

無機系短繊維補強コンクリートのポンプ圧送試験

戸田建設株式会社 正会員 高橋 和寛 正会員 岩永信太郎
戸田建設株式会社 ○正会員 大橋 英紀 正会員 田中 徹 非会員 井戸 康浩
公益財団法人 鉄道総合技術研究所 正会員 仁平 達也 正会員 笹田 航平

1. はじめに

鋼繊維や有機繊維を利用した短繊維補強コンクリートは、ひび割れ発生の抑制やはく落防止を目的として様々な構造物に適用¹⁾²⁾されている。これらの繊維はそれぞれ特徴があり、例えば鋼繊維は錆の発生などが課題となっている。そこで筆者らは無機系繊維に着目し、これを用いた短繊維補強コンクリートの開発を進めており³⁾、曲げ靱性等の基礎的な性状について検討を行っているが、実用化を踏まえるとポンプ圧送性を把握する必要があると考える。そこで本稿では、鋼鉄道橋連続合成桁等を対象とした施工を想定し、水平換算距離約 140m のポンプ圧送試験を行い、圧送前後のフレッシュ性状、硬化性状の変化、および管内圧力損失等を把握した。以下に報告する。

2. 試験概要

2. 1 ポンプ圧送試験

図-1 に配管経路図を、表-1 に管内圧力測定位置（測定位置の番号は図-1 を参照）を示す。試験においては、水平に配置した輸送管で水平換算距離 141.6m を圧送し、実吐量計測用の型枠に排出した。管内圧力の計測は主にベント管付近の 10 箇所とした。

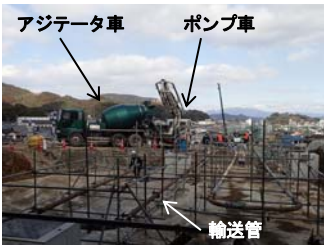


写真-1 ポンプ圧送試験の状況

短繊維補強コンクリートの製造は、レディーミクストコンクリート工場の強制 2 軸ミキサで、1 バッチ当たり 2.0m³ を練混ぜた。短繊維はレディーミクストコンクリート工場のミキサに投入し、アジテータ車 1 台に 2 バッチの計 4.0m³ のコンクリートを積載し、約 15 分かけて試験場所まで運搬した。コンクリートポンプ車は、最大吐出量 100m³/h を有するものを使用し、輸送管の管径は 5B (125A) とした。目標の設定吐出量は、一般的な施工を想定し 20m³/h、30m³/h、40m³/h とし、管内圧力が安定するまで計測した。フレッシュコンクリート試験は、出荷時（練混ぜからの経過時間 7 分）、圧送前（29 分）、圧送後（44 分）にそれぞれ実施し、繊維混入率試験⁴⁾ はアジテータ車による排出の前半、中間、後半の部分から採取し測定した。また、圧送前後で供試体を採取し、各強度試験（圧縮強度、静弾性係数、曲げタフネス）を実施し、圧送前後のコンクリートの品質を比較した。

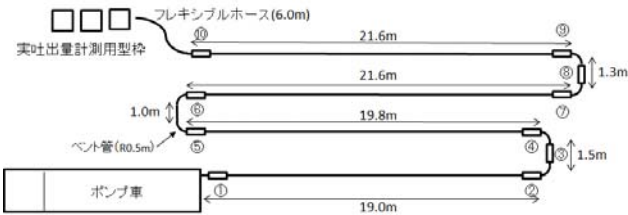


図-1 配管経路図

表-1 管内圧力測定位置

管内圧力測定位置	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
水平換算距離 (m)	0.3	18.6	24.9	32.3	54.3	67.8	86.3	92.8	100.3	121.6

2. 2 使用材料および配合

表-2 および表-3 に使用材料および計画配合を示す。配合は、呼び強度 30 (N/mm²) 相当で水セメント比を 47.0%、細骨材率を 52.0%、繊維混入率を 1.0vol.% (外割) とした。繊維は、耐アルカリ性能を有するエポキシ樹脂で被覆し、長さ 40mm、密度 1.83g/cm³ の無機系繊維を使用し、混和剤は高性能 AE 減水剤を使用した。ポンプ圧送後の筒先のスランプの目標値は 12.0±2.5cm とした。土木学会のコンクリートのポンプ施工指針⁵⁾ (以下、ポンプ指針) より、普通コンクリートにおいて圧送距離 50m 以上 150m 未満の場合、スランプの低下は 0~1cm 程度であり、さらに経時変化により 1~2cm 程度低下すると想定し、圧送前の目標スランプは 15.0±1.5cm とした。また、圧送後の目標空気量は 4.5±1.5% とした。

表-2 使用材料

分類 (記号)	使用材料
水 (W)	河川水・回収水 (スラッジ水)
セメント (C)	普通ポルトランドセメント (密度 3.16g/cm ³)
細骨材 1 (S1)	川砂 (表乾密度 2.54g/cm ³ , 粗粒率 2.85)
細骨材 2 (S2)	海砂 (表乾密度 2.58g/cm ³ , 粗粒率 2.64)
粗骨材 (G)	碎石 (2005, 表乾密度 2.60g/cm ³ , 実積率 59.0%)
繊維 (Fb)	バサル短繊維 (エポキシ樹脂被覆, 長さ 40 mm, 密度 1.83g/cm ³)
混和剤 (Ad)	高性能 AE 減水剤, ポリカルボン酸系

表-3 計画配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					Ad (C×%)	Fb 混入率 (vol.%)
		W	C	S1	S2	G		
47.0	52.0	172	366	352	537	832	0.8	1.0

キーワード 無機系短繊維補強コンクリート、ポンプ圧送
連絡先 〒104-8388 東京都中央区京橋 1-7-1 戸田建設 (株) 技術開発センター TEL03-3535-1675

3. 試験結果および考察

3. 1 フレッシュコンクリートの性状

表-4 にスランブ試験や空気量試験などの試験結果を示す。スランブは運搬により 0.5cm 低下し、ポンプ圧送により 1.5cm 低下した。ポンプ圧送によるスランブの変化は、ポンプ指針で示している普通コンクリートと同等であった。また、空気量の圧送前後の変化はほとんどなかった。

3. 2 繊維分散性

繊維混入率試験⁴⁾の結果、採取した3ヶ所の繊維混入率は96, 101, 99%, 3ヶ所の平均値は99%(標準偏差2.5%)となりほとんど差は見られなかった。これらのことから、本繊維はコンクリート内にほぼ均一に分散していることを確認した。

3. 3 ポンプ圧送時の管内圧力損失

図-2 に設定吐出量 30m³/h における圧送時の圧力波形を示す。管内圧力は波形の安定した箇所から読み取り、管内圧力損失を検討した。図-3 に水平換算距離と管内圧力の関係を示す。管内圧力は水平換算距離が長くなるとともに減少した。また、吐出量が上昇すると、同一水平換算距離での管内圧力は高くなる傾向となった。図-4 に吐出量と水平管 1m 当りの管内圧力損失の関係を示す。検討に用いた管内圧力損失は、ベント管の影響がなく管内圧力が安定している⑥-⑦の直管の区間で評価した。図には、ポンプ指針で示されている普通コンクリートのスランブ 15cm の標準値と、既往の文献^{6),7)}を参考に鋼繊維や PVA (ビニロン) 繊維を用いたポンプ圧送試験の管内圧力損失も合わせて示した。

本試験の管内圧力損失は、ポンプ指針のスランブ 15cm の標準値と比較すると、1.3~1.7 倍程度となった。既往の文献は、今回実施した試験と同様に繊維混入率は 1.0vol.% となっているが、スランブまたはスランブフローが異なっている。これらの結果と比較すると、配合によって管内圧力損失は大きく異なり明確な傾向は見られなかったが、既往の文献の範囲内の管内圧力損失であった。以上の結果から、繊維のないコンクリートと比べて管内圧力損失は大きくなるが、鋼繊維や PVA 繊維を混入したコンクリートと比較すると明確な差は見られず、同程度であった。

3. 4 強度試験結果

表-5 に各強度試験の結果を示す。ポンプ圧送前後の圧縮強度と静弾性係数の差は小さく、短繊維補強コンクリートにおいて曲げ性能や引張性能を評価する指標である曲げ強度および曲げ靱性係数は同等であった。以上の結果から、ポンプ圧送が硬化コンクリートの性状へ及ぼす影響はほとんどないことを確認した。

4. まとめ

本検討により得られた結果を以下に示す。①ポンプ圧送によるスランブの低下は、一般的なコンクリートと同等であった。②管内圧力損失は、スランブ 15cm の普通コンクリートの標準値より大きく、鋼繊維や PVA 繊維を使用した繊維補強コンクリートと同程度であった。③ポンプ圧送による曲げ強度、曲げ靱性の変化は認められなかった。

表-4 フレッシュコンクリート試験結果

試験時期	スランブ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	外気温 (°C)
出荷時	16.0	4.1	8	1
圧送前	15.5	5.0	8	2
圧送後	14.0	4.8	8	5

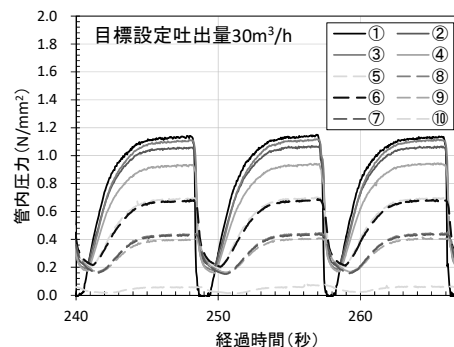


図-2 圧送時の管内圧力波形の例

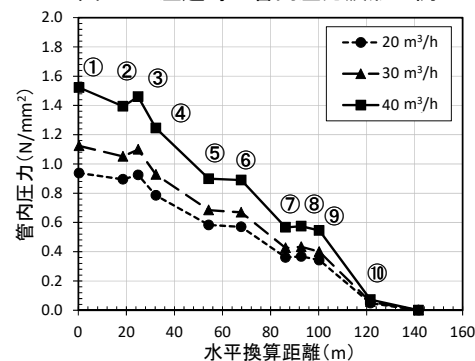


図-3 水平換算距離と管内圧力の関係

試験結果	バサルト短繊維40mm	1.0vol. %	スランブ15.0cm
文献6)-1	PVAφ0.66×30mm	1.0vol. %	スランブ15.0cm
文献6)-2	PVAφ0.66×30mm	1.0vol. %	スランブ19.5cm (軽量骨材)
文献7)-1	鋼繊維φ0.75×30mm	1.0vol. %	スランブフロー71.0cm
文献7)-2	鋼繊維φ0.75×30mm	1.0vol. %	スランブフロー61.0, 65.0cm

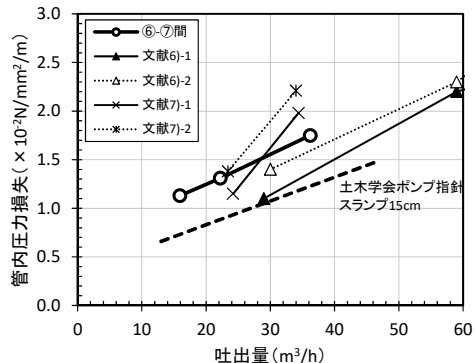


図-4 吐出量と管内圧力損失の関係

表-5 各強度試験結果

採取時期	圧縮強度 (N/mm²)	静弾性係数 (kN/mm²)	曲げ強度 (N/mm²)	曲げ靱性係数 (N/mm²)
圧送前	39.9	27.9	5.33	4.45
圧送後	36.2	26.7	5.40	4.52

参考文献

- 徳富, 南, 斉藤, 下津: 鋼鉄道橋連続合成桁で用いる鋼繊維補強コンクリートの特性, 土木学会第 67 回年次学術講演会概要集, I-454, pp.907-908, 2008 年 9 月
- 保坂, 山田, 中野: 鋼繊維軽量コンクリートを用いた連続合成鉄道橋—阿佐線・物部川橋りょう—, コンクリート工学, 38 巻(2000), 6 号, pp.24-30
- 仁平, 笹田, 田中, 井戸: バサルト短繊維の耐アルカリ性に関する一考察, 土木学会第 72 回年次学術講演会, V-547, pp.1093-1094, 2017 年 9 月
- JSCE-F 554-1999 「鋼繊維補強コンクリートの鋼繊維混入率試験方法」
- 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第 135 号 土木学会
- 浦野, 滝本, 高橋: 有機系短繊維混入コンクリートのポンプ圧送性に関する検討, 土木学会第 63 回年次学術講演会 V-320-, pp.639-640, 2008 年 9 月
- 白井, 木ノ村, 坂本, 斎賀: 鋼繊維補強高流動コンクリートのポンプ圧送性に関する検討, コンクリート工学年次論文集, vol.38, No.1, 2016