

圧送助剤やフライアッシュの使用が長距離圧送性に及ぼす影響の 定量的な評価に関する研究

大成建設 (株) 技術センター 正会員 ○梁 俊 大成建設 (株) 技術センター フェロー会員 坂本 淳
大成建設 (株) 技術センター フェロー会員 丸屋 剛

1. はじめに

長距離圧送を伴うシールドトンネル工事のインバートや覆工の現場打ちコンクリートの施工において、コンクリートの圧送性を向上させるために、圧送助剤やフライアッシュがよく使用されているが、その効果は経験的に評価されている。本研究では、圧送助剤やフライアッシュの適用が閉塞なしに圧送できる圧送可能水平換算距離（以降圧送可能距離と称す）に与える影響を、圧送中のコンクリートが受ける圧力を模擬した試験装置による圧送性評価試験で定量的に評価した¹⁾。

2. 圧送性評価試験の概要およびコンクリートの配合

本試験では圧送圧により、配管内におけるコンクリートの品質が変化するまで受ける受圧履歴を定量的に評価できる装置（写真-1）を使用してコンクリートの閉塞なしに圧送できる圧送可能距離を評価した¹⁾。本装置は、輸送管（直管・ベント管）を U 字型に繋げたもので、配管に取り付けられた圧力計により、配管内の圧力を測定することができる。両端に取り付けてあるシリンダーの押し引きを繰り返し、閉塞するまでの受圧履歴により、配管内コンクリートの均質状態が変化し始めるまでに受けた積算受圧量（ CP_t ：以後許容積算受圧量と称する）を求める。コンクリート圧送中の閉塞の防止および筒先での品質を確保するためには、コンクリートがポンプ圧送で受けた積算受圧量をコンクリートの許容積算受圧量より小さくする必要がありと考え、閉塞なしに圧送できる配管距離の計算式、式 (1) を提案している¹⁾。



写真-1 ポンプ圧送性評価装置

$$L_x \leq \sqrt{\left[\frac{2CP_t \times L_s \times m_t}{(P_{th} - P_r) \times S} \right]} \quad (1)$$

ここで、 L_x ：圧送可能な最大水平換算距離 (m)、 CP_t ：許容積算受圧量(MPa・分)、 L_s ：圧送計画における配管の計画水平換算長さ (m)、 m_t ：時間当たりの吐出量 (打設量/予定打設時間) (m³/分)、 P_{th} ：ポンプに作用する圧送負荷(MPa)、 P_r ：ポンプの根元までの圧力損失(MPa)、 S ：輸送管の断面積 (m²)

A, B 二つの現場のコンクリートを対象に、ポンプ圧送助剤（ポリカルボン酸エーテル系化合物）の添加、フライアッシュによる粉体量増加の有無、遅延型 AE 減水剤の使用がコンクリートの圧送可能距離に与える影響を検討した。A 現場は、スランプ 21cm, 18cm のコンクリートに対して圧送助剤の有無の影響に関して検討を行った。また、スランプ 21cm のコンクリートに対しては、遅延型 AE 減水剤を適用した夏季配合（スランプ保持性は同等となるように調整）の圧送性についても検討を行った。B 現場においては、スランプ 21cm のコンクリートとフライアッシュを入れて単位粉体量を増やしたが、スランプを 18cm に小さくしたコンクリートの圧送性を比較した。なお、ポンプ圧送助剤は、現場で後添加する方式が多用されている実状を踏まえて、

表-1 コンクリートの配合

配合	単位量 (kg/m ³)					高性能 AE 減水剤 C×%	圧送助剤 PA (バック)
	水 (W)	セメント (C)	フライアッシュ (F)	細骨材 (S)	粗骨材 (G)		
A-SL21	172	379	—	886	883	0.9 (P社)	— 2
A-SL21 (夏季)						0.9 (P社遅延)	2
A-SL18	167	368	—	854	940	0.95 (P社)	— 2
B-SL21	180	362	—	880	875	0.25 (T社)	2
B-SL18	173	324	57	801	939		2

キーワード：圧送性、積算受圧量、許容積算受圧量、圧送可能距離、圧送助剤、フライアッシュ
連絡先：〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設 (株) 技術センター TEL070-2635-013

練混ぜ量 40 リットル分を計量し、練上がり 30 分後に添加・混合した。使用したコンクリートの配合を表-1 に示す。

3. 試験結果及び圧送可能距離の検討

式 (1) の左右の値が同じになることは、圧送距離 L_x 時の積算受圧量がコンクリートの許容積算受圧量に達したことを示す。したがって、式 (2) の左右の値が同じになる時の L_x が閉塞すること無く圧送できる最大距離になる。

あるシールドトンネル工事におけるインバートコンクリートの長距離圧送計画を参考に、配管の水平換算距離 L_s を 1080m, ポンプに作用する圧送負荷 P_{th} を 12.38 MPa, 時間当たりの吐出量 m_t を 14.2 m³/h, 圧送管の直径を 125A にし、写真-1 に示す装置により測定した各配合の積算受圧量を式 (1) へ代入して圧送可能距離を求めた。各配合の許容積算受圧量および圧送可能距離を表-2 に示す。

図-1 に現場 A のスランプ 21cm とスランプ 18cm のコンクリートの圧送助剤投入の有無による圧送可能距離の相違を示す。試験環境温度 20°Cにおいて、圧送助剤の投入により圧送可能距離が投入前のほぼ 1.65 倍になっていることがわかる。

図-2 に現場 B のスランプ 21cm のコンクリートとフライアッシュを使用したスランプ 18cm のコンクリートの圧送可能距離を示す。フライアッシュ入りのスランプ 18cm のコンクリートの圧送可能距離がスランプ 21cm のコンクリートより圧送可能距離が大きくなっている。フライアッシュ投入による単位粉体量の増加 (SL18 の W/B が小さいこと) がブリーディングを低減させ、圧送における配管内のコンクリートの分離を低減させたことを説明している。

図-3 に現場 A の環境温度と遅延型 AE 減水剤の影響を示す。図に示すように、スランプ 21cm のコンクリートの標準配合と夏季配合の圧送可能距離がほぼ一致している。遅延型 AE 減水剤を適用してコンクリートのフレッシュ性状を保持することによりコンクリートのポンプ圧送性が保持されたことを示唆する。圧送助剤入りの標準配合と夏季配合のコンクリートは、両方とも圧送助剤投入前に比べて圧送可能距離が大きくなっているが、夏季配合の方の増加量が少ないことがわかる。圧送助剤は遅延型を適用しなかったため、環境温度が圧送助剤の性能発揮に影響を与えた可能性があると考えられる。

4. まとめ

本研究では、著者らが開発したポンプ圧送性評価装置を用いて、圧送助剤やフライアッシュ投入による単位粉体量の増加および遅延型 AE 減水剤が圧送可能距離に与える影響を定量的に評価した。今後は、その他の混和材料と圧送助剤の種類や投入量が圧送可能距離に与える影響についても検討を進める予定である。

参考文献

- (1) 梁俊, 坂本淳, 丸屋剛, 橋本貴之: 加圧履歴に基いたコンクリートの圧送性の室内評価試験方法に関する研究, 「コンクリート工学」誌テクニカルレポート, VOL 58, No.12, pp.937~943, 2020.12

表-2 許容積算受圧量および圧送可能水平換算距離

配合	試験環境温度 (°C)	圧送助剤 PA (バック)	許容積算受圧量 (MPa・分)	圧送可能な水平換算距離 (m)
A-SL21	20	—	62	555
		2	171	920
A-SL21 (夏季)	35	—	62	556
		2	108	730
A-SL18	20	—	46	475
		2	124	784
		2	119	767
		2	152	866

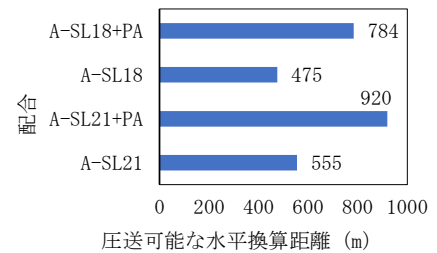


図-1 圧送助剤の影響

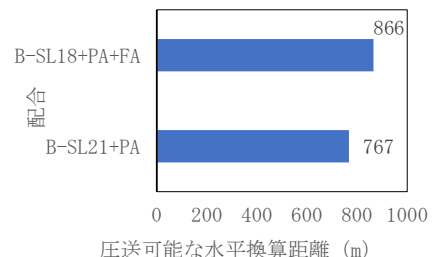


図-2 フライアッシュの影響

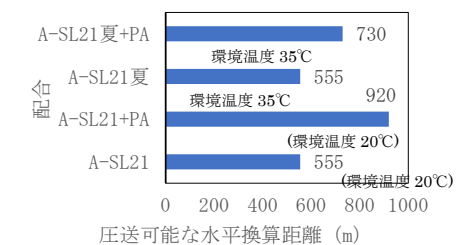


図-3 温度及び遅延型 AE 減水剤の影響