

液体急結剤を用いた吹付けコンクリートの性状に及ぼす配合の影響

ポゾリスソリューションズ(株) 正会員 ○長澤 智也 正会員 松倉 隼人
正会員 高森 秀 正会員 馬場 勇介
ニシオティーアンドエム(株) 北 俊介

1. はじめに

近年、山岳トンネルの NATM の吹付けコンクリートでは、急結剤に求められる性能が変化しており、安全かつ粉じん・廃棄物発生量を低減できるアルカリフリー液体急結剤に期待が寄せられている。一方で、液体急結剤は従来の粉体急結剤と反応メカニズムが異なることから、それに適した配合を選定する必要がある。

一般的に吹付けコンクリートの単位セメント量は、一般強度配合では 360kg/m³ 以上、高強度配合では 450kg/m³ 以上とされるが¹⁾、液体急結剤を用いた場合には一般強度・高強度の区分に関わらず、経験的に 450kg/m³ 以上とされる場合が多い。これは、吹付け直後の十分な付着性を確保することを目的としたものであるが、この効果が単位セメント量の増大によるものなのか、あるいは結果的に W/C が低下したことによるものなのか明確でない。また、著者ら^{2),3)}

は液体急結剤を用いた場合の低温対策や湧水対策として、適切な W/C を選定することを提案しているが、実規模での施工性や強度等の検討は行っていない。

そこで本稿では、液体急結剤を用いた吹付けコンクリートの配合設計に関する基礎データを収集する目的で、模擬トンネルにおいて、液体急結剤を用いたコンクリート吹付け実験を行った。

2. 試験概要

単位セメント量や W/C が液体急結剤を用いた吹付けコンクリートの性状や凝結、圧縮強度に及ぼす影響を実規模吹付け実験によって検討した。表-1 に使用材料を示す。急結剤には、近年新たに開発したアルカリフリー液体急結剤(ソリューションタイプ)を用いた。表-2 にコンクリートの配合を示す。単位セメント量 450kg/m³、W/C 42%の配合をベースに、同一単位セメント量で W/C を 39%に低下させた配合、さらには単位セメント量を 480 kg/m³ および 500kg/m³ に増大させ、W/C をそれぞれ 39%および 36%とした配合について検討した。試験項目を表-3 に示す。試験温度(外気温)は、トンネル坑内の一般的な温度と同等の 15±2℃であった。また、液体急結剤の添加システムは、別報⁴⁾で選定したシャワーリングおよび長さ 55mm のノズルを用いた(写真-1)。なお、フレッシュコンクリートのスランブは 23±2cm、コンクリート温度は 16±2℃であった。

表-1 使用材料

	記号	種類	物理的・化学的性質
水	W	-	-
セメント	C	普通ポルトランドセメント	密度:3.15g/cm ³
細骨材	S	大阪府高槻産砕砂 / 大分県津久見産石灰砕砂	密度:2.66g/cm ³
粗骨材	G	大阪府茨木産砕石 1505	密度:2.69g/cm ³
混和剤	SP	高性能減水剤	ポリカルボン酸エーテル系化合物と分子間架橋ポリマーの複合体
急結剤	SA	アルカリフリー液体急結剤	水溶性アルミニウム塩(ソリューションタイプ)

表-2 配合

記号	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				SP (C×%)
			W	C	S	G	
450-42	42.0	60.0	189	450	1019	686	0.8
450-39	39.0	59.0	175	450	1022	702	0.9
480-39	39.0	58.0	187	480	973	713	0.9
500-36	36.0	56.0	180	500	939	748	1.2

表-3 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法
スランブ	JIS A 1101: 2020
空気量	JIS A 1128: 2020
コンクリート温度	JIS A 1156: 2014
吹付け性状	目視
ペネトレーション	EN 14488-2 Method A
ニードル試験	(デジタル試験機)
ブルアウト法による	JSCE-G 561-2010
初期強度試験	(材齢3時間、24時間)
圧縮強度試験	JSCE-F 561-2013
	JIS A1107: 2022 (材齢28日)



写真-1 シャワーリングおよびノズル

キーワード 液体急結剤, 吹付けコンクリート, 単位セメント量, 水セメント比, 凝結時間, 圧縮強度
連絡先 〒253-0071 神奈川県茅ヶ崎市萩園 2722
ポゾリスソリューションズ(株) 混和剤営業本部 UGC 営業部 TEL0467-84-9640

3. 試験結果および考察

3. 1 吹付け性状

液体急結剤の使用量をセメントの質量の9%(C×9%)とした場合、W/C 42%, 39%の配合は良好な吹付け性状を示し、適度な吹付け厚さを確保することができた。一方、W/C 36%の500-36はセメントと急結剤の反応が早いため、はね返り量や粉じんもやや多い傾向にあった。そこで、使用量を7%にすると、性状が改善された。一方その他の配合はC×11%に使用量を増大しても、良好な吹付け性状が得られた。

3. 2 凝結発現性

ペネトレーションニードルの試験結果をプロクター貫入抵抗値に換算した結果を図-1(C×9%)および図-2(C×11%)に示す。なお、換算には別報⁴⁾の計算式を用いた。何れの使用量の水準においても、測定開始時(吹付け後3分)の時点でほぼ終結に達しており、良好な凝結発現性を示した。また、W/Cが低いほど凝結の立上りが早くなる傾向にあった。同一W/Cの450-39および480-39の比較では、何れの使用量においても、単位セメント量が多い480-39の方がやや凝結の立上りが早かった。これは、単位セメント量の増大により、結果的にセメントペースト量が多くなり、フレッシュ性状・ポンプ圧送性が改善され、液体急結剤がより均一に混合された可能性があること、また水和熱の蓄積効果もあったものと推察される。

3. 3 圧縮強度

図-3に材齢3時間および24時間の圧縮強度試験結果を、図-4に材齢28日の圧縮強度試験結果を示す。何れの条件でも、材齢3時間強度は2N/mm²を上回ったが配合や使用量による大きな違いは認められなかった。また、材齢24時間強度は450-42を除く配合では10N/mm²を上回り、材齢28日強度は全配合において36N/mm²を上回った。同一W/Cの450-39および480-39の比較では、バラツキを考慮して考えると大きな違いはないと判断され、骨材等の使用材料の条件によっては、単位セメント量を極端に増大せず、施工できる範囲でW/Cを数%低下させることが品質向上に有効であることが認められた。配合強度が最も高い500-36は、C×7%の場合最も高い値を示したが、C×9%に使用量を増大すると、他の同一使用量の場合と同程度までに低下した。これは、セメントと急結剤の反応が早すぎるため、十分なコンパクションが得られなかったことが原因と推察され、3.1の目視観察結果と一致した。

4. まとめ

液体急結剤を用いた吹付けコンクリートの配合では、目標の吹付け性状・付着性、圧縮強度が得られるよう、コンクリート温度等を考慮したうえで、施工できる範囲で、単位セメント量、W/C、および急結剤使用量の3項目を適切なバランスで組み合わせることが必要であることが確認された。

参考文献

1) (公社)土木学会：吹付けコンクリート指針(案)トンネル編、コンクリートライブラリー121号、2005 2) 馬場勇介ほか：液体急結剤を用いた吹付けモルタルの凝結特性に関する検討、令和5年度土木学会全国大会第78回年次学術講演会、第V部門、2023.9(投稿中) 3) 高森秀ほか：液体急結剤を用いた吹付けモルタルの湧水対策に関する検討、令和5年度土木学会全国大会第78回年次学術講演会、第V部門、2023.9(投稿中) 4) 西堀裕介ほか：吹付けコンクリート用液体急結剤の添加システムの最適化に関する検討、令和5年度土木学会全国大会第78回年次学術講演会、第VI部門、2023.9(投稿中)

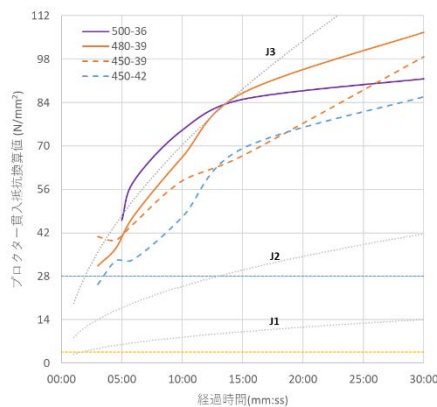


図-1 プロクター貫入抵抗換算値 (C×9%)

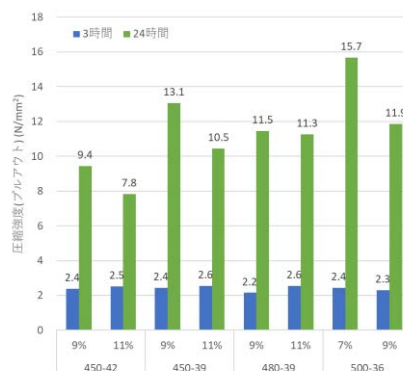


図-3 材齢3, 24時間圧縮強度

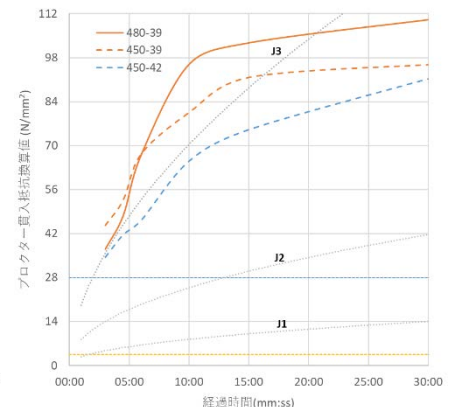


図-2 プロクター貫入抵抗換算値 (C×11%)

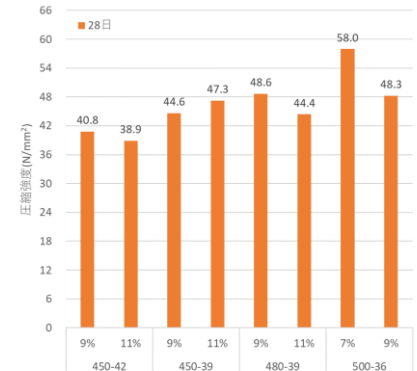


図-4 材齢28日圧縮強度