

吹付けコンクリートの細骨材率が圧送性および付着性に及ぼす影響

鹿島建設(株) 正会員 ○岩野圭太 松本修治 犬塚隆明 平岡耕介 牟田口茂

1. はじめに

吹付けコンクリート施工は、事前の試し練りや実機試験吹きの結果により、付着性や圧送性が良好となる配合を選定し、コンクリートの状態に応じて急結剤の添加率を調整することで、付着性を確保しながら行っている。働き手不足が深刻化するなか、誰でも良好な配合を選定でき、効率的に吹き付けられる技術確立するためには、配合要因が付着性に及ぼす影響を定量的に把握する必要がある。そこで、ノズル操作や圧送条件を一定に制御¹⁾することで配合要因が吹付けコンクリートの付着性などに及ぼす影響を確認するための検討を行っている。本稿は、配合要因の内、細骨材率が吹付けコンクリートの圧送性および付着性に及ぼす影響を確認した結果について述べる。

2. 実験概要

吹付け実験を実施したトンネル断面は、幅約 8.4m、高さ約 7.2m、掘削断面積約 74m²である。本実験においては、2.5m³のコンクリートをブルアウト強度試験体の型枠に吹き付けた後に、リバウンド率を求めるために、上半 120° 範囲の幅 1.2m、周長約 9.3m の部分に一定に制御した操作での吹付けを行った。なお、試験体製作に使用したコンクリートと実際に上半に吹き付けたコンクリート量は、コンクリートポンプのピストン回数の比率で推定した。トンネル上半の吹付け対象面は、条件を一定とするために、硬化した吹付けコンクリートを撤去し平滑に削ってから、次のケースの実験を行った。

本実験で用いた吹付けシステムは、湿式タイプで、急結剤に液体と粉体の 2 種類を用いるものである。液体急結剤はポンプにより定量を圧送し、粉体急結剤は圧縮空気ですり送して、両者をスラリー化部分で混合することでスラリーにしてベースコンクリートに添加するものである。吹付け機械に搭載しているコンクリートポンプは、理論最大吐出量 30m³/h、理論最大吐出圧 4.09Mpa（理論最大ポンプ油圧 24.54Mpa）の油圧 2 ピストン式のものである。

表-1 に吹付けシステムの制御設定を示す。吹付け範囲の設定と、既報²⁾の吹付け検討などで定めた吹付け距離などの全ての設定値を機械制御で一定として実験を行った。

表-2 に吹付けコンクリートの配合を示す。単位水量 200 kg/m³、単位セメント量 400kg/m³とし、細骨材率を 53%, 58%, 63%の 3 水準とした。スランブフローは 550±50mm、空気量は 3.0±1.5%、コンクリート温度は 20±2℃を目標範囲とした。

表-3 に試験・測定項目を示す。ベースコンクリートのスランブフロー、空気量などのフレッシュ性状試験に加え、コンクリート温度や急結剤温度を測定した。また、吹付けコン

表-1 吹付け機械の制御設定

設定項目	設定値 (条件)
吹付け距離	1.3m
ノズル移動速度	5~14cm/s
ノズル振角度	11~23°
振角速度	23~44°/s
粉体急結剤エア量	4.0m ³ /min
液体急結剤エア量	3.5m ³ /min
コンクリート吐出量	12m ³ /h

表-2 吹付けコンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					急結剤 (C×%)	
		W	C	S	G	SP	LS	US
50.0	53.0	200	400	886	813	3.8	8	3
50.0	58.0	200	400	970	726	4.0	8	3
50.0	63.0	200	400	1053	640	4.2	8	3

C:普通ポルトランドセメント 密度 3.15 g/cm³, S:川砂 表乾密度 2.60g/cm³, G:砕石 1505 密度 2.67g/cm³, SP:高性能減水剤 ポリエチレングリコール系高分子化合物, LS:水溶性アルミニウム塩系水溶液, US:粉体 カルシウムサルファアルミネート系

表-3 試験・測定項目

項目	試験・測定方法
スランブフロー	JIS A 1150 コンクリートのスランブフロー試験方法
空気量	JIS A 1128 フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法
コンクリート温度	JIS A 1156 フレッシュコンクリートの温度測定方法
急結剤温度	温度計 20±5℃で管理
ポンプ油圧	メモリレコーダでポンプ油圧の変動記録を取得し、平均ポンプ油圧、変動係数を算出
付着性 (リバウンド率)	3 次元スキャナで吹付け前後のスキャンから付着量を求め、吹付け量に対するリバウンド率を算出
初期強度 (ブルアウト)	JSCE-G 561 引抜き方法による吹付けコンクリートの初期強度試験方法(同解説より、推定圧縮強度は、引抜き強度の 4 倍とした)材齢 15 分, 30 分, 3 時間, 24 時間

キーワード 吹付けコンクリート、付着性、リバウンド率、自動化
連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-485-1111

クリートの付着性の評価としては付着量(リバウンド率)を、圧送性の評価としてはポンプ油圧を測定した。付着量(リバウンド率)は、測域センサによる吹付け前後の 3D スキャン結果により、付着したコンクリートの体積から算出している。トンネル技術協会法³⁾によるリバウンド率とは測定方法が異なる。さらに、吹付け量からリバウンド率を算出し評価した。ポンプ油圧は、メモリレコーダによりサンプリング間隔を 0.02 秒で記録し、平均油圧および変動係数を算出し評価した。初期強度は、JSCE-G 561 に準拠して試験を行い、材齢 15 分, 30 分, 180 分および 1 日で測定した。

3. 実験結果

図-1 に細骨材率と平均ポンプ油圧および変動係数の関係を示す。細骨材率が高いほど、平均ポンプ油圧は低くなった。これは、単位水量および単位セメント量を一定の条件で細骨材率 53~63%の範囲においては、細骨材率が高いほど単位粗骨材量が減り、粗骨材同士の干渉が減るとともに、材料分離抵抗性が向上したためと考えられる。なお、ポンプ油圧の変動係数は、いずれの細骨材率においても同程度であった。ただし、変動係数が 0.6 以上に大きくなる場合は、細骨材の粗粒率が大きく、細骨材率を過大に設定している可能性がある。その場合、吹付けコンクリートを圧送した時の細骨材の加圧脱水や吸水によるフレッシュ性状への影響²⁾が大きくなることに留意する必要がある。

図-2 に細骨材率とリバウンド率の関係を示す。細骨材率が大きくなるほど、リバウンド率は低下する傾向が認められた。これは、細骨材率が大きいほどリバウンドしやすい粗骨材の減少、粗骨材同士の衝突の低減、さらに細骨材による粘性の増加が影響しているためと考えられる。

図-3 に細骨材率毎の推定圧縮強度の推移を示す。材齢 24 時間における推定圧縮強度は、細骨材率が小さい 53% のケースが最も低くなる結果であった。これは、細骨材率の差異によって圧送時の脈動に変化が生じ、結果として、急結剤の混ざりやすさなどに影響⁴⁾が生じたものと考えられる。材齢 3 時間までの結果においては、その傾向が認められなかったのは、推定圧縮強度が 1N/mm² 以下と小さいため、弱部となりやすい粗骨材とモルタルとの界面の影響が顕在化しなかったものと推察される。

4. まとめ

吹付け操作を一定として、細骨材率を要因とした吹付け実験を行い、圧送性、付着性および初期強度への影響を確認した結果、本検討の範囲では、細骨材率を大きくすることにより、ポンプ油圧は低下し、リバウンド率が小さくなり、さらに初期強度発現も大きくなることが分かった。

参考文献

- 1) 犬塚隆明, 岩野圭太, 松本修治, 松村匡樹: 山岳トンネルにおける吹付けコンクリートの自動化, 土木学会第 74 回年次学術講演会, VI-1080, 2019.
- 2) 田沢栄一: ポンプ圧送技術の現状と問題点, コンクリート工学, Vol.21, No.11, pp.13-21, 1983.
- 3) (社) 日本トンネル技術協会: トンネルの吹付けコンクリート, P.144, 2005.
- 4) 荒木昭俊, 西村次男, 魚本健人: 吹付けコンクリートの特性に関する基礎的研究 (9), 生産研究, 50 巻 11 号, p.p. 434-437, 1998.11.

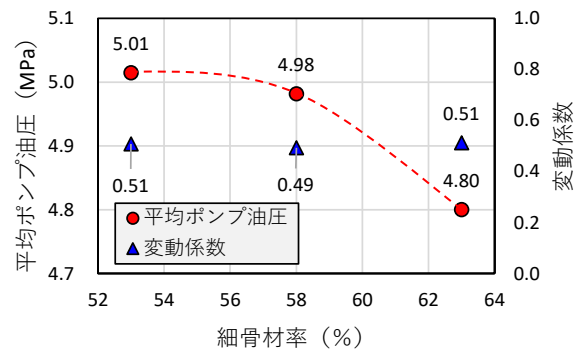


図-1 細骨材率と平均ポンプ油圧および変動係数との関係

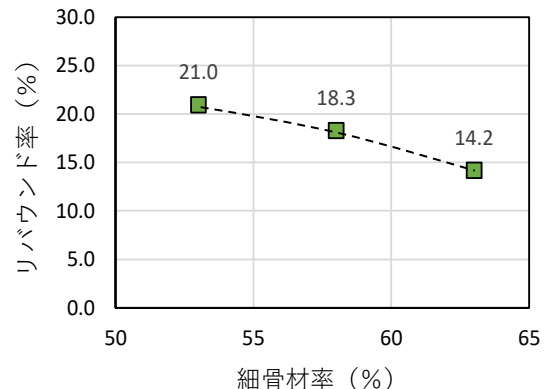


図-2 細骨材率とリバウンド率の関係

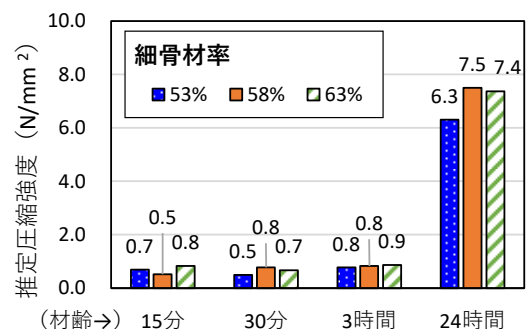


図-3 細骨材率毎の推定圧縮強度の推移