

フライアッシュを使用した吹付けコンクリートの試験施工

Field test of shotcrete using fly ash

北海道電力（株）総合研究所
北海道電力（株）総合研究所
北海道電力（株）京極水力発電所建設所
（株）熊谷組技術研究所

○正 員 小野寺収（Osamu Onodera）
正 員 林 透（Toru Hayashi）
正 員 中井雅司（Masashi Nakai）
正 員 石関嘉一（Yoshikazu Ishizeki）

1. まえがき

吹付けコンクリートのリバウンドを低減する方法としては、シリカフュームと石灰石微粉末を配合してコンクリートの粘性を増加させる方法がある¹⁾。石炭火力の副産物であるフライアッシュも、粉体としてコンクリートへの粘性付与効果が期待できる材料であり、近年、セメントや細骨材の代替材として置換利用し、リバウンドや粉塵量を低減した事例が報告されている²⁾³⁾。

今回、山岳トンネル工事のコスト低減を目指し、フライアッシュの吹付けコンクリートへの適用性検証のための試験施工を行った。フライアッシュを使用した各種配合で、標準的な配合やシリカフュームと石灰石粉を用いた従来型の高品質配合との性能比較を行ったので、結果を報告する。

2. 試験概要

試験施工を実施した現場は、京極発電所放水路トンネル工事現場である。吹付けは、全て実工事で使用している資機材を使用し、1次覆工した壁面を利用して行った。

2. 1 使用材料および配合

使用材料を表-1に、また配合を表-2に示す。
使用したフライアッシュは、苫東厚真発電所2号機産の代表的性状のものであり、JIS A6201「コンクリート用フライアッシュ」のⅡ種の品質を満足している。
配合は、単位結合材量Bを360kg/m³一定とした。フライアッシュ使用ケースは、セメント重量の10、20%を置換したC10、C20と、細骨材容積の10%を置換したS10、およびセメント重量の10、20%と細骨材容積の10%を置換したS10C10、S10C20の合計5ケースを設定した。またセメント重量の5%をシリカフュームで、細骨材容積の約8%を石灰石微粉末で置換したものを高品質配合として設定した。

標準配合の目標スランプは12±2.5cmとしたが、粉体材料で細骨材置換した配合では、粘性の増加によるコンクリートの圧送性への影響が考えられたことから、スランプを15±2.5cmとした。

なお、フライアッシュ使用の各ケースは、フライアッシュの減水効果により、スランプを15cmとした細骨材置換の場合でも、高性能減水剤を用いることなく標準ケースより単位水量が減少している。

表-1 使用材料

材料名	仕 様
セメント C	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 F	苫東厚真火力産； 強熱減量 2.0 %、密度 2.32 g/cm ³ ブレン比表面積 3,540 cm ² /g
シリカフューム SF	密度 2.30 g/cm ³ 、比表面積 19.9 m ² /g
石灰石微粉末 L	密度 2.69 g/cm ³ 、最大粒径 300 μm
細骨材 S	京極町産砕砂；密度 2.67g/cm ³ 、FM2.64
粗骨材 G	京極町産 13～5mm 碎石； 密度 2.70g/cm ³ 、FM6.32
急結剤	急結性セメント鉱物系粉体
高性能減水剤	ポリカルボキシル系高分子化合物

2. 2 試験内容

コンクリートの練混ぜは、坑外に設けた製造プラントにて容量 0.5m³の強制二軸練りミキサで行い、1.5m³/ケースをアジテータ車により坑内の吹付け機に供給した。コンクリートの吹付けは、吹付け能力最大 18m³/h の空気搬送式吹付け機により、湿式で行った。

試験は、まず表-2に示した7配合で、強度発現性やコンクリートの圧送性確認のための予備試験を実施し、次にその結果を基に選定した4ケース（標準、高品質、S10、S10C10）について、リバウンドの測定に主眼をおいた本試験を実施した。なお、本試験における吹付け厚さは、10cmとした。

表-2 コンクリート配合ケース

ケース	粗骨材 最大寸法 Gmax (mm)	目標 スランプ (cm)	目標 空気量 (%)	水結合 材比 W/B (%)	細骨材 率 s/a (%)	単位量(kg/m³)								高性能 減水剤 B×%	単位粉 体質量 P (kg/m³)	単位粉 体容積 (L/m³)
						水 W	結合材 B			細骨材			粗骨材 G			
							C	F	SF	S	F	L				
標準	15	12 ± 2.5	2±1	62	60	223	360	0	0	1030	0	0	694	0	360	114
C10							324	36	0	1033	0	0	697	0		118
C20							288	72	0	1025	0	0	691	0		122
高品質		15 ± 2.5		60		216	342	0	18	952	0	85	699	0.5	445	146
S10							360	0	0	937	86	0	702	0	446	151
S10C10							324	36	0	930	85	0	697	0	445	155
S10C20							288	72	0	923	84	0	691	0	444	158

予備試験における強度試験は、プルアウト試験（JSCE-G561；3h、24h）、コア強度試験（JIS A 1107；28 日）、および円柱供試体強度試験（JIS A 1108；7 日、28 日）を実施した。

3. 試験結果

急結剤添加率と予備試験におけるプルアウト強度との関係を、図-1 および図-2 に示す。図-2 以降のマーキングは、それぞれ図-1 の凡例に示したものと同一のケースを示している。急結材添加率は、想定した吐出量に対し結合材量の 7% となるよう設定したが、配合ケースにより実際の吐出量が異なるため、ケース毎に急結材使用量を吹付け量で除して、結合材に対する添加率を求めた。急結剤添加率とプルアウト強度との間に有意な傾向は認められず、添加率が大きくなったため、フライアッシュを使用したケースを含め全般に初期強度の発現は良好となった。

コア強度と円柱供試体強度の試験結果を表-3 に示す。高品質配合の強度が最大となり、これは石灰石微粉末の水和促進効果によるものと考えられる。フライアッシュ配合の各ケースは、コア強度で標準配合と同程度の強度発現が確認できた。また材齢 7 日から 28 日の強度増加率は、フライアッシュ配合ケースが全般にやや大きく、比較的若材齢においてもフライアッシュのポズラン効果が現れたものと考えられる。

表-3 コアおよび円柱供試体強度試験結果

配合	円柱供試体強度		28 日 ／7 日	コア強度	
	7 日	28 日		28 日	コア／ 供試体
標準	20.2	34.8	1.72	25.3	0.73
C10	18.1	33.0	1.82	26.7	0.81
C20	15.7	27.8	1.77	24.8	0.89
高品質	27.8	48.6	1.75	29.5	0.61
S10	24.1	41.0	1.70	25.2	0.61
S10C10	20.0	36.2	1.81	24.1	0.67
S10C20	16.3	30.8	1.89	24.5	0.80

円柱供試体のW/Cと圧縮強度との関係を図-3 に示す。フライアッシュでセメント置換したケースは、水セメント比が増加し強度が低下するが、細骨材置換ケースでは、同一水セメント比で比較すると強度が増加しており、フライアッシュが強度発現に寄与している。

粉体容積と圧送圧力との関係を図-4 に、また圧送圧力と吐出量との関係を図-5 に示す。図中白抜きのデータは本試験の結果を示している。粉体容積が多いケースでは、粘性の増加により圧送圧力が大きくなり、吐出量も増加した。フライアッシュを細骨材置換したものは高品質配合と同様の傾向を示した。

粉体容積と本試験におけるリバウンド率との関係を図-6 に示す。標準ケースのリバウンド率 25% に対し、粉体容積の大きい他の 3 ケースではリバウンド率が 19% 程度に低減しており、コンクリートの粘性増加による効果が明確に現れている。

4. まとめ

フライアッシュは、吹付けコンクリートの単位水量を低減し、セメントの 20% 置換および細骨材の 10% 置換までの範囲では、標準的配合と同程度の強度発現性を示した。また、細骨材の 10% 置換により、シリカフュームと石灰石微粉末を使用した従来型の高品質配合と同等の施工性、リバウンド低減効果を有することを確認できた。

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）、平成 9 年 5 月。
- 2) 芳賀宏、横屋和興、阿部健一、青屋文章：石炭灰を使用した高品質吹付けコンクリートの開発と現場適用、電力土木、No.295、pp110-114、2001。
- 3) 安野孝生、斉藤直：石炭灰を活用した吹付材の特性、電力土木、No.296、pp59-62、2001。

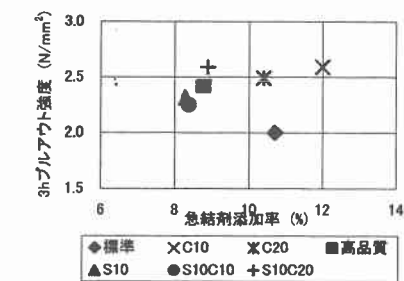


図-1 プルアウト試験結果（3h）

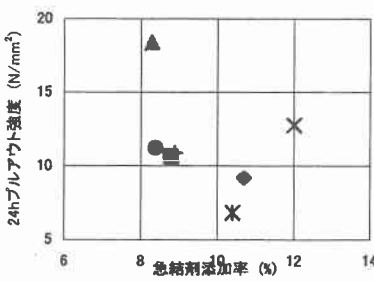


図-2 プルアウト試験結果（24h）

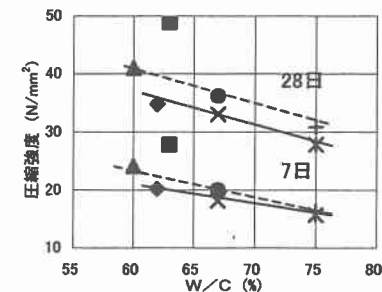


図-3 供試体の圧縮試験結果

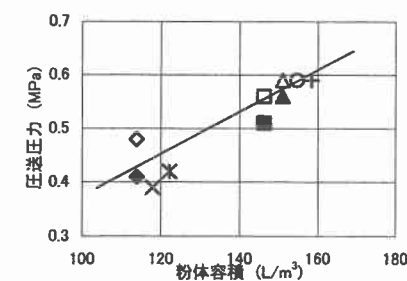


図-4 粉体容積と圧送圧力との関係

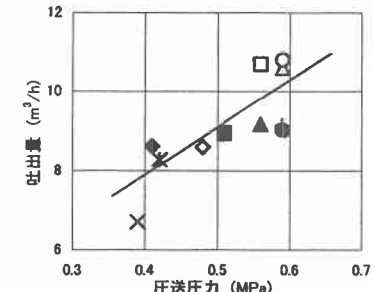


図-5 圧送圧力と吐出量との関係

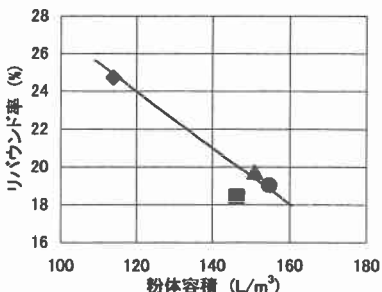


図-6 粉体容積とリバウンド率との関係