

第2回

 全国圧送技術大会

論文報告集

The 2nd 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2回



全国圧送技術大会

The 2nd Japan Concrete Pumping Technology Conference

日時 2024(令和6)年3月23日(土) 10:00~17:00

会場 日本大学理工学部駿河台校舎 1号館 6階
CSTホール

主催:



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

後援: 国土交通省、厚生労働省、(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)日本建設業連合会、(一社)全国建設業協会、(一財)建設業振興基金、建設業労働災害防止協会、
(一社)建設産業専門団体連合会、(公社)建設荷役車両安全技術協会、(一社)日本建設機械施工協会、
(一社)日本建設機械工業会、職業訓練法人全国建設産業教育訓練協会

展示会出展・広告掲載企業: 極東開発工業(株)、プツマイスタージャパン(株)、(株)名和、(株)シバシン商会、
(有)ベトンテック、タケ・サイト(株)、(株)岩田商会、(有)オカダ技研、大興物産(株)、(株)ケミウスジャパン、
(株)テレコム、ズームライオンジャパン(株)、中協コンクリート圧送事業協同組合、(株)ヤマコン

(敬称略・順不同)

第2回全国圧送技術大会 委員会名簿

(敬称略・順不同)

組織委員会

委員長:

佐藤隆彦 (全圧連会長)

幹事:

土井豊実 (全圧連副会長・経営委員長)、吉良五男 (全圧連副会長)、
田中徹 (全圧連常務理事・技術委員長)、共田昌一 (全圧連常務理事)

委員:

十河茂幸 (近未来コンクリート研究会)、和美廣喜 (島根大学名誉教授)、
栗田守朗 (元・清水建設(株))、岩清水隆 (榊竹中工務店)、黒岩秀介 (大成建設(株))、
山崎順二 (榊浅沼組)、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)、熊野知司 (摂南大学)、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)、鶴田達哉 (全国生コンクリート工業組合連合会)、
宮川美穂 (コンクリート用化学混和剤協会・GCP ケミカルズ(株))、谷口円 (室蘭工業大学)、
荒井正直 (日本建築総合試験所)、木村芳幹 (榊コンステック)

実行委員会

委員長:

田中徹 (全圧連常務理事・技術委員長)

副委員長:

吉田兼治 (全圧連技術副委員長)

幹事:

高野博 (全圧連技術委員幹事)、安藤嘉男 (全圧連技術委員幹事)、
豊田裕 (全圧連技術委員幹事)、宮田敦典 (日本大学)

委員:

岸貴典 (全圧連技術委員・群馬)、永田哲夫 (全圧連技術委員・近畿)、柳井修司 (鹿島建設(株))、
岩田康彦 (日本建設機械工業会・(株)岩田商会)、西本茂治 (全圧連事務局次長)

審査・表彰委員会

委員長:

陣内浩 (東京工芸大学)

幹事:

中田善久 (日本大学)、鈴木澄江 (工学院大学)、吉田兼治 (全圧連技術副委員長)

委員:

桜井邦昭 (榊大林組)、神代泰道 (榊大林組)、浦野真次 (清水建設(株))、
南浩輔 (前田建設工業(株))、檜垣誠 (株)フローリック)、
小泉信一 (ポゾリスソリューションズ(株))、太田達見 (静岡理工科大学)、
大塚秀三 (ものづくり大学)、橋本紳一郎 (千葉工業大学)、温品達也 (徳山工業高等専門学校)、
北口延郎 (全圧連専務理事)

(敬称略・順不同)

充実のラインナップで 多様なニーズに対応。

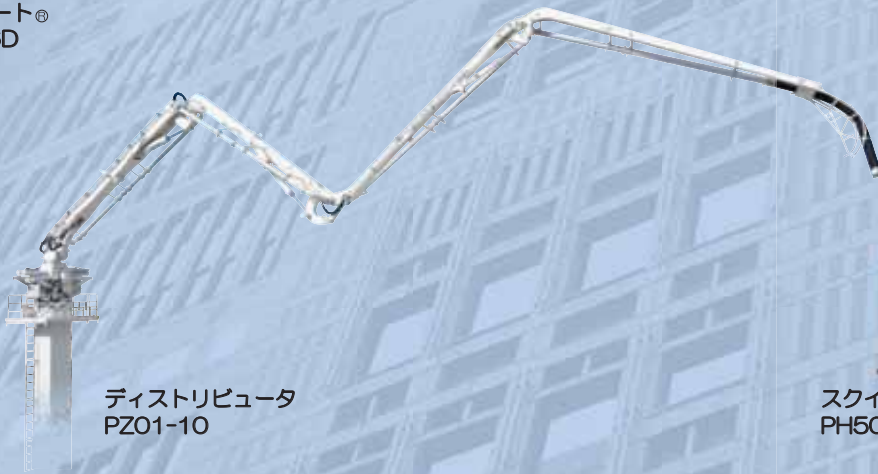
建設工事に欠かせない生コンクリートの圧送作業の省力化や時間短縮を実現する極東開発のコンクリートポンプ車は、多彩な現場に対応します。最大吐出量 $35\text{m}^3/\text{h}$ ～ $165\text{m}^3/\text{h}$ 、ブーム長 11m ～ 39m までスクイズ式・ピストン式の2タイプ15機種をラインナップしています。加えてディストリビュータを揃え、作業現場の状況に合わせてお選びいただけます。



ピストンリート®
PY120B-26D



ピストンリート®
PY165-39



ディストリビュータ
PZ01-10



スクイズリート®
PH50C-15

極東開発工業株式会社

コンクリートポンプ営業部 TEL.(03)5781-9822

本社 / 大阪府大阪市中央区淡路町2-5-11 〒541-8519

TEL.(06)6205-7800 www.kyokuto.com

拠点情報は
こちらから ▶



極東開発工業公式SNSアカウント

最新情報を
随時お届け
しています。



コンパクトボディで圧倒的な機動力を発揮する BSF27-4

生産性向上に寄与する 40m 超ブームポンプ BSF42-5、BSF46-5

環境にやさしい電気モーター式定置ポンプ BSA1408E、BSA2108HP E、BSA14000HP E

そして、ハイブリッドポンプ車 iONTRON シリーズ

日本のお客様へ、新たなソリューションをご提案します



プツマイスタージャパン株式会社

〒289-1143 千葉県八街市八街い 2 7 番 1

TEL: 043-497-5454 FAX: 043-497-5456





生コンクリート圧送機材製造 建設機材 販売

株式会社 シバシン商会

コンクリートポンプ車配管 コンクリート圧送配管専門メーカー
として創業43年あらゆるコンクリート打設に対応してきました。

時代の流れとともに、変わっていく打設現場。

アイデアと行動力において打設現場の負担軽減商品の開発。

高品質製品の提供製造販売。

Always grow with your company

コンクリート打設企業様、関係企業様と共に成長させて頂き、
物づくり企業として、原点回帰し、よりいっそう物づくりへ情熱を注ぎます。



(本社)〒533-0033 大阪府大阪市東淀川区東中島6-11-19

TEL 06-6323-9631

FAX 06-6325-5112

<http://www.shibasin.com>

摂津工場
北関東営業所
広島営業所

東京営業所
仙台営業所
中部営業所



日本のニーズに応える技術 より高く、より広く、さらに強く



日本最長クラス
ECP48CX-5



揺れない安定の43
ECP43CX-5



ディストリビューター
欧米シェア No1
ブームマキナ BHD32Z4

柱はサポート無しで
高さ30mまで

連続打設ギネス記録樹立した
欧州プレミアムブランド
ベトンスター H37 5Z



ピシッとしてると高評価
ECP37ZX



使いやすいと大好評
ECP26ZX

カニ型デスビ国内最長
BHD18RZ4sp

日本建設機械工業会が運用するコンクリートポンプ車整備証明制度に参加しました

輸入元
中古車
各種取扱



Beton Tech

有限会社ベトンテック

〒511-0254 三重県員弁郡東員町大字中上2196番地2

TEL 0594-86-0858

FAX 0594-86-0859

<https://www.betontech.co.jp/>

ZOOMLION JAPAN

ズームライオン・ジャパン株式会社

欲しい! にこたえた 個性派ラインナップ。

ズームライオン・ジャパンは、イタリアのCIFA社の流れを汲む中国の中聯重科(ズームライオン)社で日本仕様向けに開発・製作したコンクリートポンプ車を輸入。日本製シャーシに架装・加工したコンクリートポンプ車や関連部品等を国内向けに販売するほか、修理や特定自主検査等の法定点検のサービスを行っています。

コンクリートポンプ車 24X-4Z

最大吐出量: 110 m³/h
最大吐出圧力: 7 MPa



コンパクトなサイズで山間部や狭い河川敷でも活躍。土木負配合の生コンクリートの圧送性能を考慮した“ガイドパイプ付Sバルブ”を採用

コンクリートポンプ車 33X-4Z

最大吐出量: 120/70 m³/h
最大吐出圧力: 7/11 MPa



アウトリガーの狭小化を実現(最大張り出し幅6M弱)。脈動を抑えたスムーズな動きがオペレーターの作業負担を軽減。

エコ時代の新たな主役が上陸

高出力モータ搭載、低騒音、CO2排出量ゼロ衝撃を抑え、モータのスムーズな始動・停止を実現
自己診断・保護機能を備えたPLC搭載



定置式 電動 コンクリートポンプ HBT90.21.220SU

最大吐出量: 94/52 m³/h
最大吐出圧力: 11/21 MPa
モータ出力: 110×2 kW

ZOOMLION JAPAN

ズームライオン・ジャパン株式会社

ZOOMLION

本社・サービス工場 〒965-0052 福島県会津若松市町北町大字始字屋敷31番地1
TEL. 0242-32-2622 FAX. 0242-22-4474

東京営業所 〒121-0816 東京都足立区梅島3-33-6 EMBLEM西新井2F-6
TEL. 050-5471-9029 FAX. 050-3160-0682

<https://zoomlionjapan.co.jp> E-mail: info@zoomlionjapan.co.jp

「吊るし打ち」の コンクリート材料分離 を抑制!!

骨材の分離を抑える
コンクリート品質向上



鉛直 下向き
圧送用

生コン打設用
扁平型
先端ゴムホース

OKホース®



OK!!

ポンプ車のブーム先端に取付け
口径100A 125A をラインナップ!!



OK!!

「吊るし打ち」を想定した設計
扁平部によりコンクリートの材料分離を抑制!!

OK!!

全長5m 狭隘な箇所の打設にも適用
ホースの暴れがなく 施工の安全性が向上!!

■ OKホース ラインナップ

	コンクリートポンプ先端接続用 (全長5m)	
端部アタッチメント	ビクトリック (片側)	ビクトリック (片側)
輸送管径	5インチ (125mm)	4インチ (100mm)
先端部形状	幅170mm	幅130mm
コンクリートの スランプ	8~12cm	12cm以上

※ビクトリックジョイントはいずれもSカラー

※上記以外のサイズは ご相談ください。



Chukyo Concrete Cooperative

中協コンクリート圧送事業協同組合

代表理事 長谷川恭裕

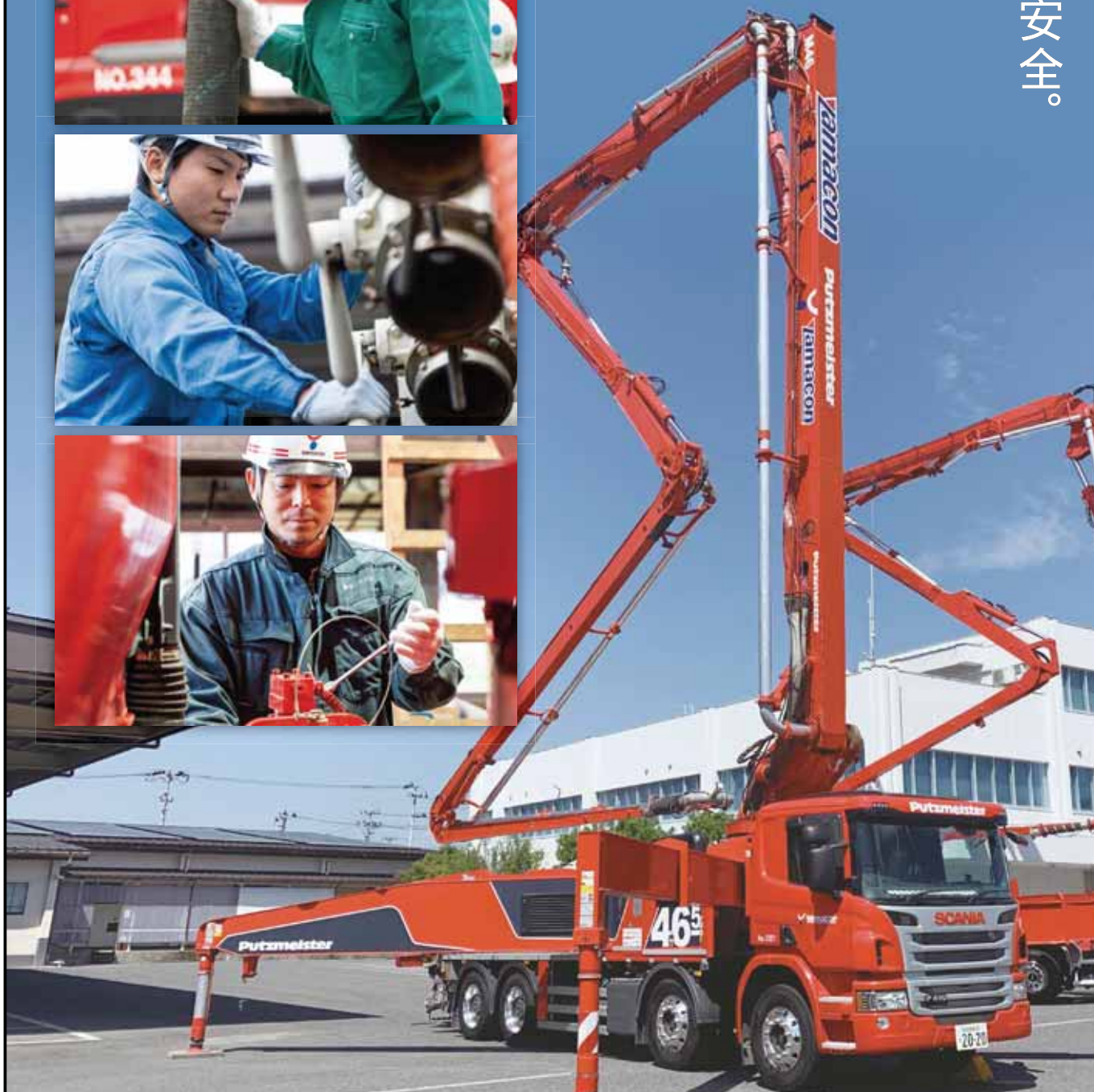
〒512-0913 三重県四日市市西坂部町 3581

TEL (059) 331-6268 FAX(059) 332-8212

中央建設(株)	永田ミニポンプ(有)
(有)アサクラ	(有)名古屋土木
(有)奥村業務店	(株)NANSEI
(株)柏本商事	(有)三重産業
(株)三和工業	(株)林コンクリート
(有)ジェイクワークス	(有)渡辺圧送

Origin is the safety.

原点は安全。



株式会社 ヤマコン®

本社 / 〒990-2211 山形県山形市十文字天神東770
TEL.023-666-6066 FAX.023-686-9681



目 次

大型工事・特殊工事

1. 報告 山間部における下向き長距離圧送事例 1
Report on a Case of Downward Long-Distance Pumping in a Mountainous Area.

○(株)安藤・間 赤池 考起
山本 朋宏, 森本 公彦
○Hazama Ando Co.,Ltd., AKAIKE Koki
YAMAMOTO Tomohiro, MORIMOTO Kimihiko

2. 報告 長者原発電所改修工事における暑中・長距離・高所圧送施工への挑戦 ... 005
Challenges in Hot Weather, Long-Distance, and High-Altitude Concrete Pumping Construction in the Power Plant Renovation Project.

○(株)金堀重機 佐藤 亮治
山田 忠宣, 春田 一真, 吉田 輝義
○Kanehori Juki Co., Ltd., SATOH Ryoji
YAMADA Tadanori, HARUTA Kazuma, YOSHIDA Teruyoshi

3. 報告 スランプ 21cm のコンクリートを用いた圧入工法による
独立柱の施工報告 9
Construction Report of Columns Constructed Using Pumping-Up Method.

○(株)ヤマコン 田中 尚
吉田 兼治, 佐藤 隆彦, 澤村 武
○Yamacon Co., Ltd., TANAKA Takashi
YOSHIDA Kenji, SATOH Takahiko, SAWAMURA Takeshi

ポンプ・輸送管 1

4. 報告 IoT コンクリートポンプ車の圧送データに関する報告 11
A Study on Pumping Data for Placing Booms Work Acquired by IoT Concrete Pump.

○(有)ベトンテック 庄野 和隆
中田 善久, 一瀬 賢一, 宮田 敦典
○BetonTech Co.,Ltd., SHONO Kazutaka
NAKATA Yoshihisa, ICHISE Kenichi, MIYATA Atsunori

5. 報告 ブームの姿勢が圧送性に及ぼす影響と安全性に関する評価 その1 …… 13
Influence of Boom Style on Pumpability and Safety. Part 1

○(有)イケケン商事 豊田 裕
木村 芳幹, 岩竹 秀昭, 山田 藍, 高見 錦一, 岩清水 隆
○Ikken Shouji Co.,Ltd., TOYOTA Yutaka
KIMURA Yoshimoto, IWATAKE Hideaki, YAMADA Ai, TAKAMI Kinichi, IWASHIMIZU Takashi

6. 報告 ブームの姿勢が圧送性に及ぼす影響と安全性に関する評価 その2 …… 17
Influence of Boom Style on Pumpability and Safety. Part 2

○(株)泉北ニシイ 浅田 武彦
岩竹 秀昭, 木村 芳幹, 山田 藍, 山崎 順二, 岩清水 隆
○Senboku Nishii Co.,Ltd., ASADA Takehiko
IWATAKE Hideaki, KIMURA Yoshimoto, YAMADA Ai, YAMASAKI Junji, IWASHIMIZU Takashi

ポンプ・輸送管 2

7. 報告 スクイズ式ポンプによるコンクリートの圧送性に関する研究 …… 21
Study on Pumpability of Concrete Pumped by Squeeze Pump.

○近畿生コンクリート圧送協同組合 村松 賢一
山田 藍, 永田 哲夫, 木村 芳幹, 江上 雅之, 中村 成春
○Kinki Ready-Mixed Concrete Pumping Cooperative, MURAMATSU Kenichi
YAMADA Ai, NAGATA Tetsuo, KIMURA Yoshimoto, EGAMI Masayuki, NAKAMURA Shigeharu

8. 報告 ディストリビュータ工法を適用した土間コンクリート圧送施工事例 …… 25
Example of Pumping of Dirt Floor Applied with Distributor Method.

○トモエポンプ 共田 昌一
河野 純子, 中井 正記, 豊田 裕, 浅田 武彦, 村松 賢一
○Tomoe Pump, TOMODA Shouichi
KOHNO Junko, NAKAI Masaki, TOYOTA Yutaka, ASADA Takehiko, MURAMATSU Kenichi

9. 報告 樹脂製輸送管の圧送性評価試験に関する報告 …… 27
Concrete Pumping Experiment of Resin Pipes.

○中央建設(株) 庄野 和隆
中田 善久, 一瀬 賢一, 宮田 敦典, 出口 隆宏
○Chuo Kensetsu Co.,Ltd., SHONO Kazutaka
NAKATA Yoshihisa, ICHISE Kenichi, MIYATA Atsunori, DEGUCHI Takahiro

10. 報告 回転機構を有する輸送管継手の製作と圧送作業の効率化 31
Manufacture of Transport Pipe Joints with a Rotating Mechanism and Efficiency of Pumping Work.

○鹿島建設(株) 橋本 学
内田 拓史, 池元 康彦, 須崎 浩二
○Kajima Co.,Ltd., HASHIMOTO Manabu
UCHIDA Takushi, IKEMOTO Yasuhiko, SUZAKI Koji

先行材・圧送助剤

11. 論文 先送り材の配管圧送を対象とした静電容量型加速度センサ付き無線 I C タグによるコンクリートの加速度の定量化 35
Measurement of Acceleration of Fresh Concrete in Pipeline in order to Study of Pump-Ability of Preceding Lubricant Using Several RFID Tags with Capacitance Type Acceleration Sensor.

○徳島大学 橋本 親典
木村 芳幹, 山崎 順二, 中村 成春, 岸 繁樹, 河野 純子
○Tokushima Univ., HASHIMOTO Chikanori
KIMURA Yoshimoto, YAMASAKI Junji, NAKAMURA Shigeharu,
KISHI Shigeki, KOHNO Junko

12. 報告 各種先送り材の性状と圧送性に関する研究 その1 39
Study on Property of Various Preceding Lubricant and Pumpability of Concrete Using Preceding Lubricant. Part 1

○近畿生コンクリート圧送協同組合 永田 哲夫
河野 純子, 山田 藍, 小林 稔, 山崎 順二, 岩清水 隆
○Kinki Ready-Mixed Concrete Pumping Cooperative, NAGATA Tetsuo
KOHNO Junko, YAMADA Ai, KOBAYASHI Minoru, YAMASAKI Junji, IWASHIMIZU Takashi

13. 報告 各種先送り材の性状と圧送性に関する研究 その2 43
Study on Property of Various Preceding Lubricant and Pumpability of Concrete Using Preceding Lubricant. Part 2

○近畿生コンクリート圧送協同組合 河野 純子
小林 稔, 永田 哲夫, 三島 剛, 中村 成春, 木村 芳幹
○Kinki Ready-Mixed Concrete Pumping Cooperative, KOHNO Junko
KOBAYASHI Minoru, NAGATA Tetsuo, MISHIMA Tsuyoshi,
NAKAMURA Shigeharu, KIMURA Yoshimoto

14. 報告 生コンスラッジを構成材料とした環境配慮型先送り材の検討 …………… 47
Study on Environmentally Preliminary Lubricant Using Concrete Sludge as a Constituent Material.

○日本大学 真砂 和樹
中田 善久, 一瀬 賢一, 宮田 敦典

○Nihon Univ., MASAGO Kazuki
NAKATA Yoshihisa, ICHISE Kenichi, MIYATA Atsunori

15. 報告 新規圧送助剤を用いた長距離圧送コンクリートの試験結果について …… 49
Test Results of Long Distance Pumping Using a New Pumping Admixture.

○戸田建設(株) 土師 康一
澤村 淳美, 守屋 健一, 椎名 貴快, 作江 富夫, 木戸 邦也

○Toda Co.,Ltd. HAZE Koichi
SAWAMURA Atsumi, MORIYA Kenichi, SHIINA Takayoshi, SAKUE tomio, KIDO Kuniya

特殊コンクリート

16. 報告 高流動性コンクリートの圧送性評価 …………… 53
Evaluation on Pumpability of Concrete Managed by Slump Flow.

○近畿生コンクリート圧送協同組合 岸 繁樹
山崎 順二, 木村 芳幹, 山田 藍, 岩清水 隆, 中村 成春

○Kinki Ready-Mixed Concrete Pumping Cooperative, KISHI Shigeki
YAMASAKI Junji, KIMURA Yoshimoto, YAMADA Ai,
IWASHIMIZU Takashi, NAKAMURA Shigeharu

17. 論文 超高強度繊維補強コンクリートの圧送性に関する研究 …………… 57
Study on Pumpability of Ultra High Strength Fiber Reinforced Concrete.

○(株)大林組 川西 貴士
岩城 孝之, 仲田 宇史, 村上 隆弘, 釘宮 晃一, 玉田 和法

○Obayashi Co.,Ltd., KAWANISHI Takashi
IWAKI Takayuki, NAKADA Takafumi, MURAKAMI Takahiro,
KUGIMIYA Akikazu, TAMADA Kazunori

18. 報告 自己充填コンクリートの圧入によるトンネル覆工構築 …………… 61
Tunnel Lining Construction by Press Fit of Self-Compacting Concrete.

○佐藤工業(株) 弘光 太郎
藤原 正佑, 小山 広光, 小野 知義

○Sato Kogyo Co.,Ltd., HIROMITSU Taro
FUJIWARA Shosuke, KOYAMA Hiromitsu, ONO Tomonori

19. 報告 海上棧橋改修工事における超高強度モルタルの圧送に関する報告 …… 65
Report on Pumping of Ultra-High Strength Mortar in Marine Pier Renovation Work.
- (株)大林組 西澤 彩
川西 貴士, 武田 篤史, 石関 嘉一, 桜井 邦昭
○Obayashi Co.,Ltd., NISHIZAWA Aya
KAWANISHI Takashi, TAKEDA Atsushi, ISHIZEKI Yoshikazu, SAKURAI Kuniaki
20. 論文 トンネル覆工の圧入施工方法に対する自己充填コンクリートの充填性評価に
関する検討 …… 67
*Study on Evaluation of Fillability of Self-Filled Concrete for Press-in Construction
Method for Tunnel Lining.*
- 千葉工業大学 永島 啓介
石川 椋太, 加納 龍斗, 重本 憂大, 橋本 紳一郎, 小山 広光
○Chiba Institute of Technology Univ., NAGASHIMA Keisuke
ISHIKAWA Ryota, KANO Ryuto, SHIGEMOTO Yudai,
HASHIMOTO Shinichiro, KOYAMA Hiromitsu
21. 論文 速硬性コンクリートの圧送性評価について …… 71
Evaluation of Pumpability of Fast-Hardening Concrete.
- (株)フジタ 高橋 直希
橋本 紳一郎, 井手 一雄, 平野 勝識
○Fujita Co.,Ltd., TAKAHASHI Naoki
HASHIMOTO Shinichiro, IDE Kazuo, HIRANO Katsunori

報告 山間部における下向き長距離圧送事例

○赤池 考起*¹ 山本 朋宏*²
森本 公彦*³

長距離圧送 下向き圧送 管内圧力
閉塞

1. はじめに

本工事場所は、急峻な山地斜面上に位置しており、四方を山に囲まれ、コンクリートの打込み場所は、林道が通っていない。そのため、トラックアジテータが打込み場所まで近接することは不可能であった。また、当初は、索道を使用して運搬し、0.8m³ ホッパーによる打込みを計画していたが、1時間当たりの打込み量が3m³に限られ、打込み速度が遅くコールドジョイントの発生が懸念されたことや工事期間内にコンクリートの打込みを完遂することが困難であった。そこで、コンクリートの時間当たりの打込み量を増やし、工期内に構造物の施工を完了させるため、山の斜面に配管を敷設し、コンクリートの圧送を行った。圧送条件としては、高低差194m、圧送距離約550m（水平換算距離618m）で、最大傾斜45度の下方への圧送となっている。下方への圧送は、配管内のコンクリートが自重で落下して材料分離が生じやすくなるため、閉塞の危険性が高くなる。

本報告では、本工事で実施した下向き長距離圧送において、試験練りによる配合の選定過程や、実施工時に計測した管内圧力の管理結果、閉塞の状況や実施した対策について報告する。

表-2 使用材料一覧表

材料の種類	内容/物性
セメント (C)	普通ポルトランドセメント(密度 3.15g/cm ³)
水 (W)	簡易水道水
細骨材 (S)	川砂(密度 2.62g/cm ³)
粗骨材 (G)	川砂利(密度 2.65g/cm ³)
混和剤 (Ad1)	AE 減水剤標準形 I 種 リグニンスルホン酸塩と特殊界面活性剤
圧送改善剤 (Ad2)	増粘タイプ

2. コンクリートの配合選定

2. 1 配合条件

今回検討した配合を表-1 に、使用した材料を表-2 に示す。配合条件としては、設計基準強度である呼び強度24N/mm²と単位セメント量を多くし、コンクリートの粘性を高めた呼び強度27N/mm²の2つの条件で実施した。それぞれの配合で、他工事の長距離圧送で使用実績のある圧送改善剤¹⁾を添加した。圧送改善剤は、下向き配管であるため、増粘タイプを使用した。スランブは現場での施工性を考慮して18cmとした。

2. 2 配合選定試験

配合選定にあたり実施した試験項目は、スランブ試験(JISA 1101)、空気量試験(JISA 1128)に加え、加圧ブリーディング試験(JSCE-F 502-2007)²⁾を実施した。スランブ試験、空気量試験の規格値は、それぞれ18cm±2.5cmと4.5%±1.5%とした。スランブ試験、空気量の試験結果を表-3に示す。スランブ、空気量の結果より、2配合ともに規格値を満たしていることを確認した。

加圧ブリーディング試験の結果を図-1に示す。この図中に標準曲線B、Cも示した³⁾。圧送性はこの標準曲線の間にあれば問題ないと判断できる。2配合ともに標準曲線内に分布していることが確認できた。最終脱水量においては、配合No.1で113mL、配合No.2で80mLという結果となった。この結果より、呼び強度27N/mm²の配合の方が、呼び強度24N/mm²配合より脱水量が少ないことが確認で

表-3 試験練り結果

	スランブ(cm)	空気量(%)
配合 No.1	18.5	4.9
配合 No.2	17.0	5.1

表-1 配合一覧表

配合 No.	呼び強度 (N/mm ²)	粗骨材の最大寸法 (mm)	セメントの種類	スランブ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)					
								水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 Ad1	圧送改善剤 Ad2
1	24	25	N	18	4.5	52.0	49.6	168	323	888	914	3.46	0.5
2	27	25	N	18	4.5	47.5	48.9	168	354	865	914	3.79	0.5

Title : Report on a case of downward long-distance pumping in a mountainous area AKAIKE Koki *¹, YAMAMOTO Tomohiro*², MORIMOTO Kimihiko*³

きた。これらの結果より、セメント量が多く、脱水量が少ないため、より材料分離抵抗性が高いと考えられる呼び強度 27N/mm²の配合を使用することとした。

3. 現場でのコンクリート圧送作業

3.1 現場条件

当工事場所は、急峻な山地斜面上に位置しているため、荷卸し地点と打込み地点の往復は山の斜面上からモノレールによって行う。このモノレールは片道 15 分程度時間がかかるため、荷卸し箇所と打込み箇所の連絡手段として無線を使用した。近くの生コン工場の保有するトラックアジテータの数が少なく、現場付近は山道であるため、トラックアジテータの対面交通はできなく、山道途中に数箇所設けてある離合場所にて車のすれ違いを行うため、コンクリートの打込み速度は遅くする必要があった。通常下向き圧送の場合、落下速度より速く打込むことが望まれるが、トラックアジテータの搬送サイクルに合わせて、吐出量を約 20m³/h とすることとした。

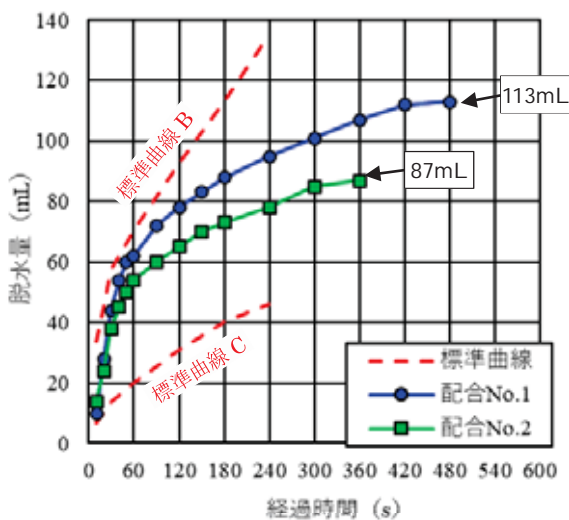


図-1 加圧ブリーディング試験結果

コンクリート配管 (5 インチ中圧管) は、モノレールの導線に沿って配管し、閉塞時に迅速な対応を行えるようにした。(図-2、図-3)。圧送条件は、高低差 194m、圧送距離約 550m (水平換算距離 618m)、最大傾斜 45 度の方へへの圧送となっている。水平換算距離の計算において、下向き配管は水平管として計算した。閉塞時の対策として、150m 毎に 1 箇所程度ピンバルブを設置し、閉塞時に上部のピンバルブを閉じることで、コンクリートの流出を最低限にするようにした。さらに、下向き配管が終了した箇所には油圧式シャッターバルブを設置し、先端ホース手前の箇所には手動式のシャッターバルブを設置した。これらのシャッターバルブは、コンクリート圧送停止時に閉じることとした。また、コンクリートの自重による脱水を極力防ぐようにシャッターバルブは、水密性の高いものを使用した。

3.2 コンクリート圧送概要

コンクリートポンプ車は、日工社のダイヤクリート DCM800BD-Z17 (標準仕様 70m³/h 5.4MPa) を使用した。圧送手順としては、約 0.5m³の先行水と、圧送改善剤を添加した 1m³の 1:1 モルタルを先行させた後、コンクリートを圧送する手順とした。先端ホースより、モルタルが排出されるのを確認するまでは、吐出量を約 60m³/h で圧送し、排

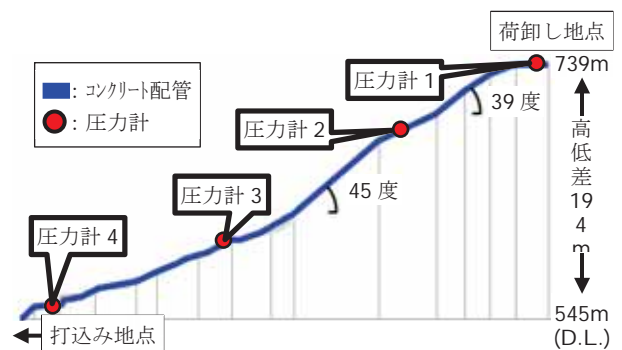


図-2 コンクリート配管縦断面図

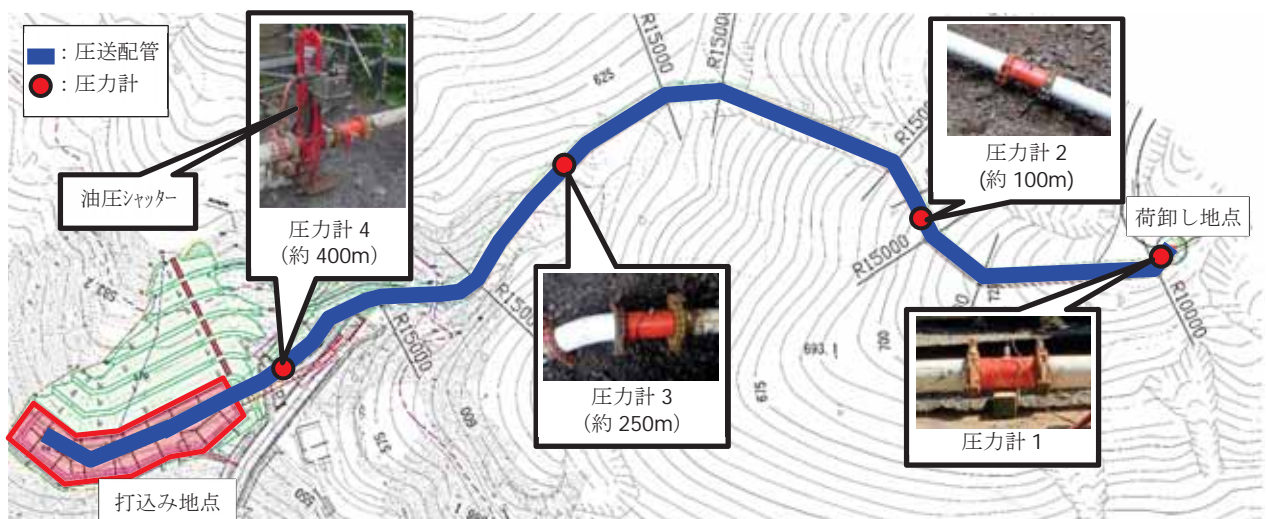


図-3 配管状況、各管理の実施箇所

出確認後は、トラックアジテータの搬送サイクルに合わせて、吐出量を約 20m³/h 程度で圧送する計画としていた。当初、先行モルタルは 1:2 モルタルを予定していたが、配管にモルタル分を取られ閉塞したため、1:1 モルタルに変更した。コンクリートの打込み終了時には、最終のトラックアジテータ車 2 台で圧送管内を充填し、水 2m³ で水压送を行った。この時、水送り用の詰め物は、積層スポンジを 4 個使用した。スポンジに関しては、圧送配合が 5 インチに対して、6 インチのものを使用した。また、打込み箇所近くに清掃水を排出する場所がなかったため、油圧シャッターの先（配管長約 400m）の箇所に排水処理のタンク（写真-1）を設置し、その 6m 先に残コンクリートを処理するためのタンク（写真-2）を設けて処理を行った。残コンクリート処理タンクの先の残コンクリートは、エアーコンプレッサーによって排出した。

本工事のコンクリート総量は 2,540m³ であり、そのうちの約 2,200m³ を圧送した。圧送による打込みは、約 6 ヶ月間、計 33 回実施した。夏季においては、混和剤の AE 減水剤を遅延形に変更し、現場にて遅延成分が含まれる圧送助剤を後添加することで、コンクリートの凝結を遅らせた。

4. 管内圧力測定と圧送前後のスランプ試験結果

4. 1 管内圧力測定

今回の圧送においては、図-3 に示す位置で管内圧力を測定し、コンクリートの圧送中は、パソコン上にて圧力挙動を監視した。コンクリートを通常圧送した場合の管内圧力の測定結果を図-4 に示す。先行モルタル圧送時には、約 60m³/h の吐出量で圧送しており、圧力計 1~4 すべてが正圧となった。通常、圧送時の圧力はコンクリートポンプ車に近い方が高くなるが、今回の結果で一番高くなったのは、1.5MPa 程度に達した圧力計 3 であり、それよりコンクリートポンプ車に近い圧力計 1 および圧力計 2 は 1.0MPa 程度となっている。これは、圧力計 1 と圧力計 2 の部分で満管でなかったため、圧力が上昇しなかったと考え

られる。以上より、コンクリート配管すべてを満管にするには、吐出量 60m³/h 以上で圧送する必要があることが確認できた。

また、吐出量が約 20m³/h 程度の通常圧送時において、管内圧力は圧力計 3 と圧力計 4 で正圧、圧力計 1 でほぼゼロとなり、圧力計 2 で負圧となった。このことは、ポンプから圧力計 3 までの区間がコンクリートで満たされていなかったことを示しており、管内圧力が負圧であることから粗骨材等が分離しやすい状況であったと考えられる。

圧力計 4 の管内圧力が 1.2~2.0MPa 程度まで上昇している箇所（図中点線部分）は、圧送を停止した箇所である。圧力計 3 および圧力計 4 においては、圧送を停止した時点から管内圧力が上昇している。これは、圧送停止時に、圧力計 4 の前に設置したシャッターバルブを閉じたことで、自重によって滑り落ちた配管内のコンクリートが圧力計 4 付近に溜まり、圧密された。これにより、管内圧力も上昇したと考えられる。



写真-1 排水処理タンク



写真-2 残コンクリート処理タンク

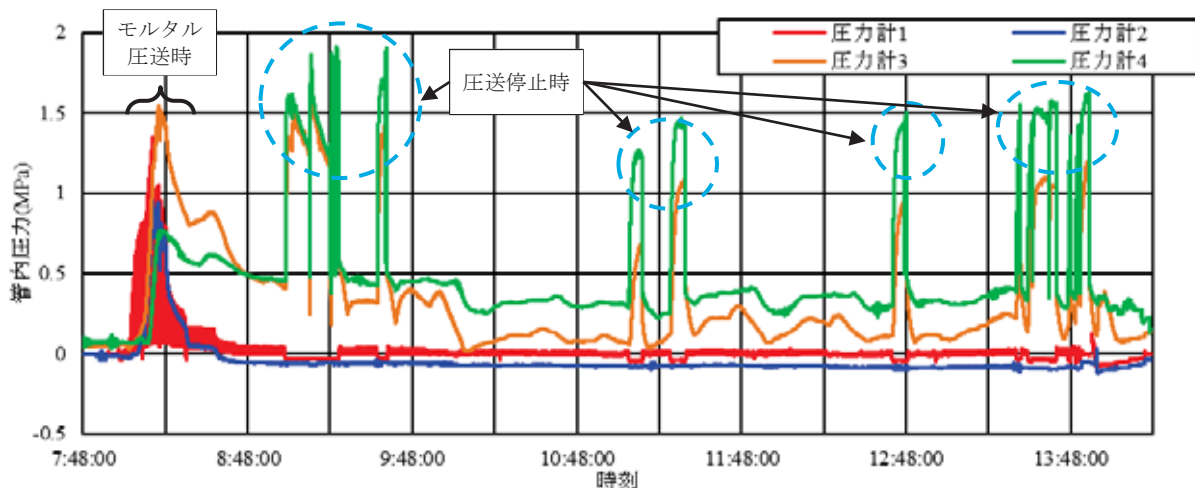


図-4 管内圧力測定結果 (通常圧送時)

表-4 スランプ試験結果一覧

台数	荷卸し地点		打込み地点	
	測定時刻	スランプ (cm)	測定時刻	スランプ (cm)
10	10:49	18.5	11:05 (0:16)	20.0 (+1.5)
12	11:08	20.5	11:32 (0:24)	20.5 (±0.0)
14	11:37	18.5	12:11 (0:34)	19.5 (+1.0)
16	12:10	19.0	12:58 (0:48)	16.5 (-2.5)
18	12:50	18.0	13:14 (0:24)	19.5 (+1.5)

4. 2 スランプ試験

初回のコンクリートの打込み時には、圧送前後のコンクリートの性状変化を確認するために、スランプ試験を荷卸し箇所と打込み箇所で行った。荷卸し地点と打込み地点で行ったスランプ試験の結果を表-4に示す。表のカッコ内の数値について、測定時刻においては、荷卸し地点で測定した時刻からの経過時間、スランプにおいては、荷卸し地点からの変化量を示している。トラックアジテータの16台目を除いて、すべてのスランプ試験の結果が荷卸し地点より打込み地点の方が大きい、あるいは変化なしという結果になった。スランプが大きくなった原因としては、圧送改善剤に含まれるスランプ保持成分の影響が考えられる。唯一16台目においては、スランプが2.5cm低下したが、これは荷卸し地点で試験を行ってから48分経過しているため、時間経過による影響の方が大きいと考える。以上の結果より、今回の圧送において、圧送前後でのスランプの変化は小さく、下向き配管での圧送負荷による影響は少なかったといえる。

5. コンクリートの圧送時の閉塞の発生とその要因

コンクリート圧送を行う中で2種類の閉塞が発生した。1つ目は前述したとおり、先行モルタル圧送時に配管長約250m付近(圧力計3の手前)で閉塞した。詰まっていたモルタルはセメント分が少なく、砂分の多いモルタルであった。このことから、配管や配管途中に溜まっていた先行水にモルタルのセメント分がとられたため閉塞したと考えられる。このため、先行モルタルを1:2モルタルから、単位セメント量の多い1:1モルタルに変更した。この結果、2回目以降で先行モルタルが閉塞することはなかった。

2つ目は、図-5、写真-3に示すような、下向き配管から上向き配管へ移行する窪み箇所において、圧送停止からの再開時に、閉塞が多く発生した。この原因としては、圧送停止時に、窪み箇所に分離した粗骨材が溜まったためと

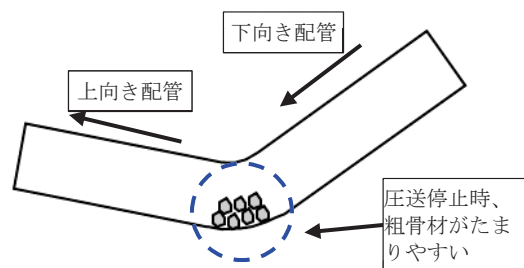


図-5 閉塞多発箇所の模式図



写真-3 閉塞多発箇所

考えられる。対策として、窪みにならないように配管の形状を修正した。結果、この箇所での閉塞は発生しなくなった。前述したモルタルの閉塞についても、同じ箇所でも発生していたことから、窪み箇所に先行水が溜まったことにより、モルタルが洗われ、細骨材分の多いモルタルになった一因だと考えられる。

6. おわりに

圧送距離が約550m(水平換算距離618m)の下向き長距離圧送について報告した。コンクリートの配合選定においては、加圧ブリーディング試験を実施し、脱水曲線が標準曲線内であることを確認し、より材料分離抵抗性が高い配合を選定した。実際の圧送では、先行モルタルの閉塞や窪み箇所での閉塞が発生したり、管内圧力が負圧となり、材料分離が生じやすい状況であったが、打込み地点においてコンクリートの品質を確保することができ、約2,200m³のコンクリートの打込みを工期内に完了することができた。

この現場でのコンクリートの圧送方法や閉塞事例などが今後の長距離圧送によるコンクリート打ち込みの参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 白岩誠史、高瀬清隆、吉浪雄亮、村田安之：高所長距離圧送への圧送改善剤の適用効果、コンクリート工学年次論文集、Vol.40、No.1、pp.1413-1418、2018
- 2) 土木学会：2018年制定コンクリート標準示方書【規準編】土木学会規準および関連規準
- 3) 土木学会：コンクリートライブラリー135 コンクリートポンプ施工指針[2012年版]

*1(株)安藤・間 建設本部 土木設計部

*2 (株)安藤・間 名古屋支店 土木部 工事主任

*3 丸河商事(株) 本社 圧送部長

報告 長者原発電所改修工事における暑中・長距離・高所圧送施工への挑戦

○佐藤 亮治*¹ 山田 忠宣*²
春田 一真*³ 吉田 輝義*⁴

長距離圧送 圧送シミュレーション ポンプ車機種選定
配管計画・施工 圧送作業 水送り処理

1. はじめに

総延長約 590mの水圧鉄管更新に伴う当該鉄管の固定台のコンクリート打設工事についての打診があり、山麓からのポンプ圧送を計画。高低差 133m、配管長 370mは、水平換算にして 921m。暑中・長距離・高所と難条件が揃い、当該条件下で、当社として、初めての施工であった。難条件が重なっていることに加え、必要とする人員も多数であることから、打診を受けて参加した打設検討会の中では、当社では施工不能ではないかと考えていた。

どうすれば施工可能となるかシミュレーションを重ね、不確定変数を調整、コンクリートポンプ車（以下、ポンプ車という）での圧送を実行可能と関係者で判断。当初は、実績が多いと思われた P 社製の配管車にて、圧送を行う予定であった。当該機種の手配がつかなかった時点で、自社車両での施工検討に切り替え検討した。当社所有車両で最も圧送能力が高い Z 社製「33X-4Z」を使い、圧送を実施。施工検討においては、一度の打設に必要な人員や打設回数も見直しを重ねることで、無事に実施することができた。また、長距離圧送に加えて、管内に残る 4 m³もの残コン処理も必要となり、配管メーカーの協力を得て、配管計画や先行材を見直し、スムーズな水送りを実現できたことも大きな成果となった。

2. 工事概要、特色

当工事の現場は、東北電力グループの東北自然エネルギー株式会社を発注者、前田建設工業株式会社 JV を受注者とする山形県西置賜郡小国町の「長者原発電所改修工事並びに関連撤去工事」である。そのうち土木本工事（第二工区）の水圧管路工事における水圧鉄管固定台のコンクリート圧送を当社にて行ったものである。

当発電所は、1938年に稼働開始した長い歴史を持ち、長い水路をもつ水路式で取水口から水槽までの約 4,600mにも及ぶ導水路、水槽から棟屋までの有効落差約 180m から生み出す最大出力は 12,000 kW（1999年、12,400 kWに認可

変更）と、設立当時の水力発電としては驚異的な大きさと評価された。この度の工事で、3台あった水車を1台に統合するとともに 12,900kWへ出力アップを図った。そして、この長い導水路に使われた水圧鉄管及び、それを各所で支えている固定台コンクリートの更新が必要となった。コンクリート打設の手段に、5t 索道や大型クレーンの利用も候補として検討された。結果、それらの利用は鉄管据付の為に優先したことや、施工数量の限界から能力が不足することから、ポンプ車による生コン圧送を安全に実施できるかが課題となった。



写真－1 現場全景

3. 圧送可否判定の諸条件（最終条件）

ポンプ車による施工可否を検討・判断する為の諸条件を以下に列挙する。

- ・**圧送距離、総打設数量、打設回数**：固定台コンクリートは、発電所再開後の安定稼働のため、水圧管の屈曲部を覆うように各所に施工が計画された。最も遠い箇所は、高低差 133m、配管長 370m、水平換算にして 921m。総コンクリート打設量は、約 350 m³。全 12 回に分け、2022年7月末～10月末までにかけて打設を計画した。
- ・**コンクリート配合**：抜粋した「配合計画書」について、表－1に示す。

表－1 配合計画書（抜粋）

呼び強度	水セメント比 (%)	粗骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)				空気量 (%)	スランプ (cm)
			W	C	S	G		
27	47.9	49.2	176	368	592・253	897	—	21.0

Title: Challenges in Hot Weather, Long-Distance, and High-Altitude Concrete Pumping Construction in the Power Plant Renovation Project

Ryoji Sato *¹, Tadanori Yamada*²
Kazuma Haruta*³, Teruyoshi Yoshida*⁴

・配管計画の概要：根元から 100m；高圧配管（ZX）、続く 100m；中厚配管（M）、続く 170m；普通配管（S）、全てサイズは、125A（5B）。

・理論上の水平換算管長：

$$\begin{aligned} &= \text{水平管} \times \text{高低差} + \text{ベント管} + \text{先端ホース} \\ &= 345 + 133 \times 4 + 0.6 \times 10 \times 7 + 20/7 \\ &= 345 + 532 + 42 + 2.9 \\ &= 921.9(\text{m}) \end{aligned}$$

・圧送負荷計算(配管距離最長箇所における必要吐出圧力)：

必要吐出圧力計算＝P

P＝水平換算管長×管内圧力損失×安全率

$$P = 921.9 \times 0.008 \times 1.25$$

$$= 9.219(\text{Mpa})$$

(想定計画吐出量＝20 m³/h)

(生コン配合＝27-21-25)

(K＝水平管 1 mあたりの管内圧力損失＝0.008)

(安全率＝1.25)

4. 施工前段階の圧送可否の判断、機種を選定

4-1. 機種を選定

上記 3 に記載の圧送負荷計算結果に基づき、9Mpa 以上の高圧仕様の圧送能力のポンプ車を必要とすると判断した。当初は、実績が多いと思われる P 社製の配管車にて、圧送を行うことを想定した。しかし、施工時期に、当該機種の手配がつかなかった時点で、自社車両での施工に切り替え検討した。当社所有車両で最も圧送能力が高い Z 社製「33X-4Z」を使い圧送することを検討。計算上と機種の理論値から、打設は可能であるが、当該車両において、自社・他社ともに、ここまで負荷のかかる長距離圧送の実績が、日本国内で確認できなかった。

最も負荷のかかる配管距離最長箇所での打設を前に、手前の打設箇所(高低差 49m、全管長 202m)において、Z 社とは別の K 社製ブーム式ポンプ車を用いて根本配管にて、現場の生コンに対する実際の圧送負荷を確認。次に、当該機種 Z 社製「33X-4Z」での試験打設を行い、問題が見られなかったため、実行可能と考え、決定した。



写真-2 現場遠景

また、残コン処理については、水送りを行うこととしたが、同様に、手前の箇所の打設の時点で、K 社製ブーム式ポンプ車に備え付けの水送りポンプでは、年式も古く、限界を感じたため、同機種である Z 社製「33X-4Z」を追加でもう 1 台用意し、生コン圧送が終わり次第、場所を交替できるように待機させることにした。

「打設中に待機しているポンプ車の配置を示す現場遠景」について写真-2 に、「縦列に配置している近景」を写真-3 に示す。



写真-3 同機種の縦列配置

4-2. 配合計画と先行材

圧送機種の選定、手前の箇所の打設などを通じて、随時、配合計画を見直すこととなった。

当初の配合計画からの主な変遷として、「21-15-25」から「24-18-25」、そして「27-21-25」となった。

また先行材は、配管メーカーの助言に基づき、1:1 のモルタル 3 m³の代わりに、ベントナイト（粘土鉱物モンモリロナイトを主成分とする弱アルカリ性粘土岩、膨潤性を持つ）を使用、水送りの際にも同様に先行材として投入し、いずれも先送り完了後にすべて回収した。圧送直前に水で練った後ベントナイトの様子を写真-4 に示す。



写真-4 先行材ベントナイト



写真－5 水送り時の根本配管

4－3. 配管計画

最終的に上記3に記載の通りの配管計画となり、更新する水圧管に沿って施工した。「水圧管縦断図」について、図－1に示す。理論的に計画はできたが、当社で同様の施工実績がなく、手探りの状態であった。そこで、名和の協力を得て、資材を新たに製作、準備した。実際の配管の一部を「様々な方向から撮影した様子」を写真－6、写真－7、写真－8にそれぞれ示す。



写真－8 圧送車付近の水平配管

4－4. 人員の確保

施工時期が8月のお盆休みを挟み、秋口に突入するなど、繁忙期であった。そして、難条件が重なる為、一度の打設に相当な人数を要することが予想された。そのため、打設検討会での事前協議により打設回数を減らしたうえで、当社の配車担当、型枠施工業者、生コンプラント等の各社に協力を要請し、工程表の計画どおりに打設が進むように努めた。結果、変更等なく進捗出来た為、人員の確保は当初の予定していた配置である、スポーター（筒先）3名、配管点検兼水押し圧送車オペレーター1名、オペレーター1名の計5名体制と最小限での生コン圧送が実現できた。

5. 施工中の不安、トラブルと対処方法

施工中は、先端ホース内で若干の閉塞が見られたものの目立ったトラブルなく打設を終えることが出来た。事前準備、シミュレーションと手前の打設箇所での経験があったため、心理的にも不安は少なく、落ち着いて作業にかかることができた。

ポンプ車に備え付けの主油圧負荷は25Mpaまで上昇、前面圧に換算して8～9Mpa程度が、実際の負荷だった。

圧送完了後、残コン処理のため、水送り作業に切り替える際、時間が掛かり、閉塞が起きないか心配だった。名和で準備した油圧ストッパーが機能し、水切れを起こすことなく移行する事ができた。

また水送りの際、Oリングがはみ出し、水が漏れだしたことがあった。漏水量以上に給水量を高めることで、水送りを継続し、終わることができた。次回からは、さらに補強を強化し、以降無難に水送りを完了できた。

「型枠施工前の打設箇所を含む中腹の配管を撮影した



写真－6 打設箇所手前の配管



写真－7 現場遠景

様子」について**写真－9**に、「コンクリート打設完了後の固定台を含む現場遠景」を**写真－10**に示す。



写真－9 型枠施工前の現場

また、Z社製コンクリートポンプについて、他社製品と比べても、十分な性能を有していることの証明に繋がり、同社並びに同社製品の信頼性向上に大きく寄与することができたことは意義がある。

総じて、今後に繋がる価値ある仕事を請負うことができたことと確信している。

今後も、圧送業界に対し、もっと条件の厳しい、難しい圧送、打設が求められることもあるだろう。更なる技術の研鑽を積み、少しでも圧送業界全体の技術力の向上、地位の向上に貢献できるよう、これからも精進していく。



写真－10 打設完了後の現場遠景

6. 課題と改善提案

施工中、トラブルには及ばなかったが、実管長 230m 辺りまで圧送したところ、吐出管に負荷が掛かり、開き止めが外れかけることがあった。今後同様の工事があるならば、吐出管付近の補強をより徹底することが望ましい。

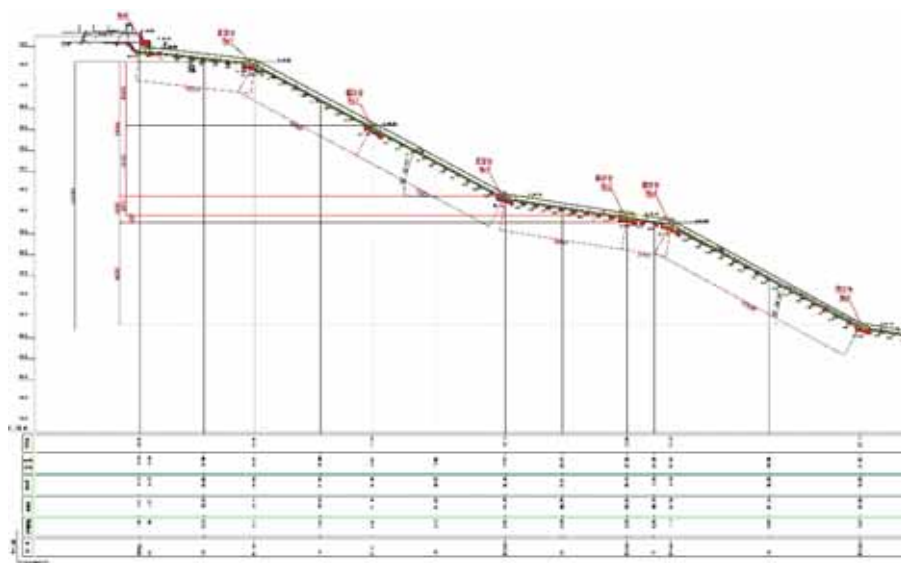
7. おわりに

未知の作業に対する当初の不安は大きかったが、安全に施工を終えることができた。当社が会社として大きな実績を得られただけでなく、実際に圧送作業を行ったオペレーター、スポーターにとっても、得難い貴重な経験となった。

参考文献

- 1) 東北自然エネルギー株式会社「PR 館・発電所紹介」
長者原発電所 紹介ページ

https://www.tousec.co.jp/chojahara_plant.html



図－1 水圧管縦断図（この水圧管に沿うように配管を施工した）

*1 (株)金堀重機 安全技術部長 *2 (株)金堀重機 取締役兼福島営業所長
*3 ズームライオン・ジャパン(株) 代表取締役社長 *4(株)名和 常務執行役員

報告 スランプ 21cm のコンクリートを用いた圧入工法による独立柱の施工報告

○田中 尚*¹ 吉田 兼治*²
佐藤 隆彦*³ 澤村 武*⁴

独立柱 圧入工法 労務削減
安全性・品質の向上 K I P - R C 構法

1. はじめに

本工事は、鉄筋コンクリートの独立した柱を先行して施工し、その後、鉄骨の梁を接合するハイブリッド構造の施工である。一般的な鉄筋コンクリート造とは異なり、スラブや壁、梁が付属しないため、本工事では独立柱の施工に圧入工法を採用することとなった。ここでは、圧入工法を採用するにあたって実施した事前検討と圧入工法によって得られた施工上のメリット・デメリットについて紹介する。

2. 圧入工法の採用の経緯と工法の課題

独立柱へコンクリートを打ち込む場合、ブーム作業範囲から外れるときは、柱周囲から配管を立ち上げる必要がある、さらに鉛直配管の固定および打込み・締固め作業のために足場の設置・養生を行う必要がある。配管作業を伴わないバケットによる打込みも考えられるが、本工事の場合は建築面積が広く、タワークレーンの設置位置や施工可能な範囲確保できない等の施工条件に制約があった。また、46mのロングブームを有するコンクリートポンプやディストリビュータの採用を元請会社に提案したものの、設置のためのスペースを確保できないことや設置場所の補強に伴うコストなどの理由により採用には至らなかった。

このような背景から圧入工法による施工の可能性について検討を行うこととした。しかし、当社ではこれまでス

ランプ 21cm のコンクリートを用いた圧入工法による独立柱の施工実績がないこと、類似した施工記録がこれまでにないことから、上部開口部からの落とし込みによる施工と圧入工法を比較することで施工上の課題の整理を行った。課題の整理結果を表-1に示す。

3. 事前検討

3.1 コンクリートの配(調)合の検討

圧入するコンクリートは、元請会社の要望により、高流動コンクリートや流動化コンクリートではなく、スランプ 21cm の普通コンクリートが対象となった。そこで、圧入するコンクリートを選定するために、均しコンクリートを施工の際に普通 40 21 20 N および普通 42 21 20 N の 2 種類をについて配管長さ約 100m の試験圧送を実施し、圧送前後のコンクリートの品質変化を確認した。圧送前後のコンクリートの品質変化を表-2に示す。その結果、圧送前後のスランプの変化が小さく、筒先においてスランプ 18cm 以上を確保できた普通 42 21 20 N を用いることとなった。

3.2 型枠の検討

コンクリートを圧入する場合、その型枠にはコンクリートの側圧に加え、圧入に伴う負荷が掛かる。一般的なコンクリート型枠用合板を用いた合板型枠工法では、最大 7m の独立柱への圧入において加わる側圧に耐え得る見込みがなかったため、本工事では最大 100kN/m² の側圧まで対応可能なシステム型枠を採用することとした(写真-1)。さらに、このシステム型枠は、L 型の大判型枠の角金物を締めて固定するためセパレータが不要となり、型枠内の障害物を減らすことができる。

表-1 本工事に各工法を適用した場合の課題

工法	考えられる課題
従来工法 (落とし込み)	<ul style="list-style-type: none"> 鉛直配管の固定のために堅固な足場が必要となる 鉛直配管設置のために前日の配管作業が必要となる 高所作業となり危険が伴う コンクリートの自由落下によって材料分離が生じやすい 各柱において鉛直配管を設置するため多くの配管機材の手配が必要となる
圧入工法	<ul style="list-style-type: none"> 閉塞および充填不良を防ぐために高い流動性が必要となる 圧入に伴う負荷が掛かるため型枠に高い剛性が必要となる 圧入口近傍および型枠内に障害物があると閉塞の危険がある 充填不良を防ぐために適切な圧入速度の管理が必要となる

表-2 圧送前後のコンクリートの品質変化

配(調)合	試験時間	採取場所	スランプ(cm)		空気量(%)	
			試験値	変化量	試験値	変化量
普通 40 21 20 N	9:35	荷卸し	22.0	-	4.9	-
	10:10	筒先	16.5	-5.5	4.5	-0.4
普通 42 21 20 N	10:47	荷卸し	22.5	-	4.5	-
	11:13	筒先	20.0	-2.5	4.0	-0.5
	11:38	筒先	19.0	-3.5	3.5	-1.0



写真-1 システム型枠

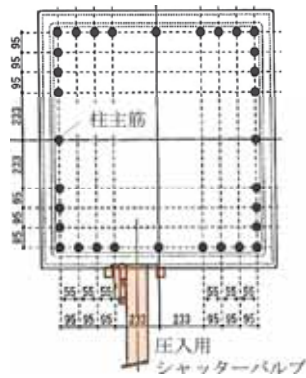


図-2 圧入用シャッターバルブ設置位置



写真-2 圧入口接続状況



写真-3 締固め状況

3.3 圧入治具および圧入位置の検討

圧入治具は、汎用性が高く、比較的安価であることから、一般に流通している圧入用シャッターバルブを用いることとした。圧入位置は、1,240mm 角の柱中心から少しずらした鉄筋と干渉しない箇所とし(図-2)、圧入口の高さは配管接続を容易にするため 1,500mm の位置とした。

4. 施工の実施

3. 事前検討の内容をもとに施工計画を立案し、次に示すように実施した。

(1) 圧入口への接続

圧入口への接続を容易にするために、配管から圧入口までの輸送管に中間ホースを採用した(写真-2)。また、圧入口への接続に際しては、台車を利用して時間短縮と労力削減を図った。

(2) 圧入作業と締固め

圧入速度は、充填不良を防ぐため 1m/min 以下となるように圧送速度(吐出量)で管理した。なお、圧送速度(吐出量)は、柱の断面寸法から圧入速度が 1m/min 以下となる吐出量を算出し、その値をコンクリートポンプの理論吐出量が超えないように管理した。締固めは、柱上部から棒形パイプレータを挿入して行い、柱の天端高さをポンプの正転・逆転によって調整した(写真-3)。

5. まとめ

本報告では、圧入工法によって独立柱を施工した事例を

表-3 圧入工法によって得られた施工上のメリット・デメリット

項目	詳細	
高所作業	締固めおよび表面仕上げ(押え)のみの最小限の高所作業となった。	
配管作業	鉛直配管設置のための前日作業がなくなり、また、圧入口への接続に中間ホースを用いることで段取替えがスムーズに行えた。	
残コンクリート	鉛直配管が不要のため、鉛直配管分の残コンクリートが削減できた。	
足場の設置作業	鉛直配管を固定するための堅固な足場が不要となり、下記に示すような締固めおよび表面仕上げ(押え)用の作業員数名が安全に作業できる程度の省スペースの作業足場での施工が可能となった。	
		
打込みサイクル	残コンの片付けに要する時間の低減とスムーズな段取替えにより、独立柱 8 本/日の施工計画に対し、実績として 8 本/半日という打込みサイクルが得られた。	
圧送工の人数	前日の配管作業に必要な圧送工(2 名/日)と先端ホースの上げ下ろし作業を行う圧送工(1 名/日)を削減した。	
品質	コンクリートの自由落下による材料分離の危険性がなく、豆板等の不具合の発生を防ぐことができた。	
デメリット	技能者	圧入工法に関する知識・技能を持った圧送技能者の配置が必要となるが、適正配置を怠ると誤った扱いにより型枠の破損や閉塞を招く恐れがある。
	圧入速度の管理	充填不良を防ぐために、適切な圧入速度の管理が必要となる。
	資材コスト	圧入用シャッターバルブやシステム型枠を用いる必要があり、資材のコストが高くなる。

紹介した。圧入工法によって得られた施工上のメリット・デメリットを表-3に示す。本工事では、適切な圧入速度の管理と十分な締固めによって、各フロア 36 本ある独立柱に豆板等の不具合を発生させることなく施工できた。また、圧入工法を採用することによって、生産性向上に対して多大な成果を得ることができた。本工事は、安全性・品質の向上、環境への配慮、工期短縮を可能にし、独立柱の施工における打込みを合理化する事例となった。

【謝辞】

本測定を行うにあたり、鹿島建設株式会社 東北支店・村上所長をはじめとする社員の方々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。

*1 株式会社ヤマコン仙台支店 工務長, *2 株式会社ヤマコン 取締役執行役員
*3 株式会社ヤマコン 代表取締役社長, *4 株式会社ヤマコン 常務取締役

報告 IoT コンクリートポンプ車の圧送データに関する報告

○庄野 和隆*¹ 中田 善久*²
 一瀬 賢一*³ 宮田 敦典*⁴

IoT コンクリートポンプ 管内圧力損失
 ブーム 主油圧 理論吐出量

1. はじめに

本報告は、IoT を活用したコンクリートポンプによる施工の管理・データの分析方法の確立を目的とした研究の一環として、圧送データの分析結果について報告する。

2. IoT システム概要

本調査で使用した IoT システムの表示画面の一例を写真 1 に示す。IoT システムは、主油圧や吐出量などの数値が PC やタブレットなどの端末を通して確認でき、そのデータがクラウド上に保存される。本調査では、保存されたデータのうち、主油圧のデータを抽出し管内圧力損失の分析を行った。



写真-1 IoT システムの表示画面

の比率は、使用する機種によって異なることが想定される。そこで、ここでは、調査に先立ち圧送実験により IoT から得られる主油圧と配管根元圧力の関係について確認することとした。

圧送実験は、圧送距離約 100m の配管による圧送とし、主油圧を IoT システム、配管根元圧力をダイヤフラム式圧力計により計測した。また、コンクリートは、普通 24 8 20 N および普通 30 18 20 N の 2 調合を用いた。使用したコンクリートポンプの仕様を表 1 に示す。

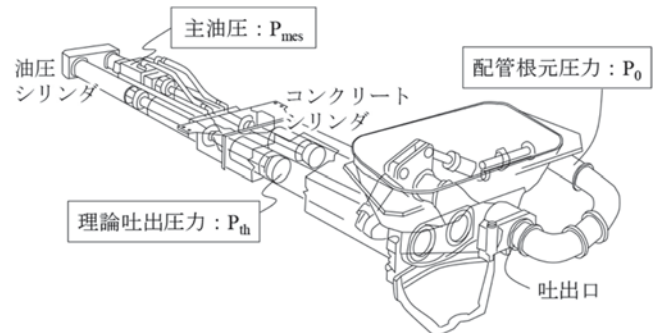


図-1 主油圧、前面圧および配管根元圧力の関係

表-1 コンクリートポンプの仕様

型式	H37-5Z	
最大理論吐出量	140m ³ /h	
最大理論吐出圧力	8.1MPa	
コンクリートシリンダ径 ×ストローク	230×2,100	
ブーム仕様	型式	5段Z形
	最大地上高	36.5m
	配管径	125A
	水平換算長	97.4m

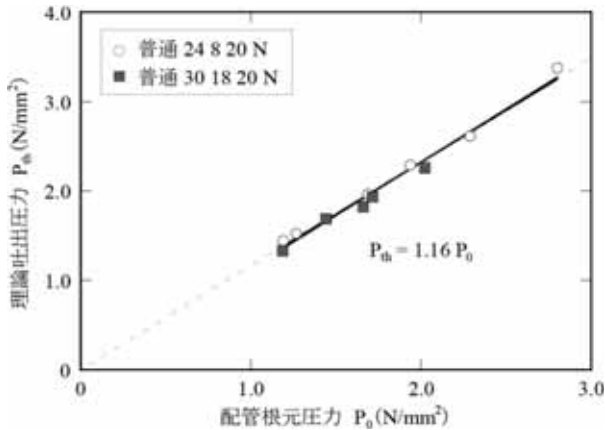
3. 圧送実験による配管根元圧力と理論吐出圧の関係の把握

(1) 圧送実験の概要

主油圧、理論吐出圧力および配管根元圧力の関係を図 1 に示す。IoT システムで得られる圧送データは、ピストン式コンクリートポンプの作動油圧（主油圧）の値である。一方、コンクリートポンプの機種選定で用いる圧力は、理論吐出圧力（前面圧）および圧送負荷（配管根元圧力）である。理論吐出圧力は、油圧シリンダとコンクリートシリンダの断面積の比で換算することができるものの、理論吐出圧力から配管根元圧力への換算が問題となる。ポンプ指針¹⁾では、理論吐出圧力が配管根元圧力のおおよそ 1.25 倍であることを解説しており、機種選定の計画においても圧送条件から算定された圧送負荷に 1.25 倍してコンクリートポンプに求められる必要理論吐出圧力を求めることとなっている。しかし、配管根元圧力と理論吐出圧力

(2) 圧送実験の結果

配管根元圧力と前面圧の関係を図 2 に示す。配管根元圧力と理論吐出圧力の関係は、コンクリートの調合にかかわらず比例関係を示した。また、その関係は理論吐出圧力が配管根元圧力のおおよそ 1.16 倍であり、この数値はポンプ指針²⁾に示される 1.25 倍よりもわずかに小さい値であった。この結果を踏まえて、以降は、配管根元圧力に対する理論吐出圧力の比を 1.16 とし管内圧力損失の分析を行った。



図—2 配管根元圧力と前面圧の関係

4. 施工時の管内圧力損失に関する調査

(1) 圧送施工の調査概要

調査対象は、2022年3月に東海地区で稼働したコンクリートポンプによる施工(3現場)とした。調査対象とした施工の圧送条件を表2に示す。3現場すべてがブーム先端ホース作業による施工である。なお、表中の水平換算距離は、テーパ管および先端ホースを5B管に換算して求めた数値であり、テーパ管および先端ホースの断面積に対する5B管の断面積の比(例えば、4B管の場合は約1.56となる)を乗じることで5B管の水平換算距離に換算した。管内圧力損失は、吐出量が安定した10ストロークの主油圧が概ね一定となる値を用いて、次式により算出した。なお、本調査では、主油圧のサンプリング間隔は約0.5秒としている。

$$P_{th} = P_{mes} \cdot \frac{P_{Max}}{P_{max}} \quad (1)$$

$$K = \frac{1}{B_L + L_0} \cdot \left(\frac{P_{th}}{R_p} - WH \right) \quad (2)$$

ここに、 P_{th} :理論吐出圧力(N/mm²)、 P :IoTシステムに記録された主油圧(N/mm²)、 P_{Max} :コンクリートポンプの最大理論吐出圧力(N/mm²)、 P_{max} :コンクリートポンプの最大主油圧(N/mm²)、 K :管内圧力損失

(N/mm²/m)、 B_L :ブームの水平換算長さ(m)、 L_0 :ブーム先端からの延長配管の水平換算距離(m)、 R_p :配管根元圧力に対する理論吐出圧力の比、 W :コンクリートの単位容積重量(kN/m³) [23.5kN/m³]、 H :圧送高さ(m)である。

(2) 圧送施工の調査結果

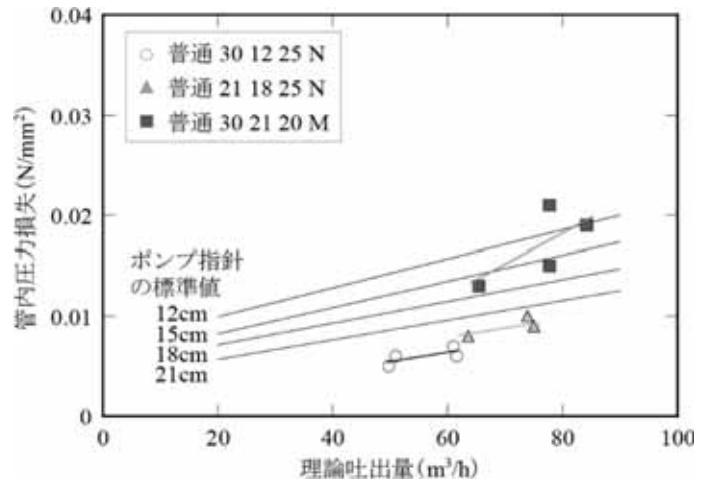
理論吐出量と管内圧力損失の関係を図3に示す。管内圧力損失は、同一日に得られた結果であれば概ね比例関係にあることがわかる。しかし、今回の結果からは、コンクリートのスランプや呼び強度の違いによる明確な傾向は見られず、ポンプ指針¹⁾の標準値に対して全体的に小さい傾向を示した。この理由として、施工当日のブームの姿勢、

表—2 調査対象とした施工の圧送条件

No.	コンクリート	ブーム先端の配管接続条件*1	圧送高さ(m)	水平換算距離*2(m)	打込み部位
1	普通 30 12 25 N	D:1.5m+T:1.5m+F(3.75B):5m	30	122.9	柱
2	普通 21 18 25 N	D:1.5m+F(4.5B):7m	0	117.7	壁
3	普通 30 21 20 N	D:1.5m+F(4.5B):5m	15	112.7	土間

*1 D:ドッキングホース(5B)、T:テーパ管(5B→4B)、F:先端ホース

*2 5B管に換算



図—3 理論吐出量と管内圧力損失の関係

ブーム配管の水平換算長さの設定方法、ブーム先端先端に接続した輸送管の水平換算方法などの影響が考えられる。

5. まとめ

本報告は、圧送実験により機種別の理論吐出圧力と配管根元圧力の関係を明らかにし、その結果を用いて圧送施工時に得られたIoTシステムの主油圧から管内圧力損失の分析を試みた。今後、IoTを活用した管内圧力損失の検討を行なう上では、①コンクリートポンプの機種ごとの理論吐出圧力と配管根元圧力の関係の把握、②ブームの水平換算長さの妥当性の検証、③ブーム配管の管径以外の輸送管を接続した場合の換算方法の検討が必要であるといえる。

IoTシステムにより得られるデータを、コンクリート施工の品質管理・安全管理に役立てるために、最適な吐出量/圧、輸送管の摩耗量との関係等の分析を、今後進めていきたい。

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,Dec., 2022
- 2) 庄野和隆・中田善久・宮田敦典・一瀬賢一：IoTコンクリートポンプより取得したブーム先端ホース作業の圧送データに関する一考察,日本建築学会大会講演梗概集(北海道), 283-284.Sep., 2022

*1 有限会社ベトンテック, *2,3,4 日本大学理工学部建築学科,

報告 ブームの姿勢が圧送性に及ぼす影響と安全性に関する評価 その1

○ 豊田 裕*¹ 木村 芳幹*²
 岩竹 秀昭*³ 山田 藍*⁴
 高見 錦一*⁵ 岩清水 隆*⁴

ポンプ 圧送性 ブーム姿勢
 管内圧力 安全性 応力

1. はじめに

一般に、コンクリートの場内運搬には、ブーム付きポンプが用いられることが多い。そのため、近畿生コンクリート圧送協同組合が保有するコンクリートポンプの約90%をブーム付きコンクリートポンプとしている。

ブームを用いる大きな利点は、床スラブの鉄筋の乱れを防止することに加え、配管を省力化できることである。さらに吊打ち¹⁾を採用すれば、一層の省力化が期待できる。

通常の輸送管による吊打ちでは、材料分離が促進されることから、現在これを防止するためにいくつかの輸送管が考案されている²⁾。しかし、JISA 8612 (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)において、ブーム先端への輸送管の接続が禁止されているため、吊打ちが普及するに至っていない。禁止されている大きな理由は、先端に許容以上の荷重が作用すると、ブームが損傷する事故の危険があることによる。

一方で、ブームの配置状況(姿勢)によって、同じ水平到達距離(到達距離)でも最高高さや配管の曲がり角度が変わるため、各ブームに作用する応力が異なると考えられる。しかし、これまでに、ブームの姿勢がポンプ車の安全性に及ぼす影響を詳細に検討した事例はほとんどみられず、JISA 8612にも規定がない。

これらのことから、日本建築学会近畿支部ポンプ工法WGは、近畿生コンクリート圧送協同組合と共同で、吊打ちの安全性、ならびに姿勢によるブームに作用する応力の違いを把握することを主目的とした実験を行うこととした。本報では、実験全体の概要、ならびにフレッシュコンクリートの状態、および管内圧力の状況について述べる。なお、本報は、文献²⁾を再編したものである。

2. 実験の概要

実験の概要を表-1に示す。実験にはピストン式ブーム付きポンプ(機種:PY115-26)を用いた。

2.1 使用材料および調査

コンクリートの使用材料を表-2に、計画調査を表-3に示す。コンクリートの種類は、単位容積質量や流動性の範囲をできるだけ大きくして比較するために、普通コンクリート3種類に加え、軽量および高強度コンクリートの5種類とした。なお、普通コンクリートのうち1種類は、目標スランブフローを40cmとしたもの(高流動性)である。

2.2 実験の要因と水準

ブーム姿勢、筒先の種類等の水準を表-4に示す。実験数はこれらとコンクリートの調査を組み合わせた合計37実験とし、1回の実験につき圧送速度を3~5段階変化させた。なお、本報では実験要因を、同表下に示す記号で表記する

表-1 実験の概要

実験場所/実験時期	神戸市垂水区/2017年10月	
コンクリートの種類	普通2種類、高流動性、高強度、軽量	
実験数	37	
ポンプ車	型式	PY115-26 ピストン式(8B仕様)
	ブームの概要	4段式 長さ:合計22m
	各ブームの長さ(mm)	第1ブーム 6,800 第2ブーム 5,100 第3ブーム 5,350 第4ブーム 4,750

表-2 使用材料

セメント	C _A , C _B : 普通ポルトランドセメント	
水	W _A , W _B : 回収水(上澄水)	
細骨材	S1 _A : 砕砂	福岡県北九州市小倉区産 表乾密度 2.68g/cm ³
	S2 _A : 砕砂	兵庫県赤穂市西有年産 表乾密度 2.58g/cm ³
	S1 _B : 海砂	佐賀県唐津産 表乾密度 2.57g/cm ³
	S2 _B : 砕砂	兵庫県西島産 表乾密度 2.60g/cm ³
粗骨材	G1 _A : 碎石	2005 兵庫県赤穂市産 表乾密度 2.60g/cm ³
	G2 _A : 碎石	2005 大分県津久見市産 表乾密度 2.69g/cm ³
	G _B : 人工軽量骨材	T社製 絶乾密度 1.26g/cm ³
混和剤	高性能 AE 減水剤標準形および AE 減水剤標準形	

表-3 計画調査

コンクリートの種類*	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					
			W _A	C _A	S1 _A	S2 _A	G1 _A	G2 _A
普通 30-18[普 30]	50	49.9	180	360	442	426	602	267
普通 24-12[普 24]	57	48.6	175	307	445	428	639	283
高流動性 40-40[流 40]	40	51.2	180	450	434	418	562	249
高強度 60-60[強 60]	28	48.6	175	625	389	374	559	248
軽量1種 27-21[軽 27]	50	53.1	185	370	619	268	383	—

*: 数値は呼び強度-スランブまたはスランブフロー

表-4 ブームの姿勢、筒先の種類等の水準

要因	水準
ブームの方向	1 後方(約70°)一定
到達距離	3 10m, 15m, 19m
ブーム姿勢の形状	4 I形、II形、III形、IV形
圧送速度	3~5 低速、中速、高速、最大
筒先種類	3 F:フレキシブルホース(φ100) f:フレキシブルホース(φ125) L:軽量扁平ゴムホース S:S字型輸送管

【普 30 F 15 I】
 コンクリートの種類 / 筒先種類 / ブーム姿勢の形状 / 到達距離(m)

(記号の部分表記を含む)。また、筒先の種類のうち、軽量扁平ゴムホース(記号L)およびS字型輸送管(記号S)を写真-1に示す。



写真-1 筒先の種類

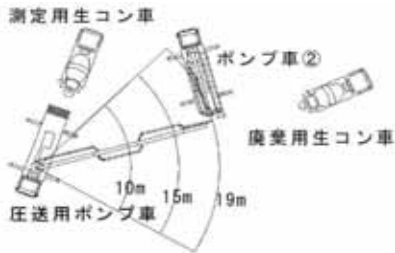


図-1 車両の配置

表-5 フレッシュコンクリート試験項目と試験方法

試験項目	試験方法	測定項目*
スランブ	JIS A 1101	SL、SF
空気量	JIS A 1128	空気量
コンクリート温度	JIS A 1156	CT、
外気温	棒形温度計による	気温
L形フロー試験	JSCE-F 514	Lf、Lv ₅₋₁₀
単位容積質量	エアメータの質量測定	
単位水量の推定	高周波加熱乾燥法	W

*: 測定項目の記号の凡例 SL:スランブ(cm)、SF スランブフロー(cm)、CT:コンクリート温度(°C)、Lf:L フロー値(cm)、Lv₅₋₁₀:5~10cm 間L フロー初速度(cm/s)、W:単位水量(kg/m³)

2.3 車両の配置およびブームの姿勢

車両の配置を図-1に示す。ブームの旋回方向は、事前検証によりアウトリガに作用する荷重が最大となった角度（後方から横に約70°）とした。また、コンクリートの到達距離は、ブームの回転中心位置から①10m、②15m、③19mとし、到達距離までのブーム姿勢の形状を合計4水準設定した。設定したブーム姿勢を写真-2に示す。なお、ブームの先端高さは、いずれもフレキシブルホース（記号F）を吊った状態の高さ（第4ブームの先端高さ11.0m）に統一した。

2.4 フレッシュコンクリート試験

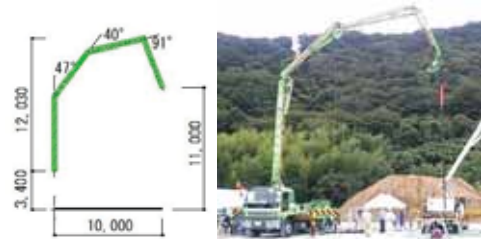
フレッシュコンクリートの試験項目と方法を表-5に示す。L形フロー試験の対象としたコンクリートは、[流40]および[高60]とした。

2.5 計測計画

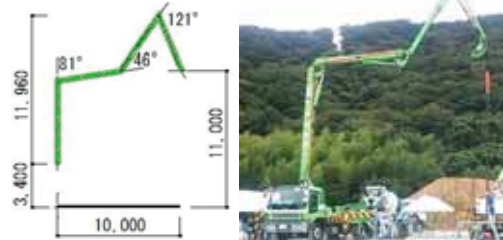
ブーム内配管の状況と設置した圧力計やひずみの計測位置を図-2に示す。測定頻度は0.1秒間隔とした。

(1) 圧力計による管内圧力の測定

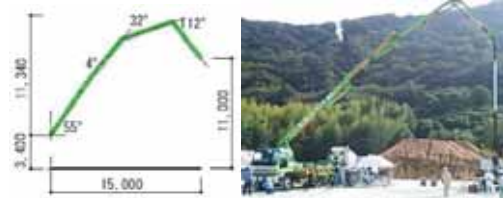
管内圧力(P1~4)の測定には容量5N/mm²の圧力計を用いた。設置位置は4つのブームのほぼ中央とした（写真-3参照）。



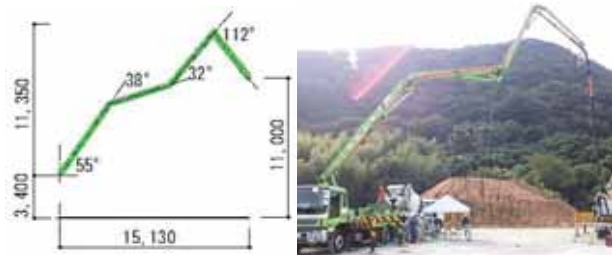
(a) 到達距離 10m、ブーム姿勢 I 形



(b) 到達距離 10m、ブーム姿勢 II 形



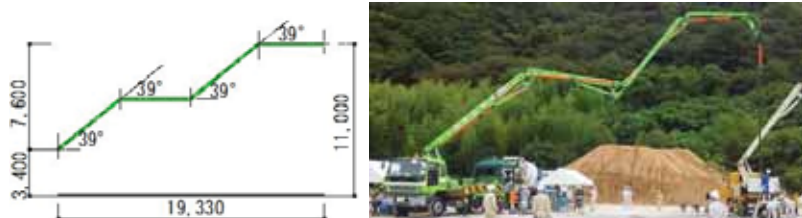
(c) 到達距離 15m、ブーム姿勢 I 形



(d) 到達距離 15m、ブーム姿勢 II 形



(e) 到達距離 15m、ブーム姿勢 III 形



(f) 到達距離 19m、ブーム姿勢 II 形



(g) 到達距離 19m、ブーム姿勢 IV 形

写真-2 ブームの姿勢(つづき)

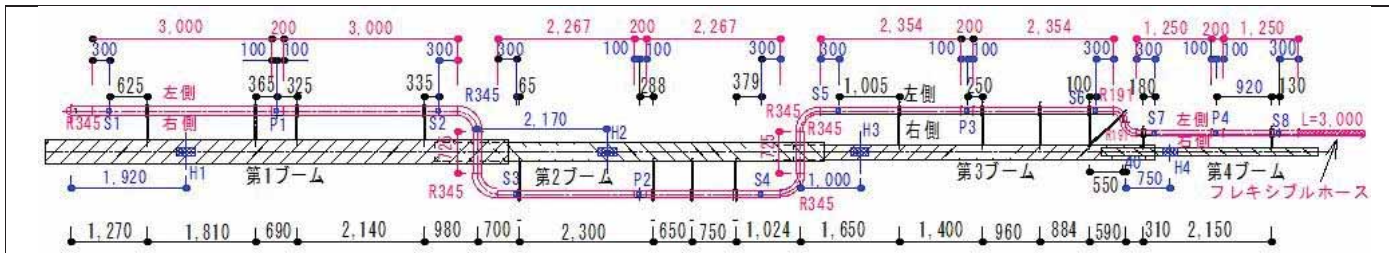


図-2 ブーム内配管の詳細と計測位置

(2) ブーム先端の移動量の測定

第4ブーム先端に下振りを取り付け、ブーム先端をビデオ撮影し、垂直移動量を解析により求めた。

3. 実験結果

3.1 圧送前後のフレッシュ状態の比較

呼び強度 30、到達距離 15m の実験における圧送前後のスランプおよび空気量について、ブームの姿勢で分類して図-3 に、筒先の種類で分類して図-4 に示す。同図によると、スランプは出荷時<圧送前<圧送後の順に大きくなる傾向、空気量は小さくなる傾向がみられる。しかし、ブームの姿勢や筒先による明確な違いはみられない。他の調査や到達距離の実験においても同様な傾向であり、ブームの姿勢や筒先の形状が、スランプや空気量に及ぼす影響は確認されなかった。

3.2 管内圧力の状況

図-5 に、管内圧力の推移の一例を示す。

同図の例は、ブームの姿勢が I 形のものであるため、上り勾配となる第1、第2ブーム (P1、P2) では、測定開始時から自重により管内圧力が作用していることが分かる。圧送を開始し、低速、中速、高速と速度の変化に対応して管内圧力が大きくなっている。

一方、下り勾配となる第3、第4ブーム (P3、P4) では低速時には管内圧力が作用していない。また、中速時には一次的に負圧となり、高速時に正圧となって推移している。ブームが下り勾配となる箇所では、中速時までは圧力を必要とすることなく、コンクリートが自重で輸送管内を滑る状態では送られていたが、高速時にはこれに圧力を作用させることによって、所定の速度となっていたと考えられる。

図-6 に、記号[F15 I]について、実吐出量と管内圧力との関係をコンクリートの種類で分類して示す。同図より、管内圧力は、実吐出量に対して指数近似的に高くなっていることが分かる。

P3、P4 に着目すると、[普 30]、[流 40]では実吐出量が 60m³/h 程度までほとんど管内圧力が作用していないのに対し、[高 60]では 30m³/h 程度となった時点で作用している。これは、[F15 I]では第3、第4ブームが下り勾配の姿

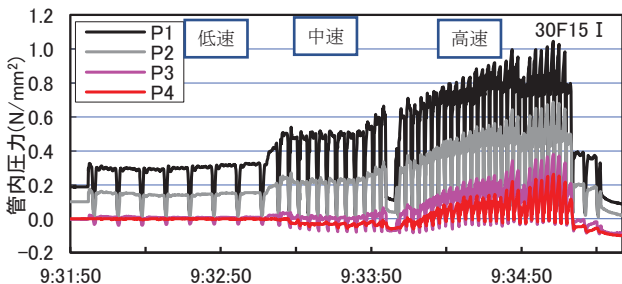
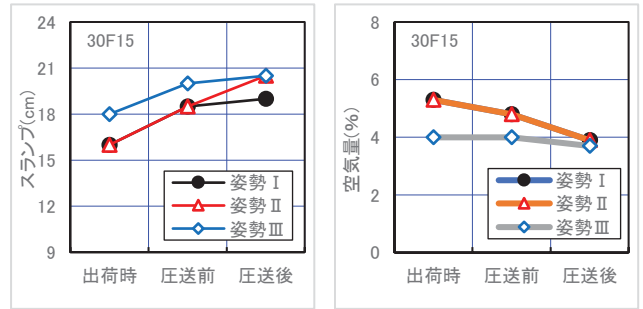


図-5 管内圧力の推移の一例(30F15 I)



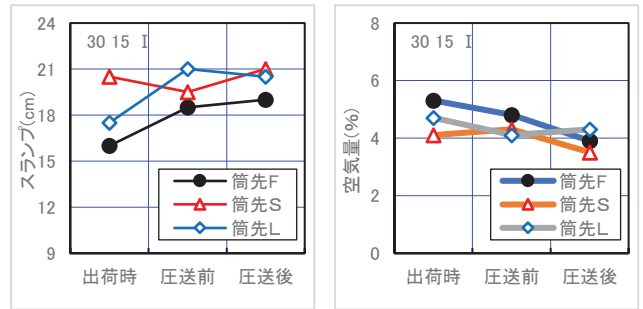
写真-3 圧力計の設置状況 (P4)



(a)スランプ

(b)空気量

図-3 ブームの姿勢によるフレッシュ状態の比較



(a)スランプ

(b)空気量

図-4 筒先形状によるフレッシュ状態の比較

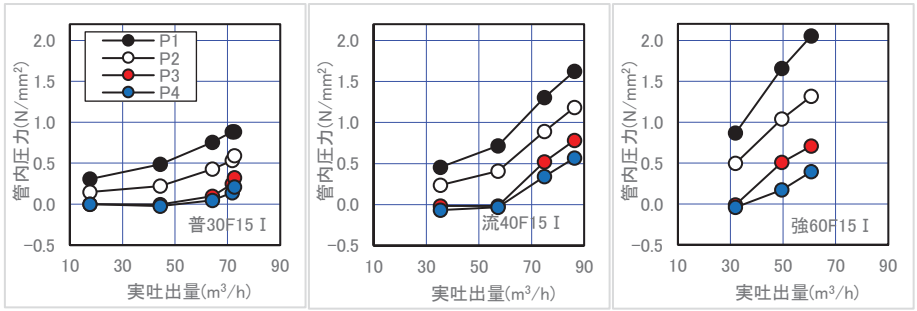
勢であることから、粘性が低い[普 30]、[流 40]では実吐出量が 60m³/h 程度となるまでは配管内をコンクリートが圧力を必要とせず送られるのに対し、粘性の高い(すべり速度が遅い)[高 60]では低速時から圧力を作用させて送られることによるものである。ブーム姿勢が同一でも、コンクリートのフレッシュ状態によって、下り配管で管内圧力が作用し始める実吐出量が異なるといえる。

つぎに、記号[普 30F]について、実吐出量 40m³/h、60m³/h 時の管内圧力 P1 を図-7 に示す。ただし、管内圧力は指数近似により求めた値である。

同図によると、管内圧力 P1 は、到達距離 10m ではブームの姿勢による違いはみられないが、到達距離 15m ではブーム姿勢 III で管内圧力が低い。ブームの最高高さが約 3m 低いことが影響していると考えられる。また、到達距離

離により管内圧力P1に明確な違いの傾向はみられない。

つぎに、筒先の形状で管内圧力 P1 を比較した図-8 によると、筒先形状 F で管内圧力が高い。これは、φ100 フレキシブルホースを接続するにあたり、ブーム先端にテーパ管を設置していたことによるものである。



(a)[普通 30F15 I] (b)[流 40F15 I] (c)[高 60F15 I]
図-6 実吐出量と管内圧力との関係(姿勢 I、到達距離15m)

4. ブーム先端の移動量 4. 1 ブーム姿勢の影響

吐出量とブーム先端の動きの關係の一例を、ブームの姿勢でプロットを分類して図-9 に示す。同図によると、吐出量の増大に伴い、ブーム先端の移動量が大きくなる傾向が認められる。また、ブームの姿勢や到達距離が先端の移動量に及ぼす影響は認められない。一方で、同一吐出量時の移動量をコンクリート種類で比較すると、軽量<普通<高強度の順に大きくなっている。単位容積質量や粘性が高いコンクリートほど、ブーム先端の移動が大きくなると考えられる。

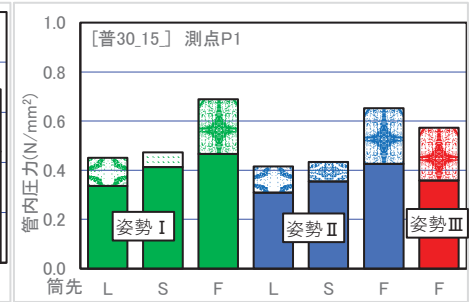
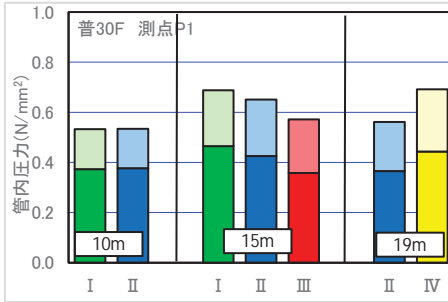


図-7 姿勢による P1 の比較[普通 F30] 図-8 筒先種類による P1 の比較[普通 3015]

4. 2 筒先形状の違いによる影響

吐出量とブーム先端の変動幅との関係を、筒先種類の違いにで分類して図-10 に示す。いずれのコンクリートにおいても、筒先 F で実吐出量とともに変動幅が大きくなる傾向がみられた。一方、筒先 S や L では吐出量が大きくなっても垂直変動幅は小さい。筒先 f で同様であった。

- フレッシュコンクリートの状態の違いはみられない。
- ② 第 1 ブームの管内圧力 P1 は最高高さが低い姿勢で低い、ブームの姿勢や水平到達距離の影響はみられない。筒先にテーパ管を設置する場合に管内圧力が高くなる傾向がみられる。
 - ③ 同様に、筒先にテーパ管を設置した記号 F で実吐出量の増加に伴う筒先の垂直変動が大きくなる。

4 まとめ

本報では、ブームの姿勢や筒先の形状が圧送性に及ぼす影響を把握し、安全性を評価することを目的とした実験のうち、実験概要、管内圧力の状況、および筒先の移動量について述べた。結果を以下に示す。

- ① ブームの姿勢や筒先形状、到達距離による圧送前後の

【参考文献】

- 1) 豊田ほか:コンクリートポンプ工法における施工性改善に関する検討 その 5~6,pp.619~622,2012.9
- 2) 豊田ほか:ブームの姿勢が圧送性に及ぼす影響と安全性に関する評価 その 1~14,日本建築学会学術講演梗概集,pp.425~452,2018.9

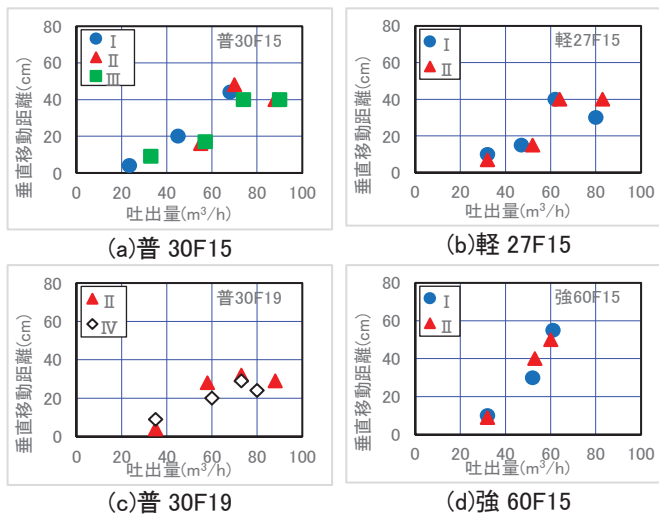


図-9 吐出量と筒先の垂直移動量との関係(姿勢で分類)

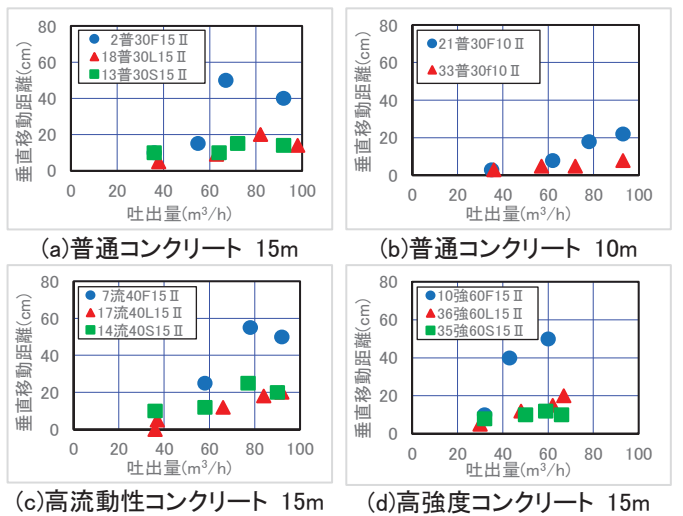


図-10 吐出量と筒先の垂直移動量との関係(種類で分類)

*1 有限会社 イッケン商事
*3 村本建設 株式会社
*5 株式会社 浅沼組

*2 株式会社 コンステック
*4 株式会社 竹中工務店

報告 ブームの姿勢が圧送性に及ぼす影響と安全性に関する評価 その2

○ 浅田 武彦*1 岩竹 秀昭*2
 木村 芳幹*3 山田 藍*4
 山崎 順二*5 岩清水 隆*4

ポンプ
 ブームひずみ
 圧送性
 安全性
 ブーム姿勢
 応力

1. はじめに

本報では、(その1)に引続き、ブームの姿勢がブーム本体の安全性や、アウトリガに作用する荷重について検討する。なお、本報は、文献¹⁾を再編したものである。

2. 実験概要

実験に用いたコンクリートポンプの概要、コンクリートの使用材料や調合、実験の要因と水準、ならびに実験記号は「その1」を参照されたい。

2.1 ブームの諸元とひずみ測定の概要

表-1、表-2にブームと輸送管の断面詳細および各筒先の重量を示す。表-1に示した各断面の鋼材の厚さは、実験開始前に断面外側より超音波厚さ計を用いて測定した値である。また、筒先重量はS字輸送管で最も重く、軽量扁平ゴムホースで最も軽い。各ブームには、(その1)で示した平面位置に、上下左右面の軸方向に検長5mmのひずみゲージを貼り付けた(写真-1参照)。

2.2 アウトリガに作用するの荷重測定の概要

ポンプ車車体の平面を図-1に示す。ポンプ車には、アウトリガがリアジャッキを含めて6ヶ所存在するが、本実験では、リアジャッキを除く4ヶ所のアウトリガに作用する荷重を測定した。荷重の測定には、圧縮型ロードセル(100kNタイプ)を用いた。ロードセルの設置状況を写真-2に示す。測定時間間隔は、0.1秒とした。

3. ブームひずみの推移

図-2に、実験開始から終了までのブーム上面に作用したひずみの推移の

一例を示す。同図のひずみは、ブームを所定の姿勢に設定する前のひずみを基準としたものである。

同図より、全ブーム上面のひずみは正の方向で推移しており、引張応力が作用していたことが確認できる。また、第1、第2ブームでは、圧送開始時に既に1000 μ 程度のひずみが生じている。圧送開始時のひずみをイニシャル値として推移を示した図-3によると、圧送時の脈動に伴って各ブームのひずみがほぼ同様に推移しているが、特に第4ブームで著しく変動している状況が見て取れる。

つぎに、高速時で圧送したときのブーム断面上側のひずみの状況について、普通コンクリート[普 30F10 I]と高強度コンクリート[高 60F10 I]で比較して図-4に示す。同図によると、各ストロークの時間は普通コンクリートのほうが短い(実吐出量が多い)が、ひずみの変動は高強度コン

表-1 ブームと輸送管の断面形状 ■:ひずみゲージ 単位:mm

(輸送管)	第1ブーム	第2ブーム	第3ブーム	第4ブーム

表-2 ブームと輸送管の諸元、および筒先の重量

		単位	第1ブーム	第2ブーム	第3ブーム	第4ブーム	筒先種類	重量(kg)
ブーム長さ	ブーム長さ	mm	6800	5100	5350	4750	4インチフレキシブルホース	F 64
	断面係数	mm ³	1237359	596184	284967	122495		
ブーム口	本体重量	N	4736	2465	1589	833	5インチフレキシブルホース	f 74
	コンクリート重量	N	2343	1757	1843	1637		
輸送管口	継手・補強材を考慮した係数	-	1.1	1.5	1.5	1.5	軽量扁平ゴムホース	L 41
	重量(コンクリート未充填時)	kg	585	418	286	165		
	重量(コンクリート充填時)	kg	824	597	474	332	S字形輸送管	S 122



写真-1 ブームに設置したひずみゲージ

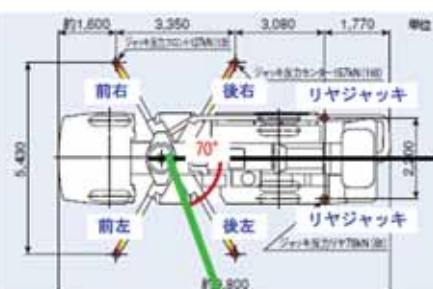


図-1 ポンプ車本体平面図



写真-2 ロードセルの設置状況

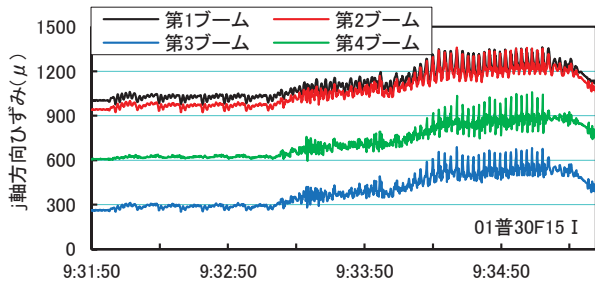


図-2 ブーム上面ひずみの推移(基準:ブーム格納時)

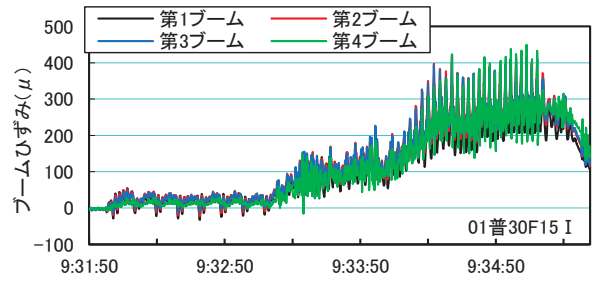
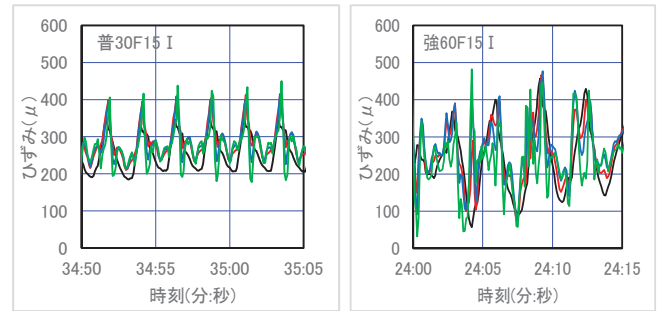


図-3 ブーム上面ひずみの推移(基準:圧送開始時)

クリートのほうが大きいことが分かる。また、第4ブームでは1ストローク内の微動が激しい。密度が大きく粘性が高いほどブームの脈動が大きく、先端に近いブームほど微動も併せた複雑な動きになると考えられる。

次に、各ストロークにおける第2ブーム4断面のひずみについて、最大値の推移の一例を図-5に示す。同図は、到達距離10m、ブーム姿勢Iのものであり、圧送開始時を基準としたひずみの推移である。同図によると、ブーム上下断面のひずみはいずれの実験においてもひずみ0μを中心として対称で推移しており、ブーム断面中心を中立とした応力状態であることが分かる。また、また、ブーム左右断面には発生したひずみはわずかであり、ブームのねじれはほとんど生じていない。



(a)記号[普 30F15 I] (b)記号[強 60F15 I]

図-4 高速圧送時のブーム上面ひずみの状況

4. ブームに生じる応力度

4.1 応力の算定方法

ブームに生じる応力について、数値解析で求めた値とブームのひずみ測定値から算出した値を比較することで測定値の妥当性を検証し、ブームの姿勢や筒先の形状が及ぼす影響を検討する。

数値解析によるブームに生じる応力度の算定方法は、文献²⁾によった。ブームに生じる荷重は、垂直静荷重、垂直動荷重とし、応力度は、曲げによる応力度とせん断による応力度の合成応力度として求めた。ただし、垂直動荷重は、脈動に起因する揺れによる負荷として1.3を乗じることとした。また、許容応力度を求めるにあたり、ポンプ車に用いられている鋼材種が明確でなかったため、ここでは鋼材種690の値を用いた。詳細は文献¹⁾を参照されたい。

4.2 実吐出量と応力度との関係

記号[普 30F15 I]における実吐出量と各ブームに発生した応力度との関係を一例として図-6に示す。同図より、ブームに生じる応力度は実吐出量と一次相関関係が認められることが分かる。そこで、実験間の比較にあたり、同様に回帰式を求め、実吐出量60m³/h時にブームに発生した応力度を算出して用いることとした。

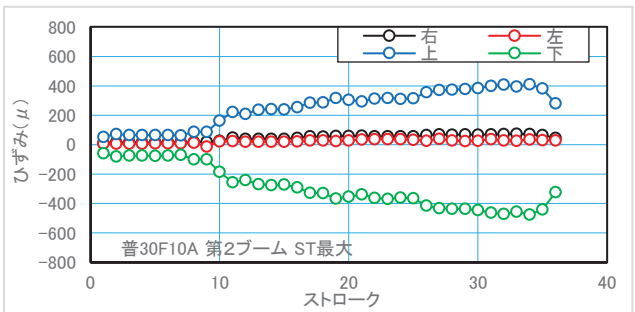


図-5 第2ブーム4断面のひずみの推移(普 30F10 I)

4.3 各種要因によるブームに発生する応力度の比較

(1) 到達距離による比較

図-7に、[普 30F]において、各ブームに生じた応力度を示す。同図によると、到達距離が長くなると、姿勢に関わらず各ブームに作用する応力度が大きくなることが分かる。また、第1ブームでは到達距離による応力度の違いが明確であるのに対し、第2ブームでは全般に応力度が高いが到達距離による違いはわずかである。また、第1ブームよりも応力度が高い姿勢もみられる。これは、第1ブームは鉛直方向とする姿勢が多いのに対し、第2ブームは斜め

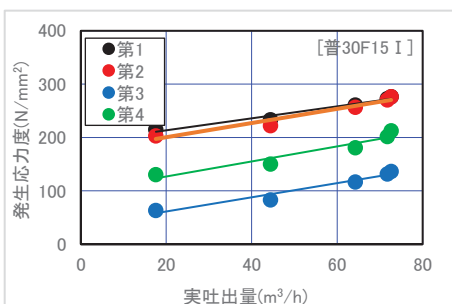


図-6 実吐出量と発生応力度の関係

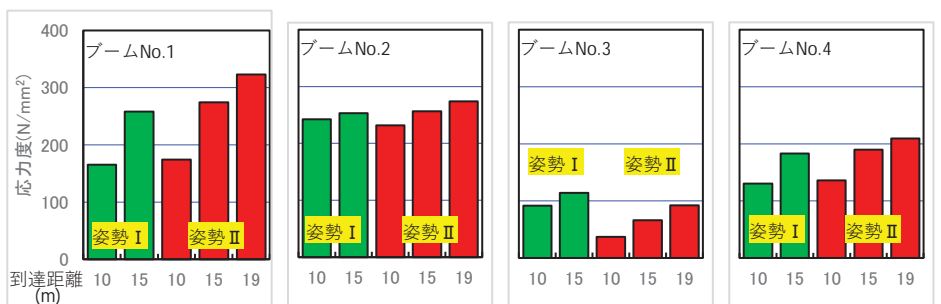


図-7 各ブームに生じた応力度_普30F(60m³/h時)

あるいは水平方向とする姿勢が多いことによると考えられる。

一方で第3ブームはいずれの姿勢、到達距離でも第4ブームより応力度が低い。同じような姿勢でも、到達距離により、ブームの角度や最高高さが異なるため、ブームにより応力度の傾向が異なると考えられる。

(2) コンクリートの種類による比較

[F15 I]および[F15 II]について、各ブームに作用する応力度をコンクリートの種類で分類して図-8に示す。同図には、計算で求めた応力度、ならびに許容応力度を併記した。同図によると、到達距離15mの実験では、[強60]でいずれのブームとも応力度が高くなっているものの、それ以外の実験では、コンクリートの種類による応力度に、明確な違いは認められない。

(3) ブームの姿勢による比較

[F10]および[F15]について、各ブームに発生する応力度をブームの姿勢で分類して図-9に示す。ただし、[F10]はコンクリートの種類[普30]と[強60]を、[F15]は[普30]を示している。同図によると、[普30]でブーム姿勢I、IIの応力度を比較すると、到達距離10m、15mともにブームNo.3で姿勢Iの応力度が高いがそれ以外では概ね等しい応力度である。一方で、到達距離10mでは[強60]の場合姿勢Iの応力度がいずれのブームとも高い。粘性の高さに起因していると思われるが、詳細は不明である。また、到達距離15mでは姿勢IIIの応力度が、ブームNo.1で低く、No.2で高い。これは、姿勢IIIがブームNo.1がほぼ垂直であるのに対し、No.2以降がほぼ水平となる姿勢であったことが影響していると考えられる。

(4) 先端の形状による比較

[普30 10 I]および[普30 15 I]について、各ブームに発生する応力度を、筒先の形状で分類して図-10に示す。同図(a)によると、筒先がfのときに、発生する応力度がいずれのブームにおいてもやや低いことが分かる。筒先fは、φ125フレキシブルホースであり、ブーム先端にテーパ管を設けることなく接続したことから、ブームに作用する配管の抵抗が小さいと考えられる。筒先F、S、Lメカニズムは異なるものの、筒先までの抵抗力が概ね等しいと考えられ、ブームに生じる応力度がほぼ等しいと考えられる。

4.4 ブームの安全性に関する考察

図-11に、全実験の実吐出量60m³/h時におけるブームの応力度の測定値と計算値の関係を、示す。同図には、鋼材種が590、690および780の許容応力度を併せて示した。

同図によると、ブームNo.1、No.2、およびNo.4の測定値は、計算値がほぼ対応していることが分かる。一方、ブームNo.3の応力度は計算値を下回っているが、これはブーム断面内部が補強されていることによると推測される。

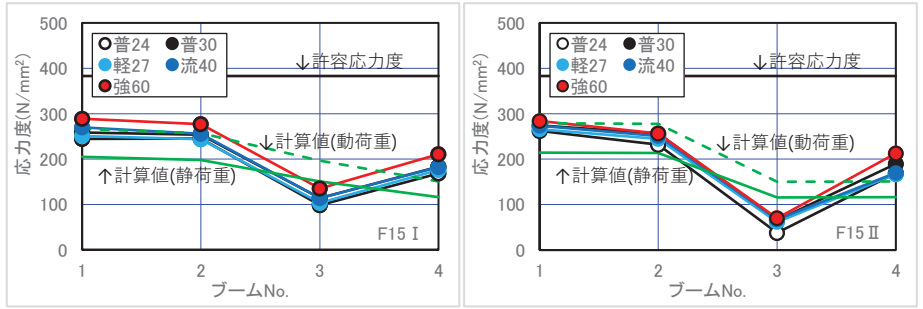


図-8 ブームに作用する応力度(コンクリートの種類で分類)

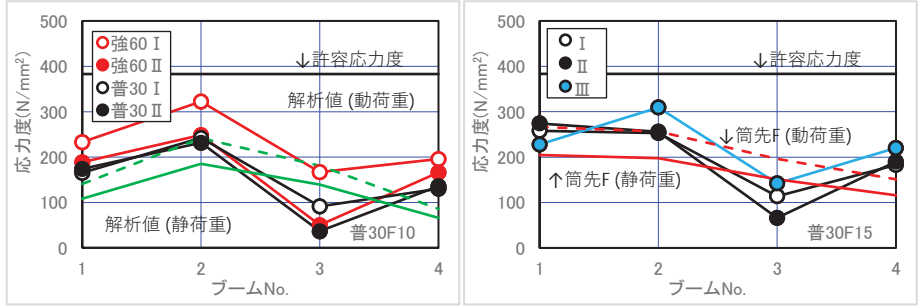


図-9 ブームに作用する応力度(ブームの姿勢で分類)

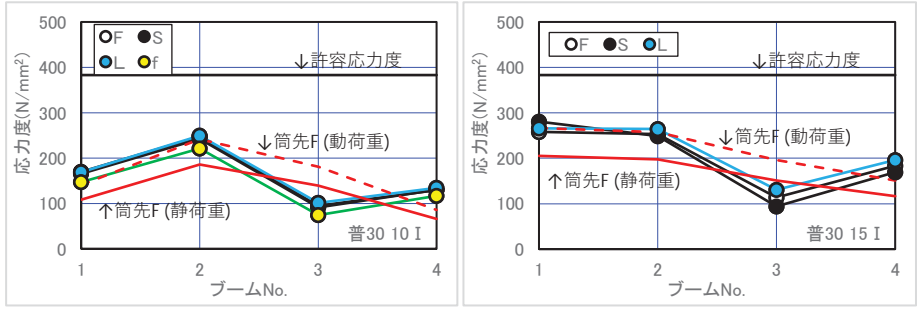


図-10 ブームに作用する応力度(筒先の形状で分類)

No.4はブーム先端のひずみ波形がその他のブームと異なっていたことから、脈動による割増を過小評価していると考えられる。

一方で、ブームに鋼材種590が使用された場合、実吐出量60m³/hで第1および第2ブームで許容応力度を超える可能性がある。特に鋼材種590の許容応力度を大きく超えるのは、到達距離19mの場合であった。

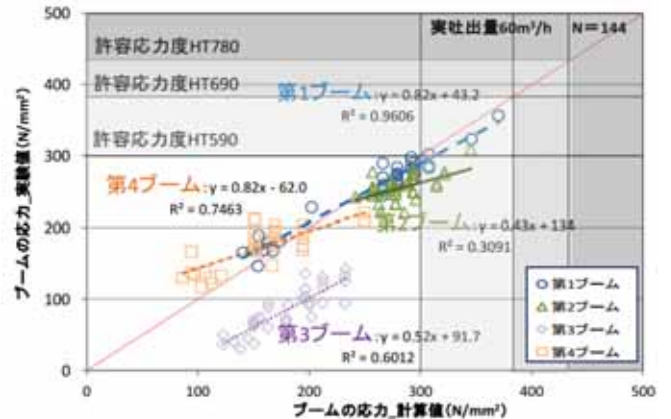


図-11 ブームの応力度の実験値と計算値との関係

5. アウトリガーに作用する荷重

図-12 に、実吐出量とアウトリガーに作用する荷重との関係の一例を示す。同図(a)は、ブームを折りたたんだ状態を基準とした荷重、(b)は実験開始時を基準とした荷重である。同図によると、ブームを所定の形に設定した時点でブーム方向（正方向）には 30~40kN の荷重が作用しており、実吐出量と概ね比例して、荷重が増加していることが分かる。また、ブームと反対方法（逆方向）は、実吐出量とともにわずかではあるが荷重が減少している。そこで、各実験について実吐出量 60m³/h 時に正方向に作用する荷重を比較する。

図-13 に、記号[普 30]における各実験におけるアウトリガー（正方向 2ヶ所）に作用する荷重を示す。同図によると、ブームの到達距離が長くなるほど、荷重が大きくなっており、ブームの姿勢や筒先形状によって荷重の大きさが異なることが分かる。

ブームの姿勢で比較すると、I 形(A)よりも II 形(M)のほうが荷重が大きい。上向きの圧送となるブームは、I 形が第 1、第 2 ブーム、II 形が第 1、第 3 ブームであることから、ブーム先端に近い箇所で管内圧力が高くなる（管内圧力損失が大きくなるとしたい）形状であるほど、アウトリガーに作用する荷重が高くなると考えられる。また、筒先形状で比較すると、L<S<F の順に荷重が大きい。

一方、フレキシブルホース F(φ100)と f(φ125)で比較すると、F のほうが荷重が大きい。F はブーム先端にテーパ管を設置したうえで接続したことから、その部分で抵抗（圧力損失）が大きくなったと考えられる。一方、f はブームの先以後、筒先までほぼフレキシブルホース内でコンクリートがほぼ落下する状態となることから、筒先内で抵抗が生じる S や L よりも荷重が小さくなると考えられる。

つぎに、到達距離 15m の実験において、コンクリートの種類による比較を図-14 に示す。同図によると、呼び強度とともに荷重が大きくなっていることが分かる。普通コンクリートと軽量コンクリートでは大きな違いはみられない。また、高強度コンクリートでは、筒先 L、S が F よりも荷重が大きい。高強度コンクリートは単位セメント量が多く、普通コンクリートよりもスムーズにテーパ管内を圧送されると考えられるとともに、単位容積質量が大きく、粘性が高いことから、L や S における抵抗が大きくなると考えられる。筒先 L や S はホース内をコンクリートが自由落下させないことで材料分離を防ぐ効果がある³⁾一方で、コンクリートポンプのブームやアウトリガーへの負担が増加することに留意する必要がある。

6 まとめ

本報では、ブームの姿勢や筒先の形状が圧送性に及ぼす影響を把握し、安全性を評価することを目的とした実験のうち、ブーム本体に作用する応力の状況、およびアウトリガーに作用する荷重について述べた。結果を以下に示す。

- ①密度が大きく粘性が高いコンクリートを圧送すると、先端に近いブームほど微動も併せた複雑な動きになる。
- ②到達距離が長くなると、姿勢に関わらず、各ブームに作用する応力度が大きくなる。
- ③全般に、第 2 ブームで生じる応力度が大きくなるが、ブ

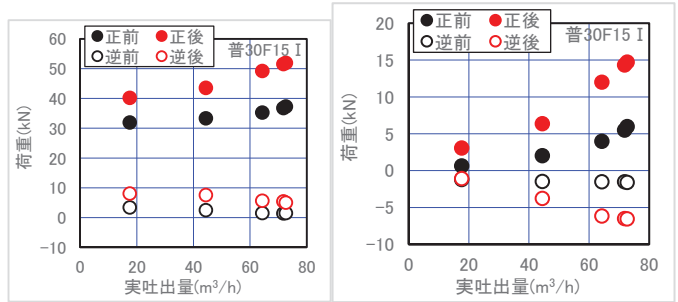


図-12 実吐出量とアウトリガーに作用する荷重との関係

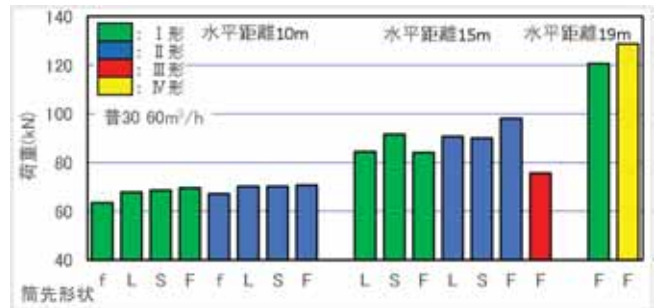


図-13 アウトリガーに作用する荷重(ブーム姿勢で比較)

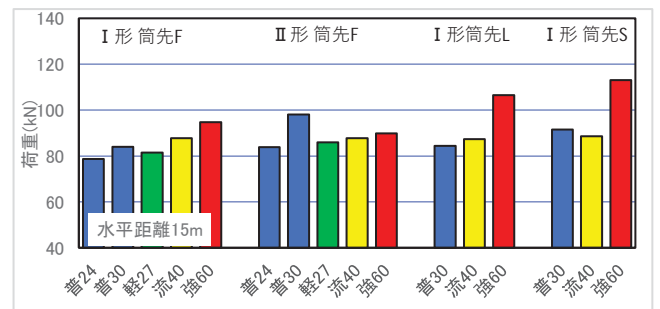


図-14 アウトリガーに作用する荷重(到達距離 15m で比較)

ームの姿勢による応力度の違いはわずかである。

- ④高強度コンクリートの場合、ブームで生じる応力度が計算で求めた応力度を上回ることがある。到達距離が短い場合に顕著であることから、最高高さが高いほど注意が必要となる。
- ④筒先をφ125 フレキシブルホースとした場合は、ブームに生じる応力度が低くなる。
- ⑤ブームに鋼材種 590 が使用された場合は、特に到達距離が 19m の場合で許容応力度を超える可能性がある。
- ⑥アウトリガーに作用する荷重は、ブームの姿勢が I 形よりも II 形とした場合に大きくなる。

【参考文献】

- 1)豊田ほか：ブームの姿勢が圧送性に及ぼす影響と安全性に関する評価 その 1~14,日本建築学会学術講演梗概集,pp.425~452,2018.9
- 2)日本建設機械施工協会「コンクリートポンプ車総合改善委員会報告書」
- 3)豊田ほか:コンクリートポンプ工法における施工性改善に関する検討 その 5~6,日本建築学会大会学術講演梗概集,pp.619~622,2012.9

*1 株式会社 泉北ニシイ
*3 株式会社 コンステック
*5 株式会社 浅沼組

*2 村本建設 株式会社
*4 株式会社 竹中工務店

報告 スクイズ式ポンプによるコンクリートの圧送性に関する研究

○村松 賢一*¹ 山田 藍*²
 永田 哲夫*¹ 木村 芳幹*³
 江上 雅之*⁴ 中村 成春*⁵

ポンプ 圧送性 スクイズ式ポンプ
 管内圧力波形 管内圧力損失 吸込み効率

1. はじめに

小型車両のスクイズ式ポンプは、作業所での占有スペースが大型より小さいこと、ピストン式ポンプに比較して圧送終了時のホップ内の残留コンクリートが少量となること、圧送終了時の機械の洗浄作業が容易であることなどのメリットが多い。また、近畿ではピストン式ポンプより稼働回数が多い¹⁾。一方、スクイズ式による圧送性評価の実験は少なく安全施工のための定量的な検証が必要である。

日本建築学会近畿支部材料・施工部会ポンプ工法WGは、近畿生コンクリート圧送協同組合と共同で、2021年に第15回目のField実験として、現在一般に稼働するスクイズ式ポンプを用いた圧送実験を行った。本報では、実験計画、計測した管内圧力の状況および機種選定手法の安全性について述べる。なお、本報は、文献¹⁾を再編したものであり、一部2013年から2020年までに実施したField実験データ²⁾も含めて結果を報告する。

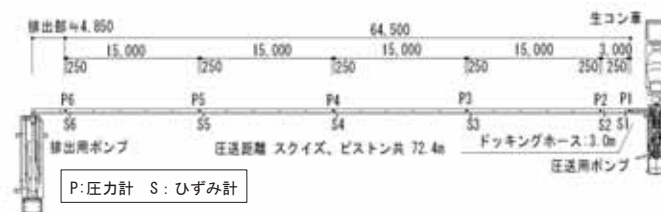
2. 実験計画

2.1 実験の概要

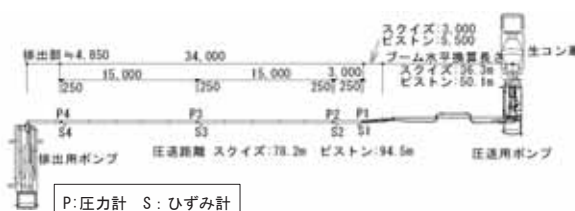
実験の概要、配管計画およびコンクリートポンプの概要を表1、図1および表2に示す。実験の構成は、実験I(ブーム無)と実験II(ブーム有)とした。実験I、IIともスクイズ式ポンプ(記号:a)とピストン式ポンプ(記号:b)を用いた。実験Iは、施工現場でスクイズ式ポンプに機械能力と同等程度の負荷が与えられたときの圧送性を評価することを目的とし、対象を呼び強度が大きい普通コンクリートとした。実験IIは、ブームに設置されている複数の曲率半径の小さいベント管をコンクリートが通過することによる圧送性に及ぼす影響を把握することを目的とし、対象を単位セメント量が小さいコンクリートとした。表3および表4にコンクリートの使用材料および調合を示す。

表1 実験の概要

表1 実験の概要	
実験場所/実験時期	神戸市垂水区/2021年10月
配管計画	ブーム無(I)・ブーム有(II)
ポンプ形式	スクイズ式(a)・ピストン式(b)
コンクリートの種類	呼び強度6水準 スランプ・フロー5水準



(1) 実験I 配管I



(2) 実験II 配管II

図1 配管計画

表2 コンクリートポンプの概要

形式	K社 PH50-17		K社 PY115-26	
	方式	真空スクイズ式	ピストン式	
ポンプ	最大吐出量	50m³/h	36m³/h	100m³/h
	最大吐出圧力	1.8MPa	2.5MPa	5.6MPa
	シリンダ径	—		φ205×1650mm
	チューブ径	4.5B		—
	ホッパ容量	280L		500L
ブーム	形式	3段屈折式	4段屈折式	
	最大地上高さ	17m	25.8m	
	最大長さ	14.3m	21.8m	
配管径	100A		125A	

表3 コンクリートの使用材料

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/cm³
	S2: 砕砂 兵庫県赤穂市西有年産 表乾密度 2.58g/cm³
粗骨材	G1: 砕石 2005 兵庫県赤穂市産 表乾密度 2.60g/cm³
	G2: 砕石 2005 大分県津久見市産 表乾密度 2.69g/cm³
化学混和剤	SP: 高性能 AE 減水剤標準形 T社製
	AE: AE 減水剤標準形 (高機能タイプ) F社製
	VSP: 高性能 AE 減水剤標準形 (増粘剤一液タイプ) F社製

Study on Pumpability of Concrete Pumped by Squeeze Pump

MURAMATSU Kenichi *¹, YAMADA Ai*²
 NAGATA Tetsuo *¹, KIMURA Yoshimoto*³
 NAKAMURA Shigeharu*⁴, EGAMI Masayuki*⁵

表4 コンクリートの調合

実験記号	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						化学混和剤 (kg/m ³)			
			W	C	S1	S2	G1	G2	SP	AE	VSP	
①24-18SP I a	57	51.6	180	316	466	449	595	264	2.94	-	-	
②27-21SP I a	54	53.4	185	343	473	455	561	249	3.36	-	-	
③27-18SP I a	54	50.1	180	333	458	441	597	265	2.90	-	-	
④30-21SP I a	50	52.5	185	370	460	442	564	250	3.37	-	-	
⑤30-18SP I a	50	49.9	180	360	442	426	602	267	2.92	-	-	
⑥30-15SP I a	50	46.6	175	350	434	418	628	278	1.66	-	-	
⑦33-21SP I a	47	51.6	185	394	446	430	568	252	3.47	-	-	
⑧33-18SP I a	47	49.2	180	383	431	415	604	268	2.99	-	-	
⑨30-18SP I b	50	49.9	180	360	442	426	602	267	2.92	-	-	
⑩30-18SP II a	50	49.9	180	360	442	426	602	267	2.92	-	-	
⑪24-18SP II a	57	51.6	180	316	466	449	595	264	2.94	-	-	
⑫24-15AE II a	57	49.5	180	316	448	431	621	275	-	3.16	-	
⑬30-45VSP II a	50	53.2	175	350	477	459	570	253	-	-	3.15	
⑭24-15SP II a	57	50.1	175	307	458	441	621	275	2.61	-	-	
⑮21-18AE II a	63	52.2	190	302	468	450	582	253	-	3.02	-	
⑯21-12AE II a	63	50.0	175	278	464	446	630	279	-	2.78	-	
⑰18-18AE II a	68	53.2	190	279	482	464	577	256	-	2.79	-	
⑱24-15SP II b	57	50.1	175	307	458	441	621	275	2.78	-	-	

表5 コンクリートの試験項目、試験方法および試験時期

試験項目	試験方法	試験時期		
		出荷時	圧送前	圧送後
スランプ	JIS A 1101	●	●	●
スランプフロー	JIS A 1150	●	●	●
空気量	JIS A 1128	●	●	●
コンクリート温度	JIS A 1156	●	●	●
外気温	温度計による	●	●	●
単位容積質量	エアメータの質量測定	●	●	●
単位水量の推定	高周波加熱乾燥法	●	-	-
L形フロー試験	JSCE-F 514	-	●	●
圧縮強度	標準養生 28日	-	●	●
動弾性係数	標準養生 28日	-	●	●

2. 2 試験と測定

コンクリートの試験項目、試験方法および試験時期を表5に示す。コンクリートは、強制二軸練りミキサーを用いて練り混ぜ、コンクリート2バッチ分のフレッシュコンクリート試験の値を出荷時の試験値とし、その時刻を出荷時の時刻とした。2バッチ分を運搬車に積載し、試験場まで約2分で運搬した。出荷20分経過後に、試験場にて圧送前の試験を実施した。出荷30分後に圧送実験を開始し、低速から、3~5段階で最大の吐出量となるように速度調整して圧送し、その後、段階的に吐出量を減少させ、運搬車に積載しているコンクリートが全量排出されるまで実験を継続した。実験終了後、排出用ポンプのホップ上で筒先から排出される試料を採取し、圧送後のコンクリート試験に供した。

圧送されるコンクリートの管内圧力に関して、長さ250mmの計測管中央に容量5MPaの圧力計を取り付けて測定した(図1記号P)。また、K社が開発した車両管理支援システムのIoT(Internet of Things)基盤をスクイズ式ポンプに搭載し、ロータ回転油圧のデータを取得した。

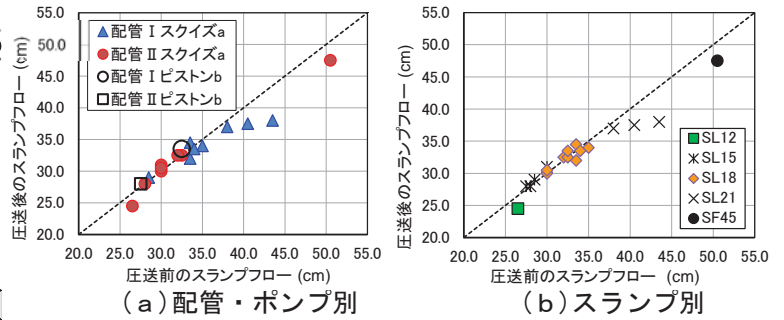


図2 スランプフローの変化

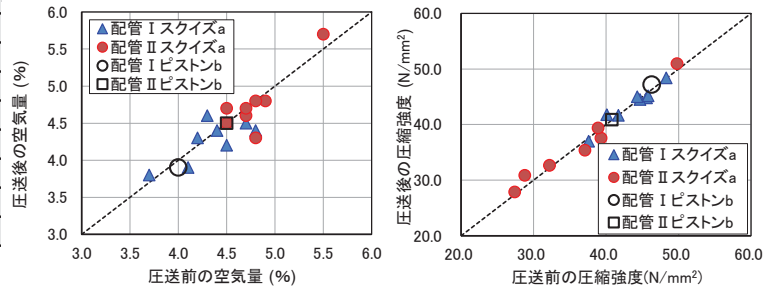


図3 空気量の変化

図4 圧縮強度の変化(材齢4週)

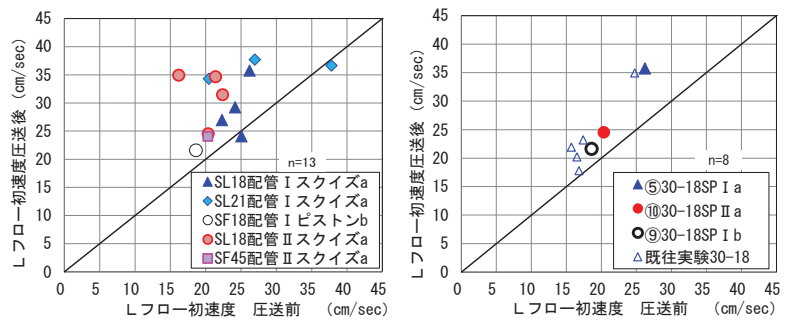


図5 Lフロー初速度の変化

3. 実験結果

3. 1 圧送前後のコンクリートの性状変化

圧送前後のコンクリートの各種試験における性状変化について、調合、配管およびポンプ機種の違いについて報告する。図2にスランプフローの変化を示す。目標スランプ21cmの調合は、圧送後のスランプフローがやや小さくなったが、ポンプ機種の違いは認められなかった。図3に空気量の変化を示す。圧送前後の空気量の変化は+0.3%~0.5%(平均値:-0.06%)と小さく、配管およびポンプ機種の違いの影響も特に認められなかった。図4に材齢4週の圧縮強度の結果を示す。全調合とも圧送前後の変化は殆どなくポンプ機種の影響はないといえる。図5(a)には2021年実験のLフロー初速度を示す。また、図5(b)には過去実験²⁾を含めた呼び強度30・スランプ18cmのLフロー初速度を示す。Lフロー初速度は圧送後に大きくなる傾向があった。ばらつきが大きくポンプ機種や配管条件による傾向の差は認められない。呼び強度30・スランプ18cmの調合では、ピストン中心の実験²⁾との比較においても、圧送前のLフロー初速度が同程度のは圧送後もほぼ似た値になった。ポンプ機種の影響はほとんどないといえる。

3. 2 管内圧力の圧送波形

2021年 Field 実験は、3～5段階で最大の吐出量となるように圧送速度を調整した。すべての実験において閉塞したものはなく安定した圧送が行われたが、圧力計により測定した管内圧力波形には各実験で相違が表れた。図6および図7に、実験⑤30-18SP I a および実験⑨30-18SP I b の管内圧力波形全体図と低速時と高速時の管内圧力波形拡大図を示す。図7のピストン式ポンプでは低速時も高速時も両者ともにストロークの前半にピークがありその後は安定する形状となり、圧力計の設置位置によらず波形が相似していた。一方、図6のスライズ式ポンプでは、低速時の根元直近ではストローク後半に、筒先直近ではストローク前半になだらかなピークを有し、高速時には根元直近にピークが複数あり、筒先直近ではストローク前半にピークがあった。圧送速度や圧力計の設置位置で形状が相似しないという特徴が表れた。スライズ式はピストン式に比較して、ストロークの周期が短く、管内圧力が高い段階で、吐出時（根元）に発生する圧力が組み合わせり、複雑な波形となっていると推察とされる。

3. 3 管内圧力損失

2021年 Field 実験の管内圧力損失 K 値は、配管 I では P2 と P5 の圧力計の測定値を、配管 II では P2 と P3 の測定値を用いて算定した。図7に過去実験²⁾の呼び強度 30・スランプ 18cm の調合の実吐出量と管内圧力損失の関係を示す。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 2009」³⁾ (以降、AIJ 指針) に示されるスランプ 18cm の値 (1979年の AIJ 指針第1次改定時から記載)、および本 WG で提案した W/C=50%の値²⁾も示す。実験結果は年度ごとのばらつきが大きく、2021年の結果は過去の実験の中で下限付近の値となったが、過去の実験と同様に、AIJ 指針の値よりも実吐出量の増加に伴う管内圧力損失の増大が大きな結果となった。これは、AIJ 指針の値は川砂利・川砂を用いたコンクリートを主体に作成されたものであった一方、本実験では砕石・砕砂を使用し、高性能 AE 減水剤を用い単位水量を減らしており、1979年当時よりは粘性が高いコンクリートを主体としているためと考えられる。本 WG の提案式²⁾は、2021年実験を含めた全実験の平均的な値となっている。

3. 4 吐出口位置におけるロータ回転油圧から求めた圧力推定値と圧力計による圧力算出値との関係

図9にスライズ式ポンプにおける吐出口位置を、図10にスライズ式ポンプの、輸送管に設置した圧力計による管内圧力から計算した吐出口位置での圧力算出値 P_T と、実験時に IoT による車両管理支援システムから得られたロータ回転油圧 P_R から求まるスライズ式ポンプの吐出口圧力推定値 P_0 との関係 (実吐出量 30m³/h 時) を示す。スライズ式ポンプの吐出口圧力推定値 P_0 は、一般社団法人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」⁴⁾ のコンクリートポンプの仕様一覧に示される実験に使用したポンプ機種種の標準圧 (高速) 時の圧力比 (油

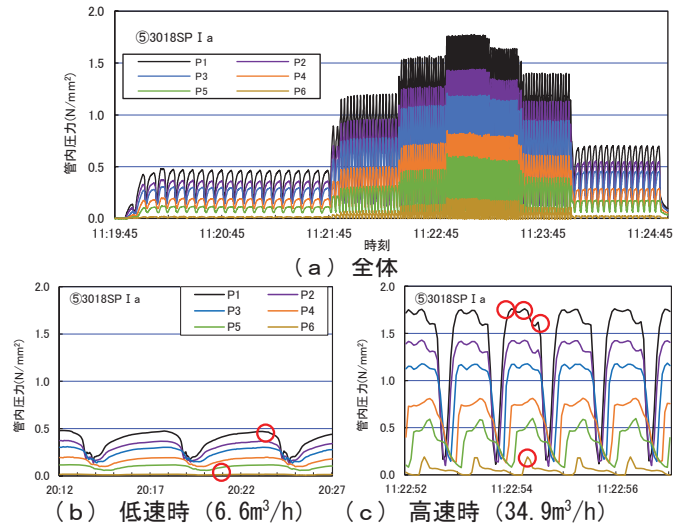


図6 管内圧力波形 (⑤30-18SP I a : 配管 I スライズ式)

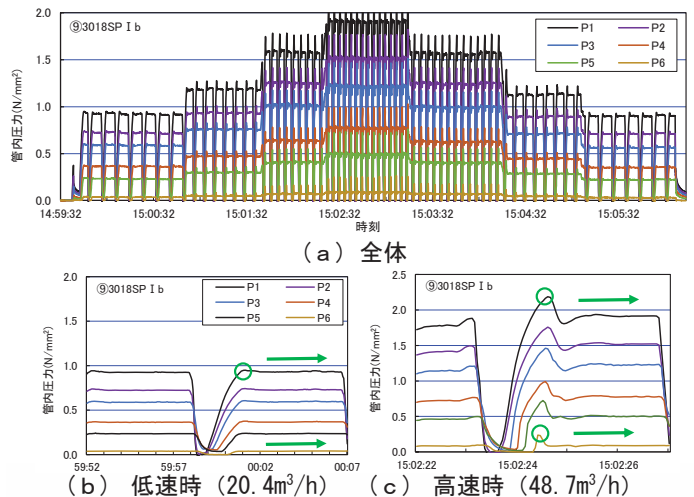


図7 管内圧力波形 (⑨30-18SP I b : 配管 I ピストン式)

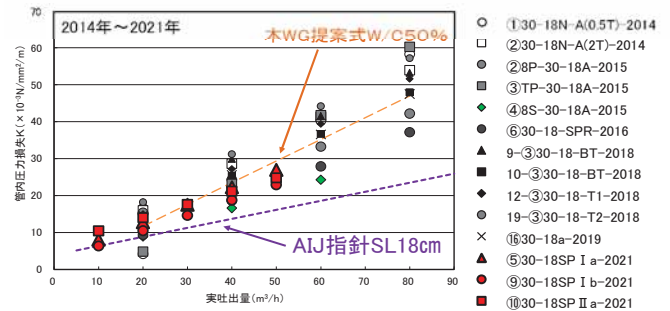


図8 実吐出量と管内圧力損失の関係 (30-18SP)

圧/吐出圧) 16.3 を用い、ロータ回転油圧 P_R を 16.3 で除して求めた。圧力算出値 P_T は、3. 3 で算定した管内圧損失を用いて圧力計 P2 を基準に吐出口位置における圧力を算出した。吐出口圧算出値 P_T が約 1.5N/mm² より大きな場合は算出値は推定値と同等であるが、圧力が小さい場合は、若干推定値 P_0 のほうが大きくなる傾向にある。AIJ 指針では、ピストン式ポンプを対象とし、ポンプの機械的損失と流下損失および圧送負荷の変動に対する余裕を足し合わせたものが算定された圧送負荷の 25%分とみなされるところとして、「算定された圧送負荷 P を 1.25 倍した値を上回

る最大理論吐出圧力を有するコンクリートポンプ機種を選定すれば、圧送可能」とされている。図 11 に過去実験²⁾のピストン式ポンプを用いた実験における圧力計から求めた根元近くの圧力 P_1 と主油圧から求めたピストン前面圧力 P_0 との関係を示すが、ピストン式ポンプの場合における 1.25 の数値が妥当であることがわかる。スクイズ式(図 10)では、機構上、機械的損失と流下損失はないことから、余裕という観点で 1.25 という数値を用いて機種選定することが安全側であることが確認されたといえる。

3. 5 吸込み効率 (機械効率)

吸込み効率は、圧送前の空気量試験値を用いて補正し、試料採取分 0.1m^3 を差し引いたコンクリート量を、1 ストローク (ドラム半周) あたりの理論吐出量に総ストローク数を乗じた理論コンクリート量で除して求めた。過去実験²⁾における吸込み効率の平均値は、ピストン式ポンプで 0.949、スクイズ式ポンプでは 0.939 であり、ポンプ機種によらずほぼ同等であり、AIJ 指針で示される値より大きな値となった。図 12 および図 13 に、呼び強度およびスランプと吸込み効率の関係について、過去実験²⁾も併せて示す。ポンプ機種によらず、呼び強度との間には明確な相関関係は認められない。スランプについてはピストン式では明確な相関関係は認められないが、スクイズ式のスランプ 12~21cm ではスランプが大きくなるにつれて若干吸込み効率が大きくなる傾向があった。表 2 に示した最大吐出圧力などからわかるように、チューブの復元力を用いるスクイズ式ポンプでは吸込み力が低いため、スランプが大きいコ

ンクリートの方が吸込みが容易であるため、スランプによる差が表れやすかったものと考えられる。

4. 課題と改善提案

スクイズ式ポンプでは、以下の点に留意する必要があることが分かった。

- ・ ピストン式ポンプよりも管内圧力波形が複雑な形状となりやすく、圧送するコンクリートの調合によって圧送が不安定となる可能性がある。
- ・ 管内圧力損失に関して、AIJ 指針による値に比較して、実吐出量の増加に伴う増大が大きい。

5. おわりに

現在の稼働率も高く、省力化・環境負荷低減にも寄与する小型車両のスクイズ式ポンプ施工の安全性を確保するために、ポンプ機種・配管・圧送するコンクリート調合を変数とした圧送実験を実施し、圧送性の把握に関する体系的なデータを蓄積した。

参考文献

- 1) 杉本勝幸ほか:スクイズ式ポンプによるコンクリートの圧送性に関する研究 その 1~13, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)pp.255~280,2022.9
- 2) 杉本勝幸ほか:コンクリートの圧送性に関する総合的評価と提案 その 1~19, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)pp.441~478,2021.9
- 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,2009.1
- 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]



図 9 スクイズ式ポンプの吐出圧力

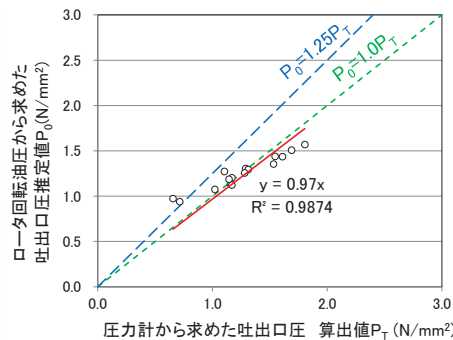


図 10 スクイズ式ポンプの吐出口位置における算出値 P_T と推定値 P_0 との関係

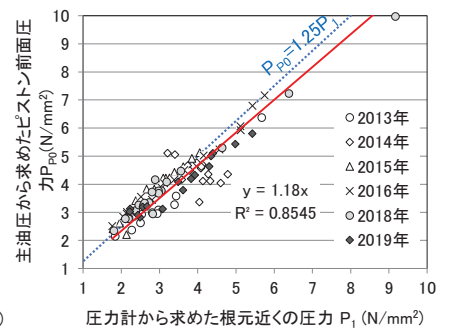
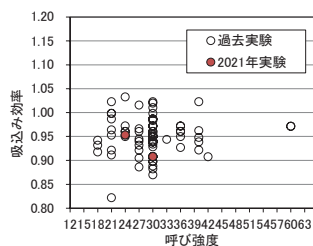
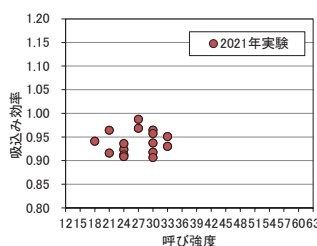


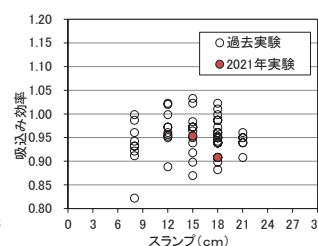
図 11 ピストン式ポンプの圧力計による輸送管根元近くの圧力 P_1 と主油圧によるピストン前面圧力 P_0 との関係



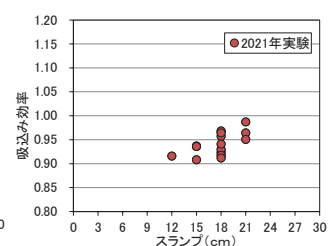
(a) ピストン式ポンプ



(b) スクイズ式ポンプ



(a) ピストン式ポンプ



(b) スクイズ式ポンプ

図 12 呼び強度と吸込み効率の関係

図 13 スランプと吸込み効率の関係

*1 近畿生コンクリート圧送協同組合 *2 (株)竹中工務店 *3 (株)コンステック
*4 大阪工業大学 *5 極東開発工業(株)

報告 ディストリビュータ工法を適用した土間コンクリート圧送施工事例

○共田 昌一*1 河野 純子*2
 中井 正記*3 豊田 裕*4
 浅田 武彦*5 村松 賢一*2

ディストリビュータ 効率化 省力化
 工期短縮 配管干渉 WBGT 値

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
 とを可能とし、配管作業等を大幅に低減することができる。
 また、作業工数の大幅な削減により工期短縮も可能となる。
 このため関東では、ディストリビュータの導入が積極的に
 進められているが、関西ではまだ導入する現場数が少ない。

本報では、暑中期における同一の現場での、土間および
 地中梁のコンクリート圧送施工時にディストリビュータ
 を用いた場合と従来の配管による圧送の場合の2つの施
 工事例を比較し、ディストリビュータを用いることの有用
 性について報告する。

2. 工事概要

施工時期は 2023 年 7 月～8 月、施工現場は大阪府門真
 市で、土間、地中梁および基礎部分の打設である。また、
 コンクリートの打ち込みは 1 工区と 2 工区に分けて施工
 し、1 工区の打ち込み箇所は土間および地中梁である。

3. コンクリートポンプ車とディストリビュータの概要

使用したコンクリートポンプ車である極東開発工業
 (株)製 PY135-28H と (株) トーメック製ディストリビュー
 タ HGY-17 の仕様を表 1 に示す。

4. ディストリビュータを用いた圧送

ディストリビュータを用いた圧送時のコンクリート配
 合は 30-18-20-N で、圧送速度は 62m³/h、一日の総打設量
 は 145.25m³であった。また、打込みの様子を写真 1～3
 に示す。コンクリートポンプ車のブームを最大限伸ばした
 (24.5m) 先に 5 インチの輸送管を 65m 配管し、更
 にその先をディストリビュータに接続した。用いたディストリ
 ビュータは支柱部分の無い 3 段ブーム、ブーム水平リーチ 17
 m、地上最大高 20m の据置型であった。

ディストリビュータ設置予定位置の土間部分は予め施
 工し、土間部分が硬化した後にディストリビュータを設置
 し、ディストリビュータによる圧送施工を行った。

これらの圧送時の圧送従事者の様子を写真 4 に示す。筒
 先からの落下距離を極力抑えつつもブームから吊り下げ
 た状態で打込むことが可能となるため、筒先を抱えて持ち
 上げる必要がなく、圧送従事者の負担が大幅に軽減される。

表 1 コンクリートポンプ車とディストリビュータの仕様

コンクリートポンプ車	型式	PY135-28H
	最大理論吐出量	標準:131m ³ /h 高圧:98m ³ /h
	最大理論吐出圧力	標準:8.5MPa 高圧:13.0MPa
	ブーム長形式	4段M形
	ブーム長	最大長さ 24.5m
ディストリビュータ	型式	HGY-17
	最大作業半径	17m
	最大地上高	20m
	旋回範囲	370°
	重量	4950kg(カウンターウェイト除く)
	カウンターウェイト重量	2060kg



写真1 ポンプ車設置状況



写真2 ディストリビュータ設置状況



写真3 ディストリビュータを用いた施工状況

圧送の当日は、朝 9 時時点で気温 31.3℃、湿度 65%であったが、正午には気温 35 度、湿度 50%となり、気温、湿度、日射・輻射熱の 3 要素を取り入れた蒸し暑さを総合的に表した「暑さ指数(WBGT)」は 28~30℃と、熱中症の嚴重警戒日であった。このため、ディストリビュータの導入により圧送従事者の負担が軽減され、熱中症リスクも軽減したと考えられる。また、今回は土間上に浮かし型枠があり、型枠に触れないように細心の注意が必要であったが、ディストリビュータから吊り下げた状態で打込むことにより、先端ホースを配筋上で引きずって移動させる必要がなく、配筋を乱さずに圧送することができた。

5. 配管による圧送

2023 年 8 月に配管圧送作業にて地中梁にコンクリートの打込みを行った際の状況を写真 5~7 に示す。生コン配合は 45-45-20-L 及び 30-18-20N、圧送速度は 62m³/h 一日の総打設量は 271m³であった。

ディストリビュータを用いた時に比べ、打込み場所を変更する際には、①配管を切離し→②切離した配管をエア送りにより洗浄→③先端ホースを再接続、などの段取り替えの手間が都度必要となる(写真 5)。また、型枠や足場などに乗り上げて先端ホースを引きまわす必要がある(写真 6)。3.75inch の先端ホースの自重が 5kg/m、ホース内のコンクリートが約 16kg/m となるため先端ホースは 1m あたり約 21kg にもなる。このため、ディストリビュータでの圧送と比べて作業負荷が大幅に増加する。

加えて、脈動による輸送管の動きは 10cm にも及ぶため、輸送管は直接配管上に設置せず、ウマの上に設置して圧送時の脈動の衝撃を緩和させている。しかし、ディストリビュータの様に配筋への影響が皆無とはいえない(写真 7)。また、鉄筋上でホースを引き回す必要があることも、配筋を乱す要因となる。

6. まとめ

コンクリートディストリビュータを活用することで、配管の敷設や打設場所毎の配管の段取り替えが不要となり、作業工数の大幅な削減による効率化と鉄筋への干渉が無くなることによって施工品質の向上を実現することが可能となる。特に 7 月~9 月の酷暑期の圧送作業は過酷を極め、圧送作業者の定着の阻害要因ともなっている。より高品質化、効率化、省力化を実現するディストリビュータの導入現場が広がることを期待される。

参考文献

- 1) 小山智幸他：暑中環境における建設災害の発生傾向に関する研究，日本建築学会構造系論文集 第 600 号，17-21，2006 年 2 月

- 2) 嶋野亨他：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



写真 4 ディストリビュータを用いた圧送作業状況



写真 5 従来の配管の段取り替え



写真 6 配管圧送の場合の筒先作業状況



写真 7 配管圧送の場合の鉄筋上の様子

*1 トモエポンプ *2 近畿生コンクリート圧送協同組合
*3 (株)三耕 *4 (有)イッケン商事 *5 (株)泉北ニシイ

報告 樹脂製輸送管の圧送性評価試験に関する報告

○庄野 和隆*¹ 中田 善久*²
 一瀬 賢一*³ 宮田 敦典*⁴
 出口 隆宏*⁵

樹脂製輸送管 コンクリートポンプ 管内圧力損失
 配管作業 圧送性評価実験

1. はじめに

コンクリートポンプ工法による施工では、ブーム先端からの延長配管や根元配管のように配管作業を伴うことが多くある。一般に広く流通する輸送管は鋼製であり、その重量の大きさから日々の配管作業に多大な労力を要している。輸送管の軽量化を目的として、超高分子量ポリエチレン製の輸送管(以下、樹脂製輸送管とする)が開発され、配管作業における労力の低減が期待される。しかし、コンクリートポンプ工法に樹脂製輸送管を適用した場合の圧送性について調査した例は見当たらず、樹脂製輸送管の圧送実験を行い、樹脂製輸送管の課題と今後の展望について報告する。

2. 実験概要

2.1 樹脂製輸送管の概要

各種輸送管の諸元を表-1に示す。本実験に用いた樹脂製輸送管は、外径 165mm、内径 133mm、肉厚 16mm で、両端が標準フランジ形状に造形されており、従来品の継手可以使用。この樹脂製輸送管の質量は直管 3,000mm のもので 21.8kg であり、同程度の許容圧力を有する高压仕様の鋼製輸送管に比べて約 1/2 と軽量である。

2.2 圧送実験の概要

配管詳細図を図-1に示す。本実験では、圧送用コンク

<凡例>
 L: 直管(125A) B: ベント管(1000R)(鋼製)
 F: フレキシブルホース(125A) P: 圧力測定位置

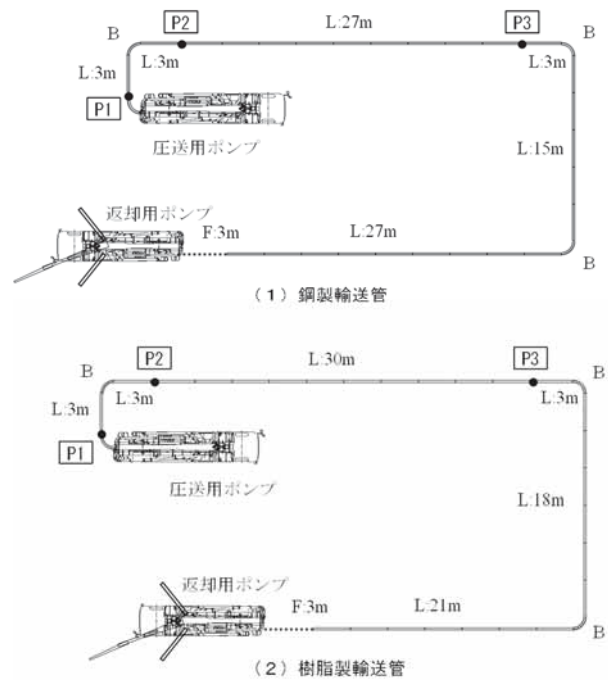


図-1 配管詳細図

表-1 各種輸送管の諸元

輸送管	材質	寸法 (mm)			質量 (kg) [長さ3,000mm]
		外径	内径	肉厚	
鋼製輸送管* (高压仕様)	一般構造用炭素鋼鋼管 (STK500)	139.8	130.8	4.5	45.0
樹脂製輸送管	超高分子量ポリエチレン	165.0	133.0	16.0	21.8

*: 一般的な鋼製輸送管の数値

表-2 コンクリートポンプの仕様

圧送用 コンクリートポンプ	型式	H37-5Z
	最大理論吐出量	140m ³ /h
	最大理論吐出圧力	8.1MPa
	コンクリートシリンダ径 ×ストローク	230×2,100mm
返却用 コンクリートポンプ	型式	PY75B-17
	ブーム配管径	125A
	ブームの水平換算長	33.5m

表-3 コンクリートの使用材料

材料	名称・種類	品質・性状・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 ³ 比表面積: 3,350cm ² /g
水 (W)	地下水・上澄水	-
細骨材	石灰石砕砂 (S ₁)	表乾密度: 2.67 g/cm ³ 粗粒率: 2.95
	川砂 (S ₂)	表乾密度: 2.58 g/cm ³ 粗粒率: 2.80
粗骨材 (G)	砕石2005: 石灰石	表乾密度: 2.70 g/cm ³ 実積率: 61.0%
化学混和剤 (Ad)	AE減水剤 (標準形)	変性リグニンスルホン酸化合物, ポリカルボン酸系化合物

表-4 コンクリートの調合

呼び名	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
			W	C	S ₁	S ₂	G	Ad
普通 24 8 20 N	54.5	48.6	157	288	459	444	980	1.728
普通 30 18 20 N	47.5	47.8	182	384	415	401	918	2.304

リートポンプ根元から返却用コンクリートポンプに接続するまでの輸送管を、鋼製輸送管と樹脂製輸送管の2水準とし、いずれの輸送管も内壁が摩耗していない新品の輸送管(125A)を用いた。なお、ベント管および圧力測定用輸送管については、樹脂製輸送管による圧送においても鋼製のものを用いた。いずれの配管条件においても圧送用コンクリートポンプ根元から返却用コンクリートポンプに接続するまでの距離は、85.85mであり、水平換算距離に換算すると100.35mである。コンクリートポンプの仕様を表-2に示す。圧送用コンクリートポンプは、IoTを搭載した機種であり、圧送時の主油圧がクラウド上に記録される機能を有している。

圧送するコンクリートは、土木工事および建築工事で使用されることが多い普通 24 8 20 N および普通 30 18 20 N のレディーミクストコンクリート2調合とした。コンクリートの使用材料を表-3に示し、コンクリートの調合を表-4に示す。また、吐出量は、20~60m³/hの間で各調合2~3水準で変化させた。

2. 3 試験・測定項目および方法

試験・測定項目および方法を表-5に示す。試験・測定項目は、圧送前後のコンクリートの品質変化をスランプおよび空気量とし、圧送圧を理論吐出圧力および管内圧力とした。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)において試料を採取し試験した。荷卸し地点における試料は、圧送開始前のトラックアジテータ1台目から採取し、筒先における試料は、吐出量を2~3水準で変化させた後に採取した。理論吐出圧力は、IoTシステムにより0.5秒間隔で記録されるコンクリートポンプの主油圧のデータを基に、表-5に示す算定式により求めた。管内圧力は、図-1に示すP1~P3の位置において、配管の一部を圧力測定用輸送管に置き換えスチール製ダイヤフラム式圧力変換器を輸送管上部に取り付けることで計測した。管内圧力波形の例を図-2に示す。

この管内圧力波形は、樹脂製輸送管を用いて普通 24 8 20 N を理論吐出量 48.5m³/h で圧送したときのP1で測定されたデータである。コンクリートポンプの主油圧および管内圧力は、図-2に示すように6~10ストロークの圧力波形のフラットになっている部分の値を用い、そのときのストローク回数とコンクリートシリンダの容積を乗じて理論吐出量を求めた。また、管内圧力損失は、直管のみで構成されるP2およびP3の管内圧力の差を直管の距離で除して求めた。

3. 実験結果

3. 1 樹脂製輸送管の配管作業状況および圧送状況

樹脂製輸送管の配管作業について、圧送実験の配管作業を実施した圧送技能者にヒアリングを行うと、表面がすべりやすく持ち運びにくいという意見や、高圧仕様の鋼製輸送管に比べて軽量であるものの、配管作業の作業性の観点

表-5 試験・測定項目および方法

試験および測定項目	試料採取位置 または 測定位置	試験および測定方法	測定概要
スランプ試験	荷卸し地点 筒先	JIS A 1101	-
空気量試験		JIS A 1150	無注水法
コンクリート温度		JIS A 1156	-
理論吐出圧力	コンクリート ポンプ	IoTシステム	主油圧から下式により理論吐出圧力を算出した。 $P_0 = P_n \times id^2 / R^2$ ここに、 P_0 : 理論吐出圧力(N/mm ²) P_n : 主油圧(N/mm ²) id : 油圧シリンダ内径(mm) R : コンクリートシリンダ径(mm)
管内圧力	P1~P3	スチール製ダイヤ フラム式圧力 変換器	-

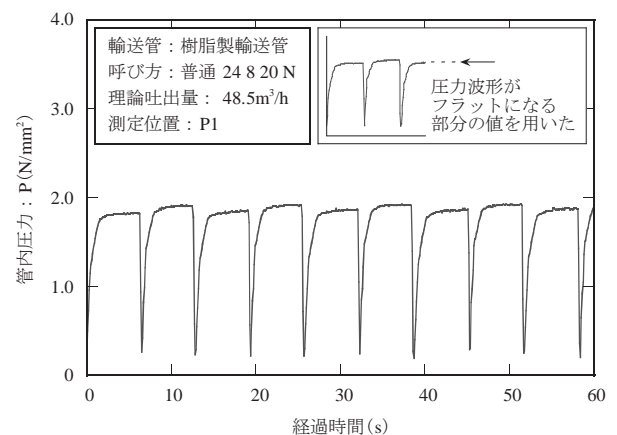


図-2 管内圧力波形の例

表-6 圧送前後のコンクリートの品質変化

呼び方	普通 24 8 20 N				普通 30 18 20 N			
	鋼製		樹脂製		鋼製		樹脂製	
採取位置	圧送前	圧送後	圧送前	圧送後	圧送前	圧送後	圧送前	圧送後
スランプ (cm)	7.5	14.5	10.0	7.5	20.5	21.5	20.5	22.0
空気量 (%)	4.1	6.0	4.6	3.9	4.1	5.0	3.6	5.0
コンクリート温度 (°C)	16	17	16	17	15	16	15	17
外気温 (°C)	9	10	11	10	9	11	9	12

では鋼製輸送管の方が扱いやすいという意見もあった。

圧送時には、樹脂製輸送管を固定する支持台の間において、輸送管内に充填されたコンクリートの重量により目視で判別できる程度の変形・たわみが生じている箇所が認められた。また、脈動に伴う輸送管の上下方向の振幅が鋼製輸送管の場合に比べて大きいことが確認できた。これらは、樹脂製輸送管の剛性が低いことによるものであり、輸送管の変形・たわみは輸送管の破裂・破損を招く可能性があるため、圧送時の輸送管の変形・たわみを抑制する対策が必要であるといえる。

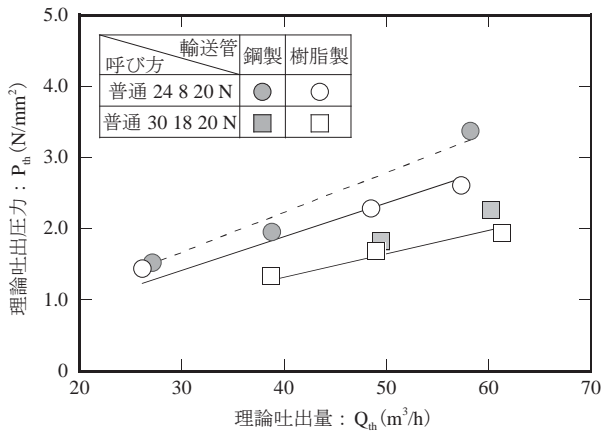


図-3 理論吐出量と理論吐出圧の関係

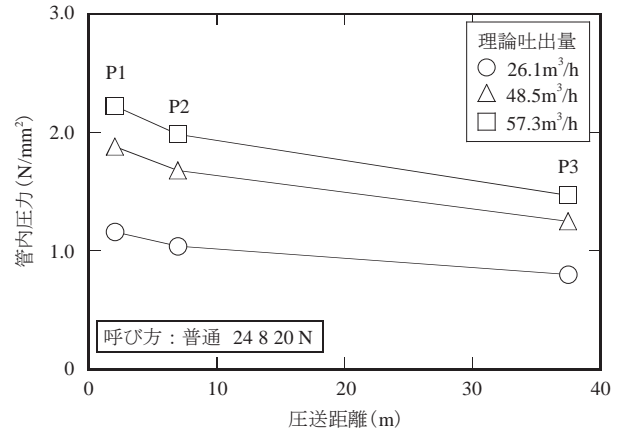


図-4 圧送距離と管内圧力の関係(樹脂製輸送管)

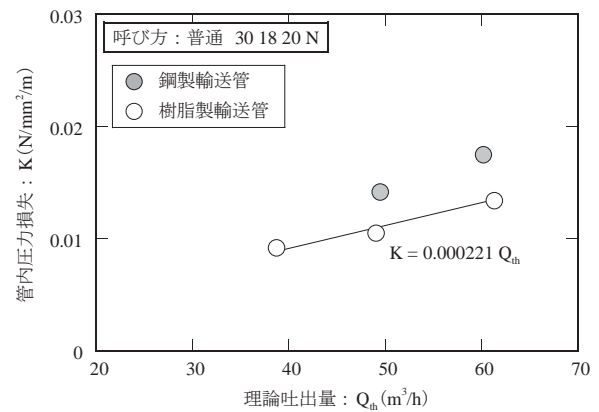
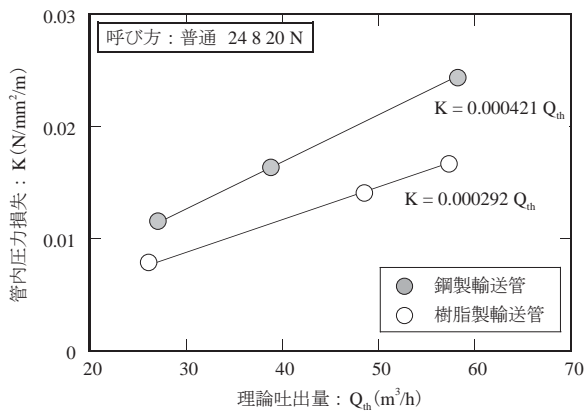


図-5 理論吐出量と管内圧力損失の関係

3. 2 圧送前後の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-6に示す。圧送前後のコンクリートの品質変化は、普通 30 18 20 N の場合、鋼製輸送管と樹脂製輸送管ではほぼ同等の値を示し、輸送管の材質の違いによる差は見られなかった。一方、普通 24 8 20 N の場合は、鋼製輸送管のとき圧送後にスランプが大きく増加しているため、採取した資料にモルタル分が多いなど何らかの異常があったと思われる。樹脂製輸送管の結果は、既往の鋼製輸送管を用いた場合の品質変化の傾向と同程度であり、一般的な傾向と考えられる。本実験結果からは輸送管の材質(すべり特性)が圧送前後の品質変化に及ぼす影響は小さいと考えられる。

3. 3 理論吐出圧力

理論吐出量と理論吐出圧力(図-3)の関係を示す。理論吐出圧力は、理論吐出量に比例して大きくなる傾向を示し、樹脂製輸送管の方が鋼製輸送管の場合に比べて小さくなる傾向を示した。樹脂製輸送管を用いて普通 24 8 20 N を圧送したときの圧送距離と管内圧力(図-4)の関係を一例として示す。管内圧力は、鋼製輸送管および樹脂製輸送管のいずれの場合も配管根元から筒先に向けて小さくなる傾向を示し、理論吐出量が大きくなるほど管内圧力が大きくなる傾向を示した。理論吐出量と管内圧力損失(図-5)の関係を示す。管内圧力損失は、理論吐出量が大きくな

ると大きくなる傾向を示し、コンクリートの調合および輸送管の種類ごとに比例関係を示している。また、コンクリートの調合および輸送管の種類ごとに理論吐出量 0 m³/h のとき管内圧力損失 0 N/mm²/m、すなわち切片を 0 として一次回帰すると図中の関係式となる。樹脂製輸送管の管内圧力損失が鋼製輸送管に比べて小さくなった理由として、輸送管の動摩擦係数の影響が考えられ、動摩擦係数の低減(すべり特性の向上)が管内圧力損失の低減に有効に働いている可能性がある。なお、これは輸送管内壁が摩耗していない新品の輸送管を用いた結果である。コンクリートの品質および調合条件が変わった場合や、圧送により輸送管が摩耗して内壁に凹凸が生じている場合には傾向が異なる可能性があるため、更にデータの収集が必要といえる。

4. 樹脂製輸送管の課題と今後の展望

圧送実験によって樹脂製輸送管の配管作業状況および圧送状況、樹脂製輸送管を用いた圧送性について明らかにした。その結果を踏まえて、樹脂製輸送管の課題と今後の展望を表-7に示す。

図-7 樹脂製輸送管の課題と今後の展望

項目	評価	得られた結果	課題と今後の展望
① 圧送前後のコンクリートの品質変化	△	鋼製輸送管と同程度	従来通りの圧送計画により筒先において所要の品質を満足できる
② 管内圧力損失(圧送負荷)	○	すべり特性に優れるため、鋼製輸送管に比べて管内圧力損失(圧送負荷)を低減できる可能性がある	樹脂製輸送管を採用することでコンクリートポンプの機種選定においても優位に働く可能性に期待できる
③ 配管作業の労力	◎	鋼製輸送管に比べて軽量であり、配管作業の労力の低減に繋がる	輸送管の肉厚を薄くして許容圧力を標準圧仕様と同程度にすることで、より軽量の樹脂製輸送管として配管作業の労力の低減に期待できる
④ 配管作業の作業性	△	すべり特性に優れる反面、配管作業時に輸送管がすべり、持ち運びにくい	樹脂製輸送管の表面に塗装や凹凸加工などのすべり対策を施すことにより作業性が向上できる可能性がある
⑤ 輸送管の重量	◎	ブーム輸送管に適用することにより、ブームにかかる負荷を低減できる	ブームの総重量の低減によって、より長いブームを搭載したコンクリートポンプの開発に繋がる可能性がある
⑥ 輸送管の圧送時の変形・たわみ	△	鋼製輸送管に比べて剛性が低く、圧送中の変形やたわみが大きい	圧送時の輸送管の固定位置および間隔などについて事前に検討することにより、輸送管の変形・たわみを抑制することができると思われる

◎：優，○：良，△：可

- ① 圧送前後のコンクリートの品質変化は、鋼製輸送管と同程度であり、これまでと同様に圧送前後のコンクリートの品質変化を考慮すれば筒先において所要の品質を満足できるといえる。
- ② 管内圧力損失(圧送負荷)は、鋼製輸送管に比べて低減できる可能性があり、長距離圧送や高所圧送などの圧送負荷が大きくなる施工条件のときに、コンクリートポンプの負荷低減や機種選定に期待できる。
- ③ 配管作業の労力は、輸送管の重量に左右されるため、軽量の樹脂製輸送管を用いることで低減できることは言うまでもない。また、建築工事におけるコンクリートポンプ工法は、ブーム先端からの延長配管によって圧送されることが多く、このとき標準圧仕様(許容圧力区分：4.0N/mm²以下)の輸送管が用いられる。輸送管の肉厚を薄くし、標準圧仕様でより軽量の樹脂製輸送管ができれば、さらなる配管作業の労力の低減に期待できる。
- ④ 配管作業の作業性は、輸送管表面がすべりやすく持ち運びにくいという課題が残るものの、樹脂製輸送管の表面に塗装や凹凸加工などのすべり対策を施すことで改善できると考えられる。
- ⑤ 輸送管の質量は、同程度の許容圧力を有する鋼製輸送管に比べて小さくできる。ブームの最大長さは、車両の総重量とブームにかかる負荷に制約されるため、樹脂製輸送管をブーム輸送管に適用することで、より長いブームを搭載したコンクリートポンプの開発に有益となる可能性がある。
- ⑥ 輸送管の圧送時の変形・たわみは、輸送管の剛性が低いことから鋼製輸送管に比べて大きくなる。輸送管のた

わみ・変形は輸送管の破裂・破損を招く可能性があるため、輸送管の固定位置および間隔などを事前に検討する必要がある。特に、輸送管の軽量化のために肉厚を薄くすると輸送管の剛性が小さくなるため、輸送管の剛性の確保と軽量化のバランスが重要といえる。

5. おわりに

本報告は、コンクリートポンプ工法に樹脂製輸送管を適用し、鋼製輸送管と圧送前後のコンクリートの品質変化および管内圧力損失の比較を行ったものである。その結果、本実験の範囲で得られた知見を以下に示す。

- (1) 圧送前後のコンクリートの品質変化に及ぼす輸送管の種類(材質)の影響は小さい。
- (2) 圧送負荷および管内圧力損失は、すべり特性の優れた樹脂製輸送管の方が鋼製輸送管に比べて小さくなる傾向を示し、その低減割合はスランプが小さいほど大きくなる傾向を示す。
- (3) 樹脂製輸送管は、鋼製輸送管に比べて剛性が低く、圧送時のたわみ・変形が課題となる可能性がある。

樹脂製配管配管の普及に対しては、輸送管の耐摩耗性および耐候性も重要な要因であり、圧送量と摩耗量の関係を明確にすることや輸送管が使用される様々な環境下における耐久性を把握しておくことが必要といえる。また、本実験では目視による確認に留まったが、圧送時の変形・たわみについても定量的な評価が求められる。今後は、これらの課題について引き続き検討していく予定である。

参考文献

- 1) 宮田敦典, 中田善久, 一瀬賢一, 庄野和隆, 出口隆宏: コンクリートポンプ工法への樹脂製輸送管の適用の試み, 日本建築学会技術報告集, 第29巻, 第71号, pp.23-28, Feb., 2023

*1 有限会社ベトンテック, *2,3,4 日本大学理工学部建築学科, *5 旭化成アドバンス(株)樹脂化学品本部樹脂化学品技術統括部

報告 回転機構を有する輸送管継手の製作と圧送作業の効率化

○橋本 学*¹ 内田 拓史*²
池元 康彦*³ 須崎 浩二*⁴

輸送管継手 回転機構 扁平ホース
ディストリビュータ 作業の効率化

1. はじめに

コンクリート用輸送管の継手を円滑に回転させる機構について検討し、回転治具を開発・実用化した。コンクリートポンプのブーム先端と扁平形状を有する先端ゴムホース¹⁾(以降、扁平ゴムホース)の継手部に回転治具を取り付け、扁平の向きを自由に変えることで、ホースの抜き差し作業の効率化とコンクリートの品質確保を実現した。また、その治具を用いて簡易ディストリビュータを現場製作し、コストを抑制しながら間配り作業を効率化した。本報文は、これらを実施工に適用した結果について報告する。

2. 扁平ゴムホース用の回転治具の検討

2. 1 扁平ゴムホースの施工時の課題

扁平ゴムホース(写真-1)では、扁平部でコンクリートを拘束し、ホース内での自由落下を抑制できることから「吊るし打ち」が可能となる。吊るし打ちによって筒先の移動が容易となることで打込みの効率が上がり、打重ね時間間隔を短くすることができる。これにより、コールドジョイントの発生を防止し、打重ね箇所の一貫性を確実に確保でき、コンクリート構造物の品質向上に大きく寄与する。

一方で、扁平形状であるための課題も認められた。扁平ゴムホースは、打込み箇所(投入口)において、鉄筋のあきやかぶり等の形状に扁平の向きを合わせて挿入する必要があるが、ポンプ車のブーム操作のみでは、向きを微調整することができなかった。そのため、ホース先端の位置を移動した際に、ホース先端を別の投入口へ挿入するために時間を要し、円滑な打込みの阻害要因となっていた。そこで、筒先を自由に回転できる治具の開発に至った。

2. 2 回転治具の試作品の検討

回転治具の試作品²⁾を写真-2に示す。内側の円筒管(φ100mm, 4インチ)にフランジ(t=3mm)を設け、フランジ同士を突き合わせることで自由回転を可能とし、外側のフランジ(t=18mm)をボルトで接合する構造とした。試作品にてコンクリートの圧送を行ったところ、扁平ゴムホース自体の剛性が小さいため、ホースを回しても回転力が治具に伝わらず、治具が回りにくい状況が確認された。また、圧送によって円筒管のフランジの突合わせ部分にコンクリート中のモルタルが漏れ出し、回転時の摩擦が大きくなり回転させることができなくなった。



写真-1 扁平ゴムホース

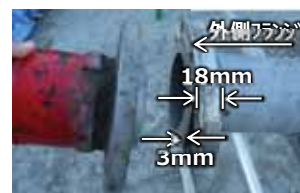


写真-2 回転治具の試作品



写真-3 回転治具の改良品

2. 3 試作品での課題解決のための検討

前述の課題を解決するため、写真-3に示す改良を行った。回転しにくい課題に対し、内側の円筒管のフランジの厚さを3mmから18mmに変更し、フランジ部分を重くすることで回転力を伝わりやすくした。また、内側と外側のフランジが突き合わさる部分に、回転部の摩擦面を滑らかにする目的で円形のワッシャを挿入した。これらの改良により、安定して回転しやすい構造とすることができた。モルタルが漏れ出す課題については、内側のフランジの突合わせ部分に溝を切り、その溝にグリースを塗布することでモルタルの漏出を防ぐ構造とした。改良品は約17kgで、作業員が一人でも取付け作業を行うことが可能である。

2. 4 回転治具の実施工への適用

回転治具の改良品を立坑の躯体構築工事に適用した。立坑は内径φ10m、壁厚1.5mの円形形状で、深さ約40mを計8ロットにて施工した。使用したコンクリートの配合を表-1に示す。鉄筋は写真-4に示すように、周方向にせん

表-1 コンクリートの配合

水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	単用量 (kg/m ³)				
				水 W	セメント C※1	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 Ad
55.0	47.2	12.0	4.5	174	317	845	972	3.17

※1 セメントは中庸熱ポルトランドセメント



写真-4 配筋状況 (せん断補強筋)

断補強筋 D16 が 250mm ピッチで配置されており、1 ロットの高さ 4.5m に対し、打込み高さが 1.5m 以下となるように 250mm の鉄筋間隔に筒先を挿入する必要があった。立坑は円形形状であるため筒先の挿入位置を変える度に、ホースの扁平方向を鉄筋の間隔と合せて回転させる必要があった。1 層あたりの打込み高さ 0.5m、約 27m³ の打込みに対し、筒先の投入位置 12 箇所を設けた。回転治具の効果を示すために、円形ホース、扁平ホースのみ、回転治具および扁平ホースを用いた 3 ケースによる打込みを行った。図-1 に 1 周あたりの打込み時間の比較を示す。円形ホースを用いた打込みは、筒先を移動する際に筒先からコンクリートが漏れないように先端を折り曲げ、ロープで縛る作業が必要となるため、1 周あたり 40 分を要した。それに対し、扁平ホースのみの場合、折り曲げ作業が不要となり 30 分で完了した。さらに、扁平ホースに回転治具を装着することで 24 分となり、打重ね時間間隔を大幅に短縮できた。特に、写真-5 に示すような鉄筋間隔が 80mm の狭隘な箇所への打込みが最も効果的であった。また、1 ロット 240m³ の打込みに対し、回転治具に不具合が生じることはなかった。打込み後に回転治具を分解したところ、写真-6 のように回転部分へのモルタルの漏出は確認されなかった。

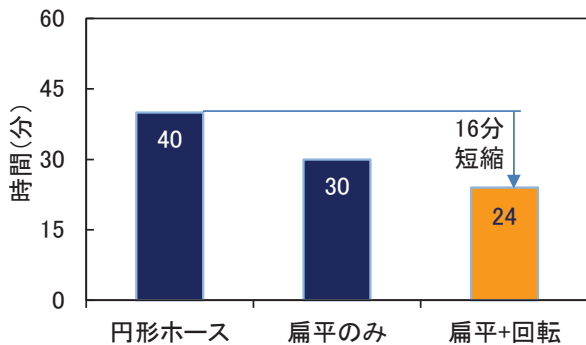


図-1 打込み時間の比較

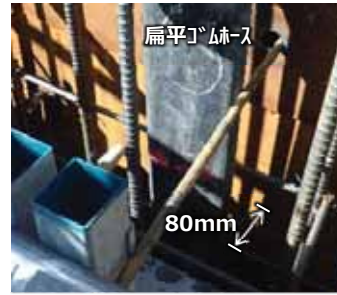


写真-5 狭隘な箇所への打込み



写真-6 打込み後の回転治具の状況



写真-7 コンクリート表面の仕上がり

脱型後の表面の仕上がり写真を写真-7に示す。夏期の施工であったが、打込み時間を短縮したことで打重ね線等は認められず良好な仕上がりであった。具体的には、扁平ゴムホースを用いることで、円形ホースと比較して目視による表層品質の評価点³⁾が3点から4点(満点)に向上した。

3. 回転治具を用いた簡易ディストリビュータの検討

3. 1 大深度円形立坑構築時のコンクリート打込みに関する課題

簡易ディストリビュータの適用を検討した円形立坑(図-2)は、厚さ2.0mの底版コンクリートに、内径φ10.0m、壁厚1.45m、高さ43.45mの壁コンクリートからなる。

壁コンクリートの打込みに関して、深さが地上から最深で40m以上となるため、当初は、地上部のコンクリートポンプから40mを鉛直下向きに輸送管(φ125mm, 5インチ)を配管し、ブームを有した定置式のディストリビュータ(写真-8)に接続して圧送する計画であった。しかし、ディストリビュータを支持するための堅固な支柱が必要となり、通常の足場材では対応できないこと、ディストリビュータ本体の賃料に加え、前述の足場材の支柱を補強するための追加費用がかかることから採用を見送った。

3. 2 回転治具を用いた簡易ディストリビュータ

立坑の円形形状に合わせて筒先が平面的に円形軌道を描けるように、簡易ディストリビュータの検討を行った。回転機構は、次頁の3つの要素で構成される。

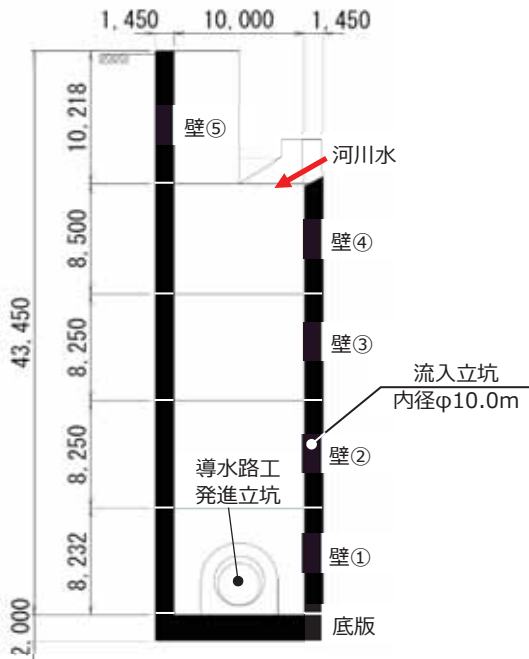


図-2 立坑横断面図



写真-8 定置式ディストリビュータ⁴⁾

① 配管の回転機構

配管を回転させるための機構で、2. 扁平ゴムホース用回転治具と同様の構造とした(写真-9, 5インチ管に接続)。

② 軸受けの回転機構

①の軸受けとして配管を回転させるための機構で、電工用ケーブルジャッキを改造して使用した(写真-10)。

③ デリバリー配管の回転機構

デリバリー配管の筒先を回転させるための機構で、足場等で用いるジャッキ付きキャスタと単管で製作し、レールには100mmの溝形鋼を曲げ加工して使用した(写真-11)。

3. 3 回転治具を用いた簡易ディストリビュータの実施工への適用

立坑内での鉛直下向きの圧送では、配管内のコンクリートの落下速度を抑制するために、立坑の中間の位置にベント管を設置した。図-3に示すように、立坑下部より水平方向に5mを横引きで配管し、ディストリビュータに接続した。壁コンクリートの打込み高さが8m以上となることから、アサガオホップとサニーホースを組み合わせた打込み装置を用いて、コンクリートの自由落下による材料分離を抑制した。この打込み装置を壁周方向16箇所



写真-9 配管の回転機構



写真-10 軸受けの回転機構

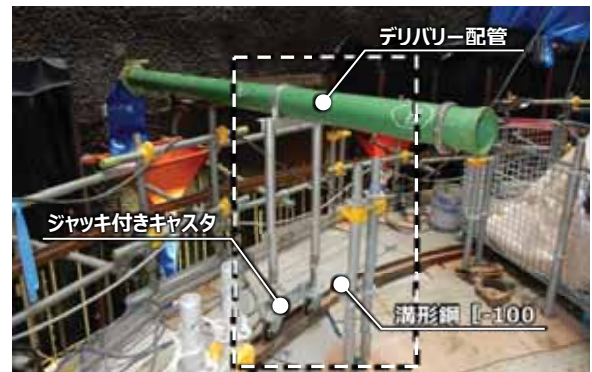


写真-11 デリバリー配管の回転機構

ることで、コンクリートの水平流動距離を1m以下とした。コンクリートの打込み時にディストリビュータから打込み装置へ間配りをする際は、鉛直配管の下部(水平方向手前のベント管の位置)に設置したシャッターバルブを用いて、輸送管内のコンクリートが流出しないようにした。

コンクリート壁打込み時の状況を写真-12, 13に示す。シャッターバルブを閉じてから次の打込み装置へディストリビュータを移動させ、バルブを開けるという一連の作業を30秒程度(ディストリビュータの移動が5~10秒程度)で、1周あたりを60分以内(1箇所あたり3.75分)で打ち込んだ。これは、コンクリートバケットを用いた同種工事の実績(1周あたり120分)の1/2程度の時間であった。また、打込みに要する人員についても1回の打込みで

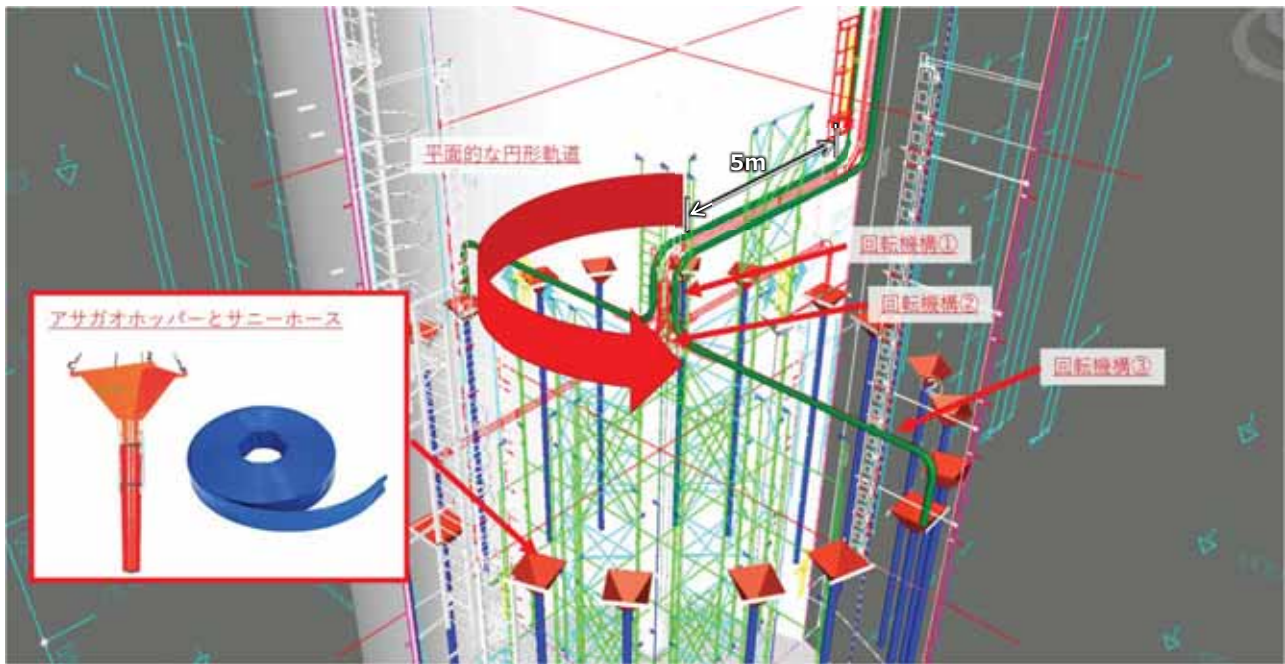


図-3 簡易ディストリビュータと打込み装置（アサガオホッパーとサニーホース）の配置図

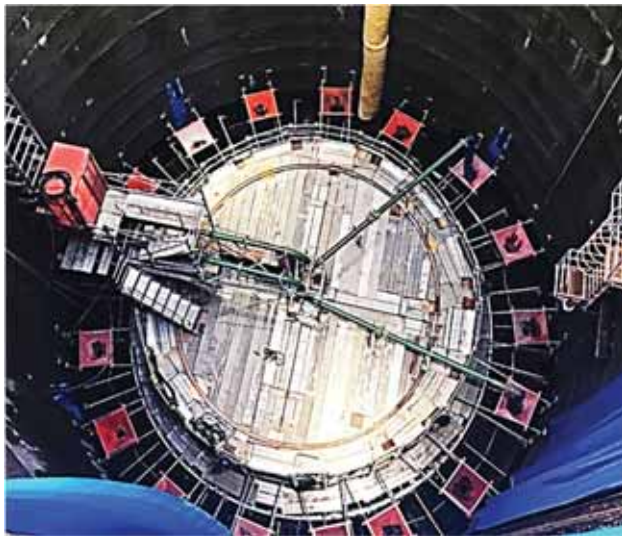


写真-12 壁コンクリートの打込み状況（全景）



写真-13 壁コンクリートの打込み状況（近景）

2名減らすことができ、ディストリビュータによって作業の効率化と省人化を図ることができた。さらに、足場上でのゴムホースを取り回す重労働がなくなり、施工時の安全性も向上した。今回の実績は、創意工夫に資するものとして発注者からも高い評価を得ている。

4. おわりに

扁平ゴムホースと回転治具を用いることで円滑なコンクリートの打込みを可能とし、打重ね時間を短縮して打重ね部の一体性を確保することができた。特に、打重ねに時間を要するような施工条件においても、表層品質の向上に繋がる結果が得られた。また、回転治具を用いた簡易ディストリビュータを大深度立坑の構築に適用し、コストを抑制しつつ円滑かつ安全な間配りを実現した。熟練技能者および建設従事者が減少の一途を辿る昨今、本技術は、省人・省力化、生産性の向上に資するものと考えられる。本稿が類似工事を施工する際の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 橋本 学・柳井修司・石橋靖亨・伊豆内毅: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, 第1回圧送技術大会論文報告集, pp.51-54, 2018.2
- 2) 内田拓史・高田丈夫・曾根川大治:回転機構を有する矩形先端ホースの開発と適用, 土木学会第73回年次学術講演会, VI-569, pp.1137-1138, 2018.8
- 3) 細田 暁・坂田 昇・渡邊賢三・佐藤和徳:目視評価を活用したコンクリート構造物の品質確保の取り組み, コンクリート工学, Vol.54, No.10, pp.1005-1014, 2016
- 4) (株)北斗工業: http://www.hokutonet.com/pumps_RV10.html

*1 鹿島建設(株) 土木管理本部 プロジェクト推進部

*2,3 鹿島建設(株) 関東支店, *4 鹿島建設(株) 東京土木支店

論文 先送り材の配管圧送を対象とした静電容量型加速度センサ付き無線 I C タグによるコンクリートの加速度の定量化

○橋本 親典*1 木村 芳幹*2
 山崎 順二*3 中村 成春*4
 岸 繁樹*5 河野 純子*5

静電容量型加速度センサ 無線 IC タグ 先送り材
 加速度 FFT解析 卓越周波数

1. 研究の経緯と目的

著者らは、静電容量式小型加速度センサを用いて、Wi-Fi やシングルボードコンピュータや無線 I C タグといった ICT・IoT に関する技術を用い、安価でかつ無線で、流動中のフレッシュコンクリート内部の加速度を計測するシステムを開発した¹⁾²⁾。本研究では、この計測システムを先送り材の配管圧送を対象に、輸送管内の流動状態の定量化を試みた。

従来は、圧電素子の圧力センサや加速度センサを輸送管の管壁に外部から取り付けて計測する方法しかなかった。当然であるが、圧送状態のフレッシュコンクリート中の内部の圧力や加速度ではない。

本研究では、写真-1 に示す静電容量型加速度センサを内蔵する無線 I C タグを用いて、輸送管内のフレッシュコンクリート中に伝播される加速度を直接計測し、その加速度の時系列データの取得を行った。



写真-2 2系列による圧送配管



写真-1 無線 IC タグの外観(左)とパソコン側の送受信機(右)

2. 実験方法

圧送実験は、近畿生コンクリート圧送共同組合主催の現場圧送実験で行った。本現場圧送実験は、先送り材の性能を検討するための圧送実験であった。写真-2 と図-1 にその概要を示す。本論文が対象とする先送り材とは、コンクリートを圧送する前に、配管内に数 100 投入する増粘性を有する流体のことで、一般的な圧送作業で数 1000 必要と

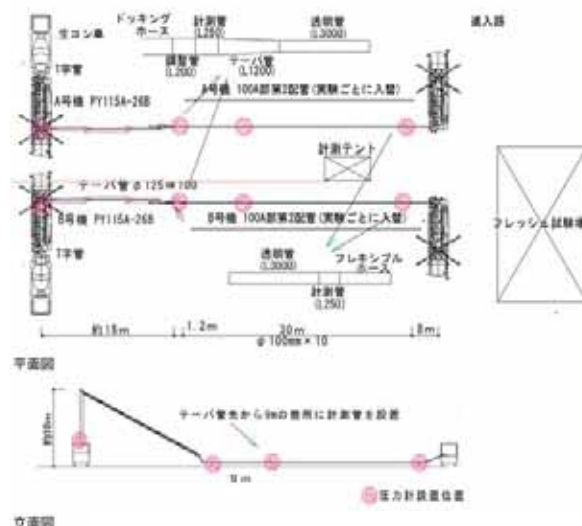


図-1 配管図 (上:平面図, 下:立面図)

Measurement of acceleration of fresh concrete in pipeline in order to study of pump-ability of preceding lubricant using several RFID tags with capacitance type acceleration sensor

HASHIMOTO Chikanori, KIMURA Yoshimoto, YAMASAKI Junji, NAKAMURA Shigeharu, KISHI Shigeki, and KOHNO Junko

なる先送りモルタルを削減できるメリットがある。SDGsの観点からも望ましい材料である。しかしながら、現在は、この先送り材の性能規定がされていない。先送り材の種類や使い方を間違えると、配管によっては管内閉塞が発生する場合もある。本圧送実験は、基礎的データを取得することを目的として、ブームを鉛直に立ち上げ、高さ約10mで下り角35~45度の下向き配管とし、その後水平圧送する一方向圧送とした。閉塞発生を想定して次の圧送実験を速やかに実施するために、2系列とした。

圧送するコンクリートは1配合とし、W/C50%, s/a49.9%, 単位水量180kg/m³の目標スランプ18cmのAEコンクリートである。

先送り材は、T字管(写真-3)から投入し、次に無線ICタグを3つ入れ、そのあとにフレッシュコンクリートを圧送した。水平配管内を流動するフレッシュコンクリート中に発生する加速度を計測した。圧送実験の計測は全部で5回行ったが、加速度データは、第1, 第3および第5回の圧送で得ることができた。

また、加速度計測とは別に、通常の管内圧力損失の計測を行った。計測位置は、図-1に示す下り配管直後とその9m先の位置で、圧力センサの圧力差を9mで除して求めた。なお、先送り材の圧送性の評価のため、吐出量は20m³/h程度の圧送とした。



写真-3 T字管

表-1 フレッシュ性状および硬化性状

試験回数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
スランプ (cm)	19.0	19.5	17.5	21.5	18.5
スランプフロー (cm)	33.5	34.0	30.0	40.5	30.5
空気量 (%)	3.8	3.7	3.8	4.4	4.2
圧縮強度(N/mm ²)	54.1	53.8	55.1	56.2	52.6
動弾性係数(kN/mm ²)	39.5	40.1	40.3	40.2	39.4

加速度を平均した移動平均値である。もう1つは、1/10秒間隔で1/100秒の加速度10個を算術平均した1/10秒の平均値である。本研究では、データ数が1/100秒と変わらないため、移動平均値を採用した。

3.3 無線ICタグから取得できた加速度時系列データ

第1回目の計測で得られた無線ICタグ3個の加速度の時系列データを図-2に示す。縦軸の加速度は最大200m/s²であるが、大半のデータは数m/s²以下であるので、変化が

3. 実験結果

3.1 圧送したコンクリートの品質

圧送試験毎に用いたコンクリートのフレッシュ性状および硬化性状を表-1に示す。配合はすべて同一であるため、フレッシュおよび硬化性状はほぼ同程度であった。

3.2 加速度データの処理

無線ICタグによって得られる時系列データの生データは、1/100秒(0.01秒)の時間間隔の3軸加速度(x軸の加速度: a_x , y軸の加速度: a_y , z軸の加速度: a_z)である。無線ICタグの位置が固定されていないため、3軸の座標軸は絶えず変動する。3軸方向の加速度ベクトルの総和を加速度の代表値

$(\alpha = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} - g)$ として扱うこととした²⁾。

一方、1/100秒間隔では、加速度 α の変動が大きい。そのため、時間平均をとり、変動を小さくするように処理した。

時間平均の処理には、以下に示す2種類の方法がある。1つは、1/100秒ずつ移動し、10個の

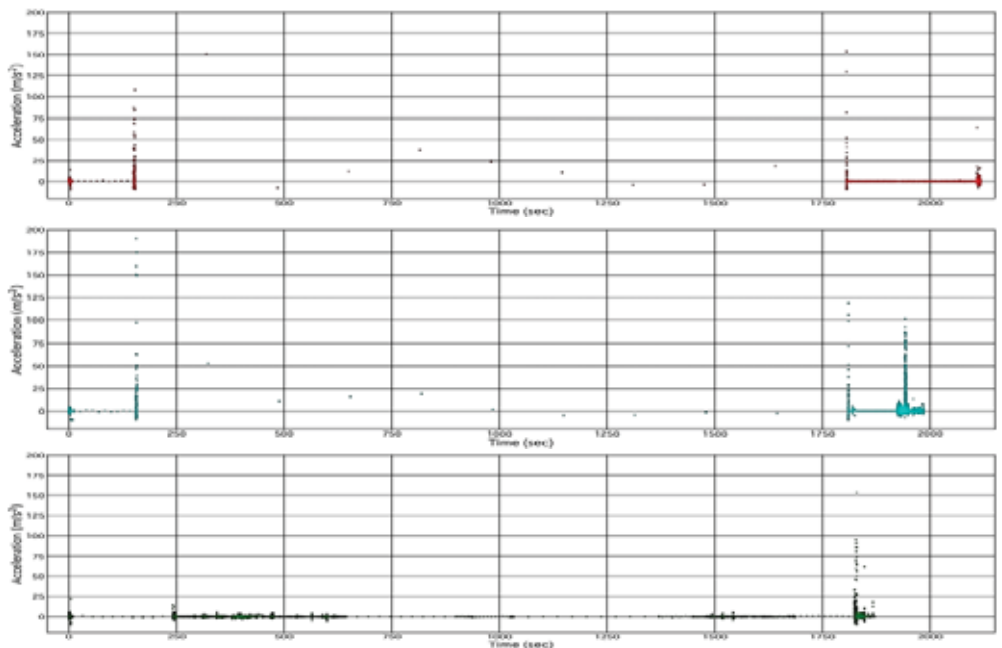


図-2 第1回圧送の加速度の時系列データ (全体)

ないように見える。時間間隔は、100Hz、つまり、1/100 秒単位である。上段と中段の時系列データは、200 秒から 1800 秒までデータが極端に少なく、通信状態が悪かった。下段の時系列データは、250 秒から 600 秒程度までデータがある。配管は、図-1 に示すように、最初、ブームを鉛直に立ち上げて、そのあと、ブームの斜め下り配管でポンプ車の水平面高さまで下り、そのあと水平管で圧送する。圧送直後の高い加速度は、無線 IC タグが鉛直立ち上がりあるいは、斜め配管にあるときと思われる。そのあとは水平管に移動する。この計測では、2000s 程度まで計測しているが、輸送管内を流動している時間は、数分である。圧送距離は約 63m である。100mm の直管とすると、約 500ℓ の容積である。吐出量が 20m³/h であれば、0.5/20×3600=90 秒程度で排出される。5m³/h であっても 0.5/5×3600=400 秒である。したがって、400 秒以降の加速度は輸送管外の加速度が計測されたと考えられる。3 個の無線 IC タグのうち、1 個のみ計測することができたと判断した。第 3 回圧送と第 5 回圧送でも同様に加速度の時系列データが取得できた。

3.4 解析に用いた加速度の時系列データ

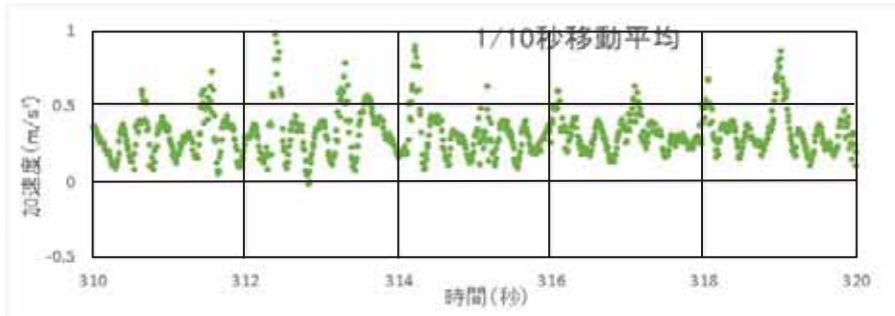
解析に用いた加速度は、1/100 秒間隔では変動が大きいため、1/10 秒間の移動平均を用いて変動を小さくすることにした。図-3 に第 1 回圧送、第 3 回および第 5 回の加速度の時系列データの 1/10 秒間の移動平均の時系列データを示す。

3.5 FFT 解析

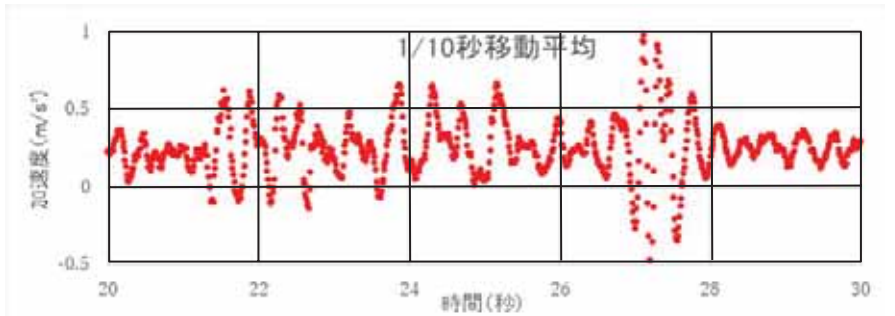
前節の第 1 回圧送と第 3 回圧送および第 5 回圧送の 1/10 秒間隔の移動平均の加速度データの FFT 解析結果を図-4 にまとめて示す。周波数軸は対数表示である。これは、コンクリートの吐出量 20m³/h 以下の低速で 2 連のピストンバルブの周波数は 10Hz 以下である。10Hz 以上の高周波数は無視した。1.0~3.0Hz 付近に卓越周波数があることが確認された。

3.6 加速度データ分析結果

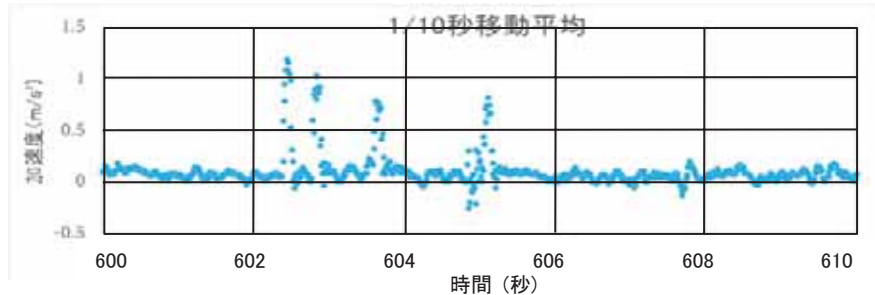
圧送実験から得られた加速度の時系列データの統計値として、1/10 秒の移動平均の平均値、標準偏差、変動係数および卓越周波数を一覧表として、表-2 に示す。図-5 に、



第 1 回圧送の 310 秒から 320 秒の間の 1/10 秒間隔の移動平均の加速度時系列データ

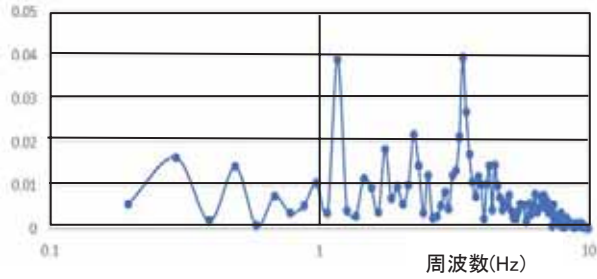


第 3 回圧送の 20 秒から 30 秒の間 1/10 秒間隔の移動平均の加速度時系列データ

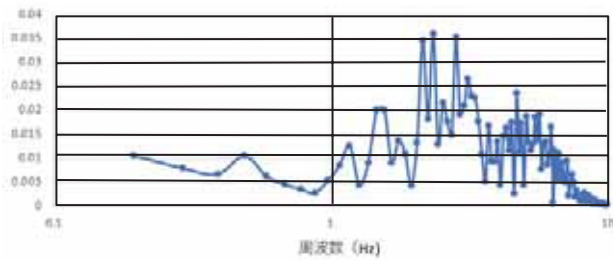


第 5 回圧送の 600 秒から 610 秒の間の 1/10 秒間隔の移動平均の加速度時系列データ

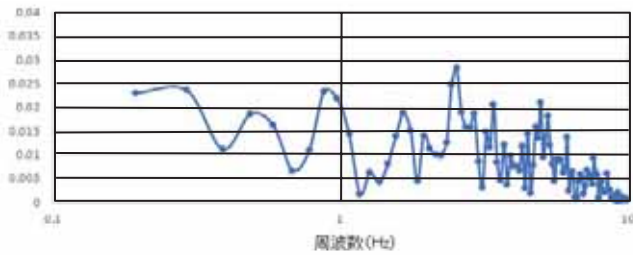
図-3 解析に用いた加速度の時系列データの例



第1回圧送の310秒から320秒の間の1/10秒間隔移動平均の加速度時系列データによるFFT解析結果



第3回圧送の20秒から30秒の間の1/10秒間隔移動平均の加速度時系列データによるFFT解析結果



第5回圧送の600秒から610秒の間の1/10秒間隔移動平均の加速度時系列データによるFFT解析結果

図-4 第1回、第3回および第5回圧送のFFT解析結果

表-2 加速度データから分析した結果の一覧表

計測回	1回目		3回目		5回目	
	310s~320s	320s~330s	20s~30s	30s~40s	600s~610s	610s~620s
解析時間	310s~320s	320s~330s	20s~30s	30s~40s	600s~610s	610s~620s
平均値(m/s ²)	0.309	0.288	0.252	0.225	0.095	0.057
標準偏差(m/s ²)	0.081	0.085	0.181	0.135	0.155	0.021
変動係数(%)	26	30	72	60	163	36
卓越周波数(Hz)	1.17	1.27	2.83	2.73	2.53	1.56

平均値と標準偏差の相関を示す。加速度自体の大きさは1m/s²程度で非常に小さいが、両者には正の相関があり、統計量としては妥当であると判断した。

3.7 圧力損失

閉塞が発生しなかった第3回圧送の圧力損失を図-5に示す。周期は10秒程度であり、周波数は0.1Hzとなった。加速度の周波数と一致しなかった。一致しなかった理由は、

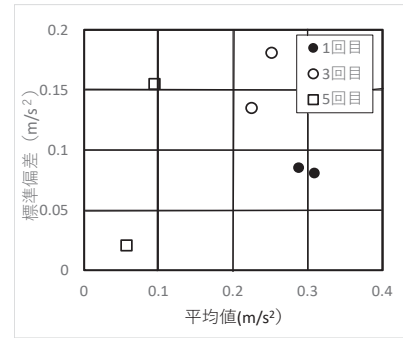


図-5 加速度の平均値と標準偏差の相関

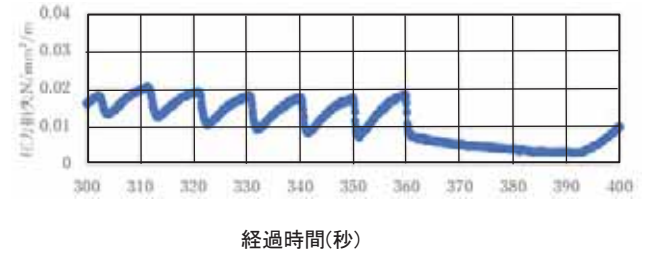


図-6 300秒から400秒の第3回の圧力損失

圧力センサの位置は配管に固定されているが、無線ICタグは管内を流動し、計測位置が変化している。この違いのために、卓越周波数が一致しなかったものと考えられる。

4. まとめ

本実験の範囲内で次の2点が明らかになった。

- 1) 輸送管内のフレッシュコンクリートに発生する加速度の時系列データを無線ICタグにより得ることができた。
- 2) 加速度のFFT解析より、1~3Hz程度の脈動の存在が確認できた。ただし、圧力損失の時系列データの周波数とは一致しなかった。

参考文献

- 1) 池澤壯大, 橋本親典, 山地功二, 渡邊健: 模擬型枠を用いた締め固め途中においてインナーパイプからフレッシュコンクリートに伝達される加速度の計測, セメント・コンクリート論文集, Vol.76, No.1, 576-584, 2023
- 2) 藤原京介, 山地功二, 橋本親典, 渡邊健: 振動締め固め途中のフレッシュコンクリートに伝搬される加速度を対象とした加速度センサ付き無線ICタグを用いた計測システムの開発, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.77, V-117, 2022.9

*1 徳島大学大学院 理工学域 社会基盤デザイン系 教授 工学博士

*2 (株)コンステック 技術本部 安全品質管理部 博士 (工学)

*3 (株)浅沼組 技術研究所 建築材料研究グループ 博士 (工学)

*4 大阪工業大学 工学部 建築学科 准教授 博士 (工学)

*5 近畿生コンクリート圧送協同組合

報告 各種先送り材の性状と圧送性に関する研究 その1

○永田 哲夫*¹ 河野 純子*¹
 山田 藍*² 小林 稔*²
 山崎 順二*³ 岩清水 隆*²

先送り材 コンクリート 圧送性
 モルタルフロー L形フロー 環境配慮

1. はじめに

環境配慮の観点から、先送りモルタル使用量の削減が求められている。そこで近年、先送りモルタルに代わる先送り材が数種開発され、市場に出回り始めた。しかし、それらの品質については不明な点が多く、加えてそれら先送り材の練混ぜ水量、練混ぜ方法、使用方法などがまちまちであることから、現場の混乱を招いている。そこで本報では、先送り材の練混ぜ方法や取扱い方、適用範囲などの調査を実施するとともに、性状把握試験（室内実験および実機実験）を行ったので、それらの結果を報告する。なお、本報は、文献^{1) 2)}を再編したものである。

2. 各種先送り材の特徴と練混ぜ方法

2022年度の実験で用いた先送り材は、セメントモルタル系である C400 モルタル (MO) および高濃度スラッジ水使用モルタル (HS) の 2 種類、先送りモルタルに代わる先送り材として市販されている 6 種類の先送り材（無機系が 4 種類 (SL, RU, ML および EC)、有機系が 2 種類 (S2 および E2)）の合計 8 種類である。RU は既調合品であるが、その他は製造会社が推奨する練混ぜ水量を基本水量として実験を行った。以下に製造会社が推奨する練混ぜ水量、練混ぜ方法およびポンプ車への投入方法などの詳細について記す。

(1) 各種先送り材の基材

先送りモルタルに代わる先送り材の主成分を表 1 に、基材の外観を写真 1 に示す。無機系の SL はシリカフェームや高炉スラグ、メチルセルロースを主成分とし、RU は炭酸カルシウムとセルロース、エリソルビン酸と水、ML は水酸化カルシウムとセルロース、EC は花崗岩の砕砂を主成分としている。

有機系の S2 はメラミン系、E2 はポリアクリル酸ナトリウムが主成分である。RU は既調合のため基材がペースト状であるが、それ以外は粉末または粒塊の形態をしている。

(2) 先送り材の練混ぜ方法

RU 以外の先送り材の作製には、ハンドミキサーを用いて基材と練混ぜ水を基材の塊が無くなるまで攪拌する作業が必要となる。練混ぜ水量や水との混ぜ方は各種先送り材によって異なり、その調合方法の詳細を表 2 に示す。

無機系の SL は水 19L に基材を加えて練混ぜるとペース

表 1 先送り材の基材主成分

先送り材記号	系統	基材主成分	基材形態
SL	無機系	シリカフェーム、高炉スラグ、メチルセルロース、メラミン系	灰色の粉末
RU		炭酸カルシウム・セルロース・エリソルビン酸・水	ピンク色のペースト
ML		水酸化カルシウム、セルロース	ピンク色の粒塊
EC	有機系	砕砂（花崗岩）	黄土色の粉末
S2		メラミン系	白色の粉末
E2		ポリアクリル酸ナトリウム	白色の細粒



写真 1 各種先送り材の基材外観

表 2 先送り材の基本調合と可使用時間

先送り材記号	系統	基本調合	練混ぜ方法	練置き時間	可使用時間
SL	無機系	水19L/袋	水に基材を加える	30分～	5時間（春秋）
RU		既調合	不要	不要	-
ML		水6L/袋	基材に水を加える	不要	-
EC	有機系	水6～7L/袋	基材に水を加える	不要	-
S2		水18～40L/袋	水に基材を加える	10分～	90分
E2		水15L/袋	水に基材を加える	15分～	作製当日中

ト状の先送り材が得られる。練置き 30 分後から使用可能で、使用期限は 5 時間（春・秋）である。夏場は約 2.5 時間までしか使えないが、冬は約 8 時間使用が可能である。ML は基材に水 6L を加えて練混ぜる。練置き不要である。EC も基材に水 6～7L を加えて練混ぜ、練置き不要である。

有機系の先送り材である S2 は圧送距離に応じて練混ぜ水量を大幅に調整する必要がある。また、練置き 10 分から使用が可能になり、使用制限は練置き時間経過後から 90 分迄である。

E2 は、水 5L に基材を加えて攪拌後、更に 10L の水を加える。練置き 15 分から練混ぜ当日中の使用が可能である。

調合後の各種先送り材の状態を写真 2 に示す。無機系 (SL, RU, ML, EC) は、練混ぜ後は比較的粘度の高いペースト状である。一方、有機系の S2 と E2 は、いずれも半透明で若干粘性のあるローション状の形態である。

3. 各種先送り材のポンプ車への投入方法

(1) 先行水の要否

セメントモルタル系 (MO や HS) の場合は、ポンプ車への投入の際に先行水が必要となる。同じく無機系の EC も先行水を必要とする。しかし、EC 以外の先送り材は全て配管内に水があってはならず、前日の洗浄水などが配管やブーム内に滞水しないよう注意しなければならない (表 3)。

(2) ポンプ車への投入方法

先送りモルタルの場合、ポンプ車ホップからの投入が一般的である (写真 3)。一方、先送り材については T 字管 (写真 4) またはベント管からの投入が一般的である。RU、ML、E2 の場合はピストン車でホップ投入が禁止されており、T 字管またはベント管からの投入が必須となっている。

一方、SL と S2 は T 字管からの投入に比べると先送り材の使用量や筒先からの廃棄量が増えるが、先送りモルタル同様にホップからの投入が可能であり、使用の実績も多数ある。

(3) 先送り材の適用範囲と使用量

先送り材にはそれぞれ適用範囲があり、有機系のものはブーム圧送作業のみ、もしくは 15m までの短い配管による圧送作業のみとされているが、無機系のものはブームや配管圧送作業を組み合わせた長距離圧送にも用いることが可能である (表 3)。

また、実機実験ではブームと配管を組み合わせると約 80m の圧送実験を行ったが、その際、各先送り製造会社から提示された参考使用量を表 3 に示す。これらは現場の状況によって増減する。

4. 各種先送り材の性状把握 (室内実験・実機実験)

コンクリートポンプ車を用いての実機実験に先立ち、各種先送り材の調合的な特徴および性状把握試験を行った。RU は既調合品であるが、その他は製造会社が推奨する練混ぜ水量を基本水量とし、水量を増減させて実験を行った。表 4 に、各種先送り材の性状把握試験の試験項目および試験方法を示す。各種先送り材 1 袋あたりの練混ぜ水量および固形分水比を図 1 および図 2 に示す。

固形分水比は、モルタル系先送り材 (MO・HS) が 5.0 弱から 7.0 弱に対し、無機系先送り材 (SL・RU・ML・EC) は 0.1 から 4.0 までとモルタル系よりは小さく銘柄によって様々であった。また、有機系先送り材 (S2・E2) は 0.01 程度と極めて小さかった。

5. 性能把握実験の結果

先送り材の性状把握試験結果を表 5 に示す。試験実施や性状評価が可能なものは試験値を、試験を実施したが評価が困難と判断されたものには「△」を、試験の実施や測定が困難なものは「×」を、試験を実施しなかったものは「□」と表記した。

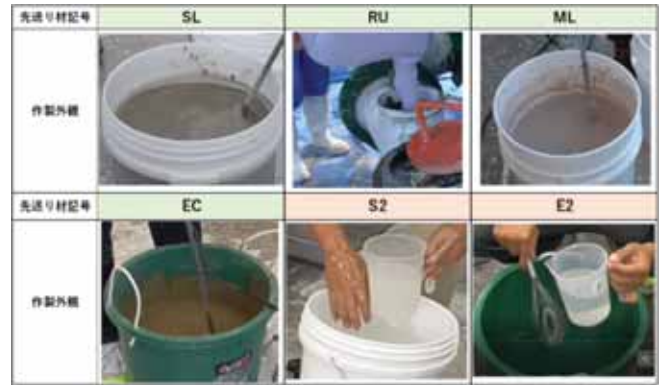


写真2 各種先送り材作製後外観

表3 各種先送り材の使用時の特徴

先送り材記号	先行水	ホップ投入	※使用量(ホップ)	※使用量(T字管)	適用範囲
SL	不要	○	約80L	約60L	ブーム/配管
RU	不要	×	×	約30L	ブーム/配管
ML	不要	×	×	約24L	ブーム/配管
EC	要	×	×	約40L	ブーム/配管
S2	不要	○	-	-	ブームのみ
E2	不要	△	-	-	ブーム,配管15m迄
MO	要	○	約300L	約50L	ブーム/配管
HS	要	○	約300L	約50L	ブーム/配管



写真3 生コン車からホップ投入 写真4 先送り材のホップ投入

表4 性状把握試験の試験項目および試験方法

試験項目	試験方法	室内実験		実機実験
		数量検	経時	
スランプフロー	JIS R 1150	○	○	○
モルタルフロー	JIS R 5201 (47)	○	○	○
L形フロー試験	JSC-E-F 514	○	○	○
J _u ルート試験	JSC-E-F 541	○	○	○
φ55 Aルート試験	本文説明の通り	○	○	○
空気量	JIS A 1128	○	○	○
単位容積質量	エアメータ質量測定	○	○	○
気温	棒状温度計より測定	○	○	○
先送り材温度	棒状温度計より測定	○	○	○

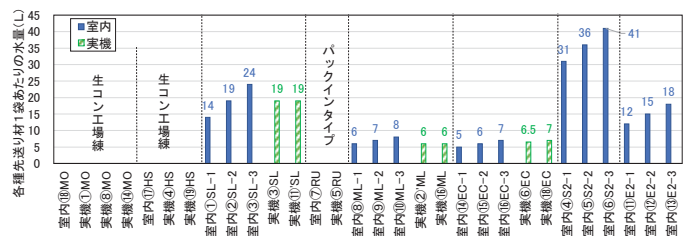


図1 各種先送り材1袋あたりの練混ぜ水量

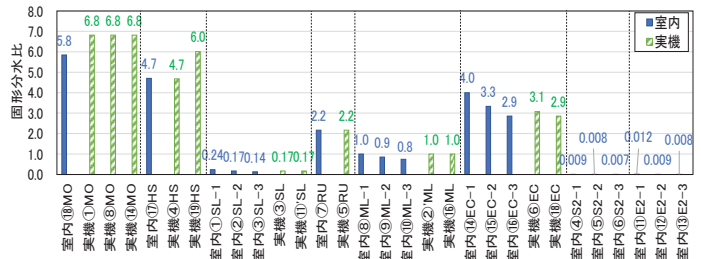


図2 各種先送り材の固形分水比

(1) 単位容積質量

図3に、単位容積質量の結果を示す。モルタル系先送り材の単位容積質量が約2.1 t/m³であるのに対し、無機系先送り材では小さく、約1.0~1.9 t/m³と銘柄ごとに様々であった。有機系先送り材では1.0 t/m³未満と、さらに小さかった。

(2) 空気量

図4に、空気量の結果を示す。モルタル系先送り材の空気量が2~4%程度であるのに対し、無機系先送り材は約0.5~10%と先送り材の銘柄ごとに様々であった。先送り材銘柄 ML は、室内試験時には、基材中のダマに空気が含まれて10%と大きくなる傾向があった。一方、有機系先送り材は約0.3%未満と小さかった。

(3) スランプフロー

図5に、スランプフローの結果を示す。スランプフローについては、モルタル系および無機系先送り材で試験実施可能であった。

(4) モルタルフロー

モルタルフローの結果と写真の一部を図6、写真5に示す。モルタル系先送り材が約10~20 cm に対し、無機系先送り材が約10~35 cm と銘柄ごとに異なり、有機系先送り材は約40~60 cm と非常に大きく流動性が大きか

った。練混ぜ水量が多いとモルタルフローが大きくなる傾向であった。

(5) Lフロー初速度

図7にLフロー初速度を示す。L形フロー試験は、モルタル系および無機系先送り材で実施可能であり、モルタル系と無機系先送り材の場合60~100cm/sであった。

(6) Aロート試験の流下時間

図8にAロート試験(φ55mm)の流下時間を示す。一部の先送り材で試験実施可能であり、無機系先送り材の一部で練混ぜ水量を減らした場合に約4秒、その他は2秒以下と速かった。

(7) J14ロート試験 流下時間

図9にJ14ロート試験流下時間を示す。モルタル系や無機系先送り材では閉塞により試験値を得ることが難し

表5 先送り材の性状把握試験結果

先送り材	実験記号	時期	空気量 (%)	単位容積質量 (t/m ³)	スランプフロー平均 (cm)	モルタルフロー平均 (cm)	Lフロー初速度 (cm/sec)	Aロート試験流下時間 (秒)	J14ロート試験流下時間 (秒)	
モルタル	MO	室内⑧MO	2.7	2.146	58.7	17.4	106.4	1.5	6.3	
		室内⑨MO	2.7	2.146	58.7	17.4	106.4	1.5	6.3	
	HS	室内⑦HS	0.0	2.137	63.2	18.6	98.8	1.4	4.6	
		室内⑧HS	0.0	2.137	63.2	18.6	98.8	1.4	4.6	
	SL	室内①SL-1	0.8	1.055	×	32.2	84.2	△	測定不能	
		室内②SL-2	2.1	1.059	81.3	28.6	100.6	1.7	10△閉塞傾向	
		室内③SL-3	1.2	1.051	90	34.6	91.9	1.3	4.0	
		実機③SL	1.0	1.084	×	29.9	88.9	×	11.5	
		実機④SL	0.8	1.112	×	29.1	87.4	×	11.7	
		実機⑤SL	0.8	1.112	×	29.1	87.4	×	11.7	
無機系先送り材	RU	室内⑦RU	4.0	1.241	53.3	15.4	89.6	1.7	7.5	
		室内⑧RU	4.0	1.241	53.3	15.4	89.6	1.7	7.5	
	ML	室内⑧ML-1	10.0	1.062	×	27.3	×	×	2.5	
		室内⑨ML-2	7.0	1.087	×	23.3	×	×	2.8	
	EC	室内⑩EC-1	0.9	1.946	×	11.0	42.5	×	△測定難	
		室内⑪EC-2	0.3	1.927	×	13.2	76.9	×	△閉塞	
	有機系先送り材	S2	室内④S2-1	0.0	0.984	×	50.0	×	×	2.1
			室内⑤S2-2	0.1	0.986	×	52.1	×	×	2.1
		E2	室内⑩E2-1	0.3	0.986	×	41.6	×	1.1	2.3
			室内⑪E2-2	0.3	0.992	×	40.9	×	1.2	2.3
E2		室内⑫E2-2	0.3	0.992	×	40.9	×	1.2	2.3	
		室内⑬E2-3	0.3	0.987	×	44.0	×	×	2.4	

△: 試験を実施したが評価困難 ×: 試験実施が困難と判断 □: 試験を省略

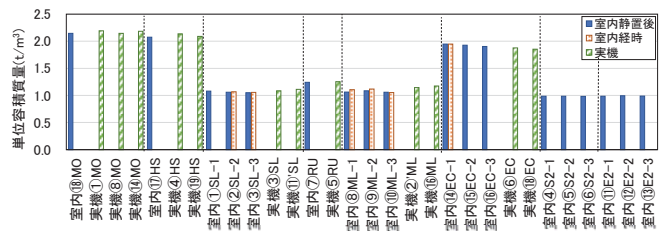


図3 単位容積質量

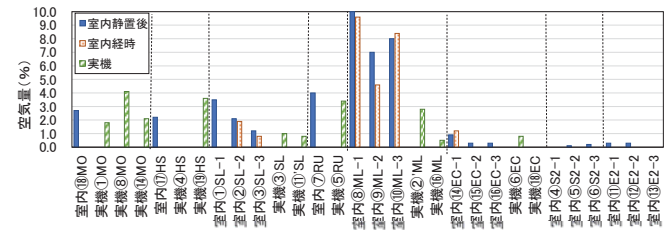


図4 空気量

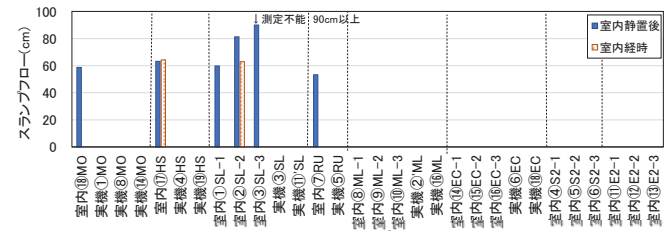


図5 スランプフロー

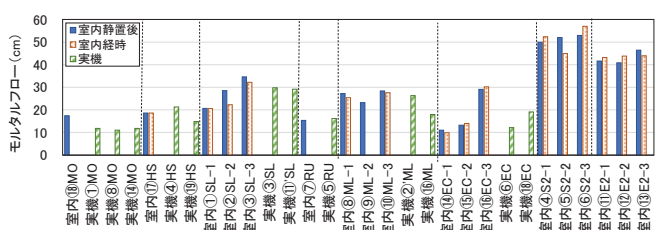


図6 モルタルフロー

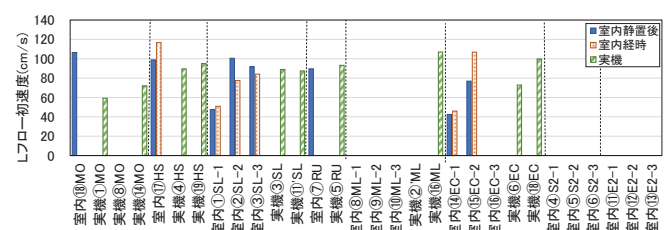


図7 Lフロー初速度

い場合が多かった。有機系先送り材では練混ぜ水量に関係なく2秒程度と粘性が非常に小さく差が表れなかった。

6. 先送り材の性状把握が可能な試験の判定

各種先送り材の性状を把握するために既往のコンクリートやモルタルのフレッシュ試験を実施したが、先送り材ごとに実施や判定可能な可否(有効)が異なった。そこで、各種性状把握試験の有効性についての定量的検討を行った。

各種性状把握試験のうち、試験を実施し性状評価が可能であったものは「○」、試験を実施したが評価が困難と判断されたものは「△」、試験の実施や測定が困難なものは「×」、試験を実施しなかったものは「□」とし(表6)、有効性を定量化するために、「○」は1.0、「△」は0.5、「×」は0.0と得点化し、「□」は算定に含めないこととして、大別した先送り材の系統ごとに平均得点を算出した(表7)。

平均得点は、先送り材の性状把握試験の有効性を表す指標と考えられ、1.0に近いほど、順調な実施が可能で性状把握を行える可能性が高いといえる。平均得点の点数区分と有効性の判定を定義することにより、各種先送り材の系統別に有効と考えられる試験法を得た(表8)。空気量、単位容積質量およびモルタルフロー試験については各種先送り材に対して問題なく実施・評価が可能であった。スランプフロー試験、L形フロー試験、Aルート試験およびJ14ルート試験に関しては、大別した先送り材の系統ごとで傾向が異なった。

先送り材全体でみると、L形フロー試験やJ14ルート試験が「ほぼ実施可能」、スランプフロー試験とAルート試験が「実施が困難」であった。L形フロー試験は「ほぼ実施可能」ではあったが、有機系先送り材には不向きであり、先送り材の流動性や粘性を網羅的に評価できる可能性のある試験は、モルタルフロー試験およびJ14ルート試験であることがうかがえた(表9)。

7. まとめ

先送りモルタルに代わる先送り材の練混ぜ方法や取扱ひ方、適用範囲などの調査を行った結果、例外を除いていずれも練混ぜには注水して練混ぜ作業が必要となり、必要となる水の量、練混ぜ方法が異なることがわかった。加えて、適用範囲、先行水の要否、投入方法にも違いがあり多種多様であることがわかった。

また、各種性状把握試験を行ったところ、モルタル系先送り材に対して、無機系および有機系は、モルタルフロー試験、L形フロー試験およびJ14ルート試験が実施可能性の高い結果となった。

参考文献

- 1) 第19回圧送技術研究会—コンクリートの圧送性における脱炭素への取り組み—, 日本建築学会近畿支部・材料施工部会ポンプ工法WG, 報告1~5 (pp.1-1~5-14), 2023.2
- 2) 永田哲夫ほか: 各種先送り材の性状とコンクリートの圧送性に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿), pp.293-310, 2023.9

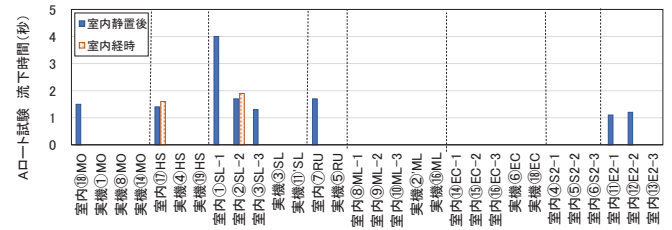


図8 Aルート試験(φ55mm) 流下時間

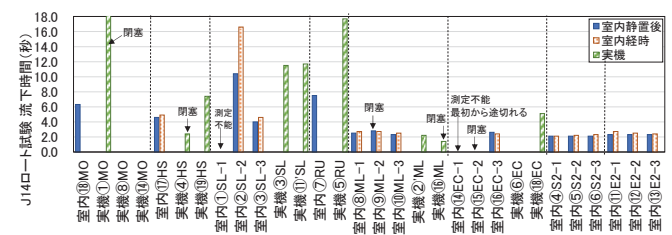


図9 J14ルート試験 流下時間

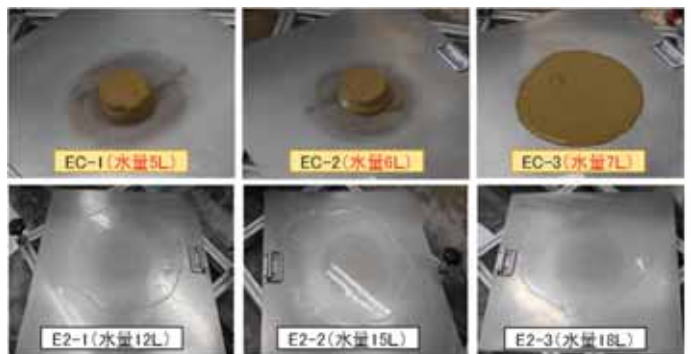


写真5 モルタルフロー試験写真の一部

表6 試験の実施状況

先送り材	実機記号	時期	空気量	単位容積質量	スランプフロー試験	モルタルフロー試験	L形フロー試験	φ55mm Aルート試験	J14ルート試験
MO	室内⑧MO	室内静置後	○	○	○	○	○	○	○
	室内⑨MO	室内経時	○	○	○	○	○	○	○
	室内⑩MO	室内経時	○	○	○	○	○	○	○
HS	室内⑦HS	室内静置後	○	○	○	○	○	○	○
	室内⑧HS	室内経時	○	○	○	○	○	○	○
	室内⑨HS	室内経時	○	○	○	○	○	○	○

○: 順調に実施可能 →1.0
 △: 実施したが評価困難 →0.5
 ×: 実施困難 →0.0
 □: 試験省略 →カウントせず

表7 性状把握試験の有効性の定量化、平均得点

先送り材	実機記号	空気量	単位容積質量	スランプフロー試験	モルタルフロー試験	L形フロー試験	φ55mm Aルート試験	J14ルート試験
MO	⑧	0.8	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
	⑨	0.8	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
HS	⑦	0.8	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
	⑧	0.8	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

表8 平均得点の区分と判定

平均得点の区分	判定
1.0	順調に実施可能
0.5	ほぼ実施可能
0.0	実施が困難
0.2	試験省略

表9 性状把握試験の有効性の検討

先送り材	空気量	単位容積質量	スランプフロー試験	モルタルフロー試験	L形フロー試験	φ55mm Aルート試験	J14ルート試験
MO	⑧	○	○	○	○	○	○
	⑨	○	○	○	○	○	○
HS	⑦	○	○	○	○	○	○
	⑧	○	○	○	○	○	○

*1 近畿生コンクリート圧送協同組合 *2 (株)竹中工務店 *3 (株)浅沼組

報告 各種先送り材の性状と圧送性に関する研究 その2

○河野 純子*¹ 小林 稔*²
 永田 哲夫*¹ 三島 剛*³
 中村 成春*⁴ 木村 芳幹*⁵

コンクリート 圧送性 先送り材
 フレッシュ性状 硬化物性 廃棄量

1. はじめに

市場で流通している先送り材は、銘柄毎に性状が大きく異なる事をその1で示したが、これらの先送り材がコンクリートに混入した場合、硬化物性にどのような影響を与えるかを定量的に評価しているデータは乏しい。本研究では、各種の実験から先送り材が混入したコンクリートの硬化物性を評価した。本報では下記3項目について報告する。

- ・各種先送り材が混入したコンクリートの硬化物性の把握（室内実験）
- ・各種先送り材を用いた圧送前後のコンクリートの硬化物性の把握（実機実験）
- ・硬化コンクリートの性状と廃棄量の関係（実機実験）

2. 各種先送り材が混入したコンクリートの硬化物性の把握（室内実験）

（1）実験概要

室内実験では、各種先送り材をコンクリートに混入し、先送り材が硬化コンクリートに与える影響を評価した。図1に実験手順を示す。

（2）使用材料

使用した先送り材一覧を表1に、ベースコンクリートの調合を表2に示す。（各先送り材の性状はその1を参照）

（3）実験の要因と水準

本実験では、先送り材をコンクリートに対する体積比で0～20%混入し、混入率毎にコンクリートのフレッシュ性状および硬化物性を評価した。実験の要因と水準を表3に、先送り材の種類と混入率の組合せを表4に示す。本実験での先送り材の混入率の算出にあたっては、先送り材のコンクリートに対する体積比で算出した。コンクリートと先送り材の混合物は、試料と表記した。

（4）試験項目

本実験では JIS A 1108 に基づく圧縮強度試験と、JIS A 1127 に基づく動弾性係数の測定を行った。

（5）圧縮強度試験結果

図2に、先送り材を混入したコンクリートの材齢4週圧縮強度試験結果を示す。試験結果は空気量4.5%を基準として、空気量±1%毎に圧縮強度±5%の補正を行った。



図1 実験手順

表1 使用した先送り材一覧

先送り材の実験記号	基材計量(kg)	水計量値(kg)
MO (従来の先送りモルタル)	W:320kg C:400kg S:1470kg	
EC-2 (市販の先送り材)	20.00	6.00
ML-2 (市販の先送り材)	6.00	7.00
RU (市販の先送り材)	既調合(20kg/1パック)	
S2-2 (市販の先送り材)	0.27	36.00
SL-2 (市販の先送り材)	3.30	19.00
HS (高濃度スラッジ水使用モルタル)	W:400kg C:400kg S:1470kg	

表2 ベースコンクリートの調合

呼び強度	水セメント比 (%)	単位量 (kg/m ³)				スランプ (cm)	空気量 (%)
		セメント	水	細骨材	粗骨材		
30	50	360	180	864	904	18	4.5

表3 実験の要因と水準

要因	水準数	水準
先送り材の銘柄	7	MO, EC-2, S2-2, SL-2, ML-2, RU, HS
混入率(vol%)	9	0, 0.7, 1.5, 2.3, 4.7, 4.9, 10.7, 18.0, 20.1

表4 先送り材の種類と混入率の組合せ

先送り材銘柄	MO, EC-2, S2-2, SL-2						
混入率(vol%)	0.0	0.7	1.5	4.7	18.0		
先送り材銘柄	ML-2, RU, HS						
混入率(vol%)	0.0	0.7	1.5	2.3	4.9	10.7	20.1

試験結果を、先送り材の銘柄別に比較すると ML-2 と S2-2 を混入したコンクリートの強度低下が最も大きく、MO と HS を混入したコンクリートの強度低下は最も小さい結果となった。MO および HS の強度が下がりにくかった理由は、先送り材自体が硬化し、一定の圧縮強度を持つためであると考えられる。MO 単体で供試体を作製し、4週圧縮強度を測定したところ、21.7(N/mm²)であった。

図3には先送り材混入率とベースコンクリート（混入率0%）からの圧縮強度の変化を示す。図4では図3の先送り材混入率0～5%の部分拡大した。図4からは、MO 以外の先送り材では、混入率が1～5%と少量であったとしても圧縮強度が10～30%低下することが分かる。

図5、図6は、先送り材ごとに、コンクリートへの混入率と圧縮強度の変化の関係を線形回帰した結果を示したものである。HSを除く先送り材では、回帰直線の寄与率が94%を超えており、高い相関関係があると言える。つまり、先送り材の混入率が分かれば圧縮強度の低下率を、圧縮強度の低下率が分かれば混入率を推定できると考えられる。

3. 各種先送り材を用いた圧送前後のコンクリートの硬化物性の把握（実機実験）

(1) 実験概要

実機実験では、市販の先送り材4銘柄と、従来の先送りモルタル、高濃度スラッジ水使用モルタルを加えた全6銘柄を実際のコンクリート圧送に用い、先送り材毎の圧送後のコンクリートの圧縮強度を評価した。また、実験に用いるコンクリートには、呼び強度やスランプの異なるものを用い、圧送するコンクリートの種類が各先送り材の圧送性や圧縮強度の変化に与える影響も評価した。

(2) 使用材料

使用した先送り材の概要を表5、表6に示す。なお、圧送実験時の先送り材の使用量は、後述する圧送計画に基づき、各先送り材製造会社の技術者立ち合いのもと決定した。

表7には、圧送に用いたコンクリートの調合を示す。調合は全5種類で、調合記号1818以外は、コンクリートを製造した工場で作呼強度とスランプ（スランプフロー）に対応した標準的な調合である。圧送時には、各調合でその都度3m³のコンクリートを製造し、実験に供した。

(3) 圧送計画

圧送計画図を図7に示す。圧送距離は77.3mで、ブーム先端からテーパ管を含めて39.2mの配管を行った。

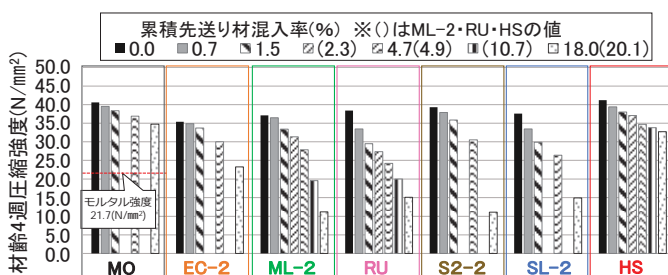


図2 先送り材を混入したコンクリートの圧縮強度

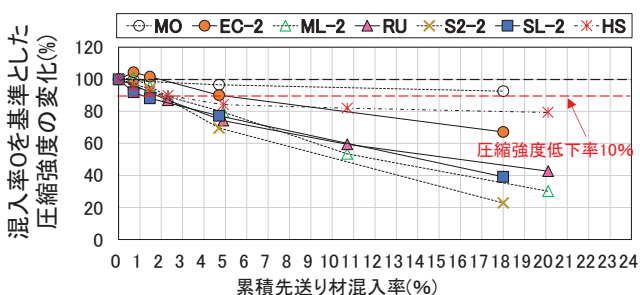


図3 先送り材の混入率と圧縮強度の変化の関係

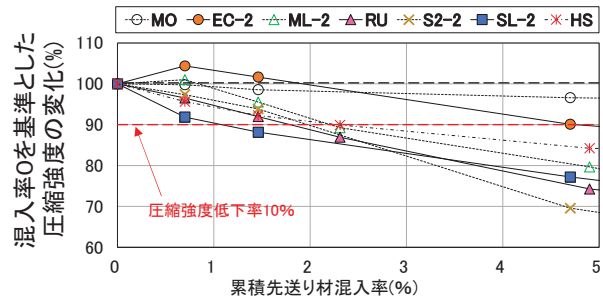


図4 図3の混入率0～5%部分拡大

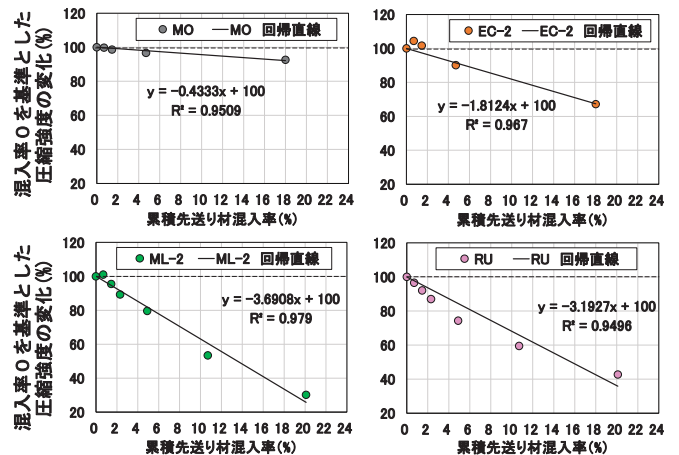


図5 先送り材混入率と4週圧縮強度の変化の線形回帰

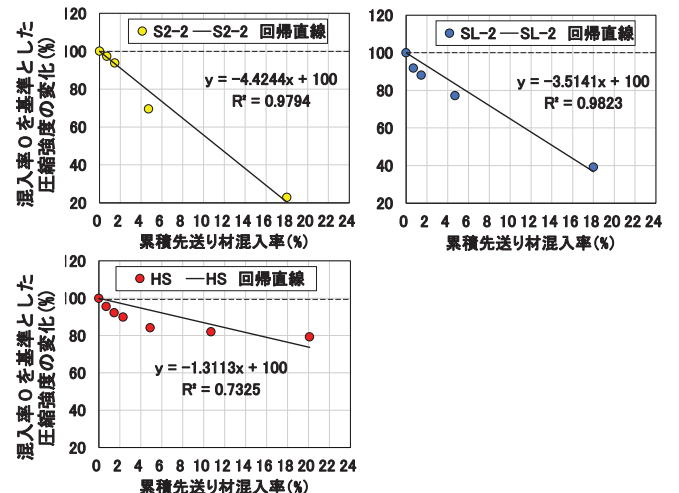


図6 先送り材混入率と4週圧縮強度の変化の線形回帰

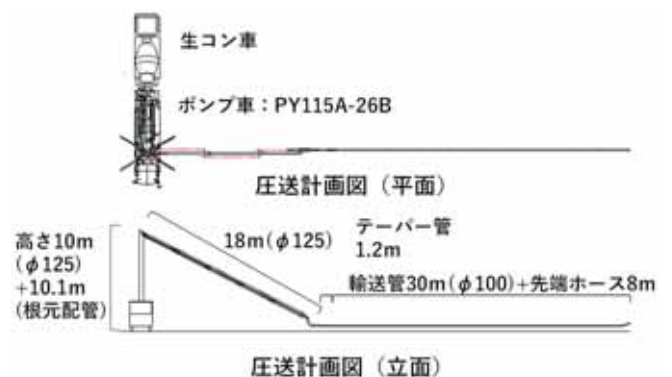


図7 圧送計画図

(4) 実験の組合せ

実験の組合せと、圧送時の状況を表8に示す。実験番号④⑥では、先行水の投入忘れや投入量の不足によって筒先近傍で閉塞が生じた。ともにすぐに解除できたため実験を継続した。実験番号②'は輸送管内残留水の排出不足によるテーパ管近傍で閉塞が生じ、⑩'は先送り材のホッパーへの投入時に、本来先送り材を先行してピストン管内部に投入すべきところをホッパー内でコンクリートと混合してしまった為、ともにデータ採取を中止した。

(5) 試料の採取と試験項目

本実験では、圧送前、圧送中、圧送後にコンクリートを採取し、JIS A 1108に基づく材齢4週圧縮強度試験を実施した。試料採取要領は下記の通りである。

- ① 圧送前試料：実験開始の約 10 分前に生コン車から試料を採取した。
- ② 圧送中試料：T 字管から先送り材を投入した実験では、試料が吐出されたことを確認した時点で圧送を一時中断し、その次のストローク (st) を 1st 目として 1st 分の試料 (50L) の全量を筒先から採取した。同じ要領で 3st 目、5st 目、7st 目、9st 目の試料を全量採取した。ホッパから先送り材を投入した実験では、試料が吐出されたことを確認してから 4st 経過した時点で圧送を一次中断し、その次のストロークから 1st 目として 3st 目、5st 目、7st 目、9st 目の試料を全量採取した。
- ③ 圧送後試料：さらに 10st 圧送し、20st 目の試料を全量採取した。

(6) 圧縮強度試験結果

表9に圧縮強度試験結果を示す。本実験では、室内実験と同様に、圧縮強度試験結果は空気量 4.5%を基準として、空気量 1%増減毎に圧縮強度を 5%減増する補正を行った。

表5 先送り材 (市販品) の概要

先送り材 記号	基材1袋の質量と練混ぜに必要な水量		基材1袋あたりの 先送り材作製量 (L)
	基材計量値(kg)	水計量値(kg)	
SL	3.3	19	20
RU	練り混ぜ不要(20L/袋)		20
ML	6	6	12
EC	20	6.5	20

表6 先送り材 HS、MO の割合

先送り材 記号	W/C (%)	水または高濃度 スラッジ水(kg)	セメント (kg)	細骨材 (kg)	対象 実験番号*
HS	100	400	400	1246	④
	85	340	400	1406	⑩
MO	70	280	400	1507	⑩⑩

*：実験番号は (表8) 参照

表7 コンクリートの計画割合

調査記号*	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m³)									混和剤 (kg/m³)
			W	C	S1	S2	S3	G1	G2	G3		
3018	50	49.9	180	360	442	426	-	602	267	-	ad1:2.92	
3045	50	50.2	185	370	440	423	-	592	262	-	ad1:3.70	
1818	57.1	-	200	350	-	-	272	-	-	1139	ad3.4.20	
2412	57	48.8	175	307	446	430	-	637	282	-	ad2:3.07	
4550	36	46.5	185	514	378	364	-	592	262	-	ad1:5.14	

*調査記号：呼び強度-スランプ (スランプフロー) の順に記載

表8 実験の組合せと先送り材の概要および圧送状況

番号	実験記号		先送り材			先行水の 有無	圧送時の状況*4	
	銘柄*1	コンクリート 調査記号*2	先送り材 投入方法*3	投入量(L)	基材量			練混ぜ水量
①	MO	3018	H	300	-	-	約 45L	○
②'	ML		T	24	2袋	6L/袋	-	▲：輸送管残留水の排出不足によりテーパ管で閉塞。圧送を中止。
③	SL		T	60	3袋	19L/袋	-	○
④	HS		H	300	-	-	-	▲：先行水の未投入による閉塞。閉塞解除後に圧送を継続。
⑤	RU		T	40	2袋	-	-	○
⑥	EC		T	60	3袋	6.5L/袋	約 1L	▲：先行水が少なく閉塞。閉塞解除後に圧送を継続。
⑦	ML		T	24	2袋	6L/袋	-	○：②'の再実験
⑧	MO		T	50	-	-	約 12L	○
⑨'	SL	3018	H	80	4袋	19L/袋	-	■：ホッパ内で先送り材にコンクリートが混入。圧送を中止。
⑩	SL	3045	T	60	3袋	19L/袋	-	○
⑪	RU		T	40	2袋	-	-	○
⑫	SL	2412	T	60	3袋	19L/袋	-	○
⑬	MO	1818	H	300	-	-	約 45L	○
⑭	ML	2412	T	30	2.5袋	6L/袋	-	○
⑮	SL	4550	T	60	3袋	19L/袋	-	○
⑯	EC		T	60	3袋	7L/袋	約 3L	○
⑰	HS		T	50	-	-	約 4L	○
⑱	SL	3018	H	80	4袋	19L/袋	-	○：⑨'の再実験

*1 表5、表6参照、*2 調査記号：呼び強度-スランプ(スランプフロー)、*3 投入方法 H:ホッパからの投入、T:T字管からの投入

*4 圧送状況の凡例 ○：順調な圧送ができた、▲：先送り時に閉塞が生じた ■：圧送前に、先送り材にコンクリートが混入

(7) 硬化コンクリートの性状と廃棄量の関係

圧縮強度試験結果から、先送り材の銘柄毎に、コンクリートの吐出量と圧縮強度比率の関係、推定混入率との関係を報告する。

筒先から吐出したコンクリートの圧縮強度比率を図8に示す。圧縮強度比率は、送り材の影響を受けていないと考えられる20ストローク時を基準値(100%)とした。

図9は、室内実験での先送り材混入率と強度低下率の回帰式を用いて、実機実験での圧縮強度比率から先送り材の推定混入率を算出した結果を示したものである。コンクリートの吐出量は、圧送時の1ストロークを50Lとして計算し、1st目の試料採取前には試料の吐出確認用に約50Lの試料を廃棄したため、吐出量は100Lを起点としている。

SL以外の市販の先送り材は、200L吐出時に圧縮強度比率90%以上となり、推定混入率は3%以下となった。SLは、T字管投入の場合は400L吐出時に圧縮強度比率が90%以上となり、推定混入率が2%以下となった。SLのホッパ投入の場合は600L吐出時に圧縮強度比率が97%となり、推定混入率は1%となった。

表10には、図8を基に圧縮強度比率が90%または95%の数値を得られるのに必要なコンクリートの廃棄量を算出した結果を示す。

表9 圧縮強度試験結果

実験記号	試料採取 タイミング	圧縮強度 補正有り (N/mm ²)	みかけの 密度 (g/cm ³)	実験記号	試料採取 タイミング	圧縮強度 補正有り (N/mm ²)	みかけの 密度 (g/cm ³)
① MO3018H	前	51.6	2.310	⑫ SL3045T	前	50.4	2.304
	1	48.1	2.290		1	3.7	2.064
	3	48.6	2.293		3	25.9	2.268
	5	48.7	2.275		5	44.3	2.309
	7	48.3	2.296		7	51.8	2.312
	9	48.4	2.302		9	53.3	2.303
	20	47.1	2.281		20	52.0	2.294
	前	51.8	2.316		前	51.7	2.304
	1	32.6	2.245		1	23.7	2.208
	3	48.8	2.257		3	49.4	2.264
② ML3018T	5	50.3	2.281	5	50.9	2.299	
	7	53.2	2.288	7	50.4	2.300	
	9	51.7	2.293	9	53.8	2.293	
	20	50.3	2.279	20	52.8	2.274	
	前	51.6	2.308	前	25.6	2.077	
	5	6.8	1.128	1	24.5	2.107	
	7	34.8	2.271	3	25.7	2.083	
	9	46.1	2.283	5	24.5	2.070	
	11	48.7	2.286	7	26.4	2.083	
	13	51.1	2.293	9	25.9	2.081	
③ SL3018T	24	50.5	2.300	20	24.7	2.072	
	前	49.5	2.323	前	43.1	2.297	
	1	36.2	2.285	1	1.7	1.992	
	3	41.7	2.294	3	17.0	2.218	
	5	42.1	2.299	5	37.1	2.265	
	7	45.3	2.296	7	37.1	2.233	
	9	44.9	2.293	9	39.3	2.228	
	20	45.0	2.246	20	40.8	2.260	
	前	53.2	2.331	前	41.9	2.297	
	1	18.5	1.182	1	27.3	2.246	
④ HS3018H	3	49.5	2.274	3	42.2	2.237	
	5	51.5	2.296	5	40.3	2.260	
	7	52.7	2.302	7	43.2	2.273	
	9	53.3	2.293	9	44.9	2.279	
	20	51.9	2.302	20	43.3	2.261	
	前	55.9	2.314	前	73.2	2.325	
	1	37.3	2.299	1	19.4	2.191	
	3	50.9	2.289	3	41.9	2.267	
	5	53.0	2.279	5	61.4	2.298	
	7	54.1	2.311	7	66.8	2.278	
⑤ RU3018T	9	56.2	2.300	9	73.2	2.293	
	20	53.9	2.297	20	73.0	2.293	
	前	51.7	2.325	前	73.5	2.314	
	1	40.7	2.309	1	44.3	2.303	
	3	48.7	2.293	3	70.1	2.288	
	5	48.1	2.279	5	71.4	2.286	
	7	49.3	2.278	7	74.6	2.287	
	9	51.5	2.287	9	74.9	2.289	
	20	52.1	2.286	20	73.6	2.306	
	前	48.0	2.320	前	49.8	2.315	
⑥ EC3018T	1	2.0	1.993	1	45.6	2.289	
	3	12.9	2.185	3	51.9	2.289	
	5	31.1	2.269	5	52.5	2.269	
	7	41.7	2.296	7	48.5	2.282	
	9	45.9	2.309	9	50.7	2.289	
	20	47.0	2.281	20	48.7	2.291	
	前	50.4	2.304	前	50.4	2.304	
	1	3.7	2.064	1	3.7	2.064	
	3	25.9	2.268	3	25.9	2.268	
	5	44.3	2.309	5	44.3	2.309	
⑦ SL3045T	7	51.8	2.312	7	51.8	2.312	
	9	53.3	2.303	9	53.3	2.303	
	20	52.0	2.294	20	52.0	2.294	
	前	51.7	2.304	前	51.7	2.304	
	1	23.7	2.208	1	23.7	2.208	
	3	49.4	2.264	3	49.4	2.264	
	5	50.9	2.299	5	50.9	2.299	
	7	50.4	2.300	7	50.4	2.300	
	9	53.8	2.293	9	53.8	2.293	
	20	52.8	2.274	20	52.8	2.274	
⑧ MO3018T	前	25.6	2.077	前	25.6	2.077	
	1	24.5	2.107	1	24.5	2.107	
	3	25.7	2.083	3	25.7	2.083	
	5	24.5	2.070	5	24.5	2.070	
	7	26.4	2.083	7	26.4	2.083	
	9	25.9	2.081	9	25.9	2.081	
	20	24.7	2.072	20	24.7	2.072	
	前	43.1	2.297	前	43.1	2.297	
	1	1.7	1.992	1	1.7	1.992	
	3	17.0	2.218	3	17.0	2.218	
⑨ ML2412T	5	37.1	2.265	5	37.1	2.265	
	7	37.1	2.233	7	37.1	2.233	
	9	39.3	2.228	9	39.3	2.228	
	20	40.8	2.260	20	40.8	2.260	
	前	41.9	2.297	前	41.9	2.297	
	1	27.3	2.246	1	27.3	2.246	
	3	42.2	2.237	3	42.2	2.237	
	5	40.3	2.260	5	40.3	2.260	
	7	43.2	2.273	7	43.2	2.273	
	9	44.9	2.279	9	44.9	2.279	
20	43.3	2.261	20	43.3	2.261		
⑩ SL3018H	前	73.2	2.325	前	73.2	2.325	
	1	19.4	2.191	1	19.4	2.191	
	3	41.9	2.267	3	41.9	2.267	
	5	61.4	2.298	5	61.4	2.298	
	7	66.8	2.278	7	66.8	2.278	
	9	73.2	2.293	9	73.2	2.293	
	20	73.0	2.293	20	73.0	2.293	
	前	73.5	2.314	前	73.5	2.314	
	1	44.3	2.303	1	44.3	2.303	
	3	70.1	2.288	3	70.1	2.288	
⑪ MO1818H	5	71.4	2.286	5	71.4	2.286	
	7	74.6	2.287	7	74.6	2.287	
	9	74.9	2.289	9	74.9	2.289	
	20	73.6	2.306	20	73.6	2.306	
	前	49.8	2.315	前	49.8	2.315	
	1	45.6	2.289	1	45.6	2.289	
	3	51.9	2.289	3	51.9	2.289	
	5	52.5	2.269	5	52.5	2.269	
	7	48.5	2.282	7	48.5	2.282	
	9	50.7	2.289	9	50.7	2.289	
20	48.7	2.291	20	48.7	2.291		

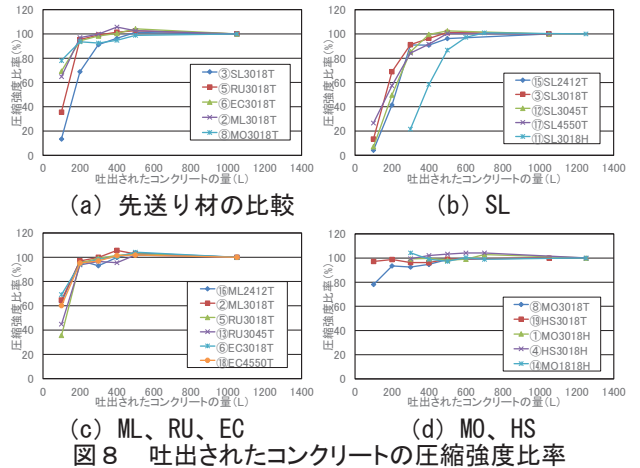


図8 吐出されたコンクリートの圧縮強度比率

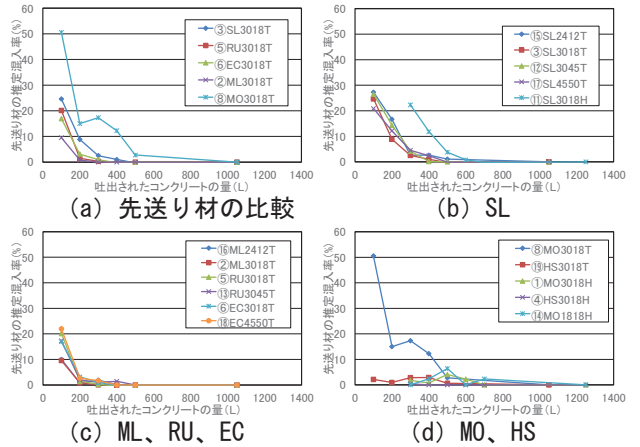


図9 先送り材の推定混入率

表10 廃棄量と先送り材の投入量の関係

実験記号	圧縮強度比率		先送り材 投入量(L)	実験記号	圧縮強度比率		先送り材 投入量(L)
	90%	95%			90%	95%	
③SL3018T	294	372	60・無	⑥EC3018T	183	217	60・1
⑫SL3045T	333	368	60・無	⑧EC4550T	185	199	60・3
⑮SL2412T	298	478	60・無	④HS3018H	378	520	300・無
⑰SL4550T	379	439	60・無	⑨HS3018T	100	111	50・4
⑪SL3018H	606	670	80・無	①MO3018H	300	300	300・45
⑤RU3018T	191	199	40・無	⑩MO3018T	177	412	50・12
⑬RU3045T	193	247	40・無	⑭MO1818H	300	300	300・45
②ML3018T	178	194	24・無				
⑬ML2412T	179	329	30・無				

4. まとめ

本実験で得られた知見を以下に示す。

- 1) MO 以外の先送り材をコンクリートに混入した場合、1~5%と比較的少ない混入率であっても、材齢4週圧縮強度は10~30%低下した。
- 2) 先送り材の混入率とコンクリートの圧縮強度の変化との間には強い相関性があり、先送り材の混入率が分かれば圧縮強度の低下率を、圧縮強度の低下率が分かれば混入率を推定できると考えられる。
- 3) 市販の先送り材は圧縮強度比率90%を得るためには、投入量の約3~8倍を、圧縮強度比率95%を得るためには、約3.5~11倍廃棄する必要がある。
- 4) MO、HS を用いた場合、圧縮強度比率95%を得るためには投入量の約1~2倍の廃棄量で良い。
- 5) 先送り材の投入方法の違いでは、ホッパ投入時はT字管からの投入に比べ、必要廃棄量が多くなる。

*1 近畿生コンクリート圧送協同組合, *2 榊竹中工務店, *3 榊フローリック, *4 大阪工業大学, *5 榊コンステック

報告 生コンスラッジを構成材料とした環境配慮型先送り材の検討

○真砂 和樹*¹ 中田 善久*²
一瀬 賢一*³ 宮田 敦典*⁴

コンクリートポンプ工法 環境配慮型先送り材
生コンスラッジ ペーパーズラッジ

1. はじめに

コンクリートポンプ工法において、閉塞事故防止のためには先送り材の使用が必要不可欠である。この先送り材にはモルタルを用いることが一般的であり、原則として型枠内に打ち込まず廃棄することとされており¹⁾、環境配慮の面からもできるだけ少なくすることが望ましい。そのため、先送りモルタルを低減する方法として、毛見ら²⁾は、ホップからの投入ではなくテーパ管の先にT字管の投入口を設けて圧送する方法を提案している。また、近年では、従来のモルタルに代わる先送り材が数種類開発され、普及しつつある。これらの先送り材は、モルタルに比べ使用量が少なく、圧送開始時に廃棄されるコンクリート量も低減することが期待できる。先送り材の一つとしてペーパーズラッジや生コンスラッジなどの産業廃棄物を構成材料としたもの（以下、環境配慮型先送り材 A という）がある。この環境配慮型先送り材 A は、水、ペーパーズラッジ、増粘剤および粉体（炭酸カルシウムと生コンスラッジ）から構成されている。環境配慮型先送り材 A における粉体中の生コンスラッジの割合を増やすことは、生コンスラッジの活用と若干の炭素の固定が期待できる。

本報告は、環境配慮型先送り材 A の粉体として使用されている生コンスラッジの割合が先送り材としての性能に及ぼす影響を把握するため、炭酸カルシウムと生コンスラッジの混入割合を変化させて、その性状（単位容積質量、モルタルフロー、付着量および粘度）を検討したものである。

2. 実験概要

使用材料は、環境配慮型先送り材 A と同等のものを用いた。また、試料の作製にあたり、水、ペーパーズラッジおよび増粘剤は、環境配慮型先送り材 A と同量とした。粉体は質量を一定として、生コンスラッジの混入率（生コンスラッジ/炭酸カルシウム+生コンスラッジ）を 0, 15, 30, 50, 70, 85 および 100% の 7 水準に変化させた。試料は、モルタルミキサーを用いて 1 水準につき 3 バッチ製造した。試験項目および試験方法を表 1 に示す。

3. 結果および考察

表 1 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法
試料の温度	JIS A 1156 に準じて測定
単位容積質量	φ50×100mm の円柱型枠を用いて測定
モルタルフロー	JIS R 5201 に準じて測定
付着量	1. φ72×250mm の鉄製円筒容器に試料を充填 2. 底板を取り除き、容器内面に付着した試料の質量を測定
粘度	R 社製の円筒型回転粘度計により、測定範囲 3~150dPa・s のロータを用いて測定

(1) 試料の温度および単位容積質量

試料の温度は、21.3~25.6°C の範囲であった。生コンスラッジの混入率と単位容積質量の関係を図 1 に示す。単位容積質量は、生コンスラッジの混入率の増加に伴い、小さくなる傾向を示した。これは、粉体質量を一定として実験を行ったため、炭酸カルシウムの密度（約 2.71g/cm³）に比べて生コンスラッジの密度（約 2.15g/cm³）が小さいため、生コンスラッジの割合が多くなるほど試料中の粉体量が多くなり単位容積質量が小さくなった。

(2) モルタルフロー

生コンスラッジの混入率とモルタルフローの関係を図 2 に示す。15 打モルタルフローは、生コンスラッジの混入率が 0% から 15% にかけて増大し、その後減少に転じ、生コンスラッジの混入率の増加に伴い小さくなる傾向を示した。これは、0 打モルタルフローにおいてもおおむね同様の傾向を示した。これより、環境配慮型先送り材 A の流動性は、生コンスラッジの混入率が 15% 以上の場合、生コンスラッジの混入率の増加に伴い低下することが示唆された。しかし、モルタルフローは、いずれの生コンスラッジの混入率においても、おおむね 160~180mm の範囲にあり、生コンスラッジの混入率による明確な違いはみられなかった。

(3) 付着量

生コンスラッジの混入率と付着量の関係を図 3 に示す。付着量は、容器の内面に付着した試料の質量を基に、容器内面積当たりの付着量 (L/m²) として求めた。生コンスラッジの混入率が 15%~70% の範囲における付着量は、1.5~

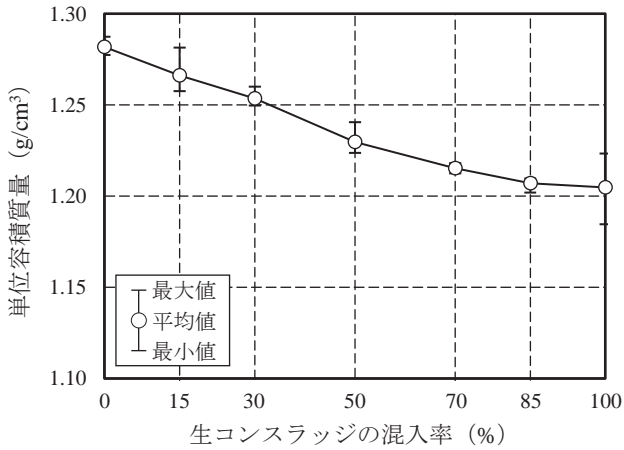


図1 生コンスラッジの混入率と単位容積質量の関係

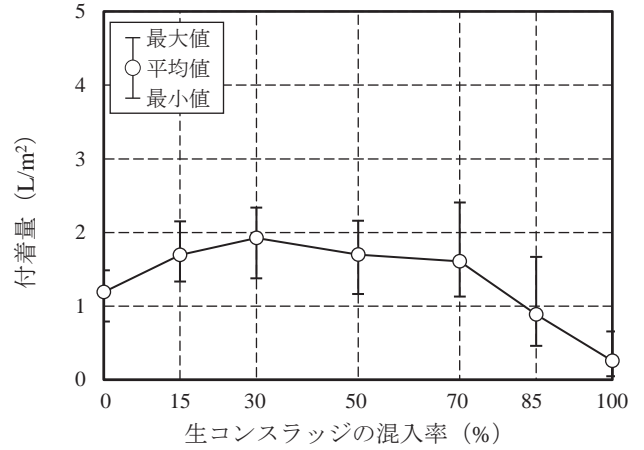


図3 生コンスラッジの混入率と付着量の関係

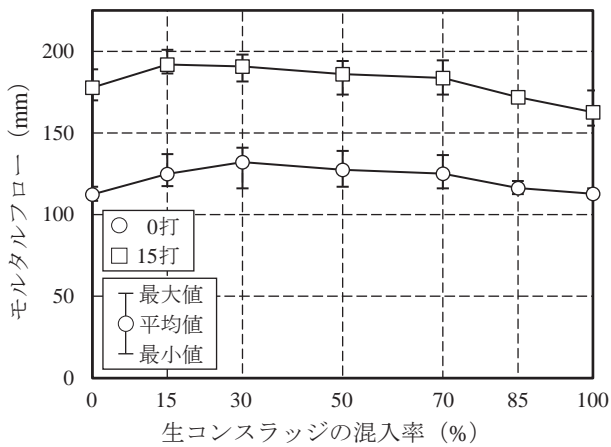


図2 生コンスラッジの混入率とモルタルフローの関係

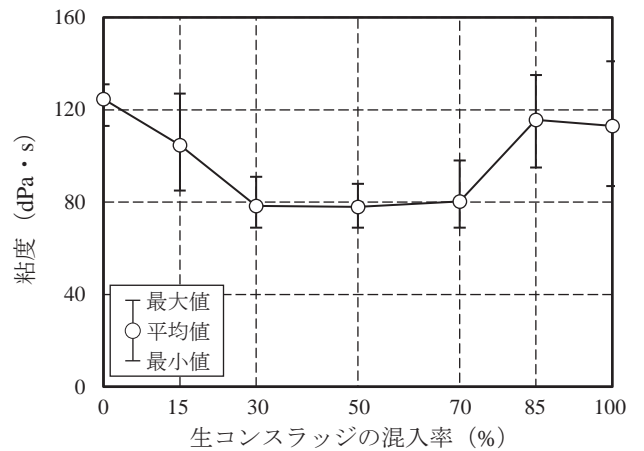


図4 生コンスラッジの混入率と粘度の関係

2.0L/m²の範囲となり、おおむね同様の性状を示すものと考えられる。一方、生コンスラッジの混入率が85%以上の場合、付着量が著しく小さくなる傾向を示した。これは、生コンスラッジの混入率が70%を超えると試料に取り込まれない水が多くなり、この水の影響で試料の付着量が少なくなったものと推察する。特に生コンスラッジの混入率100%では、ほとんど付着がなかった。

(4) 粘度

生コンスラッジの混入率と粘度の関係を図4に示す。粘度は、生コンスラッジの混入率が15%以下および85%以上において高い値を示した。これは、生コンスラッジの混入率が小さい場合、単位容積質量が大きいことが影響している可能性があり、生コンスラッジの混入率が大きい場合は、モルタルフローの結果からわかるように流動性が低下するためと考えられる。一方、生コンスラッジの混入率が30~70%の範囲では、いずれも80dPa・s程度であり、おおむね同様の性状を示すものと考えられる。

4. まとめ

本報告では、環境配慮型先送り材Aに使用される粉体材料中の生コンスラッジの割合が先送り材としての性能に及ぼす影響を把握するため、実験的に検討した。実験の結果、生コンスラッジの混入率30~70%の範囲において、モルタルフロー、付着量および粘度は、おおむね同程度の値を示した。この結果から、生コンスラッジの混入率を70%程度までとしても先送り材として適用できる可能性があるものと推察する。

今後は、圧送時のコンクリートへの影響について検討を進める予定である。

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) 毛見虎雄ほか：コンクリートポンプ工法における先送りモルタルの低減に関する実験的研究、日本建築学会技術報告集、第2号、pp.1-6、1996.3

*1 日本大学大学院理工学研究科建築学専攻 大学院生

*2 日本大学理工学部建築学科 教授・博士(工学)

*3 日本大学理工学部建築学科 特任教授・博士(工学)

*4 日本大学理工学部建築学科 助教・博士(工学)

報告 新規圧送助剤を用いた長距離圧送コンクリートの試験結果について

○土師 康一*¹ 澤村 淳美*¹
 守屋 健一*² 椎名 貴快*³
 作江 富夫*⁴ 木戸 邦也*⁵

長距離圧送
コンクリート

初期強度
圧送性

ポンプ圧送助剤
圧送試験

1. はじめに

近年、コンクリートポンプの高性能化に伴い、シールドトンネル工事を中心として、ポンプ圧送を主体とした、二次覆工やインバートコンクリートなどを対象とした圧送距離 1,000m を超える長距離圧送コンクリートの適用事例が増加している。

コンクリートの長距離圧送を行う際に一般的に用いられるポンプ圧送助剤は、遅延効果を付与した材料をベースとしたものが多く、打設構造物や環境条件によっては、初期強度の発現性が問題となることがあった。そこで筆者らは、従来の圧送助剤と比較して初期強度の発現性を改良した圧送助剤を開発し、実機を用いた長距離圧送試験によりその性能を確認したので、その結果について報告する。

2. 新規ポンプ圧送助剤の特徴について

『最新コンクリートポンプ圧送マニュアル』¹⁾では、圧送するコンクリートに必要な性能として、作業性（ワーカビリティ）や流動性（コンシステンシー）など圧送前後の各段階で必要な性能が挙げられている。

なかでも、コンクリートポンプ車を用いてコンクリートの長距離圧送施工を行う場合、一般的な打込みと比較して、圧送中に配管内にコンクリートが滞留する時間が長くなるため、経時保持性を含めた流動性（コンシステンシー）の確保により、圧送性（ポンパビリティ）を保持することが求められるケースが多い。これに対し、実際の施工現場では、プラントを出荷したベースコンクリートに対し、現場においてアジテータ車へのあと添加により圧送に必要な性能を付与する化学混和剤である、ポンプ圧送助剤を使用するケースが一般的である。

このように、コンクリートの長距離圧送時に使用されるケースの多いポンプ圧送助剤であるが、圧送中の流動性確保によるポンプ車の圧送負荷低減にフォーカスした遅延剤ベースの材料が多いため、施工条件や使用量によっては、圧送後の初期強度発現が遅延する材料も少なくない。初期強度発現の遅延は、圧送後の目的構造物によっては工程に影響を及ぼす可能性が高いため、ポンプ圧送助剤の改良は

必要不可欠であった。

このような背景のもと、筆者らは、ポンプ圧送性だけでなく、圧送後のコンクリートの初期強度発現性にも着目した新規のポンプ圧送助剤を開発した。本開発によるポンプ圧送助剤は、圧送コンクリートの遅延性と分散性を制御することで圧送性を確保しつつ、初期強度も確保できることを特徴とする。本製品は、ベースコンクリートの単位セメント量と 0.3mm 以下の単位細骨材量から成る単位粉体量により材料分離抵抗性を確保することを基本としており、本開発では、既往の実績より、ベースコンクリートの最小粉体量を 550kg/m³ として各種試験を実施した。

3. 実機試験について

本試験では、実配管を用いた圧送試験に先駆け、試験で使用するプラント実機を用いた性状確認試験を実施した。今回試験の使用材料、ならびに試験配合について、表-1、ならびに表-2に示す。今回試験における使用プラントは、細骨材が川砂、粗骨材が砕石で構成されており、使用配合（33-21-20N）の細骨材の微粒分量を含めた単位粉体量は、594kg/m³であった。

表-1 使用材料

材料	記号	摘要
セメント	C	普通ポルトランドセメント
水	W	地下水
細骨材	S	信濃川水系川砂 表乾密度：2.60g/cm ³
粗骨材	G	信濃川水系砕石 表乾密度：2.73g/cm ³
混和剤	SP	高性能AE減水剤（標準形I種）
圧送助剤	AD	オキシカルボン酸系 ポリカルボン酸系化合物

表-2 試験配合

配合	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
			W	C	S	G	SP
33-21-20N	44.0	52.4	170	387	902	860	3.87

3-1. フレッシュ性状について

圧送試験に先駆け、ポンプ圧送助剤をあと添加したコンクリートの経時変化特性の確認を目的とした、プラント実機を用いたフレッシュ性状試験を実施した。試験は、プラント実機で練り混ぜたベースコンクリート 4.0m³ をアジテータ車に積み込み、30分間隔で試料を採取し、スランプフローならびに空気量の測定を行った。また、ポンプ圧送助剤については、ベースコンクリート 4.0m³ をアジテータ車に積み込み後、経時時間 30 分で 3 袋投入し、その後の測定を実施した。

図-1 および図-2 にスランプフローと空気量の経時変化試験結果を示す。図より、ベースコンクリートにポンプ圧送助剤を添加後、スランプフローについては、助剤投入時に 15cm 程度伸びるものの、その後のスランプフローの低下はベースコンクリートと概ね同様の傾向となった。一方、空気量については、ポンプ圧送助剤投入による大きな変化は見られなかった。



写真-1 ポンプ圧送助剤添加状況

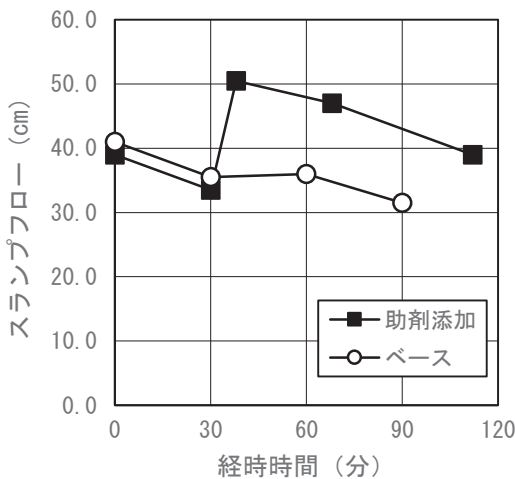


図-1 スランプフロー経時変化試験結果

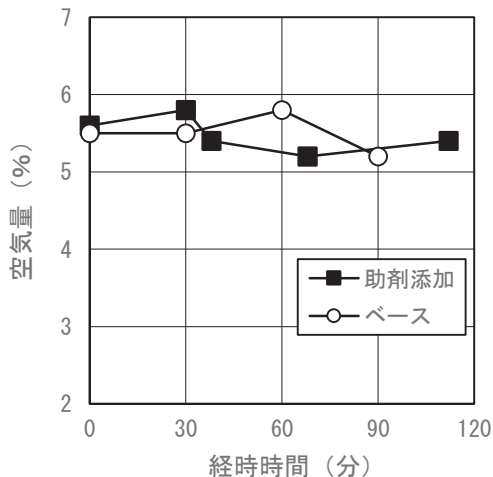


図-2 空気量経時変化試験結果

3-2. 初期強度 (24 時間強度) について

ポンプ圧送助剤のあと添加がコンクリートの初期強度に与える影響を確認するため、アジテータ車から採取した試料を用いた強度試験を実施した。試験は、供試体採取後、注水から 24 時間で実施し、養生条件としては、試験室内での気中養生とした。

表-3 圧縮強度試験結果 (24 時間)

(N/mm ²)			
	ベース (A)	助剤添加 (B)	B/A
圧縮強度	17.6	18.8	1.07

表-3 に今回試験における材齢 24 時間での圧縮強度試験結果を示す。試験の結果、今回試験条件におけるポンプ圧送助剤添加配合の圧縮強度 (24 時間) は、ベースコンクリートの圧縮強度と比較して、1.07 倍の圧縮強度となり、ポンプ圧送助剤添加による強度低下は見られなかった。

参考値として、ポンプ圧送助剤の開発過程において実施した、複数プラントにおける材齢 24 時間における圧縮強度の比較結果を図-3 に示す²⁾。試験結果より、今回開発

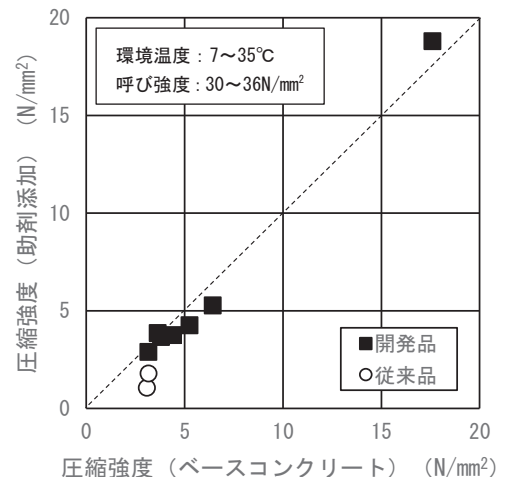


図-3 圧縮強度 (24 時間) 比較結果

したポンプ圧送助剤添加配合とベース配合との強度比（ポンプ圧送助剤添加配合/ベース配合）は、0.81～1.07 と概ねベースコンクリートの 80%以上の初期強度を保持しており、同条件で試験を行った従来品の 0.34～0.56 を大幅に上回る結果となった。

4. 長距離圧送試験

今回実施した長距離圧送試験は、**図-4**、および**写真-2**に示す水平換算長:1,002m(実管長:847m)の圧送配管を用いて実施し、コンクリートポンプとしては、**写真-3**に示すピストン式の配管車（型式：BSF2107HP）を用いた。

試験配合は実機試験と同様、**表-2**に示す試験配合をプラント実機にて練り混ぜ、アジテータ車にてプラントから現場まで約 30 分で運搬後、現場で荷卸し前にポンプ圧送助剤を添加し、吐出量：25m³/h でポンプ圧送を行った。



写真-3 コンクリートポンプ車 (BSF2107HP)

また、本試験では、圧送配管の一部に**写真-4**に示す圧力計測管を設置し、圧送時の管内圧力の計測を実施した。圧力計測管の取付け位置については、コンクリートポンプの吐出口より水平換算距離で、1) 16.07m、2) 92.67m、3) 669.2m、4) 910.2m、5) 973.2mの合計 5 か所（**図-4**参照）とし、コンクリートポンプの圧送負荷と併せて、試験中の圧送状態について確認した。

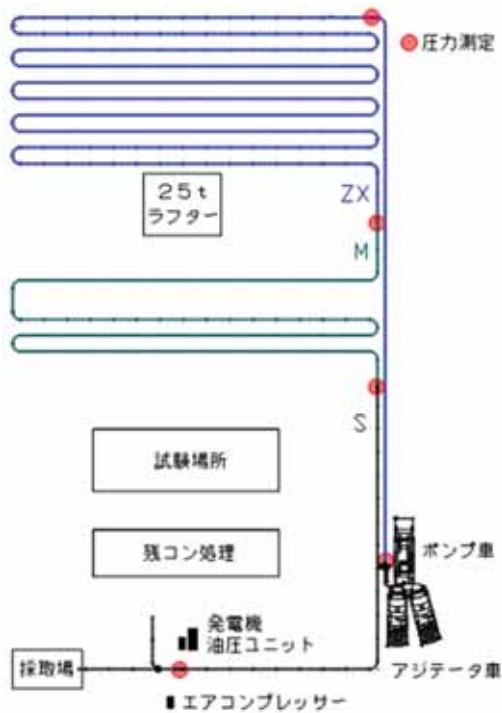


図-4 配管全体図



写真-4 圧力計測管



写真-2 長距離圧送試験配管全景

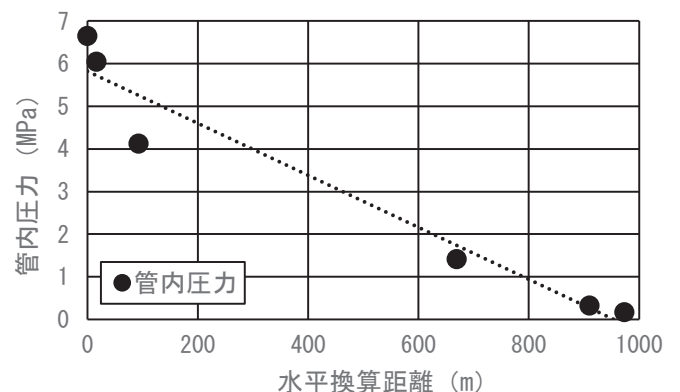


図-5 管内圧力と水平換算距離

図-5 に定常圧送時における、管内圧力と水平換算距離の関係の一例を示す。今回試験では、圧送条件の厳しい暑中環境下での試験であったが、配管閉塞に伴う、管内圧力の急上昇等の不具合もなく、コンクリートポンプの吐出圧も最大 8.25 (MPa) (=6.6 (MPa)×1.25 (機械損失)) 程度で圧送することができた。



写真-5 圧送後試料試験状況 (スランプ : 16.0cm)

4-1. フレッシュ性状について

図-6 に、圧送前後におけるスランプの経時変化について示す。図中、ベースコンクリートについては、現着試料を練り舟に静置し、現場到着後 30 分ごとに試験を実施した。また、ポンプ圧送助剤を添加した試料についても同様に、アジテータ車にポンプ圧送助剤投入・攪拌後に練り舟に静置し、助剤投入後、30 分ごとに試験を実施した。なお、ポンプ圧送試料については、上記、ポンプ圧送助剤添加配合をアジテータ車からコンクリートポンプ車に投入し、長距離圧送後に筒先から採取した試料により試験を実施した。

図より、事前の実機試験と同様、ポンプ圧送助剤を添加することで、添加直後のスランプは伸びるものの、圧送後の試料のスランプについては、ポンプ圧送助剤を添加しないベースコンクリートのスランプの経時変化と概ね同程度の結果となった。これは、助剤添加の静置試料と比較して、圧送試料については、ポンプ圧送による圧送圧力や、管内における繰返しのせん断応力の作用により、スランプの低下が大きくなったと考える。

一方、今回圧送試験については、環境条件の厳しい、暑中環境での実施であったことを考慮すると、長距離圧送後もベースコンクリート相当の性状を保持していることから、助剤使用時には、使用環境や施工条件に応じて、事前にベースコンクリートの性状に配慮する必要があると考える。

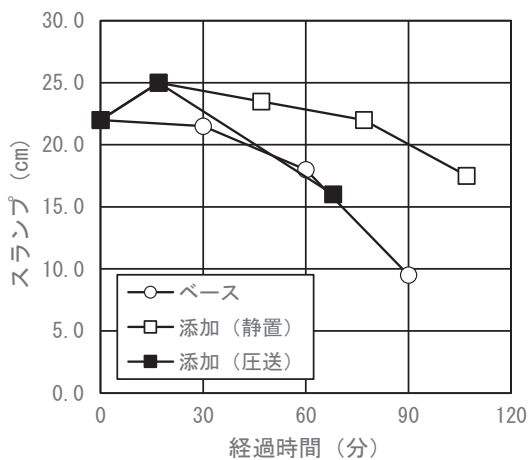


図-6 スランプ経時変化試験結果 (圧送時)

4-2. 初期強度 (24 時間強度) について

表-4 に圧送試験時における、材齢 24 時間における圧縮強度試験結果を示す。試験は、フレッシュ性状と同様、ポンプ圧送助剤添加前のベースコンクリートとポンプ圧送助剤添加後の試料、圧送後の筒先試料の 3 種類で試験を実施した。

試験結果より、ポンプ圧送助剤添加後の試料については、ベースコンクリートと比較して、1.11 倍の圧縮強度となった一方、圧送後試料については、ベースコンクリートと同等の圧縮強度となり、実機試験と同様、ポンプ圧送助剤添加による強度低下等は見られなかった。

表-4 圧縮強度試験結果 (24 時間)

	(N/mm ²)				
	ベース (A)	助剤添加 (B)	圧送後 (C)	B/A	C/A
圧縮強度	16.8	18.6	16.8	1.11	1.00

5. おわりに

本論では、圧送後の初期強度発現性に着目した、新規のポンプ圧送助剤について、助剤を用いた長距離圧送試験結果を中心に報告した。

今回開発したポンプ圧送助剤については、細骨材の微粒分を含めたベースコンクリートの最小粉体量を規定することにより、助剤を添加した状態でも材料分離抵抗性を保持し、初期強度発現を阻害しない材料となっている。

本報告がコンクリートポンプ車を用いた長距離圧送施工に関する一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) (一社) 全国コンクリート圧送事業団体連合会：最新コンクリートポンプ圧送マニュアル, 2019.1
- 2) 澤村淳美ら：新規ポンプ圧送助剤を添加したコンクリートの基本特性に関する実験的検討, 第 78 回土木学会年次学術講演会, 2023.9

*1 戸田建設株式会社 土木技術部, *2 戸田建設株式会社 技術研究所, *3 西松建設株式会社 技術研究所
*4 ライオン・スペシヤリティ・ケミカルズ株式会社 平井研究所, *5 株式会社北斗工業

報告 高流動性コンクリートの圧送性評価

○ 岸 繁樹*¹ 山崎 順二*²
 木村 芳幹*³ 山田 藍*⁴
 岩清水 隆*⁴ 中村 成春*⁵

圧送実験 スランプフロー 高流動コンクリート
 管内圧力損失 管内圧力 Lフロー初速度

1. はじめに

2019年にJIS A 5308が改定され、呼び強度27~45のコンクリートにおいて、スランプフローで管理するコンクリート（以下、高流動性コンクリート）がJIS品として扱えるようになった。本報では、呼び強度27~40のスランプフロー45cm~60cmの高流動性コンクリートのフレッシュ性状と圧送性について調査した結果¹⁾について述べる。

2. 実験概要

2.1 圧送実験に供した高流動性コンクリート

実験の要因と水準を表-1に、実験に供した高流動性コンクリートの調合を表-2に示す。調合方針は、単位水量を175kg/m³、スランプフローを45,50,55,60cmの4水準とした。粗骨材かさ容積を540L/m³とし、各呼び強度に対する水セメント比は大阪広域生コンクリート協同組合の標準配合に従い、呼び強度27, 30, 33, 36, 40の順にW/C=54, 50, 47, 44, 40%とした。さらに呼び強度27において、6銘柄の増粘剤1液タイプ高性能AE減水剤(VSP:(A~F))と高性能AE減水剤(SP:a)、混和材としてフラッシュ(af)を使用した調合を加えた計15調合の高流動性コンクリートを用いて圧送実験を行った。

JIS A 5308では、スランプフロー45,50,55cmの許容範囲は±7.5cm、60cmで±10cmであり、スランプフローが大きいほどコンクリートが分離し圧送性に支障をきたすことが想定される。そこで本実験では、設計スランプフロー（規格値）に対して出荷時のスランプフローの目標値を規格値+7.5cmとした。

使用材料は、通常生コン工場が常備している骨材を用い、細骨材には石灰砕砂S1と流紋岩砕砂S2を、粗骨材には流紋岩砕石G1と石灰砕石G2を使用した。混合比率は細骨材S1:S2=50:50(容積比)、粗骨材G1:G2=70:30(容積比)とした。

2.2 コンクリートの試験項目と試験方法

実大圧送実験において実施したフレッシュコンクリートの試験の項目と試験の時期（出荷時・圧送前・圧送後）を表-3に示す。JISやその他の基規準類にある試験以外

表-1 圧送実験に供するコンクリートの種類

スランプおよびスランプフロー(○cm) (左規格値、右目標値)	呼び強度										
	27		30		33		36		40		
	SP	VSP	SP	VSP	SP	VSP	SP	VSP	SP	VSP	
18⇒21.5 (スランプ)			○								
45⇒52.5	○	○		○				○		○	
50⇒57.5						○					
55⇒62.5								○			
60⇒67.5									○		

表-2 コンクリートの調合

実験記号* ¹	W/C (%)	s/a (%)	単位水量(kg/m ³)								混和剤 (kg/m ³) ad1 (タイプ) ad2			目標スランプフロー フロー (cm)
			W	C	S1	S2	G1	G2	FA	ad1		消泡剤 (タイプ)		
										VSP	SP		AE剤 (タイプ)	
①27-45A	54	53.8	175	324	488	470	570	253	0	4.31		1.3	2.0	52.5
②27-45B										3.82		0.8	0.0	
③27-45C										3.73		3.2	1.0	
④27-45D										4.21		1.2	0.5	
⑤27-45E										3.73		3.3	1.5	
⑥27-45F										6.67		2.0	1.5	
⑦27-45af	54	53.8* ²	175	324	439	422	570	253	83		2.92	15.0	0.8	52.5
⑧30-45A	50	53.2	175	350	477	459	570	253	0	6.06		0.5	2.0	52.5
⑨33-50A	47	52.7	175	372	468	450	570	253	0	4.84		1.3	2.0	57.5
⑩36-45A	44	52.1	175	398	457	440	570	253	0	3.98		1.5	2.0	52.5
⑪36-55A										5.25		1.4	2.0	62.5
⑫40-45A	40	51.2	175	438	440	423	570	253	0	8.02		1.5	2.0	52.5
⑬40-60A										6.26		0.5	2.0	67.5
⑭27-45a	54	53.8	175	324	439	422	570	253	0		5.51	3.0	0.8	52.5
⑮40-60a	40	51.2	175	438	440	423	570	253	0		5.39	2.7	0.8	67.5
⑯30-18a	50	49.9	180	360	442	426	602	267	0		1.91	0.5	0.8	20.5* ³

*¹ : 実験記号 実験番号・呼び強度・スランプフロー・規格値・混和剤・混和剤記号

*² : フライアッシュを含む *³ : 目標スランプ

表-3 試験項目および方法と試験の時期

試験項目	試験方法	試験時期			備考
		出荷時	圧送前	圧送後	
スランプフロー	JIS A 1150	●	●	●	各層5回突き
空気量	JIS A 1128	●	●	●	各層25回突き
コンクリート温度	JIS A 1156	●	●	●	CT
外気温	温度計による	●	●	●	気温
単位容積質量	エアメータ重量の測定	●	●	●	-
単位水量の推定	高周波加熱乾燥法	●	-	-	-
Aロート試験	(本報2.2に記載)	-	●	●	1層突固めなし
L形フロー試験	JSCE-F 514	-	●	●	L _f , LV ₅₋₁₀ , LV ₁₀₋₁₅
円筒貫入試験	(本報2.2に記載)	-	●	●	-
粗骨材沈降量試験	(本報2.2に記載)	-	●	●	-

に、コンクリートの圧送性や閉塞危険性の評価手法として筆者らが提案している A ロート試験も併せて実施した。A ロート試験の状況を写真-2に示す。試料は突固めを行わずロート上部から1層で流し込み、ロート下部の吐出口を解放してからコンクリートの流下が終わるまでの時間を測定する。全てのコンクリートが流下したことの判断は、ロート上部から吐出口が確認できた瞬間とした。一方、コンクリートが全量流下せず流下途中で閉塞した場合は、ロート内のコンクリートの流動が停止するまでの時間と、ロート上面からのコンクリートのロート中央部の下がり高さを測定した。A ロート試験は下部の径が異なる4つのロート(φ85mm, φ75mm, φ65mm, φ55mm)について行い、吐出口の径が大きなロートで閉塞した場合でも4つのロートを使用して測定を行った。

L 形フロー試験は、試料を鉛直型枠部に突固めや振動を与えずに1層で入れ、上面をコテでならした。その後、仕切りゲートを開け、コンクリート先端までの距離を測定し、これをLフロー値(Lf)とした。速度センサーを流動距離5,10,15cmの位置に取り付け、5-10cm間(Lv5-10)と10-15cm間(Lv10-15)の流動速度を測定し、その平均値をLフロー初速度とした。

円筒貫入試験(写真-2)は、均等に練り混ぜたコンクリートを5lの手つきポリエステル製ビーカーに入れ、穴あきの円筒形のシリンダを3秒かけてコンクリートに挿入し、10秒間静置してシリンダに入ったモルタル量を計測した。測定状況と試験器を写真-2に示す。

高流動性コンクリートの分離抵抗性を評価するために今回新たに提案する粗骨材沈降量試験(写真-2)は、エアメータの窯にコンクリートを3層に詰め、各層25回突き固めた後、定規で天端を平たんにし、窯側面を木槌で20回叩いた。沈降量の測定は表面(天端)からコンクリート中の粗骨材上面までの距離を測定した。測定器具は鋼製定規を用いて写真-2に示す9か所で粗骨材に触れるまでの深さを測定し、それらの平均値を粗骨材沈降量とした。また、硬化コンクリートの試験として、圧送前後での圧縮強度および動弾性係数の測定を行った。

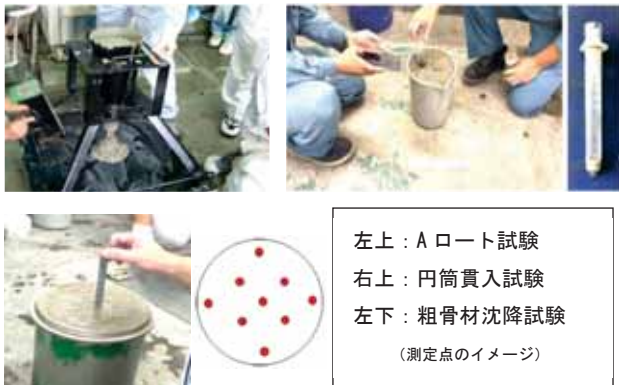


写真-2 各種試験の状況

2.3 配管計画および高流動性コンクリートの圧送

実験に用いるコンクリートポンプはピストン式ブーム車(PY115-26(8B仕様))、圧送距離は135.8mとした。配管状況を図-1に示す。輸送管の接続は125A管ではM型、100A管にはS型ジョイントを用いた。

コンクリートの製造は、圧送実験の進捗に応じて概ね45~60分ごとに1種類(1台)とした。生コン車に積載するコンクリート量は4.5m³とした。なお、輸送管内のコンクリートの入替えに必要な量は約1.5m³となる。

高流動性コンクリートの圧送に先立ち、C=550モルタルを1.0m³先送りした。4.5m³の練混ぜ終了時刻を「出荷時」とし、出荷20分後に「圧送前」のフレッシュコンクリートの試料を採取した。圧送開始は出荷後約30分とした。圧送実験の手順を図-2に、その詳細を(1)~(4)に示す。

- (1) ポンプホッパに実験に供する高流動性コンクリートを投入して32ストローク圧送し、輸送管内のコンクリートを入れ替えた後に圧送を開始した。
- (2) 圧送開始直後は15~20m³/h程度の圧送速度(低速)とし、安定した圧送が行われることを確認した後、段階的に圧送速度を上げた。その際、同一圧送速度でのストローク数は7ストローク程度として管内圧力を計測した。
- (3) 4段階で圧送速度を最高速度まで上げた後に段階的に圧送速度を下げ、生コン車のコンクリートが全量排出されるまで(約52ストローク)管内圧力の計測を継続した。
- (4) 計測終了後に圧送後のコンクリートを筒先採取した。

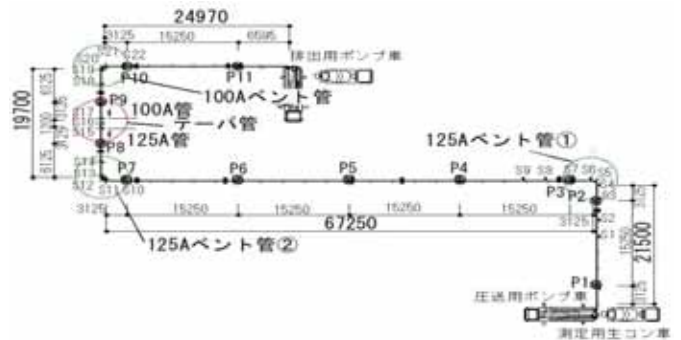


図-1 配管の状況

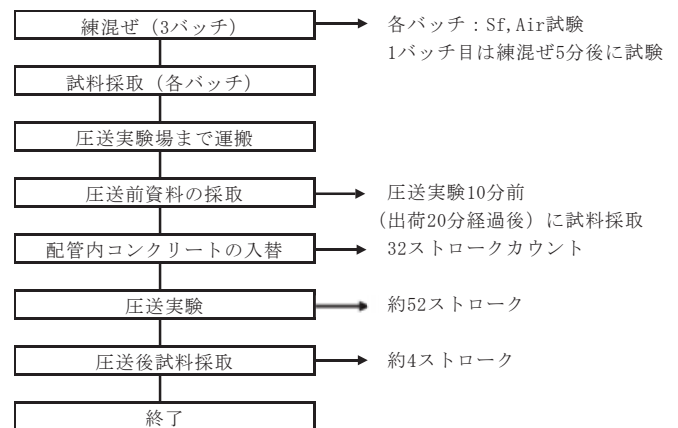


図-2 圧送実験のフロー

圧送中の管内圧力の計測は容量 5MPa の圧力変換器を用い、計 11 箇所（図-1 の P1~P11）に設置した。圧力計測ピッチは 10Hz とし、1 ストロークにおいて連続する 0.5 秒間の変動係数が最も小さくなる時の値をストローク毎の測定値とし、同一圧送速度における 7 ストローク程度の測定値の平均をその計測点での管内圧力とした。

3. 高流動性コンクリートの試験結果及び考察

高流動性コンクリートの圧送前後のスランプフローの変化を図-3 に示す。同一凡例における図中のプロットは、経過時間の原点側から、出荷時・圧送前・圧送後の 3 時点を示している。増粘剤 1 液タイプ高性能 AE 減水剤を使用した高流動性コンクリートは、呼び強度 30 以上の調合で圧送後にスランプフローが 5~7cm 程度低下する傾向がみられた。図-4 に、圧送前後の空気量の変化を示す。空気量は、混和剤 C を除き圧送後に 0.5~1.0% 程度増加した。一般に、高性能 AE 減水剤を使用したコンクリートでは、コンクリートをポンプ車ホッパに排出してから筒先に到達するまでの間に空気量が増大する傾向みられ、その要因として圧送による化学混和剤の再活性化が指摘されているが²⁾、本実験に使用した増粘剤 1 液タイプ高性能 AE 減水剤においても同様の傾向が伺える。

圧送前後の A ロート(φ85mm)流下速度の変化を図-5 に示す。全ての調合で圧送後にスランプフローは低下したが流下速度は速くなっており、圧送によってコンクリートの降伏値が増大し粘性が低下したと推察される。図-6 に示す L フロー初速度についても圧送後に概ね 10cm/sec 程度速くなり、図-7 に示す円筒貫入試験によるモルタル流入量も圧送後にやや多くなっていることから、圧送後にはモルタルマトリックスの粘性がやや低下していることが推察される。一方、図-8 に示した粗骨材沈降量は、圧送後に粘性が低下したことで圧送後の粗骨材沈降量が大きくなると推察されたが、SP af を除き、増粘剤 1 液タイプ高性能 AE 減水剤(VSP)を使用した調合では圧送前後で概ね同程度であった。図-9 に動弾性係数と圧縮強度の関係を示す。圧送後に動弾性係数がやや低下する傾向が伺えた。

以上の結果から、圧送により高流動性コンクリートのコンシステンシーやワーカビリティが損なわれることはなく、圧送後においても良好なワーカビリティを有することが確認できた。

4. 高流動性コンクリートの圧送性

4.1 圧力計による管内圧力

図-10 に、①27-45A と⑥30-18a の圧送距離と管内圧力の関係を一例として示す。ポンプ車根元から筒先に向かって管内圧力は減少しているが、ベント管部直後の圧力計から得られた管内圧力(P8)は直前とほぼ同等、テーパ部直後の管内圧力(P9)は直前より大きく減少する傾向がみられた。特に 125A ベント 1 直後の P3 の管内圧力が大きく、P2-P3 間と P4-P6 間の圧力勾配に連続性がないことが特徴的で

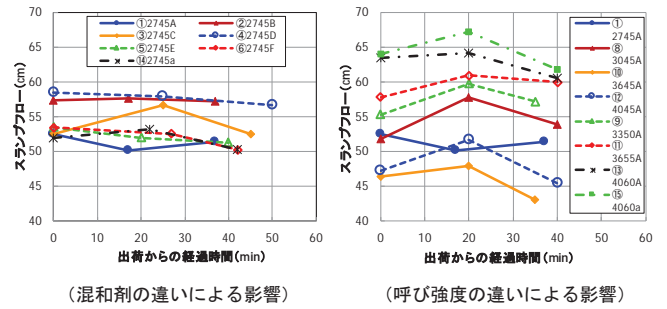


図-3 スランプフロー（圧送前後）

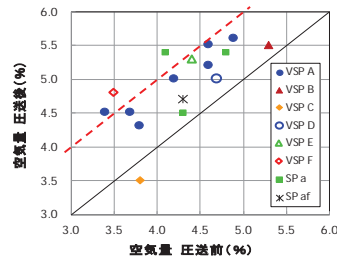


図-4 空気量

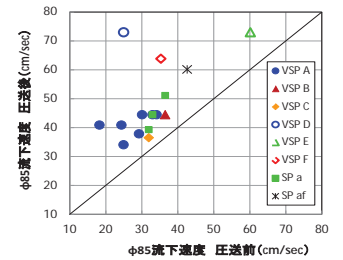


図-5 A ロート流下速度

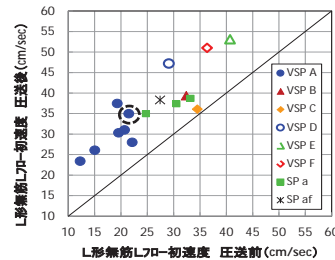


図-6 L フロー初速度

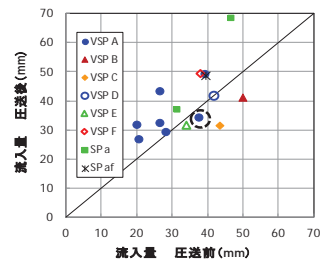


図-7 円筒貫入試験

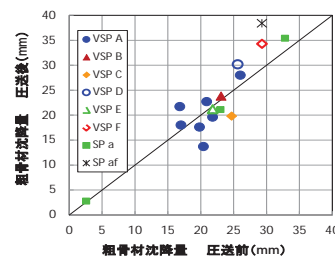


図-8 粗骨材沈降量

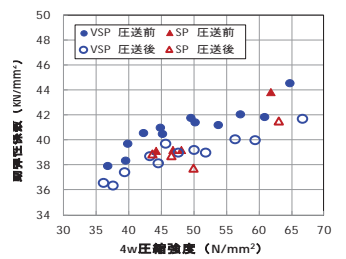
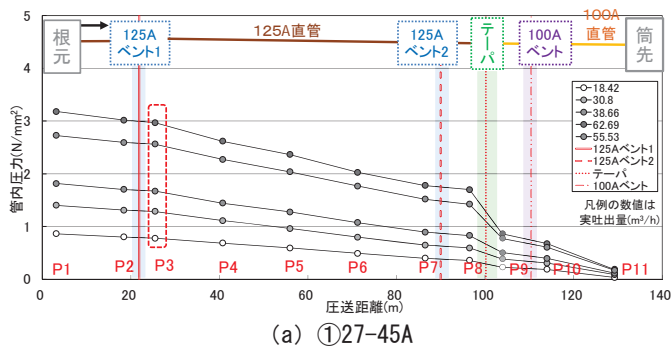


図-9 強度・動弾性係数

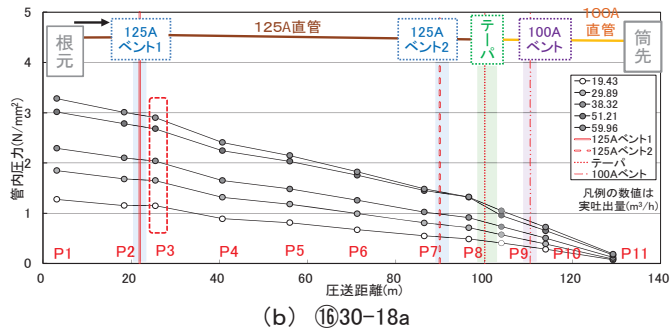
ある。この現象は直前のベント管の影響を受けている可能性が高いと考えられ、⑩30-18a においても概ね共通している。ここで、①27-45A と⑥30-18a を比較すると、①27-45A の方がテーパ管前後(P8-P9)での圧力勾配が大きくなっている。このことから、高流動性コンクリートは、スランプ 18cm の普通コンクリートよりも一般に降伏値が小さいため、テーパ管を通過する際に若干の分離傾向となり、テーパ管内で骨材のかん合が生じることで、閉塞するまでの影響はないものの、テーパ管前後での圧力勾配が大きくなったものと推察される。

4.2 管内圧力損失

図-11 に⑧30-45A の圧送距離と管内圧力損失の関係を示す。図では直近の圧力計から求めた管内圧力損失を圧力計間の中心位置を横軸にしてプロットした。本実験結果が



(a) ①27-45A



(b) ⑬30-18a

図-10 圧送距離と管内圧力の計測の例

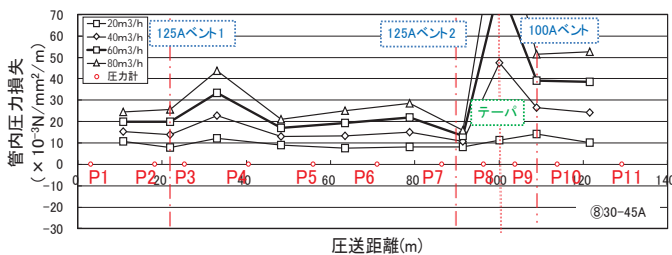


図-11 圧送距離と管内圧力損失 (⑧30-45A)

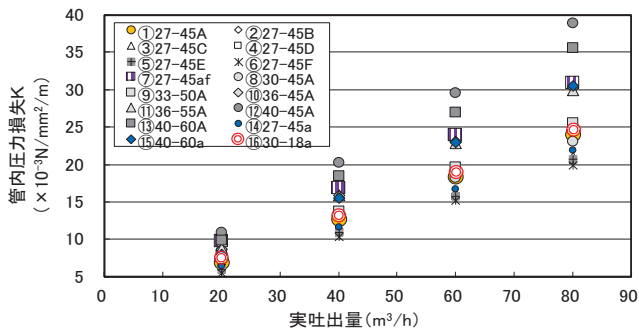


図-12 直管の管内圧力損失 (125A 管)

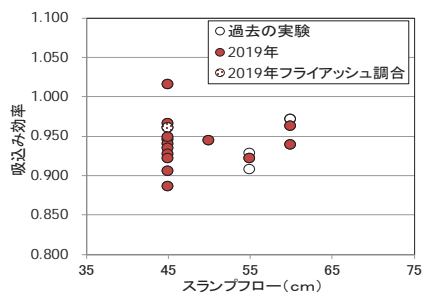


図-13 高流動性コンクリートの吸込み効率

ら管内圧力損失を算定する際、125A 直管部は P1-P2 間と P3-P7 間、100A 直管部は P10-P11 から求めるのが一般的と想定されるが、圧力計 P3 の管内圧力が直前の 125A ベント管の影響によって大きくなったことにより、P4-P7 間の圧力損失よりも P3-P4 間の管内圧力損失が著しく大きくなっている。P8-P9 間も同様である。これより、125A 直管部の管内圧力損失は直前のベント管の影響を除くことを考慮して P4-P6 間の管内圧力損失から算定し、同様に 100A 直管部については P10-P11 間から算出することとした。

図-12 に、125A 直管の全調合の実吐出量と管内圧力損失の関係を示す。呼び強度 27 では SP と VSP は同程度の管内圧力損失を示したが、呼び強度 40 では VSP の方が SP よりも大きい値となっている。また、スランプフローが大きくなるほど管内圧力損失が小さくなる傾向にあり、100A 直管より 125A 直管でこの傾向が顕著でとなった¹⁾。これは、125A 管では 100A 管よりもせん断流動の割合が多く、スランプフローの影響を受けやすいためと考えられる。他方、100A 管ではせん断流動よりもすべり流動が卓越し、スランプフローの影響を受けにくくなったと推察される。

4.3 吸込み効率

本実験における高流動性コンクリート(凡例の 2019 年)のスランプフローと吸込み効率(機械効率)の関係を図-13 に示す。実験結果から、スランプフローが大きくなるほど吸込み効率がやや大きくなる³⁾ことが見受けられ、スランプフロー45cm において 0.85 以上、55cm 以上で 0.90 以上となることが確認でき、指針類³⁾と同様の結果が得られた。

5. まとめ

高流動性コンクリートの圧送性に関して実大圧送実験を行い調査した結果、以下のことが確認できた。

- (1) 圧送後にスランプフローがやや低下し空気量が増したが、圧送後も良好なワーカビリティを有していた。
- (2) 圧送計画に必要な高流動性コンクリートの管内圧力損失および吸込み効率を実験結果に基づき示した。

以上、高流動性コンクリートはワーカビリティが高くスランプ管理の普通コンクリートと比較して施工省力化と品質確保に貢献できる。今後の有効活用に期待したい。

参考文献

- 1) 共田昌一・杉本勝幸・岩清水隆・木村芳幹・中村成春・山崎順二ほか: 高流動性コンクリートの圧送性に関する研究, その 1~その 23, 日本建築学会学術講演梗概集(関東), pp.245-290, 2020.9
- 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) 全国コンクリート圧送事業団体連合会: 最新コンクリートポンプ圧送マニュアル, p.134, 2020.11

*1 近畿生コンクリート圧送協同組合 理事長 *2 (株)浅沼組 技術研究所 博士 (工学)

*3 (株) コンステック 技術本部 *4 (株)竹中工務店 大阪本店 技術部 *5 (株)大阪工業大学 建築学科 博士 (工学)

論文 超高強度繊維補強コンクリートの圧送性に関する研究

○川西 貴士*1 岩城 孝之*2
 仲田 宇史*3 村上 隆弘*4
 釘宮 晃一*5 玉田 和法*6

超高強度繊維補強コンクリート 鋼繊維 圧送性
 輸送管 吐出量 管内圧力損失

1. はじめに

我が国の社会基盤ストックは、高度経済成長期に整備・建設されたものが多く、老朽化が進んでいる。高速道路の橋梁においては、大型車の交通量の増加や凍結防止剤による塩害などの影響で床版の損傷が著しく、床版の取替えを伴う大規模なリニューアル工事が進められている。

一方で、社会基盤ストックの効率的な維持管理の観点から、耐久性が高く、ライフサイクルコストを低減できる材料が求められており、優れた耐久性と高い強度特性を有する超高強度繊維補強コンクリート（UFC）が開発されている¹⁾。

高速道路のリニューアル工事においては、交通規制を伴うため、交通規制期間の短縮が求められる。特に、交通量の多い都市部においては、交通量の比較的少ない夜間に1車線のみを規制して工事を行い、交通量の多い昼間の時間帯は交通開放できる夜間半断面の床版取替工法が開発されている²⁾。この工法においては、図-1の右側に示すように、接合部の上部に上蓋を設置して、一時的に交通規制を解除した後に、床版下面から接合部へのUFCの圧送による充填が求められる。

UFCは粉体量が多く、高粘性の材料であり、かつ、優れた引張強度や靱性を確保するために、直径の小さい鋼繊維が多量に混入される。そのため、UFCの圧送においては、管内圧力の増加やファイバーボールの発生による閉塞が懸念される。土木学会のポンプ指針では、圧縮強度120N/mm²程度、水粉体比が20%までのコンクリートに関するデータの記載があるが、UFCのような低水粉体比の材料の圧送性については報告されていない³⁾。

これまでに、直径2インチの輸送管を用いたUFCの圧送性について、知見が取りまとめられている⁴⁾。本研究では、さらに圧送負荷を低減すべく、直径3インチの輸送管を用いた場合の圧送性について検討することとした。UFCを用いた圧送実験により、輸送管の径、吐出量が管内圧力に及ぼす影響について検討を行った。また、実施工を模擬した配管により、UFCの圧送性を確認するとともに、配管の向きが管内圧力に与える影響について検討を行った。

2. 実験ケースおよび使用資機材

2.1 実験ケース

実験は、2種類のシリーズで行った。実験シリーズの概要を表-1に示す。シリーズIでは、水平管を用いた場合の圧送性について確認を行った。輸送管の径、輸送管の種類および吐出量を変えて実験を行い、各圧送条件が管内圧力に及ぼす影響を確認した。また、シリーズIIでは、実際のPCa床版の接合部への圧送を模擬した配管とした場合の圧送性について確認を行った。シリーズIIについても、輸送管の径、輸送管の種類および吐出量を変えて実験を行った。

2.2 UFCの概要

実験には、一般的に適用されているUFCを使用した¹⁾。UFCの構成材料は、高強度用の専用プレミックス粉体、細骨材、高性能減水剤および鋼繊維とした。配合を表-2に示す。水粉体比は12.6%であり、粉体量が多く、高粘性の

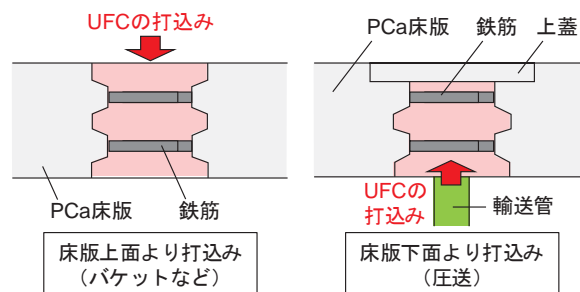


図-1 接合部の施工方法の比較

表-1 実験シリーズの概要

実験シリーズ	実験水準
シリーズ I	<ul style="list-style-type: none"> 輸送管の径：2B, 3B 輸送管の種類：鋼製, 鋼製+ゴム製 配管の種類：水平配管のみ 圧送距離：28m (2B), 35m (3B) ポンプの設定吐出量：0.75~1.5m³/h
シリーズ II	<ul style="list-style-type: none"> 輸送管の径：2B, 3B 輸送管の種類：鋼製, 鋼製+ゴム製 (2Bのみ) 配管の種類：実施工を模擬した配管 水平配管, 上向き配管, 下向き配管 圧送距離：21m (2B), 36m (3B) ポンプの設定吐出量：1.0~1.5m³/h

Title Study on Pumpability of Ultra High Strength Fiber Reinforced Concrete

KAWANISHI Takashi*1, IWAKI Takayuki*2
 NAKADA Takafumi*3, MURAKAMI Takahiro*4
 KUGIMIYA Akikazu*4, TAMADA Kazunori*5

表-2 使用材料および配合

空気量 (%)	水粉体比 (%) W/P	単位量(kg/m ³)				鋼繊維 (kg/m ³) SF
		水 W	専用 プレミ ックス 粉体 P	細骨材 S	高性能 減水剤※ SP	
2.0	12.6	230	1830	331	22	157

※添加量は適宜調整



写真-1 モルタルの排出状況

材料である。モルタルのフローの管理値は、 260 ± 30 mm (JIS R 5201 落下無し)とし、自己充填性を有する材料とした¹⁾。ポンプのホップへのモルタルの排出状況を写真-1 に示す。

2.3 使用ポンプおよび輸送管

圧送には、定置式のコンクリート用ポンプを使用した。ポンプの種類は油圧のピストン式とし、実際の施工量や配管を想定して、最大吐出量 $7\text{m}^3/\text{h}$ 、最大吐出圧力 10.7MPa のポンプを使用した。使用したポンプを写真-2 に示す。

使用した輸送管は、直径2インチ(2B)と3インチ(3B)の2種類とした。輸送管の材質として、耐圧 10MPa の鋼製および耐圧 2MPa (破裂 8MPa) のゴム製の2種類の輸送管を使用した。

3. 圧送実験 (シリーズ I)

3.1 実験概要

シリーズ I では、3種類の配管パターンで実験を行った。実験に使用した配管の概要を図-2 に示す。実験には2Bおよび3Bの2種類の輸送管を使用し、配管の方向は水平配管とした。輸送管の種類は鋼製を基本とし、2Bについては、配管の先端に長さ10mのゴム製の輸送管を使用したケースについても検討を行った。ポンプの設定吐出量は、2Bで0.75、1.0および $1.5\text{m}^3/\text{h}$ の3種類、3Bで1.0、2.6および $3.8\text{m}^3/\text{h}$ の3種類とした。

配管距離は、圧送可能な範囲を想定して、2Bは28m、3Bは35mとした。輸送管の継手部には適宜圧力計を設置し、管内圧力の分布を測定した。実験ケースの記号を図-2 に併記する。



写真-2 使用したポンプ

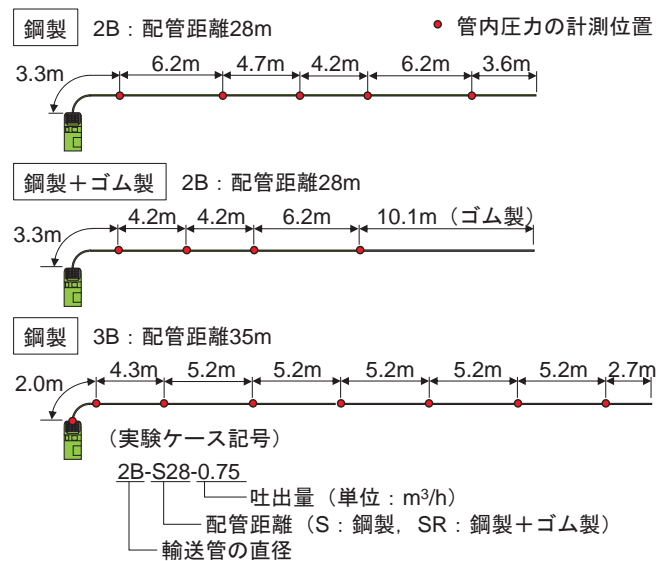


図-2 配管の概要 (シリーズ I)

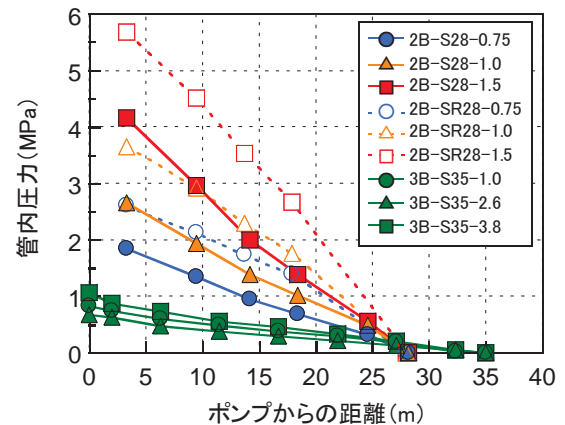


図-3 管内圧力の測定結果 (シリーズ I)

3.2 実験結果

管内圧力の測定結果を図-3 に示す。普通コンクリートと同様に、輸送管の直径が大きい3Bの方が、2Bと比べて管内圧力が小さい結果となった。また、2Bについては、先端にゴム製の輸送管を配置した方が鋼製のみの場合より管内圧力が増加する傾向が認められた。今回の配管距離の範囲内では、実験に使用したポンプの能力で圧送可能であることが確認できた。

2Bについては、ポンプに設定した吐出量とほぼ同程度の量が吐出されたが、3Bについては、ポンプの設定吐出量より、実際の吐出量は低下した。そのため、輸送管の先端の出口より排出されたモルタルの吐出量を測定した。その結果、設定吐出量 1.0m³/h の場合は 1.0m³/h であったが、設定吐出量 2.6m³/h の場合で 1.1m³/h、設定吐出量 3.8m³/h の場合で 1.4m³/h となった。ポンプ内に配置されているシリンダを引き抜いて、シリンダ内にモルタルを充填する際に、モルタルの粘性が高いため、モルタルを吸引する力が不足したことが、吐出量が低下した原因として考えられる。

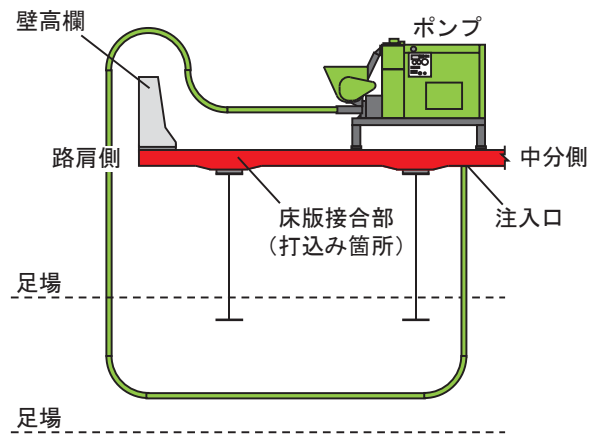


図-4 床版の接合部への圧送における施工の概要

4. 圧送実験 (シリーズII)

4.1 実験概要

シリーズIIの実験では、実際の床版取替工事におけるPCa床版の接合部への圧送を想定した配管として、実験を行った。床版の接合部への圧送における施工の概要を図-4に示す。各配管の施工で想定する概要は以下のとおりである。

- 床版上面に設置したポンプ排出口から壁高欄の上まで上り配管
- 壁高欄の上から桁下まで下り配管
- 桁下空間を移動させるための水平配管
- 桁下から床版までの上り配管

配管の概要を図-5に示す。シリーズIの結果から、圧送負荷を低減するために、鋼製の輸送管を基本に構成した。2Bについては、桁下空間における輸送管の移動をしやすいするために、水平配管部に10mのゴム製の輸送管を使用した。3Bについては、2Bの結果を踏まえて圧送負荷を低減するために、水平配管についても鋼製の輸送管を配置した。圧送距離は、2Bについては21mとした。3Bについては、シリーズIの結果から2Bより管内圧力を低減できるため、圧送距離は36mとし、水平配管を長くした。吐出量については、2Bで1.0、1.3および1.5m³/hの3水準、3Bで1.0、2.6および3.6m³/hの3水準として実験を行った。

4.2 実験結果

いずれの吐出量のケースにおいても、鋼繊維のファイバーボールは認められず、良好な状態で圧送できた。管内圧力の測定結果を図-6に示す。シリーズIと同様に、2Bの吐出量は、ポンプの設定吐出量と同程度であったが、3Bについては、設定吐出量1.0m³/hで0.8m³/h、設定吐出量2.6m³/hで1.6m³/hとなり、設定吐出量3.8m³/hでは1.5m³/hであった。2Bについては、吐出量の増加に伴い、管内圧力が増大したが、3Bについては、設定吐出量2.6m³/hと3.8m³/hのケースにおいては、実際の吐出量がほぼ同等であったため、管内圧力に顕著な差は認められなかった。

3Bは、2Bに比べて管内圧力が低減された。上り配管部とゴム製の水平配管部は、管内圧力が低下する勾配が大きい結果となった。現場の施工を模擬して、上り配管や下り配管を設けた場合にも、無事圧送を行うことができた。

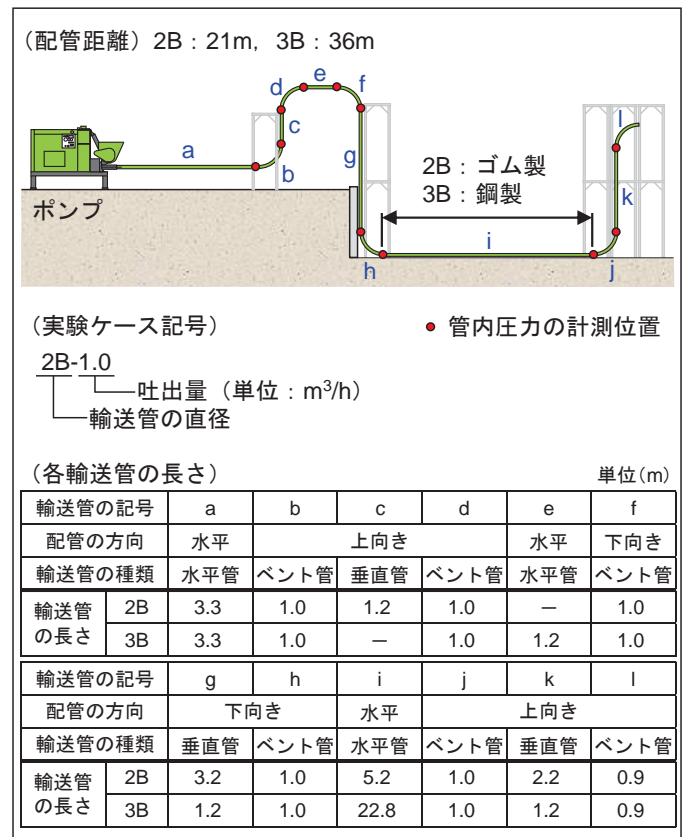


図-5 配管の概要 (シリーズII)

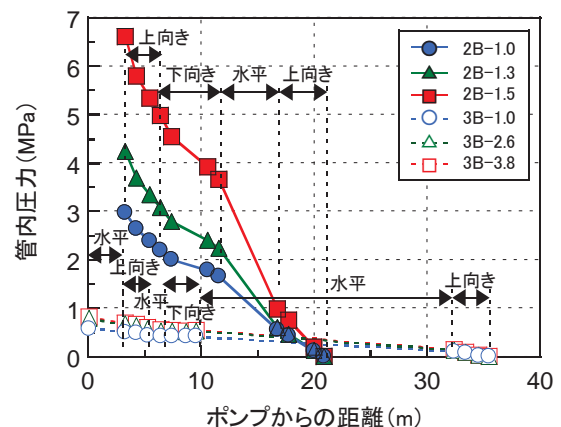


図-6 管内圧力の測定結果 (シリーズII)

5. 管内圧力損失の算出

シリーズIおよびIIの結果から、管内圧力損失を算出し、吐出量との関係を整理した。吐出量と管内圧力損失の関係を図-7に示す。普通コンクリートと同様に、UFCについても吐出量と管内圧力損失の間に相関関係が認められた³⁾。3Bより2Bの方が、鋼製よりゴム製の方が、また、水平管より上向き垂直管の方が、管内圧力損失が増加することが判った。下向き垂直管については、水平管と同程度の値となった。

各輸送管について、原点を通る一次関数で近似した直線と近似式を併せて記載した。2Bのゴム製の輸送管については、吐出量の増加に伴い管内圧力損失にも増加傾向が認められ、近似式との誤差が大きい結果となった。鋼製の水平管に比べて2~3.5倍の管内圧力損失であった。鋼製の上向き垂直管について、水平管との比率を計算し、水平換算係数を算出した。輸送管の径における水平換算係数の比較を図-8に示す。比較として、ポンプ施工指針に示されている4B~6Bの輸送管における水平換算係数も併記した³⁾。輸送管の径が小さいほど、水平換算係数が低下しており、ポンプ指針と同様の傾向を示した。ポンプ施工指針では繊維のない普通コンクリートを対象としているが、UFCについても同様に取り扱える可能性がある。

今回得られた知見から、2Bおよび3Bの輸送管を使用し、吐出量0.8~1.6m³/h程度の範囲において、UFCの圧送が可能となる。ゴム製の輸送管を使用する場合には管内圧力が増大するため、注意が必要である。

6. まとめ

床版取替工事におけるPCa床版の接合部への超高強度繊維補強コンクリート(UFC)の圧送を想定した圧送実験を行った。実施工を想定した配管とし、輸送管の種類、吐出量および配管の方法など圧送条件が圧送性に及ぼす影響を確認した。実験により得られた知見を以下に示す。

- (1) 最大吐出量7m³/hのピストンポンプを用いて、圧送距離が直径2インチ(2B)で28m、直径3インチ(3B)で36mの圧送が可能である。
- (2) 普通コンクリートと同様に、輸送管の径が小さいほど、吐出量が増加するほど、管内圧力損失が増大する。
- (3) 鋼製の輸送管に比べて、ゴム製の輸送管は管内圧力損失が増大する。
- (4) 上向き垂直管の水平換算係数は、吐出量0.8~1.6m³/hの範囲において2Bで1.8、3Bで2.5となった。

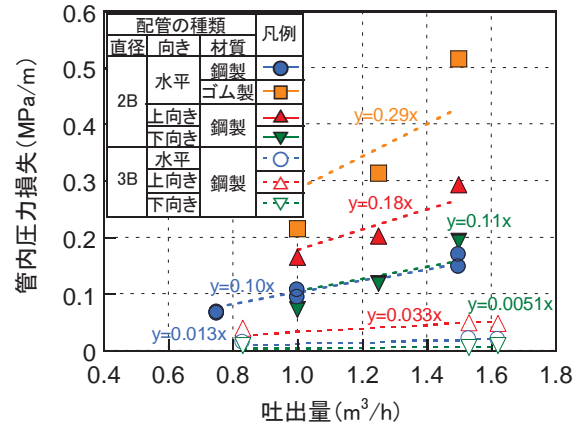


図-7 吐出量と管内圧力損失の関係

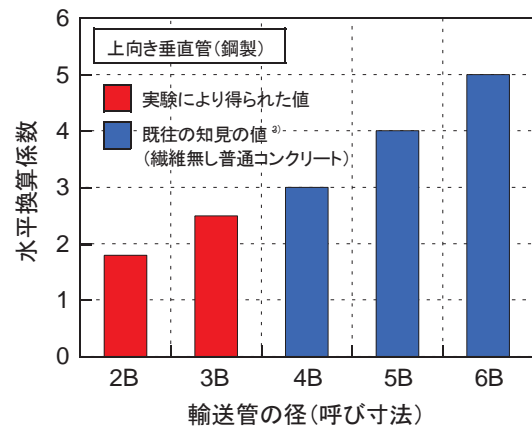


図-8 上向き垂直管の水平換算係数の比較

参考文献

- 1) 土木学会：超高強度繊維補強コンクリート「スリムクリート」に関する技術評価報告書，技術推進ライブラリーNo. 10, 2017.1
- 2) 岩城孝之・仲田宇史・川西貴士・村上隆弘・酒井修平・小野聖久：夜間1車線規制下での床版取替工法の技術開発と施工 -中央自動車道弓振川橋床版取替工事-，橋梁と基礎，Vol. 5, pp. 21-25, 2021.5
- 3) 土木学会：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, 2012.6
- 4) 川西貴士・岩城孝之・仲田宇史・村上隆弘：超高強度繊維補強コンクリートの圧送性に関する研究，コンクリート工学年次論文集，pp.179-184, 2021.6

*1	(株)大林組	技術研究所	生産技術研究部	上席研究員	博士(工学)
*2	(株)大林組	生産技術本部	橋梁技術部	担当部長	修士(工学)
*3	(株)大林組	生産技術本部	橋梁技術部	課長	修士(工学)
*4	(株)大林組	生産技術本部	橋梁技術部	副課長	修士(工学)
*5	(株)大林組	生産技術本部	橋梁技術部	担当課長	修士(工学)
*6	(株)大林組	生産技術本部	橋梁技術部	担当課長	

報告 自己充填コンクリートの圧入によるトンネル覆工構築

○弘光 太郎*¹ 藤原 正佑*¹
 小山 広光*² 小野 知義*³

トンネル 覆工 自己充填コンクリート
 省力化 充填 圧入

1. はじめに

従来、山岳トンネルの覆工コンクリートの施工は、スランプ 15cm 程度のコンクリートを作業窓から打ち込み、バイブレータで締め固めて充填させ、配管を順次上部へ切り替える方法で行われている。打設前の準備作業から清掃作業に渡り、狭隘な空間での作業を余儀なくされるため作業員に掛かる負担は大きく、技量や経験に頼らざるを得ないのが実状である。さらに、近年の建設作業員の高齢化や熟練工不足により、近い将来、従来工法を継続することが困難となることが予想され、施工に起因する不具合の発生が懸念される。

そこで、筆者らは、自己充填コンクリートをスライドセントル下端から圧入し、コンクリートをトンネル天端まで充填させる自己充填覆工構築システム¹⁾を開発した。

本稿では、自己充填覆工構築システムの開発にあたって実施した、実物大施工実験の結果について紹介する。

2. 実験概要

2.1 実物大実験装置

自己充填覆工構築システムによる施工の妥当性について検証を行うため、模擬地山および実際のスライドセントルを用いた実物大施工実験を当社敷地内にて行った。

写真-1 に実物大施工実験の実施状況、図-1 に実験に用いたスライドセントルの概要図を示す。基礎コンクリートとコンクリート壁の上に鋼製支保工およびキーストンプレートを設置して 10.5m×2 スパン分の模擬地山を敷地

内に構築した。内面に防水シートを敷設したのち、模擬地山内にスライドセントルをセットして実験を行った。

圧入口の配置パターンによる充填性について比較を行うため、1 回目の実験では、スライドセントル下端部に左右各 1 箇所(図-1(a)参照)、2 回目の実験では左右各 2 箇所(図-1(b)参照)から圧入を行った。また、それぞれの施工時期が異なり、1 回目の実験を冬季、2 回目の実験を夏季に実施した。

1 回目の実験では、スライドセントル縦断方向中央部下端(最大水平流動距離 5.25m)に圧入口を設置した。2 回目の実験ではラップ側下端部に圧入口を増設し、1 回目実験で配置した圧入口を 1.5m つま側へ移設した。



写真-1 実物大施工実験の実施状況

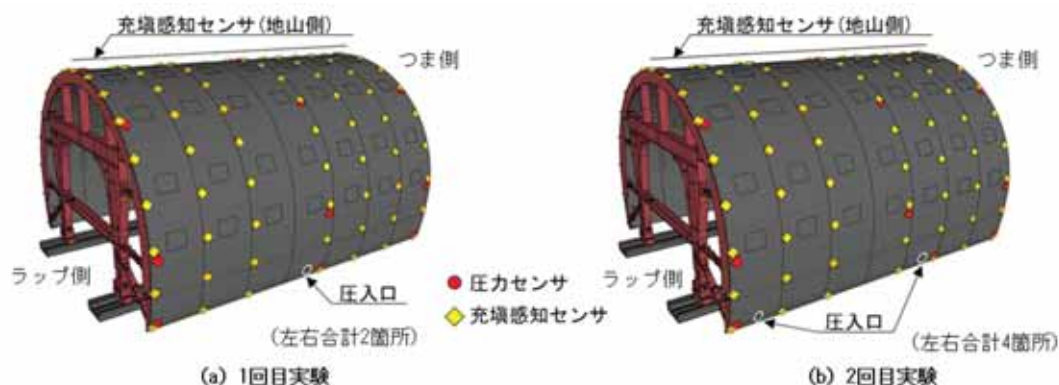


図-1 スライドセントルの概要図

自己充填コンクリートは、高性能 AE 減水剤を使用して圧入時の流動性を保持させており、スライドセントルに作用する側圧は液圧となる。従来のスライドセントルに補強設計を行い、胴梁およびジャッキ、補強リブの追加、ジャッキサイズの変更を行った。また、圧入中のコンクリートの充填状況を確認するため、スライドセントル型枠面には、充填感知センサ（119 箇所）および圧力センサ（21～23 箇所）を配置し、天端部の充填状況確認のため、天端部（防水シート側）にはシート状の充填感知センサ（11 箇所）を配置した。

併せて、RFID タグにより、圧入した自己充填コンクリートの充填位置の把握を行った。アジテータ車からポンプ車ホッパへの荷卸し開始後、1 台につき 1～2 分間隔で RFID タグをコンクリート中に 1 個ずつ投入した。脱型後に覆工内面から RFID タグリーダーによりコンクリート内部の RFID タグを読み取り、投入された RFID タグの位置と記録した時刻との関係から、当該箇所がどの時点で圧入されたコンクリートであるかを判別した。

2. 2 自己充填コンクリートの配合

表-1 に自己充填コンクリートの配合を示す。自己充填コンクリートは自己充填ランク 3 の条件(スランプフロー: 600±50mm, U 形充填高さ・障害なし: 300mm) を目標値とした。1 台のアジテータ車に 4m³ を積み込み、運搬時間は約 15 分であった。

2. 3 施工手順

図-2 に圧送配管の概要図を示す。スライドセントル下端に設置した圧入口まで配管し、コンクリートポンプ車で自己充填コンクリートを圧送した。左右の圧入口に圧送経路を切り替えるため、配管切替え装置を底版部に設置した。

圧入によるスライドセントルへの偏圧が生じないように、左右の打上がり高さの差が 0.5m 程度以内におさまるよう打上がり高さを管理した。

2 回目の実験では、ラップ側から充填することを目的として、天端部圧入時のみ、片側 2 箇所のうちラップ側の圧入口のみを使用して圧入を行った。天端部（防水シート側）に配置した充填感知センサがラップ側からつま側までの全箇所においてコンクリートの到達を感知した後、つま型枠の打音により充填確認を行って圧送を終了することとした。

3. 実験結果および考察

3. 1 自己充填コンクリートの圧送

実験前に行った性状試験結果を表-2 に示す。

使用した自己充填コンクリートの性状は、おおむね基準値の範囲内であった。冬季および夏季の影響からコンクリート温度には 10℃程度の差が生じることとなった。

(1) 1 回目実験

圧入数量 84m³ に対して、圧入時間は 3 時間 14 分となった。連続的にアジテータ車を受入れることができ、配管の

表-1 自己充填コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	空気量 (%)	単位量 (kg/m ³)					
			W	C	S1	S2	G	SP
41.6	48.7	4.5	170	409	576	257	904	6.95

使用材料

- C: 普通ポルトランドセメント(密度 3.15g/cm³)
- S1: 山砂(茨城県行方市産, 表乾密度 2.58g/cm³)
- S2: 砕砂(栃木県佐野産, 表乾密度 2.69g/cm³)
- G: 砕石 2005(茨城県つくば市産, 表乾密度 2.69g/cm³)
- SP: 高性能AE減水剤(ポリカルボン酸系化合物と増粘成分)

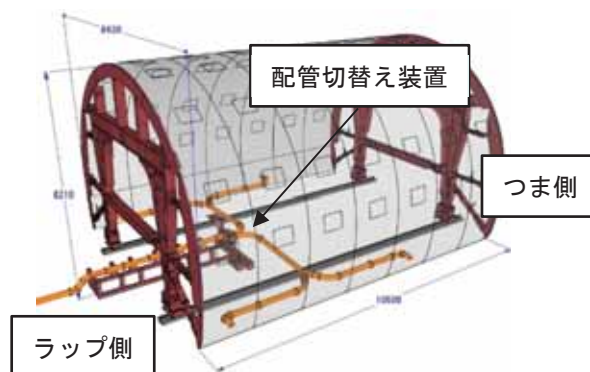


図-2 圧送配管の概要図(2 回目実験)

表-2 自己充填コンクリートの性状試験結果

	スランプフロー (mm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)
1 回目実験	595 × 580	4.8	19.0
2 回目実験	605 × 600	5.4	31.0

閉塞等のトラブルも無く、液圧によるスライドセントルの補強設計を行っていたため、打上がり速度を制限しない連続的な打込みにより、従来工法に比較して施工時間を 1 時間程度短縮する結果となった。また、作業人員 3 名（配管切替え 1 名、つま型枠監視 2 名）にて打設作業を完了し、従来工法に必要な作業人員（6 名程度）と比較して省力化を実現できた。

(2) 2 回目実験

型枠セットのため、1 回目実験の覆工コンクリートにスライドセントルをラップさせる必要があり、覆工延長が 6cm 程度短くなった結果、圧入数量は 80m³ となり圧入時間は 3 時間 18 分となった。配管の閉塞等は無く、施工人員は 1 回目実験と同様に 3 名にて施工を完了した。

3. 2 自己充填コンクリートの充填状況

(1) 1 回目実験

図-3 に充填感知センサから得られた型枠内部における自己充填コンクリートの充填状況を示す。

圧入口から両端部へと自己充填コンクリートが充填する状況を充填感知センサによって確認できた。天端部では、

延長方向中央部から型枠内部が充填され、両端部へと充填が進んでいた。しかし、実際の施工においては天端ラップ側における未充填箇所の発生が懸念されるため、2回目実験ではラップ側から天端部を充填するように圧入口の数および配置を変更することとした。

(2) 2回目実験

図-4 に充填感知センサから得られた型枠内部における自己充填コンクリートの充填状況を示す。

側壁部では片側2箇所の圧入口からそれぞれ端部へ向かって自己充填コンクリートがラップ側、中央部付近、つま側の順に充填する状況を確認できた。

天端部では、圧入側のラップ側からコンクリートが越流して左右のコンクリート打上り面が合流し、その後、つま側に向かって型枠内部を充填していた。

これにより、既設の覆工が存在し、片側に空隙の発生が懸念される状況においても、圧入口の増設および位置の変更によりラップ側未充填部の発生を抑制できることを確認した。

3.3 スライドセントルに作用する圧力

(1) 1回目実験

図-5 にスライドセントル下端部における圧力の推移を示す。

想定圧力は、充填感知センサから得られる打上り高さによってコンクリートの単位体積重量を乗じて液圧を算出した。

圧力センサにより実測した圧力の推移は、想定圧力とおおむね一致することが確認できた。また、延長方向中央部の圧力は、端部の圧力より大きな値を示すことを確認した。コンクリートの流動経路上に中央部の圧力センサは位置

しており、型枠面とコンクリートの摩擦の影響を受けて圧力が増加したと考えられる。

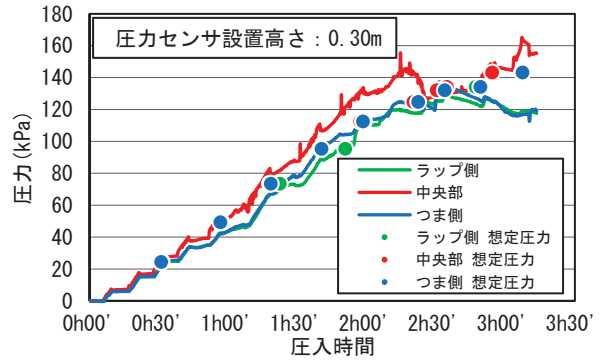


図-5 下端部における圧力の推移 (1回目実験)

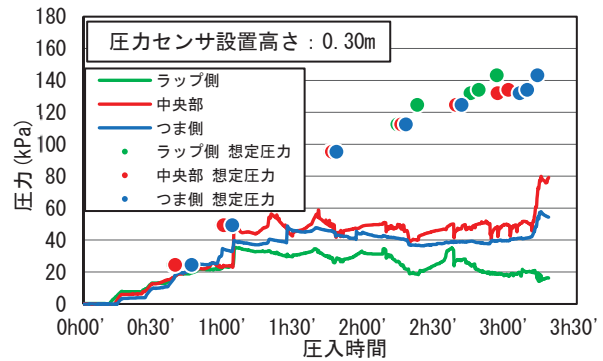


図-6 下端部における圧力の推移 (2回目実験)

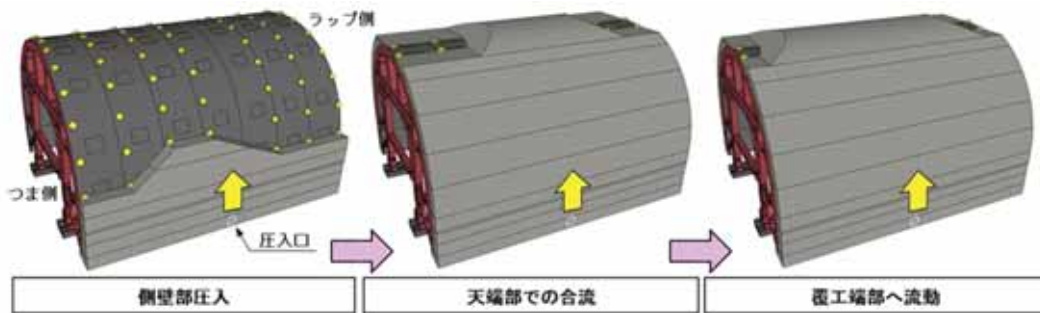


図-3 充填感知センサから得られた型枠内部における自己充填コンクリートの充填状況 (1回目実験)

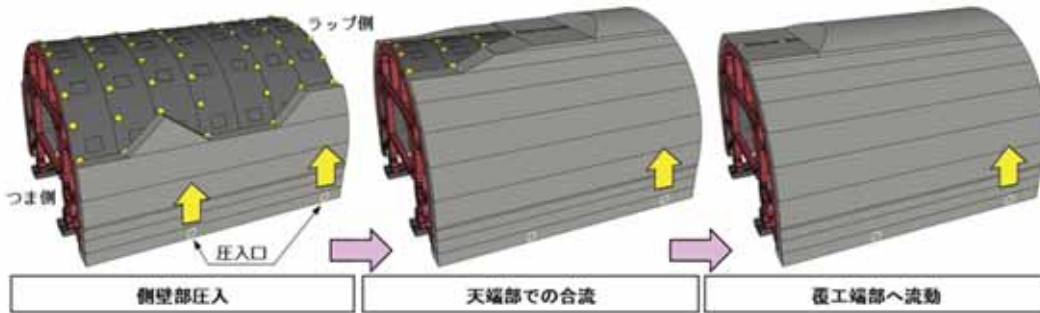


図-4 充填感知センサから得られた型枠内部における自己充填コンクリートの充填状況 (2回目実験)

(2) 2 回目実験

図-6 にスライドセントル下端部における圧力の推移を示す。

実験開始から約 1 時間までは、おおむね液圧の計算値とほぼ同じ値で推移し、圧入完了直前に最大値に到達した。

1 時間以降は、すべての圧力センサ設置箇所においてあまり圧力が増加せず、圧送に合わせて増減を繰り返しつつ、想定圧力よりも小さい値で推移していた。

液圧として作用しなかった原因として、気温およびコンクリート温度が 1 回目実験よりも高く、先に打ち込まれた下端部のコンクリートが時間経過とともにスランプフローのロスが進んだことが考えられる。

3. 4 覆工の出来映え

写真-2 に覆工の出来映えを示す。

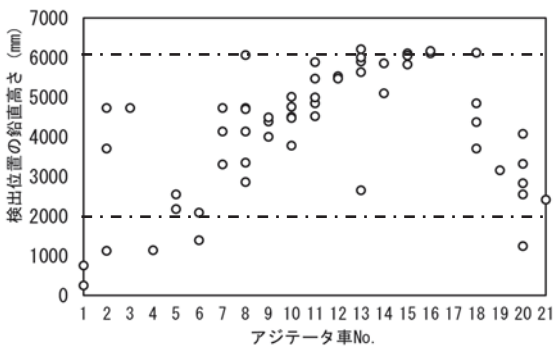
1 回目および 2 回目実験ともに充填不良やコールドジョイントの発生等は認められず、下端部からの自己充填コンクリートの圧入による構築が可能であることが確認できた。従来工法においてスプリングライン下方に発生しやすい巻き込み空気による表面気泡もなく、良好な出来映えであったといえる。

3. 5 自己充填コンクリートの充填位置判定

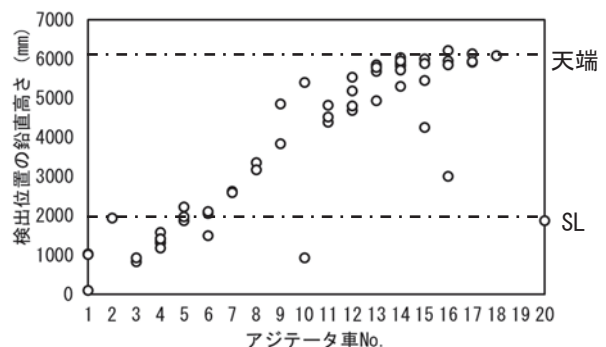
図-7 に RFID タグを投入したアジテータ車 No. と検出位置の鉛直高さを示す。



写真-2 覆工の出来映え (2 回目実験)



(a) 1 回目実験



(b) 2 回目実験

図-7 アジテータ車 No. と RFID タグ検出位置の鉛直高さ

1 回目実験では、投入した RFID タグ 207 個のうち 35 個 (16.9%)、2 回目実験では、投入した RFID タグ 200 個のうち 59 個 (29.5%) を確認した。1 回目実験および 2 回目実験ともに投入した RFID タグは、おおむね投入した時間帯の打込み箇所が存在していることを確認した。

図より、圧入順序を示すアジテータ車 No. とともに、検出位置の鉛直高さが大きくなっていることから、打ち込んだコンクリートは、下端部から打上がり面に向かって流動していると考えられ、先に圧入したコンクリートを押し退けるように打ち上がり面に向かって流動することが示唆された。

4. おわりに

実物大施工実験により、スライドセントル下端部からの自己充填コンクリートの圧入による覆工構築が可能であることを実証した。これらの成果をもとに、2 回目実験の圧入口を計 4 箇所とした工法を自己充填覆工構築システムとして採用し、当社トンネル現場において一部区間に適用した。

適用の結果、作業内容の省略により実験と同様に 3 名で施工を完了し、省力化、省人化が可能であることを実証した。本適用においては、既存のスライドセントルを液圧に対応するために胴梁を設置し、実物大施工実験で使用した配管切替え装置を転用したが、今後は、胴梁を使用しないスライドセントルの構造および圧送配管の位置について検討する必要がある。また、経済性や汎用性を考慮すると、自己充填コンクリートの配合や製造方法等においてもさらなる検討が必要であると考えられる。今後、これらの課題を解決し、自己充填覆工構築システムの汎用化を目指していきたい。

参考文献

- 1) 弘光太郎・藤原正佑・小山広光・小野知義：自己充填コンクリートの圧入によるトンネル覆工構築，コンクリート工学年次論文集，Vol.45, No.1, pp.334-339, 2023.7

*1 佐藤工業株式会社 技術センター 土木研究部, *2 佐藤工業株式会社 技術センター 土木研究部 主席研究員
*3 佐藤工業株式会社 技術センター 土木研究部長

報告 海上棧橋改修工事における超高強度モルタルの圧送に関する報告

○西澤 彩*¹ 川西 貴士*²
 武田 篤史*³ 石関 嘉一*²
 桜井 邦昭*²

ピストン式ポンプ 超高強度モルタル 低水粉体比
 管内圧力損失 棧橋 改修

1. はじめに

塩害により劣化した海上棧橋の改修工事では、棧橋上を供用しながら棧橋下面を改修することが求められている。そこで、著者らは、棧橋下面のかぶり約 30mm に超高強度モルタルを充填し、表層を高耐久化する工法を適用している(図-1, 写真-1)¹⁾。この工法の場合、地上に限られた敷地に設置したポンプから、棧橋の床版下面の打込み箇所までの長距離を圧送する必要がある。しかし、低水粉体比の超高強度モルタルを圧送した際の圧送負荷に関する知見は少ない。

そこで、水粉体比 12.6%の超高強度モルタルを汎用的なピストン式ポンプによって約 100m 圧送した際の吐出量と管内圧力損失の関係等を実工事現場で測定した。本稿では、この測定結果について、著者らがこれまでに実施した同様の超高強度モルタルを 20~50m 圧送した既往の実験^{2), 3)}の測定結果と比較して報告する。

2. 超高強度モルタルの概要

実工事に用いた超高強度モルタルの配合を、既往の実験で用いたモルタルの配合と併せて表-1 に示す。水粉体比は塩分浸透に対する高い抵抗性を有することを目的として 12.6%とし、粉体には、ポルトランドセメント、ポゾラン材、無機粉体をあらかじめ混合した専用のプレミックス材を使用した。本工事および既往①²⁾は剥落防止および狹隘部への充填性の観点からナイロン繊維を、既往②³⁾は引張強度を担保する目的で鋼繊維を添加している。モルタルフローの管理値は、本工事および既往①では、狹隘部への高い充填性を得るために 290±30mm、既往②では、鋼繊維が沈降しない流動性とするため 260±30mm としている。

3. 圧送の概要

実工事と既往の実験①②での圧送条件を表-2 に、配管の概要を図-2, 図-3 および図-4 に示す。

図-2 の本工事の床版下面の 1 回あたりの施工面積は約 17m² (4.5×4.0m) である。地上のポンプから棧橋下の吊作業床上に設置した配管にてモルタルを最大で 100m 程度圧送し、床版下面の注入孔からかぶり部に充填した。配管には、管径 50A の鋼製および床版の注入孔の接続手前の 25m



図-1 塩害により下面が劣化した海上棧橋の改修概要



写真-1 施工状況例(左)および充填する超高強度モルタルのフロー試験状況(右)

表-1 超高強度モルタルの標準配合

配合	水粉体比	単位量			混和剤添加量		繊維添加率, 量	
	%	kg/m ³			kg/m ³		vol. %	kg/m ³
	W/P	W	P	S	SR	SP ^{※1}	NF	SF
		水	専用プレミックス粉体	細骨材	収縮低減剤	高性能減水剤	ナイロン繊維	鋼繊維
本工事	12.6	230	1830	331	20	22	0.3	—
既往①	12.6	230	1830	331	20	22	0.3	—
既往②	12.6	230	1830	331	—	22	—	157

※1 高性能減水剤SPの添加量は、外気温に応じて適宜調整した。

表-2 圧送条件

圧送条件	ポンプ	輸送管		圧送距離
	種類・仕様	材質	管径	
本工事	ピストン式ポンプ ・最大吐出圧力 : 10.7MPa ・最大理論吐出量: 5m ³ /h	・鋼製 ・ゴム製	50A (2in)	約100,110m
既往①	スクイーズ式ポンプ ・最大吐出圧力 : 2.5MPa ・最大理論吐出量: 6m ³ /h	・ゴム製	50A (2in)	20,40,50m 水平
既往②	ピストン式ポンプ ・最大吐出圧力 : 10.7MPa ・最大理論吐出量: 7m ³ /h	・鋼製 ・ゴム製	50A (2in)	20,24,28,32m 水平

Title Report on Pumping of Ultra-High Strength Mortar in Marine Pier Renovation Work

NISHIZAWA Aya *¹, KAWANISHI Takashi*², TAKEDA Atsushi*³, ISHIZEKI Yoshikazu*², SAKURAI Kuniaki*²

にゴム製を使用した。なお、水平換算距離は、125～135mであった。図-3および図-4の既往の実験①②では、ポンプと配管は水平に配置している。管径はいずれも50Aで、既往の実験①ではゴム製のみを用い、既往の実験②では鋼製およびゴム製を用いた。

いずれも輸送管にフラッシュダイアフラム型の圧力計を設置し、動ひずみ計により管内圧力を測定している。測定した管内圧力と吐出量の結果から、超高強度モルタルの管内圧力損失と吐出量の関係を整理した。

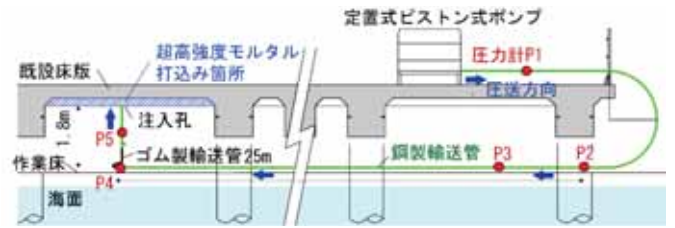


図-2 本工事の配管の概要(立面図)

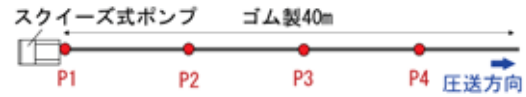


図-3 既往①の配管の概要(平面図, 圧送距離40mの例)



図-4 既往②の配管の概要(平面図, 圧送距離28mの例)

4. 結果および考察

実工事および既往の実験①②の吐出量と管内圧力損失の関係を図-5に示す。既往①②の結果と比較すると、本工事では圧送に伴う管内圧力損失が小さく、吐出量を大きくできた。既往②の鋼繊維を添加したモルタルと比較して、ナイロン繊維を用いること、かつ流動性を向上させることで、輸送管壁に生じる摩擦力を低減でき、同等の吐出量に対する管内圧力損失を低減できたと考えられる。さらに既往①のゴム製輸送管と比較して鋼製の輸送管を用いることで、圧送時の脈動等が生じにくくなることで、吐出量を大きくできた要因と考えられる。

また、本工事および既往②の圧送前後のモルタルフロー測定結果を図-6に示す。既往②の鋼繊維を用いたモルタルの場合は、圧送距離32m以上でファイバーボールが生じ、32m以上の圧送が困難であったが、本工事では約100mを容易に圧送でき、その品質は管理値の範囲内であった。

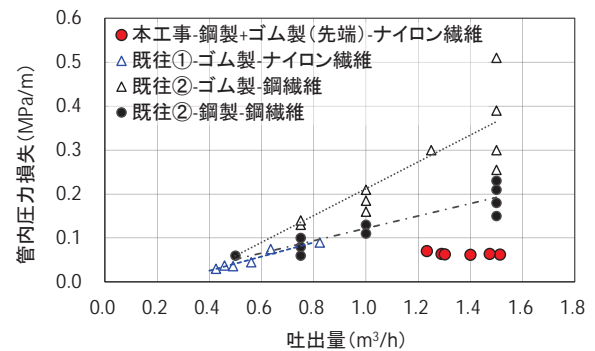


図-5 吐出量と管内圧力損失の関係

5. まとめ

超高強度モルタルを圧送し、栈橋下面のかぶり部に充填する工法における圧送時の吐出量と管内圧力損失の関係について、添加する繊維の種類および流動性が異なるモルタルを用いた場合や、材質の異なる輸送管を用いた場合の既往の実験と比較した。得られた知見を以下に示す。

- (1) ナイロン繊維を添加した流動性の高いモルタルを用いること、および鋼製の輸送管を用いることで、圧送時の管内圧力損失が小さくなり、吐出量を大きくできる。
- (2) 上記の場合、汎用的なピストン式ポンプを用いても、100m程度を容易に圧送でき、その品質は管理値の範囲内であった。

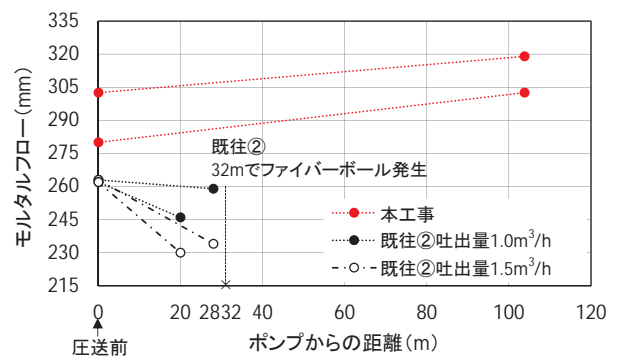


図-6 圧送前後のモルタルフロー測定結果

参考文献

- 1) 西澤彩, 他: 薄肉断面への充填を可能とした高耐久性モルタル「スリムフローグラウト™」の開発と適用, 大林組技術研究所所報, 2020
- 2) 西澤彩, 他: 超高強度の繊維補強モルタルの圧送性に

- 関する実験的検討, 土木学会全国大会第74回学術講演会, V-508, 2019
- 3) 川西貴士, 他: 超高強度繊維補強コンクリートの圧送性に関する研究, 日本コンクリート工学会年次講演会, vol.43, pp.179-184, 2021

*1 株式会社大林組 技術研究所 生産技術研究部 修士(工学)
 *2 株式会社大林組 技術研究所 生産技術研究部 博士(工学)
 *3 株式会社大林組 技術研究所 構造技術研究部 博士(工学)

論文 トンネル覆工の圧入施工方法に対する自己充填コンクリートの充填性評価に関する検討

○永島啓介*¹ 石川椋太*¹
 加納龍斗*¹ 重本憂大*¹
 橋本紳一郎*² 小山広光*³

トンネル 覆工 自己充填コンクリート
 圧力 省力化 充填

1.はじめに

現在、トンネル側壁部でのコンクリートの打込みはセントルの作業窓から投入する方法で施工している。セントル内部は狭隘なため締固めが困難であり、打込みによる余分な空気の巻き込み、未充填箇所の発生などの施工不良が問題となっている。また、建設作業員の高齢化、熟練工不足の問題や、コンクリート構造物への要求品質向上といった背景から、近い将来に、これまでの施工方法を継続することが困難となる可能性が予想される。そこで、前述の問題を解決する手段として、自己充填コンクリートを締固めを行うことなく、下部から圧入するのみで覆工の自動化施工を目指した検討が行われている。これまでに圧入の状況を充填感知センサなどで判定する手法¹⁾が考案されているが、充填完了の目安の感知ができないことや、充填感知センサは測点が非常に多く、多大な労力が必要なことなど様々な問題がある。このような背景から、本研究では、型枠に設置した圧力センサと配管に設置した圧力計から、圧送性及び充填性を確認する手法の検討を目的とした。

本稿ではシリーズを2つに分け、いずれも、コンクリートをセントル下部から圧入する手法で実施した。シリーズ1ではスプリングライン下方を模擬した壁上型枠への圧入を行い、充填性及び充填完了時の管内圧力の推移を確認した。シリーズ2では地山を想定した実物大模擬構造物を作製し実際のセントルへの圧入を行い、管内圧力の推移と充填完了判定の目安の把握をするための実験を行った。

2.シリーズ1（壁上型枠への圧入試験）

シリーズ1では、実物大構造物への適用の前段階として、型枠内を流動する自己充填コンクリートの圧送性及び型枠への充填性を事前に確認するためにスプリングライン下方を模擬した壁上型枠を2体作製し、圧入口の取り付け位置を変えて、それぞれの試験体で圧送性、充填性、圧入終了の目安を得ることを目的とするものである。圧送にはピストン式コンクリートポンプ車を使用し、型枠下部に設けた圧入口から自己充填コンクリートを型枠内に圧送した。

2.1 実験概要

図-1に壁上型枠の概要図、表-1及び表-2に使用材

表-1 使用材料

使用材料	内容
セメント	C：普通ポルトランドセメント 密度：3.15g/cm ³
練混ぜ水	W：地下水
細骨材	S1：山砂，茨城県行方市 表乾密度：2.58g/cm ³
	S2：砕砂，栃木県佐野市 表乾密度：2.69g/cm ³
粗骨材	G：硬質砂岩碎石 2005，茨城県つくば市 表乾密度：2.69g/cm ³
混和剤	SP：高性能 AE 減水剤 (ポリカルボン酸系化合物と増粘成分)
	AE：AE 剤

表-2 コンクリート配合表

W/C (%)	s/a (%)	空気量 (%)	単位量(kg/m ³)					
			W	C	S1	S2	G	SP
41.6	48.7	4.5	170	409	576	257	904	6.95

料及び自己充填コンクリートの配合表を示す。これまでの実験をもとに目標スランプフローは600±50mm、目標空気量は4.5±1.5%としU型充填高さは障害なし：300mm（自己充填ランク3程度）を目標値とした。プラント製造時及び実験ヤード到着後にスランプフロー試験及び空気量試験を行い、V漏斗試験、U型充填試験にてフレッシュ性状を確認した後に、型枠への圧入を開始した。

2.1.1 配管及び圧力計設置位置

配管図、圧力計取り付け位置及び取り付け状況を図-2に示す。圧送に使用した配管は5B管を使用し、2つの試験体で水平換算距離とベント管の数を同一として同じ圧送条件とした。コンクリートの配管内での圧送状態、型枠の充填状況の把握のために、それぞれの圧送管に圧力計を3箇所ずつ設置し、管内の圧力を測定し、その圧力比から充填完了判定の可否について検証を行った。圧力計の取り付け位置は、圧送、充填状況の確認のためにポンプ車根元付近（CH1）、配管の中間地点（CH2）圧入口付近（CH3）の3点とした。

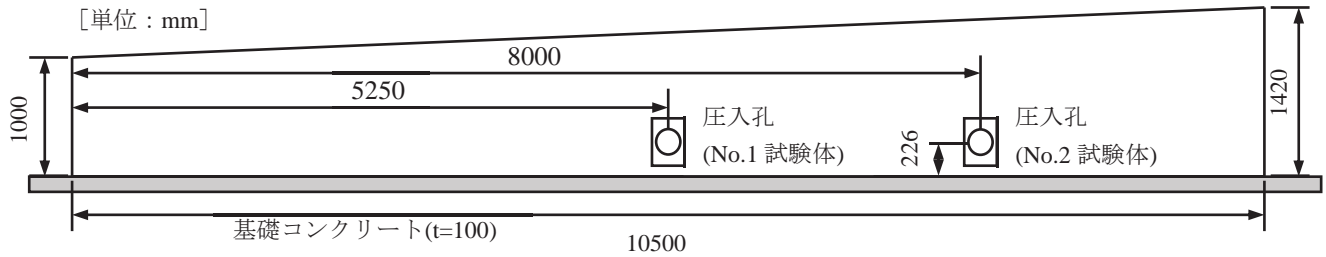


図-1 壁上型枠概要図（側面）

表-3 フレッシュ性状試験結果

試験体 No.	試験場所	経過時間 (min)	スランブフロー (mm)	スランブフロー到達時間(sec)		空気量 (%)	V漏斗流下時間 (sec)	U型充填高さ (mm)	コンクリート温度 (°C)
				50cm	停止				
1	プラント	5	650×640 (645)	3.0	28.3	4.5	-	-	-
	実験ヤード	30	518×497 (510)	4.4	15.9	4.9	5.3	311	33
2	プラント	5	650×645 (645)	3.1	23.8	4.5	-	-	-
	実験ヤード	30	521×516 (520)	4.0	13.4	4.8	8.7	330	31

2.2 実験結果及び考察

2.2.1 自己充填コンクリートの性状

表-3 に自己充填コンクリートのフレッシュ性状試験結果を示す。いずれも1台目のトラックアジテータから試料を採取し、プラント及び実験ヤードにてフレッシュ性状試験を行った。いずれの場合においても、実験ヤード到着後のスランブフローはプラント出荷時から低下したものの、U型充填試験、V漏斗試験において、流動性及び材料分離抵抗性は自己充填ランク3相当を満足したため、圧送実験を実施した。

2.2.2 自己充填コンクリートの圧送

コンクリート吐出量は $18\text{m}^3/\text{h}$ (ポンプ車操作盤読み値) で一定とした。圧送に要した時間は、No.1 試験体で 13.3 分、No.2 試験体で 13.7 分であった。いずれの試験体においても、型枠天端部まで完全に充填されたことを目視により確認し、圧送終了とした。

2.2.3 圧力計測結果

図-3 に計測で得られた圧力波形全体図を示す。いずれの試験体においても各測点において、圧力波形の全体に大きな乱れは見られず、連続的で途切れることなく圧送できたことから、いずれの場合も圧送が順調であったと判断した。また、圧力は徐々に上昇し、充填完了時にはピーク値となった。図-4 に経過時間による平均管内圧力の推移を示す。従来の圧送と同様に、水平換算距離が大きくなるにつれて平均管内圧力は低くなる結果となったが、経過時間ごとの平均管内圧力の緩やかな上昇がみられた。一方で、いずれの試験体においても、すべての圧力測定箇所でも時間経過とともに平均管内圧力の上昇がみられた。これは、配管内のコンクリートが型枠内のコンクリートの自重の影響を受け、管内圧力が上昇したと考えることができる。図-5 に圧入中の平均管内圧力を1とした場合の最大管内圧力（ピーク値：図-3 の赤丸で示した部分）を示す。いずれの試験体も最大管内圧力の圧力比の上昇が確認され、実

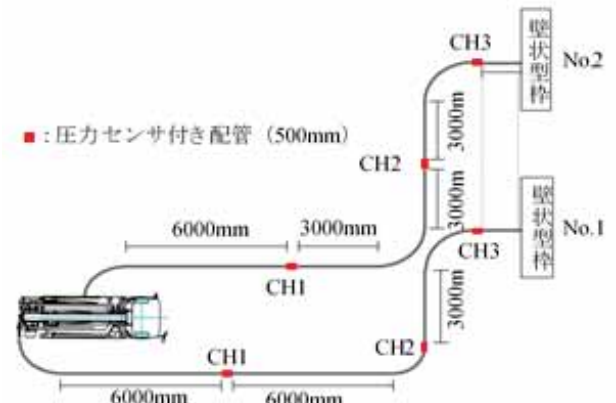


図-2 配管図及び圧力計取り付け位置

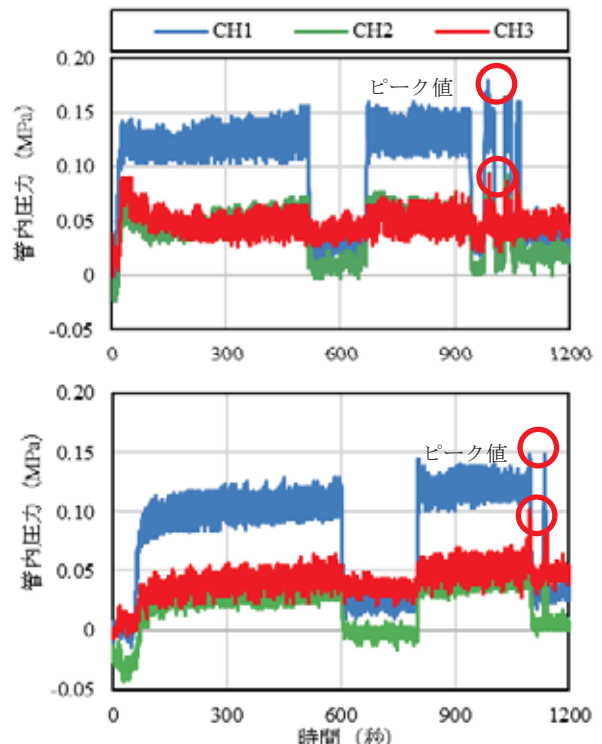


図-3 圧力波形全体図

(上：No.1 試験体，下：No.2 試験体)

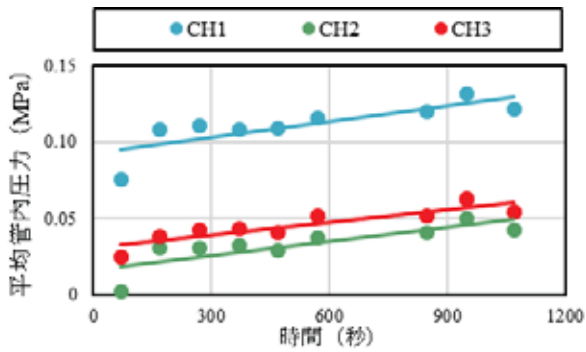


図-4 平均管内圧力の経時変化 (No. 2 試験体)

施工においても、管内圧力の圧力比から充填完了の目安となり得ることが示唆された。また、CH2 及び CH3 は圧力比が大きな値となったため、充填完了の判定には圧入口側での計測が適していると考えられる。

脱型後は、いずれの試験体も大きな表面気泡などは確認されず、コンクリートが密実に充填されていた。このことから、上記の圧力を用いた充填完了の評価指標の有効性が示された。

3. シリーズ 2 (実物大構造物への圧入試験)

シリーズ 2 では、シリーズ 1 で得られた知見をもとに、実物大のセントルを用いてセントル下部から自己充填コンクリートを圧入する実験を行った。シリーズ 2 では、圧送性及び充填性を確認するとともに、型枠に設置した圧力センサ、配管に設置した圧力計の結果から圧入終了判定の目安を把握することを目的とした。

3.1 実験概要

写真-1 に覆工実物大実験装置の設置状況、図-6 に配管図及び圧力計の設置位置を示す。圧送はシャッターバルブを用いて、片側ずつ交互に行った。使用材料はシリーズ 1 と同じとした。コンクリートの配合を表-4 に示す。コンクリートの配合はシリーズ 1 と同様に、スランプフローは $600 \pm 50 \text{mm}$ 、空気量は $4.5 \pm 1.5\%$ 、U 型充填高さは、障害無し：300mm (自己充填ランク 3 程度) を目標値とした。スランプフロー試験及び空気量試験をプラントでの製造時に行い、実験ヤードではスランプフロー試験、空気量試験、U 型充填試験にてフレッシュ性状を確認し、型枠への圧入を開始した。

3.2 実験による充填状況及び考察

3.2.1 自己充填コンクリートのフレッシュ性状試験結果

表-5 に自己充填コンクリートのフレッシュ性状試験結果を示す。実験で用いたすべてのコンクリートのスランプフロー、空気量、U 型充填高さは目標値を満足し、流動性及び材料分離抵抗性は自己充填ランク 3 相当であったことから、圧送実験を実施した。

3.2.2 自己充填コンクリートの圧送及び圧送状態

図-8 に圧力波形全体図を示す。圧送状態は、圧送時、圧入口切り替え時も異常などは確認されず途切れることなく圧送できたことから、圧送が順調であったと判断した。

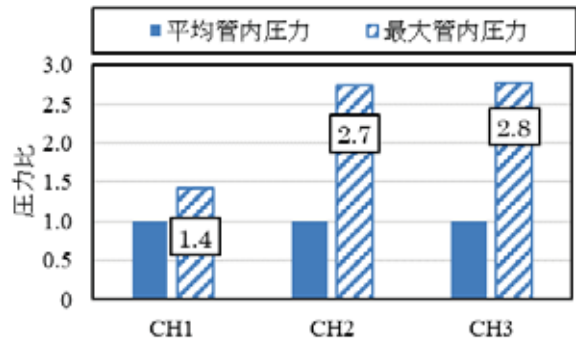
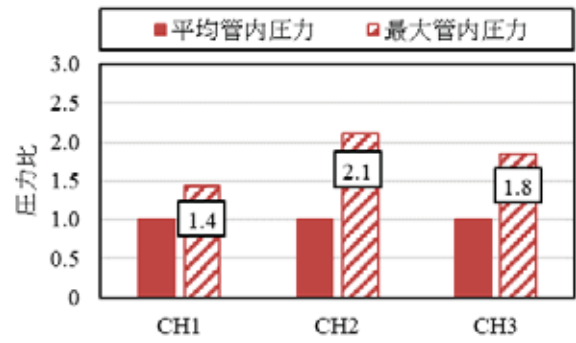


図-5 平均管内圧力を 1 とした場合の最大管内圧力の圧力比
(上：No. 1 試験体 下：No. 2 試験体)

表-4 配合表

W/C (%)	s/a (%)	空気量 (%)	単位量(kg/m ³)						
			W	C	S1	S2	G	SP	AE
41.6	48.7	4.5	170	409	576	257	904	7.77	0.004

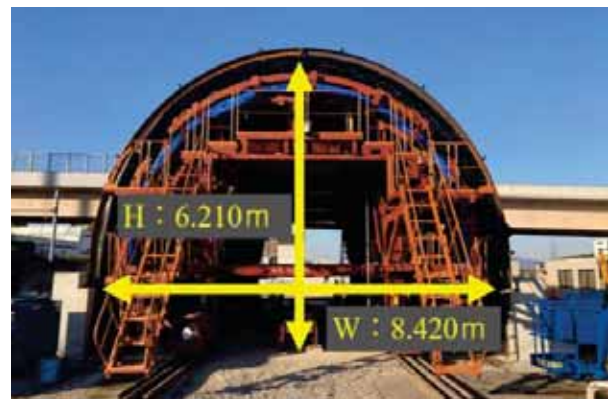


写真-1 覆工実物大実験装置設置状況

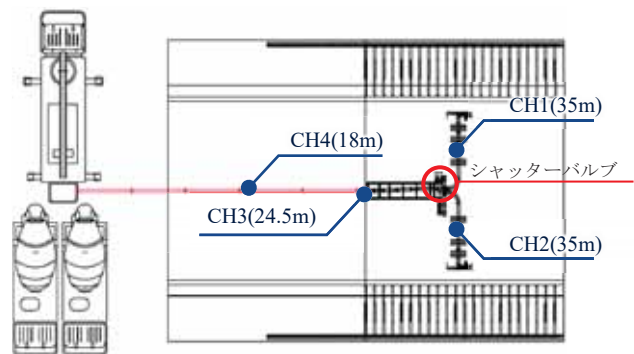


図-6 配管及び圧力計取り付け位置 (平面図)

表-5 フレッシュ性状試験結果

アジテータ車 No.	試験場所	スランブフロー (mm)	スランブフロー到達時間(sec)		空気量 (%)	U型充填高さ (mm)	300mm到達時間 (sec)	コンクリート温度 (°C)	外気温 (°C)
			50cm	停止					
1	プラント	665×653 (660)	2.9	22.0	4.7	-	-	17	-
	実験ヤード	682×665 (675)	3.1	28.3	4.9	347	8.8	19	18
11	プラント	560×555 (560)	5.5	12.1	4.7	-	-	20	-
	実験ヤード	595×582 (590)	2.9	25.3	4.8	347	6.8	19	21

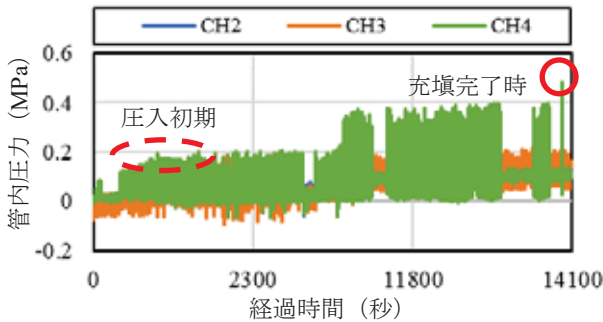


図-8 圧力波形全体図

図-9 に経過時間による平均管内圧力の推移を示す。シリーズ1同様、水平換算距離が大きくなるにつれて平均管内圧力は低くなる結果に加え、全てのCHにおいて平均管内圧力の緩やかな上昇がみられ、シリーズ1と同様に、コンクリートの自重の影響が確認された。圧入を休止している側の管内圧力を自重圧と定義し、図-10 に圧力センサと自重圧の圧力の推移を示す。自重圧の値と圧力センサの結果を比較すると、概ね一致することがわかる。そのため、配管に設置した圧力計から得られた自重圧の値は型枠に設置した圧力センサの値と同等であり、配管の圧力計のみで型枠の充填状況を把握できることが明らかになった。図-11 に圧入初期 (図-8 点線丸部) を1とした場合の最大管内圧力 (図-8 赤丸部) を示す。コンクリートの自重圧を配管全体の管内圧力から差し引いた結果を自重圧補正有として示す。自重圧補正有の圧力比よりも、補正無の圧力比の方が全てのCHにおいて大きく、CH2 (圧入口側) の補正無の圧力比が最も大きな値を示した。よって、圧入初期の値を1とした場合の最大管内圧力の圧力比 (自重圧補正無) から充填完了を確認する目安が把握できると考えられる。

脱型後の覆工コンクリートについては、充填不良箇所や、巻き込み空気が発生しやすいスプリングライン下方にも表面気泡はなく、良好な出来栄であることが確認された。また、今回の圧力の結果から圧入終了の目安が把握できることが示唆された。

4.まとめ

シリーズ1では、セントル下部から自己充填コンクリートを圧入する施工が可能であり、配管に設置した圧力計から充填状況の把握が可能であることが明らかとなった。

シリーズ2では、実施工において圧送時の管内圧力の値から、充填状況の把握が可能であり、問題なく施工を行うことが可能であった。また、自動化施工に向けて、施工人

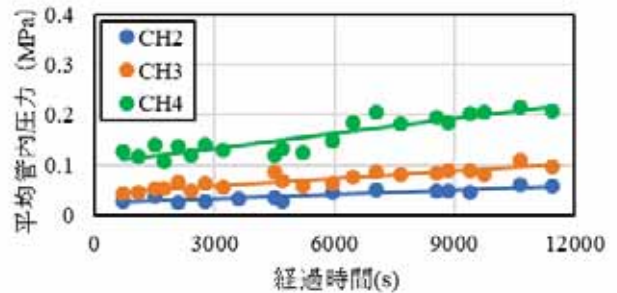


図-9 経過時間による管内圧力の推移

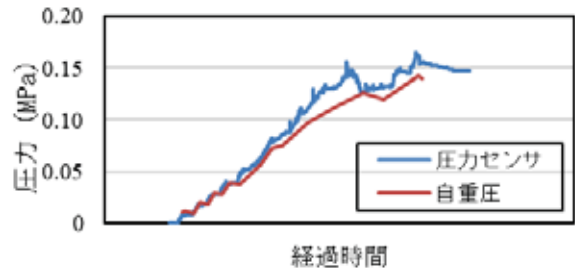


図-10 圧力センサと自重圧の圧力の推移

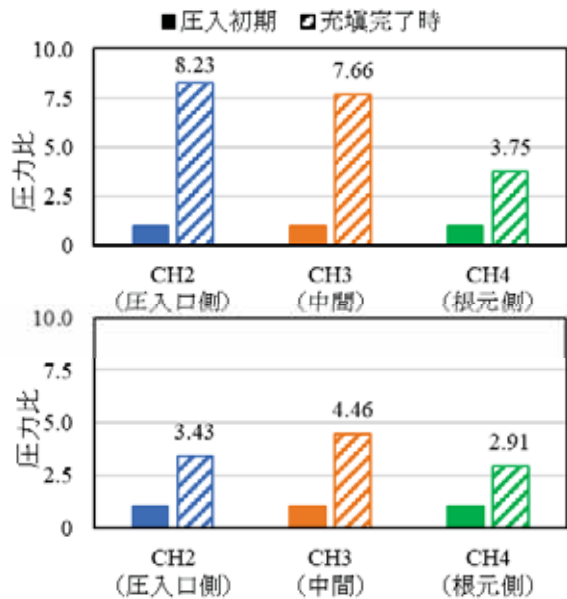


図-11 圧入初期を1とした場合の最大管内圧力の圧力比

数の削減、表面気泡の抑制などの生産性向上、品質確保ができ、今後の現場適用に繋がる結果となった。

参考文献

1) 小山広光・弘光太郎・森賢字・宇野洋志城：自己充填コンクリートを用いた覆工の自動化に関する研究 (その1)、佐藤工業技術研究所 報, No45, 2020

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。
池田信義・花咲魁人・橋本紳一郎・小山広光：圧送管内圧力における高流動コンクリートを用いた自己充填型トンネル覆工施工の充填性評価手法に関する検討、日本コンクリート工学年次論文集, Vol45, No.1, 2023

論文 速硬性コンクリートの圧送性評価について

○高橋 直希*¹ 橋本 紳一郎*²
井手 一雄*³ 平野 勝識*¹

特殊コンクリート 圧送性 管内圧力
加速度 スランプフロー

1. はじめに

コンクリートの圧送および打込み作業において、コンクリートのポンプ施工は不可欠である。特に近年では、施工条件の多様化により、特殊な配管条件や圧送条件での圧送、高流動コンクリートあるいは高強度コンクリートのような、特殊コンクリートでの施工も増えている。

一般に、コンクリートの圧送は打込み開始から終了まで連続して行うことが原則であるが、トラックアジテータの入れ替えや打込み箇所の移動などによる、圧送を一時中断しなければならない際には、閉塞などのトラブルが生じやすい。特に、低スランプのコンクリート、貧配合のコンクリート、および早強性セメントや促進形混和剤を使用したコンクリートなどに対し、圧送を一時中断した後の再圧送時には注意が必要となる。

また、高流動コンクリートや高強度コンクリートなどの粉体量、粘性が大きいコンクリートでは、通常のコンクリートに比べて、材料分離は生じにくいものの、圧送時の負荷は大きくなるため、コンクリートポンプの機種や輸送管の種類などを適切に選定しなければならない。これらに対して、「コンクリートのポンプ施工指針(2012年版)」では、粉体系および併用系高流動コンクリートの圧力損失は、スランプ 12cm の普通コンクリートに比べ、最大 4 倍程度大きくなる¹⁾。また、再圧送時の圧送負荷が著しく増加した場合には、配管の接続箇所に急激に負荷が作用し、配管が破裂する恐れがある。しかし、これらのコンクリートの圧送中断による圧力損失の変化や圧送負荷などについては十分な検討が行われていない。

本研究では、普通コンクリートに比べて、粉体量が多い、かつ速硬性を有する特殊コンクリートを対象とし、圧送中断を伴う施工条件下における、コンクリートの圧送性について検討を行った。本研究における圧送性については、圧送時における管内の圧力変動から評価した。さらに、圧送の際にはコンクリート中の粗骨材が粗骨材粒子群同士あるいは管壁と衝突を繰り返すことにより、微細な振動が生じることが明らかとなっている²⁾ことから、振動加速度計により、圧送時に生じる配管の振動について計測および評価を実施した。

2. 実験概要

2.1 検討方法

本実験では、実機における圧送試験において、速硬材を用いた特殊コンクリートの圧送を行い、その際、配管に生じる圧力や振動を圧力計および加速度計により計測・評価した。さらに、圧送の途中で約 6 分間の圧送停止後、再圧送時における圧送性について検討を行った。

2.2 使用材料およびコンクリートの配合

今回計測の対象とするコンクリートは、練り混ぜから 3 時間で圧縮強度 18N/mm² 以上の短期強度発現性を有する特殊コンクリートである。この要求性能を満足するために、練上がり後のコンクリート（以下、ベースコンクリートと称す）に混和して使用する、粉体の速硬性混和材を使用したコンクリート（以下、速硬性コンクリートと称す）を選定した。本実験で使用した材料を、表-1 に示す。なお、速硬性混和材は、セメント・アルミナ・セッコウ複合系速硬基材（以下、速硬材と称す）、およびスランプフローの保持時間を調整するクエン酸系調整剤（以下、調整剤と称す）で構成されている。これらをコンクリートに適量混和することで、短時間での強度発現が可能になるものである。

速硬材の標準混和量は、セメント質量の内割り 30% であり、現場にてトラックアジテータに混和する。調整剤は、コンクリート 1m³ に対して 10kg の水に適量溶解し、速硬材投入直前に混和する。調整剤の添加量は、スランプもしくはスランプフローの保持時間および速硬性コンクリートの練上がり温度に応じて調整する。今回は練り混ぜから 1 時間経過後のスランプフローの変化が 10cm 以内となる

表-1 使用材料

セメント	普通ポルトランドセメント 密度 : 3.16 (g/cm ³)
細骨材	富津産・仁淀川町産・南伊勢町産(混合砂) 表乾密度 : 2.64 (g/cm ³)、粗粒率 : 2.60
粗骨材	仁淀川町産 砕石 2005 (Gmax : 20mm) 表乾密度 : 2.70 (g/cm ³)、実積率 : 64.0 (%)
混和剤	高性能AE減水剤 (ポリカルボン酸系)
速硬性混和材	速硬材 (密度 : 2.93 (g/cm ³)) (セメント・アルミナ・セッコウ複合系) 調整剤 (クエン酸系)

よう設定した。ベースコンクリートおよび速硬性コンクリートの配合を、表-2 に示す。今回の速硬性コンクリートとは、ベースコンクリートに 1m³ に対して、混和材 150kg、および調整剤を含む水 10kg を後から混和したものである。

2.3 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、スランプフローを JIS A 1150、空気量を JIS A 1128 およびコンクリート温度を JIS A 1156 に従い測定した。また、圧送でのフレッシュ性状の変化を確認するため、JSCE-F511 2010 に従い、充填高さも測定した。各種試験は、ベースコンクリートおよび速硬性コンクリートのそれぞれに対して実施した。フレッシュ性状試験結果を、表-3 に示す。

2.4 配管条件および圧送方法

圧送試験における配管図を、図-1 に示す。輸送管は主に 5 インチ管(以下、5B と称す)に使用し、一部に 4 インチ管(以下、4B と称す)を使用した。今回の配管条件における水平換算距離は、それぞれ 155.5m の配管である。算出については、「コンクリートのポンプ施工指針(2012 年版)」を参考とした¹⁾。また、トラックアジテータの入れ替えなどによる圧送中断を想定し、途中に約 6 分間の圧送停止後、再圧送を行うこととした。なお、圧送試験時の外気温は 17°C であった。

2.5 計測方法

圧力計の測定箇所(四角枠)と加速度計の取付け箇所(丸破線)を、図-1 に示す。圧力計および加速度計の設置状況を、写真-1 に示す。

表-2 配合表

ベースコンクリート		速硬性混和材					
W/C (%)	s/a (%)	単分量 (kg/m ³)				外割混和(kg)	
		W	C	S	G	速硬材	調整剤溶解水
42.9	53.2	150	350	996	896	150	10

表-3 フレッシュ性状試験結果

	コンクリート種類	スランプフロー(mm)	コンクリート温度(°C)	空気量(%)	充填高さ(mm)
圧送試験	ベースコンクリート	500	23	2.3	—
	速硬性コンクリート	475	24	2.0	302
	速硬性コンクリート(再圧送後の筒先)	545	—	—	328

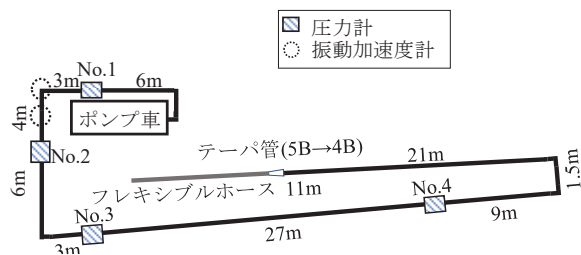


図-1 配管図

(1) 管内の圧力測定

管内圧力の測定は、写真-1 に示すような、特殊な管を設置する必要がある。圧力計は、進行方向に向かって No.1~No.4 の計 4 箇所に取り付けた。

(2) 振動加速度計測

加速度計の測定位置に関しては、圧送試験、実施工ともに、ベント管とそのベント管から数 m 以内の水平管の計 2 箇所を設置した。加速度計の先端はマグネットになっており、輸送管へは直接固定が可能である。計測結果については、圧送性評価の有効性を示している既往の研究^{3~6)}同様、FFT 解析を実施し、加速度が最も大きくなる値(以下、加速度のピーク値と称す)と周波数から、圧送性の違いについて評価を行う。

3. 結果および考察

前章までに示したスランプフロー500mm 前後の速硬性コンクリートに対し、順調に圧送されている場合の圧力および加速度計測結果について検討を行った。

3.1 管内圧力計測結果

圧力計毎の測定結果を、図-2 に示す。管内圧力は、ベースコンクリートや速硬性コンクリート、あるいは再圧送によらず、進行方向に向かって小さくなる傾向を示している。

本研究では、No.1~No.4 までの圧力に対する最小二乗法による直線の傾きを、水平管 1m 当りの管内圧力損失とした。その結果、ベースコンクリートおよび速硬性コンクリートの水平管 1m 当りの管内圧力損失は、それぞれ約 $1.4 \times 10^{-2} \text{N/mm}^2/\text{m}$ および約 $1.8 \times 10^{-2} \text{N/mm}^2/\text{m}$ となった。同一条件下におけるスランプ 12cm の普通コンクリートの管内

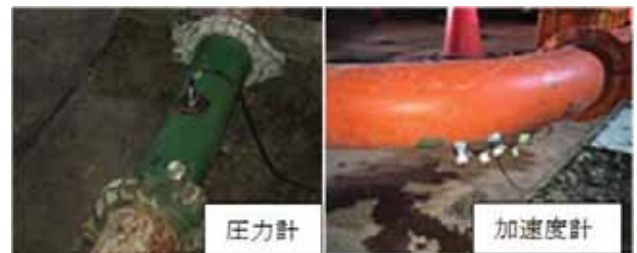


写真-1 計測器設置状況

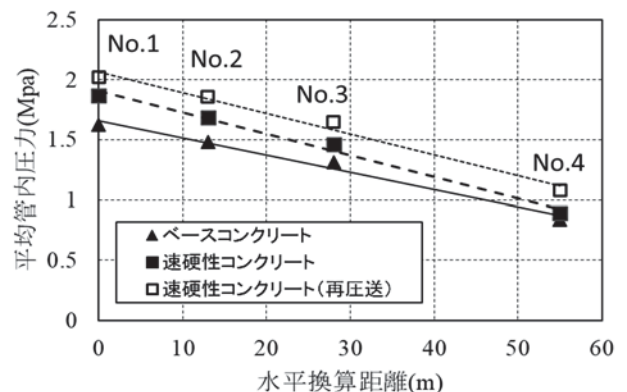


図-2 圧力計毎の計測結果と管内圧力損失

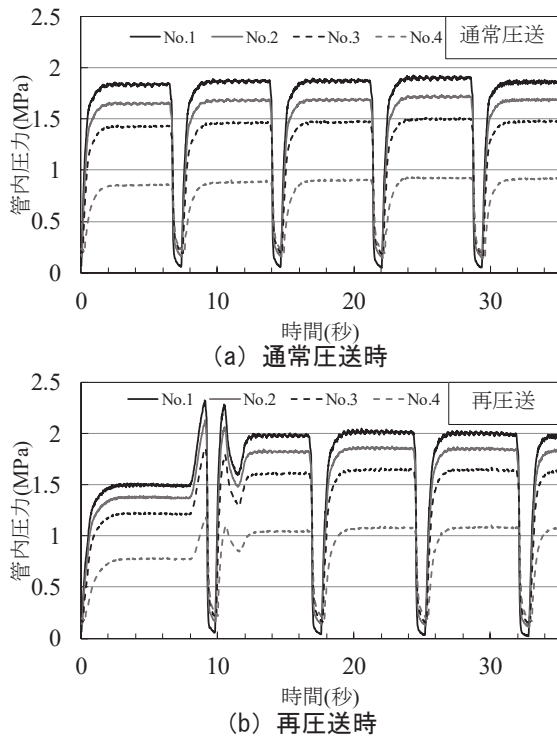


図-3 管内圧力波形の一例

表-4 管内圧力計測結果

コンクリート種類	圧送速度 (m ³ /h)	平均管内圧力 (MPa)	変動係数 (%)	圧送状態
ベースコンクリート	18	1.59	1.35	順調
速硬性コンクリート		1.87	1.22	順調
速硬性コンクリート (再圧送)		2.00	0.79	順調

圧力損失は $1.0 \times 10^{-2} \text{N/mm}^2/\text{m}$ 程度¹⁾であり、本研究における速硬性コンクリートは2倍近い値となっている。一般に、粉体系および併用系高流動コンクリートの圧力損失は、粉体量が多くなるほど大きくなる傾向を示す。本研究における速硬性コンクリートは、ベースコンクリートに比べて、粉体量が150kg多いことで、コンクリートの粘性が大きくなり、配管内の圧力損失が増大したと考えられる。また、再圧送時における速硬性コンクリートの圧力損失は、中断前と同程度の値となった。これは、フレッシュ性状試験の結果から、再圧送後の速硬性コンクリートのスランプフローは545mm、充填高さは328mmであり、圧送および圧送中断による品質の変化は小さく、圧送がフレッシュ性状に及ぼす影響が小さかったためであると考えられる。

通常圧送時および再圧送時の波形の一例を、図-3に示す。また、ポンプ車が一番近い位置で計測した、平均管内圧力、管内圧力の変動係数および筒先のコンクリートの吐出状況から判定した圧送状態を、表-4に示す。

通常圧送時の管内圧力については、圧力波形に乱れはなく、ストローク毎に同じ挙動を示している。一方、再圧送時の管内圧力については、圧送初期に波形の乱れが生じており、圧力が一時的に大きくなっている。また、それ以降

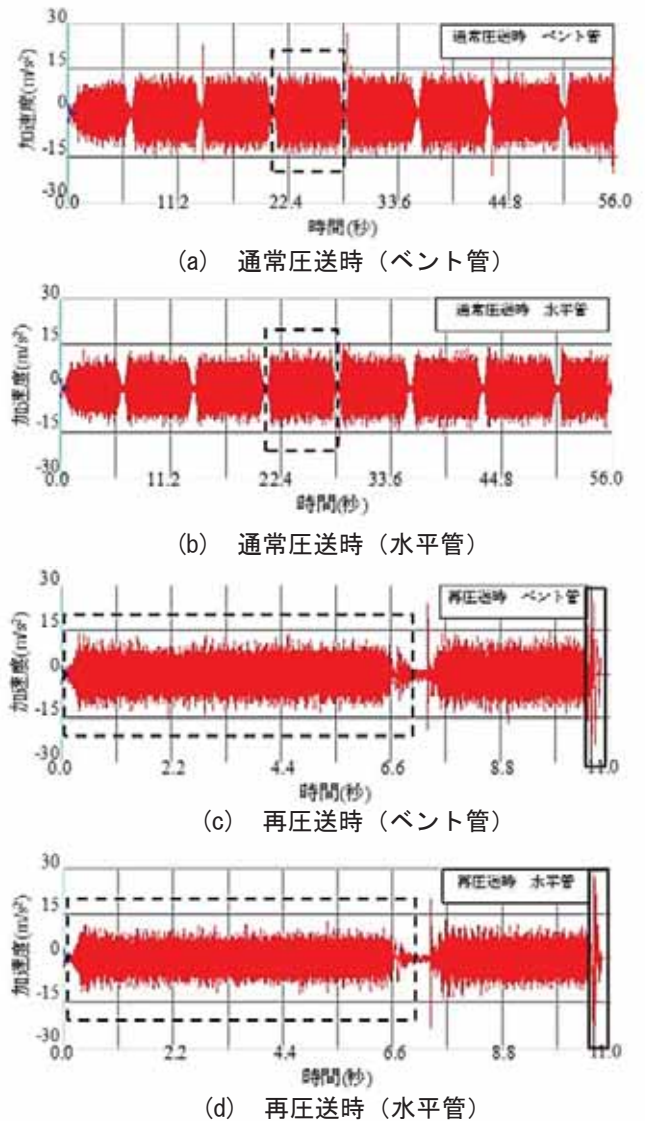
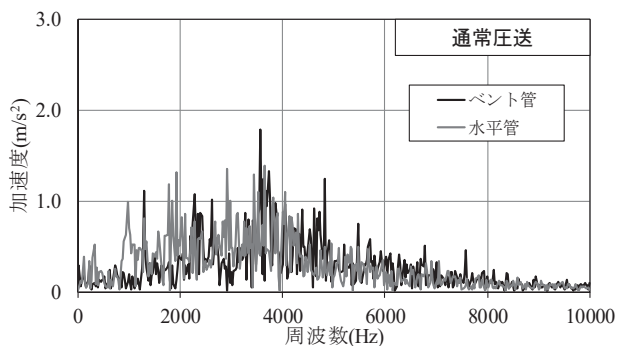


図-4 計測時間と加速度の関係

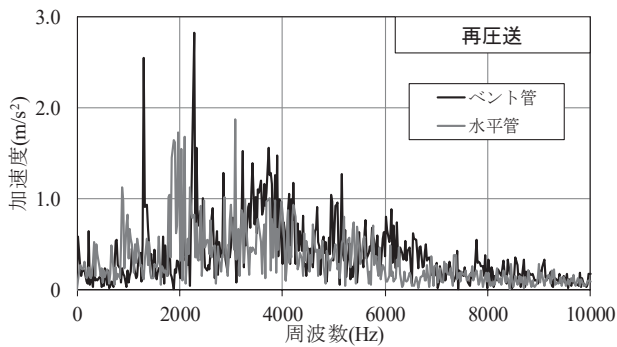
の管内圧力も圧送中断前と比較すると、わずかに大きくなっていることが確認できる。再圧送時における圧力の乱れや増加は、圧送の停止による配管内でのコンクリートの滞留により、セメント粒子が凝集したことでコンクリートが動きにくくなったためと考えられる。特に、粉体量が多いコンクリートにおいては、セメント粒子が多く存在するため、圧力変動が大きくなることが予想される。なお、本実験においては、圧送中断の時間は短かったため、いずれの圧力の変動係数の値は小さく、筒先から常に一定の状態でコンクリートが連続的に吐出される順調圧送状態（以下、順調と称す）であった。

3.2 振動加速度計測結果

ベント管およびその先の水平管で計測した、計測時間と加速度の関係を、図-4に示す。図-4(a)(b)は通常圧送時、図-4(c)(d)は圧送中断後の再圧送時における加速度の波形である。通常圧送時において、ベント管、水平管ともに、既往の研究^{例えば、7)}と同様、一定の時間間隔で加速度の波形が確認できる。さらに、一定間隔で見られる加速度波形は、



(a) 通常圧送時



(b) 再圧送時

図-5 周波数と加速度振幅の関係

ピストンの稼働の1ストロークに要する時間間隔と同程度であったことから、ピストン式ポンプ車のピストン稼働により、管内での骨材同士の衝突や配管への衝突が生じ、配管の振動として計測されたものと考えられる。また、図-4の四角い実線で囲まれた領域において、加速度波形に乱れが生じている。これは、前節で述べたように、圧送中断による配管内での滞留により、コンクリートが動きにくい状態となり、再圧送時に粗骨材の運搬が一定の状態では圧送されておらず、配管に生じる振動が不規則であったと推察される。また、水平管に比べ、ベント管での加速度の値の方が大きくなることは、既往の研究^{例え、7)}と同様の傾向を示しており、この2か所の加速度の値から、圧送性を評価することとした。

図-4の点線で囲まれた領域において、FFT解析を行った結果を、図-5に示す。また、通常圧送時および再圧送時における、加速度のピーク値を、図-6に示す。

ベント管と水平管の加速度のピーク値の差は、いずれも 1.0m/s^2 以下である。これは、普通コンクリートが順調圧送されていると判定される閾値⁷⁾と同程度であり、今回のコンクリートに対しても、加速度のピーク値の差から、コンクリートの圧送性を定量的に評価することができることを示唆している。ただし、時間経過によるスランプフローの変化や粘性の増大による影響も考えられるため、これらの複合的な要因を含んだ検討が今後必要となる。

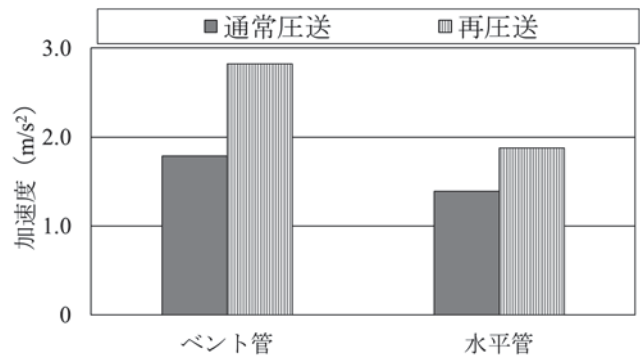


図-6 異なる圧送状態での加速度のピーク値

4. まとめ

本論文で得られた知見をまとめると次のようになる。

- (1) 圧力計測の結果、再圧送を伴う圧送の場合、平均管内圧力が大きくなった。また、圧力波形に乱れが生じた。
- (2) 加速度計測の結果、再圧送を伴う圧送の場合、加速度波形に乱れが生じた。
- (3) 圧力波形と加速度波形に乱れが生じる時期は、同時期であり、それぞれの波形を計測・評価することで、コンクリートの圧送性を確認することができる。
- (4) 加速度のピーク値の差はいずれも小さく、 1.0m/s^2 以下であれば順調圧送であることが確認されたことから、圧送性判定の閾値を粉体量の多いコンクリートにも適用できる可能性がある。

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) 辻村直哉, 橋本親典, 丸山久一, 清水敬二：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
- 3) 案浦侑己, 橋本紳一郎, 渡辺健, 橋本親典：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, Vol.35, No.1, pp.1201-1206, 2013
- 4) 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, 2015.2
- 5) 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
- 6) 橋本紳一郎, 江本幸雄, 渡辺健, 橋本親典：配管及び計測条件がコンクリートの簡易圧送性評価に与える影響, セメント・コンクリート論文集, Vol.68, No.1, pp.268-275, 2014
- 7) 橋本紳一郎, 平川恭熒, 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

*1 フジタ 技術センター 土木研究部 修士(工学), *2 千葉工業大学 創造工学部 准教授

*3 フジタ 技術センター 土木研究部 博士(工学)

第2回全国圧送技術大会 論文報告集

2024年3月1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
Homepage <http://www.zenatsuren.com>

不許複製

ISSN 2433-8648 ©2024 Printed in Japan