびブームの変位量がどのようになっているか不明であるため、実施工の際に施工者や圧送技能者が適切な施工方法を判断しにくい。

そこで、本報告は、コンクリートポンプ工法のブーム作業における先端ホースの接続状況とブームの姿勢がブーム装置の過負荷に及ぼす影響を明らかにするために、先端ホースの長さを変えた場合、ブームの姿勢を変えた場合およびブームの先端ホースに延長配管した場合の3つの条件下におけるブーム装置の過負荷について調べたものである。ここでは、3つの条件下における圧送前後のコンクリートの品質変化、ブーム装着された輸送管の管内圧力、ブーム自体の曲げ応力および先端ホースの変位量などからブーム作業の安全性および圧送性について検討したものである。

本報告は、これまでに発表<sup>2), 3)</sup>したものにデータを精査した上で、加筆検討したものである。

## 2. JIS A 8612における規定と本報告の関係

JIS A 8612において、先端ホースの長さ制限に関する規定<sup>4)</sup>は、図1に示すようである。この他に、ブーム装置を延長又は改造してはならない旨、ブーム装置をク

レーンとして使用してはならない旨、ブーム先端には製造者が指定する長さのドッキングホース、テーパ管を接続してはならない旨、およびコンクリート打設範囲がブームの作業範囲を超えるため、やむを得ず水平方向の延長配管又はホースに接続して打設を行う場合は、過負荷が生じないように適切な措置を講じなければならない旨、およびブーム装置の共振点を避けできるだけブーム先端の振動を少なくすることなどの警告をブーム装置の取扱説明書に記載することが規定されている。また、日本建築学会「コンクリートポンプ工法施工指針・同解説」<sup>5)</sup>(以下、ポンプ指針という)において圧送負荷が4N/mm<sup>2</sup>を超えるコンクリートのブームによる圧送を禁止し、ブームの延長配管は水平配管のみとしている。これは、ブームに装着された輸送管に標準圧のものが一般的に用いられるためである。さらに、ブーム先端の揺れ幅<sup>6)</sup>は、メーカーの仕様により60cm以内とされている。このように、ブームに関する規定に対して先端ホースの接続状況とブームの姿勢がブームの負荷や圧送性に及ぼす影響が不明確であり、実施工においてどのように安全や品質を確保すべきか不明である。

## 3. 先端ホースの長さおよびブームの姿勢を変えた圧送実験概要

## (1) 実験概要

先端ホースの長さおよびブームの姿勢を変えた圧送実験概要を表1に示す。圧送実験は、大きく3つのシリーズとし、先端ホースの径と長さを変えた場合、ブームの姿勢を変えた場合およびブームの先端ホースに延長配管した場合とした。シリーズIの先端ホースの長さを変えた場合は、先端ホース長さをJIS A 8612におけるホース

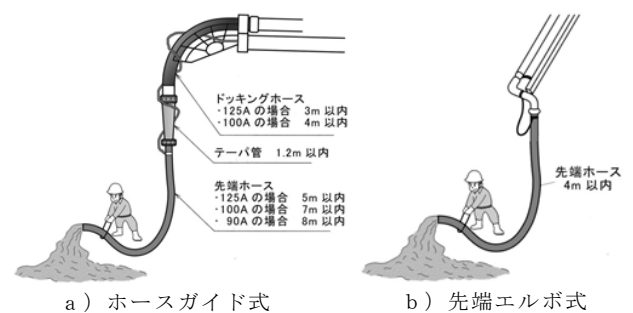
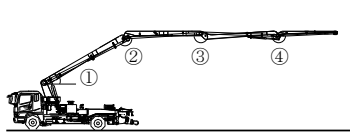
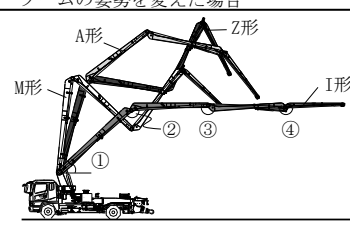
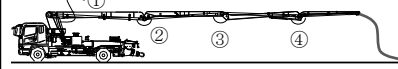
図1 先端ホースの長さ制限に関する規定<sup>4)</sup>

表1 先端ホースの長さおよびブームの姿勢を変えた圧送実験概要

実験シリーズ	シリーズI 先端ホースの径と長さを変えた場合	シリーズII ブームの姿勢を変えた場合	シリーズIII 先端ホースに延長配管した場合
ブームの姿勢			
	① 30° ② 150° ③ 180° ④ 180°	① M形 83° ② I形 43° ③ A形 78° ④ Z形 78° ① 83° ② 57° ③ 300° ④ 72° ① 43° ② 137° ③ 180° ④ 180° ① 78° ② 137° ③ 127° ④ 130° ① 78° ② 97° ③ 244° ④ 54°	① 0° ② 180° ③ 180° ④ 180°
先端ホースの接続状態	・ドッキングホース(5B) 3m+テーパー管(5B→4B) 1.2m +先端ホース(4B) 7m ・ドッキングホース(5B) 3m+先端ホース(5B) 5m	・ドッキングホース(5B) 3m+テーパー管(5B→4B) 1.2m +先端ホース(4B) 7m	・ドッキングホース(5B) 3m+先端ホース(5B) 5m (たるみの有無)+延長水平配管(5B) 3m×5本
油圧ポンプの設定回転数	1200rpm(標準圧), 1800rpm(高圧)		
圧送するコンクリート	W/C = 45%, 37% 目標スランブ:21cm	W/C = 48.7% 目標スランブ:18cm	W/C = 45%, 37% 目標スランブ:21cm
実験項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>ブームによる圧送前後のコンクリートの品質変化</li> <li>ブームに装着された輸送管の管内圧力</li> <li>ブームの曲げ応力</li> <li>ブーム先端の変位量</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>ブームに装着された輸送管の管内圧力</li> <li>ブームの曲げ応力</li> <li>ブーム先端の変位量</li> </ul>

ガイド式の制限長さと同様な2種類(5B, 4B)とし、ブームの姿勢を一定とした。また、シリーズIIのブームの姿勢を変えた場合は、先端ホース長さをJIS A 8612におけるホースガイド式の制限長さ(5B→4B)と同様とし、ブームの姿勢を任意の4種類(M形, I形, A形およびZ形)とした。さらに、シリーズIIIのブームの先端ホースに延長配管した場合は、先端ホース長さをJIS A 8612におけるホースガイド式の制限長さ(5B)と同様とし、これに延長水平配管したときの先端ホースにたるみの有無をつけた。このときのブームの姿勢は、水平状態の一定とした。圧送するコンクリートは、シリーズIおよびIIIにおいて目標スランブを21cmとし、シリーズIIにおいて目標スランブを18cmとした。これらの3つのシリーズについて、ブームによる圧送前後のコンクリートの品質変化、ブーム装着された輸送管の管内圧力、ブームの曲げ応力および先端ホースの変位量などについて調べた。

(2) コンクリートポンプ車の仕様

実験に用いたコンクリートポンプ車の仕様を表2に示す。

(3) 試験および測定項目

試験および測定項目を表3に示す。圧送前後のコンクリートの品質変化は、スランブ、空気量および圧縮強度(材齢28日標準養生)とし、それぞれJISに準じて行った。このときの油圧ポンプの設定回転数は、1,200rpmの低圧のみとした。

管内圧力は、圧力変換器を用いたピストンの主油圧(PM)の測定からピストン前面圧を算出し、この他の2点(C1,C2)を管内圧力の測定を行った。(図2参照)

ブームの曲げ応力は、圧送に伴うブームの負荷を明らかにするために、図2に示すように1から4段における

表2 ポンプ車の仕様

項目	仕様	
型式	N社製 DC-SL1100BD-M26	
ポンプ形式	ピストン(揺動弁)	
理論吐出量 (m³/h)	標準	Q1:57, Q2:97
	高圧	Q1:39, Q2:68
理論吐出圧力 (MPa)	標準	P1:5.4, P2:3.4
	高圧	P1:8.2, P2:5.2
コンクリートシリンダ径×ストローク(mm)	205×1,800	
最大油圧(MPa)	28.4	
吐出口径(mm)	205	
ブーム仕様	形式	4段M形
	最大地上高(m)	25.9
	配管径(A)	125
	水平換算長(水平時)(m)	50.5

表3 試験および測定項目

項目	試験および測定項目	記号	試験および測定方法
圧送前後のコンクリートの品質変化 (1200rpmのとき)	スランブ	-	JIS A 1101
	空気量	-	JIS A 1128
	圧縮強度	-	JIS A 1108(材齢28日)
管内圧力	ピストンの主油圧	PM	圧力変換器
	輸送管の管内圧力	C1, C2	フラッシュガンヤブム式圧力変換器
	ブーム先端の変位量	L1	ビデオカメラの撮影画像による解析
ブームの曲げ応力および変位量	各段ブームの曲げ応力	S1-1, 2 S2-1, 2 S3-1, 2 S4-1, 2	防水型単軸ひずみゲージ (ブーム上面左右2箇所)の平均値 (図2参照)

各段ブームの根元付近の上面の左右2箇所のひずみから曲げ応力を算出した。また、ブーム設計時に想定している曲げ応力の範囲(以下、想定曲げ応力の範囲という。)との関係を検討した。なお、想定曲げ応力の範囲は、ブームに使用される鋼材の降伏点の半分程度として設計している。

ブーム先端の変位量は、先端にマーキングをした上で、圧送中の挙動をビデオカメラで撮影し、上下方向の変位量を求めた。

4. 結果および考察

ブームによる圧送前後のコンクリートの品質変化を図3に示し、各シリーズごとのブームに装着された輸送管

の管内圧力、ブームの曲げ応力およびブーム先端の変位量を図4に示す。

(1) ブームによる圧送前後のコンクリートの品質変化

ブームによる圧送前後のコンクリートのスランプおよび空気量は、シリーズIおよびシリーズIIともに、ばらつきがあるもののポンプ指針における普通コンクリートの品質変化の限度を満足していた。また、圧送前後のコンクリートの圧縮強度は、ばらつきがあるものの概ね±10%の範囲となった。この結果から、ブームによる圧送前後の品質変化は、ブームの水平換算長程度であれば、大きな変化が見られないと考えられる。

(2) ブームに装着された輸送管の管内圧力

ブームに装着された輸送管の管内圧力は、シリーズIの場合、高圧と標準圧のいずれもJIS A 8612の先端ホースの長さ制限における5B×5mよりも4B×7mの方が若干、大きくなった。これは、テーパ管(5B→4B)を用いているためと考えられる。また、シリーズIIの場合の管内圧力はいずれのブームの姿勢において大きな差が見られず、シリーズIIIの場合も管内圧力はたるみの有無による大きな差が見られなかった。しかし、シリーズIIIの高圧の場合、延長水平配管(5B×15m)を用いているため、C1において3MPa程度の管内圧力となった。このことは、圧送するコンクリートの種類、吐出量、圧送高さおよび延長水平配管の径・長さによりポンプ指針におけるブームの許容圧送負荷が4N/mm<sup>2</sup>を超える可能性があることを示唆しており、ブームに装着された輸送管が破裂する危険性が懸念されるため、JIS A 8612に規定されていない輸送管の管内圧力の検討も重要なブーム作業の要因の1つといえる。

(3) ブームの曲げ応力

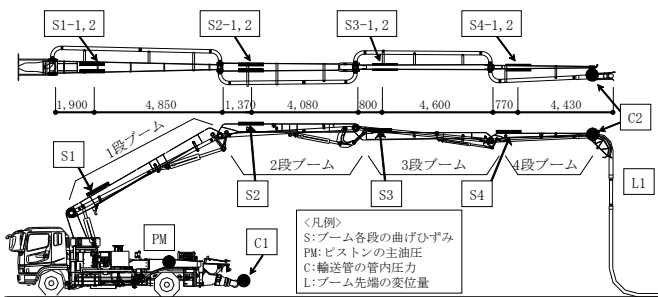


図2 測定位置

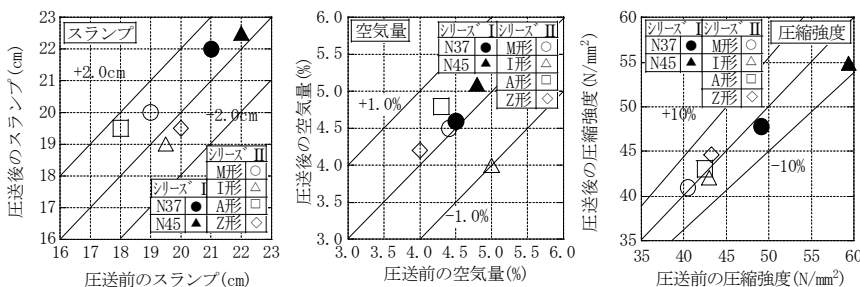


図3 ブームによる圧送前後のコンクリートの品質変化

ブームの曲げ応力は、いずれのシリーズも高圧と標準圧と同様な傾向を示した。これは、圧送時の吐出量や脈動などの影響よりもブームに装着された輸送管内にコンクリートが充填されたときのブーム自体の重心の影響の方が大きいことを示唆している。シリーズIの場合、ブームの曲げ応力は2段ブームにおいて若干、想定曲げ応力の範囲を超えてのものもあるが概ね範囲内であった。また、ブームの曲げ応力は5B×5mよりも4B×7mの方が大きくなり、ブームの姿勢による先端ホースの地面への接触長さが影響していると思われる。JIS A 8612の先端ホースの長さ制限であれば、概ね想定曲げ応力の範囲内になると考えられる。シリーズIIの場合、ブームの曲げ応力は姿勢によって大きく異なり、I形、A形およびZ形において各段ブームの想定曲げ応力の範囲を超えるものもあった。なお、M形は各段ブームの想定曲げ応力の範囲を超えなかったが、これはM形のような姿勢にするとブームに装着された輸送管内にコンクリートが充填されたときのブーム自体の重心がブームの曲げ応力に及ぼす影響が小さいものと考えられる。シリーズIIIの場合、ブームの曲げ応力はたるみ無しよりもたるみ有りの方が大きくなり、このたるみが脈動などの影響を干渉してブームの曲げ応力を小さくしていると考えられ、ブームの過負荷低減につながる。

以上のことから、ブームの過負荷防止の観点から、できるだけ負荷がかからない姿勢や先端ホースの接続状態にすべきと考えられる。

(4) ブーム先端の変位量

ブーム先端の変位量は、いずれのシリーズも理論吐出量が大きくなると大きくなる傾向を示し、メーカーの仕様60cm以下となった。ブーム先端の変位量は、シリーズIの場合、低圧のとき4B×7mよりも5B×5mの方が大きくなり、高圧になると逆になった。また、シリーズIIの場合、ブーム先端の変位量は姿勢によって大きく異なり、I形とA形においてシリーズIと同様な傾向となった。なお、M形のブーム先端の変位量は他の姿勢に比べ、比較的小さかったが、これは前述したように、M形のような姿勢にするとブームに装着された輸送管内にコンクリートが充填されたときのブーム自体の重心がブーム先端の変位量及ぼす影響が小さいものと考えられる。さらに、シリーズIIIの場合、ブーム先端の変位量はたるみ有りよりもたるみ無しの方が大きくなる傾向を示し、延長水平配管の接続状態の影響のため、比較的小さな値となった。

今回の圧送実験は、比較的、吐出量を大きくして検討したが、高強度コンクリート<sup>6)</sup>のように粘性が高いものになるとこれ以上のブーム先端の変位量になる場合も

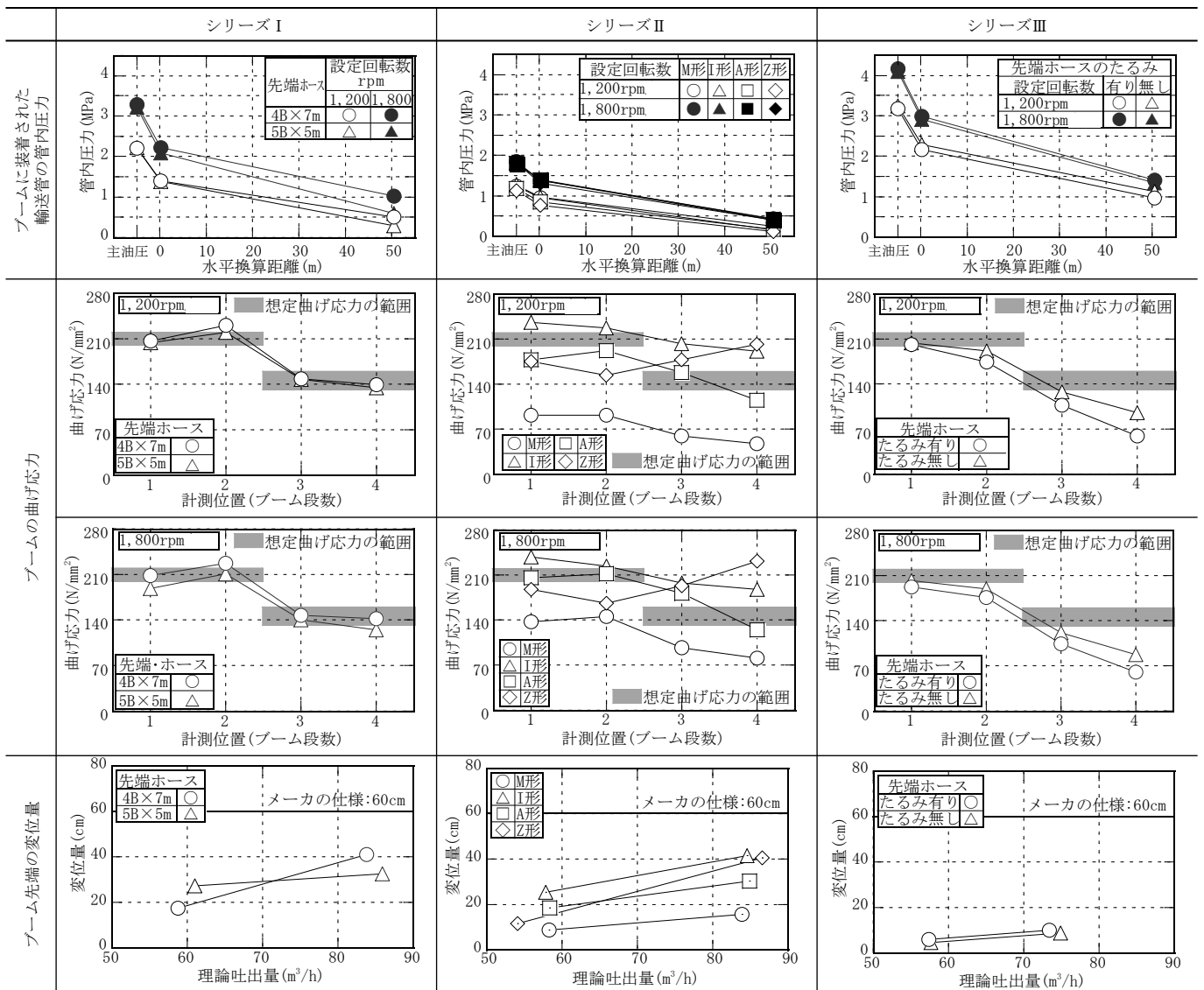


図4 各シリーズごとのブームに装着された輸送管の管内圧力、ブームの曲げ応力およびブーム先端の変位量

考えられるため、吐出量を小さくするなどによって対応すべきと考える。

### 5. まとめ

本報告は、JIS A 8612における先端ホースの長さ制限とブームの姿勢がブーム装置の過負荷に及ぼす影響を明らかにするために、3つの圧送実験結果からブーム作業において次の点を配慮して圧送計画を立案すべきといえる。

- (1)ブームによる圧送前後のコンクリートの品質変化は、ブームの水平換算長さ程度あれば大きな変化は見られない。
- (2)延長水平配管を行う場合は、圧送条件によりブームに装着された輸送管の管内圧力の確認を行うことが重要である。
- (3)ブームの姿勢は、過負荷防止のために、できるだけM形のような姿勢をとるように配慮する必要がある。

### 謝辞

本報告は、前足利工業大学教授(故)毛見虎雄博士より多くの助言を頂いた。また、実験に際して、染谷直己氏(現・西松建設)をはじめとするものづくり大学の学生にご協力頂いた。ここに付記して深謝する。

### 参考文献

- 1) JIS A 8612:2006「コンクリート及びモルタルの圧送ポンプ、吹付機及びブーム装置—安全要求事項」
- 2) 安田稔, 中田善久, 大塚秀三, 毛見虎雄, 岡本圭一: コンクリートのポンプ圧送における配管方法の違いがブームの挙動に及ぼす影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.313-314, 2006.9
- 3) 染谷直己, 中田善久, 大塚秀三, 岡本圭一, 毛見虎雄: ブームの姿勢の違いによるポンプ圧送性と安全性に関する一考察, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.915-916, 2008.9
- 4) 全国コンクリート圧送事業団体連合会: 登録コンクリート圧送基幹技能者講習テキスト2015
- 5) 日本建築学会: コンクリートポンプ工法施工指針・同解説, 2009.12
- 6) 大木崇輔, 大塚秀三, 中田善久, 岡本圭一, 毛見虎雄: 各種セメントを用いた高強度コンクリートのポンプ圧送によるブームの挙動に関する一考察, 2005年度日本建築学会関東支部研究報告集, pp.33-36, 2006.3

\*1 全国コンクリート圧送事業団体連合会 技術委員長, \*2 日本大学理工学部建築学科 教授 博士(工学), \*3 ものづくり大学技能工学部建設学科 准教授 博士(工学), \*4 日本大学理工学部建築学科 助手 修士(工学)



# 報告 コンクリートポンプ工法における施工性改善に関する提案

その1 実大吊打ち実験の概要と使用したコンクリートの試験結果と吊打ちによる打込み状況

○永田 哲夫\*<sup>1</sup>      高見 錦一\*<sup>2</sup>      中村 成春\*<sup>3</sup>  
 岩清水 隆\*<sup>4</sup>      木村 芳幹\*<sup>5</sup>      山崎 順二\*<sup>6</sup>  
 山田 藍\*<sup>7</sup>      浅田 武彦\*<sup>8</sup>      豊田 裕\*<sup>9</sup>  
 共田 昌一\*<sup>10</sup>      岸 繁樹\*<sup>11</sup>

コンクリート      圧送性      施工性  
 吊打ち      材料分離

## 1. はじめに

日本では、吊打ちは認められておらず一般的でない。しかし吊打ちは、省力化ができ、オペレーターの負担が軽減されるメリットがある。そのために吊打ちの圧送状況の実験を行った。寝かし打ちに比べて吊打ちでは配筋の乱れの防止、ポンプ工の労務状況の改善効果があるが、一方コンクリートの分離や、衝撃で鉄筋が動たり、スペーサが外れる恐れがある。筆者等は、これまでスラブを模擬した小型試験体によって検討を行ってきた。<sup>1)2)</sup> 実大試験体に吊打ちと寝かし打ちでコンクリートを打込み、その打込み状況の観察、配筋の乱れやコンクリートの分離の有無、構造体の表面状態、構造体コンクリート品質を調査した。本報で実験概要、次報で実大試験体の試験結果について述べる。

## 2. 実験概要

### 2.1 実験水準

実験状況を写真-1に示す。表-1に示す吊打ち3種類と寝かし打ちでコンクリートを打込み、打込み状況の観察、配筋の乱れやコンクリートの分離の有無、構造体の表面状態、コンクリート品質を調査した。使用した先端ホースを写真-2に示す。

実験に供したコンクリートは呼び強度 30、スランプ 18cmの同一普通コンクリートである。

### 2.2 試験体形状

柱や壁の鉛直部材を対象とした実大試験体とした。試験体形状を図-1に示す。なお、スラブは設けていない。

鉄筋の乱れを計測するために通常の構造物より細い鉄筋を用いた。結束は、フープは全結束、壁筋は千鳥で結束した。スペーサはポリドーナツを用い、柱は各面2ヶ所×2段、壁は3ヶ所×3段に配した。

壁中央下部および柱下部に透明型枠を用いて、コンクリートの落下状況および充填状況が観察できるようにした。また、外周型枠はコンクリート打込み天端より50cm高くし、コンクリート打込み時のコンクリート飛散状況を観察した。

### 2.3 打込み・締固め方法

使用ポンプ車は建築工事で一般的に使用されるブーム付きピストン式ポンプ車(PY115-26)とした。先端ホースの長さを調整し、打込み時にブームの先端高さが揃うようにした。

打込み要領を図-2に示す。試験体への打込みは、N→F→L→Sの順序で行い、打込み速度は、通常より若干遅い約30m<sup>3</sup>/hで統一し(主油圧6MPa)、コンクリートが連続しないようにした。

吊打ちでは、柱の中央、壁の中央の梁位置にホース先端が位置するようにし、梁天端から500mmの上からコンクリートを自由落下させた。柱1層目(H=1200mm)を打ち込んだ後、壁の1層目を打ち、続けて柱2層目(梁底まで)、壁2層目と打込み、最後に梁を打ち込んだ。

本実験では実験方法の違いによるコンクリート表面状態の差異が明確となるように、棒状バイブレータによる締固めのみとし、タタキは行わなかった。また、コンクリートの打込み高さを通常の数倍である1.2mとし、1層かつ各部位ごとに打込みを中断し、φ45の棒状バイブレータを柱では2ヶ所、壁では3ヶ所に挿入し、一箇所当り10秒加振した。

表-1 実験水準

実験記号	打込み方法・先端ホース	自由落下高さ	使用生コン車	打込み開始時刻
N	寝かし打ち、フレキシブルホース	0m	1台目	10:19
F	吊打ち、フレキシブルホース	0.5m	2台目	10:57
L	吊打ち、ライトウェイトホース	0.5m	3台目	11:29
S	吊打ち、ドッキングホース+S字管	0.5m	4台目	12:06



写真-1 実験状況



写真-2 先端ホース

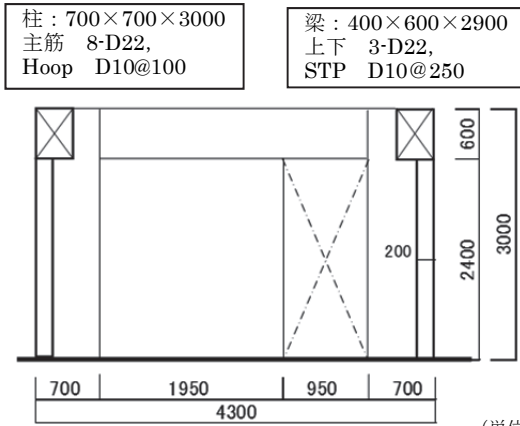


図-1 試験体形状

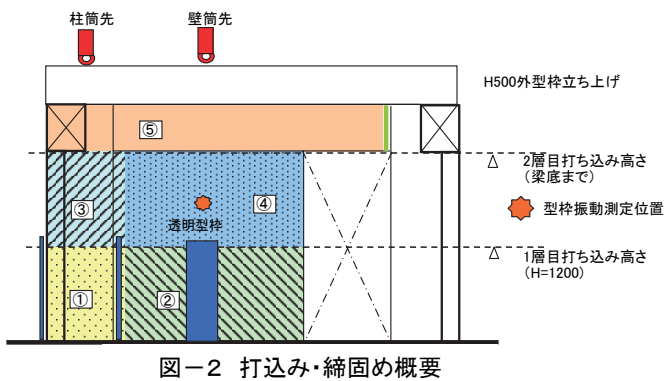


図-2 打込み・締め概要

表-2 試験・測定項目

(a) 打込み時測定項目

測定項目	内容
圧送測定	ポンプ車流量計、ポンプ主油圧計
打込み状況	コンクリート吐出状況・配筋の乱れ等を目視・写真・ビデオ
騒音測定	1層目打込時の発生騒音を騒音測定器で測定
振動測定	壁型枠の振動を振動加速度計で測定

(b) 出来形測定項目

測定項目	内容
表面状態	目視による豆板等の発生状況確認
超音波伝搬速度	対面法による超音波伝搬速度の測定
反発度	JIS A 1155 リバウンドハンマーによる反発度測定
配筋の乱れ	電磁誘導法による鉄筋探索(フープ、壁筋のかぶり・位置)

(c) コア測定項目

試験・測定項目		試験・測定概要	
大項目	小項目	供試体採取方法	試験・測定方法
試験体に打込まれたコンクリートの品質	粗骨材面積率	コンクリート硬化後、JIS A 1107に準じて各試験体からφ100mmでコアを採取し、材齢28日で試験を実施	コア側面に現れた長径5mm以上の骨材をトレースし、その面積と側面全体の面積との比を算出
	圧縮強度		JIS A 1107
	かさ密度		JIS A 1107
	動弾性係数		JIS A 1127(縦振動)
	静弾性係数	(壁中段コアのみ)	コンプレッソメータ

2.4 測定項目

測定項目を表-2に示す。打込み中は、打込み状況、コンクリートの吐出・飛散状況、鉄筋の乱れの観察と共に、騒音測定と型枠の振動加速度を測定した。

材齢2週で型枠を脱型した後、豆板等の表面状態の目視観察の他に、超音波伝搬速度測定、鉄筋探索、反発度測定を行なった。超音波伝搬速度等の測定箇所を図3に示す。

粗骨材の分布によってコンクリートの分離状態を把握するために、図-3に示す位置からφ100mmでコアを採取して、コア側面の粗骨材の面積率を測定した。その後、材齢28日でかさ密度、動弾性係数、圧縮強度を測定した。

なお、実験に供したコンクリートは、圧送前に各生コン車から試料を採取してフレッシュコンクリートの試験を行なった。同時にテストピースを採取し、材齢28日まで標準養生を行い、それぞれかさ密度、圧縮強度、動弾性係数を測定した。また3車目ではそれに加え静弾性係数も測定した。

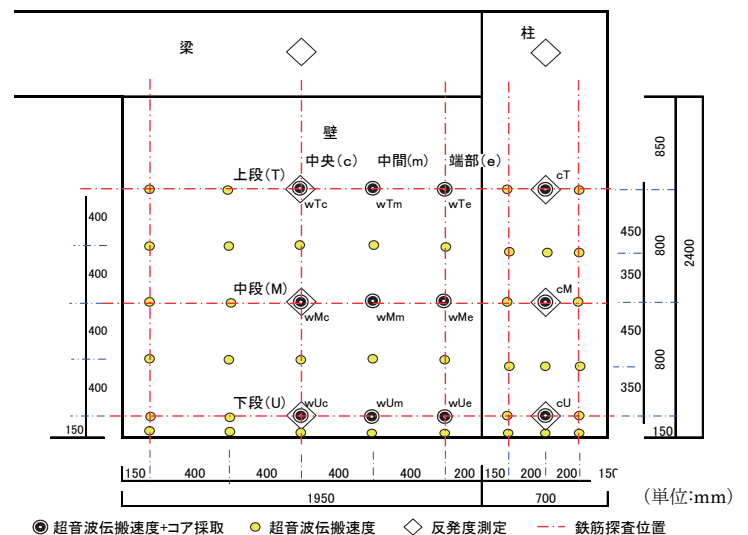


図-3 コア採取位置他

### 3. 実験結果

コンクリートの試験結果，打込み状況および鉄筋の乱れについて述べる。下記実験結果中の記号 N, F, L, S は表-1の打込み方法・先端ホースの実験記号を表す。

#### 3.1 使用したコンクリートの試験結果

フレッシュコンクリートの試験結果を表-3に，硬化コンクリートの試験結果を表4に示す。

フレッシュコンクリートの性状は各車ともほぼ同等であるが，Sに打ち込んだ4車目のスランプ値が若干大きかった。硬化後の圧縮強度等は，各車ともほぼ同程度であった。このことから，各試験体に打ち込まれたコンクリートは，Sに打ち込んだコンクリートが若干軟らかなものであったが，ほぼ同一であるといえる。

#### 3.2 打込み状況及び測定結果

##### (1) 目視観察状況

コンクリートの吐出状況を写真-3に示す。筒先からのコンクリート吐出状況は，Nは連続した塊でコンクリートが吐出するが，Fは粗骨材が先行して勢い良く吐出し，LとSは打込み当初のみコンクリートが飛散するが，粗骨材が先行して吐出することは無く，ストロークごとの塊として吐出した。

50cm 立上げた型枠へのペースト付着状況は，これまでの実験<sup>1)2)</sup>と同様Fが多く，LやSでは微少であり，Nはほとんどない。また，Fではコンクリートの落下の衝撃で鉄筋が揺れていた。

##### (2) 騒音測定結果

柱1層目，壁1層目打込み時の騒音測定結果を図-4に示す。柱打込み時の騒音は，Fが一番大きく，LとSがほぼ同じ，Nが一番小さな値であった。壁打込み時の騒音は，Fが大きく，N, L, Sはほぼ同じ値であった。

Fが大きな値を示したのは，筒先から勢い良くコンクリートが吐出し，型枠や鉄筋に粗骨材が当たっており，その衝撃音によると考える。一方，LやSは筒先でコンクリートの分離が制御され，筒先からストロークごとのコンクリートの塊として吐出されているため，Fに比べて騒音が小さかったものと考えられる。

壁打込み時において，NとLとSでほぼ同じ値であったのは，Nにおいてもコンクリートが壁鉄筋に当たった後，バラバラに落下しているためにLやSとほぼ同じ値を示したのと考えられる。

表-3 フレッシュコンクリート試験結果

実験記号	N	F	L	S
試験時刻	10:15	10:45	11:15	11:55
スランプ(cm)	18.5	18.5	19.0	20.5
フロー(cm)	30.5*30.0	32*30.5	31.5*30.5	32.5*32.0
空気量(%)	4.8	4.6	4.8	5.0
単位容積質量(kg/L)	2.301	2.306	2.299	2.293
コンクリート温度(°C)	18.0	19.0	19.0	19.0
気温(°C)	13.0	14.0	14.0	14.0

表-4 硬化コンクリート試験結果

実験記号	かさ密度(kg/L)	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	動弾性係数(kN/mm <sup>2</sup> )	静弾性係数(kN/mm <sup>2</sup> )
N	2.315	46.9	39.2	-
F	2.328	46.5	39.8	-
L	2.318	44.9	39.1	33.1
S	2.308	45.2	38.7	-
平均	2.317	45.9	39.2	-

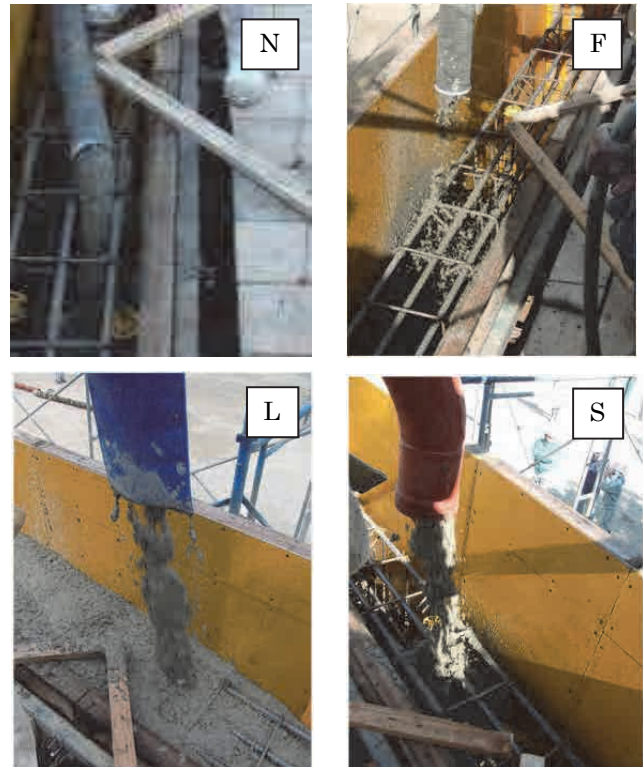


写真-3 コンクリート吐出状況

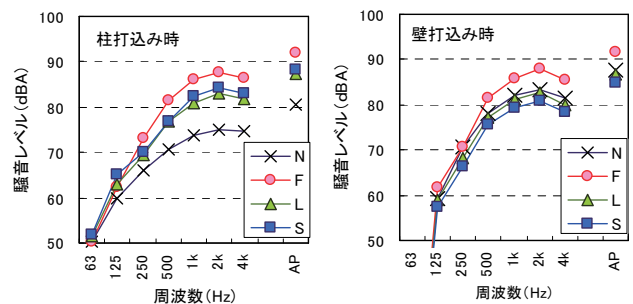


図-4 騒音測定結果

### (3) 振動測定結果

ピックアップを外周壁型枠中央に取り付け、型枠平行方向：X、鉛直方向：Y、型枠垂直方向：Zの3成分の振動加速度を、柱1層目打込み時と壁1層目打込み時に測定した。壁打込み時の3方向の振動加速度平均値とZ方向振動加速度の最大値・平均値・90%レンジの測定結果を図-5に、柱打込み時の振動加速度測定波形を図-6に示す。

X方向の振動加速度はいずれの実験方法でも差は無かった。Z方向の振動加速度が他の方向に比べて一番大きな振動であった。Z方向の振動加速度はNが小さく、それ以外はほぼ同じであり、L、Sに比べて若干Fが大きい程度であった。

柱打込み時の振動波形を見ると、ストロークに合わせてLやSでは山形を示し、Fでは台形、寝かし打ちのNはストロークの影響は無い。これはLやSでは先端ホースによってストロークごとに塊としてコンクリートが吐出され、Fではコンクリートが分離した状態で吐出したことによると考えられる。また、Nは鉄筋に当たってコンクリートが落下しているため一定の振動であったと思われる。

### 3.3 脱型後の配筋探索結果

電磁誘導法で壁筋、柱フープの位置とかぶり厚さを測定した。設計位置および設計かぶり厚さとの差(絶対値)の平均値と変動幅(1.64σ)を図-7に示す。

いずれの実験方法でも設計位置との差は10mm弱であり、その標準偏差も5.5~6.4mmと同程度であった。かぶりの差も5mm未満であり、標準偏差も1.6~2.1mmと実験方法による大きな差は認められなかった。このことから、吊打ちにおいても、コンクリートの落下の衝撃で鉄筋位置が乱れることは無く、寝かし打ちと同程度の鉄筋位置保持性が確保できると考える。

### 4. まとめ

今回の実験で以下の事が分かった。

- ① これまでの実験<sup>1)2)</sup>と同様に、寝かし打ちでは連続した塊としてコンクリートが筒先から吐出するが、フレキシブルホースの吊打ちでは、コンクリートが分離した状態で筒先より勢い良く吐出する。
- ② ライトウェイトホースを用いたり、筒先にS字管を設けることで、コンクリートの分離を制御できる。
- ③ ライトウェイトホースを用いたり、筒先にS字管を設けることで、鉄筋や型枠に加わる衝撃を低減できる。
- ④ 吊打ちでもコンクリートの落下による衝撃で鉄筋が乱れたり、スペーサが外れることは無く、鉄筋位置の保持性は寝かし打ちと同等である。

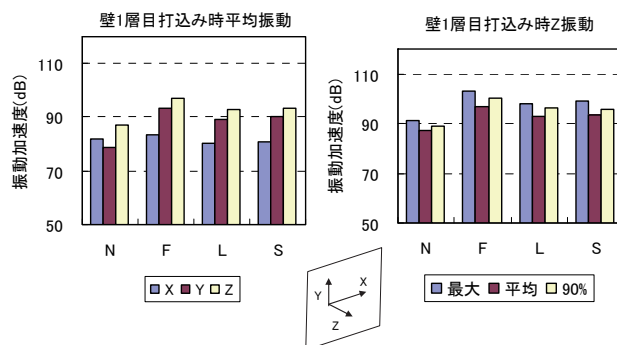


図-5 振動加速度測定結果

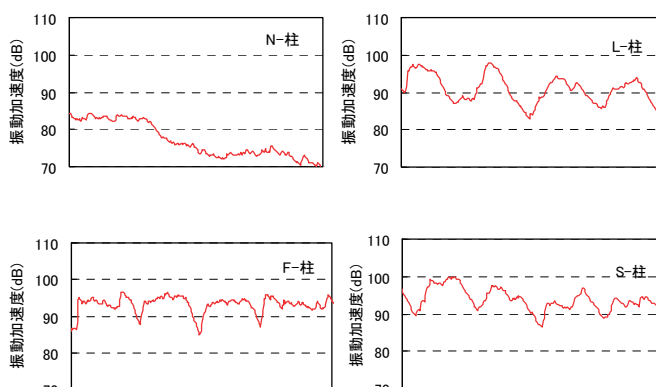


図-6 振動加速度測定波形

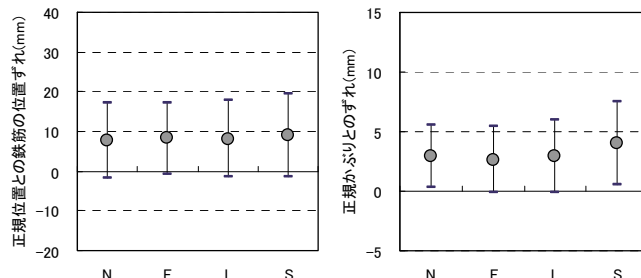


図-7 鉄筋探索結果

### 【参考文献】

- 1) 織田他：コンクリートポンプ工法における施工性改善に関する提案 吊打ち実験の概要とその評価について、日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1, 2010, p647
- 2) 豊田他：コンクリートポンプ工法における施工性改善に関する提案 その2~その4、日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1, 2011, p771~776

\*1 大喜, \*2 浅沼組, \*3 大阪工業大学, \*4 竹中工務店, \*5 日本建築総合試験所, \*6 浅沼組, \*7 竹中工務店, \*8 泉北ニシイ, \*9 イッケン商事, \*10 トモエポンプ, \*11 近畿生コンクリート圧送協同組合

# 報告 コンクリートポンプ工法における施工性改善に関する提案

## その2 脱型後の表面状態観察および非破壊試験結果とコア供試体試験結果

○永田 哲夫\*<sup>1</sup>      高見 錦一\*<sup>2</sup>      中村 成春\*<sup>3</sup>  
 岩清水 隆\*<sup>4</sup>      木村 芳幹\*<sup>5</sup>      山崎 順二\*<sup>6</sup>  
 山田 藍\*<sup>7</sup>      浅田 武彦\*<sup>8</sup>      豊田 裕\*<sup>9</sup>  
 共田 昌一\*<sup>10</sup>      岸 繁樹\*<sup>11</sup>

吊打ち                      施工性                      実大試験体  
 表面状態                  材料分離                  超音波伝搬速度

### 1. はじめに

本報では、前報に引続き実大試験体における吊打ち実験の表面状態、非破壊試験の結果について述べる。文中の記号N, F, L, Sは、その1の表1に従う。

### 2. 試験体測定結果

#### 2.1 外観目視結果

脱型後の試験体全景の一例を写真-1に、表面状態観察結果を図-1に示す。今回の実験では実験方法による差異が明確になるように、打込み速度を通常より遅くし、タタキも行わなかった。

Nでは豆板の発生はほぼ無かったが、表面気泡(アバタ)が多数見られた。Fは壁端部や柱下部に粗骨材が露出した面積の大きな豆板が発生し、局所的ではあるが壁端部の豆板は深さ5cmであった。また、梁底にも豆板が発生した。梁底の豆板は打込み時のコンクリートの分離が原因と考える。さらに、セパレータ下に沈降クラックが認められ、柱上部に水みちも認められ、打ち込まれたコンクリートが若干分離傾向にあったと思われる。

Lは柱下部や壁下部に豆板が発生したが、筋状のものがほとんどで、深さも浅い。Sでは壁下端や柱コーナーに小さな豆板が発生しているが、Lより発生量は少ない。またSでは水みちの発生が認められた。



写真-1 F試験体全景

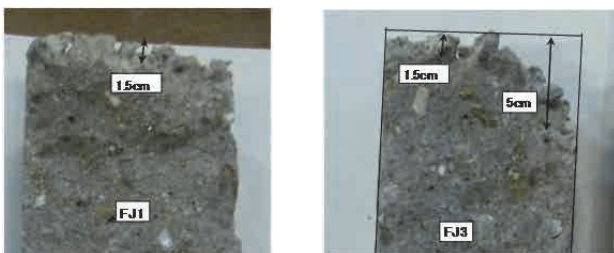


写真-2 豆板部割裂状況

写真-2に示すように、豆板発生の多かったFよりコアを採取して割裂したところ、目視観察において豆板がひどいと思われるものでも、大部分の豆板深さは表層の1.5cm程度であり、割裂によって骨材が剥離することもなかった。また、表層に豆板が発生したコアの圧縮強度は豆板が発生していないコアと同程度であり、内部への影響は無い。

発生した表面不具合状況を表-1に設定した基準で区分した面積を図2に、それぞれの面積に表-1に示す重み付けの係数を乗じて表面状態の程度を比較したものを図-3に示す。

Fでの表面状態の悪さが突出している。SはLに比べて豆板の発生は少ないが、水みちが認められたことから、若干コンクリートが軟らかかったことによるものと考えられ、実験方法によるLとSの豆板の発生しやすさとしては同程度であると考えられる。

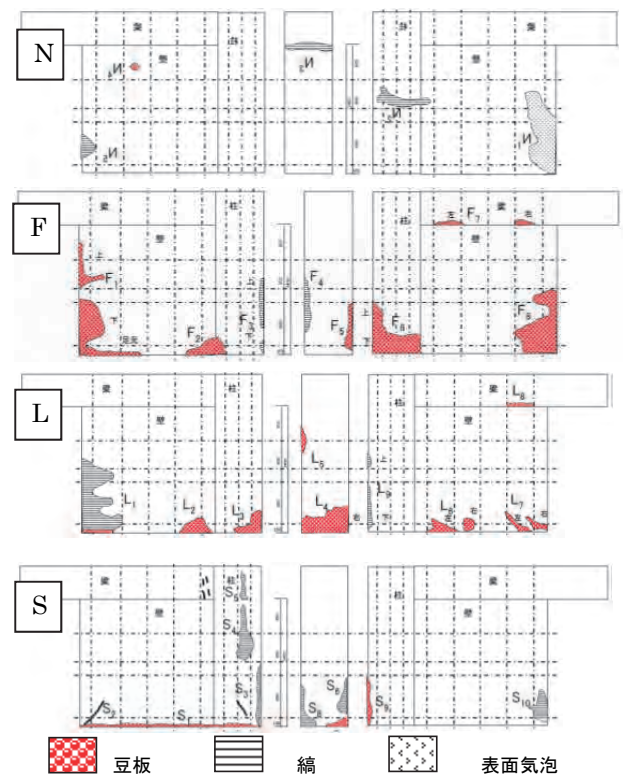


図-1 表面状態観察結果

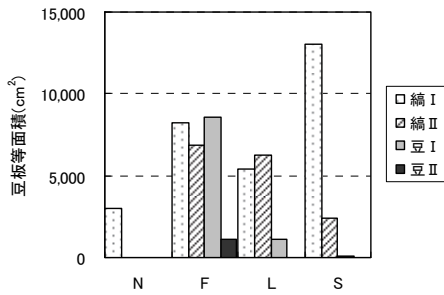


図-2 表面状態測定結果

表-1 表面状態判定区分

記号	係数	表面状態・豆板等の程度
縞Ⅰ	0.1	表面状態が若干悪い部分
縞Ⅱ	0.5	粗骨材が露出している箇所付近であり、表面状態も良くない部分。
豆Ⅰ	1.0	粗骨材が露出しているが強固にくっついている。深さの目安は1~3cm程度
豆Ⅱ	2.0	粗骨材が露出しており骨材同士の結合力が弱まっている。深さの目安は3~10cm程度。

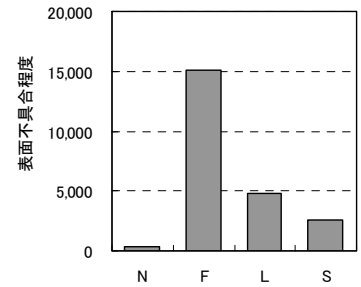


図-3 表面状態の程度の比較

## 2.2 反発度測定結果

反発度の測定結果を図-4に示す。

一般に反発度は、粗骨材が多いほど、密実なほど大きくなる傾向にある。

Nの反発度が他に比べて小さかった。また、いずれの実験方法でも梁の反発度が小さい結果となった。また、壁では、N以外は下部の反発度が若干大きくなっており、FとSで測定位置における変動が大きい。

## 2.3 超音波伝搬速度測定結果

図-5に超音波伝搬速度の測定結果を示す。超音波伝搬速度は含水率に大きく影響を受けるため、測定個所の表裏のコンクリート表面含水率を測定した。全体の含水率平均値を算出し、その平均値と測定箇所の含水率の差から含水率1%につき60m/secの補正<sup>1)</sup>を行った。

LとSの壁では下部の方が大きな値を示した。柱は全ての実験方法で中段より下部で速くなっている。

壁最下部(H=50mm位置)の超音波伝搬速度は全体的にその直上の伝搬速度より小さな値であり、これは豆板や微細な空隙等の影響であると思われる。打込み当初部分の締固めや型枠最下部のタタキの重要性が再認識される。

図-6に打込み工法ごとの超音波伝搬速度の平均値と変動幅(±1.64σ)を示す。Nの超音波伝搬速度は他より小さかった。これは表面状態の観察において表面気泡が多かったことから、巻き込まれた空気が抜け切れておらず、超音波伝搬速度が遅くなったものと考えられる。

変動係数はN:2.3%, F:2.4%, L:2.2%, S:2.0%であり、実験方法による変動幅の違いは認められない。

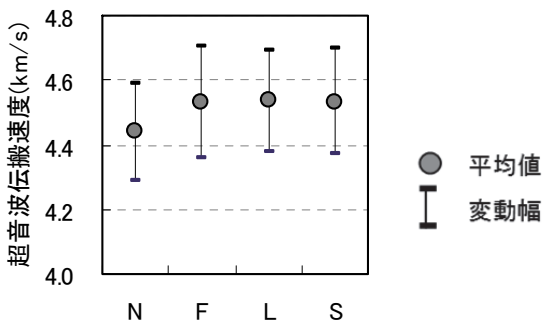


図-6 超音波伝搬速度の平均値と変動幅

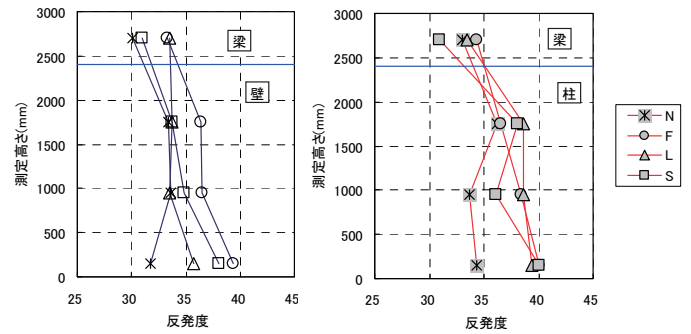


図-4 反発度の測定結果

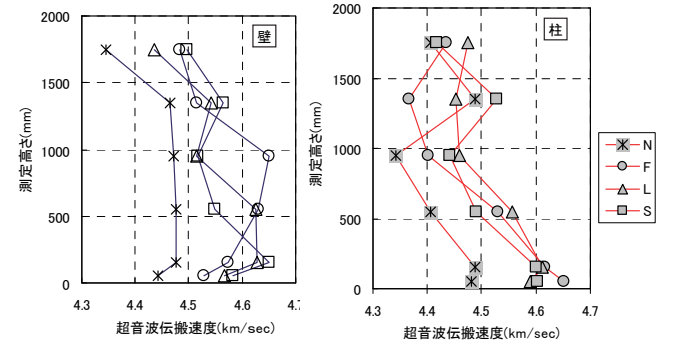


図-5 超音波伝搬速度の測定結果

## 2.4 表面観察および非破壊検査のまとめ

2.1~2.3の実験範囲において以下のことが分かった。

- ① Fは分離し易く豆板等の発生確率が高い。吊打ちでもLやSのように輸送管内でのコンクリート分離を抑制することで、豆板等の発生確率は小さくなる。
- ② Fにおいても豆板の発生は表層のみであり、内部に影響は無い。
- ③ 寝かし打ちに比べ、吊打ちの超音波伝播速度はいずれも大きかった。超音波伝搬速度の変動係数はほぼ同等で、打込み方法による差はない。

### 3. コア試験結果

実大試験体における吊打ち実験のコアによる構造体コンクリートの品質について述べる。

#### 3.1 粗骨材面積率

粗骨材面積率を図-7に、打込み工法ごとの粗骨材面積率の平均値とその変動幅( $\pm 1.64\sigma$ )を図-8に示す。

コアの粗骨材の高さ方向の分布状況は、壁では変動が小さいが、柱では変動が大きい。

実験方法ごとの粗骨材面積率平均値はほぼ同じであり、実験方法による違いは認められない。また、調合上の粗骨材面積率とほぼ同じ値であった。このことから、豆板の発生が多かったFにおいても極端なコンクリートの分離は発生していないと考える。

#### 3.2 かさ密度

かさ密度測定結果を図-10に、実験方法ごとのかさ密度の平均値とその変動幅( $\pm 1.64\sigma$ )を図-9に示す。高さ方向のかさ密度の分布は、NとFの壁を除いて、下部のかさ密度の方が全体的に若干大きい傾向がみられた。

F, L, Sのかさ密度は、Nに比べ若干大きな値であった。また、荷卸で採取した試料によるテストピース(供試体)のかさ密度と比較すると、コアのかさ密度平均値は、ほぼ同程度か若干大きな値であった。

変動幅の一番大きなFでも変動係数は1.2%であり、大きな変動ではなく、実験方法による大きな差異は認められない。

#### 3.3 圧縮強度

圧縮強度測定結果を図-11に、実験方法ごとの圧縮強度の平均値とその変動幅( $\pm 1.64\sigma$ )を図-12に示す。Nの壁、およびSとNの柱以外は下部の圧縮強度が大きかった。また、いずれの実験方法でも壁の圧縮強度の方が柱の圧縮強度より大きな値であった。FとLで圧縮強度の変動が大きく、特にFでは10%を越えている。

Nの圧縮強度は、F, L, Sに比べて小さな値であり、供試体圧縮強度に比べても小さな値であった。これは、Nでは表面気泡が多数認められ、かさ密度も小さかったことから、巻き込まれた空気が十分に抜け出していないことが考えられる。一方Fでは型枠や鉄筋が打込み時に他より若干大きく振動したことでコンクリートが締め固められ圧縮強度が他より大きくなったものとする。いずれの実験方法でもコア圧縮強度平均値と供試体圧縮強度との差は $3\text{N/mm}^2$ 以下であった。

#### 3.4 動弾性係数

動弾性係数測定結果を図-13に、実験方法ごとの動弾性係数の平均値とその変動幅( $\pm 1.64\sigma$ )を図-14に示す。

いずれの実験方法でも壁の方が柱より全体的に大きく、Fの壁以外は下部の動弾性係数の方が上部より大きかったが、これは圧縮強度とほぼ同様の傾向である。また、吊打ちの方が寝かし打ちに比べて動弾性係数が若干大きかった。

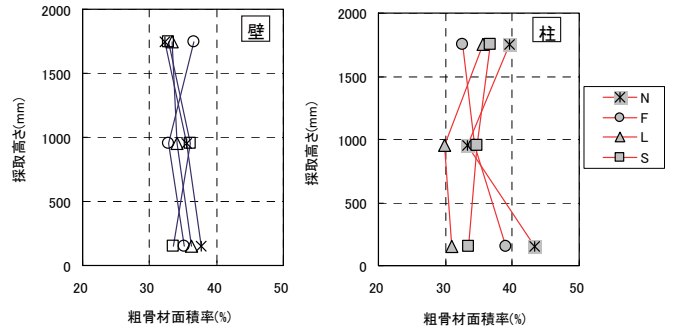


図-7 コア粗骨材面積率測定結果

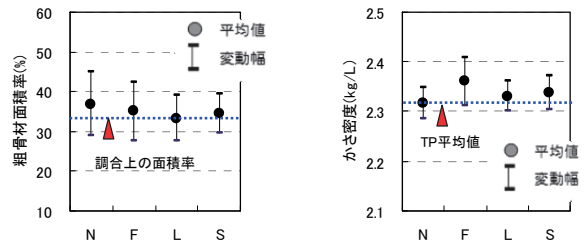


図-8 コア粗骨材面積率の平均値と変動幅

図-9 コアかさ密度の平均値と変動幅

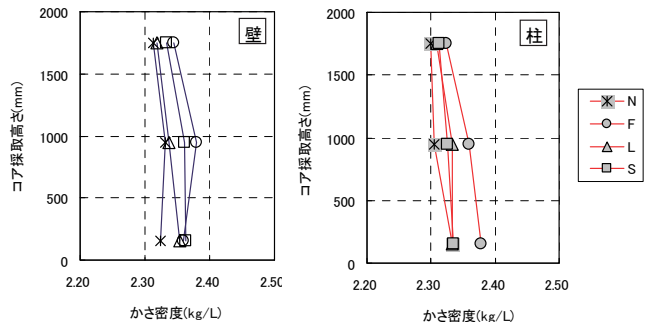


図-10 コアかさ密度測定結果

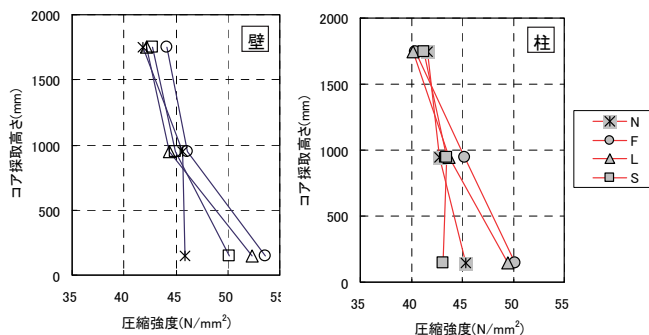


図-11 コア圧縮強度測定結果

いずれの実験方法でも、供試体の動弾性係数よりコアの動弾性係数の方が小さな値であった。Nのかさ密度・圧縮強度が小さかったことから、今回の実験において打込み方法の違いによる表面状態の差異を明確にするために締固めを通常より少なくしたことによると考えられ、締固めの重要性が再認識された。

Fの変動が他より大きく、圧縮強度に対する動弾性係数もFで特に変動が大きく、Fにおいては極端なコンクリートの分離は無いものの粗骨材の偏在がLやSに比べて大きいと思われる。

### 3.5 コア試験結果のまとめ

3.1～3.4の実験では、打込み方法や先端ホースによる差異が明確になるように、打込み速度を通常より遅くし、締固めも通常より少なくした。それで以下のことが分かった。

- ① コアによる硬化コンクリートの基本的な品質であるかさ密度、圧縮強度および動弾性係数は、荷卸時に採取した供試体と比べて大きな差異は無く、また吊打ちと寝かし打ちの差異もない。
- ② 粗骨材面積率も、打込み方法やコア採取位置による大きな変動も無く、吊打ちでも極端なコンクリート分離はない。
- ③ Fはコンクリート品質の変動が大きく、Fにおいては極端なコンクリートの分離は無いものの粗骨材の偏在がLやSに比べて若干大きい。

### 4. 施工性改善の提案

過去の実験<sup>2)3)</sup>および今回の実験から1.5m以下の自由落下の吊打ちでは、構造体コンクリートのかさ密度・圧縮強度・動弾性係数は寝かし打ちと同等であり、吊打ちでも鉄筋の乱れも寝かし打ちと同等であることが分かった。しかし、フレキシブルホースの吊打ちではコンクリートが円錐状に勢い良く吐出され、コンクリートの分離しやすく、コテ均し作業に悪影響を与える可能性がある。これらのことから、吊打ちにおいて以下の提案をする。

- ① 吊打ちでは今回用いた様なライトウエイトホースを用いたり、先端にS字管を用いて、コンクリートの分離を防ぐ。
- ② 吊打ちを行う際に、打込み当初はコンクリートが不連続となるため、輸送管内のコンクリートが連続するまでホース先端を寝かしておくような工夫が望ましい。
- ③ 吊打ちを行う場合は、柱や壁の下部の締固め・タタキを十分に行う。
- ④ 安全確保のために、吊り下げたホースやS字管などの落下防止措置を講じる。

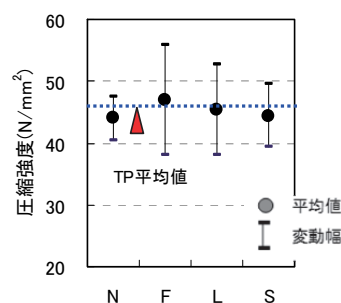


図-12 コア圧縮強度の平均値と変動幅

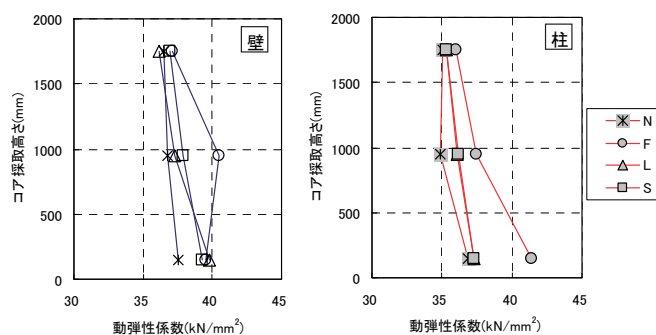


図-13 コア動弾性係数測定結果

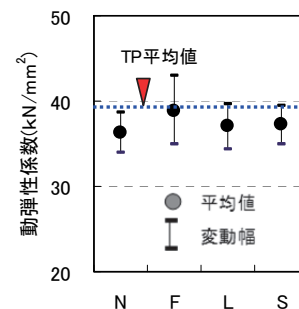


図-14 コア動弾性係数の平均値と変動幅

### 5. 今後の予定

2017年10月には吊打ちに対して、ポンプ車のブームの安全性を検討する実験を実施する予定。これによって更なる吊打ちに対する実施工への対応を検討している状況にある。

#### 【参考文献】

- 1) 日本建築学会：コンクリート強度推定のための非破壊試験方法マニュアル, 1983.2, p35
- 2) 織田他：コンクリートポンプ工法における施工性改善に関する提案 吊打ち実験の概要とその評価について, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1, 2010, p647
- 3) 豊田他：コンクリートポンプ工法における施工性改善に関する提案 その2~その4, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1, 2011, p771~776

\*1 大喜, \*2 浅沼組, \*3 大阪工業大学, \*4 竹中工務店, \*5 日本建築総合試験所, \*6 浅沼組, \*7 竹中工務店, \*8 泉北ニシイ, \*9 イッケン商事, \*10 トモエポンプ, \*11 近畿生コンクリート圧送協同組合



# 報告 ブーム先端からの延長配管した圧送施工の測定結果報告

○住井 次郎<sup>\*1</sup> 中田 善久<sup>\*2</sup>  
 河崎 慎吾<sup>\*1</sup> 大塚 秀三<sup>\*3</sup>  
 宮田 敦典<sup>\*4</sup>

圧送計画 圧送業者 アンケート  
 東海地区

## 1. はじめに

コンクリートを安全かつ円滑に圧送するためには、圧送によるコンクリートの品質変化やコンクリートポンプおよび輸送管に加わる圧送圧力（以下、総称してコンクリートの圧送性とする）が重要な要因となることは言うまでもない。コンクリートの圧送性は、コンクリートの調合および使用材料や圧送条件等に起因するため、レディーミクストコンクリート工場（以下、生コン工場とする）ごとにコンクリートの圧送性が異なることは容易に推察でき、さらに、筆者らが実施したアンケート調査<sup>1)</sup>からも生コン工場によって圧送性の差異を感じている技能者が多いことが明らかとなった。これらを踏まえると、普段の圧送施工において、圧送によるコンクリートの品質変化の程度や管内圧力損失を測定することは、データを蓄積するための大変合理的な方法であり、圧送計画を立案する上で有用な資料となり得る。

そこで、本報告は、圧送条件および生コン工場ごとに異なるコンクリートの圧送性を把握することを最終目標とし、その第一段階として、東海地区コンクリート圧送有限責任事業組合が実施している安全パトロール（施工現場における不安全状態や不安全行動を発見し、是正・改善を目的とした労働災害防止活動）において測定したコンクリートの品質変化および管内圧力について調査した結果を報告する。

## 2. 測定概要

ブームの姿勢および配管状況を図-1に示す。対象とした工事は、圧送高さ約15mでブーム先端から約50mの延長配管した圧送工事とした。使用しているコンクリートポンプは、K車製（型式：PY135-28-H）のピストン式であり、最大長さ24.5mのブームを有する機種であった。

測定・試験項目は、管内圧力およびコンクリートの圧送前後の品質変化とし、管内圧力は、1段ブーム（P1）および4段ブーム（P2）の途中に設置した圧力計において測定した。また、コンクリートの品質変化として、スランプおよび空気量は、荷卸し地点（圧送前）および筒先（圧送後）から採取した試料について試験し、単位容積質量は、筒先（圧送後）から採取した試料のみ試験した。コンクリートの調合は表-1に示すとおりであり、水セメント比55%のコンクリートの呼び名24-15-20Nであった。なお、測定日の外気温は5℃であり、荷卸し地点におけるコンクリート温度は12℃であった。

## 3. 測定結果および考察

### (1) コンクリートの品質変化

圧送前後のコンクリートの品質変化を表-2に示す。スランプおよび空気量は、圧送後に低下する傾向を示し、ポンプ指針<sup>2)</sup>に示される圧送前後のコンクリートの品質変化の限度を上回る結果であった。これは、圧送による影響と経時変化による影響が含まれているものであり、今回の測定では、荷卸し地点における試験と筒先における試験の時間差が25分程度であった。本調査対象のような、ブーム

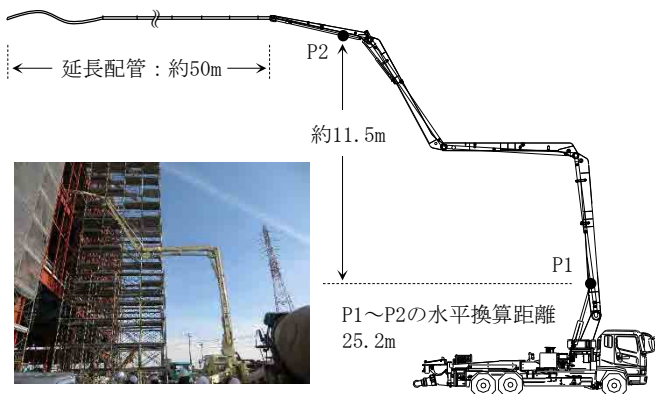


図-1 ブームの姿勢および配管状況

表-1 コンクリートの調合

W/C (%)	s/a (%)	空気量 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						混和剤の使用量 (kg/m <sup>3</sup> )
			W	C	S	G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	G <sub>3</sub>	
55.0	47.1	4.5	174	317	832	381	286	292	3.17

表-2 圧送前後のコンクリートの品質変化

スランプ (cm)		空気量 (%)		単位容積質量 (t/m <sup>3</sup> )	
圧送前	圧送後	圧送前	圧送後	調合上	圧送後
16.5	8.5	3.7	1.8	2.282	2.390

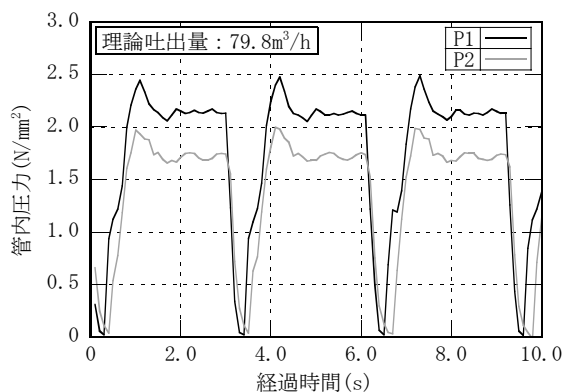


図-2 圧力波形の例

表-3 測定結果一覧

計測 No,	ストローク数 (回/分)	理論吐出量 $Q_{th}$ (m³/h)	管内圧力 (N/mm²)		管内圧力損失* K (N/mm²/m)
			P1	P2	
1	10.3	42.8	1.26	0.94	0.0018
2	12.8	53.1	1.50	1.17	0.0022
3	15.0	62.4	1.68	1.32	0.0034
4	19.2	79.8	2.12	1.70	0.0058
5	21.0	87.3	1.96	1.49	0.0077

※: P1およびP2の管内圧力差から鉛直方向の圧力 (WH×10<sup>-3</sup>) を差引いて算出

先端からの延長配管程度の圧送施工の場合でも、圧送前後のコンクリートの品質変化を考慮する必要があるといえる。また、単位容積質量は、調合上の値に比べて大きくなる傾向を示した。これは、圧送により空気が減少した影響も含まれるものの、圧送がコンクリートの単位容積質量に及ぼす影響は少なからずあるものと考えられる。

## (2) 管内圧力

圧力波形の例を図-2に示す。ピストン式のポンプを用いた圧力波形は、ポンプ指針<sup>2)</sup>で解説されているように、バルブの切替え時に圧力が瞬間的に大きくなり、その後圧力が概ね一定となる波形であった。以降、本報告は、ポンプ指針<sup>2)</sup>に従って、吐出量が安定した5~10ストロークの圧力が概ね一定となる値を管内圧力として扱っている。

測定結果一覧を表-3に示し、理論吐出量と管内圧力損失の関係を図-3に示す。なお、管内圧力損失は、P1およびP2の管内圧力差から鉛直方向の圧力(コンクリートの単位容積質量と圧送高さの積)を差引いて算出している。理論吐出量は42.8~87.3m³/hの範囲であり、管内圧力の最大値は、理論吐出量79.8m³/hのときP1で2.12N/mm²、P2で1.70N/mm²となった。また、調査対象としたコンクリートの品質および圧送条件においては、ポンプ指針<sup>2)</sup>におけるブームの許容圧送負荷の4N/mm²以下を満足する結果であった。

管内圧力損失は、理論吐出量が大きくなると大きくなる

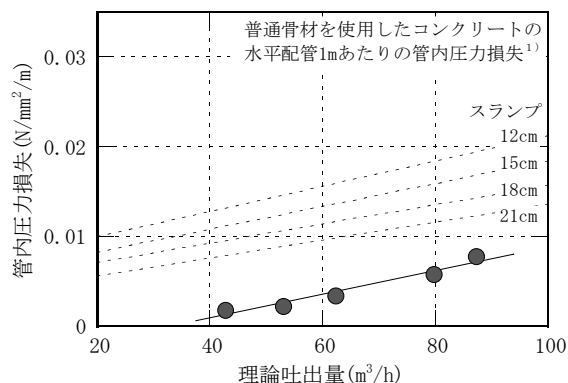


図-3 理論吐出量と管内圧力損失の関係

傾向を示し、ポンプ指針に示されるスランプ15cmの標準値に比べて著しく小さい値であった。この原因は定かではないが、ブームの姿勢が垂直ではなく、各段ブームの使用角度が水平や斜め方向となっていることが影響しているものと考えられる。この点については、今後、データを蓄積し、ブームを用いた鉛直方向の圧力分布について検討する必要があるといえる。

## 4. まとめ

本報告をまとめると以下のとおりである。

- (1) 圧送前後のスランプおよび空気量は低下する傾向を示した。
- (2) コンクリートの単位容積質量は、圧送の影響を少なからず受ける。
- (3) ブームを用いて鉛直方向に圧送する場合、鉛直方向の圧力は、コンクリートの単位容積質量と圧送高さの積よりも小さくなる可能性がある。

本報告は、普段の圧送施工において圧送前後のコンクリートの品質変化および管内圧力を調査したものである。当組合は、安全かつ円滑な圧送施工を行うために、引き続き調査およびデータの蓄積を行い、圧送条件および生コン工場ごとのコンクリートの圧送性を検討する予定である。

## 謝辞

本調査を実施するにあたり、当組合の異開発(株)より多大なるご協力を得ました。ここに付記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 宮田敦典, 中田善久, 大塚秀三, 荒巻卓見, 河崎慎吾, 住井次郎: 東海地区の圧送業者を対象としたコンクリートポンプ工法における閉塞に関するアンケート調査, 日本建築学会技術報告集, 第22巻, 第50号, pp.1-4, 2016.2
- 2) 日本建築学会: コンクリートポンプ工法施工指針・同解説, 2009.12

\*<sup>1</sup> 東海地区コンクリート圧送有限責任事業組合, \*<sup>2</sup> 日本大学理工学部建築学科 教授, 博士(工学)

\*<sup>3</sup> ものつくり大学技能工芸学部建設学科 准教授, 博士(工学), \*<sup>4</sup> 日本大学理工学部建築学科 助手, 修士(工学)

報告 集合住宅におけるコンクリートポンプ工法を用いたコンクリート工事の施工体制に関する調査

○奥山 夏樹\*<sup>1</sup> 大塚 秀三\*<sup>2</sup>  
中田 善久\*<sup>3</sup> 田鶴 大樹\*<sup>4</sup>

コンクリートポンプ工法 施工体制 圧送量  
圧送方法

1. はじめに

コンクリート工事は、機械化が進んだ一方で労務集約型施工の側面が未だに強く、技能者の作業によって支えられる部分が多い。しかし、コンクリート工事に関わる圧送工、コンクリート工や土間左官工などの高齢化と若年入職者の減少が顕在化しつつあり、一部においては従前の労務集約型の施工体制の転換を考慮する局面に差し掛かっていると云える。

ところで、コンクリート工事の標準的な施工人員が示された例には、建築工事監理指針<sup>1)</sup>(以下、監理指針とする)、建設工事標準歩掛<sup>2),3)</sup>(以下、標準歩掛とする)およびコンクリートポンプ工法施工指針・同解説<sup>4)</sup>(以下、ポンプ指針とする)がある。監理指針<sup>1)</sup>には打込み量が150m<sup>3</sup>の場合、打込みに必要な技能労働者(以下、技能者とする)が9名以上と示されており、標準歩掛<sup>2)</sup>には、圧送方法(配管またはブーム)ごとにコンクリートポンプ1台あたりの作業人数と1m<sup>3</sup>あたりの打込み人数が示されている。また、ポンプ指針<sup>4)</sup>にはコンクリートポンプ1台あたりの施工体制の例として技能者の役割ごとの人数が示されている。

しかし、最近の実際の現場における施工人員と役割に関する報告例<sup>5),6),7)</sup>が極めて少なく、前述の標準的な例と合致した傾向にあるか不明な点が残る。

そこで本調査では、一般的な集合住宅のコンクリート工事の施工人員と役割を明らかにすることを目的に調査を行った。ここでは、首都圏で施工された27件の現場を対象に、コンクリートポンプ1台についての技能者の施工人員と役割を、監理指針<sup>1)</sup>および標準歩掛<sup>2),3)</sup>との比較を中心に考察した結果を報告する。

2. 調査概要

2.1 調査対象の概要

調査対象は、建物の最高高さが50m以下で10~15階建て以下の一般的な集合住宅の基準階の住戸部分とし、コンクリートの打込みにコンクリートポンプを用いたコンクリート工事とした。調査期間は、2016年7月~2017年5月の10ヶ月である。

表-1 調査項目および調査内容

調査項目	調査内容
コンクリートの種類および打込み量	呼び強度、スランブ、粗骨材の最大寸法、セメントの種類、打込み量
コンクリートを打ち込む構造体の諸元	階数、階高、部材の種類および寸法、均し部の表面積
コンクリートの打込み方法および打込み時間	コンクリートの打込み方法、コンクリートポンプの仕様、打込み時間
コンクリートの締固めの機器および数量	棒形振動機(バイブレータ)の呼び径および本数、木植の個数
施工人員	技能者の人数と役割

2.2 調査項目および調査内容

調査項目および調査内容を表-1に示す。調査項目は、コンクリートの種類および打込み量、コンクリートを打込む構造体の諸元に加え、コンクリートポンプ1台あたりについて、コンクリートの打込み方法および打込み時間、コンクリートの締固めの機器および数量、施工人員とした。

3. 調査結果および考察

調査結果の一覧を表-2に示す。施工を担った建設会社は、全9社であった。調査した工事は97件であり、現場数では27件であった。現場ごとの工事の件数は1~27件と、1つの現場において複数回調査したケースも含まれる。調査建物の所在地は、東京23区内および首都圏近郊であり、建物の階数は4~15階であった。

3.1 コンクリートの種類

コンクリートの種類は、呼び強度が27~49、スランブが18または21cm、粗骨材の最大寸法が20mm、セメントの種類が普通ポルトランドセメントであった。

3.2 構造体の諸元

コンクリートを打込んだ階数は1~15階であり、このうち1~3階が37件と最多であった。階高は、2,400~3,430mmであった。部材の種類は、一般的な寸法の柱、壁、床およびバルコニーであった。

3.3 コンクリートの打込み量および打込み速度

工事ごとの打込み量、打込み速度および均し部の表面積を図-1に示す。コンクリートポンプ1台あたりのコンクリートの打込み量は、47.5~250m<sup>3</sup>であった。打込み速度は、10~40m<sup>3</sup>/h程度であった。均し部の表面積は、49~540m<sup>2</sup>であった。

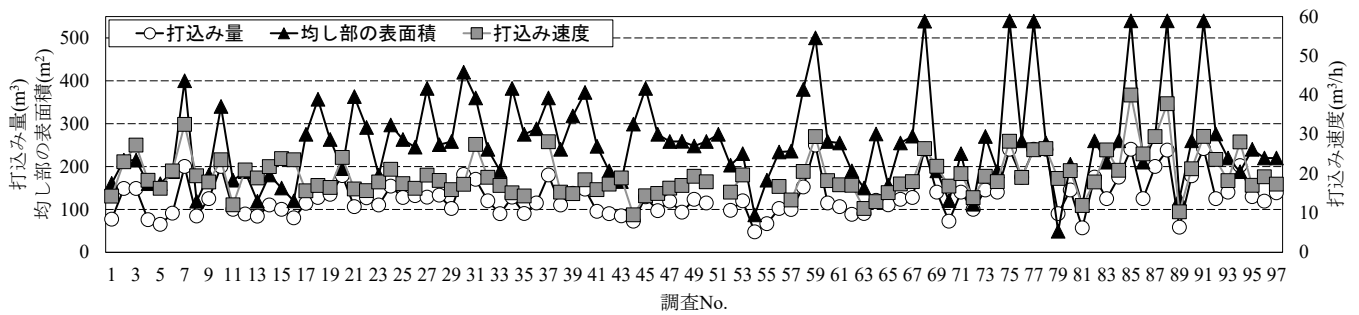


図-1 工事ごとの打込み量, 打込み速度および均し部の表面積

表-2 調査結果の一覧

調査項目		調査結果		
建築概要	建設会社	9社		
	所在地	東京都23区内 首都圏近郊		
	階数(階)	4~15		
	件数(件)	97		
コンクリートの種類および打込み量	コンクリートの種類	呼び強度	27~49	
		スランブ(cm)	18, 21	
		粗骨材の最大寸法(mm)	20	
		セメントの種類	普通ポルトランドセメント	
	打込み量(m³)	47.5~250		
コンクリートを打込む構造体の諸元	打込み階(階)	1~15		
	階高(mm)	2,400~3,430		
	部材の種類および寸法(mm)	柱	500~1,225×600~1,220	
		梁	470~750×300~760	
		壁	150~220	
		床	150~300	
	バルコニー	1,000~2,000×120~430 ×100~1,200		
均し部の表面積(m²)	49~540			
コンクリートの打込み方法および打込み時間	コンクリートの配分方法	片押し, 廻打ち, 廻打ち+片押し		
	コンクリートポンプの仕様	コンクリートポンプの種類	自走式ポンプ, 定置式ポンプ	
		コンクリートポンプの種類	ピストン式	
		コンクリート圧送方法	ブーム式, 配管式, ブーム式+配管式	
	打込みの実働時間(h)	3.4~10.4		
コンクリートの締固めの機器および数量	棒形パイプレタ(本数)	φ30	0~1	
		φ40	1~3	
		φ50	0~1	
	木槌(個)	2~4		
技能者の人数(人)	コンクリート工	6~11		
	圧送工	2~4		
	土間左官工	3~6		
	型枠大工	0~2		
	鉄筋工	0		
	設備工	0~2		
技能者の役割	コンクリート工	全体指揮, 締固め(パイプレタ), 締固め(叩き), 鉄筋清掃(付着したノロの洗い), パイプレタ(線持ち)		
	圧送工	ポンプ操作, 筒先取回し		
	土間左官工	荒均し, 天端均し		
	型枠大工	型枠保守, パイプレタ(線持ち)		
	設備工	埋設管・設備ボックス等保守, パイプレタ(線持ち)		

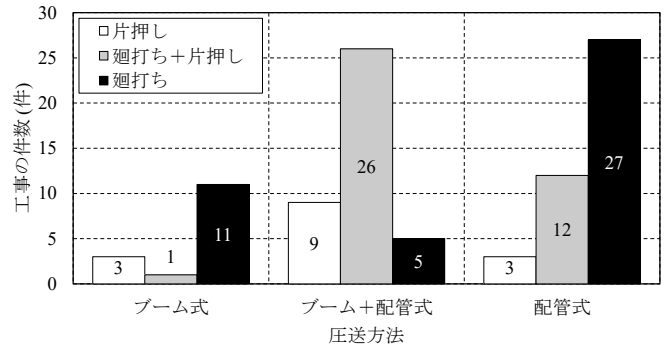


図-2 コンクリートの圧送方法ごとの工事の件数

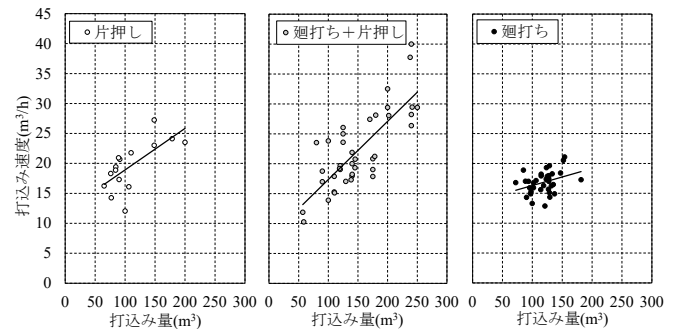


図-3 配分方法ごとの打込み量と打込み速度と関係

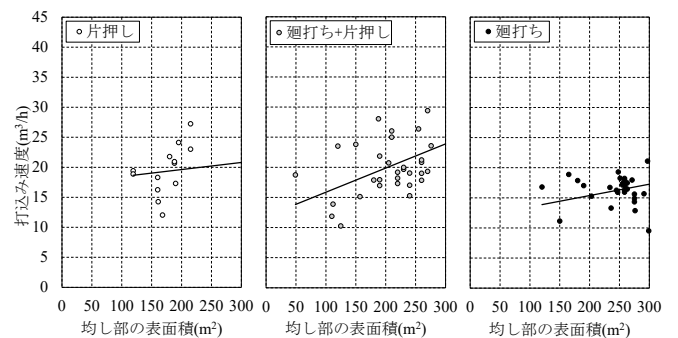


図-4 配分方法ごとの均し部の表面積と打込み速度の関係

### 3.4 コンクリートの打込み方法

コンクリートの圧送方法ごとの工事の件数を図-2に示す。コンクリートの配分方法は、片押し、廻打ち+片押しおよび廻打ちであり、ブーム式および配管式では、廻打ちがそれぞれ11件および27件と最多であった。ブーム+配管式では廻打ち+片押しが26件と最多であった。

配分方法ごとの打込み量と打込み速度の関係を図-3に示す。打込み速度は、片押しおよび廻打ち+片押しでは、打込み量に比例して直線的に増加する傾向を示した。廻打ちでは、打込み量に依存せず概ね15~20m³/hであった。

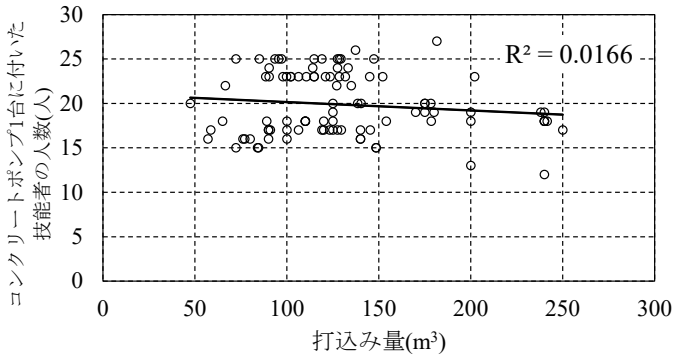


図-5 打込み量とコンクリートポンプ1台に付いた技能者の人数の関係

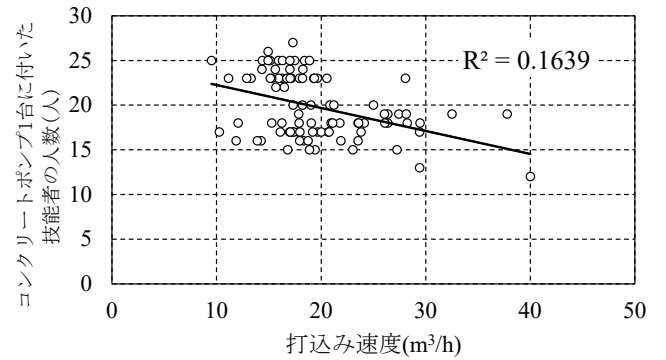


図-6 打込み速度とコンクリートポンプ1台に付いた技能者の人数の関係

配分方法ごとの均し部の表面積と打込み速度の関係を図-4に示す。打込み速度は、廻打ち+片押しでは均し部の表面積に比例して直線的に増加する傾向を示す一方で、片押しおよび廻打ちにおいては、明確な傾向は確認されなかった。

### 3.5 歩掛り

#### (1) 打込み量および打込み速度の影響

打込み量とコンクリートポンプ1台に付いた技能者の人数の関係を図-5、打込み速度とコンクリートポンプ1台に付いた技能者の人数の関係を図-6に示す。コンクリートポンプ1台に付いた技能者の人数は、打込み量および打込み速度に依存せず概ね15~25人で一定であった。このうち、コンクリートポンプ1台に付いた技能者の人数が20人を超えた現場は27現場中6現場であった。

作業ごとの打込み量および打込み速度と技能者の人数の関係を図-7に示す。コンクリート工、圧送工および土間左官工の総数は、全ての現場で標準歩掛および監理指針を上回る傾向を示した。打込み時の施工人員は、型枠保守点検、鉄筋保守点検および締固め(バイブレータ)のいずれの作業においても、標準歩掛と概ね一致したが、締固め(叩き)は、打込み速度に関わらず2~4名であった。一方で、荒均しは、標準歩掛を大きく上回る傾向を示した。

#### (2) 1人工あたりの打込み量

打込み量と1人工あたりの打込み量の関係を図-8に示す。1人工あたりの打込み量は、打込み量に比例して多くなるが、いずれの現場においても標準歩掛を下回る傾向を示した。これは、前述したように、施工人員が標準歩掛を上回っていたためと考えられる。すなわち、打込み量が増加するにつれ、技能者1人工あたりの作業量が增大するといえる。

### 3.6 工事ごとの技能者の職種および人数

工事ごとの技能者の役割および人数を図-9に示す。なお、延べ人数とは打込み時の役割ごとの技能者の人数の合計である。技能者の延べ人数は、18~30人であった。締固め(バイブレータ)、締固め(叩き)、荒均しおよび天端均し以外の技能者の人数は、同程度であった。また、技能者の実

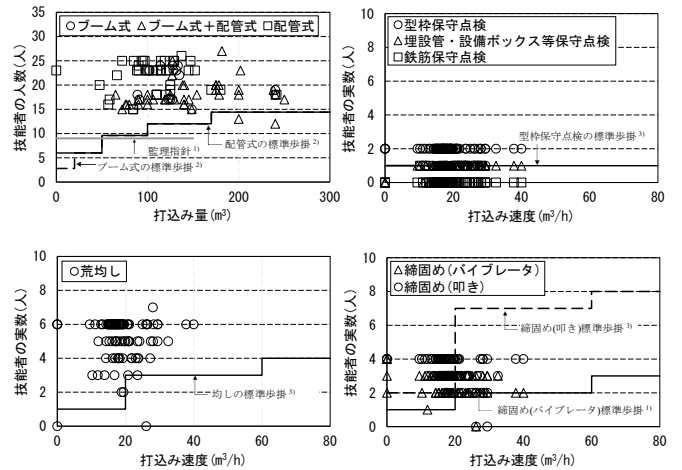


図-7 作業ごとの打込み量および打込み速度と技能者の人数の関係

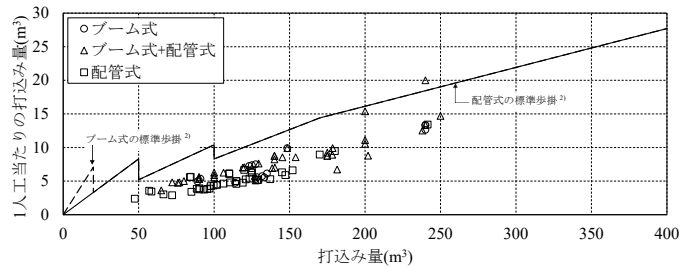


図-8 打込み量と1人工あたりの打込み量の関係

数は15~27人であることから技能者は役割を兼務しているといえる。

### 3.7 作業の兼務率

ここでは、1人工あたりの兼務している作業量を作業の兼務率と定義し、(1)式より算出した。作業の兼務率が1より大きくなるにつれ、1人工あたりの役割が増え、作業量が多くなることを意味する。

$$\text{作業の兼務率} = \frac{\text{延べ人数}}{\text{技能者の人数}} \quad (1)$$

#### (1) 工事ごとの作業の兼務率

工事ごとの作業の兼務率を図-10に示す。作業の兼務率は、0.92~2.32と工事によって異なる傾向を示した。これは、工事の条件の相違による影響と考えられるが、技能者の役割が多岐に渡る場合のあることを示唆するものと考えられる。

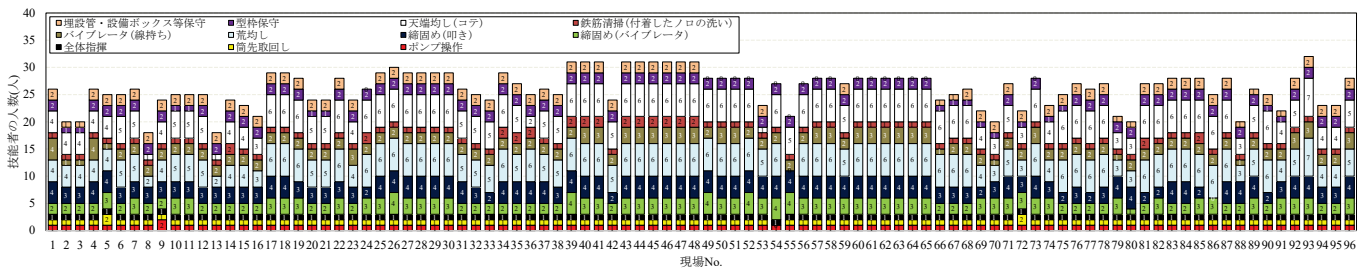


図-9 工事ごとの技能者の役割および人数

(2) 1人工あたりの作業量

1人工あたりの作業量を図-11に示す。なお、技能者の職種ごとの役割について不明であった現場は除き93工事を対象にした。

締固め(パイプレータ)および締固め(叩き)はコンクリート工、筒先取回しは圧送工が担当していた。1人工あたりの打込み量は、締固め(パイプレータ)が22~121m<sup>3</sup>、締固め(叩き)が14~121m<sup>3</sup>、筒先取回しが33~250m<sup>3</sup>であった。締固め(パイプレータ)は、締固め(叩き)と同程度であり、1人工あたりの打込み量および作業量がほぼ同じになる傾向を示した。筒先取回しは、ほぼ全ての現場において技能者の人数が1人だったため、1台あたりの打込み量が1人工あたりの打込み量となり作業量が多くなる傾向を示した。

1人工あたりの均し部の表面積は、全ての現場で土間左官が荒均しおよび天端均しの作業を兼務し、1人工あたりが担当する均し部の表面積は、8~100m<sup>2</sup>であった。

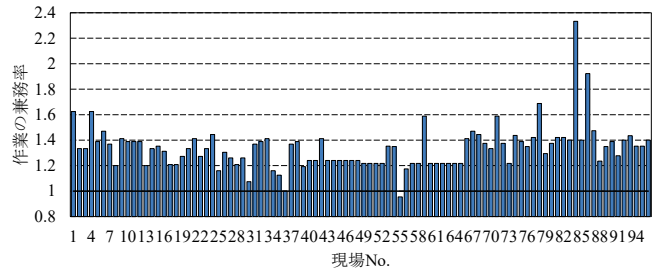


図-10 工事ごとの作業の兼務率

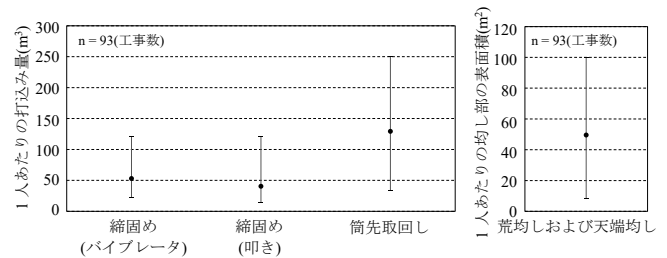


図-11 1人工あたりの作業量

4. まとめ

本調査で得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 打込み速度は、打込み量に依存せず概ね15~25m<sup>3</sup>/h程度で一定であった。配分方法の違いによって打込み速度および圧送方法が異なる傾向を示した。
- (2) 作業ごとに、打込み時の人数を標準歩掛および監理指針と比較した場合、いずれの工事においても上回る傾向を示した。
- (3) 作業の兼務率は、工事の条件によって異なるが、作業を兼務することが多い。
- (4) 1人工あたりが担当する打込み量は、締固め(パイプレータ)と締固め(叩き)は概ね等しくなるが、筒先取回しの1人工あたりの打込み量は締固めと比較すると約2倍となり作業量が顕著に多くなる。

謝辞

本調査を行うにあたり、ご協力頂いた各位に謝意を表する。

参考文献

- 1) 一般社団法人 公共建築協会：建築工事監理指針 上巻, pp.416-417, 2016.10
- 2) (財)建設物価調査会：建設標準歩掛, p.1009, 2011.5
- 3) 前掲 2), p.862, 2000.7
- 4) 日本建築学会：コンクリートポンプ工法施工指針・同解説, pp.47-50, 2009.12
- 5) 例えば、日本建築学会関東支部材料施工専門研究委員会：コンクリートの施工性の現状に関する調査報告, 2011.3
- 6) 例えば、松原俊一, 大塚秀三, 中田善久：コンクリート工事における施工体制に関する調査 その2 集合住宅のコンクリート工事における技能者の施工人員に関する調査, 日本建築学会大会学術講演便概集(東海), pp.631-632, 2012.9
- 7) 例えば、高嶋颯志, 大塚秀三, 石渡翔太, 中田善久：集合住宅におけるコンクリート工事の施工人員と役割に関する調査, 日本建築学会関東支部研究報告集, pp.157-160, 2017.2

\*1 ものつくり大学 技能工芸学部 建設学科 4年, \*2 ものつくり大学 技能工芸学部 建設学科 准教授 博士(工学), \*3 日本大学 理工学部 建築学科 教授 博士(工学), \*4 ものつくり大学大学院 ものつくり学研究科 ものつくり学専攻

# 報告 2000mを超える長距離圧送を伴うシールドトンネルインバートの施工

○関根 和宏\*<sup>1</sup> 根本 浩史\*<sup>2</sup>  
川島 恵介\*<sup>3</sup> 細井 元規\*<sup>4</sup>

長距離圧送 閉塞 ポンプ圧送助剤  
高性能 AE 減水剤 チキソトロピー性 配合選定

## 1. はじめに

コンクリートポンプを使用した圧送による場内運搬方法は一般的に採用されているが、近年、地下構造物の大型化、施工条件の制約等から都市部の工事を中心にコンクリートの長距離圧送が増加している。トンネル工事などのコンクリートの長距離圧送は、アジテータカー（坑内用レール工法式コンクリート運搬機械）を使用した運搬工法と比較して施工時間が短いため、工程短縮が図れるなどの利点があるが、配管閉塞の危険性が高いという課題がある。長距離圧送において配管が閉塞すると、配管の復旧や配管内のコンクリートの処理などに多大な労力や費用等の損失がともなうこととなる。

長距離圧送に適用するコンクリートの配合に関する考え方は土木学会「コンクリートのポンプ施工指針（2012年度版）」（以下、ポンプ施工指針と称す）等に示されており、長距離圧送の実績は過去に多数報告されているものの、配合設計方法や品質管理方法については未だに確立されていないのが実状である。

## 2. 長距離圧送をとまなうインバートコンクリートの施工

五反田川放水路放流部函体築造工事のインバートコンクリートの施工では過去に報告事例の無い 2,000m を超える国内最長レベルの長距離圧送が求められた。そのため、コンクリートには、低チキソトロピー性を有する配合として、高い分散性の保持性を有する高性能 AE 減水剤とポンプ圧送助剤を併用した配合を選定し、材料分離や圧送負荷の上昇による配管閉塞を抑制するための品質管理を実施した。

### 2.1 施工の概要

五反田川放水路放流部函体築造工事（以下、五反田川放水路と称す）は、川崎市が五反田川流域の浸水被害対策として計画された「五反田川放水路事業」の一部で、工事内容はシールド工事の到達立坑と堤外水路を接続する構造物、およびシールドトンネル坑内にインバートを構築するものである。

インバートは施工延長 2,009m、コンクリート量は 2,227m<sup>3</sup> であり、2015 年 9 月から 12 月まで施工された。インバート工事はシールドトンネル断面に洗浄管 4 本（φ25mm, φ300mm）と電線管 2 本（φ82mm）を埋込む設計になっており（図-1, 図-2）、これらの管を設置する作業とインバートコンクリートの打込み作業を並行して

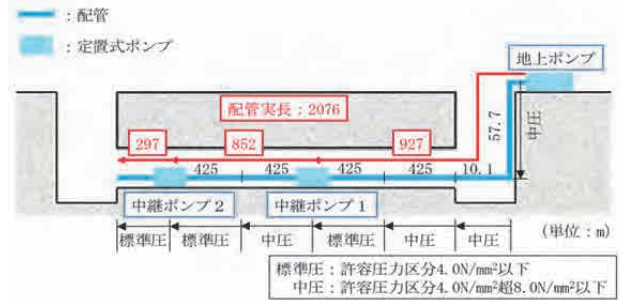


図-1 配管およびポンプ設置位置概略図

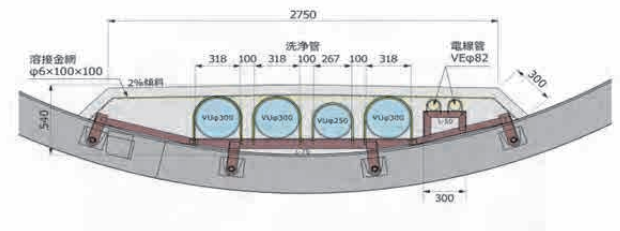


図-2 インバート断面図

表-1 コンクリートポンプの仕様

	地上ポンプ	中継ポンプ1	中継ポンプ2
形式	定置式電動タイプ		
ポンプ方式	ピストン式		
吐出量 (m <sup>3</sup> /h)	標準：92 高圧：62	標準：55 高圧：37	5~35
吐出圧 (MPa)	標準：7.1 高圧：10.6	標準：7.1 高圧：10.6	6.12
シリンダー径×ストローク (mm)	200×1400	200×1400	160×800
ホッパー容量 (m <sup>3</sup> )	0.4	0.4	0.2



地上ポンプ

中継ポンプ1

写真-1 ポンプ車の写真

表-2 インバートコンクリートの性能

項目	目標値の目安	設定値
①流動性	スランブ 23cm程度以上	スランブ 23cm以上 スランブフロー 475±25mm
②材料分離抵抗性	粉体量 360~400kg/m <sup>3</sup>	単位セメント量 385kg/m <sup>3</sup>
③流動性保持性能	配管内の滞留時間 以上	配管内の滞留時間が約2.5時間と想定されていたため、トラブル時の余裕を考慮して約3.5時間の流動保持性能
④ブリーディング	ブリーディング率 3%以下	ブリーディング率 1.85%
⑤加圧ブリーディング	標準曲線以内	標準曲線内(図-3 参照)
⑥チキソトロピー性	60分の静置によるチキソトロピー性が小さい	変形性評価試験において、60分静置後の配管加速度が増大しない

表-3 使用材料

使用材料	概要
水：W	水道水
セメント：C	高炉セメントB種 密度：3.04g/cm <sup>3</sup>
細骨材：S1	山砂 君津市産 表乾密度：2.64g/cm <sup>3</sup> F.M：2.50
細骨材：S2	石灰砕砂 飯能市産 表乾密度：2.65g/cm <sup>3</sup> F.M：3.00
粗骨材：G	石灰砕石 美祢市産 表乾密度：2.70g/cm <sup>3</sup> 最大寸法：20mm 実積率：60.0%
高性能AE減水剤：SP	高性能AE減水剤 遅延型（ポリカルボン酸系）
ポンプ圧送助剤：CPA	ポンプ圧送助剤（オキシカルボン酸系）

表-4 配合表

スランブ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )						
				W	C	S1	S2	G	SP	CPA
23程度 以上	4.5	46.7	55	180	385	658	282	788	2.89	0.294

行うため、ポンプ圧送方式を採用した。また、到達立坑側は地上作業ヤードが狭いため、発進立坑からの長距離圧送（躯体延長 L=2,009m, 配管実長 L=2,076m）を行うことにした。圧送は3台のポンプで行い、地上に1台、約50m下のシールド坑内の中継ポンプは水平距離850m間隔で2台設置した。コンクリートポンプの仕様を表-1、写真を写真-1に示す。各ポンプではコンクリートの圧送が終了すると、ポンプ内部を水洗いする必要があるため、各ポンプのコンクリート圧送終了段階で15~20分程度の圧送中断が生じることとなる。したがって、圧送中断時に流動性が低下し閉塞しないように、チキソトロピー性の小さい配合を選定する必要がある。

## 2.2 配合検討および品質管理

実施工で適用するコンクリートの要求性能は表-2のように定めた。コンクリートの使用材料は表-3に示す。圧送中に材料分離が生じ、閉塞が発生しないように、細骨材率および単位セメント量を上げ、材料分離抵抗性を高めるとともに、高性能AE減水剤とポンプ圧送助剤を併用することで、チキソトロピー性を低減した配合を選定した。採用した配合を表-4に示す。採用した配合が表-2に示す目標値の目安を満足することを各照査方法により確認した。加圧ブリーディング試験結果を図-3に示す。

実施工での圧送開始時のスランブフローと最大圧送圧の関係を図-4に示す。スランブフロー450mm以下で圧送圧が8.0MPaを超える場合は過大なスランブの低下を生じ、スランブフロー500mm以上については材料分離が生じることで配管閉塞が懸念されたため、圧送開始時のスランブフローの目標値を475±25mmと設定した。

本長距離圧送では±25mmの管理が必要であったため、ポンプ圧送助剤添加後にトラックアジテータ全台数でスランブフロー試験を実施し、スランブフローが450mmに満たない場合は高性能AE減水剤の後添加によりスランブフローの微調整を行った。このような段階的な管理によりフレッシュ性状の変動を少なくし、材料分離や圧送圧の上昇と圧送後の過大なスランブの低下を防ぐことができた。

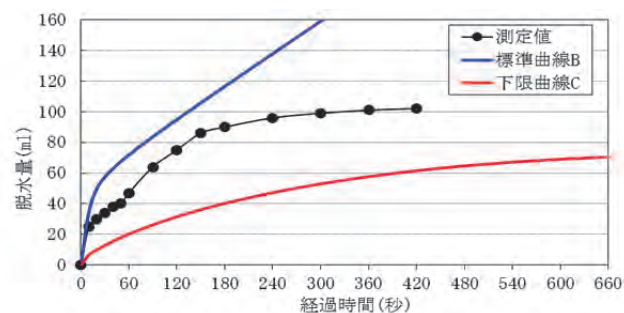


図-3 加圧ブリーディング試験結果

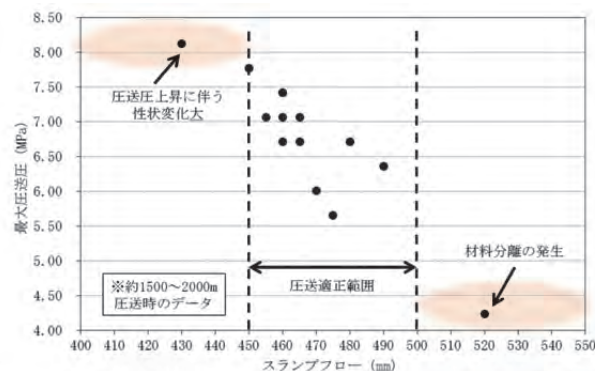


図-4 圧送開始時スランブフローと最大圧送圧の関係

## 3. まとめ

川崎市発注の五反田川放水路放流部函体築造工事のインバートコンクリートの施工は配管実長2,076m（中継ポンプ2カ所配置）の長距離圧送であったが、長距離圧送用コンクリートの要求性能を考慮した配合選定および厳密な品質管理を行うことで、安定した性状のコンクリートを長距離圧送し、2015年12月に無事全47回のインバートコンクリート打込み（1回平均47m<sup>3</sup>, 延長43m）を終了することができた。

\*1 エステック, \*2 清水建設 土木技術本部 修士(工学), \*3, \*4 清水建設 土木東京支店 修士(工学)



# 論文 2000mを超える長距離圧送におけるコンクリートの配合に関する一考察

○根本 浩史\*<sup>1</sup>      伊達 重之\*<sup>2</sup>  
 橋本紳一郎\*<sup>3</sup>      吉田 匠吾\*<sup>4</sup>  
 北野 潤一\*<sup>5</sup>

長距離圧送      閉塞      チキソトロピー性  
 ポンプ圧送助剤      高性能 AE 減水剤      加速度

## 1. はじめに

コンクリートポンプを使用した圧送による場内運搬方法は一般的に採用されているが、近年、地下構造物の大型化、施工条件の制約等から都市部の工事を中心にコンクリートの長距離圧送が増加している。トンネル工事などのコンクリートの長距離圧送は、アジテータカー（坑内用レール工式コンクリート運搬機械）を使用した運搬工法と比較して施工時間が短いため、工程短縮が図れるなどの利点があるが、配管閉塞の危険性が高いという課題がある。長距離圧送において配管が閉塞すると、配管の復旧や配管内のコンクリートの処理などに多大な労力や費用等の損失がともなうこととなる。

コンクリートの圧送において配管が閉塞してしまう場合の多くに、圧送中断後の再圧送で管内圧力が過大となりコンクリートが閉塞するという事象がある。これは、圧送が中断している間に配管内のコンクリートの流動性が低下していることに起因する。流動性の低下は、単に時間的なコンクリートの流動性の変化だけではなく、コンクリートが静置した状態になることでこわばった状態になること、つまりコンクリートのチキソトロピー性が流動性低下の一因となっていると考えられる。長距離圧送では再圧送時の管内圧力が通常の圧送と比較して大きくなることから、チキソトロピー性の低い配合を選定することが重要であると考えられる。

本稿では、長距離圧送に適用するコンクリートの要求性能を整理したうえで、分散効果の保持性が高い高性能 AE

減水剤およびポンプ圧送助剤を使用した場合のチキソトロピー性の低減効果について、室内試験や実証実験により検証した結果を報告する。

## 2. 長距離圧送用コンクリートの要求性能

ポンプ施工指針や過去の長距離圧送実績を参考にして設定した 1,000~2,000m 程度の長距離圧送に適用するコンクリートの要求性能に対する考え方を表-1 に示す。

実施工では、長距離圧送用コンクリートの配合を選定する際、施工条件から①~⑥の要求性能を設定し、各性能が要求を満足するかを照査する。①~⑤については従来の知見から、要求性能を満足するような配合の調整が可能であると想定される。

⑥のチキソトロピー性については、圧送中断による静置後の変形性が優れた配合を選定する必要がある。

## 3. 低チキソトロピー性を有するコンクリート配合の検討

既往の報告<sup>1)</sup>から高性能 AE 減水剤(遅延形)および適切な粗粒率の細骨材を用いることによりチキソトロピー性の低減効果が示されているため、コンクリート配合には高性能 AE 減水剤(遅延形)を用いることを前提とした。

さらに、モルタルによる予備実験において、水和時間が長く圧力環境下の厳しい条件下では、時差吸着による高い分散効果の保持性を有する高性能 AE 減水剤を使用した上で、セメント粒子の被覆作用が高い、ポンプ圧送助を併用することで、優れたレオロジー特性を示すことが推察された。

表-1 長距離圧送用コンクリートの要求性能に対する考え方および性能照査方法

項目	要求性能に対する考え方	性能照査方法
①流動性	高い流動性を必要とする。過去の実績から、圧送距離が1000mを超えるような場合は、スランブを23cm程度に設定している場合が多い。	スランブ試験 スランブフロー試験
②材料分離抵抗性	優れた材料分離抵抗性を必要とする。過去の実績から圧送距離が1000mを超える場合は、粉体量を360~400kg/m <sup>3</sup> として材料分離抵抗性を確保している場合が多い。	-
③流動性保持性能	優れた流動性保持性能を必要とする。配管内の滞留時間にトラブル時の余裕を考慮した時間経過に対して、流動性が保持できる配合とする。	スランブ、スランブフローの経時変化
④ブリーディング	ブリーディングの少ない配合とする。ブリーディングが多いと、水平管の上部にブリーディング水が溜まり再圧送時にコンクリートが分離し閉塞する恐れがある。	ブリーディング試験
⑤加圧ブリーディング	適切な加圧ブリーディング量となる配合とする。脱水量が多すぎる場合に粗骨材のアーチングが発生し、脱水量が少なすぎる場合には粘性過多となり圧送負荷が上昇する。	加圧ブリーディング試験
⑥チキソトロピー性	低チキソトロピー性を有する配合とする。圧送中断後の再圧送時に管内圧力が過大とならないように、加圧、静置状態での流動性低下を抑制する。	変形性評価試験

その結果を踏まえ、分散効果の保持性が高い高性能 AE 減水剤およびポンプ圧送助剤を使用した長距離圧送用コンクリートの配合が、要求されるチキソトロピー性を有しているかを変形試験により照査した。さらには圧送による実証実験により選定した長距離圧送用コンクリートのチキソトロピー性の低減効果を確認した。

### 3.1 コンクリートの変形性評価試験

#### (1) 試験方法

試験はフレッシュコンクリートの変形性試験方法 (JSCE-F509-2010) に準拠して行った。図-1 に示すテーパ管を有する小型圧送試験装置を用いて、仰角 18°、ピストン速度 10cm/s で圧送し、圧送状態の目視確認、平均ポンプ油圧の測定、およびテーパ管部に加速度センサーを4箇所取り付け加速度の測定を実施した。また、フレッシュコンクリートの試験として、スランプおよびスランプフローの経時変化とチキソトロピー性の簡易的な評価方法として、スランプコーンに試料を詰めたあと、そのまま静置し、一定時間後のスランプおよびスランプフローを測定する方法<sup>2)</sup> (以降、静置スランプ試験と称す) を実施した。

#### (2) 試験内容、使用材料および試験配合

変形性評価試験は、ポンプ圧送助剤を用いた場合と用いない場合それぞれに対し、練り混ぜから30分後と、練り混ぜから30分後に小型圧送試験装置に試料を投入してから60分間静置後に実施した。静置時間を60分とした理由は、トラブル等で配管内に静置する時間を60分と想定したためである。試験内容を表-2に示す。また、表-3に使用材料、表-4に試験配合を示す。

#### (3) 試験結果

フレッシュコンクリートの試験結果として、練混ぜから90分後の攪拌後と静置後のスランプ試験の結果を図-2に、スランプフロー試験の結果を図-3に示す。ポンプ圧送助剤を使用した場合は使用しない場合と比較して、攪拌を伴った経時変化と静置によるスランプおよびスランプフローの差が小さい。この結果から、ポンプ圧送助剤を使用したほうが、静置によるコンクリートのこわばりが小さい、すなわちチキソトロピー性が低いと考えられる。

表-2 試験内容

		練り直後	30分経過	60分経過	90分経過
フレッシュ コンクリート	攪拌後	スランプ	○	○	○ (図-2)
		スランプフロー	○	○	○ (図-3)
		空気量	○	○	○
	静置後	スランプ	-	試料投入	-
スランプフロー		-	試料投入	-	○ (図-3)
変形性 評価試験	攪拌後	-	○ (図-4)	-	-
	静置後 (静置時間60分)	-	試料投入	-	○ (図-4~6)

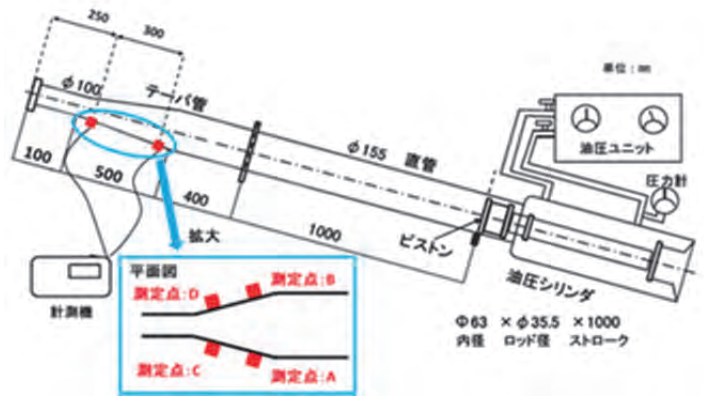


図-1 試験装置と加速度センサーの取付け位置

表-3 使用材料

使用材料	概要
水：W	水道水
セメント：C	高炉セメントB種 密度：3.04g/cm <sup>3</sup>
細骨材：S1	山砂 君津市産 表乾密度：2.64g/cm <sup>3</sup> F.M.：2.50
細骨材：S2	石灰砕砂 飯能市産 表乾密度：2.65g/cm <sup>3</sup> F.M.：3.00
粗骨材：G	石灰砕石 美祿市産 表乾密度：2.70g/cm <sup>3</sup> 最大寸法：20mm 実積率：60.0%
高性能AE減水剤：SP	高性能AE減水剤 遅延型（ポリカルボン酸系）
ポンプ圧送助剤：CPA	ポンプ圧送助剤（オキシカルボン酸系）

表-4 試験配合

配合 No.	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )						
					W	C	S1	S2	G	SP	CPA
1	23程度	4.5	46.7	55	180	385	658	282	788	2.98	0
2	以上									2.89	0.294

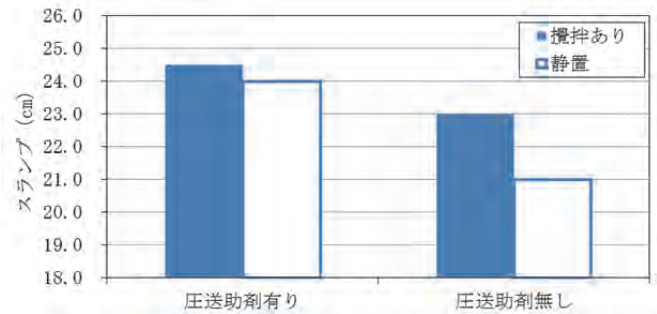


図-2 経時変化(攪拌)と静置のスランプ試験結果

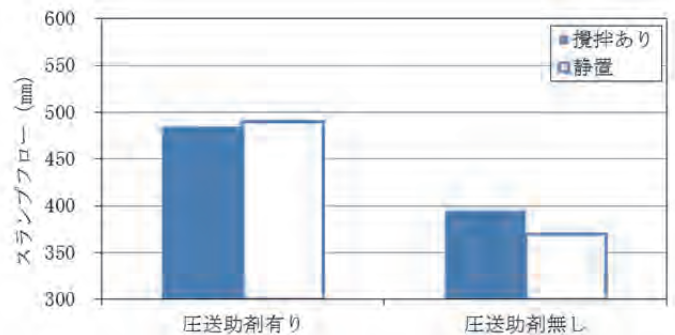


図-3 経時変化(攪拌)と静置のスランプフロー試験結果

次に変形性評価試験の結果として、ポンプ圧送助剤を使用した場合と使用しない場合の静置後の計測時間と加速度の関係を図-4に示す。コンクリートの投入から60分の静置後ではあるが、ポンプ圧送助剤を使用した場合も、図-3で示されるように比較的流動性を保っているため、圧送時に閉塞等の異常は認められなかった。図-4からも、加速度の波形は乱れを生じることなく、順調な圧送が認められる。しかしながら、加速度はポンプ圧送助剤を使用したほうが、使用しない場合よりも5割程度小さい結果となっている。図-5に示すFFT解析（高速フーリエ変換）により得られた周波数と加速度の関係からも、加速度のピーク値はポンプ圧送助剤を使用した方が3割程度小さい結果となっている。加速度のピークは周波数2000~3000Hzの周辺で発生しており、既往の研究<sup>3)</sup>と同様な傾向であることから、加速度のピークは粗骨材と管壁の衝突を計測しているものと考えられる。

加速度のピークに差が生じている原因としては、ポンプ圧送助剤を使用しない場合、チキソトロピーの影響で流動性が低下しているため、管壁にすべり層が形成されにくくなることで、圧送抵抗が増加し、粗骨材が管壁に衝突する力も大きくなっていることが考えられる。

図-6に図-1に示す4測定点の加速度のピーク値の平均を示す。ポンプ圧送助剤を使用しない場合は、練り混ぜから30分後よりもトラブルを想定した60分静置後の加速度のピークが約2.3倍に増加しているのに対し、ポンプ圧送助剤を使用した場合は約1.1倍の増加となり、あまり変化していない。このことからポンプ圧送助剤がコンクリートのチキソトロピー低減に対して効果的であると評価でき、分散効果の保持性が高い高性能AE減水剤およびポンプ圧送助剤を使用した試験配合No.2は長距離圧送に適用する配合として要求される低チキソトロピー性を有していると判断できる。

なお、変形性評価試験では、平均ポンプ油圧の測定も行ったが、4ケースとも約0.5MPaと小さい値となり、ほとんど差は見られなかった。この結果は、変形性評価試験の試験条件に対してコンクリートの流動性が高いため、圧送抵抗が小さかったことが原因であると考えられる。本試験結果より、流動性が高いコンクリートの評価に対しては平均ポンプ油圧よりも加速度センサーによる評価手法のほうが適していることが分かった。今回の実験の範囲では、流動性が高いコンクリートを対象とした変形性評価試験の平均ポンプ油圧による評価方法については今後の課題である。

### 3.2 圧送による実証実験

室内試験結果より、分散効果の保持性が高い高性能AE減水剤およびポンプ圧送助剤を使用した配合にチキソトロピー性の低減効果が認められたため、実際の圧送時にポンプ圧送助剤を使用した場合の影響について、加速度センサーによる手法を用いて評価した。

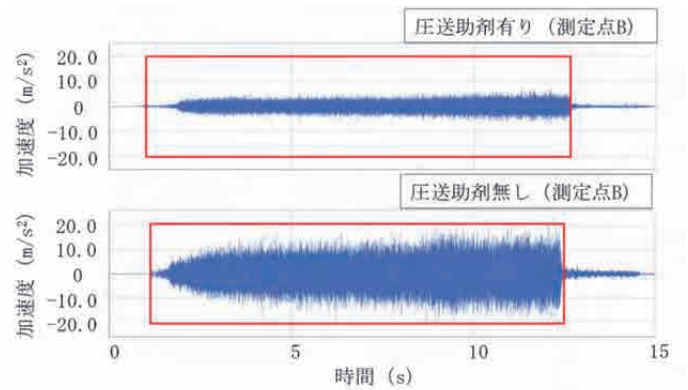


図-4 計測時間と加速度の関係（静置後）

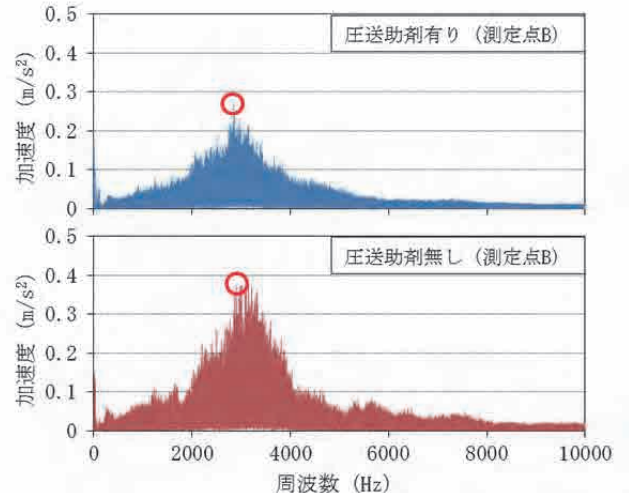


図-5 周波数と加速度の関係

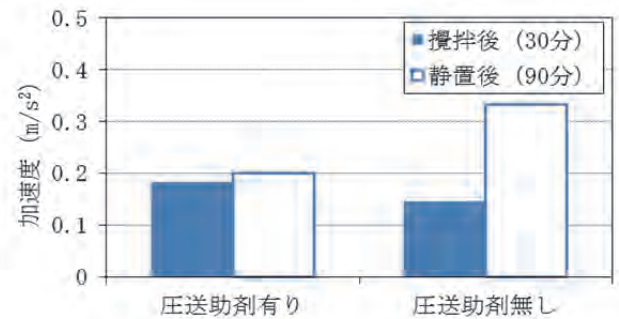


図-6 攪拌後と静置後の加速度ピーク値の比較

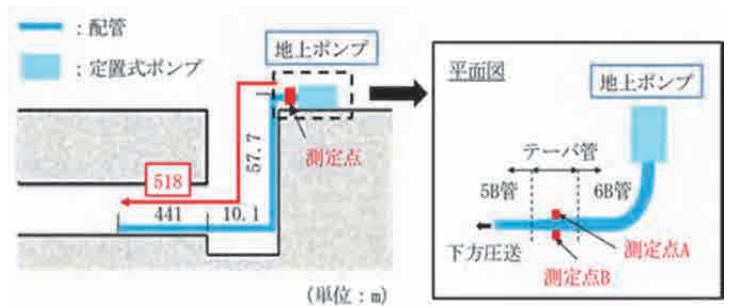


図-7 配管状況および加速度計取付け位置図

(1) 実験内容および圧送条件

この実証実験は配管距離約 500m で実施した。配管状況、加速度計取付け位置を図-7 に示す。加速度計は圧送時の抵抗が高く、計測結果に配合上の相違が生じやすいと想定された地上部のテーパ管部に 2 箇所取り付けて計測した。コンクリートの配合は変形性評価試験で採用した表-4 に示す配合 No.2 を選定した。実験当日はトラックアジテータ 10 台分のインバートコンクリート打込みをおこなったため、前半の 5 台分のトラックアジテータのコンクリートにはポンプ圧送助剤を使用し、後半 5 台分には使用しないこととした。加速度は配管段取り替えのタイミングで生じる 2 分程度の圧送中断後の圧送再開時に測定した。なお、圧送中断回数はポンプ圧送助剤を使用した前半に 3 回、使用しない後半は 4 回とした。

(2) 実験結果

実験結果として、図-8 に計測時間と加速度の関係の一例を示す。加速度は一定時間間隔で確認できるが、これはピストンの稼働時間と同様であるため、ピストンの動きに合わせてコンクリートが移動していることを示している。ポンプ圧送助剤を使用した場合と使用しない場合で、加速度の大きさに大きな相違は認められず、両方の波形に大きな乱れ等も認められない。実際の圧送においても閉塞等の異常は認められず、順調な圧送が行われた。

次に FFT 解析により得られた周波数と加速度の関係の一例を図-9 に示す。なお、FFT 解析は圧送開始から 1 ストローク目の波形は加速度が小さい場合があり、誤差を含んでいる可能性を考慮し解析対象から除外し 2 ストローク目の波形を対象とした。加速度のピーク値はポンプ圧送助剤を使用した場合が使用しない場合よりも 2 割程度小さい結果となった。加速度のピークは周波数が約 2000Hz で発生しており、変形性評価試験の結果と同様に粗骨材が管壁に衝突する影響を計測しているものと考えられる。図-10 に圧送中断後再圧送時の加速度のピーク値の平均を示す。ポンプ圧送助剤を使用した前半の 3 回分、使用しない後半の 4 回分のそれぞれ平均値で、ポンプ圧送助剤を使用した場合は、使用しない場合と比較して 1 割程度加速度のピークが小さい結果となった。

圧送による実証実験では、約 500m の配管距離でわずか 2 分間の中断後の再圧送時の加速度に相違が認められた。圧送距離がさらに長く、中断時間も長くなる条件では、チキソトロピー性の低減効果が配管閉塞の抵抗性に与える影響度はさらに大きいと考えられる。

4. まとめ

静置スランブ試験や変形性評価試験での加速度センサーによる測定結果、圧送による実証実験から、分散効果の保持性が高い高性能 AE 減水剤およびポンプ圧送助剤を併用することで、チキソトロピー性の低減効果が認められた。それにより、長距離圧送用コンクリートの要求性能を満足する低チキソトロピー性を有する配合を選定できた。

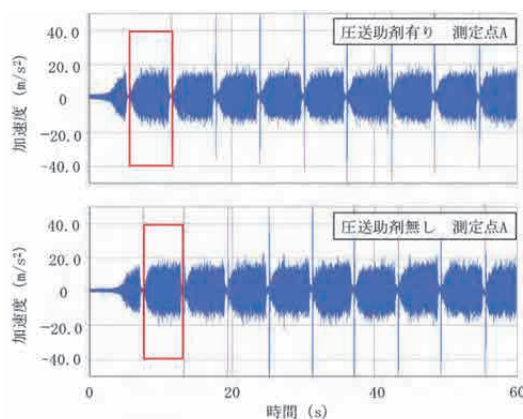


図-8 計測時間と加速度の関係 (1 回目の中断)

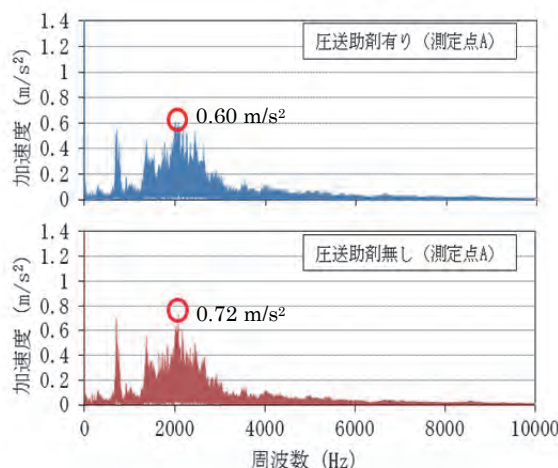


図-9 周波数と加速度の関係 (1 回目の中断)

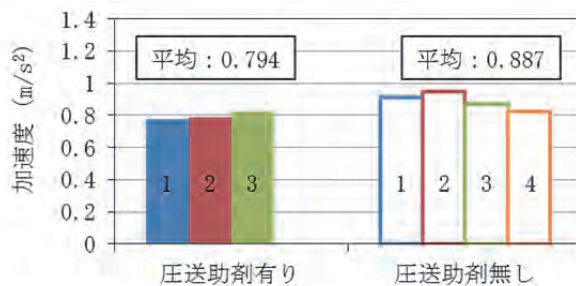


図-10 圧送助剤を使用時と未使用時の加速度ピーク値の比較

参考文献

- 1) 根本浩史, 浦野真次, 竹村瑞元: 逆打ち工法に適用する高流動コンクリートの配合検討, 土木学会第 68 回年次学術講演会講演概要集, 第 V 部門, pp.1141~1142, 2013
- 2) 大川了・岡本 茂・野村朋宏・根本浩史: 場所打杭に用いるコンクリートの施工性評価に関する実験的検討, 土木学会, コンクリートの施工性能の照査・検査システム研究小委員会(341 委員会)委員会報告書, 2011
- 3) 橋本紳一郎・江本幸雄・伊達重之・橋本親典: コンクリートポンプ圧送性簡易評価手法の検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.34, No.1, pp.1186~1191, 2012

\*1 清水建設 土木技術本部 修士 (工学), \*2 東海大学工学部土木工学科 博士 (工学), \*3 福岡大学工学部社会デザイン工学科 博士 (工学), \*4 清水建設 名古屋支店 修士 (工学), \*5 福岡大学工学部社会デザイン工学科 修士 2 年

# 報告 山間部における谷止間の保護コンクリートへの長距離圧送事例

○福田 剛士\*<sup>1</sup> 岸 貴典\*<sup>2</sup>

マットコンクリート 配管作業 長距離圧送  
管内残コン処理 洗浄作業

## 1. はじめに

山間部の配管作業によるコンクリート圧送は、地形や気候により施工条件が千差万別であり、難易度の高い現場となることが多い。

ここでは、そのような難工事の現場の一つである、栃木県日光市の男体山における谷止間の保護コンクリート打込みについて報告する。

## 2. 施工条件とポンプ機種の選定

施工時期は、平成23年11月、施工現場は、男体山の6合目付近（標高1600m）における谷止間の落石、崩壊防止のための布製型枠・コンクリートマット「ファブリフォーム」へのコンクリート打込みであった。

コンクリートの配合は21-21-20-N、1日の打込みで必要な圧送数量は約40m<sup>3</sup>で、総打込み打設量320m<sup>3</sup>を8日間で施工することとなった。

コンクリートポンプ車の設置位置から現場までの圧送距離は配管実長で約300mあり、すべてが上り配管で高低差は上り約100mであった。ポンプ根元部の水平配管の距離がわずか12mしか取れず、すぐに鉛直方向への上り配管となるため、水平配管部にコンクリートの逆流防止のため、水密性の高い油圧式ロータリーバルブを設置することとした（写真-1）。



写真-1 油圧ロータリーバルブの様子

実長300mの配管のうち、コンクリートの背圧（バックプレッシャー）を考慮し、ポンプから半分以上の距離160mを高圧配管とし、先端部ではコンクリートマットの打込み箇所へ先端ホースを挿入しなければならないことから、テーパ管で管径を5インチから4インチにしぼり、さらに筒先で3.75インチに絞る先端ホースを使用した。

表-1 コンクリートポンプ車の仕様

形式	IPG90T-12E	
	標準圧仕様	高圧仕様
性能		
理論最大吐出量 (m <sup>3</sup> /h)	90	50
理論最大吐出圧力 (MPa)	6.6	11.8
コンクリートシリンダ径 (mm)	195	
ストローク長 (mm)	1600	
吐出口口径 (mm)	180	
車輛架装形式	配管車	
車両総重量 (t)	12.5	

ポンプ機種は、表-1に示す高圧圧送が可能なピストン式コンクリートポンプ車を選定し、オペレーター1名、筒先作業員2名、計3名での作業とした。

## 3. 配管作業

輸送管の運搬は、モノレールと索道を利用したが、輸送管の設置可能な場所が運搬経路からさらに離れていたため、輸送管の大半は人力で運搬する過酷な作業となった。

また、輸送管を敷設するための経路は地盤がもろく、大きな落石が転がる場所で立木などもないため、不十分な養生を余儀なくされた（写真-2）。



写真-2 輸送管の敷設状況

山間部の上部に行くほど、養生が取れない敷設置場所しかなく、圧送中の振動による輸送管の不慮の脱落が心配さ

れた。

#### 4. 圧送作業

先送り材には、セメント2袋(計50kg)を使用したセメントペーストに続いて、1:3モルタル1m<sup>3</sup>を使用した。

圧送作業時は、ポンプの停止時に輸送管内で発生するブリーディング水を筒先から吐出させないために、ポンプ停止時には通常時以上に逆転運転を行い、ホップで再攪拌を行いながらの圧送作業となったため、1日を通じてかなりの作業時間のロスがあった。

また、圧送中は先端ホースの筒先を常にコンクリートマット内に挿入してあるため、筒先から吐出される生コンクリートのスランプロスなどの変化が目視では確認できないことから、閉塞の危険性を予知することがたいへん難しい状況であった。

北関東地区は、コンクリートの骨材事情が悪い地域であるため、細めの砂を多く使用して流動性の向上を図った結果、ピストン前面圧約12MPaという高压での圧送で、かなりの背圧(バックプレッシャー)があったものの、幸い閉塞に見舞われることはなかった。

1日の作業を通じて、吐出量は平均15m<sup>3</sup>/hでのスローな圧送であったが、圧力は計器類で読み取る限りでは、ポンプ能力の約7割程度まで上がっていた。

打設現場の遠景を写真-3に示す。



写真-3 打設現場の遠景

#### 5. 輸送管内の残コンクリート返送と洗浄作業

急斜面のマットコンクリートの現場のため、残コンクリートが一切周囲にこぼせない状況にあり、段取り替えの際には、切り離す輸送管の手前に4インチのT字管を使用し、その都度ふたを開けてエアコンプレッサで圧縮空気を送り込み、先端部の配管や先端ホース内のコンクリートを打ち込みながら段取り替えを行なった。

作業終了後の輸送管内に残ったコンクリートも、洗浄水を処理する設備が準備できないことから、水送りによる洗浄作業が不可能であるため、エアコンプレッサによる空気洗浄を採用することとなった。打込み箇所先端からエアコンプレッサにより、毎回の圧送作業終了時に、4m<sup>3</sup>以上のコンクリートをトラックアジテータに返送する必要があった。

施工時期は、気温がマイナス5度以下だったため、残コンクリートを圧縮空気で返送後、輸送管内を洗浄するために、先端部から不凍液を使用して5インチの角型の洗浄スポンジを挿入し、再度、圧縮空気洗浄を行った。

高層建築物の圧送作業終了時のように、コンクリートポンプ車のホップへ残コンクリートを戻した後にトラックアジテータへ返送という方法がより安全であると考えたが、気温の低さから考えて、一気に残コンクリートを排出しないと、先行して圧送される洗浄スポンジ付近が輸送管内で凍結する恐れがあったため、このような手段を選択した。

油圧式ロータリーバルブを注意深く開閉し、こまめに圧力を抜きながら安全にトラックアジテータへの返送を終えることができたが、洗浄スポンジが排出される際の圧縮空気による衝撃は緩衝することができないため、返送場所の周囲を立入禁止にして安全の確保を行った。

#### 6. おわりに

高所への圧送という観点のみで見れば、高層建築現場のような鉛直配管作業に比べると容易に感じられるかも知れないが、山間部の過酷な配管条件でのマットコンクリートへの打込みは、たいへん難易度の高い現場であった。

このような難現場においてトラブルのない圧送作業をするためには、施工時の適確な段取り、オペレーターと現場との適宜の連携が必要であるが、施工管理者との事前の綿密な打ち合わせが最も重要であると考えられる。

事前の調査、圧送するコンクリート配合の検討、会議の積み重ねには時間と経費を伴うが、施工が近づいた頃には検討することすら、もはや遅すぎる場合が多い。

今後、特殊なコンクリート圧送の現場に関しては、専門工事業者としての技術提案がますます必要になってくると思われる。

全国には、難易度の高いコンクリート圧送作業を必要とする現場が多々あり、そのための独自の施工技術を有する圧送業者は多い。さまざまな工事報告例を開示し、情報共有を行うことで、コンクリート圧送の技術・技能がさらに成長することとなる。これからも未来へ技術と技能を伝え続けるため、安全かつ高品質な施工に努めていきたいと考えている。

\*1 武谷コンクリートサービス 取締役営業部長, \*2 中久圧送 専務取締役

# 報告 高所長距離圧送への圧送改善剤の適用

○白岩 誠史\*<sup>1</sup> 吉浪 雄亮\*<sup>2</sup>  
 高瀬 清隆\*<sup>3</sup> 泉 達男\*<sup>4</sup>  
 松本 勝\*<sup>5</sup> 田川 理\*<sup>6</sup>

土木工事 水力発電所 長距離圧送  
 高所圧送 圧送改善剤 管内圧力

## 1. はじめに

本工事は、岐阜県飛騨市神岡町の山岳部に位置し、1920年（大正9年）に運転を開始した株式会社神岡鉱業所有の土第一発電所（更新後1865kW）の更新工事である。当工事では、取水口から導水された水を貯水する水槽を新たに構築する工事も含まれ、水槽の建設位置は、写真-1および図-1に示すように、発電所の位置する地上部からは、高低差80m、斜距離で350m程度の山肌に位置し、工事車両が通行できる運搬路はない。そのため、水槽を建設するコンクリートをアジテータ車で打込み箇所まで運搬することは不可能であり、圧送管を斜面に配管して、地上部から圧送する高所への長距離圧送による打込みを選択した。

今回のような高所長距離圧送時は、閉塞の危険性が高いため、主に貧配合のコンクリートの圧送改善を目的として使用されている圧送改善剤<sup>1)</sup>の後添加を検討し、実施工に適用した。本報告では、現場で“ブリーディング試験”、“N式貫入試験”<sup>2)</sup>および“管内圧力測定”を実施し、圧送改善剤の添加量および添加時の性状について考察した。



写真-1 現場状況

## 2. 打込み条件

打込み箇所の断面図を図-1に示す。図中に示す配管の種類（超高压管、中圧管、標準管）は、土木学会発行の“コンクリートのポンプ施工指針（以下、ポンプ指針）”に示された方法<sup>3)</sup>に沿って、表-1に示すように必要吐出圧力を算出し、図-2に示すように水平換算距離と見込まれる管内圧力の関係から決定した。計画時の打込み速度は12m<sup>3</sup>/hであるが、施工開始後、管内圧力を確認しながら、打込み速度を20m<sup>3</sup>/hまで上げたため、打込み速度16m<sup>3</sup>/h、20m<sup>3</sup>/hの場合の必要吐出圧力も併記している。

表-1 必要吐出圧力の算出

打込み速度 (m <sup>3</sup> /h)	作業効率	必要吐出量 (m <sup>3</sup> /h)	水平換算長さ (m)	1m当り圧力損失 (10 <sup>2</sup> MPa/m)	安全率	必要吐出圧力 (MPa)
12	0.4	30	907	0.95	1.25	10.77
16	0.4	40	907	1.20	1.25	13.61
20	0.4	50	907	1.40	1.25	15.87

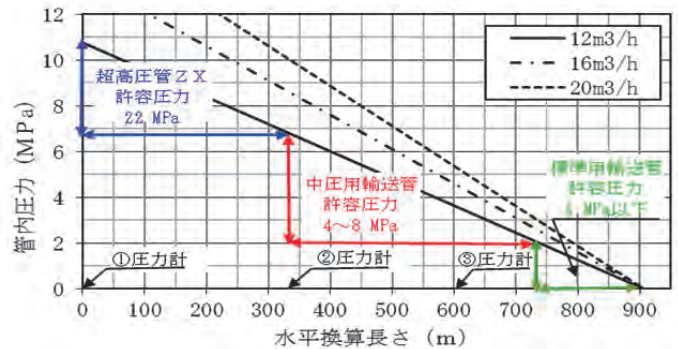


図-2 水平換算距離と管内圧力の想定値

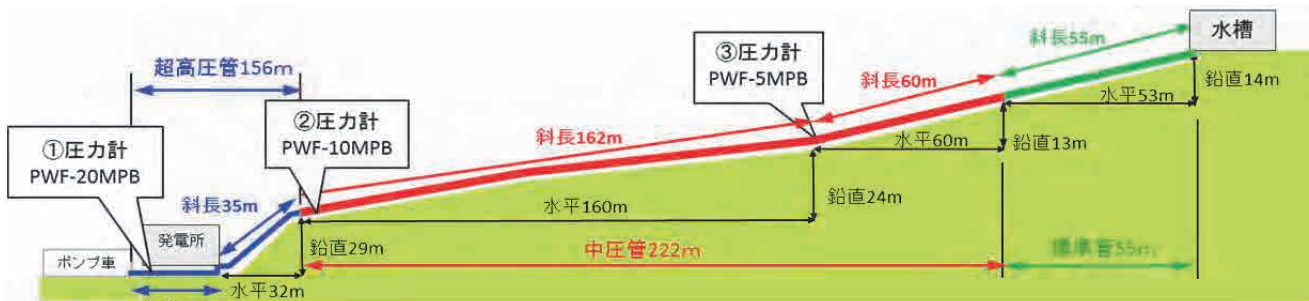


図-1 配管状況断面図

また、今回の管内圧力の計測は、計4回の打込み時に実施し、それぞれの打込み日および打込み条件は表-2、配合は表-3、使用材料は表-4に示す通りである。

圧送改善剤の通常タイプ（以下、タイプN）は、滑剤成分、分離防止成分、流動保持成分、気泡制御成分の4成分からなるが<sup>4)</sup>、粘性低減タイプ（以下、タイプH）は、分離防止成分を除いて、滑剤成分を増加したタイプである。粘性の高いコンクリートは、圧送時の材料分離の懸念は小さいが、粘性が高く圧送圧力が増加するためである。本現場ではこれら2タイプの圧送改善剤の混合使用を検討した。

### 3. 性状確認試験

圧送改善剤を添加したコンクリートの性状を確認するために、ブリーディング試験（JIS A 1123）およびN式貫入試験を実施した。ブリーディング試験は、材料分離抵抗性を比較するため、N式貫入試験は、圧送改善剤を添加したコンクリートの凝結特性を確認することを目的として実施した。

表-2 打込み条件

打込み箇所	打込み日	コン最高温度(°C)	打込み数量(m³)	打込み開始時刻	打込み完了時刻	打込み速度(m³/h)
均しコン	6/28	25.0	24.0	10:00	12:27	9.6
1リフト	7/11	31.0	72.0	9:45	13:58	18.0
2リフト	7/26	29.0	100.0	7:57	12:45	20.0
3リフト	8/10	31.0	56.0	7:42	11:35	7.8

表-3 配合表 (30-18-20N)

W/C (%)	s/a (%)	配合 (kg/m³)				
		セメント	水	細骨材1	細骨材2	粗骨材
47.0	45.3	368	173	683	121	979

表-4 使用材料

材料の種類	内容/物性
セメント	普通ポルトランドセメント (比重 3.15)
水	地下水, 回収水
細骨材1	砕砂 (粗) 比重 2.67, 粗粒率 2.60
細骨材2	砕砂 (細) 比重 2.67, 粗粒率 1.50
粗骨材	砕石 2005, 比重 2.69, 実積率 60%
混和剤	A E 剤 I 種 天然樹脂酸塩 A E 減水剤標準型 リグニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸エーテルの複合体
圧送補助剤	通常タイプ (タイプ N) 粘性低減タイプ (タイプ H)

### 3.1 ブリーディング試験

圧送改善剤のタイプHおよびタイプNの混合量および使用量を変えてブリーディング試験を実施した。その結果を表-5および図-3に示す。

No.1のベースコンのブリーディング量は、0.084cm³/cm²であり、建築学会の基準<sup>5)</sup>が“0.3cm³/cm²以下”であることを考慮すると非常にブリーディング水の少ない配合であると判断できる。次に、分離防止成分の入ったタイプNを1.0kg/m³添加したNo.2は0.045cm³/cm²、添加量を0.5kg/m³に低減したNo.3は0.067cm³/cm²となった。分離防止成分のあるタイプNを増加すると、ブリーディング水が低減できることが確認できた。

次に、タイプNとタイプHをそれぞれ0.25kg/m³混合したNo.4は、ベースコンクリートと同程度の0.081cm³/cm²、タイプHのみを添加したNo.5は、0.090cm³/cm²となり、ベースコンクリートよりもわずかに増加した。

### 3.2 N式貫入試験

圧送改善剤のタイプHおよびタイプNの混合量および使用量を変えてN式貫入試験を実施した。その結果を表-6および図-4に示す。コールドジョイントは、貫入量5~10cm程度で発生することが報告されており、今回の実験では、試験開始後10cm到達時間と、5cm到達時間を管理値とした。

表-5 ブリーディング試験結果

No.	圧送改善剤(kg/m³)		ブリーディング	
	タイプ N	タイプ H	累加水量 (mL)	量 (cm³/cm²)
1	-	-	41	0.084
2	1.0	-	22	0.045
3	0.5	-	33	0.067
4	0.25	0.25	40	0.081
5	-	0.5	44	0.090

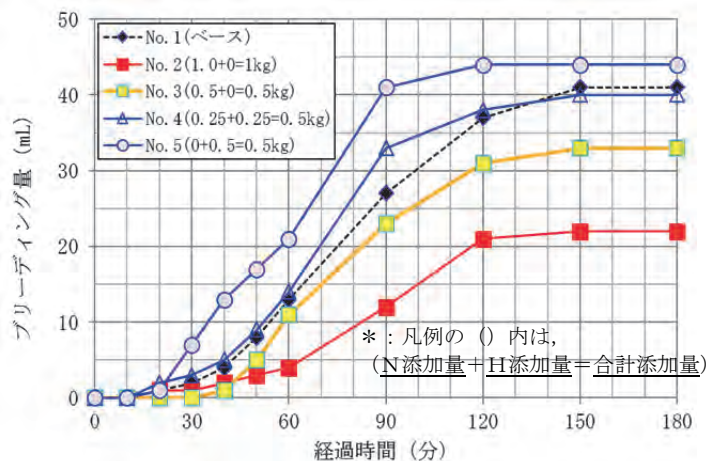


図-3 ブリーディング試験結果



No.1 のベースコンは、試験開始後から貫入量 10 cm までの到達時間は、100 分であった。分離防止成分の入ったタイプ N を 1.0kg/m<sup>3</sup> 添加した No.2 は 84 分、添加量を 0.5kg/m<sup>3</sup> に低減した No.3 は 95 分となった。分離防止成分のあるタイプ N を増加すると凝結を促進させる可能性があることが確認できた。

次に、タイプ N とタイプ H をそれぞれ 0.25kg/m<sup>3</sup> 混合した No.4 は、95 分、タイプ H のみを 0.5kg/m<sup>3</sup> 添加した No.5 は、103 分となり、ベースコンクリートよりも凝結が遅延した。

表-5 N 式貫入試験結果

No.	圧送改善剤(kg/m <sup>3</sup> )		N 式貫入試験	
	タイプ N	タイプ H	10cm 到達時間(分)	5cm 達時間(分)
1	-	-	100	120
2	1.0	-	84	110
3	0.5	-	95	120
4	0.25	0.25	95	127
5	-	0.5	103	127

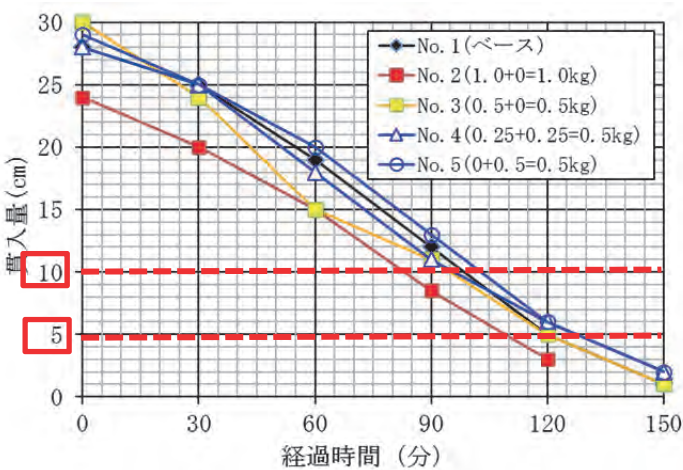


図-4 N 式貫入試験結果

#### 4. 現場適用試験

図-1 に示す位置 3 か所にフラッシュダイアグラム型圧力計を設置し、表-2 に示す 4 回の打込み全てにおいて、2 種類の圧送改善剤の混合量を変えて、0.1~0.5 秒間隔で連続的に圧送管内の圧力を測定した。

##### 4.1 圧送改善剤の混合量の検討

2017年7月26日の2リフト目の計測結果を図-5に示す。グラフ中の黒字は、アジテータ車の累加台数を示している。また、青字は、2種類の圧送改善剤の混合量を示しており、“タイプ N の添加量(kg/m<sup>3</sup>)+タイプ H の添加量(kg/m<sup>3</sup>)”である。圧力計①、圧力計②、圧力計③の管内圧力を連続的に測定した。

次に、図-6には、図-5の計測結果から、アジテータ車1台ごとの圧力計①の最大圧力および平均圧力を算出して、圧送改善剤の添加量と併記した。5~11台目および16~18台目において、タイプ H の添加量を増加させた。その結果、管内圧力は低減し(図-6中の青矢印)、12~15台目まで再びタイプ N のみを添加すると、管内圧力は増加する傾向が確認できた(図-6中の赤矢印)。

また、図-7にスランプロスと管内のコンクリートの滞留時間(ポンプ車ホッパーにアジテータ車から荷卸し後、筒先から搬出されるまでの時間)の関係を示す。また、練混ぜ開始から荷卸し完了(生コン工場で練り混ぜ開始し、筒先から搬出されるまでの時間)までの時間も併記している。図-7から、4台目および24台目のように、タイプ N の混合量が多く、管内の滞留時間が長い場合にスランプロスが大きくなる傾向がある。

圧送改善剤に含まれる材料分離防止成分は、今回の配合のような富配合の場合、管内圧力の微増や管内の滞留時間が延長した時のスランプロスの増加に影響する可能性がある。今後の検討も必要だが、富配合のコンクリートには、滑剤成分を増加させた圧送改善剤を適用することで、管内圧力およびスランプロスの低減効果を確保できると考えられる。

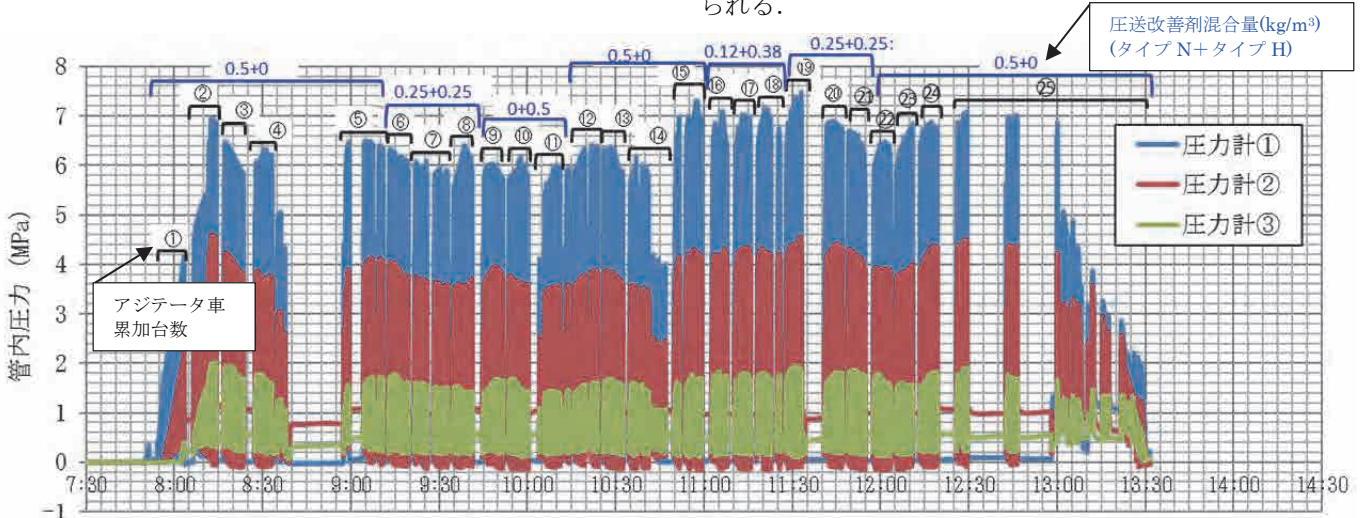


図-5 管内圧力の測定結果

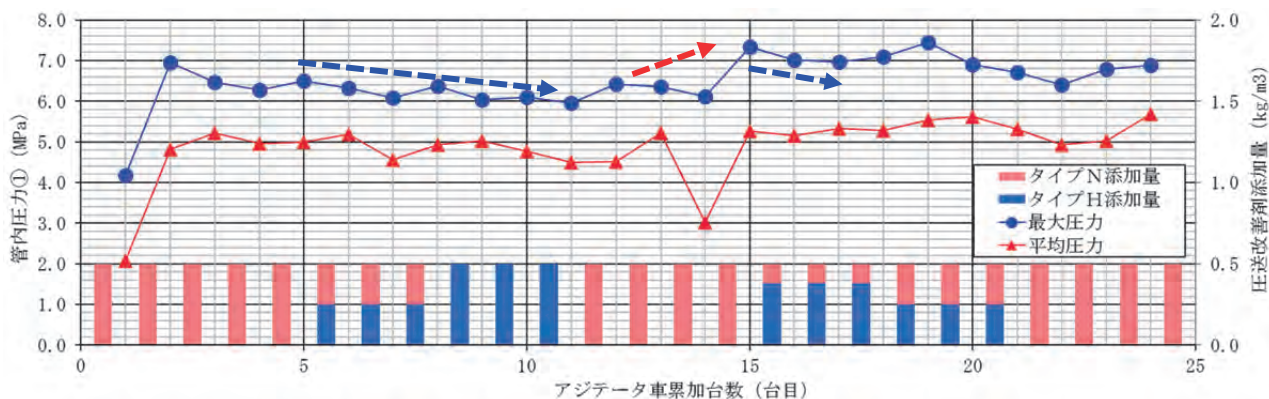


図-6 圧送改善剤添加量と管内圧力①

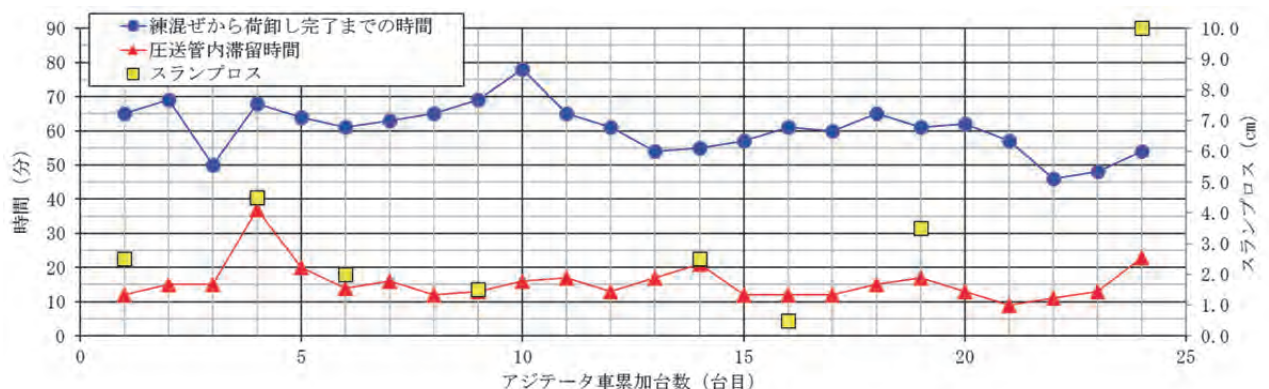


図-7 スランプロスと管内滞留時間の関係

#### 4.2 管内圧力の評価

管内圧力は、実吐出量（圧送速度）を上げると増加する傾向があるため、図-5 から、アジテータ車 1 台当たりの実吐出量を算出し、圧力計①の最大値および平均値を水平換算距離 907m で除して、水平管 1 m 当たりの管内損失を算出し、実吐出量との関係を図-8 に示す。塗りつぶされたマークが圧力計①の最大値、白抜きマークが平均値から算出した値である。また、実績値の直線は、表-1 での計画時の必要吐出圧力の算定に用いた式である。ポンプ指針から引用した。タイプ N を基本とした No.1 と No.2 の最大値が実績値より大きくなったケースもあるが、平均値はすべて大きく低下しており、特に、タイプ H のみを添加した No.4 は、低い圧力となっている。

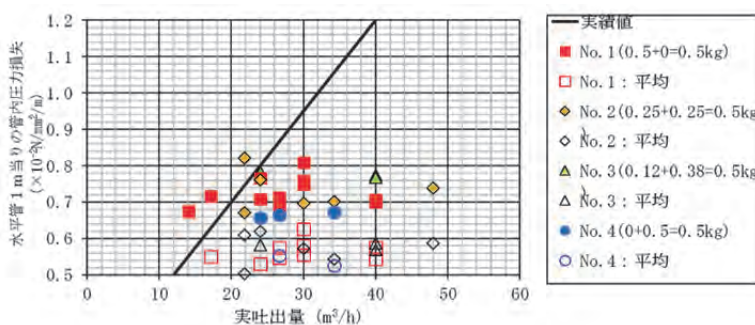


図-8 圧送改善剤添加量と管内圧力損失の関係

#### 5. まとめ

今回のような比較的富配合のコンクリートに、分離防止成分を多く添加すると、ブリーディング水が低減できるが、凝結が促進され、滞留時間が延長した時のスランプロスの増加に影響する可能性がある。そのため、富配合のコンクリートに適用する場合は、圧送による材料分離を防止できる範囲で、分離防止成分を低減し、滑剤成分を多くする方が、圧送性の改善効果（管内圧送圧力の低減、性状保持）が高いと考えられる。

#### 参考文献

- 1) 竹山博之, 北野潤一, 橋本紳一郎, 泉達男, 谷所美明: 圧送改善剤を用いたコンクリートの圧送性に関する検討, 土木学会第 72 回年次学術講演会, VI-137, pp.273-274, 平成 29 年 9 月
- 2) 土木学会: コンクリートライブラリー103 コンクリート構造物のコールドジョイント問題と対策, 2000
- 3) 土木学会: コンクリートライブラリー135 コンクリートのポンプ施工指針 (2012 年版)
- 4) 谷所美明, 泉達男, 橋本紳一郎, 北野潤一: 化学混和剤によるモルタル特性の改質向上に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.1, pp.1255-1260, 2017
- 5) 建築学会: 鉄筋コンクリート造建築物の収縮ひび割れ制御指針・施工指針 (案)・同解説, p.106

\*<sup>1</sup> 安藤ハザマ 土木事業本部 土木設計部, \*<sup>2</sup> 花王 テクノケミカル研究所  
 \*<sup>3</sup> 安藤ハザマ 名古屋支店 神岡作業所, \*<sup>4</sup> 前田化学 東京支店  
 \*<sup>5</sup> 安藤ハザマ 土木事業本部 技術第二部, \*<sup>6</sup> 三井金属エンジニアリング エンジニアリング事業部

# 報告 山間部送電線鉄塔基礎工事における高所・長距離圧送工事事例

○岩永 健二\*<sup>1</sup>      立川 春昭\*<sup>2</sup>  
 吉良 五男\*<sup>3</sup>      児玉 祐治\*<sup>4</sup>  
 近藤 大樹\*<sup>5</sup>

機種選定                      配合計画                      配管敷設・撤去  
 打設作業                      管内残コン処理

## 1. はじめに

平成 28 年 12 月、大分県佐伯市の山間部での送電線鉄塔基礎工事における高所・長距離コンクリート圧送（高低差 120m、配管実長 450m）工事事例について報告する。

## 2. コンクリートの配合計画と先送り材について

表-1 に示すコンクリート配合が計画された。当地域での土木工事における長距離圧送では、比較的少ないセメント量に対して混和剤で分離抵抗性を考慮した配合とされている。細骨材①には山砂と海砂の混合砂、細骨材②には砕砂が使用されている。粗骨材は採石 2005 を使用し、最大寸法は 20mm である。混和剤には標準型 I 種の高性能 AE 減水剤を使用している。

先送り材は、セメント 1 袋 (25kg) を使用したセメントペーストと 1 : 1 モルタル 3m<sup>3</sup> を準備した。

表-1 コンクリートの配合

コンクリートの種類：普通、粗骨材の最大寸法：20mm、セメントの種類：N											
呼び強度	水セメント比 (%)	粗骨材率 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						空気量 (%)	スランプ (cm)	
			W	C	S①	S②	G	Ad			
24	55.0	49.2	169	308	537	358	938	3.39	4.5	18	

## 3. 施工条件と圧送計画、配管の敷設について

鉄塔基礎は全部で 4 基あり、山間部の斜面に設置されるため、深さの異なる基礎 (32m と 20m) が 2 基ずつある。打設量は、深さ 32m の 2 基が 1 箇所につき 130m<sup>3</sup>、深さ 20m の 2 基が 1 箇所につき 100m<sup>3</sup> である。

深さ 20m の基礎は、提灯シュート（入口側 300mm、出口側 200mm）を用いて、それぞれ 1 日で天端まで打ち上げることとした。深さ 32m の基礎は 2 層に分けてそれぞれ 2 日間で打ち込むこととし、1 層目 (50m<sup>3</sup>) は 6 インチ径の提灯シュートを使用し、2 層目 (50m<sup>3</sup>) と 3 層目のロウソク基礎はフレキシブルホースを使用して打ち込むこととした。

計 6 回 (6 日間) の打設計画となり、予定する実作業時間は 1 日につき 5~6 時間である。

ポンプ車が設置できる位置から打設箇所までは配管実長 450m、高低差が 120m (勾配が 20 度から 60 度まで) を要するため、事前の算定では 9.7N/mm<sup>2</sup> の圧送負荷を要することから、表-2、写真-1 に示す圧送能力の高いポ

表-2 コンクリートポンプ車の仕様

形式	BSF32-4,16HZ	
性能	標準圧仕様	高圧仕様
理論最大吐出量 (m <sup>3</sup> /h)	160	108
理論最大吐出圧力 (MPa)	8.5	13.0
コンクリートシリンダ径 (mm)	230	
ストローク長 (mm)	2100	
吐出口口径	175A	
ブーム形式	4 段屈折 Z 型 32m ブーム	
車両総重量 (t)	21.9	



写真-1 使用したコンクリートポンプ車

ンプ車を選定することとした。

配管計画を図-1 に示す。資材置場から索道をケーブルを使用して、輸送管やジョイント類を 3 箇所に分けて降ろし、山肌の斜面を 10 名の作業員にて人力で運搬し 2 日間をかけて敷設した。配管敷設作業の様子を写真-2 に示す。

特に中圧仕様の輸送管やジョイント類は重量があり、一度に少量しか運搬できず、また山肌の斜面も勾配がきつく不安定で滑りやすいため、輸送管類を担いでの移動は過酷な作業となった。

輸送管をすべて接続した後、輸送管が圧送中の振動でずれや脱落を起こさないよう、付近の切り株 30~40 箇所にワイヤとレバブロックを使用して堅固に固定した。

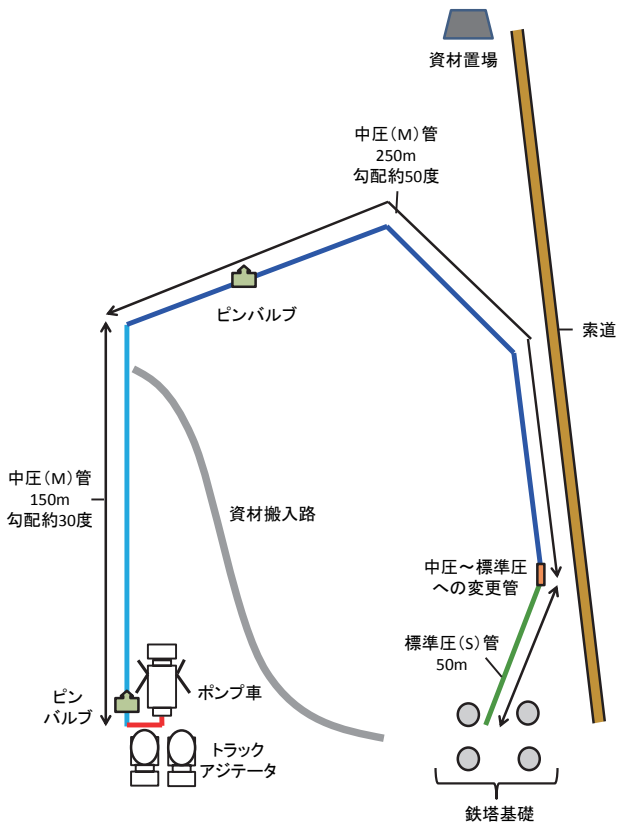


図-1 配管計画図



写真-2 山肌斜面への配管敷設作業の様子

#### 4. 圧送作業

事前の算定では  $9.7\text{N/mm}^2$  の圧送負荷を要したが、選定したポンプ車はツインの油圧ポンプを使用し、ピストン切替時のバックプレッシャ（背圧）による圧送ロスが生じない機種であることから、標準圧仕様にて圧送作業を開始することが可能となった。

圧送作業の序盤では、輸送管を固定した各所のワイヤに緩みが生じていないか、点検のために山間部の斜面を昇り降りする作業が過酷であった。ワイヤは、1箇所を絞ると別の箇所のワイヤが緩み出すなど、調整に困難を極めた。

基礎の底部 32m～16m までの1層目は、6インチ径・長

さ 1m の提灯シュートを必要な長さ分接続して使用し、吐出量  $28\text{m}^3/\text{h}$ 、圧送負荷  $4.3\text{MPa}$  で圧送した。(写真-3～写真-5)。



写真-3、写真-4 基礎第1層目への圧送の状況

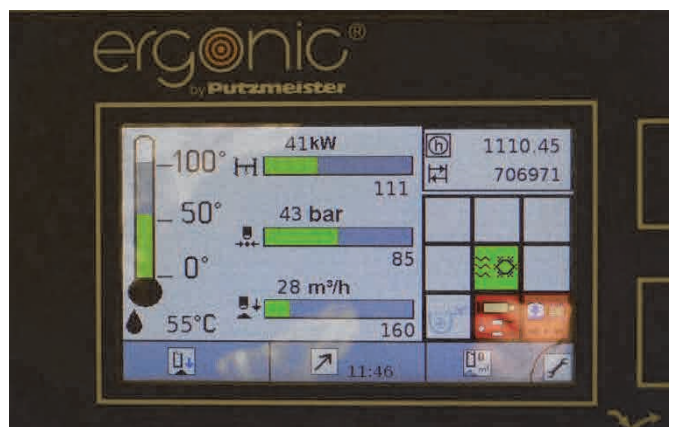


写真-5 吐出量と吐出圧力計の様子（1層目）

2層目は、輸送管先端部から5インチ径・長さ3mのドッキングホースを2本、長さ1mのテーパ管、4.5インチ径・長さ7mのフレキシブルホースを接続して、ジブクレーンでホース類を吊り上げて支持しながら圧送した。打設箇所

の移動、輸送管先端部の段取り替えにもジブクレーンを使用している。吐出量 37m<sup>3</sup>/h、圧送負荷 4.9MPa で圧送を行った（写真-6～写真-9）。最後の3層目となるロウソク基礎は、フレキシブルホースで4箇所を1回の作業で打ち込んだ。

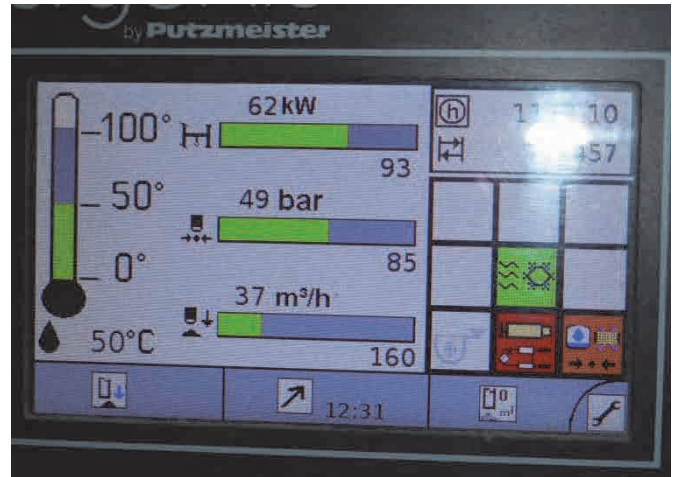


写真-9 吐出量と吐出圧力計の様子（2層目）

長距離圧送で懸念される閉塞等のトラブル発生もなく、計画どおりの工程で無事に全打設作業を終えることができた。

### 5. 長距離輸送管の洗浄と撤収作業

輸送管の洗浄作業は、安全性を考慮して水洗浄とすべきであるが、山間部での長距離配管のため洗浄水の準備や後処理ができないことから、空気洗浄を選定することとした。

1回打設し終えるごとに、打設箇所より輸送管内の残コンクリートをエアコンプレッサーと洗浄スポンジを使用して、ポンプ車設置場所の2台のトラックアジテータまで返送し、再度パール缶2缶分の水で空気洗浄を行った。

なお、返送に先がけ、ポンプ車の根元輸送管付近に接続したピンバルブからポンプ車側の根元輸送管を切り離し、山間部からの残コンクリートをトラックアジテータのホッパへ導くための輸送管を準備し、セメントペーストを注入して輸送管内壁を湿潤させ、ピンバルブを介して山間部からの輸送管に接続した（写真-10）。



写真-6～写真-8 基礎第2層目への圧送の状況



写真-10 返送用輸送管へのセメントペースト注入

また、空気による返送での輸送管の振れや脱落を防ぐため、トラックアジテータのホッパに挿入した輸送管端部をバックホウで押さえながら返送作業を行った（写真-11～写真12）。

終了後にピンバルブを点検すると、ピンが少し湾曲し、使用できない状態であった。

なお、輸送管の撤収作業も、不安定な山の斜面において輸送管を引きずり降ろしながら索道まで幾度も移動する過酷な作業となった。



写真-11～写真-12 残コンクリートの返送の様子

## 6. おわりに

山間部における長距離配管での圧送工事は、輸送管の敷設準備から撤収に至るまで、半世紀近くを経ても人力に頼らざるを得ないところが多く、圧送業者にとっては過酷な現場の一つといえる。

また、閉塞などのトラブルを起こさないよう、日常の現場作業以上に特段の配慮が必要となるほか、洗浄作業における環境への配慮など、綿密な計画と管理に加えて高度な技能が要求される現場である。

最後に、九州圧送事業協同組合連合会の3県の会員圧送会社がポンプ機種の提供と打設作業に協力し、現場の資料収集に尽力されたことに感謝したい。

\*1 九州圧送事業協同組合連合会 技術委員, \*2 九大技建 ポンプ圧送課課長,  
\*3 大分県コンクリートポンプ工業組合 理事長, \*4 児玉圧送工業 代表取締役, \*5 ダイトク 専務取締役

# 報告 深礎杭施工における高所・長距離圧送の事前試験および施工実績

○郷原 倫明\*<sup>1</sup>                      野尻 浩之\*<sup>2</sup>  
 村上 正一\*<sup>3</sup>                      野津 文司\*<sup>4</sup>  
 森脇 彰\*<sup>5</sup>                        澤田 裕太郎\*<sup>6</sup>

土木工事                      高所圧送                      長距離圧送  
 残コン・残水処理        技術提案                      事前圧送試験

## 1. まえがき

島根県松江市において、高所かつ長距離圧送の要請があり、元請の計画に対して詳細の検討を行い、機種選定およびルート変更の提案を行った。この報告は、元請との事前打合せの結果、圧送負荷の計算による圧送方法の検討、事前の圧送試験および残コンクリート・残水の処理についての実施結果を示すものである。

## 2. 施工概要

対象とする構造物は、深礎杭4本（a杭：3.0φ×16.5m, b杭：3.0φ×10.5m, c杭：3.0φ×8.5m, d杭：3.0φ×20.5m）合計320m<sup>3</sup>のコンクリートを3回にわけて3日間で打ち込むものである。圧送条件としては、施工箇所にはポンプの設置場所がないため、ポンプ車の設置場所から延長約300m、高低差100mと、やや難易度の高い条件であった。

深礎杭のコンクリート配合は、粗骨材の最大寸法20mm、普通コンクリートの呼び強度27、目標スランプは18cm、使用セメントは高炉セメントB種であった。圧送の条件を表-1に示す。

施工時期は、平成28年12月12日、13日、14日の冬季であり、深礎杭4本を3日間で打ち込む計画であった。

元請からの圧送条件としては、1日の圧送時間を6時間、ポンプ車には生コン車を2台付けできる環境とし、1日の総圧送量を最大150m<sup>3</sup>とする要望であった。

表-1 圧送条件

打込み部位	マスコン
生コン車配置	生コン車2台付け
1日の総打設数量 (m <sup>3</sup> )	150 (最大)
1日の実作業時間 (h)	6
コンクリート種別	普通コンクリート
設計基準強度 (呼び強度)	27
スランプ	18
セメント種別	高炉セメントB種
圧送高さ (m)	100
地上配管 直管 (m)	250
地上配管 ベント管 (本)	30

## 3. 圧送に関する課題

当初、元請からの要請では、目標とする深礎杭まで最短距離の索道を利用する工事ルートを指示されたが、施工箇所までアップダウンがあるルートであり、圧送には不適切であった。

また、圧送負荷が限界に近い状態であるため、輸送管の洗浄方法と洗浄水の流出を防ぐ処理方法が検討課題となった。

## 4. 圧送計画の変更提案

当初の圧送ルートは、距離は短い傾斜が急であったため、圧送条件を緩和するために、距離は長い傾斜が緩やかで高低差が軽減されるルートを提案することとした。

ポンプの作業効率を0.79とすると、必要吐出量は23.8m<sup>3</sup>/hであり、指定のコンクリート配合での圧力損失から計算すると、8インチ仕様で高圧切り換えのできる機種が必要となるため、写真-1に示すポンプ車（PY115-26C）を選定した。



写真-1 選定したコンクリートポンプ車

また、圧送作業の終了時には、輸送管の洗浄が必要となる。その際、圧送負荷がポンプの能力の限界に近い場合、水ポンプでは残コンクリートを押しきれないと判断し、背圧（自然落下）で下がって来る残コンクリートをサクシオンホースを利用して返し、背圧が小さくなった時、水ポンプで水洗する方法とした。

また、洗浄後の輸送管内の残水は、水ポンプの水返しコックを改良し、輸送管先端部から洗浄用スポンジを入れてエアで押し、残水を水タンクに全て返す方法とした。

変更提案した輸送管ルートと選定したポンプ車の能力をもとに圧送負荷を算定した結果を図-1に示す。

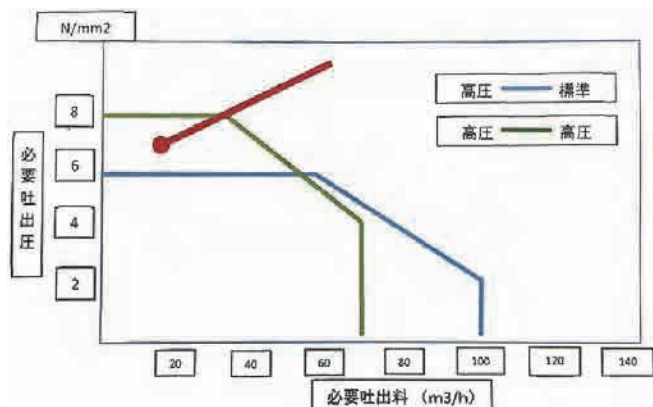


図-1 圧送負荷の算定結果

必要な吐出圧力(丸印のプロット)は、ポンプ車の性能線図(P-Q線図)の高圧仕様での圧送が可能な範囲内にあり、数字上では圧送可能だが、実施工時の様々なリスクを考慮し、元請会社と1次業者との協議の結果、事前の試験圧送を行うこととした。

洗浄作業においても、輸送管の先端部から水洗して水を返却する場所までの試験を行うこととした。また、圧力に負けてストッパーが閉まらない事態を想定し、油圧ストッパーを使用することとした。(写真-2, 写真-3)なお、不測の事態に備えて、現場近くの駐車場内)同型機の予備車を配置することとした。

### 5. 事前の試験圧送、および施工当日の圧送結果について

事前の試験圧送では、先送りモルタル(1:2)1m³に続いて、普通27 18 20 BBの配合のコンクリートを圧送し、計画した吐出量に対して圧送負荷が想定範囲内であることを、近畿生コンクリート圧送協同組合が開発した「ポンプ圧送性評価ソフト」で確認した。これにより、生コンクリートの供給ピッチは当初の計画通りに行えること、段取り替えに伴い圧送を中断する回数も計画どおり行えることが確認できた。

施工当日の圧送においては、トラブル対応のために全員が無線機を携帯し、見えない場所でも連絡を密にできるようにした。背圧(自然落下)で下がって来る残コンクリートをサクションホースを利用して返送する作業の様子を写真-4に示す。

事前に現地踏査を行い、当社からの計画変更の提案と課題点を元請、関連業者と検討したうえで事前の試験圧送と確認を行ったことで、当日は問題なく作業を終える事ができた。結果的に計画通りの工期で完了できたことは、当社に対する元請から評価の向上と、当社の社員全員の自信にも結びつき、今後の施工に十分アピールができる工事事例となった。

### 6. おわりに

コンクリートの圧送に関しては、元請との事前協議が重要となる。今回の事例のような長距離圧送をトラブルなく安全に、予定通りに作業を終わらせるためには、計画段階から元請と打合わせを重ねるほか、関連する生コン会社や打込み業社との協議も必要となる。計画変更の提案に応じてくれた元請の協力に感謝したい。



写真-2 油圧ストッパー(前後に手動式ストッパー)



写真-3 油圧ストッパー(拡大)



写真-4 残コンクリートをサクションホースで返送する作業の状況

\*1 IZUDA (イズダ) 打設・工務 統括部長, \*2 IZUDA 出雲支店 ポンプグループ長,  
\*3 IZUDA 松江本社 ポンプグループ長(土木), \*4 IZUDA 松江本社 ポンプグループ長(建築),  
\*5 IZUDA 松江本社 ポンプグループリーダー(土工), \*6 IZUDA 松江本社 ポンプグループ職長



# 報告 ディストリビュータ工法を適用した高層RC造の圧送施工事例

○関谷 明生\*<sup>1</sup> 川原 崇嘉\*<sup>2</sup>  
 佐藤 隆彦\*<sup>3</sup> 吉田 兼治\*<sup>4</sup>  
 宮田 敦典\*<sup>5</sup> 中田 善久\*<sup>6</sup>  
 大塚 秀三\*<sup>7</sup>

ディストリビュータ 高層RC造 施工記録  
 打込み速度 作業時間 プレキャストコンクリート

## 1. はじめに

ディストリビュータ工法は、コンクリートの打込み箇所の移動をコンクリートポンプ車のブームと同様に行うことができるため、施工階における打込み箇所の移動に伴う配管作業を低減できる。わが国において、ディストリビュータ工法の研究は、複数の報告<sup>1)~3)</sup>がされているものの、高層RC造建築物にディストリビュータ工法を適用した例は少なく、さらに、「ディストリビュータマルチブームシステム」を適用した施工例はわが国においてない。

本報告は、実施工においてディストリビュータ工法を適用した高層RC造の施工記録からクライミング回数と1工区あたりの作業時間および人工の関係、階数と打込み速度の関係について検討したものである。

## 2. ディストリビュータの適用

### (1) 高層RC造の概要

建物概要を表-1に示し、施工階の平面図を図-1に示す。本建物は、プレキャストコンクリートと現場打ちコンクリートの混合構造である。また、コンクリートの打込み

区画は、2工区に分けて施工し、1工区の打込み箇所は柱、梁およびスラブである。

### (2) ディストリビュータの概要

ディストリビュータの仕様を表-2に示す。本工事で採用した「ディストリビュータマルチブームシステム」は、図-2に示すようにコンクリートポンプ車のブームを取り外し支柱に取り付けることで定置式ブームとして使用できるシステムである。ディストリビュータ工法は、施工階における配管作業が不要のため打込み箇所を容易に移動

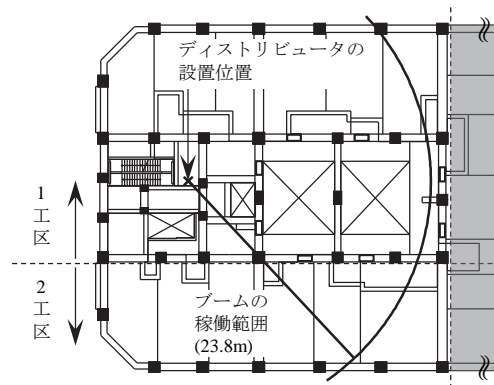


図-1 施行階の平面図

表-1 建物概要

工事名称	川口金山町12番地区第一種市街地再開発事業に伴う施設建築物等建設工事
主要用途	共同住宅 360戸
構造形式	RC造 (HRC構造) 一部S造
階数	地下1階 地上31階
建築面積	2,966.21m <sup>2</sup>
法定延床面積	41,830.20m <sup>2</sup>
建物高さ	99.95m
ディストリビュータ コンクリート打設実績数量	10,054m <sup>3</sup>

表-2 ディストリビュータの仕様

ポンプ	型式	BSF28.16H
	最大理論吐出量	標準: 160m <sup>3</sup> /h 高圧: 108m <sup>3</sup> /h
	最大理論吐出圧力	標準: 8.5MPa 高圧: 13MPa
ブーム	型式	全油圧4段屈折式
	最大水平リーチ	23.8m

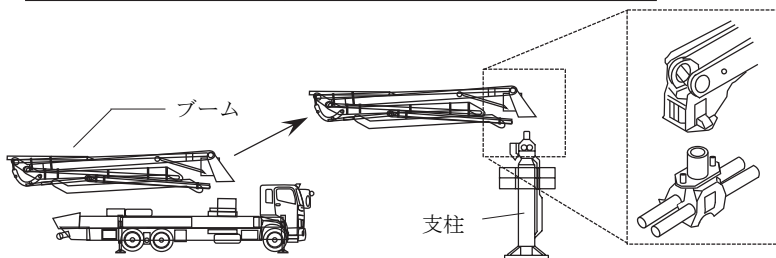


図-2 ディストリビュータマルチブームシステムの概要

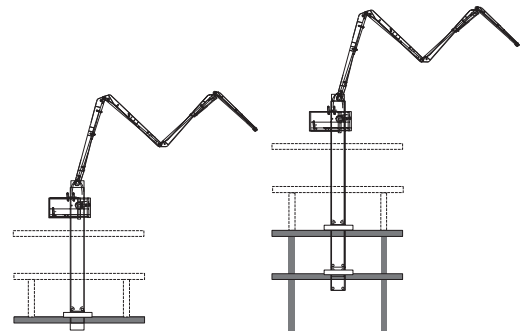


図-3 クライミングの概要

表-3 設計基準強度および打込み量

階数	設計基準強度(N/mm <sup>2</sup> )	平均総打込み量(m <sup>3</sup> )	
		1工区	2工区
29-RF(31)	30	243.1	166.8
23-28	36	237.3	159.3 <sup>*1</sup>
13-22	48	243.7	157.9
7-12	54	242.8	162.0

\*1 柱および圧入の打込み量を含む

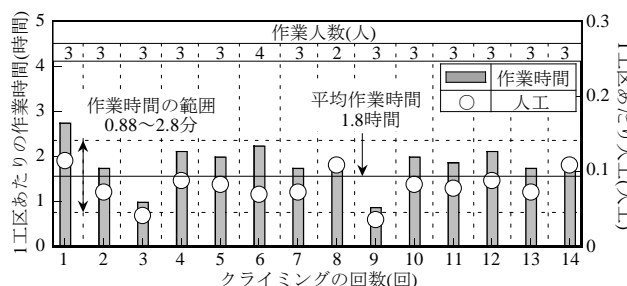


図-4 クライミングの回数と1工区あたりの作業時間および作業人数の関係

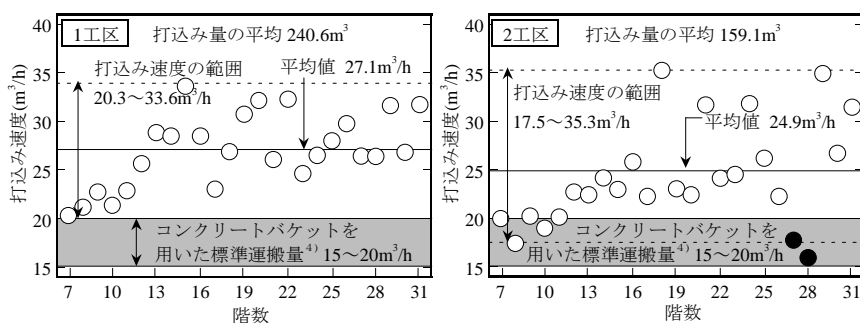


図-5 階数と打込み速度の関係

させることができる。一方で、この工法は、初期設置・撤去の作業に加え、施工階に伴い支柱ごとディストリビュータを持ち上げ延長配管するクライミング作業が必要となる。

そこで、本工事は、図-3に示すようなタワークレーン等の揚重機が不要な自昇機構を備えているディストリビュータを採用し、1度のクライミングで2フロア上昇させることとした。また、本工事において、ディストリビュータは7階から31階までの打込みに適用した。

### 3. 結果および考察

設計基準強度および打込み量を表-3に示す。1工区の打込み量の平均は240m<sup>3</sup>程度であり、2工区の打込み量の平均は160m<sup>3</sup>程度であった。

クライミングの回数と1工区あたりの作業時間および人工の関係を図-4に示す。ここでは、作業員1人が1日(8時間)行う作業量を1人工として扱い、1度のクライミング、すなわち4工区(2フロア×2工区)の作業時間を1工区あたりの作業時間および人工に換算した値を示している。1工区あたりの作業時間は、作業人数の違いがあるものの概ね2時間程度であり、1工区あたりの人工は0.1人程度であった。

階数と打込み速度の関係を図-5に示す。なお、打込み速度は、各階の総打込み量を圧送作業開始から終了までの時間で除した値であり、先送りモルタルの圧送作業時間および休憩時間は、この圧送作業時間から終了までの時間に含まれている。打込み速度は、いずれの工区も16階程度まで増加する傾向を示した。これは、施工階の上昇に伴い

作業員の技術が習熟したためと考えられる。また、17階以上の打込み速度は、ばらつきがあるものの概ね同等の値を示し、施工階による違いは見られなかった。このばらつきは、コンクリートを打込む部材形状の違いやトラックアジテータ車の到着の遅れなどの様々な要因が含まれている。ディストリビュータを用いた打込み速度は、コンクリートバケットを用いた標準運搬量<sup>4)</sup>より

大きくなる傾向を示し、さらに、配管形状による打込み箇所移動に伴う配管作業時間が改善されるため、ディストリビュータ工法を適用することで打込み速度が増加すると考えられる。

### 4. まとめ

本報告は、実施工においてディストリビュータ工法を適用した高層RC造の施工記録からクライミング回数と1工区あたりの作業時間および人工の関係、階数と打込み速度の関係について検討した。その結果、高層RC造の施工におけるディストリビュータの適用は有効であると確信できる。

### 参考文献

- 1) 川村建夫, 青柳隼夫, 佐久田昌治: コンクリート打設における水平ディストリビュータの開発研究 その1 試作機の概要と圧送実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1分冊, pp.415-416, 1985.9
- 2) 豊島謙一郎, 羽田碩幸: コンクリートディストリビュータによる省力化施工-東京・深川流通センター(仮)の建設, セメント・コンクリート, pp.8-18, 1984.4
- 3) 嶋野亨, 川村建夫, 山崎一雄, 青柳隼夫: 建築工事における作業員の労務環境改善を目指すロボットの開発 その3 簡易なコンクリートディストリビュータの開発, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1分冊, pp.5-6, 1993.7
- 4) 日本建築学会: 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事, 2009.2

\*1,\*2,\*3,\*4 ヤマコン, \*5 日本大学理工学部建築学科 助手 修士(工学),

\*6 日本大学理工学部建築学科 教授 博士(工学),

\*7 ものつくり大学技能工芸学部建設学科 准教授 博士(工学)

# 報告 高層建築物におけるコンクリート充填鋼管構造（CFT造）への高強度コンクリート圧入施工に関する報告

○篠原 伊久夫 \*<sup>1</sup>

圧入工法                    高強度コンクリート            CFT造  
高層建築工事            高所圧送

## 1. はじめに

コンクリート充填鋼管造（以下、CFT造）は、鋼管柱内にコンクリートを密実に充填した鋼とコンクリートのハイブリッド構造であり、配筋作業や型枠の組立て・解体作業が不要なことから、事務所建築物などに採用されるケースが多い。こうしたCFT造へのコンクリートの打込み方法としては、圧入工法と落とし込み（充填）工法があり、とりわけ、高強度コンクリートの圧入工法による施工例に関しては、公表されているデータが極めて少ない。

そのため、圧送業者においては、実施工におけるコンクリートの調合、鋼管柱の仕様、圧入口までの輸送管の経路、圧入口の高さ、コンクリートポンプの仕様、現場での圧送負荷などの様々なデータを収集・蓄積し、閉塞や充填不良などのトラブルを生じさせないように、工事実績を積み重ねていくことが重要となる。

本報告は、CFT造高層建築物の鋼管柱内に設計基準強度（ $F_c$ ） $80\text{ N/mm}^2$ の高強度コンクリートを圧入工法で施工した諸データをまとめたものである。

## 2. 建築物の概要

圧入工法によって高強度コンクリートを施工した建築物の概要は、以下に示すとおりである。

- ・ 所在地：東京都千代田区
- ・ 階数（高さ）：地上38階，地下6階（最高高さ199.7m）
- ・ 建築面積：約 $5,700\text{ m}^2$
- ・ 延べ床面積：約 $198,000\text{ m}^2$
- ・ 用途：オフィス，ホテル，店舗
- ・ 構造：地上S造（CFT造），地下RC造，一部SRC造
- ・ 竣工：2014年4月

## 3. 高強度コンクリートの仕様

圧入工法で施工した高強度コンクリートは、建築基準法第37条に基づく国土交通大臣の認定を得たもので、その仕様、計画調合および使用材料は以下に示すとおりである。

- ・ 設計基準強度： $80\text{ N/mm}^2$ （S値： $11.5\text{ N/mm}^2$ ）
- ・ 目標スランプフロー： $60\pm 10\text{ cm}$
- ・ 目標空気量： $2.0\pm 1.0\%$

表-1 高強度コンクリートの計画調合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 ( $\text{kg/m}^3$ )				
		W	C	S1	S2	G
27.0	48.3	155	575	321	481	883

C：3種混合セメント [普通ポルトランドセメント+スラグせつこう系混和材+シリカフューム]

S1：佐野市産石灰岩砕砂

S2：市原市産山砂

G：佐野市産石灰岩砕石

なお、化学混和剤は高性能AE減水剤（F社製）を使用した。また、火災時の爆裂防止用の有機繊維は、CFT造への施工であることから混入していない。

今回の圧入施工に用いた高強度コンクリートの製造工場から現場までの所要時間は、ほぼ30分以内であった。

## 4. 施工計画

圧入施工は、図-1に示すようなフローに従って施工計画を立案し、実施した。以下に、施工計画の具体的な内容を示す。

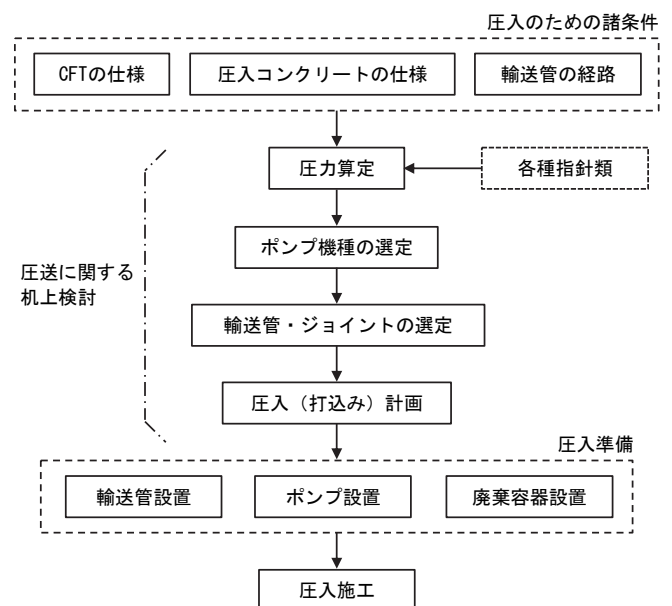


図-1 圧入施工までの流れ

#### 4.1 施工条件

本報告における  $F_c 80N/mm^2$  の高強度コンクリートを圧入施工した鋼管柱（7本）は、当建物の33階FLから35階FL（地上高さ180～188m）にあり、柱の断面寸法は  $0.9m \times 0.9m$ 、内ダイアフラム形式（空気抜き孔径が隅角部に4ヶ所：写真-1参照）で、圧入高さは8m（2階分）である。

鋼管柱圧入口のスライドバルブ（写真-2参照）は、輸送管との接続作業を容易にするため、33階の床レベルから1.5mの高さに取り付けられた。また、作業者がスライドバルブを右側からハンマーで叩いて閉められるよう（右利きを想定）、圧入口の周囲と足元には十分なスペースを確保した。

#### 4.2 輸送管経路

本施工における輸送管経路は、図-1 および図-2 に示すような計画とした。

すなわち、建物1階にコンクリートポンプ（以下、ポンプと略記）を設置し、そこから水平方向の輸送管（以下、水平配管と称す：全長40m）を経て、33階（高さ180m）まで鉛直方向の輸送管（以下、鉛直配管と称す）に接続した。1階の水平配管においては、鉛直配管の立上がり部までに  $90^\circ$  のベント管（半径  $R=1m$ ）を3ヶ所で使用した。

施工階である33階では、1階から立ち上がってきた鉛直配管を水平配管に接続した。33階の水平配管は、鋼管柱に到達するまでの間にベント管を3ヶ所で使用した。水平配管のみで全長は80mである。それぞれの輸送管は、可能な限り最短経路となるよう、直管とベント管で計画した。

なお、本施工で用いたテーパ管（125A→100A）は長さ1mである。



写真-1 鋼管柱の空気抜き孔



写真-2 圧入口のスライドバルブ

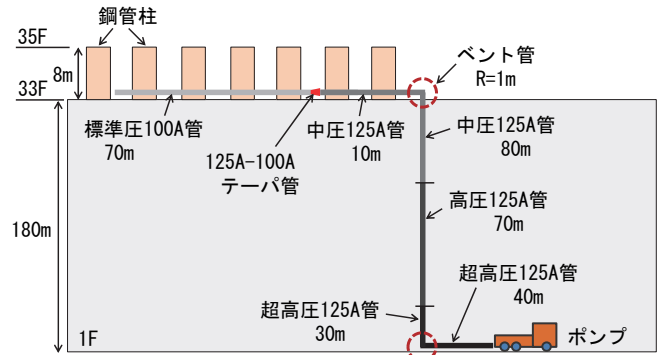


図-1 輸送管経路（立面）

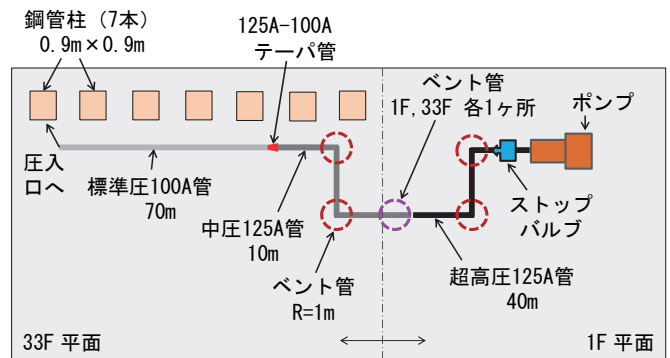


図-2 輸送管経路（平面）

#### 4.3 所要圧力の算定

輸送管経路に基づき、圧入施工時の所要圧力を求めた。鋼管柱への圧入速さを、新都市ハウジング協会「コンクリート充填鋼管（CFT）造技術基準・同解説」<sup>1)</sup>に基づき、最大で  $1m/min$  とすると、鋼管柱の断面寸法が  $0.9m \times 0.9m$  であるため  $48.6m^3/hr$  となる。この結果から、ポンプの最大吐出量の目標値を  $50m^3/hr$  とした。

また、図-1 と図-2 に示す輸送管経路に基づく水平換算長さから算定した圧送負荷  $11.35 N/mm^2$  に安全率 1.25 を乗じ、所要吐出圧力を  $13.19 N/mm^2$  とした。なお、K値はこれまでのポンプの実績および日本建築学会「コンクリートポンプ工法施工指針・同解説」<sup>2)</sup> などに基づき  $0.02 N/mm^2/m$  とした。

以下に、所要吐出圧力 ( $P_{th max}$ ) の算定過程を示す。

125A 直管の水平管が 50m、125A 直管の垂直管 (H) が 180m、125A のベント管 (B) が 3ヶ所であることから、125A の換算長さは次のようになる。

$$125A \text{ 換算長さ} = 50 + 180 + 3 \times 3 \times 1.57 = 244.1m$$

同様に、100A 直管の水平管が 70m、100A のベント管が 3ヶ所、テーパ管 (T: 125A→100A) が 1ヶ所で 1m、フレキシブルホース (F) が 10m であることから、100A の換算長さは次のようになる。

$$100A \text{ 換算長さ} = 70 + 3 \times 3 \times 1.57 + 2 \times 1 + 2 \times 10 = 106.1m$$

これらによれば、圧送負荷 P は以下のようになる。

$$P_{125A} = K \times 125A \text{ 換算長さ} + WH \times 10^{-3}$$

$$= 0.02 \times 244.1 + 24.15 \times 180 \times 10^{-3}$$

$$= 9.23 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{100A} = K \times 100A \text{ 換算長さ}$$

$$= 0.02 \times 106.1$$

$$= 2.12 \text{ N/mm}^2$$

$$P = P_{125A} + P_{100A} = 11.35 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{th \max} = 1.25 \times 11.35 = 14.19 \text{ N/mm}^2$$

ここで、W はフレッシュコンクリートの単位容積重量で、表-1 に示す計画調合に基づき 2415 N/m<sup>3</sup> とした。

#### 4.4 コンクリートポンプの選定

前記のような所要圧力 (P<sub>th max</sub>) の算定結果に基づき、圧入施工には写真-3 に示すような高圧仕様のピストン式ポンプを用いた。ポンプの仕様は、表-2 に示すとおりである。

#### 4.5 輸送管および継手 (ジョイント) の選定

地上に設置したポンプから鉛直立上がり部までの水平配管 (長さ 40m) は最も高い圧力 (14.6 N/mm<sup>2</sup>) が作用すると想定されるため、超高圧仕様 (いわゆる Z 管) の 125A とした。

本建物内に設置した鉛直配管は、高さ 0~30m までは超高圧仕様 (Z 管) の 125A、次いで高さ 100m までは高圧仕様 (H 管) の 125A、高さ 180m までは中圧仕様 (M 管) の 125A とした。

鋼管柱がある地上 33 階の水平配管は、ポンプに最も近い位置 (鉛直配管からの立上がり部) から 10m までは中圧仕様 (M 管) の 125A、次いでテーパ管によって 125A を 100A に絞った後、鋼管柱に最も近い位置までの 70m を標準圧仕様 (S 管) の 100A 管とした。

水平配管、鉛直配管、テーパ管、ベント管および継手 (ジョイント) には、M 社製のものをを用いた。ただし、超高圧仕様の継手については P 社製のものをを用いた。なお、同じ「高圧仕様」であっても、メーカーによって許容圧力が異なるため、輸送管の継手を選定する際には、事前にその仕様を確認しておく必要がある。

本施工における継手の仕様をまとめて、表-3 に示す。

#### 4.6 圧入 (打込み) 計画

##### (1) 高強度コンクリートの圧入

本施工では、ポンプにトラックアジテータを 2 台付けし、高強度コンクリートの圧入が中断しないよう、かつ 1m/min 以内の圧入速度が確保できるようにした。仮に、コンクリート製造工場からの供給状況によってトラックアジテータが 1 台付けとなった場合、あるいはトラックアジテータの到着が遅れた場合には、鋼管柱のダイアフラムの直下で圧入を中断せずにダイアフラムを通過し、その上部にコンクリートが充填されるまで圧入を継続させることとした。ダイアフラムを通過したことが確認されたのを目視またはビデオカメラで確認した後、スライドバルブを閉じ、

輸送管内の残留コンクリートを一旦ポンプに戻すよう操作した。

##### (2) 先送りモルタルの圧送および処理

鋼管柱への圧入施工に先立ち、圧入する高強度コンクリートと同一水セメント比のモルタルを先送り材として圧送した。圧送は、輸送管を鋼管柱に一旦接続し、接続が確実にできることを確認してから行った。



写真-3 圧入施工に用いたコンクリートポンプ

表-2 コンクリートポンプの仕様

形式	BSF2110-HP	
	標準圧仕様	高圧仕様
性能		
理論最大吐出量 (m <sup>3</sup> /h)	106	69
理論最大吐出圧力 (MPa)	15.0	22.0
コンクリートシリンダ径 (mm)	200	
ストローク長 (mm)	2100	
ホッパー容量 (m <sup>3</sup> )	0.90	
吐出口径 (mm)	125A	
車輛架装形式	配管車	
車両総重量 (t)	16.7	

表-3 輸送管の継手の仕様

高さ	許容圧力 (MPa)	仕様 *1
180m	0.65	S *2
180m	2.14	S *3
180m	2.57	M
150m	4.38	M
130m	5.58	M
100m	7.38	H
80m	8.58	H
50m	10.38	H
30m	11.59	Z
地上 (0m)	14.6	Z *4

注) \*1 Z: 超高圧, H: 高圧, M: 中圧, S: 標準圧  
 \*2 圧入口の 7m 手前  
 \*3 125A から 100A へのテーパ管  
 \*4 ポンプ直近

本施工では、本建物内に下層階の施工のため水平配管と鉛直配管を既に設置しており、輸送管の各継手部の隙間に先送りモルタルが奪われることがほとんどないと考えられることから、必要最小量である  $1.0\text{m}^3$  とした。

なお、先送りするモルタルには JIS 規格がないため、鋼管内に打ち込まず廃棄する必要がある。そのため、鋼管柱の直近にフネを準備し、その中に圧送したモルタルを排出した。先送りモルタルがすべて輸送管から排出され、粗骨材を含む高強度コンクリートが輸送管から出てくることが目視確認されてから、圧入施工を開始した。

### (3) 残留コンクリートの処理と輸送管の盛替え

鋼管柱の圧入高さが残り 2m 以下になった時点で、圧入速度に応じて時間計測（秒読み）を行い、ポンプのホップ容量 ( $0.90\text{m}^3$ ) を確認したうえで、トラックアジテータからのコンクリートの供給を停止した。充填施工が終了した時点でポンプからの圧送停止を確認し、圧入口のスライドバルブを閉じた。

その後、圧入口に接続した輸送管を取り外し、輸送管の先端からクリーナーボール（洗浄用スポンジ）を入れ、ポンプを逆転運転させた後に輸送管を切り離し、次の鋼管柱に盛り変えた。なお、逆転運転が困難な場合には、事前に準備した簡易なエアコンプレッサで補助してコンクリートを戻すこととした。

なお、前述のような鋼管柱の位置と仕様（寸法、高さ）、圧入するコンクリートの調合のほか、輸送管経路、ポンプを含む資機材の選定、輸送管の固定方法、先送りモルタルと輸送管内の残留コンクリートの廃棄方法、トラックアジテータの台数（1 台付けか 2 台付けか）、圧入スケジュール（時間あたりの打上がり量）、鋼管柱内充填状況の確認方法、緊急時を含む連絡体制とその方法などに関しては、事前に綿密な打合せを行ったうえで決定した。

## 5. 圧入施工の状況

### (1) 施工体制

本施工は、施工会社（元請）の施工総指揮者の下、ポンプのオペレータ 1 名、サポーター（筒先作業員）3 名の 4 名体制で実施した。施工中は、圧入の開始や停止が直に行えるよう、施工総指揮者、オペレータおよびサポーターの相互間で常に無線連絡が取れるようにした。

### (2) 施工開始前の準備

各圧入口上部には、図-3 に示すように、圧入する柱の順番、時間あたりの吐出量、圧入開始時刻などを表示する工夫をし、作業関係者間で周知を図るようにした。

### (3) 圧入状況

現場に到着した高強度コンクリートのフレッシュ性状は、圧入施工に支障をきたすこともなく、7 本の鋼管柱に対する施工は滞りなく終了することができ、充填性も良好

であった。なお、ポンプの計器類から計測した圧送負荷は平均  $12.9\text{ N/mm}^2$  ( $P_{th\max}$  の約 91 %) であり、今回使用したポンプの最大吐出圧力に対して十分な余裕があることが確認された。

今回の施工では、現場から比較的近い位置（運搬時間 30 分以内）にあるコンクリート製造工場から出荷されたため、高強度コンクリートのフレッシュ性状が低下することはほとんどなかったが、都内でも新宿区などでは、工場からの運搬時間が 60 分を超える場合もある。こうした地域での圧入施工に関しては、運搬時間を考慮してコンクリートの調合（混和剤の添加量など）を調整するなど十分な配慮が必要と考えられる。

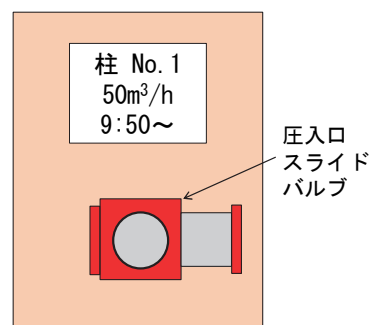


図-3 鋼管柱圧入口における表示例

## 6. まとめ

CFT 造への高強度コンクリートの圧入は、実際の施工現場における圧力計測のデータが少ないため、トラブルなく圧送を可能とするための事前の判定が難しい。高強度コンクリートの場合、同じ水セメント比（水結合材比）であっても、製造工場によって使用骨材の岩種や粒径、化学混和剤の種類などが異なるため、圧入施工時のポンプの圧力に差が生じることがあり、圧送可否に大きく影響を及ぼすと考えられる。

以上から、より安全でより良質な施工を行うには、施工管理者（元請）と圧送業者との間で入念な事前協議を行うこと、さらには確実な連絡体制を構築することが必要といえる。今後は、今回のような CFT 造（鋼管）の断面寸法や直径、圧入口の高さ、圧入コンクリートの調合、使用ポンプの機種、輸送管の仕様と設置状況、コンクリートの充填性など種々の施工データがより多く公表、蓄積されることに期待したい。

### 参考文献

- 1) 新都市ハウジング協会：コンクリート充填鋼管（CFT）造技術基準・同解説，2012
- 2) 日本建築学会：コンクリートポンプ工法施工指針・同解説，2009

\*1 土井企業 工事部部長

# 報告 下方圧送における管内圧力の計測結果報告

○竹下 正臣\*1 早水 久司\*2  
加藤 孝幸\*3

地下 下方圧送 閉塞  
管内圧力 最高使用圧力 材料分離

## 1. はじめに

コンクリートポンプ車のブームを使用して大深度地下階に向けたコンクリート圧送時には、その打設条件によって配管損傷や材料分離などが発生する可能性があり、ドッキングホース及び先端ホースへの圧送負荷が大きくなる。

これらの配管材の破損を防止し、安全な圧送計画立案や品質の確保を目的に、コンクリートポンプ車の配管圧力を計測した結果を報告する。

## 2. 実験概要

コンクリート打設場所に至る経路に於いて、ドッキングホース及び先端ホースには、圧送による劣化や摩耗の影響を比較する為、未使用のドッキングホースと、既に一定量(2300 m<sup>3</sup>程度の打ち込み)の圧送に使用したものをを用いた。

また、スランプ値を標準に設定した場合と、使用限度内の下限値のスランプにて圧送負荷を増大させた場合の計3種類の実験を行った(表-1)。

### 2.1 使用材料及びコンクリートの配合

細骨材は山砂と砕砂を 6.5 : 3.5 で使用した(表-2)。コンクリートの目標スランプは 15±2.5cm, 目標空気量は 4.5±1.5%とした(表-3)。

### 2.2 コンクリートポンプ車

コンクリートポンプ車は BSF38-5.16HZ (理論最大吐出量: 160m<sup>3</sup>/h (標準), 理論最大吐出圧: 8.5MPa (標準), シリンダ径: 230mm, ストローク長: 2100mm, シリンダ数: 2, 吐出口口径: 175A, ホッパー: 0.6m<sup>3</sup>) を使用した。

表-1 実験の種類

実験	圧送方式	ドッキングホース種類, 長さ(M)	スランプ (cm)
①	ブームによる圧送	未使用, 4	15.0
②		一定量の圧送に使用, 4	15.0
③		一定量の圧送に使用, 4	12.5

表-2 使用材料

材料名	名称・種類	品質・性状・主成分
セメント	中庸熟ホトライトセメント	密度: 3.21 g/cm <sup>3</sup>
水	工業用水	—
細骨材 (6.5:3.5)	千葉県富津産山砂	表乾密度: 2.61 g/cm <sup>3</sup> , 粗粒率: 2.00 %
	青森県八戸産砕砂	表乾密度: 2.66 g/cm <sup>3</sup> , 粗粒率: 3.85 %
粗骨材	青森県八戸産砕砂 2005	表乾密度: 2.70 g/cm <sup>3</sup> , 実績率: 61.0 %
混和剤	AE 減水剤 (標準形)	ポリカルボン酸ポリエーテル系

表-3 コンクリートの配合

設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	スランプ (cm)	粗骨材最大寸法 (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
						W	C	S	G	Ad
30	15	20	4.5	47.0	44.1	174	371	774	1005	3.34

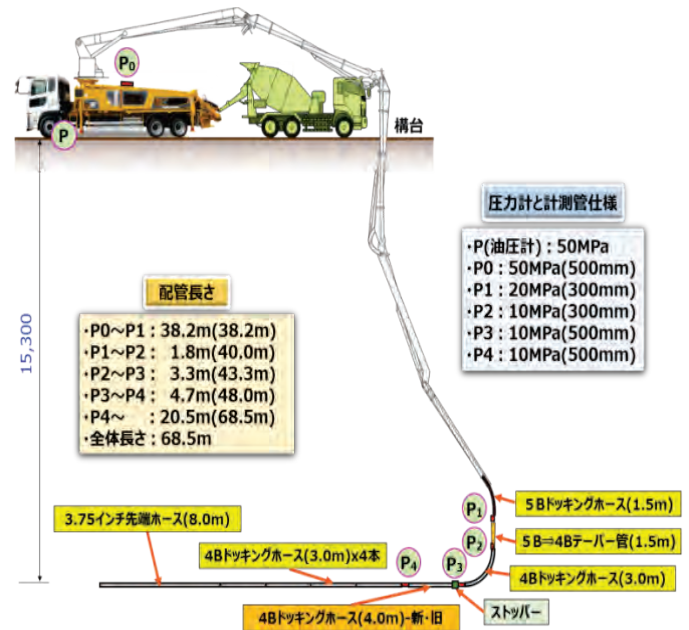


図-1 コンクリートポンプ車と配管及び、圧力計の配置状況

### 2.3 配管及び計測項目

コンクリートポンプ車本体に P 及び P0, ブーム先端からの配管と接続部各所に圧力計 P1-P4 を配置した (図-1)。配管の詳細及び各配管の最高使用圧力を以下に示す (表-4, 表-5)。

地上1階からコンクリートポンプ車のブームを使用して地下階への打ち込みを行うために、ドッキングホース、テーパ管、計測管、先端ホースを使用して垂直距離約15m、水平距離43.5mの全長68.5mとした。

P3~P4間のドッキングホースには、未使用のドッキングホースと使用済ドッキングホースの2種類を使用した。

ポンプ車及び配管に圧力計を設置してポンプ車の圧送油圧とコンクリートの管内圧力を P0~P4 で計測した。

また、圧送前後のフレッシュコンクリートの品質を確認した。

### 2.4 圧送方法

初めに無負荷状態の各圧力計の圧力を測定したのち、コンクリートの圧送を行い、圧力計 P0-P4 の計測を行った。

実験①は、P3-P4間に4mの未使用のドッキングホースを配管して圧送実験を実施した。圧送速度は、10, 30, 50, 70, 90, 100 m<sup>3</sup>/hに変更しながら管内圧力を計測した。

実験②は、P3-P4間に使用済の4mドッキングホースを配管して圧送実験を実施した。圧送速度は、10, 30, 50, 70, 90, 100 m<sup>3</sup>/hに変更しながら管内圧力を計測した。

実験③は、実験②のドッキングホースを使用して、スランプ12.5cmのコンクリートを圧送実験した。圧送速度は、30, 50, 70, 90, 100 m<sup>3</sup>/hに変更しながら管内圧力を計測した (写真-1)。

## 3. 実験結果

実験は、外気温が25~28℃の晴天の条件下で実施した。

荷卸し時と筒先のコンクリートを用いた圧送前後のスランプ試験結果を示す (図-2)。

圧送後のスランプは、ドッキングホースが未使用であるか、使用済であるか並びにスランプの値によらず、全てのスランプが圧送前より0.5~2.0cm程度小さくなる傾向であり、また、圧送後の空気量は、圧送前と同値または0.2~0.9%大きくなる傾向が見られた。

### 3.1 吐出量と管内圧力

配管長さ及び管内圧力 P0~P4 との関係を図-3から図-6に示す。管内圧力は垂直配管の P1~P2 のテーパ管で P2 の圧力が増大した。また、未使用のドッキングホースを用いた場合と使用済ドッキングホースを用いた場合で圧力に顕著な差は見られなかった。

表-4 配管の詳細

測定点	輸送管の種類	管径	長さ (m/本)	本数 (本)	延べ長さ (m)	備考
P0~P1	ブーム (P0)	125A (5B)	36.7	—	36.7	
	ドッキングホース	125A (5B)	1.5	1	38.2	
P1~P2	計測管 (P1)	125A (5B)	0.3	1	38.5	
	テーパ管	125A (5B) → 100A (4B)	1.5	1	40.0	
P2~P3	計測管 (P2)	100A (4B)	0.3	1	40.3	
	ドッキングホース	100A (4B)	3.0	1	43.3	
P3~P4	計測管 (P3)	100A (4B)	0.5	1	43.8	
	ストッパー	100A (4B)	0.2	1	44.0	
	ドッキングホース	100A (4B)	4.0	1	48.0	交換
P4~	計測管 (P4)	100A (4B)	0.5	1	48.5	
	ドッキングホース	100A (4B)	3.0	4	60.5	
	先端ホース	3.75 インチ	8.0	1	68.5	

表-5 各配管の最高使用圧力

	先端ホース	ドッキングホース	ブーム配管
最高使用圧力	8bar (0.8MPa)	30bar (3MPa)	80bar (8MPa)
破壊圧力	39bar (3.89MPa)	100bar (10MPa)	—
ブーム車吐出圧力	50bar (5MPa) ~ 85bar (8MPa)		

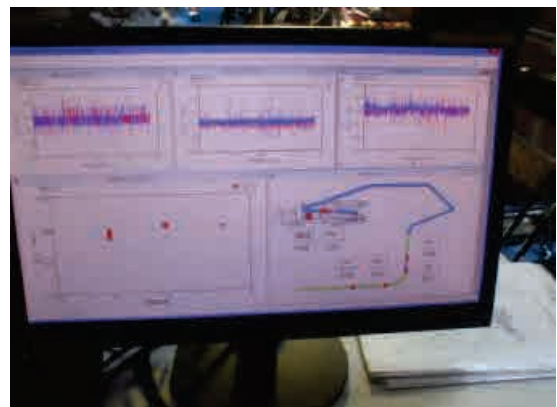


写真-1 圧力計での計測の状況



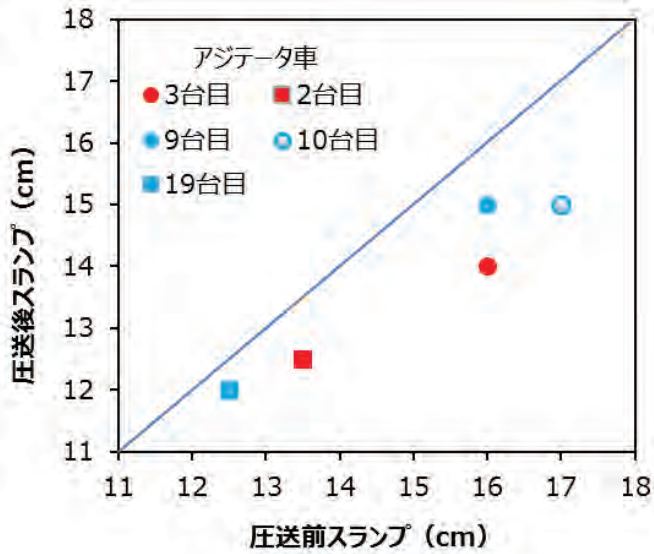


図-2 圧送前後のコンクリートのスランブ試験結果

スランブ 12.5~13.5cm のコンクリートを圧送した場合の管内圧力は、スランブ 15.0cm のコンクリートを圧送した場合に比べて高い値を示した。

実験①について、吐出と管内圧力 P0~P4 との関係を図-3 と図-4 に示す。未使用のドッキングホースを用いた場合、荷卸し時のスランブ 13.5cm の吐出量が荷卸し時のスランブ 16.0cm より 11m<sup>3</sup>/h 程度小さくなったが、最大圧力はほぼ同等の値であった。したがって、同一吐出量の場合は、スランブの小さいアジテータ車 2 台目のコンクリートの方が最大圧力が高くなる。また、ドッキングホースの最大使用圧力が 3.0MPa に対して、テーパー管の先の P2 の最大管内圧力がドッキングホースの最大使用圧力の 90%以上を示しており、P2 以降のドッキングホースが破裂する可能性がある。

実験②について、配管長さ と管内圧力 P0~P4 との関係を図-5 に示す。使用済ドッキングホースを用いた場合、アジテータ車 9 台目 (荷卸し時のスランブ 16.0cm) とアジテータ車 10 台目 (荷卸し時のスランブ 17.0cm) で吐出量に大きな違いは無く、各配管の最大圧力も同等の値であった。また、ドッキングホースの最大使用圧力は 3.0MPa に対して、P3 の最大管内圧力はドッキングホースの最大使用圧力を下回り、使用済ドッキングホースを用いた影響は少ない。

実験①と同様に、テーパー管の先の P2 の最大管内圧力がドッキングホースの最大使用圧力の 90%以上を示し、P2 以降のドッキングホースが破裂する可能性がある。

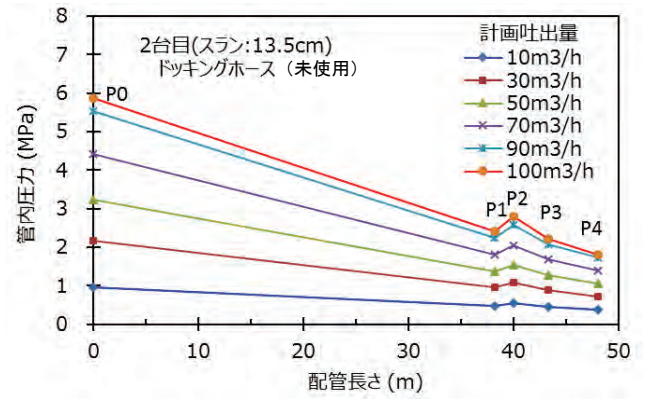


図-3 配管長さ と管内圧力 の関係 (実験①)

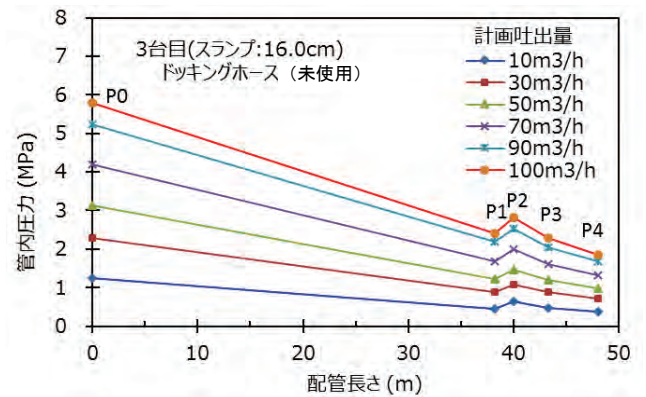


図-4 配管長さ と管内圧力 の関係 (実験①)

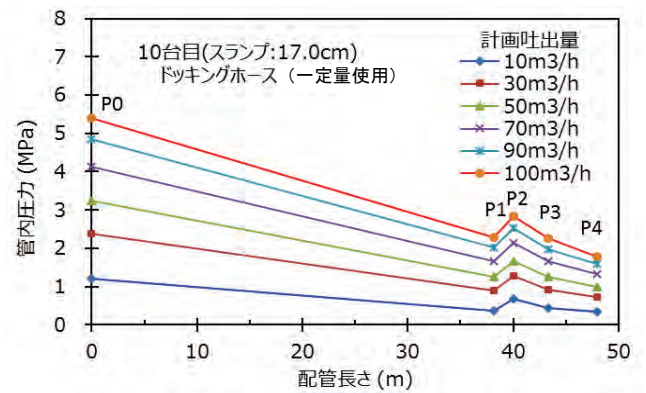


図-5 配管長さ と管内圧力 の関係 (実験②)

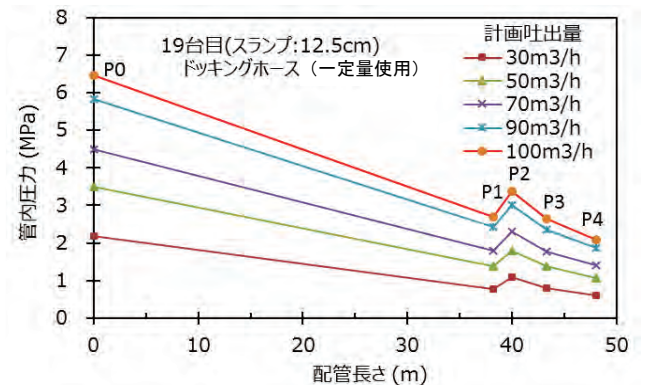


図-6 配管長さ と管内圧力 の関係 (実験③)

実験③について、配管長さと管内圧力 P0～P4 との関係を図-6 に示す。

使用済ドッキングホースを用いた場合、スランプ 12.5cm のコンクリートの最大圧力は実験②のスランプ 16.0cm～17.0cm のコンクリートよりも最大圧力が高くなった。また、ドッキングホースの最大使用圧力は 3.0MPa に対して、P3 の最大管内圧力はドッキングホースの最大使用圧力の約 90%を示し、テーパ管の先の P2 の最大管内圧力は最大使用圧力を大きく超えた。

以上から、荷卸し時試験でのスランプの小さいコンクリートを圧送した場合、ドッキングホースの条件に関わらず、最大圧力は増大する傾向がある。

#### 4. 今後の圧送計画

##### 4. 1 打設前

- ・ ホース、配管の廃棄目安：最大打込み量を設定する（3,000m<sup>3</sup>程度）。
- ・ ホースの目視確認：配管内面ゴムのめくれ、スパイラル筋の露出、損傷、外面の膨らみ、変形の有無を確認する。
- ・ ホース養生：圧送時のホース破損によるコンクリートの飛散を防止する為にホースをサニーホースで養生する。

##### 4. 2 打設中

- ・ 圧送速度、配管圧力の注視：異常圧力発現時には緊急停止する。
- ・ テーパ管では直径がサイズダウンされた部位の圧力が増大する為、圧送負荷の軽減を目的に、テーパ管の次に接続する配管は金属管とする。
- ・ 圧送中断時の対応：ホース内に骨材が残った場合は、再圧送時のコンクリートの閉塞を予防する為に、その都度排出する。
- ・ フレッシュコンクリートの練り混ぜ：骨材が分離すると配管内に骨材が残り閉塞しやすいため、コンクリートの荷卸し前には、アジテーター車のドラムを所定の時間回転させてコンクリートを再攪拌する。
- ・ 練り上りから荷卸し時間の短縮：待機時間が長いほどコンクリートのスランプが低下し、圧送条件が悪化する為、適切な時間配分で打設する。
- ・ 良質な骨材の使用：長細い骨材や角の立った粗悪な骨材は配管を痛めやすく、配管の亀裂・破裂に繋がる為、安定した品質の骨材を使用する。
- ・ 適切な打設量：1日の打込み量が多いと、時間当りの排出量が比例して多くなり、ホースの異変や閉塞の兆候を見落とす可能性がある為、余裕のある打設計画とする。

- ・ 打込み箇所の限定：段取り替えの度に、再圧送による高圧負荷が発生するため、連続して打設できる圧送計画とする。

#### 5. まとめ

- (1) 圧送後のスランプは、ドッキングホースの条件に関わらず、圧送前のスランプより 0.5～2.0cm 小さくなった。
- (2) 圧送後の空気量は、ドッキングホースの条件に関わらず、圧送前より 0.2～0.9%大きくなった。
- (3) 未使用のドッキングホースと、使用済ドッキングホースを用いた場合は、圧送性・管内圧力に顕著な差は見られなかった。
- (4) P3～P4のドッキングホースの直前の圧力であるP3の最大圧力は最大使用圧力内であったが、荷卸し時のスランプが 12.5cm のコンクリート圧送時の管内圧力はその他の計測点より最も高い値を示した。
- (5) 荷卸し時の受入れ試験でのスランプの小さいコンクリートを圧送した場合、ドッキングホースの条件に関わらず、管内圧力および最大圧力は増大する傾向がある。

実験を通じて、より安全かつ適切な作業を行うためには、過去の経験や感覚に頼る作業から、配管の使用履歴の地道な確認や、データに基づく圧送計画を立てる必要性があると感じた。

#### <参考文献>

- 1) 日本建築学会：コンクリートポンプ工法施工指針・同解説，2009

# 報告 分岐管工法によるLNG地下式貯槽底版コンクリートの54時間連続打込みに 関する報告

○高野 博\*<sup>1</sup> 荒川 雄大\*<sup>2</sup>  
山田 大章\*<sup>3</sup>

分岐管工法                      大容量打設                      低所圧送  
排気ガス燃焼装置              凝結遅延剤

## 1. はじめに

液化天然ガス (LNG) 地下式貯槽の底版コンクリートは、外側の地下水に対する水密性が求められるとともに、広範囲にコンクリートを打ち込むため、コールドジョイントの発生が危惧される。また、底版全体を均一な高さで打ち込む場合、打込み面積に対するコンクリートの時間あたり可能な供給量が少なくなることが想定されるため、ブームによる圧送では、頻繁に筒先を移動しなければならない。そのため、LNG地下式貯槽の底版コンクリートの打込みには、同時に筒先を多く設けて打継ぎ時間を短くすることができる分岐管工法が有効となる。本報告では、分岐管工法によるLNG地下式貯槽の底版コンクリートの打込みにおける配管計画と圧送作業、また、同工法での圧送作業において留意しなければならない諸事項について報告する。

## 2. 工事現場の概要と配管計画

工事対象のLNG地下式貯槽タンクは、富津火力発電所(千葉県富津市)に増設した貯槽能力12.5万klの2基(9, 12号)である。打込み時期は、9号貯槽が2016年5月中の3日間、12号貯槽が2016年11月中の3日間であった。

底版コンクリートの分岐管工法による配管計画図を図-1および図-2に示す。底版は鉄筋コンクリート構造で、高低差約30m、総打設量18,000m<sup>3</sup>を21層に分けて3日間で打ち込む計画とした。

ポンプ車はタンクの周囲に8台のポンプ車を設置し、予備車のポンプ車2台も待機させた。選定したポンプ車はピストン式で、最大理論吐出量:115~160m<sup>3</sup>のものを使用した。8台のポンプ車が担当する打込み範囲は図-1に示すように、底版を3つの同心円に分け、4台が外周の円を4分割した範囲、3台が中間の円を3分割した範囲、1台が中心部の円を担当し、それぞれの打込み範囲でY字管により8箇所 of 打込み口に分岐した。

配管については、高さ約30mの位置に設置したポンプ車から底版までの鉛直配管に10kgのフランジ付きで6本のボルトで締めて接続する中圧管を使用し、底版の水平配管部からは標準圧管に変更した。中心部の円の打込みを行うポンプ車においては、底版の中心部までの水平配管距離が102mであった。また、鉛直部から底版部に移った配管部



図-1 分岐管工法による配管計画図

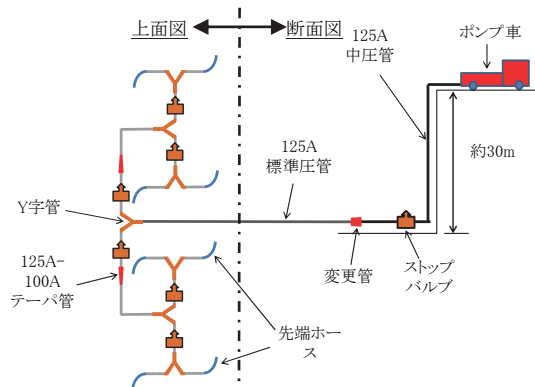


図-2 分岐管工法による配管計画図

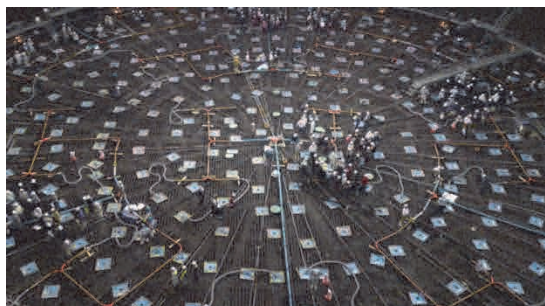
分において、特にY字管で分岐した後の配管部には、段取り替え等による材料分離防止及び閉塞への対応として、ストップバルブを設けた。打込み口に接続する8本の先端ホースのうち7本は、移動を容易にするためビニール製のホースが採用され、残る1本は打ち上がった最後の天版を打ち込むため、通常のフレキシブルホースを使用した。

## 3. コンクリートの配合

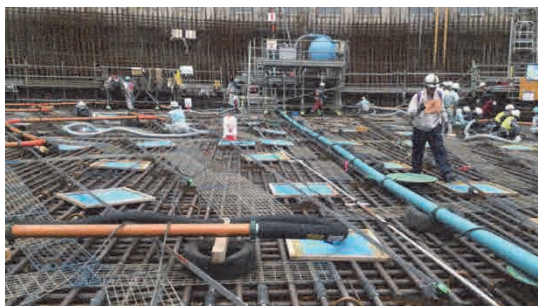
底版コンクリート配合を表-1に示す。事前に底版コンクリートの構造条件及び温度応力の影響を検討し、セメントには普通ポルトランドセメントを使用した。底版コンクリートの最後の天版を打ち込む際は、下層コンクリートとの打継時間が長くなるため、コールドジョイントの防止対策として凝結遅延剤を使用した。

表-1 底版コンクリートの配合

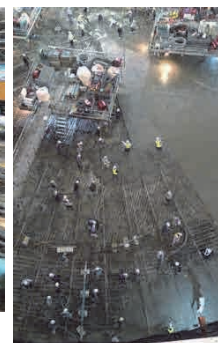
設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	スランプ (cm)	粗骨材 最大寸法 (cm)	空気量 (%)	水セメント 比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 Ad
30	15	20	4.5	51.0	43.5	170	334	764	1,033	2.84



(a) 分岐管工法による圧送の様子 (遠景)



(b) 分岐管工法による圧送の様子 (近景)



(c) 天底への打込みの状況

写真-1 分岐管工法による圧送 (a, b) 及び天底への打込みの状況 (c)

#### 4. 圧送・打込みの状況

各ポンプ車ともに、作業員3人×1日1交替制(12時間交替)の6人編成で、8分岐したホースに接続した1ヶ所の打込み口につき22.5分で圧送を行い、次の打込み口へ2分で移動する時間管理で作業をした(写真-1(a), (b))

1時間あたりの打込み量は、ポンプ車1台あたり約45m<sup>3</sup>、8分岐による圧送のため、1つの打込み口への時間あたりの打込み量は約5.6m<sup>3</sup>、1時間あたりの打込み高さは約3~5cmであった。打込み速度は、日中は60m<sup>3</sup>/hまで上げることがあったが、夜間はトラックアジテータ台数が制限されるため、30m<sup>3</sup>/h程度まで落ち込む時間帯もあった。

1層あたりを2時間で打ち上げ、全21層を打ち終えた後、最後の天版はフレキシブルホースを使用して、各ポンプ車とも底版の中心側からポンプ車側へ配管を切り離しながら54時間で作業を終えた。天版への打込み作業の様子を写真-1(c)に示す。本来の計画では打込み作業の時間を48時間~50時間としていたが、夜間のコンクリートの供給量の低下が影響したことにより時間が延長した。

#### 5. トラブルとその対処について

鉛直配管部に使用したボルト締めめの10kgフランジの中圧管は、フランジ同士の接続面にゴムパッキンを使用していたが、長時間の打込み作業により劣化・ひずみが生じ、ゴムパッキン部から配管内部に空気を吸引してしまう事態が生じた。その対応として、ビニールテープによる応急処置や新たな打込み時には紙パッキンを使用しことにより、トラブルを解消できた。

閉塞については、Y字管で分岐した先(90°部分)で閉塞気味となるケースが多く、大半は閉塞箇所を叩いて解除

した。閉塞が解除しない場合はストップバルブを閉めて配管をばらしてコンクリートを除去して作業を再開した。分岐が多く、1度に多数の箇所を打ち込むため、どこで閉塞しているのか、常に注視する状況であった。

今回の分岐管工法でポンプ車を選定する際、できるだけ排気ガス浄化装置のない車両を選定した。排気ガス浄化装置は、排気ガス中の粒子状物質を車両走行時に燃焼する仕組みになっており、エンジン動力を走行からポンプに切り替えた場合、ポンプの作動中に発生して溜まる排気ガス中の粒子状物質を燃焼させることができない。一般的な排気ガス浄化装置は、300m<sup>3</sup>程度を超える圧送作業になると、ポンプの運転を停止し、20~30分間、排気ガス浄化装置を作動させて排気ガス中の粒子状物質を燃焼する。長時間の連続の打込みが前提となる分岐管工法では、排気ガス浄化装置のない車両を揃える必要があった。

圧送作業中のポンプ車への軽油の給油についても問題が生じた。一般的なポンプ車は、エンジン動力をポンプに切り換えたままエンジンを停止して給油を行っても、エンジンを再始動すればすぐにポンプが再作動する。しかし、一部の機種のパンプ車はエンジンが再始動しなくなる仕組みになっている。今回、1台のパンプ車がこのトラブルを起こしたため、予備車により対応した。

#### 5. おわりに

分岐管工法による底版コンクリートの圧送は、数日に及ぶ連続作業かつ大量打設となるため、施工する作業員数の確保、連続作業に耐えうる機械の選定と燃料・消耗部品の配備、トラブルの未然防止策と発生時の対応に配慮が必要な工事であった。

\*1 南総 専務取締役, \*2 大成建設 土木部 課長, \*3 大成建設 土木部 主任

# 報告 実施工における軽量コンクリートの超高所圧送

○浅田 武彦\*<sup>1</sup>      岩清水 隆\*<sup>2</sup>      中村 成春\*<sup>3</sup>  
 山田 藍\*<sup>2</sup>      木村 芳幹\*<sup>4</sup>      山崎 順二\*<sup>5</sup>  
 高見 錦一\*<sup>5</sup>      永田 哲夫\*<sup>6</sup>      豊田 裕\*<sup>7</sup>  
 共田 昌一\*<sup>8</sup>      岸 繁樹\*<sup>6</sup>

超高所圧送      軽量コンクリート      圧送性  
 ポンプ      鉛直配管      管内圧力損失

## 1. はじめに

高さ 300m のビルの最上階までの床に軽量コンクリート 1 種が採用されている建築工事において、今迄に例のない超高所圧送を実施する機会を得た。ここでは、実大の圧送実験結果および実施工における圧送性等について述べる。

## 2. コンクリートの調査

高さ 300m という超高所への軽量コンクリートの圧送は、JIS A 5308 の規格内の最大スランプ 21cm であっても困難であることが予想された。そのため、事前に施工者が 24 のレディミクストコンクリート製造工場（以降、生コン工場と略す）と共同で、スランプ 23cm で建築基準法第 37 条第二号による国土交通大臣の認定を取得したコンクリートを施工した。セメントは、普通ポルトランドセメントを使用している。

## 3. 実大圧送実験

### 3.1 圧送実験結果概要

スランプ 23cm の軽量コンクリートの圧送による負荷に関しては、ほとんどデータが無いため実大レベルの圧送実験を 2009 年および 2010 年に行った。実験は日本建築学会近畿支部材料・施工部会と近畿生コンクリート圧送協同組合と共同で組織している「ポンプ工法 WG」の実験の一環として行っている<sup>1)</sup>。ここでは、2010 年 10 月 13 ~15 日に行った実験について紹介する。配管の状況を図-1 に示す。水平換算長さは 184m であった。

フレッシュコンクリートの試験結果を表-1 に示す。圧送前後のフレッシュコンクリート性状に大きな変化は認められなかった。

図-2 には、125A 輸送管における実吐出量と水平配管の管内圧力損失 K の関係を示す。図中には日本建築学会「コンクリートポンプ工法施工指針・同解説」（以降、ポンプ指針と略す）に示されている軽量コンクリートのスランプ 21cm の値も併記した。実測結果は、ポンプ指針の値よりも小さな値となった。これは、荷卸し時点で測定した軽量粗骨材の吸水率が、31.8~32.6% と高かったことが理由の一つであると考えられる。

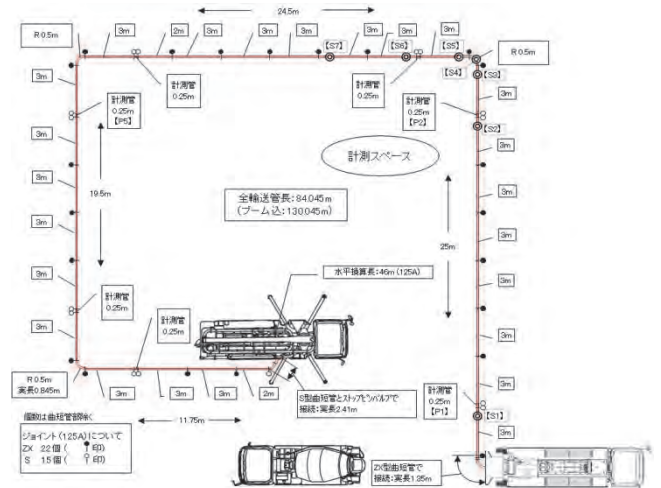


図-1 配管状況

表-1 フレッシュコンクリートの試験結果

調査記号	スランプ (cm)			スランプフロー (cm)			空気量 (%)		
	出荷時	圧送前	圧送後	出荷時	圧送前	圧送後	出荷時	圧送前	圧送後
⑦24-18	21.5	21.0	19.5	40.0	34.5	33.0	5.7	6.2	5.7
⑧24-21	23.5	22.5	22.0	45.5	39.0	37.5	5.1	6.0	5.4
⑨24-23	23.5	23.5	23.5	43.8	44.0	42.0	4.8	6.8	6.0
⑩27-21	23.0	21.5	20.5	42.0	38.5	38.0	5.3	6.4	6.0
⑪30-21	23.5	22.5	22.5	45.3	41.5	41.0	5.5	5.3	4.8
⑫24-21P	23.0	23.0	22.0	43.5	41.5	38.5	5.4	6.8	5.9

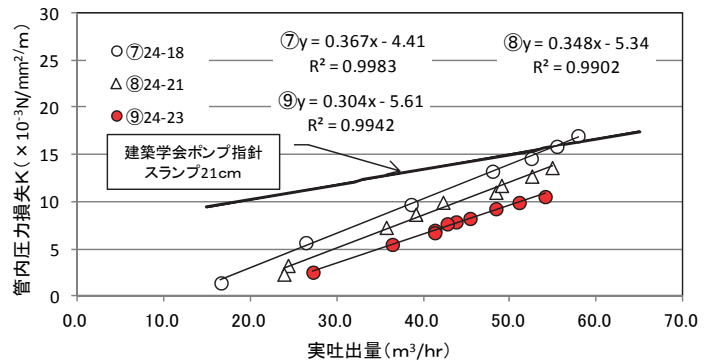


図-2 実吐出量と管内圧力損失の関係<sup>1)</sup>

### 3.2 圧送の可否の検討

圧送実験の結果を用いて、軽量コンクリートを高さ 300m まで圧送する際の圧送負荷の検討を行った。検討において

は、圧送実験から得られた、図-2 に示す指定強度  $24\text{N/mm}^2$ 、スランプ  $23\text{cm}$  の実吐出量と管内圧力損失の関係式 (1) に、実吐出量を  $60\text{m}^3/\text{h}$  として求めた  $K=12.4 \times 10^{-3}\text{N/mm}^2/\text{m}$  を用いた。その他の検討条件を表-2 に示す。

$$y=0.304x-5.61 \quad \text{式 (1)}$$

ここに、 $y$  : 管内圧力損失  $K$  [ $\times 10^{-3}\text{N/mm}^2/\text{m}$ ]  
 $x$  : 実吐出量 [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]

ポンプ指針の圧送負荷の計算式に各条件を入れて計算した結果、圧送負荷  $P$  は  $12.1\text{N/mm}^2$  となった。

ここで、 $1.25 \times P = 15.1\text{N/mm}^2 <$  今回使用予定のポンプ車の最大理論吐出圧力  $22\text{N/mm}^2$  となる。

以上の検討結果から、本実施工において、十分圧送が可能であることが分かった。

#### 4. 実施工

軽量コンクリートの施工期間は、2011年2月17日～2012年12月3日であった。

##### 4.1 コンクリートポンプ

使用したコンクリートポンプは、日本では初めて使用する中国製のピストン式定置型ポンプ(型式HBT90CH-2122D SANY社製)であった。コンクリートポンプの性能を表-3 に、外観を写真-1に示す。

##### 4.2 生コン工場および調査

生コン工場は、取得した大臣認定に含まれる6工場である。各生コン工場の試験データ数を表-4 に示す。試験回数は生コン工場により大きく異なっており、運搬距離が短く高所圧送に適したコンクリートを納入することのできる工場はデータ数が多くなっている。データ数の合計は1,062であった。

表-5には、軽量コンクリートの基本調査を示している。設計基準強度  $F_c=21\text{N/mm}^2$  であるため、構造体強度補正值 ( ${}_8S_{91}$ ) を3または6  $\text{N/mm}^2$  加えて、指定強度は24または27  $\text{N/mm}^2$  としている。ただし、34階(約222m)以上は、 ${}_{28}S_{91}$  が3  $\text{N/mm}^2$  の時期においても圧送性を確保するために指定強度27  $\text{N/mm}^2$  を採用している。

##### 4.3 圧送状況

実施工の圧送は、全施工期間を通して、閉塞することもなく順調に行われた。スランプ  $23\text{cm}$  の軽量コンクリートの性状が良好で、圧送前後のスランプの低下も少なく(表-6 参照)、圧送性は良好であった。そのため、超高所圧送ではあったが、大きな問題が生じることなく圧送を行うことができた。高さ  $300\text{m}$  までの圧送を念頭において決められた調査であったことが、良好な圧送を可能にしたものと考えられた。ただし、生コン工場によっては、運搬時間が長かった等の理由により、主油圧変動が大きくなるなどのテーパ管での閉塞傾向が認められたこともあった。

また、縦配管が長かったため、その管理には注意が必要であった。通常のスポンジ洗浄を数回行い、なおかつ

表-2 検討条件

圧送速度	$60\text{m}^3/\text{hr}$
管内圧力損失 $K$	$12.4 \times 10^{-3}\text{N/mm}^2/\text{m}$
直管長さ $L$	$450\text{m}$ (水平: $150\text{m}$ 鉛直: $300\text{m}$ )
圧送高さ $H_p$	$300\text{m}$
ベント管の長さ $B$	$0\text{m}$
テーパ管の長さ $T$	$0\text{m}$
フレキシブルホースの長さ $F$	$30\text{m}$
コンクリートの単位容積重量 $W$	$19.34\text{kN/m}^3$

表-3 ポンプの性能

型式	HBT90CH-2122D
最大理論吐出量	高圧時: $75\text{m}^3/\text{h}$ 低圧時: $100\text{m}^3/\text{h}$
最大理論吐出圧力	高圧時: $22\text{N/mm}^2$ 低圧時: $14\text{N/mm}^2$
シリンダサイズ	$\phi 200 \times 2100\text{mm}$



写真-1 使用したポンプ

表-4 各生コン工場の試験データ数

生コン工場	データ数
A	346
B	326
C	286
D	81
E	13
F	10
6工場	合計: 1062

表-5 施工した軽量コンクリートの基本調査

指定強度	スランプ (cm)	W/C (%)	単位水量 ( $\text{kg/m}^3$ )	単位セメント量 ( $\text{kg/m}^3$ )
24	23	53	185	349
27		50	185	370

大量の水を上部から流すことで輸送管内に汚れが付かないように配慮した。また、配管計画時に下部横引き配管に勾配(横引き  $40\text{m}$  に対して  $1\text{cm} \sim 3\text{cm}$  程度)を設けることにより、洗浄時の水や生コンのセメントペーストが排出されやすいように工夫をした。

残コン処理の手順を以下に示す。

- ① 圧送終了後、ピストンを2～3回逆転する。
- ② 油圧の逆止弁を閉める。
- ③ ポンプを用いて、運搬車へ返し用の輸送管を湿潤にする。

- ④ 逆止弁を開き、自重により、運搬車にコンクリートを投入する。
- ⑤ ポンプを逆転させ、運搬車にコンクリートを投入する作業を繰り返す。

中国製のポンプは、扱いが不慣れであったこと、レベルセンサーがなかったこと、および、車両本体が有線リモコンでの操作であったため、ポンプ車から離れることができなかった。また、圧送負荷も式(1)により予想した値よりも小さく、圧送速度の調整が出力の%で行う形式であったが、出力0%でも2~3m<sup>3</sup>/hrの超低速で圧送されていた。

#### 4.4 コンクリートの品質管理結果

図-3~図-7には、実施工におけるコンクリートの品質管理結果を示す。各試験結果はすべて、極めて安定した結果が得られている。スランブは、平均値は23.8cmで指定スランブ23cmより若干大きな値であった。空気量は、平均4.8%でほぼ設定値に近い値となった。単位水量推定値の平均値は、調合上の単位水量185kg/m<sup>3</sup>に対して184.2kg/m<sup>3</sup>とほぼ調合上の単位水量に等しい値となっている。標準偏差は4.73kg/m<sup>3</sup>で、普通コンクリートにおいて計測された標準偏差5.1~5.5<sup>2)</sup>より小さな値となっており、変動係数は2.6%と極めて安定した結果であった。軽量粗骨材の吸水率の平均値は30.5%で著しく高い値となっている。また、ほとんどが29%以上の吸水率となっており、良好な高所圧送が行われた大きな要因が人工軽量粗骨材の吸水率が高く、標準偏差も0.79%と安定していたことであると考えられる。

本工事においては、一部の階で圧送前後の品質変化に関しても計測を実施した。表-6に一例を示す通り、高所への圧送においても、品質の著しい変化は認められなかった。

#### 5. 圧送圧力測定結果

本工事では、58階施工時において、圧送圧力の計測を行った。コンクリートの圧送距離は、1階で約40mの水平配管、鉛直配管で約276m、さらに58階で水平配管が最大約90mであった。コンクリートの打込み量は運搬車23台(115m<sup>3</sup>)であった。

1階のポンプ根元近くで測定した圧力計の波形を、出力100%の場合について、図-8に一例を示す。出力100%で約44m<sup>3</sup>/hrの実吐出量となっていた。その他のいずれの出力においても、安定した波形が得られ、超高所への軽量コンクリートの圧送が順調に行えたことが示された。

実吐出量と圧力計から求めた鉛直配管のみの水平管内圧力損失Kの関係を図-9に示す。鉛直方向の管内圧力損失は実吐出量と良い相関関係を示している。図中には、ポンプ指針の値も併記しているが、圧送実験と同様に小さな値となっている。また、水平配管であった2009年に実施した実大圧送実験における軽量コンクリート1

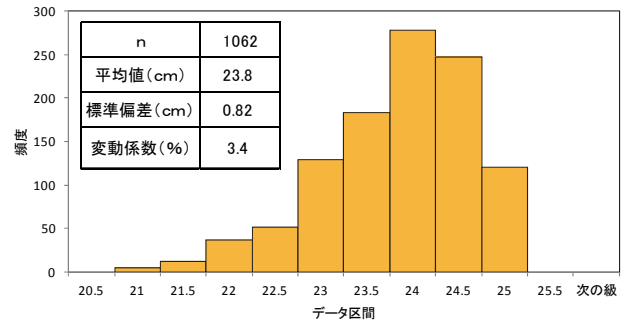


図-3 スランブ試験結果<sup>4)</sup>

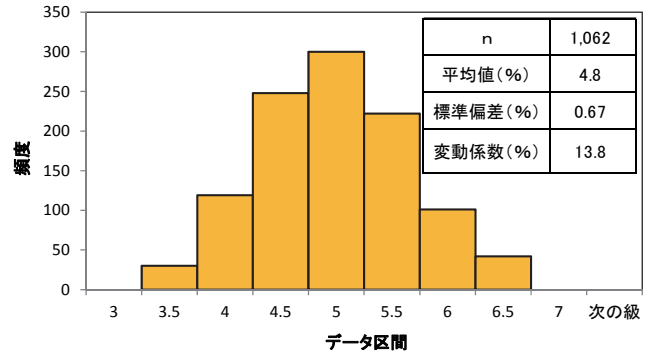


図-4 空気量試験結果

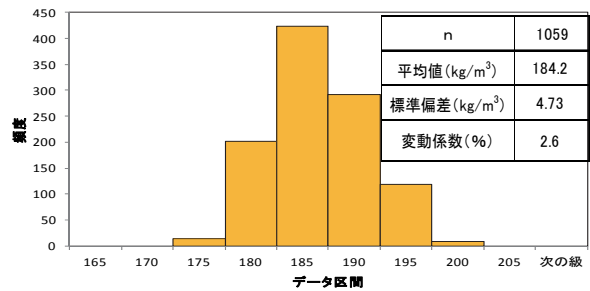


図-5 単位水量試験結果<sup>4)</sup>

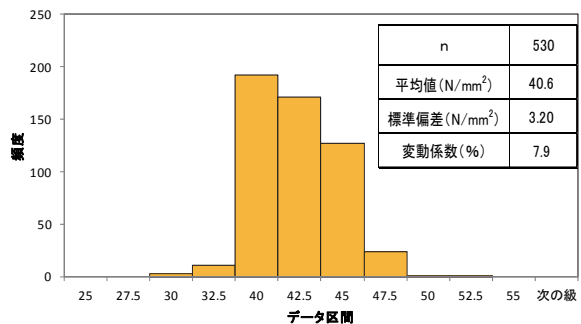


図-6 圧縮強度試験結果<sup>4)</sup>

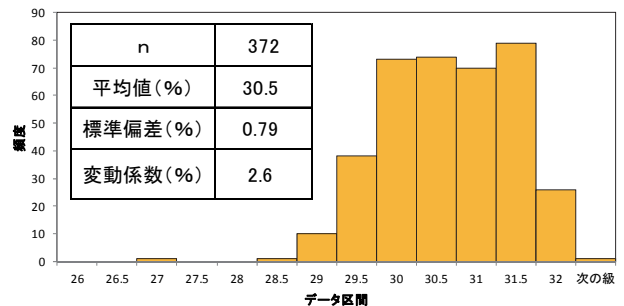


図-7 軽量粗骨材吸水率試験結果<sup>4)</sup>

表-6 コンクリートの圧送前後の試験結果<sup>4)</sup>

階数	圧送	フレッシュコンクリートの試験結果			圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	
		スランブ(cm)	スランブロー(cm)	空気量(%)	1週	4週
25	前	24.0	46.0	3.9	27.8	37.3
	後	19.0	34.5	3.9	27.6	38.2
47	前	25.0	52.5	5.1	34.1	42.1
	後	23.5	42.5	5.8	—	—
58	前	23.0	42.5	4.6	—	43.7
	後	22.5	43.5	5.6	—	40.4
	前	23.0	41.0	4.6	—	44.7
	後	20.5	35.0	6.5	—	40.2
	前	22.5	41.5	4.4	—	42.6
	後	22.5	42.5	5.5	—	43.4
PRF	前	25.0	47.5	4.5	31.9	40.2
	後	22.0	36.0	5.0	33.4	41.1

種、指定強度 27N/mm<sup>2</sup>、スランブ 23cm の測定結果も併せて示しているが、今回の計測結果とほぼ同等の値が得られており、水平圧送と鉛直圧送の管内圧力損失Kは同等と考えて良いことがわかる。

図-10 には、1階における鉛直配管に最も近い位置に配置した圧力計の出力0%の際の管内圧力から、約 3m<sup>3</sup>/hr という超低速圧送における圧送負荷を差し引いた補正管内圧力と、軽量コンクリートの自重から計算した鉛直配管最下部の圧力の関係を示す。両者はほぼ一致しており、圧送負荷計算時のコンクリートの単位容積重量の補正項 0.001W×H の妥当性が示されたと考えられる。

図-11 には、58階以外の階において、ポンプ根元近くの圧力計で測定した圧力の結果を生コン工場ごとに示している。管内圧力は、生コン工場ごとに違う傾向を示しており、A工場は安定して低く、B工場はばらつきが大きく、C工場は高い値を示している。軽量コンクリートは粗骨材は同じであるが、細骨材の違いや運搬時間の違いなどが生コン工場間の差となって表れたものと考えられる。図中には、W/C=54%、スランブ 21cm の普通コンクリートの圧送圧力も併記しているが、軽量コンクリートと大きな違いは認められなかった。

なお、スランブ 23cm の軽量コンクリートの吸入効率は 88.5% と高い値であった。

6. おわりに

今迄に例のない高さ約 300m までの超高所への軽量コンクリートの圧送において、施工者および生コン工場と連携し、事前に圧送性の良好なコンクリート調合を設定し、適切な配管計画とすることにより、順調な圧送を実現することができた。

参考文献

- 1) 第7回圧送技術研究会—コンクリートのポンプ工法に関する総合的な検討—, 2010.12
- 2) 滝口他：高周波加熱法によるフレッシュコンクリートの単位水量推定手法の開発と適用事例; コンクリート工学, Vol.41, No.10, 2003.10

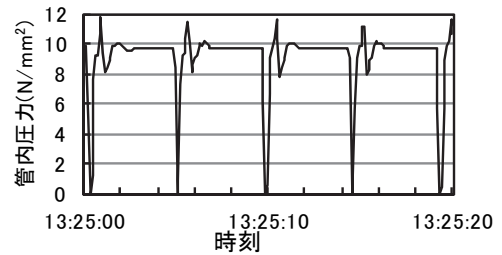


図-8 圧力計波形 (出力 100%)<sup>3)</sup>

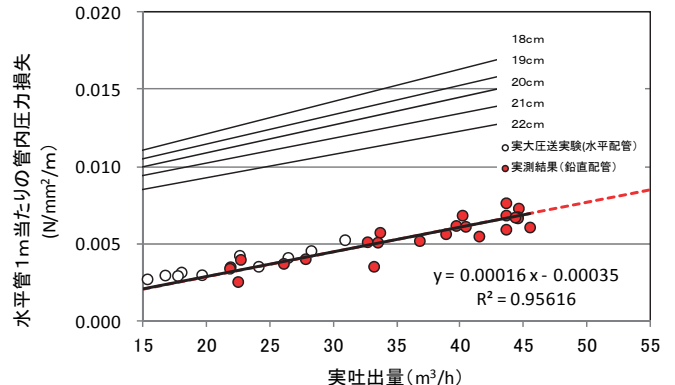


図-9 実吐出量と管内圧力損失の関係<sup>3)</sup>

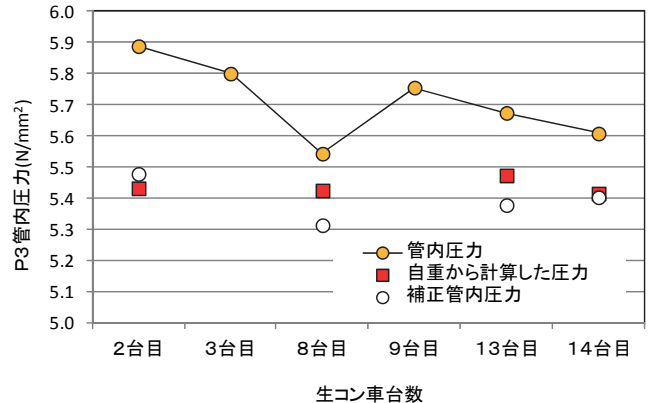


図-10 補正管内圧力と軽量コンクリートの自重から計算した鉛直配管最下部の圧力の関係<sup>3)</sup>

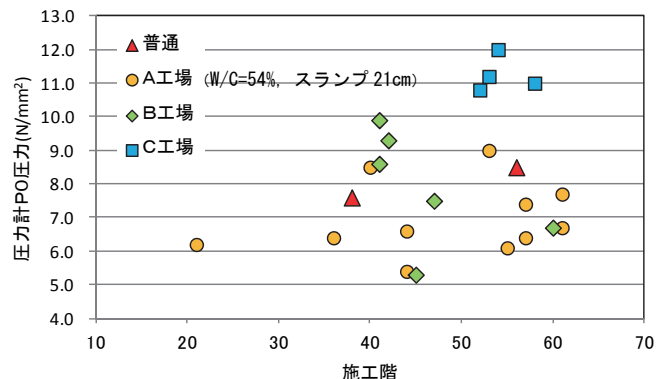


図-11 施工階と管内圧力の関係<sup>3)</sup>

- 3) 第9回圧送技術研究会—超高所圧送における軽量コンクリートの圧性の評価を中心として—, 2013.2
- 4) 岩清水他：軽量コンクリートの高さ 300m への超高所圧送, コンクリート工学, Vol.51.No.8.2013.8, pp648~655

\*<sup>1</sup> 北北ニシイ, \*<sup>2</sup> 竹中工務店, \*<sup>3</sup> 大阪工業大学, \*<sup>4</sup> 日本建築総合試験所, \*<sup>5</sup> 浅沼組, \*<sup>6</sup> 近畿生コンクリート圧送協同組合, \*<sup>7</sup> イッケン商事, \*<sup>8</sup> トモエポンプ



第1回全国圧送技術大会 論文報告集

---

2018年2月24日 初版第1刷発行

編者・発行 一般社団法人 全国コンクリート圧送事業団体連合会  
〒101-0041 東京都千代田区神田須田町 1-13-5  
藤野ビル7階 電話 03-3254-0731(代)  
E-MAIL [info@zenatsuren.com](mailto:info@zenatsuren.com)  
Homepage <http://www.zenatsuren.com>

---

不許複製

ISSN 2433-8648 ©2018 Printed in Japan