

# JIS I 種フライアッシュを添加したスラリーショット 吹付けコンクリートの適用—境ヶ谷トンネル（四万十トンネル）工事—

Application of Shotcrete Using JIS Grade I Fly Ash and Slurry Type Accelerator  
in Sakaigatani Tunnel (Shimanto Tunnel)

岩城圭介<sup>※1</sup>  
Keisuke Iwaki

安永礼三<sup>※2</sup>  
Reizo Yasunaga

石本敏弘<sup>※3</sup>  
Toshihiro Ishimoto

東住也<sup>※4</sup>  
Sumiya Higashi

平間昭信<sup>※1</sup>  
Akinobu Hiram

## 【要旨】

国道 381 号道路改築（境ヶ谷トンネル）工事では、吹付けコンクリート工における発生粉じん量やはね返りの低減、品質の向上などを目的に、フライアッシュを添加した汎用型スラリーショットを適用した。適用にあたり、室内試験で最適と思われる配合を選定するとともに、試験吹付けを行った。本報告では、当該吹付けコンクリート配合の考え方、室内試験の内容について詳述する。

【キーワード】 吹付けコンクリート スラリー急結剤 フライアッシュ 凝結時間 強度発現

## 1. はじめに

山岳トンネルの吹付けコンクリートの施工では、旧労働省ガイドライン（平成 12 年 12 月）の公表を契機として、粉じんの低減による坑内作業環境の保全が重要な課題となっている。粉じん低減対策のひとつとして、スラリー急結剤を用いた吹付けコンクリート工法「スラリーショット」が挙げられる。本工法は、急結性、強度発現性に優れる粉体急結剤の連続スラリー化により低粉じんを実現しようとするものであり、一般的に用いられている高分子系の粉じん低減剤や欧州などで主流のアルカリフリー液体急結剤を用いた吹付けコンクリートと並び注目されている低粉じん型吹付けコンクリート工法のひとつである。

一方、近年の電力需要の増加などを背景として、石炭火力発電にともなう副産物である石炭灰（フライアッシュ）の有効利用の拡大が重要な課題となっており、吹付けコンクリート分野においても有効利用の取組みがなされている。フライアッシュを用いた吹付けコンクリートは、粘性付与効果により、粉じん低減、はね返り低減に効果があるとされる。

国道 381 号道路改築（境ヶ谷トンネル）工事では、合理的かつ高品質な吹付けコンクリートを実現すべく、JIS I 種フライアッシュを添加したスラリーショットによる吹付けコンクリートを適用した。適用に先立ち、室

内試験による配合検討を実施し、最適配合を選定した。また、試験吹付けによる配合修正および品質確認を行い、実施工に適用した。本報告では、一連の配合検討経緯について述べる。

## 2. 工事概要

境ヶ谷トンネルは、高知県高岡郡四万十町井崎～四万十市西土佐半家に位置する国道 381 号の道路改良工事であり、トンネル延長 981 m の 2 車線道路トンネルである。平成 17 年 4 月に掘削を開始し、平成 18 年 4 月に貫通、平成 19 年 6 月に四万十トンネルとして開通した（写真-1）。工事概要を以下に示す。

- ① 工事件名：国道 381 号道路改築（境ヶ谷トンネル）工事
- ② 工事場所：高知県高岡郡四万十町井崎～四万十市西土佐半家
- ③ 発注者：高知県須崎土木事務所 四万十町事務所
- ④ 工期：平成 16 年 10 月 13 日～平成 19 年 3 月 7 日
- ⑤ 請負者：飛島・大旺・生田組特定建設工事共同企業体
- ⑥ 地山岩種：砂岩・頁岩（図-1 参照）
- ⑦ トンネル延長：981 m
- ⑧ トンネル工法：NATM
- ⑨ 掘削方式：発破掘削
- ⑩ 掘削工法：上半先進ショートベンチカット工法（D）

1. 技術研究所 第三研究室 2. 土木事業本部 技術統括部 トンネル技術グループ  
3. 大阪支店 池田配水トンネル作業所 4. 関東土木支店 唐沢山トンネル作業所



写真-1 境ヶ谷トンネル（四万十トンネル）終点坑口

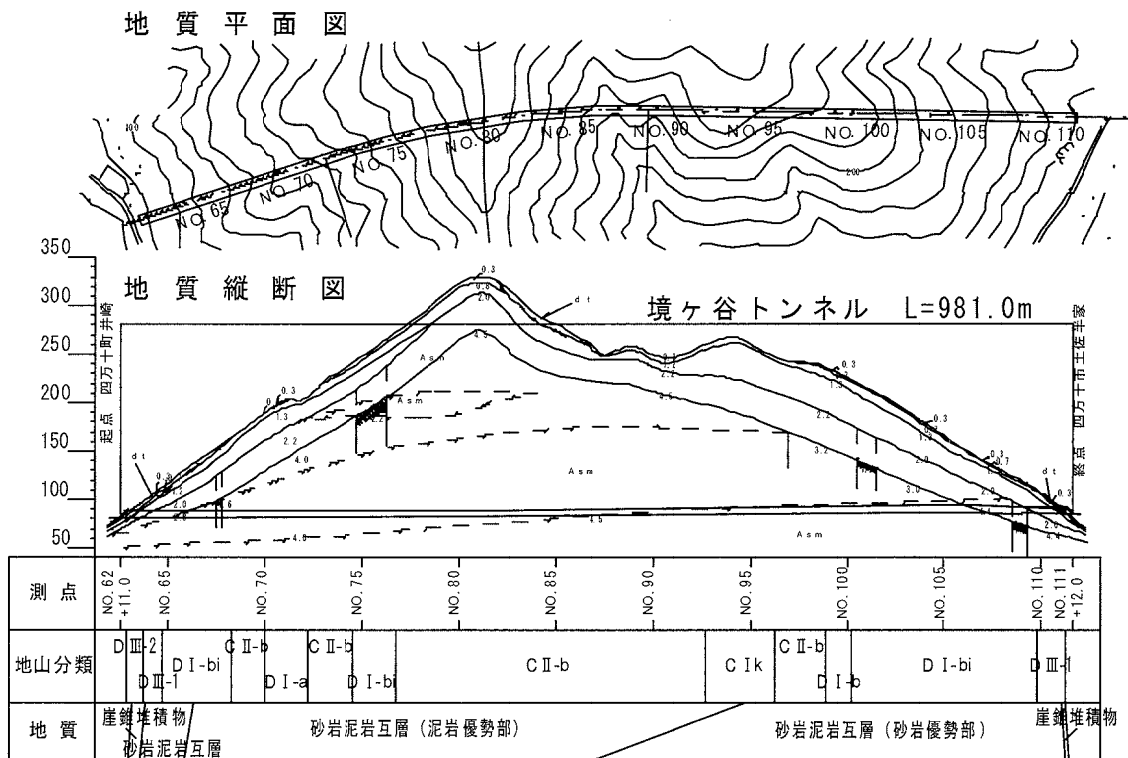


図-1 地質縦断図

補助ベンチ付全断面掘削工法（C）

- ⑩ 補助工法：垂直縫地（起点側坑口），AGF 工法（起点側坑口），充填式フォアボーリング，増ロックボルト，鏡ボルト

### 3. スラリーショットの概要

わが国における山岳トンネルの施工では、複雑な地質や湧水に対応するために、急結性に優れ、要求される強度発現を可能とする吹付けコンクリートが求められる。これらの理由から、わが国における吹付けコンクリート

では、急結性および強度発現性に優れるカルシウムアルミネート（CA）系粉体急結剤や高強度吹付けコンクリートに対応できるカルシウムサルフォアルミネート（CSA）系の粉体急結剤が用いられてきた。しかし、粉体急結剤は、コンクリートとの不十分な混合によりノズルから直接噴射される場合があり、粉じん発生源のひとつになり得る。

吹付けコンクリート施工時における一般的な粉じん低減対策としては、粉じん低減剤の添加が挙げられる。しかし、使用材料によっては、粉じん低減剤による過度

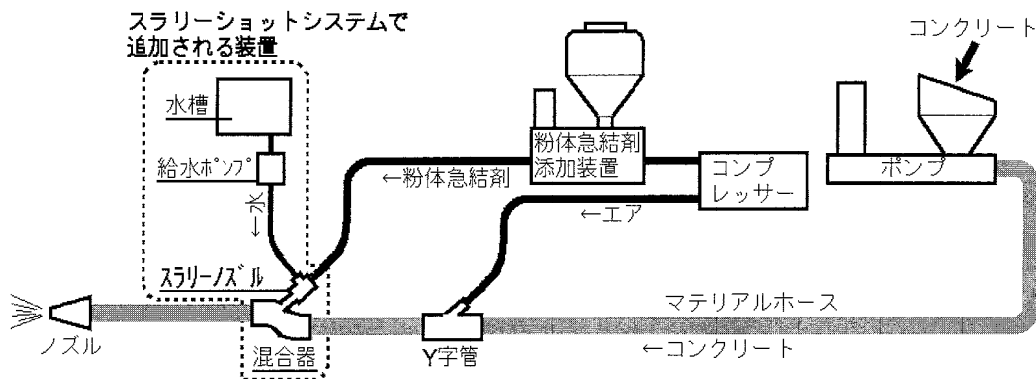


図-2 スラリーショットの配管システム例

な粘性付与が吹付けコンクリートの製造・施工に影響し、結果として、期待する粉じん低減効果を発揮できない場合がある。

また、比較的新しい粉じん低減対策としては、欧州で主流のアルカリフリー液体急結剤が挙げられるが、アルカリフリー液体急結剤は、粉体急結剤に比べて急結性・強度発現性が低く、わが国における山岳トンネルへの適用が難しいことが課題である。

これらに替わる粉じん低減対策として、スラリー急結剤を用いる吹付けコンクリート工法「スラリーショット」が開発されている。スラリーショットでは、図-2に示すように、スラリーノズルでCA系またはCSA系の粉体急結剤を連続的にスラリー化し、スラリー化した直後に配管内のコンクリートに添加する。一般的に用いられている粉体急結剤は、自硬性を有するためスラリー化、すなわち水との混合により管路の閉塞が懸念されるが、スラリーショットに用いる急結剤は、自硬性抑制の観点で改善を行ったものである。以下に、スラリーショットの主な特徴を列挙する。

- ① 粉体急結剤をスラリー化するため発生粉じんを低減でき、施工環境を改善できる。
- ② 壁面への付着性が向上し、はね返りの低減が図られる。
- ③ 粉体急結剤をスラリー化してコンクリートに添加するため混合性が改善され、均質な吹付けコンクリートが得られる。
- ④ 粉体急結剤を用いることにより、従来の粉体急結剤と同等の優れた強度発現が得られる。
- ⑤ 図-2に示すように、追加設備が簡易であり、現行の吹付けシステム（湿式、乾式）に速やかに適用が可能である。

CSA系急結剤を用いたスラリーショットは、中央自動車道（改築）新岩殿トンネル工事における繊維補強吹付けコンクリート試験施工での初適用<sup>1)</sup>および第二東名高速道路 静岡第六トンネルでの高強度吹付けコンクリート（設計基準強度 36 N/mm<sup>2</sup>）への実施工初適用<sup>2)3)</sup>

以降、多数のトンネル工事において適用され、各現場において優れた粉じん低減効果が示されている。

また最近では、CA系急結剤を用いた一般強度の吹付けコンクリート（設計基準強度 18 N/mm<sup>2</sup>）にも適合可能な「汎用型スラリーショット」のバリエーションが加わり、東海北陸自動車道飛騨トンネル避難坑工事<sup>4)</sup>、遠野第二生活貯水池洪水吐トンネル工事<sup>5)</sup>などの実施工において、その有効性が示されている。

#### 4. 吹付けコンクリートにおけるフライアッシュの利用

吹付けコンクリートにおけるフライアッシュの添加方法としては、従来から細骨材置換が採られており、付着性を利用した湧水箇所への適用や粉じん・はね返りの低減を目的とした分級フライアッシュの適用<sup>6)</sup>が行われている。他方では、セメント置換で石炭灰原粉を吹付けコンクリートに添加し、強度などの品質を確保しつつコストを縮減する適用<sup>7)8)</sup>も進められている。ここでは、JIS I種フライアッシュを用いた吹付けコンクリートの特徴およびセメント置換で石炭灰原粉を用いた例を以下に示す。

##### 4.1 JIS I種フライアッシュを用いた吹付けコンクリートの特徴

JIS I種に分類される分級フライアッシュの品質を表-1に示す。JIS I種フライアッシュは、比表面積が大きく微粒であることがわかる。これにともない、ポゾラン反応性が高く活性度（強度発現性）が高いと考えられる。また、フロー値比が高いため、単位水量の低減効果が期待できる。以上より、JIS I種フライアッシュは、減水剤と結合材の効果を併せ持つ材料と位置づけられる。

また、既報<sup>9)</sup>によると、JIS I種フライアッシュ 100 kg/m<sup>3</sup>程度を吹付けコンクリートに細骨材置換で添加することで、コンクリートに適度な粘性を付与し、高い粉じん低減効果が得られるとされる。

表一 JIS I種フライアッシュの品質（四電ビジネス提供 平成16年11月度）

項目		試験値	JIS A 6201によるフライアッシュの規定値				
			I種	II種	III種	IV種	
二酸化珪素	%	58.1	45.0以上	45.0以上	45.0以上	45.0以上	
湿分	%	0.06	1.0以下	1.0以下	1.0以下	1.0以下	
強熱減量	%	2.00	3.0以下	5.0以下	8.0以下	5.0以下	
密度	g/cm <sup>3</sup>	2.40	1.95以上	1.95以上	1.95以上	1.95以上	
粉末度	45μmふるい残分	%	—	10以下	40以下	40以下	70以下
	比表面積	cm <sup>2</sup> /g	5400	5000以上	2500以上	2500以上	1500以上
フロー値比	%	111	105以上	95以上	85以上	75以上	
活性度指数	28日	%	94.0	90以上	80以上	80以上	60以上
	91日	%	112.0	100以上	90以上	90以上	70以上

表二 汎用スラリーショットの配合例<sup>9)</sup>

配合種別	目標スランプ (cm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					急結剤 (kg/m <sup>3</sup> )		
				セメント C	水 W	細骨材 S	粗骨材 G	急結助剤 SD	粉体急結剤 Ac-P	スラリー用粉体急結剤 Ac-S	スラリー水 Ws
通常配合	10±2	58.9	60.0	360	212	1052	693		C×7% 25.2		
汎用スラリー	15±2	55.0	63.0	400	220	1069	620	C×0.05% 0.200		C×6.3% 25.2	Ac-S×100% 25.2

#### 4.2 石炭灰原粉の適用例

JIS I種フライアッシュに比べて低品質な石炭灰原粉のセメント置換による適用例2工事（平瀬トンネル工事、仏経山トンネル西工事）に関する既報<sup>7) 8)</sup>によると、セメント置換率30%の配合において、通常配合と同等の品質の吹付けコンクリートが得られた。これは粉体急結剤のポズラン反応促進効果により、石炭灰原粉のセメント置換による凝結・強度発現の遅延がある程度解消できたことによると考えられる。

よって、より高品質なJIS I種フライアッシュをセメント置換で添加した場合であっても、品質低下を招くことはないと推測される。

### 5. 最適配合の考え方

#### 5.1 汎用型スラリーショットの課題

汎用型スラリーショットの配合例を表二に示す。表中の通常配合との比較から、汎用型スラリーショットの配合面での課題として以下の事項が挙げられる。

- ① スラリー急結剤に含まれる水の混入を考慮して、ベースコンクリートの水セメント比を低減するため、単位セメント量が400 kg/m<sup>3</sup>程度（通常に比べ40 kg/m<sup>3</sup>増加）の配合がよく用いられる。
- ② セメント量の増加にともなう粘性の増加が施工性に与える影響を回避するために、スランプを15 cmに設定している。よって、単位水量が通常より10 kg/m<sup>3</sup>程度多くなる。

#### 5.2 JIS I種フライアッシュを用いた汎用型スラリーショットの配合の考え方とその期待効果

本工事では、汎用型スラリーショットの有する課題に対するJIS I種フライアッシュの利用による改善を目指した。すなわち、汎用型スラリーショット配合を基本として、JIS I種フライアッシュをセメント置換で添加することで単位水量を低減し、結果として、水結合材比一定のもと単位結合材量および単位セメント量の低減を図ることとした。

計画当初に想定した検討配合を表三に示す。ここで、標準配合Nは、粉じん低減剤を用いた一般的な配合であり、フライアッシュ配合Fは、粉じん低減剤を用いずJIS I種フライアッシュを100 kg/m<sup>3</sup>細骨材置換した配合である。さらに、汎用スラリー配合Sは、汎用型スラリーショットで一般的な単位セメント量が400 kg/m<sup>3</sup>の配合である。一方、FAスラリー配合FS-1~3配合は、本工事で提案する配合系であり、汎用スラリー配合のセメントの一部をJIS I種フライアッシュで置換するとともに、これにともなう減水効果を期待して単位水量を減じた配合である。FS配合系では、実施工において、以下のような効果が期待できる。

- ① スラリーショットとJIS I種フライアッシュの粉じん低減の相乗効果が期待できる。
- ② 微粒分混入による粘性付与によるはね返り低減が期待できる。

表-3 検討配合

配合名	記号	配合要因		単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			混和剤		急結剤	
		W/C (%)	W/B (%)	水 W	結合材 B		粉じん低減剤 DR	急結助剤 SD	粉体 Ac-P	スラリー Ac-S
					セメント C	フライアッシュ FA				
標準配合	N	58.3	58.3	210	360	0	○	—	○	—
フライアッシュ配合	F	52.8	41.3	190	360	100	—	—	○	—
汎用スラリー配合	S	55.0	55.0	220	400	0	—	○	—	○
FAスラリー配合-1	FS-1	59.7	54.4	215	360	35	—	○	—	○
FAスラリー配合-2	FS-2	68.3	51.3	205	300	100	—	○	—	○
FAスラリー配合-3	FS-3	74.5	54.7	205	275	100	—	○	—	○

表-4 試験配合とスランプ試験結果

配合名	記号	目標スランプ (cm)	W/C (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )							スランプ (cm)
						C	FA	W	S	G	DR	SD	
標準配合	N	10.0	59.4	59.4	60.0	360	0	214	1009	689	0.360		10.0
フライアッシュ配合	F	10.0	56.7	44.3	58.0	360	100	204	928	689			10.0
汎用スラリー配合	S	15.0	55.0	55.0	58.8	400	0	220	961	689		0.200	11.5
FAスラリー配合-1	FS-1	15.0	60.8	55.0	58.7	360	38	219	956	689		0.199	16.0
FAスラリー配合-2	FS-2	15.0	69.3	52.0	58.9	300	100	208	966	689		0.200	14.5
FAスラリー配合-3	FS-3	15.0	75.1	55.0	59.7	273	100	205	996	689		0.187	14.5

③ 「フライアッシュを用いた吹付けコンクリート」は、グリーン購入法の平成16年度追加品目であるため、環境配慮への取組みにも位置づけられる。

## 6. 室内試験による配合検討

### 6.1 使用材料

室内試験の使用材料を以下に示す。セメント、練混ぜ水以外の材料は、本工事で使用予定の材料を用いた。

- ① セメント C：普通ポルトランドセメント，密度 3.15 g/cm<sup>3</sup>
- ② フライアッシュ FA：JIS I 種フライアッシュ，密度 2.40 g/cm<sup>3</sup>
- ③ 細骨材 S：高知県土佐清水市布崎沖産，海砂，粗粒率 2.70，表乾密度 2.58 g/cm<sup>3</sup>，吸水率 2.60%
- ④ 粗骨材 G：高知県中村市三里産，砕石 1505，粗粒率 6.38，表乾密度 2.64 g/cm<sup>3</sup>，吸水率 0.76%
- ⑤ 練混ぜ水 W：水道水
- ⑥ 粉じん低減剤 DR：セルロース系
- ⑦ 急結助剤 SD：水溶性高分子化合物（汎用型スラリーショット用）
- ⑧ 急結剤 Ac-P：カルシウムアルミネート系（一般用）
- ⑨ 急結剤 Ac-S：カルシウムアルミネート系（汎用型スラリーショット用）

### 6.2 コンクリートの試験練りによる配合選定

#### (1) 試験方法

- ① 練混ぜ：モルタルミキサ（容量 10 リットル）使用，

計量 7 リットル分，練混ぜ時間 3 分間

- ② フレッシュコンクリートの試験：コンクリートのスランプ試験方法（JIS A 1101）およびタッピング・触指によるフレッシュ性状評価
- ③ 硬化コンクリートの試験：コンクリートの圧縮強度試験方法（JIS A 1108）材齢 7 日，28 日

#### (2) フレッシュコンクリートの試験結果

試験練りにおける目標スランプは，粉体急結剤を用いる配合で 10.0±2.0 cm，スラリー急結剤を用いる配合で 15.0±2.0 cm とし，配合修正によるスランプの修正とフレッシュ性状の改善を行った。試験配合とスランプの結果を表-4 に示す。また，各配合のフレッシュ性状を以下に示す。

- ① 標準配合 N：単位水量を 214 kg/m<sup>3</sup> で目標スランプ 10.0 cm を満足した。粉じん低減剤による過度な粘性がなく，良好な流動性を有するフレッシュ性状を示した。
- ② フライアッシュ配合 F：単位水量 204 kg/m<sup>3</sup> で目標スランプを満足し，フライアッシュによる減水効果が確認された。しかし，フレッシュ性状は，粘性が過度に高いものであった。施工性を考慮すると，目標スランプを当初 10.0 cm から 12.0 cm 程度に修正すべきである。
- ③ 汎用スラリー配合 S：単位水量 220 kg/m<sup>3</sup> でスランプが 11.5 cm と目標スランプ 15.0 cm を満足しなかったが，フレッシュ性状は，若干浮き水がみられるものの適度な粘性があり，良好であった。よって，S 配

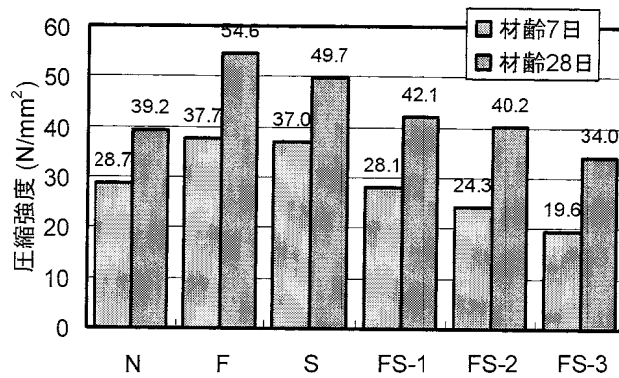


図-3 ベースコンクリートの圧縮強度試験結果

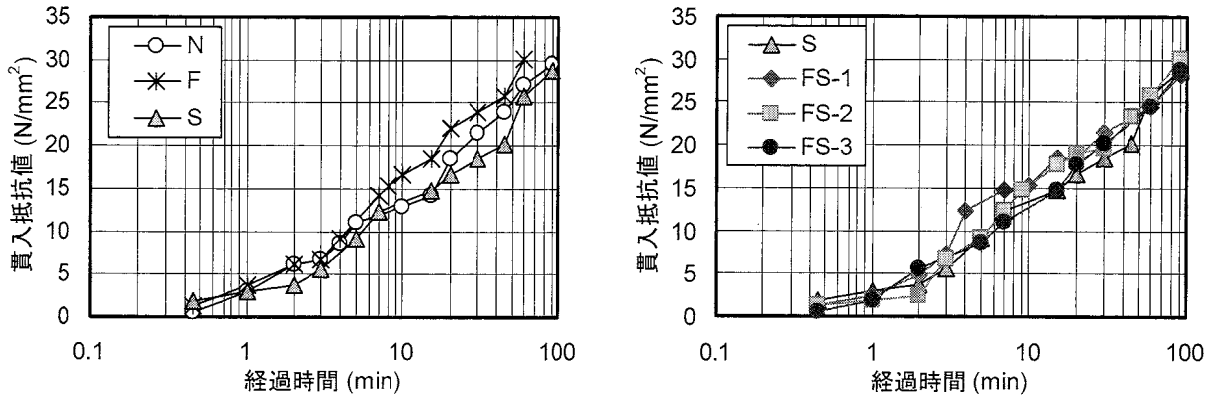


図-4 凝結試験結果 (左: N, F, S, 右: S, FS-1, FS-2, FS-3)

合では、目標スランプを 12 cm に修正し、本配合を採用した。

- ④ FA スラリー配合: FS-1, FS-2, FS-3 配合では、それぞれ単位水量  $219 \text{ kg/m}^3$ ,  $208 \text{ kg/m}^3$ ,  $205 \text{ kg/m}^3$  で目標スランプ 15.0 cm を満足した。また、各配合とも、良好なフレッシュ性状を示した。

N 配合と F 配合の比較および S 配合と FS 系配合の比較により、フライアッシュによる減水効果は、顕著であり、 $100 \text{ kg/m}^3$  程度のフライアッシュ単位量で、 $10 \text{ kg/m}^3$  程度の単位水量を低減できることが示された。

### (3) 圧縮強度試験結果

急結剤を添加していないベースコンクリートの圧縮強度試験結果を図-3 に示す。フライアッシュを細骨材置換した F 配合では、最も高い強度を示し、フライアッシュの結合材としての性能を示した。しかし、フライアッシュをセメント置換した FS 系配合では、材齢 7 日、28 日ともに S 配合に比べて低い強度を示し、緩慢なポズラン反応による強度発現の遅延を示す結果であった。

## 6.3 モルタルによる凝結性状・強度発現性状の試験

### (1) 試験方法

急結剤を添加した場合の各配合の性能評価を目的に、モルタルを用いた凝結性状、強度発現性状の試験を実施した。試験方法を以下に示す。

- ① 凝結性状: 土木学会コンクリート標準示方書規準編 JSCE-D 102 「吹付けコンクリート用急結剤品質規格」 付属書「貫入抵抗によるモルタルの凝結試験時間測定方法」に準拠した。なお、急結剤の添加方法は、既往の研究<sup>9)</sup>に基づき、実際の吹付けにおける凝結性状を反映可能な湿式練混ぜ方式(モルタル先練りし、急結剤後添加)を採用した。また、スラリー急結剤の混合は、先練りしたモルタルに粉体急結剤とスラリー水を同時に投入する方法を採用した。

- ② 強度発現: 土木学会コンクリート標準示方書規準編 JSCE-D 102 「吹付けコンクリート用急結剤品質規格」に準拠した。なお、急結剤の添加方法は、上記凝結試験と同様とした。試験材齢は、初期強度の範囲で 3 時間、24 時間、長期強度の範囲で材齢 7 日、28 日の試験材齢を設定した。

### (2) 試験配合

モルタルの試験では、表-4 の各コンクリート配合から粗骨材を除外したモルタル配合を用いた。また、急結剤は、外割添加とし、コンクリート配合における粉体量を  $25.2 \text{ kg/m}^3$  一定で用いた。

### (3) 凝結性状の試験結果

N, F, S 配合の凝結試験結果を図-4 左に、また、FA スラリー配合を含むスラリーショット配合 (S, FS-1, FS-2, FS-3 配合) の凝結試験結果を図-4 右に示す。

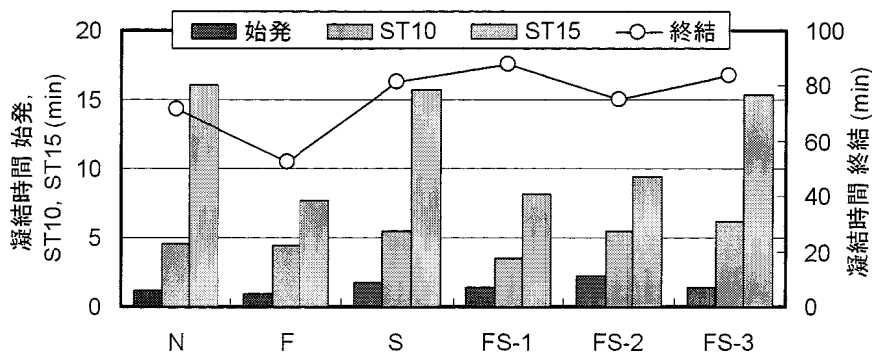


図-5 凝結時間の指標

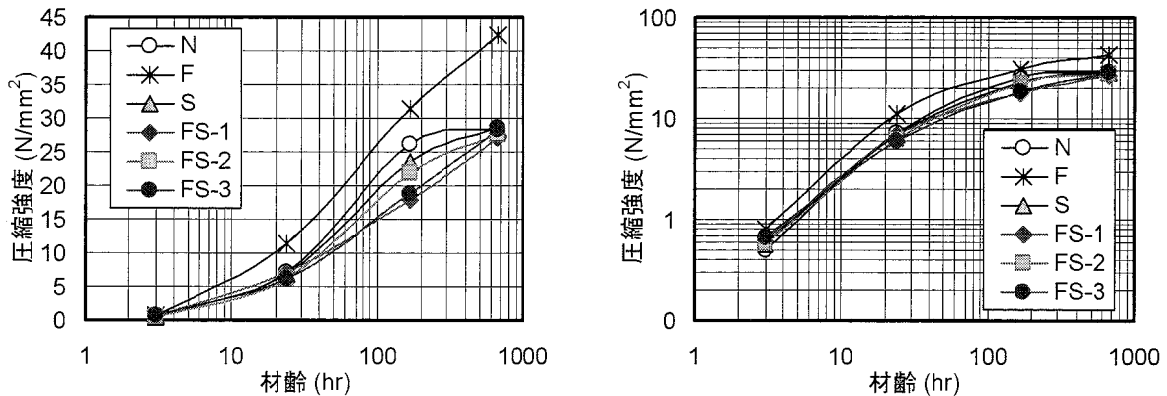


図-6 強度発現 (右: 縦軸対数表示)

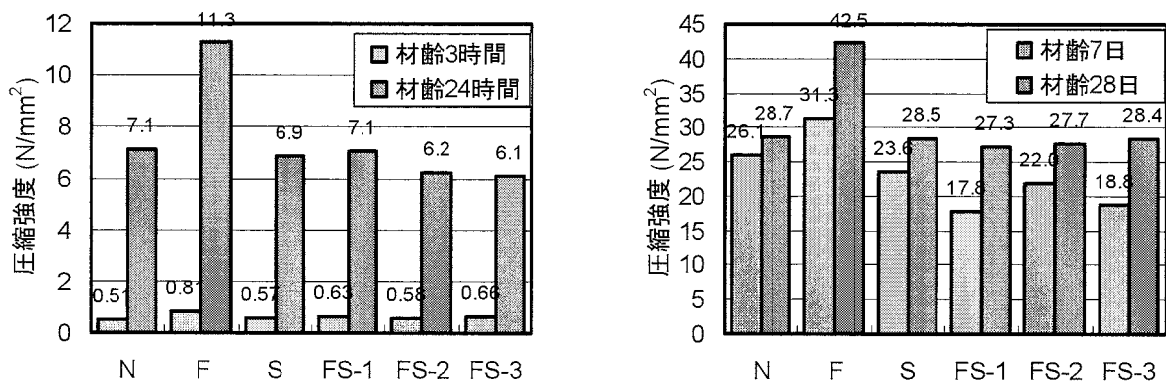


図-7 圧縮強度試験結果 (左: 材齢3時間, 24時間, 右: 材齢7日, 28日)

図-4 左に示す N, F, S 配合に関しては, 急結剤添加後の数分間でスラリー急結剤を用いた S 配合が粉体急結剤を用いた N, F 配合に比べて低い貫入抵抗値を示した. これは, スラリー急結剤の特徴である可塑性を有する初期凝結性状<sup>10)</sup>を表すものである. また, 数分後以降では, 結合材量の多い F 配合が高い貫入抵抗値を示し, N 配合と S 配合は同等の値を示した. 一方, 図-4 右に示す 4 種類のスラリーショット配合 (S, FS-1, FS-2, FS-3 配合) の凝結性状に関しては, セメント・フライアッシュの単位量が異なるものの, ほぼ同等の凝結性状を示した.

凝結時間に関する指標としては, 貫入抵抗値が 3.5,

28 N/mm<sup>2</sup> となる始発, 終結時間が知られている. 本検討では, 吹付けコンクリートの附着性や剥落の観点で特に重要な急結剤添加後初期の凝結性状をも把握するために, 始発時間, 終結時間に加え, 貫入抵抗値が 10, 15 N/mm<sup>2</sup> となる経過時間 ST10, ST15 (分)<sup>7)</sup> を求め, 凝結時間の指標とした. 各配合種別の凝結時間の指標を図-5 に示す. これらの結果より, FS-1, FS-2, FS-3 の各配合は, S 配合に比べて単位セメント量が少ないにもかかわらず, S 配合と同等以上で, N 配合に匹敵する急結性を有していることがわかる. これは, 既報で示したフライアッシュによる物理的な充填効果<sup>7),8)</sup>によるものと考えられる.

#### (4) 強度の試験結果

各配合の強度発現を図-6 に、材齢 3 時間、24 時間および材齢 7 日、28 日の強度試験結果をそれぞれ図-7 左・右に示す。各配合とも、材齢 28 日の圧縮強度は、設計基準強度  $18 \text{ N/mm}^2$  を満足する結果であった。

また、各材齢を通じて F 配合が他の配合に比べて強度が高い強度を示した。これは、結合材量が他の配合に比べて多いことに起因すると考えられる。

F 配合以外の各配合では、材齢 7 日で N, S 配合が FS 系配合に比べて高い強度を示したが、材齢 3 時間、24 時間、28 日では、ほぼ同等の強度発現を示し、材齢 24 時間で  $6 \sim 7 \text{ N/mm}^2$ 、材齢 28 日で  $27 \sim 29 \text{ N/mm}^2$  の圧縮強度であった。材齢 24 時間以内の初期材齢においては、凝結性状で示された物理的な充填効果により、結合材量の影響が支配的であったと考えられる。また、材齢 7 日においては、ベースコンクリートの強度試験結果と同様に、フライアッシュの緩慢なポゾラン反応により、若干の強度発現の遅延を示したと考えられる。しかし、材齢 28 日においては、急結剤によるフライアッシュのポゾラン反応の促進効果<sup>7)8)</sup>により、フライアッシュの強度への寄与が大きくなり、結果として、スラリー急結剤中の水量を考慮した水結合材比が同等である N, S, FS-1, FS-2, FS-3 配合でほぼ同等の強度発現が得られたと考えられる。

#### 6.4 室内試験による配合選定

以上の結果より、フライアッシュを添加した汎用型

スラリーショットの各配合 (FS-1, FS-2, FS-3 配合) は、いずれもフレッシュ性状に優れ、凝結性状、強度発現性状においても N 配合と同等の性能を有することが示された。よって、各配合とも現場適用が可能と考えられ、中でも、経済性に最も優れる FS-3 配合を選定し、実機試験練りを行った。

#### 7. 実機試験練り・試験吹付け

実機プラント (ミキサ: 容量  $0.5 \text{ m}^3$ , パン型強制練り; 写真-2) でのコンクリート製造の試行と骨材変更による配合修正を目的に実機試験を行った。骨材の品質を以下に示す。

- ① 細骨材 S: 高知県土佐清水市布崎沖産, 海砂, 粗粒率 3.19, 表乾密度  $2.58 \text{ g/cm}^3$ , 吸水率 1.60%
- ② 粗骨材 G: 愛媛県北宇和郡松野町蕨生産, 6 号碎石, 表乾密度  $2.65 \text{ g/cm}^3$ , 吸水率 1.16%

実機試験練りにおけるスランブ試験およびフレッシュ性状 (写真-3 参照) から最終的に選定した配合を表-5 に示す。本配合では、単位セメント量, 単位フライアッシュ量, 単位水量を室内試験結果に基づき同等とし、細骨材率の増加により骨材変更にとまなうフレッシュ性状の改善を図った。

また、本配合の試験吹付けをトンネル坑口部で行った。吹付けシステムは、エレクター付き吹付けシステム (スラリーショットシステム (制御盤, 水タンク, 水ポンプ, ノズル, 流量計, 他) 搭載, 理論吐出量  $25 \text{ m}^3/\text{h}$ , 実吐出量  $16 \text{ m}^3/\text{h}$ ; 写真-4 参照) である。

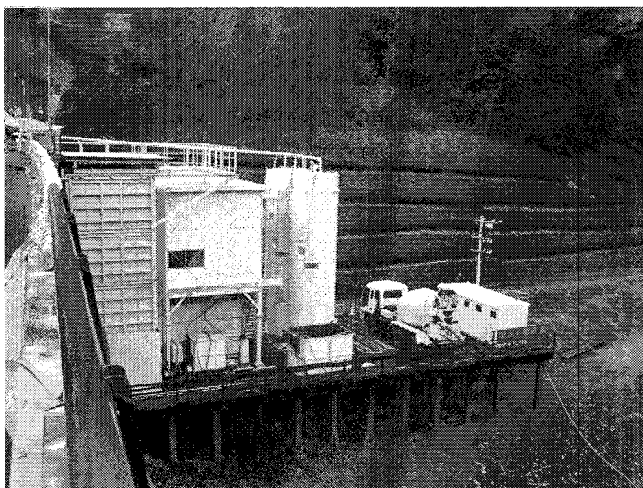


写真-2 実機プラント

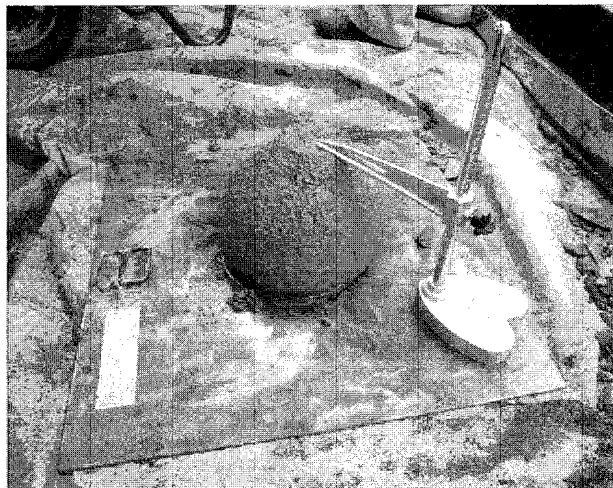


写真-3 スランブ試験状況 (スランブ 14.5 cm)

表-5 実機試験練りによる選定配合

配合番号	目標スランブ (cm)	W/C (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位量 ( $\text{kg/m}^3$ )						急結剤 ( $\text{kg/m}^3$ )	
					C	CA	W	S	G	SD	Ac-S	W'
FS-3	15.0	75.1	55.0	65.5	273	100	205	1093	591	0.187	25.2	20.2



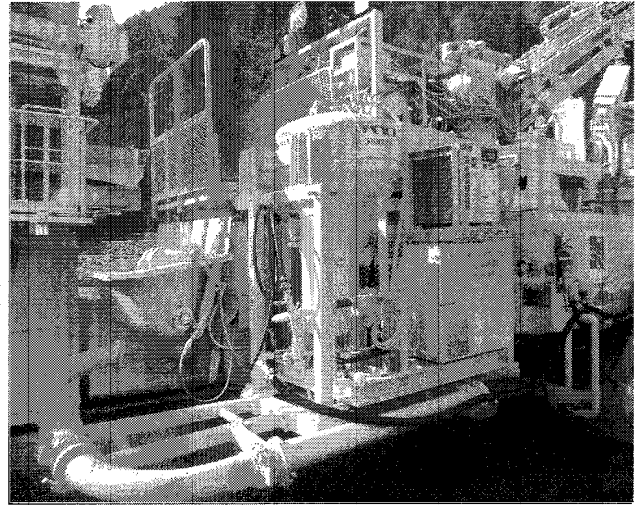
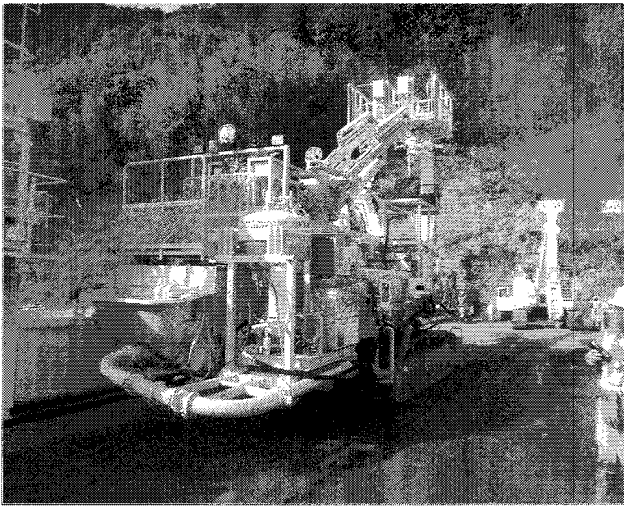


写真-4 吹付けシステム (右:急結剤添加装置)

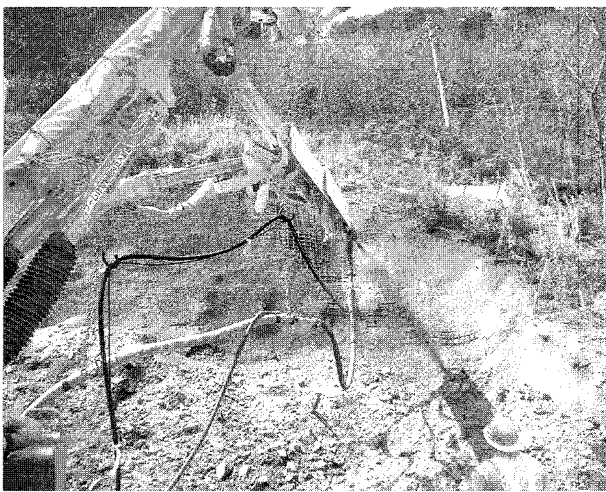


写真-5 試験吹付け状況

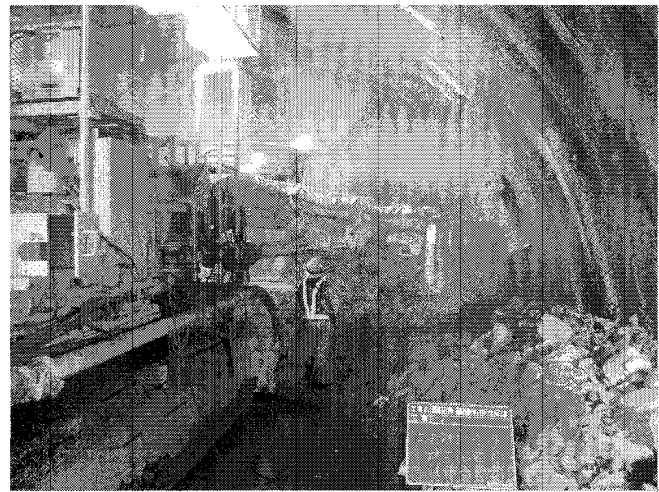


写真-6 吹付けコンクリートの施工状況

表-6 試験吹付けにおける強度試験結果

材 齢 (日)		1	7	28
設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )		—	—	18
圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ベースコンクリート	—	14.7	26.1
	吹付けコンクリート	6.4	14.0	23.5

試験吹付けの状況を写真-5に示す。吹付け性状は、附着性、急結性に優れ、はね返り量も少ないように見受けられた。また、粉じんに関しては、昼間坑外吹付けであり不明確であったが、間欠吐出にともなう粉じんの増減がみられず、FA スラリー配合の粉じん低減効果が期待できる結果であった。また、強度試験結果は、表-6に示すように、材齢 28 日において設計基準強度を満足するものであった。

以上の結果を受け、本配合を実施工に適用し、特にトラブルもなく、順調な吹付け施工を完了した。また、ガイドラインの基準を満足する低い粉じん量の吹付け作

業を実現し、作業環境の改善が行われた。さらに、はね返り率の実測データがないものの、施工サイクルにおける吹付け時間の短縮や余吹き率の低減が実現されたことから、FA スラリー配合による、はね返り率の低減効果も推察される結果であった。吹付けコンクリートの施工状況を写真-6に示す。

## 8. まとめ

国道 381 号道路改築 (境ヶ谷トンネル) 工事において、JIS I 種フライアッシュを添加したスラリーショットによる吹付けコンクリートの適用に向け、室内試験に

よる配合検討を実施し、最適配合を選定した。また、試験吹付けによる配合修正および品質確認を行い、実施工に適用した。一連の検討で得られた知見を以下に示す。

- ① 汎用型スラリーショットの課題である単位セメント量・単位水量の増加に対する解決策として、これまでに粉体急結剤を用いた吹付けコンクリートで実績を有するフライアッシュの添加を考え、減水剤と結合材の効果を併せ持つフライアッシュの特徴を活用した新たな配合の考え方を提案した。
- ② 提案配合の性能検証を目的に室内試験を実施し、急結剤を添加したモルタルの凝結性状・強度発現性状から、単位セメント量が  $273 \text{ kg/m}^3$ 、単位フライアッシュ量  $100 \text{ kg/m}^3$ 、水結合材比 55% の FA スラリー配合で標準配合と同等以上の性能を有することを確認した。また、室内での試験配合を充実させて、複数のパラメータに基づき検証することで、実機を用いた試験吹付けを行うことなく、多数の配合の検証を行うことができ、結果として、より合理的な配合選定を行うことができた。
- ③ 室内試験による選定配合を実機試験練り、試験吹付けを経て、性能確認を行うとともに、実施工に採用した。提案した FA スラリー配合は、施工性、粉じん低減、はね返り低減などで期待した効果を有するものであった。

謝辞：境ヶ谷トンネル工事における JIS I 種フライアッシュを添加したスラリーショット吹付けコンクリートの適用に当たり、高知県須崎土木事務所四十町事務所の関係者各位に多大なる御助言・御協力をいただきました。ここに、記して感謝の意を表します。

#### 【参考文献】

- 1) 室 充, 市川健作, 樋田瑞明, 平間昭信: 新しい急結剤を用いた吹付けコンクリートの試験施工, トンネルと地下, Vol.32, No.1, pp.25-31, 2001.

- 2) Iwaki, K., Hirama, A., Shirahata, T., Fujimoto, K. and Ohkubo, K.: Field Test of Shotcrete System Using Slurry Type Accelerator, Shotcrete for Underground Support IX, JTA, ITA, 2002.
- 3) 藤本克郎, 白畑智幸, 平間昭信, 岩城圭介, 大窪克己: スラリー急結剤を用いた吹付けコンクリートの粉じん低減効果の評価, 土木学会第57回年次学術講演会概要集VI-206, pp.411-412, 2002.
- 4) 平間昭信, 川北眞嗣, 松原利之, 山田 博, 黒坂聡介: 小断面トンネルにおける吹付けコンクリートの粉じん低減に関する提案, 土木学会第58回年次学術講演会概要集VI-050, pp.99-100, 2003.
- 5) 黒坂聡介, 佐藤秀和, 大沼正浩: 低粉じん型吹付けコンクリート工法の小断面トンネルへの適用, 土木学会東北支部技術研究発表会講演概要, pp.772-773, 2004.
- 6) 油野邦弘, 石井光裕, 加地 貴: 分級フライアッシュを用いた吹付けコンクリートの品質改善に関する基礎研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.24, No.1, pp.177-182, 2002.
- 7) 岩城圭介, 平間昭信, 周藤昭夫, 齊藤 直: 吹付けコンクリートへの石炭灰の適用に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.25, No.1, pp.1385-1390, 2003.
- 8) 岩城圭介, 平間昭信, 佐野信夫, 齊藤 直: 石炭灰を用いた吹付けコンクリートの実施工における品質変動, 電力土木No.314, pp.92-96, 2004. 11.
- 9) 寺村 悟, 岩崎昌浩, 平野健吉, 笹川幸男, 中川浩二: 各種急結剤と吹付けモルタルの特性に関する基礎的研究, 土木学会論文集No.634, V-45, pp.91-101, 1999.
- 10) 岩城圭介, 市川健作, 平間昭信, 石田 積: スラリー急結剤による繊維補強吹付けコンクリートのはね返り低減効果に関する研究, 土木学会第54回年次学術講演会概要集第V-487, pp.974-975, 1999.

**Summary** : In the construction of Sakaigatani Tunnel on Route 381, an all-purpose “Slurry Shot System” (a shotcrete system using a slurry type accelerator) with grade I fly ash specified by JIS (Japanese Industrial Standard) was applied for dust reduction, rebound reduction and quality improvement. Previous to applying the advanced shotcrete system, laboratory tests for selecting the optimum mix proportions and a field test for its verification were conducted. In this report, the concept of shotcrete using the slurry type accelerator and JIS grade I fly ash and process of the laboratory tests are explained in detail.

**Keywords** : shotcrete, slurry type accelerator, fly ash, setting time, strength development