

吹付けコンクリートの強度発現性向上に関する研究

飛島建設 東北土木事業部 正会員 ○小川 勲, 正会員 寺島 佳宏
 飛島建設 東北土木事業部 大沼 正浩
 国土交通省 東北地方整備局 池口 正晃, 榎岡 民幸
 飛島建設 土木事業本部 正会員 平間 昭信, 正会員 熊谷 幸樹

1. はじめに

山岳トンネル工事においては、切羽近傍での作業における落石や、肌落ちによる災害の防止を図るべく、作業方法の改善や、切羽監視の強化などを行ってきた。その一つの方法として、鏡吹付けを実施している。

ここでは、掘削直後の切羽作業の更なる安全確保の一つの手法として、鏡吹付けコンクリートの強度発現性向上を提案し、配合、急結剤の種類・添加率を実験要因とした室内実験および現場での試験施工などにより強度発現性について検討を実施した。本報告は、現場で実施した試験施工の結果と、得られた試験結果を受けて、鏡吹付けコンクリートの初期材齢における目標強度について検討した結果を報告する。

2. 試験施工の概要

(1) 使用材料および配合

使用した材料を表-1に示す。混和材Σは、瞬結・初期高強度吹付け用急結剤との組み合わせにより、極めて早期に針状結晶のエトリングガイドを生成し、高い強度発現が得られる材料である。

検討配合を表-2に示す。一般配合は設計基準強度 18N/mm²の一般的な吹付けコンクリート配合であり、高強度配合は設計基準強度 36N/mm²の高強度吹付けコンクリートを参考とした配合である。超速硬配合は、混和材Σと瞬結・初期高強度吹付け用急結剤との組み合わせを対象とした配合である。

表-1 使用材料

材料種別	記号	名称または産地, 諸元
セメント	C	普通ポルトランドセメント, 密度 3.15 g/cm ³
水	W	井戸水
細骨材	S	伊達郡保原町産川砂, 表乾密度 2.59 g/cm ³ , 粗粒率 2.80, 吸水率 2.84 %
粗骨材	G	米沢市 6号砕石, 表乾密度 2.74 g/cm ³ , Gmax 15mm, 吸水率 0.79 %
混和材	Σ	エトリングガイド系混和材, 密度 2.60 g/cm ³
高性能減水剤	Ad	ポリエチレングリコール系高分子化合物
急結剤	Ac-1	一般吹付け用 カルシウムアルミネート鉱物系粉体急結剤
	Ac-2	瞬結, 初期高強度吹付け用 カルシウムサルフォアルミネート鉱物系粉体急結剤

(2) 試験項目および試験方法

JSCE-F 561-2005「吹付けコンクリートの圧縮強度試験用供試体の作り方」に準拠し、箱型枠に吹付けコンクリートを採取し、以下に示す強度発現性状に関する試験を実施した。

1) MEYCO 針貫入試験

ヨーロッパなどにおいて、材齢 1時間までの強度推定試験（測定範囲 0.2~1.0N/mm²）として用いられている MEYCO 針貫入試験機を用いて、吹付け後 1分からの初期強度を測定した。

2) 空気圧ピン貫入試験

MEYCO 針貫入試験の測定範囲を超えた時点で、空気圧式ピン貫入試験に切り替えて、材齢 60

表-2 検討配合

配合種別	目標スランブ (cm)	水セメント比 ^{※1} W/C (%)	単位量 (kg/m ³)					高性能減水剤 Ad
			水 W	セメント C	混和材 Σ	細骨材 S	粗骨材 G	
一般	10	64.5	245	380	—	955	673	—
高強度	18	44.7	210	470	—	949	669	C×1.4%
超速硬	18	48.9 (44.9)	220	450	40	921	649	—

※1: 超速硬配合における、W/Cの()の値は W/(C+Σ)である。

キーワード : 山岳トンネル, 吹付けコンクリート, 初期強度, 急結剤, 肌落ち

連絡先 : 〒960-025 福島県福島市町庭坂字遠原三 3-16 飛島建設株式会社大笹生作業所 TEL: 024-591-5698

分までの初期強度測定を行った。なお、試験方法は、JHS 726「空気圧式ピン貫入試験」に準拠した。

3. 初期強度試験結果

配合、急結剤種類および急結剤添加率を実験要因した初期強度試験結果を図-1に示す。

配合を一般配合とし、急結剤を一般吹付け用の Ac-1 を用いた吹付けコンクリートは、急結剤添加率を 7% から 10% に上げることでより推定圧縮強度は向上し、添加率 7% の材齢 60 分の圧縮強度 1.5N/mm² を添加率 10% では材齢 10 分で得られた。

急結剤が同一で、配合を高強度配合とした吹付けコンクリートは、一般配合の急結剤添加率 10% と同等の強度発現性であった。一般配合とは異なり、急結剤添加率を上げて推定圧縮強度は差異がない結果であった。これは、単位セメント量が 450kg/m³ であることから、一般吹付け用急結剤の一般配合における標準添加量 25.2kg/m³ に比べ、添加量が 45kg/m³ と多量に添加されたために、強度発現に差異が生じなかったと考えられ、高強度配合では添加率 7% 程度が上限値と思われる。

配合を超速硬配合とし、急結剤を速硬型の Ac-2 を用いた吹付けコンクリートは材齢 1 分で 1N/mm² と、一般的な吹付けコンクリートの材齢 10 分に相当する強度値を示した。材齢 5 分では、他のケースの材齢 60 分に相当する 2N/mm² 程度の強度が得られており、この組み合わせによる吹付けコンクリートの強度発現性状は極めて良好な強度発現性が確認された。

4. 鏡吹付けコンクリートの目標強度に関する検討

肌落ち岩塊を立方体として、厚さ 5cm の鏡吹付けコンクリートの押し抜きせん断抵抗で肌落ち岩塊を支持すると考えた場合の鏡吹付けコンクリートの目標強度について検討した。その結果を表-3に示す。吹付けコンクリート強度が 1.0N/mm² を確保できれば、全ての地山等級で辺長 1m 程度の肌落ち岩塊に抵抗できる。また、試験施工の結果より、一般の吹付けコンクリートは材齢 60 分で約 1.5N/mm² が得られている。以上より、鏡吹付けコンクリートは、より短時間で 1.5N/mm² を得ることが一つの指標となると考えられる。

5. まとめ

強度発現性の向上レベルをどの程度必要かについては、様々な考え方があ。汎用型の急結剤を変更せずに、配合を高強度に変更することにより、通常の吹付けコンクリートの材齢 1 時間強度 1.5N/mm² を材齢 10 分で確保することができる事が確認された。これにより、吹付けシステムは現状のままで対応でき、迅速に切羽作業の更なる安全確保の策を実施することが可能となる。

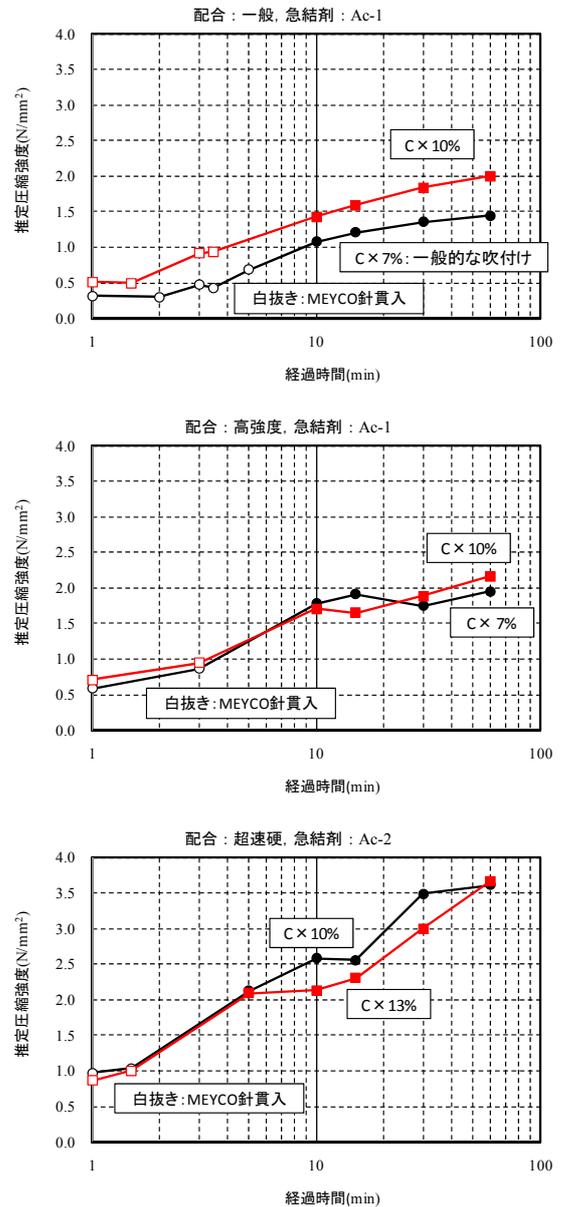


図-1 初期強度試験結果

表-3 鏡吹付けコンクリートの肌落ち岩塊に対する抵抗

吹付け強度 (N/mm ²)	換算せん断強度 (N/mm ²)	せん断抵抗 (kN)	肌落ち岩塊辺長 (m)	肌落ち岩塊重量 (kN)					判定
				D II	D I	C II	C I	B ³	
0.5	0.08	11.2	0.7	7.2	7.5	7.9	8.2	8.6	全地山で支持可能
		12.8	0.8	10.8	11.3	11.8	12.3	12.8	全地山で支持可能
		14.4	0.9	15.3	16.0	16.8	17.5	18.2	支持不能
1.0	0.17	34.0	1.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	全地山で支持可能
		37.4	1.1	28.0	29.3	30.6	31.9	33.3	全地山で支持可能
		40.8	1.2	36.3	38.0	39.7	41.5	43.2	C II, D で支持可能
		44.2	1.3	46.1	48.3	50.5	52.7	54.9	支持不能
1.5	0.25	75.0	1.5	70.9	74.3	77.6	81.0	84.4	D I, D II で支持可能
		80.0	1.6	86.0	90.1	94.2	98.3	102.	支持不能