

劇物指定に伴う粉体急結剤代替品の適用

稲田 匠吾¹・河邊 信之²・横内 静二³

¹正会員 (株) 安藤・間 土木事業本部 技術第三部 (〒107-8658 東京都港区 赤坂6-1-20)
E-mail: inada.shogo@ad-hzm.co.jp

²正会員 (株) 安藤・間 土木事業本部 技術第三部 (〒107-8658 東京都港区 赤坂6-1-20)
E-mail: kawabe.nobuyuki@ad-hzm.co.jp

³ (株) 安藤・間 土木事業本部 先端技術開発部 (〒107-8658 東京都港区 赤坂6-1-20)
E-mail: yokouchi.seiji@ad-hzm.co.jp

2018年2月に開催された厚生労働省の薬事・食品衛生審議会(毒物劇物部会)において、現在、国内で流通している粉体急結剤の主要成分である「二酸化アルミニウムナトリウム」が劇物に指定された。これに伴い、2018年6月29日に劇物指定令の一部を改正する政令が公布され、従来国内で流通している粉体急結剤の使用に制限がかかることとなった。このような背景から、政令に抵触しない粉体急結剤の代替品が開発されている。本報告では、代替急結剤の現場への円滑な導入のために行った同急結剤の性能検証の結果について報告する。

Key Words : mountain tunnels, tunnel support, shotcrete, accelerating agent

1. はじめに

吹付けコンクリートは、山岳工法のトンネルにおいて、ロックボルトなどと並ぶ主要な支保部材のひとつである。吹付けコンクリートの特徴としては、一般の打込みコンクリートと異なり、コンクリートを圧縮空気によって吹き付けて施工すること、また急結剤を添加して型枠のない地山へ付着、硬化させ、早期に地山の安定を図るところにある。急結剤は、山岳工法における吹付けコンクリートの材料として一般的に使用されている。急結剤の役割としては、セメントの水和反応を促進し、吹付けコンクリートに急激な凝結作用ならびに初期の強度発現性を与え、吹き付けられたコンクリートの剥離、剥落を防ぐとともに、地山の変形を抑えて掘削された断面を保持する働きをコンクリートに付与するものである¹⁾。

急結剤においては様々な種類がある。表-1 に吹付けコンクリート用急結剤の分類を示す¹⁾。従来、主に国内で流通していた粉体急結剤はセメント鉱物系のカルシウ

ムアルミネート系に分類される。ただし、カルシウムアルミネート系に分類される粉体急結剤であっても、急結性を発揮させるため、アルミン酸塩も含まれる。二酸化アルミニウムナトリウムはアルミン酸塩に分類され、特にコンクリートの急結性を促進する作用がある。

一方、2018年2月に開催された厚生労働省の薬事・食品衛生審議会(毒物劇物部会)において、現在、国内で流通している粉体急結剤の主要成分である「二酸化アルミニウムナトリウム」が劇物に指定され、「毒物及び劇物指定令の一部を改正する政令及び毒物及び劇物取締法施行規則の一部を改正する省令」が平成30年6月29日に公布された。このことから、国内で流通している二酸化アルミニウムナトリウムを含む急結剤は、使用に制限がかかることとなった。

本報告では、従来より使用されてきた急結剤に代わる代替急結剤の円滑な導入のために行った同急結剤の試験施工の結果について報告する。

表-1 急結剤の分類¹⁾

形態	区分	成分
粉体	セメント鉱物系	カルシウムアルミネート系, カルシウムサルフォアルミネート系
	無機塩系	アルミン酸塩系
液体	酸性	水溶性アルミニウム塩系 (アルカリフリー)
	アルカリ性	無機塩系, アルミン酸塩系

表-2 セメントの凝結を早め早期強度を増進する主な材料²⁾(一部修正)

材料	作用・特徴
カルシウムアルミネート ($12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ ガラスなど)	水と反応して各種 Ca-Al-O-H ゲル, Al-O-H ゲルを生成する
カルシウムサルフォアルミネート	水と反応して各種 Ca-Al-O-H ゲル, Al-O-H ゲル, エトリンガイトを生成する
水酸化アルカリ (NaOH , KOH)	アルカリイオンがセメント表面の水和阻害層を取り除き, 水和を促進する
炭酸アルカリ (Na_2CO_3 , K_2CO_3)	CaCO_3 を生成し, セメントの水和を促進するほか, Al-O-H ゲルを生成して凝結する
アルミン酸ナトリウム (NaAlO_2)	加水分解し, Na^+ と Al-O-H ゲルを生成し, 水和を促進する

表-3 従来より市販されてきた主な粉体急結剤の種類とその主成分²⁾(一部修正)

形態	区分	品名	主成分
粉体	セメント鉱物系	ナトミック Type-5	カルシウムアルミネート系
		ナトミック Type-10	カルシウムサルフォアルミネート系

2. 代替急結剤について

表-2 にセメントの凝結時間を著しく短くし, 早期強度を増進する作用を持つ材料を示す²⁾。一般に急結剤はこれらの材料を混合して製品化されている。表-3 に従来より市販されてきた主な粉体急結剤とその主成分を示す²⁾。表-3 中のナトミック Type-5 (以下, 従来急結剤) は, カルシウムアルミネート系を主成分としており, 二酸化アルミニウムナトリウム (表-2 中のアルミン酸ナトリウム) を含む。これにより, 二酸化アルミニウムナトリウムを含まない急結剤 (以下, 代替急結剤) が代替品として開発された。

図-1 に土木学会の吹付けコンクリート (モルタル) 用急結剤品質規格 (JSCE-D 102-2013)³⁾ に準拠した, 材料メーカー実施の室内試験の結果を示す。従来急結剤における二酸化アルミニウムナトリウムによるセメントの水和反応の促進作用を補うため, 代替急結剤の急結剤添加率については「セメント量×9%」と, 従来急結剤に比べ 2%増加としている。硬化開始から材齢 3 日までの圧縮強度は, 従来急結剤, 代替急結剤ともに同程度である。材齢 7 日および材齢 28 日においては, 従来急結剤より代替急結剤が圧縮強度でやや劣るものの, 概ね遜色のない強度発現性を示している。

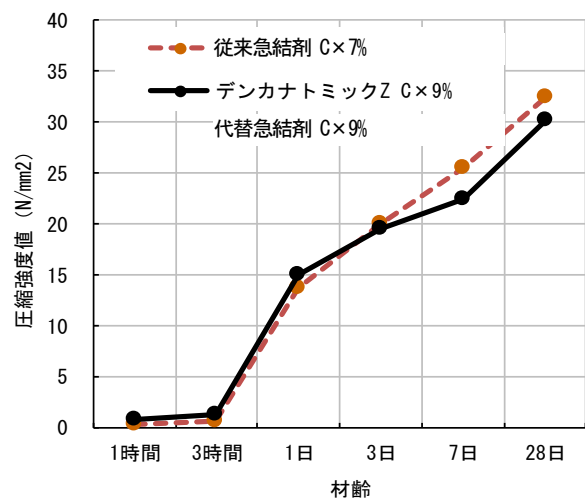


図-1 急結剤を添加したモルタルの強度発現性
※(デンカナトミック Z リーフレットより引用)

表-4 機械仕様

項目	仕様
吹付け機	GMB35C 理論吐出量: 25.0m³/h
送風機	3000m³/min
集塵機	2750m³/min (電気式)

ーンはCIIパターンであり, 吹付けは10cm, 当パターンにおける掘削には発破方式が用いられている。

(2) 使用機械

表-4 に実現場における吹付け機, 送風機および集塵機の仕様を示す。

3. 試験施工を実施したトンネルについて

(1) トンネル概要

試験施工を実施したトンネルは, 延長 1,231m の二車線の道路トンネルである。試験施工時の切羽の支保パタ

表-5 セメント・骨材材料諸元

材料	種類・産地	密度他
セメント	普通ポルトランドセメント(麻生セメント)	3.15g/cm ³ 、比表面積=3300cm ² /g
細骨材	砕砂(但東町産)	2.58g/cm ³ 、粗粒率=2.83
粗骨材	砕石 1505(但東町産)	2.68g/cm ³ 、粗粒率=6.49

表-6 吹付けコンクリート配合(18-10-15N)

呼び強度 (N/mm ²)	スランプ (cm)	粗骨材の 最大寸法 (mm)	水セメン ト比 (%)	細骨材率 (%)	単位量(kg/m ³)			
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G
18	10±2.0	15	60	55	216	360	956	816

4. 吹付けコンクリート仕様

(1) 使用材料

表-5 に試験施工にて使用したセメントおよび骨材の材料諸元を、図-2、3 に細骨材および粗骨材の粒度分布を示す。

(2) 吹付けコンクリート配合

表-6 に試験施工にて使用した吹付けコンクリートの配合を示す。

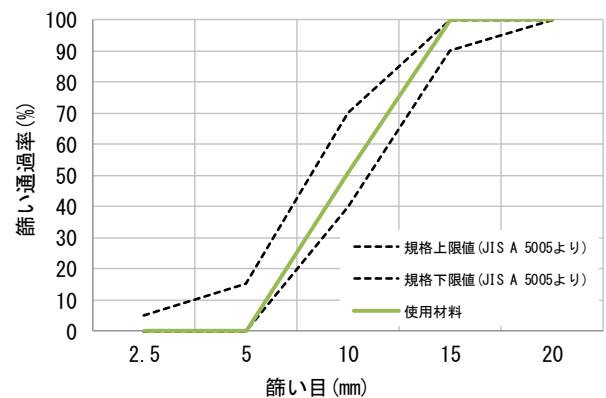


図-2 粒度分布(細骨材)

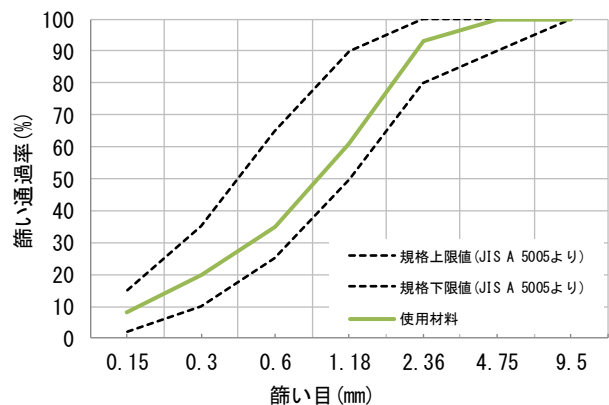


図-3 粒度分布(粗骨材)

5. 実現場における性能検証

(1) 試験パターン

表-7 に今回の性能検証における試験パターンを示す。性能検証の目的は、従来急結剤を用いた吹付けコンクリート (A パターン) の性能と、代替急結剤を用いた吹付けコンクリート (B パターン) の性能が、同等であることを確認するものである。急結剤添加率については、A パターンは実際に現場にて用いられている「セメント量×7%」を、B パターンは図-1 の結果に基づき「セメント量×9%」とした。なお、各パターンに用いる吹付けコンクリートの配合は表-6 に示す配合で同一とした。

(2) 切羽状況

写真-2 に試験施工時における切羽状況を示す。切羽は試験施工時において湧水はなく良好であった。なお、2種の急結剤を使用し、性能を比較することから、試験は2回に分けて検証を実施した。

(3) ベースコンクリート性状

写真-3 にベースコンクリート性状の確認状況を示す。各パターンにおいて、ベースコンクリートの性状をスランプ試験等により確認したところ、ともに管理値を満足

表-7 試験パターン

パターン	急結剤	添加率 (C×%)
A	従来急結剤	7.0
B	代替急結剤	9.0

した。また、ベースコンクリートの圧縮強度試験においても、材齢 7 日および材齢 28 日について、ともに管理値を満足した (表-8 参照)。

(4) はね返り量

写真-4 にはね返り量の測定状況を示す。はね返り量の測定は、土木学会のはね返り率試験方法(JSCE-F 563-



写真-2 試験施工時切羽状況



写真-3 ベースコンクリート性状確認状況(スランプ試験)



写真-4 はね返り量試験状況



写真-5 試験施工時坑内状況

2005)の「実構造物による吹付け」⁴⁾を参考に実施した。はね返り量の算出において吹付けコンクリートの実際の吐出量を把握する必要がある。コンクリートポンプのデジタルメーターに表示される吐出量(以下、設定吐出量)は、ピストンの作動回数により算出される理論吐出量であるため、実際の吐出量と差異が生じる。そこで、吐出量については1台の生コン車に搭載したコンクリート量を吹付けの施工に要した時間で除して算出し、これを実際の吐出量(以下、実測吐出量)とした。はね返り量は、パターンAに対し、パターンBは2%程度の増加となり、遜色のない結果となった。

(5) 発生粉じん量

写真-5に試験施工時の坑内状況を示す。各パターンにおいて、切羽より50m位置における発生粉じん量を測定した。結果、パターンAが1.6mg/m³に対し、パターンBは1.4mg/m³とほぼ同程度であった。

(6) 圧縮強度

吹付けコンクリートの圧縮強度を把握するため、材齢3時間、1日においては土木学会の初期強度試験(JSCE-

表-8 試験結果一覧

試験項目	単位	管理値	パターン A <従来>	パターン B <代替>
表面水率	%	-	9.0	6.2
スランプ	cm	10±2.0	12.0	11.5
空気量	%	-	1.3	2.0
コンクリート温度	℃	-	23	22
外気温	℃	-	28	25
圧縮強度 (ベースコンクリート)	N/mm ²	7日:-	17.8	17.1
		28日:18	26.2	26.5
急結剤添加率	C×%	-	7.0	9.0
設定吐出量	m ³ /h	-	15.8	16.1
実測吐出量	m ³ /h	-	14.3	14.3
はね返り量	-	-	1.00※	1.02※
発生粉じん量	mg/m ³	3.0以下	1.6	1.4

※)パターンAのはね返り量を1.00とした時の、パターンBの増加割合を示す。

G 561-2005) ⁵⁾を実施した。材齢 3 日, 7 日, 28 日においては土木学会の圧縮強度試験用供試体の作り方 (JSCE-F 561-2005) ⁶⁾より得られた円柱供試体を用いて圧縮強度試験を実施した。

写真-6 に供試体の採取状況を, 図-4 に圧縮強度の試験結果を示す。材齢 1 日において, パターン A は 11.9N/mm², パターン B は 10.1N/mm²となり, 自主管理値 5N/mm²を満足した (図-4 参照)。材齢 28 日において, パターン A は 27.3N/mm², パターン B は 25.3N/mm²となり, 発注者規格値 18N/mm²を満足した (図-4 参照)。これらより, 代替急結剤を使用した場合においても品質に問題ないことを確認した。

6. まとめ

本報告では, 代替急結剤と従来急結剤との性能比較による代替急結剤の性能検証について報告した。これにより, 代替急結剤の性能は, 従来急結剤の性能と遜色のないことを確認した。

一方, 今回の試験施工における切羽においては, 湧水がなく, 地山状況が良好な切羽であったことから, 湧水箇所における試験施工は行っていない。今後, 実現場において代替急結剤の運用を重ねることで, 多様な切羽状況における吹付けコンクリートの取り扱いについて確認したい。

謝辞: 試験施工を実施するにあたって, 多大なるご協力をいただいたデンカ株式会社をはじめ, 関係各位に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 吹付けコンクリート指針 (案) [トンネル編] 土木学会, pp.40-41, 2005.
- 2) 現場技術者のための吹付けコンクリート・ロックボルト 社団法人日本トンネル技術協会, pp.2-55-2-56, 2005.
- 3) コンクリート標準示方書[規準編] 土木学会, pp.33-36, 2013.



写真-6 供試体採取状況

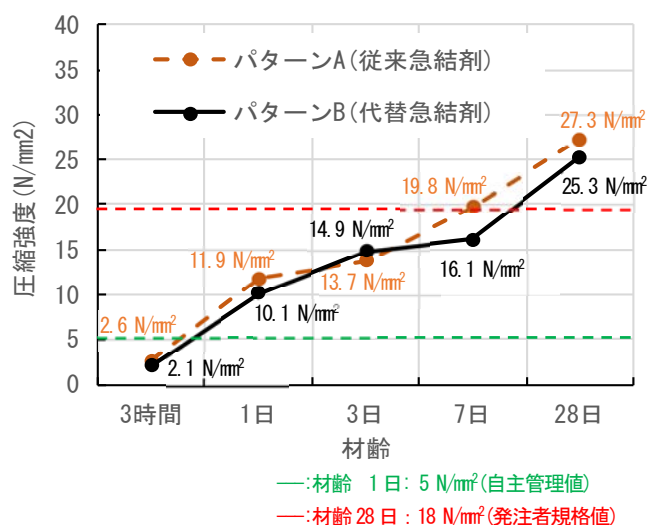


図-4 圧縮強度試験結果

- 4) 吹付けコンクリート指針 (案) [トンネル編] 土木学会, pp.102-105, 2005.
- 5) 吹付けコンクリート指針 (案) [トンネル編] 土木学会, p.122, 2005.
- 6) 吹付けコンクリート指針 (案) [トンネル編] 土木学会, p.94, 2005.

(2018. 8. 10 受付)

APPLICATION OF REPLACEMENT OF POWDER ACCELERATING AGENT WITH DESIGNATION OF DELETERIOUS SUBSTANCES

Shogo INADA, Nobuyuki KAWABE and Seiji YOKOUCHI

Aluminum Sodium Dioxide which is the main ingredient of the accelerating agent was designated as a deleterious substance in February 2018. As a result, the use of accelerating agents containing the substances in Japan was limited. Therefore, the substitutes of powder accelerating agent have been developed. Under such circumstances, in order to smoothly apply the substitutes of powder accelerating agent, we carried out trial construction of shotcrete with the substitutes of accelerating agent. This paper describes the results of trial construction.