

分割練混ぜ工法による 高品質吹付けコンクリートの新しい展開

秋葉 芳之¹・秋田 勝次²・萩原 秀樹³・征矢 雅宏⁴・稲永 岳洋⁵

¹正会員 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部九州新幹線建設局 武雄鉄道建設所
(〒843-0024 佐賀県武雄市武雄町富岡11763番1)

E-mail:yos.akiba@jrtt.go.jp

²正会員 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部新幹線部 (〒231-8315 横浜市中区本町6-50-1)

E-mail:k.akita@jrtt.go.jp

³正会員 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部設計技術部 (〒231-8315 横浜市中区本町6-50-1)

E-mail:hid.hagiwara@jrtt.go.jp

⁴正会員 清水建設株式会社 土木技術本部地下空間統括部 (〒104-8370 東京都中央区京橋2-16-1)

E-mail:soya@shimz.co.jp

⁵正会員 清水建設株式会社 九州支店土木部三坂トンネル作業所
(〒843-0302 佐賀県嬉野市嬉野町下野丙1766)

E-mail:t.inanaga@shimz.co.jp

山岳トンネルの施工では、掘削した地山をできる限りゆるめないように、支保工を早急に設置することが重要であり、なかでも吹付けコンクリートについては、様々な配合や混和材料が開発され、使用されてきた。鉄道建設・運輸施設整備支援機構においては、青函トンネルの建設以降、種々の吹付けコンクリートの工法や材料を用いてきたが、現在は高品質吹付けコンクリートとしてシリカフューム、石灰石微粉末またはフライアッシュ、高炉スラグ微粉末の2種類を混和材料とする分割練混ぜ工法による吹付けコンクリートを基本としている。今回、分割練混ぜ工法をベースに吹付けコンクリートの品質、施工性および経済性の向上を目的として新しい高品質吹付けコンクリートの配合設計ならびに試験施工を実施したので、その結果等について報告する。

Key Words : *high quality shotcrete, mix proportion, coal fly ash, field tests, cost*

1. はじめに

高品質吹付けコンクリートは、粉体の混入により発生するコンクリートの粘性を施工性の向上に活用した吹付けコンクリートであり、1997年度以降、整備新幹線のトンネル現場で使用されている¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。混和微粉末材料にシリカフューム、石灰石微粉末を用いた分割練混ぜ工法によってコンクリートを製造することを基本としてきたが、近年では、安定供給、コスト縮減等の観点からシリカフューム、石灰石微粉末の代わりにフライアッシュ、高炉スラグ微粉末を混和微粉末材料に用いることも実施してきている⁵⁾。

微粉末材料のうちのフライアッシュは、その混入によって吹付けコンクリートの施工性の改善、地山への付着性の向上およびはね返り率の低減が期待され、従来から適用が検討されているが⁶⁾⁷⁾、近年は東日本大震災を契機

として、火力発電所への電力供給依存の高まりの中で、石炭火力から発生するフライアッシュ量の増加から、フライアッシュを混入させた吹付けコンクリートが着目されるようになりつつある（たとえば、北海道電力株式会社や四国電力株式会社のホームページ参照）。

以上を踏まえて、これまでの高品質吹付けコンクリートと同等の品質を維持しつつ、フライアッシュ単独使用時の分割練混ぜ工法の有効性を確認するため、九州新幹線西九州ルート之三坂トンネルの現場において試験施工を実施した。本報告は、試験に用いたコンクリートのフレッシュ性状、強度特性、吹付け時の施工性、粉じん濃度、はね返り率等の結果について示すものである。

なお、フライアッシュと分離低減剤の組合せの配合と不良地山や高速掘進に対応するために、高品質吹付けコンクリートの高強度化を図った経緯がこれまでにある⁸⁾ことを考慮し、今回の試験施工では高強度用の配合も選

択肢の一つに含めることとした。

2. コンクリートの配合、使用材料

(1) 試験施工に用いたコンクリートの配合

試験にあたっては、フライアッシュと高炉スラグ微粉末を混和材に用いる現行の配合に対して、以下の①～⑤の基本方針を定め、新たな配合を設定した。

- ①混和材を1種類の微粉末材料（フライアッシュ）に限定する。
- ②上記①の配合に対して、さらに目標スランプ値を小さく設定し、材料の分離抵抗性を向上させる。
- ③フライアッシュの添加量を減じ、代わりに分離低減剤を添加する。
- ④これらとは別に、高品質吹付けコンクリートの強度を向上させた高強度用の配合を設定する。
- ⑤分割練混ぜとの比較のために、上記①の基本方針にしたがって一括練混ぜしたベースコンクリートも試験に用いる。

表-1 使用材料

材 料	略記	種別および製造元
水	W	井戸水
セメント	OPC	普通ポルトランドセメント，密度 3.16 g/cm ³
フライアッシュ・高炉スラグ微粉末混合材料	FA BS	フライアッシュⅡ種，高炉スラグ微粉末の混合比 7：3，密度 2.46 g/cm ³
フライアッシュ	FA	フライアッシュⅡ種，密度 2.26 g/cm ³
細骨材	S	武雄市東川登町産砕砂，密度 2.60 g/cm ³ ，吸水率 1.98%，粗粒率 2.84
粗骨材	G	武雄市東川登町産砕石，密度 2.60 g/cm ³ ，吸水率 2.37%，粗粒率 6.07
分離低減剤	MRC	ポリエステル繊維を主体とする陰イオン系界面活性剤
高性能減水剤	SP	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を主成分とする高性能減水剤
急結剤（粉体）	CA	カルシウムアルミネート系急結剤
	CSA	カルシウムサルフォアルミネート系急結剤（高強度用）

表-2 示方配合

基本方針	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプの範囲 SL (cm)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位セメント量 C (kg/m ³)	フライアッシュ FA (kg/m ³)	分離低減剤 MRC (kg/m ³)	高性能減水剤添加率 SP (C×%)	急結剤添加率 (C×%)	練混ぜ方法
①	10～15	18±2	55～60程度	60～65程度	360以上	90	—	0.5%以上	7%以下	分割練り
②	10～15	12±2	55～60程度	60～65程度	360以上	90	—	必要量	7%以下	分割練り
③	10～15	12±2	55～60程度	60～65程度	360以上	60	0.0008	必要量	7%以下	分割練り
④	10～15	18±2	50～55程度	60～65程度	400程度	90	—	0.5%以上	12%以下	分割練り
⑤	10～15	18±2	55～60程度	60～65程度	360以上	90	—	0.5%以上	7%以下	一括練り

注) 微粉末材料の含有率 { (FA+細骨材中の0.15mm以下の微粉末重量) / (FA+細骨材重量) } は、概ね15%

表-3 試験施工に用いたコンクリートの配合

基本方針	配合No.	練混ぜ方法	粗骨材最大寸法 (mm)	目標スランプ SL (cm)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)									
							水			セメント C	細骨材 S	フライアッシュ FA	高炉スラグ BS	粗骨材 G	分離低減剤 MRC	高性能減水剤 (目安値) SP
							1次	2次	全水量							
							W1	W2	W							
—	現行	分割	15	18±2	61.7	60	146	76	222	360	939	63	27	692	—	2.16(0.6%)
①	1	分割	15	18±2	60	60	146	70	216	360	942	90	—	697	—	2.88(0.8%)
②	2	分割	15	12±2	60	60	146	70	216	360	942	90	—	697	—	2.16(0.6%)
③	3M	分割	15	12±2	60	60	139	77	216	360	976	60	—	698	0.0008	2.88(0.8%)
④	4	分割	15	18±2	50	60	149	51	200	400	949	90	—	699	—	6.00(1.5%)
⑤	5	一括	15	18±2	60	60	—	216	216	360	942	90	—	697	—	2.88(0.8%)

注1) フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末は、細骨材の内割り置換（結合材に対しては外割り）とした。

注2) 現行配合のフライアッシュと高炉スラグ微粉末の混合比は7対3とし、その単位体積あたりの総量は 90 kg/m³とした。

注3) 高性能減水剤は添加量の目安値を表す。（）内の値は、セメントに対する重量百分率である。

注4) 配合No.5は、一括練りである点を除けば、配合No.1と同一である。

表-1に使用材料を表-2に以上の基本方針を踏まえた示方配合を示す。表-3には試験施工に用いた配合（現行の配合含む）を示す。表-3の配合は室内試験および現場のブランクを用いて行った実機試験から目標スランプを満足するように設定したものである。フライアッシュを結合材の内割りとする、初期強度が低下するおそれがあるため、結合材は普通ポルトランドセメントのみとした。

3. 試験項目および試験方法

表-4に試験項目と試験方法を示す。以下に、その概要を述べる。

(1) ベースコンクリートのフレッシュ性状確認試験

ベースコンクリートのフレッシュ性状を確認するために、スランプ、空気量、コンクリート温度を測定するとともに、その粘性を評価することとした。

粘性評価の際には、ベースコンクリートを5mmふるいでウェットスクリーニングしたモルタル試料に対して、まず羽根沈入型粘度計⁹⁾を用いた測定を行い、その測定結果から検量線方式¹⁰⁾にしたがってレオロジー定数（塑

性粘度および降伏値）を求めた。また、同じモルタル分に対してベーンせん断試験を実施し、ベーンせん断強度と降伏値およびスランプとの関係を確認することとした。

ベーンせん断強度は、試験時に読み取った最大トルク値から下式¹¹⁾によって求めた。

$$S_{fv} = \frac{T_{max}}{\pi \left(\frac{D^2 H}{2} + \frac{D^3}{6} \right)} \quad (1)$$

ここに、

S_{fv} ：ベーンせん断強度（kN/m²）

T_{max} ：最大トルク値（kN・m）

D ：ベーン羽根の幅（0.05m）

H ：ベーン羽根の高さ（0.10m）

スランプ、空気量、コンクリート温度は練混ぜ直後に測定した。このうち、スランプとコンクリート温度は試験施工の際の坑内持込み時（吹付け直前）にも測定した。

(2) 圧縮強度試験

試験施工時に、吹付けコンクリートの圧縮強度試験を実施した。初期強度は、プルアウト試験により材齢3時間および24時間において、また長期強度は、木製の型枠に吹付けた試験体から採取したコア供試体（φ50×100

表-4 試験項目と試験方法

試験項目		試験方法、測定方法	室内試験	実機試験	試験施工
ベースコンクリートのスランプ		試験方法は JIS A 1101 による。練混ぜ直後に測定。試験施工時には、坑内持込時にも測定。	○	○	○
ベースコンクリート温度		棒状デジタル温度計によって測定。練混ぜ直後に測定。試験施工時には、坑内持込時にも測定。	○	○	○
ベースコンクリートの空気量		試験方法は JIS A 1116, 1118, 1128 による。練混ぜ直後に測定。	○	○	○
環境温度（室内、坑内外）		棒状デジタル温度計によって練混ぜ直後に測定。試験施工時には、坑内気温も測定。	○	○	○
ベースコンクリートの粘性		羽根沈入型粘度計を用いてモルタルのレオロジー特性（降伏値、塑性粘度）を測定。練混ぜ直後に測定。	○	○	○
		JGS-1411 に準拠してモルタルのベーンせん断強度を測定。練混ぜ直後に測定。	○	○	○
吹付けコンクリートの初期強度	3時間	JSCE G-561-1999 に準拠してプルアウト試験を実施（供試体数各3本）。養生方法は、現空養生。			○
	24時間				○
吹付けコンクリートおよびベースコンクリートの長期強度	7日	試験方法は JSCE-F 561-2005, JIS A 1107, 1108 による（供試体数各3本）。養生方法は以下による。 1) パネル型枠に吹付けたコンクリートを坑内において現空養生。 2) モールドに詰めたベースコンクリートを標準水中養生。			○
	28日				○
粉じん濃度、風速		上半側壁およびアーチ部吹付け時に、ずい道等建設工事における粉じん対策に関するガイドライン、JSCE-F 564-2005 に準拠して測定。			○
はね返り率		上半側壁およびアーチ部吹付け時に JSCE-F 563-2005 に準拠して測定。			○

注) ○：実施

表-5 圧縮強度の管理基準値

配合 No.	管理基準強度 (N/mm ²)			備考
	材齢 3時間	材齢 24時間	材齢 28日	
4以外	1.5	8	18	
4	2.0	10	30	高強度用

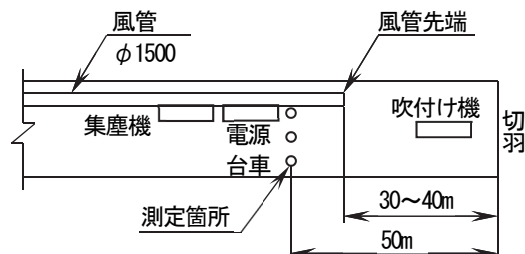


図-1 粉じん濃度、風速測定位置の概要

mm) を用いて材齢7日および28日に測定し、表-5に示す管理基準値以上の値を取ることを確認した。

長期強度に関しては、比較のためにベースコンクリートの圧縮強度を同一材齢で確認した。

(3) 粉じん濃度、風速測定

粉じん濃度および風速は、厚生労働省の定める「ずい道等建設工事における粉じん対策に関するガイドライン」および「JSCE-F 564-2005」に準拠し、試験施工時に切羽から50m程度離れた断面内の左右、中央の3点において測定した。粉じん濃度の測定には、光散乱式デジタル粉じん計を、風速の測定には熱線風速計を用いた。図-1に粉じん濃度、風速測定位置の概要を示す。送気風量1200m³/minの下で試験施工を行ったが、各測点の風速は0.3~0.4m/secであった。なお、送風機および集じん機的能力はともに2000m³/minである。

(4) はね返り率の測定

三坂トンネルは、掘削断面積70m²の新幹線トンネルであるが、試験施工時にはその上半（掘削断面積45m²）をアーチ120°の範囲と残りの側壁部に分け、それぞれに対して吹付けを実施した。はね返り率は、図-2に示すように上半の底盤および切羽にシートを敷設し、その中に留まったはね返り材の重量と吹付けたコンクリート重量との百分率として算出した。写真-1に試験施工の状況を示す。

(5) 試験施工時のコンクリートの製造、運搬、吹付け

コンクリートの製造には、容量0.5m³の2軸強制ミキサーを使い、試験吹付け量はアーチ120°の範囲に対して2.0m³、上半側壁部に対して1.0m³とした。コンクリートの運搬には、容量4.5m³のアジテータトラックを使用し

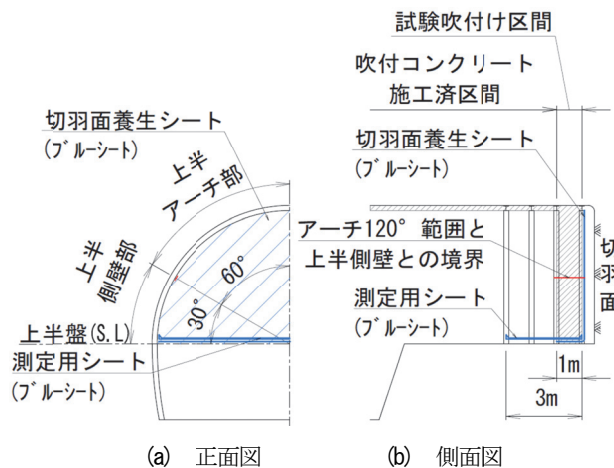


図-2 はね返り率測定用のシート敷設範囲



写真-1 試験施工の状況

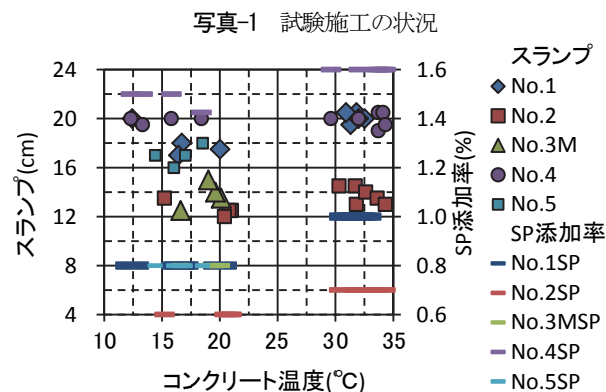


図-3 コンクリート温度と練混ぜ直後のスランプ、高性能減水剤添加量の関係

た。

吹付けには、ポンプ圧送方式の吹付け機械を用いた。吹付け能力は、最大29m³/hrである。試験時の吹付け速度は配合No.4の場合10.5m³/hr、それ以外の配合では13.5m³/hrとした。

4. 試験結果

(1) フレッシュコンクリート性状

a) スランプ

実機試験（現場のプラントを用いた試験練り）は冬場に、試験施工は冬場に全配合を用いて実施した後、配合No.1、No.2 および No.4 を用いて夏場に再度、実施した。

図-3にコンクリート温度（冬場は温水練混ぜ）と練混ぜ直後のスランプ、高性能減水剤（SP）添加量の関係

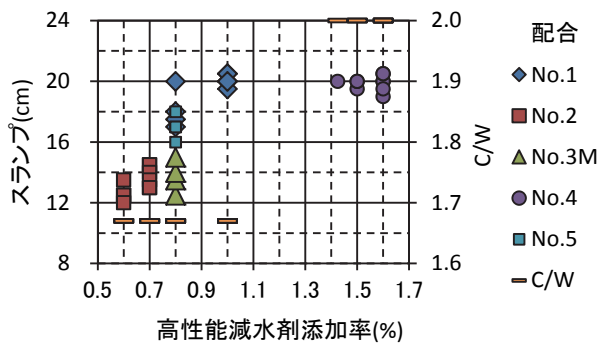


図-4 高性能減水剤の添加量と練混ぜ直後のスランプの関係

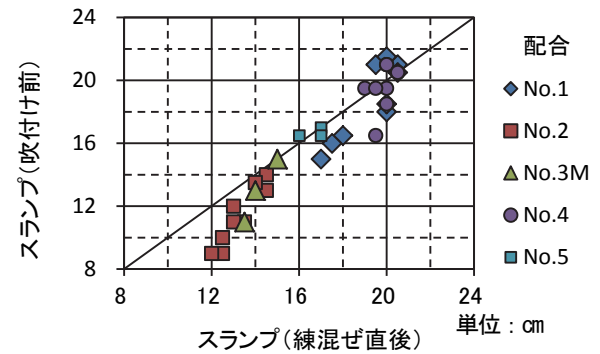


図-5 練混ぜ直後と吹付け前のスランプの関係

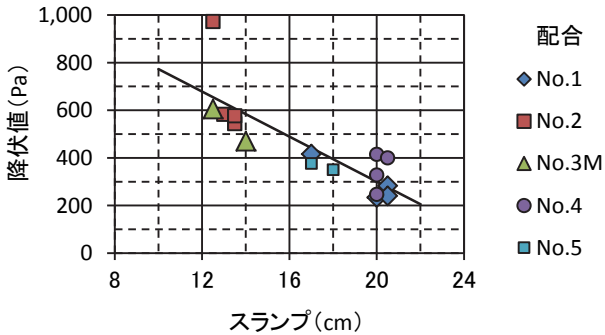


図-6 スランプと降伏値の関係 (配合別)

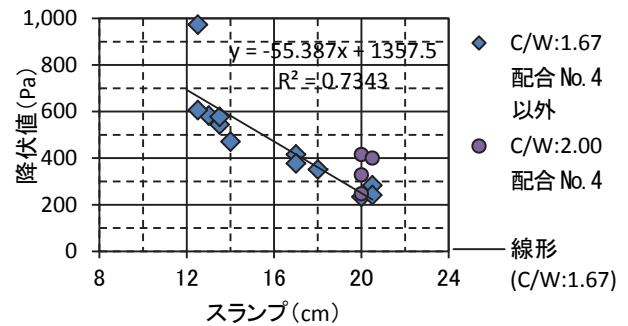


図-7 スランプと降伏値の関係 (C/W別)

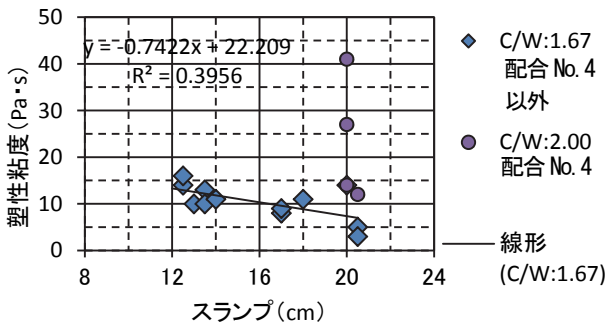


図-8 スランプと塑性粘度の関係 (C/W別)

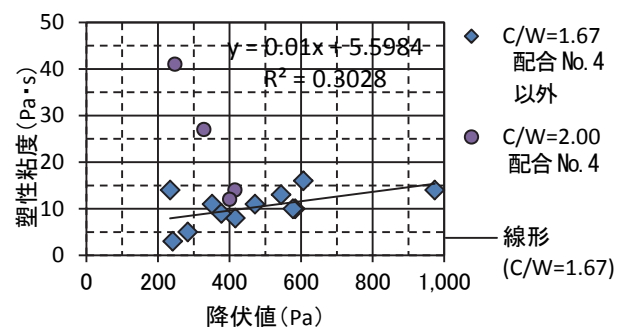


図-9 降伏値と塑性粘度の関係 (C/W別)

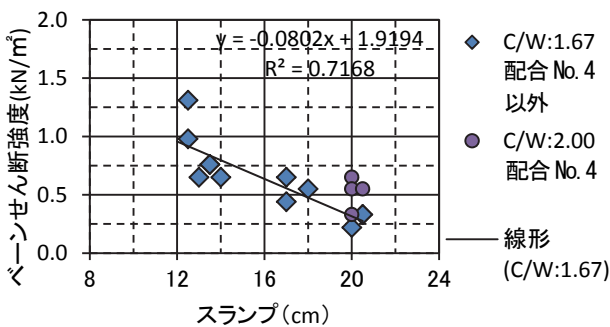


図-10 スランプとベーンせん断強度の関係 (C/W別)

を示す。コンクリート温度を考慮して高性能減水剤の添加量を調整した結果、目標スランプ値をほぼ満足する結果が得られた。配合 No.4 の高性能減水剤添加量が他の配合に比べて多いのは、図-4 に示すようにセメント水比 (C/W) の違いによる。

図-5 に練混ぜ直後と吹付け前のベースコンクリートのスランプの関係を示す。吹付けは、練上がりから 30 分

以内に実施したが、スランプロスは概ね 3cm 以内、また練混ぜ直後のスランプが小さい方が相対的にスランプロスが大きいという結果であった。

b) 粘性

図-6 に各配合の練混ぜ直後のベースコンクリートのスランプと降伏値の関係を、図-7 にはそれをセメント水比をパラメータとして整理し直したものを示す。同図に示すように、セメント水比 1.67 の場合はスランプと降伏値の間に相関が認められ、一般にスランプが降伏値に近い特性を表す指標とみなされていること¹²⁾が裏付けられた。

図-8 には練混ぜ直後のスランプと塑性粘度の関係を、また図-9 に、降伏値と塑性粘度との関係を示す。両図より、スランプと塑性粘度には明確な関係は認められず、塑性粘度と降伏値との間にも高い相関は認められない。

図-10 に練混ぜ直後のスランプとベーンせん断強度の関係を示す。同図より、セメント水比 1.67 の場合は、

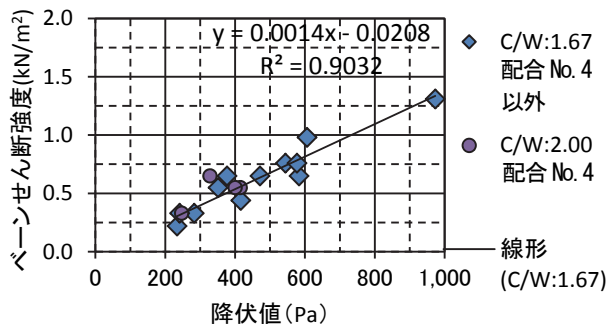


図-11 降伏値とベーンせん断強度の関係 (C/W別)

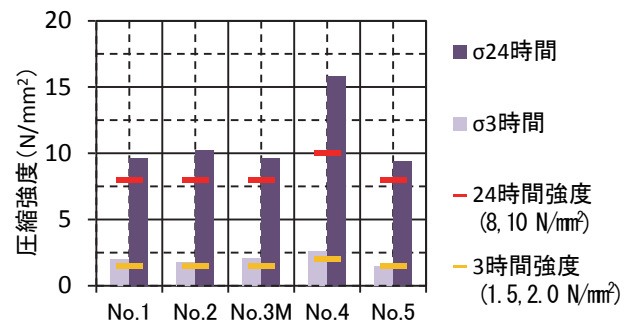


図-12 プルアウト試験による吹付けコンクリートの初期強度

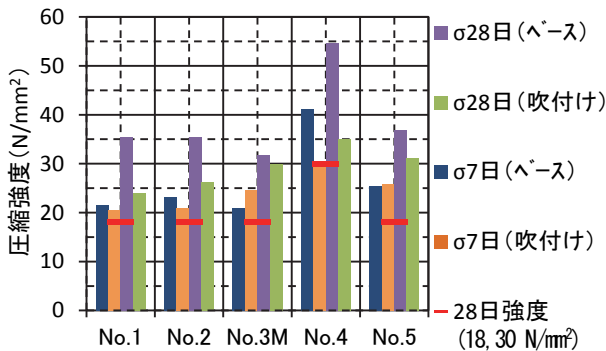


図-13 材齢 7 日, 28 日におけるコア供試体強度

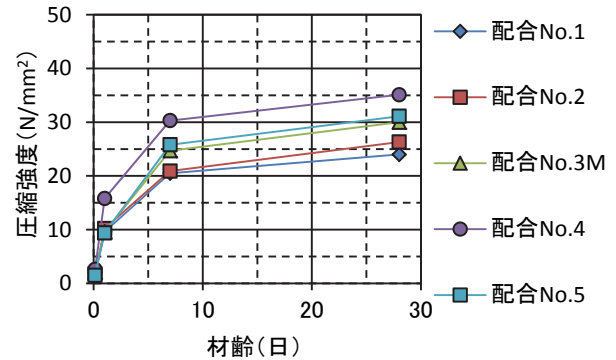


図-14 材齢と圧縮強度の関係

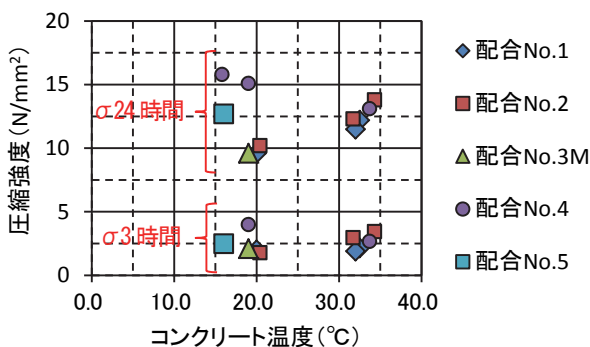


図-15 コンクリート温度と吹付けコンクリートの初期強度の関係

スランプとベーンせん断強度の間に相関が認められる。

一般に、降伏値とベーンせん断強度は、試験時に羽根の沈入と回転の違いはあるものの、モルタルが流動を起こす限界のせん断応力度を与えるという点では変わりがない。したがって、両者の間には相関が認められるはずである。図-11 は、これまでに示した試験結果を降伏値とベーンせん断強度の関係に改めたものであるが、両者の間には高い相関が認められる。以上より、モルタルのレオロジー特性値のうち降伏値は、より簡便な試験方法であるベーンせん断試験によって推定可能であることがわかった。

(2) 圧縮強度

図-12にプルアウト試験による吹付けコンクリートの

材齢 3 時間, 24 時間における初期強度を、図-13 に材齢 7 日, 28 日における水中養生（標準養生）を行ったベースコンクリートのコア供試体の強度と水中養生を行わない（現空養生）吹付けコンクリートのコア供試体の強度を示す。また、図-14 には材齢と圧縮強度の関係を示す。これらはすべて表-5 に示した管理基準強度を上回っており、圧縮強度の点では良好な試験結果であった。

図-15 に、コンクリート温度（冬場は温水練混ぜ）と吹付けコンクリートの材齢 3 時間, 24 時間における初期強度の関係を示す。同図より、すべての配合で初期強度に大きな変化は認められず、コンクリート温度が初期強度に及ぼす影響は小さい。

(3) はね返り率

試験施工にあたって、はね返り率の目標をアーチ 120° の範囲に対する吹付けの場合は 20%以内、上半側壁に対する吹付けでは 10%以内と定めた。

図-16 に試験施工におけるはね返り率の測定結果を示す。配合 No.1, No.2 の場合は、上記の目標値以内のはね返り率を示したが、配合 No.1 を一括練りとした配合 No.5 では、目標を満足することができず、今回の試験施工では一括練りに比べて分割練りの方が小さなはね返り率を示した。

これら以外では、配合 No.4 がほぼ目標を満足し、配合 No.3M の場合は、アーチ吹付け時に 23%と相対的に大きな値を示したが、目標を大きく逸脱するものではな

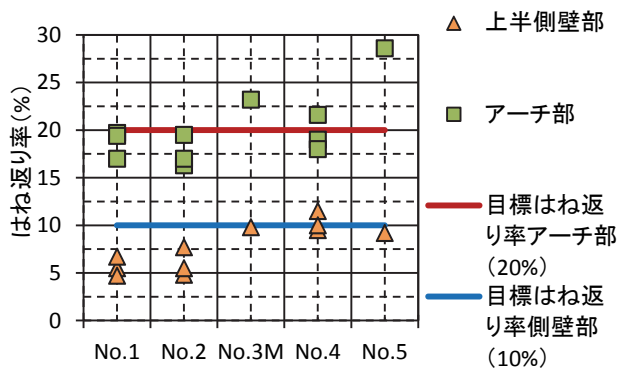


図-16 はね返り率の測定結果

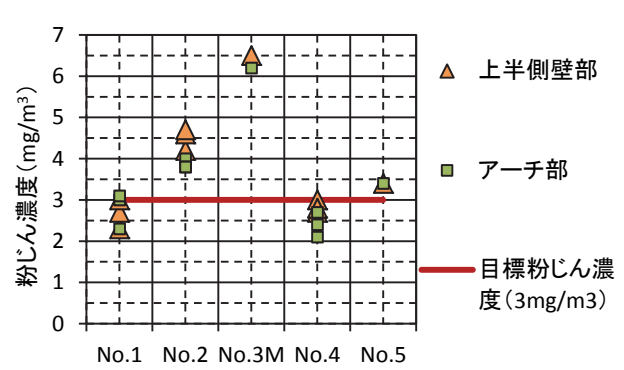


図-17 粉じん濃度の測定結果

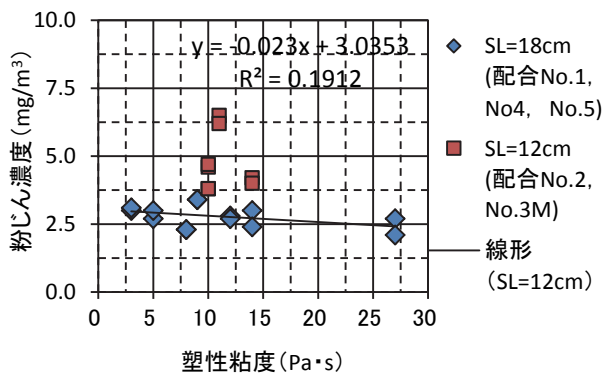


図-18 塑性粘度と粉じん濃度の関係（目標スランプ別）

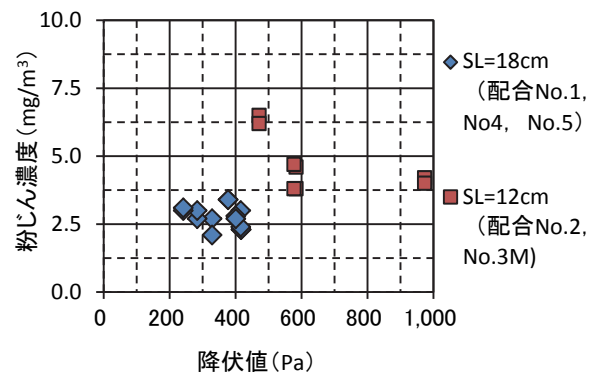


図-19 降伏値と粉じん濃度の関係（目標スランプ別）

かった。試験回数が少ないため確たることはいえないが、アーチ吹付け時のはね返り率を比較すると、結果的に一括練りを行った配合 No.5 と分離低減剤を添加し、フライアッシュの添加率を下げた配合 No.3M のはね返り率が目標以内に収まらなかった。

(4) 粉じん濃度

試験施工にあたって、厚生労働省の定める「ずい道等建設工事における粉じん対策に関するガイドライン」に準拠し、粉じん濃度の目標値を 3mg/m^3 と定めた。また、試験施工時の坑口から切羽までの距離は、冬場に行った全配合の試験実施時が、坑口から終点側に約 1100m、夏場に行った配合 No.1, No.2 および No.4 の追加試験実施時が、坑口から起点側に約 165m である。

図-17 に試験施工における粉じん濃度の測定結果を示す。配合 No.1, No.4 および No.5 は、上記の目標をほぼ満足したが、配合 No.1 の目標スランプ値を小さく設定した配合 No.2 と、フライアッシュの添加率を下げ、分離低減剤を添加した配合 No.3M は目標を満足できなかった。

図-18 に塑性粘度と粉じん濃度の関係を、図-19 に降伏値と粉じん濃度の関係をそれぞれ目標スランプ別に示す。図-18 より目標スランプが 18cm の配合では、わずかながら塑性粘度の増加により粉じん濃度が低下する傾向

が認められる。また、図-19 より目標スランプ 12cm の配合は、目標スランプ 18cm の配合より降伏値が大きく、降伏値 450Pa 程度を境に粉じん濃度が異なっていることがわかる。

以上より、降伏値が小さい配合（スランプが大きい配合）で粉じん濃度が小さくなる傾向が認められた。目標スランプを 12cm に設定した配合 No.2 および No.3M については、適切な降伏値を踏まえた検討により改善されるものと考えられる。

(5) 経済性

図-20 に今回の試験配合と三坂トンネルの現行配合の材料単価比を示す。材料単価は、表-3 に示すコンクリートの配合に、急結剤を各配合ともにセメント重量に対して 6.5% 添加した場合の価格である。ここでは、配合 No.4 はセメント水比がその他の配合と異なるため、除外している。

図-20 に示すように、配合 No.4 を除くすべての配合で、5% 前後のコスト縮減が認められる。配合によっては高性能減水剤が増加しているが、フライアッシュを単独に使用しても分割練混ぜ工法により、所定の品質を保持しつつ、全体のコスト縮減が図られる。

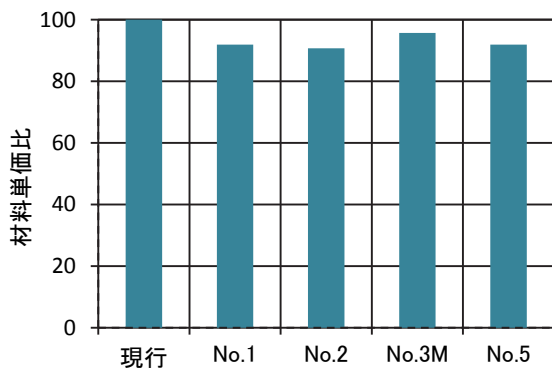


図-20 材料単価比較

表-6 試験施工の配合評価

配合 No.	圧縮強度				はね返り率		粉じん 濃度
	3時間	24時間	7日	28日	側壁	アーチ	
No.1	○	○	○	○	○	○	○
No.2	○	○	○	○	○	○	×
No.3M	○	○	○	○	○	△	×
No.4	○	○	○	○	△	△	○
No.5	○	○	○	○	○	×	△

注) ○：目標を満足している

△：目標を満足しないが、その程度は比較的小さい

×：目標を満足しない

5. まとめ

今回、品質、施工性および経済性の向上を目的として、分割練混ぜ工法により混和材料にフライアッシュを単独使用した、新しい高品質吹付けコンクリートの配合設計ならびに試験施工を実施した。表-6に今回の試験の配合評価表を示す。同表に示すように、配合No.1とNo.4では、圧縮強度、はね返り率および粉じん濃度の目標値のすべてをほぼ満足することが確認できた。その結果、従来のフライアッシュ、高炉スラグ微粉末の2種類の微粉末材料を使用する場合と比較して、同等の品質を保持しつつ、コストを削減できることを示した。今回の試験によって得られた知見を以下にまとめる。

- ① スランプと降伏値の間に相関が認められ、スランプは降伏値に近い特性を表す指標であることが裏付けられた。
- ② 降伏値とベーンせん断強度に高い相関があり、降伏値は、より簡便な試験方法であるベーンせん断試験によって推定可能である。
- ③ フライアッシュを細骨材の内割り置換として単独使用した吹付けコンクリートの圧縮強度は、初期強度および材齢 28 日までの長期強度ともに管理基準強度を十分満足し、良好であった。

- ④ 分割練混ぜ工法と一括練混ぜ工法での強度、粉じん濃度に差はないが、はね返り率は分割練混ぜ工法が良好である。
- ⑤ フライアッシュを単独使用した吹付けコンクリートでは、配合 No.1 のように、分割練混ぜ工法により適切なスランプおよびフライアッシュ添加量を設定すれば、圧縮強度、はね返り率、粉じん濃度の目標値を満足しつつ、コストを削減することが可能である。
- ⑥ フライアッシュを単独使用した高強度用の吹付けコンクリートにおいても、上記と同様に、分割練混ぜ工法により適切なスランプおよびフライアッシュ添加量を設定すれば、品質の目標値を満足させることが可能である。

鉄道建設・運輸施設整備支援機構での今後の展開は、今回実施した吹付けコンクリート試験の配合を更に検討し、分割練混ぜ工法による吹付けコンクリートの配合の選択肢を増やし、施工に反映したいと考えている。

謝辞：本報告にあたり、清水・青木あすなろ・唐津土建特定建設工事企業体の関係者ほか、試験時の測定を担当した太平洋マテリアル(株)、電気化学工業(株)をはじめとする資材メーカーの関係各位にご協力いただいた。ここに記して深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 日本鉄道建設公団：高品質吹付けコンクリート設計・施工指針（案），1997
- 2) 伊藤隆，越智修，末永充弘，伊藤祐二，田村忠昭：分割練混ぜによる新吹付けコンクリートの施工実態，土木学会第 54 回年次学術講演会，VI-200，1999
- 3) 登坂敏雄，伊藤祐二，末永充弘：高品質吹付けコンクリートの粘性特性と施工管理指標に関する研究，トンネル工学論文集，第 14 巻，pp.107-113，2004.
- 4) 登坂敏雄，伊藤祐二，櫻井清一，末永充弘，朝倉俊弘：高品質吹付けコンクリートにおける細骨材使用実態と強度特性に関する研究，トンネル工学論文集，第 15 巻，pp.79-87，2005.
- 5) 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構：吹付けコンクリート設計施工指針（案），2011.
- 6) 飯島俊莊，樋野和俊，斉藤直，新谷登，松田敦夫：石炭灰原粉の吹付けコンクリートへの適用性について，土木学会第 54 回年次学術講演会，V-489，1999.
- 7) 油野邦弘，石井光裕，国久清司，富加見徳治：分級フライアッシュを用いた吹付けコンクリートの諸特性，コンクリート工学年次論文集，Vol.22，No.2，pp.91-96，2000.
- 8) 東光秋，越智修，末永充弘，伊藤祐二：低はね返り・低粉じん型高強度吹付けコンクリートの開発，トンネル工学研究論文・報告集，第 11 巻，pp.129-134，2001.
- 9) 室賀陽一郎，越智修，小山昭，末永充弘，伊達重

之：新しい粘性試験器によるモルタルの塑性粘度の評価，土木学会第 58 回年次学術講演会，V-526，2003.

- 10) 伊達重之，長谷川聖史，室賀陽一郎，辻幸和：モルタルの粘性に及ぼす分割練混ぜの効果，コンクリート工学年次論文集，Vol.27，No.1，pp.991-996，2005.
- 11) 地盤工学会：原位置ベーンせん断試験方法，JGS1411-2003

- 12) 北川修三，末永充弘，伊藤祐二，大須賀哲夫，田村忠昭：微粉分を混入し粘性を活用した高品質吹付けコンクリートの諸特性，トンネル工学研究論文・報告集，第 7 巻，pp.31-38，1997.

(2014. 9. 15 受付)

FIELD TESTS OF HIGH QUALITY SHOTCRETE WITH NEW MIX PROPORTIONS

Yoshiyuki AKIBA, Katsuji AKITA, Hideki HAGIWARA, Masahiro SOYA and Takahiro INANAGA

Japan Railway Construction, Transport and Technology Agency, abbreviated as JRJT, has been using various materials for shotcrete and methods of spraying concrete since the construction of Seikan tunnel, which leads to the development of high quality shotcrete. The high quality shotcrete has admixture materials such as a set of silica fume and limestone fine powder or a set of coal fly ash and ground granulated blast furnace slag. However, these set of admixture materials are mixed in manufacturing stage that raise unit material price of the high quality shotcrete. This paper describes the results of field tests using the high quality shotcrete with new mix proportions which enables to reduce the cost of shotcrete.