

石炭灰を用いた吹付けコンクリートの施工性、強度特性に関する研究

飛島建設 西日本土木支社 正会員 ○筒井 隆規
 山口県山口土木建築事務所 沖村 卓美
 飛島建設 東日本土木支社 山本 茂夫
 飛島建設 土木事業本部 正会員 平間 昭信

1. はじめに

山岳トンネルの吹付けコンクリートでは、産業副産物の有効利用の観点から、フライアッシュや石炭灰原粉を適用した施工事例が増加している。コスト縮減を目的として、セメント置換で石炭灰を用いた吹付けコンクリートは、コンクリートの長期的な強度増加は期待できるが、セメントに対する置換率が大きくなることによる強度発現性の低下が懸念されている。トンネル支保部材である吹付けコンクリートは、セメント置換で混和材を適用する場合であっても、急結剤の作用による適切な凝結・強度発現性状を確保する必要がある。

本報告では、セメントに対する石炭灰の置換率を 10vol%、20vol%した吹付けコンクリートについて、強度発現性、および、発生粉じん、はね返り率などの基礎データ収集を目的として、施工試験を実施した結果を報告する。

2. 施工試験の概要

(1) 使用材料および配合

使用した材料を表-1に示す。なお、使用した石炭灰は、表-2に示すように、JIS の区分でⅡ種に相当するものである。

検討した配合を表-3に示す。急結剤添加量は、いずれの配合とも、N 配合のセメント重量に対する急結剤添加率 7%(25.2kg/m³)に合わせて設定した。

(2) 試験項目および試験方法

1) 初期強度試験

JSCE-G 561「引抜き方法による吹付けコンクリートの初期強度試験(案)」に準拠し、材齢 3、24 時間にて実施した。

2) 長期強度試験

JIS A 1107「コンクリートからのコア及びはりの切取り方法並びに強度試験方法」に準拠した。養生は標準養生とし、試験材齢 7、28、91 日、1 年で行った。

3) 粉じん濃度測定

切羽から坑口に向かって 20m、50 m の位置において、ローボリュームサンプラーを用いて粉じん量を測定した。

4) はね返り率測定

コンクリート 2.0 m³を掘削地山へ吹き付け、はね返り質量を測定した。

表-1 使用材料

材料種別	記号	名称または産地、諸元
セメント	C	普通ポルトランドセメント、密度 3.15 g/cm ³
水	W	水道水
細骨材	S	山口市下小鯖字内山産砕砂、表乾密度 2.57 g/cm ³ 、吸水率 1.40%
粗骨材	G	防府市大字切畑産 6 号砕石、表乾密度 2.72 g/cm ³ 、吸水率 0.54 %
石炭灰	FA	中国電力三隅発電所産、密度 2.23 g/cm ³
急結剤	Ac	一般吹付け用、カルシウムアルミネート鉱物系粉体急結剤

表-2 石炭灰の品質

石炭灰種別		三隅発電所	JIS A 6201 品質区分				
			I 種	II 種	III 種	IV 種	
二酸化珪素	%	61.6	≥ 45	≥ 45	≥ 45	≥ 45	
湿分	%	0.12	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 1.0	
強熱減量	%	2.88	≤ 3.0	≤ 5.0	≤ 8.0	≤ 5.0	
密度	g/cm ³	2.23	≥ 1.95	≥ 1.95	≥ 1.95	≥ 1.95	
比表面積	cm ² /g	3,480	≥ 5000	≥ 2500	≥ 2500	≥ 1500	
フロー値比	%	107.2	≥ 105	≥ 95	≥ 85	≥ 75	
活性度指数	28 日	%	82.3	≥ 90	≥ 80	≥ 80	≥ 60
	91 日	%	93.1	≥ 100	≥ 90	≥ 90	≥ 70
JIS 種別		II	I	II	III	IV	

表-3 コンクリート配合

配合 No	水セメント比*1 W/C (%)	石炭灰置換率		単位量(kg/m ³)				
		セメント置換率	細骨材置換率	水 W	セメント C	石炭灰 FA	細骨材 S	粗骨材 G
N	62.5	0 vol%	0 vol%	225	360	0	988	697
NC**2	63.9	0 vol%	0 vol%	230	360	0	980	692
FA-1	68.2(51.5)	10 vol%	7 vol%	221	326	105	907	696
FA-2	76.7(54.0)	20 vol%	5 vol%	221	288	121	923	691

※1：石炭灰を使用した配合における、W/C の () の値は W/(C+F)である。

※2：粉じん低減剤の添加率は、標準添加量である C×0.1%とした。

キーワード：山岳トンネル、吹付けコンクリート、石炭灰、圧縮強度、初期強度

連絡先：〒800-0343 福岡県京都郡苅田町上片島小無田 1622 飛島建設(株)新津トンネル作業所 TEL: 0930-23-4601

3. 施工試験の結果

(1) 初期強度

初期強度の試験結果を図-1に示す。粉じん低減剤を添加した NC 配合については、若干、初期材齢における強度発現が遅れる結果である。石炭灰を用いて、セメント置換した配合については、セメント置換率 20%の配合が、セメント置換率 10%に比べて、若干、初期材齢における強度発現が遅れる結果であるが、材齢 3 時間強度では 2N/mm²を超えた値が得られており、今回検討した配合においては、良好な強度発現性を有する吹付けコンクリートであった。

(2) 長期強度

長期強度の試験結果を図-2に示す。石炭灰を用いた吹付けコンクリート (F-1, F-2) は、石炭灰が有するポズラン反応により、材齢 28 日以降も良好な強度増進が確認された。材齢 1 年において、石炭灰を用いていない吹付けコンクリートの 35N/mm²程度に対して、石炭灰を適用した吹付けコンクリートの圧縮強度は 45N/mm²程度と、良好な強度発現性を有している結果であった。図-3には、急結剤無添加に対する強度比を示す。強度比は、材齢 28 日以降において、ほぼ同じ値であった。このことから、急結剤が長期強度の増進を阻害する割合は、石炭灰の適用に関係なく、材齢 28 日以降においては変わらないことが確認された。

(3) 粉じん濃度、はね返り

粉じん濃度の測定結果を図-4に示す。石炭灰を用いた F-1 は 2 回とも、ガイドラインの基準値 3mg/m³を満足しており、粉じん低減剤を用いた配合 NC とほぼ同等の低減効果が確認された。しかし、F-2 は 3.29mg/m³であり、石炭灰を用いた吹付けコンクリートの粉じん低減効果は、配合で異なることが確認された。今回の結果より、適切な配合を選定することにより、粉じん低減効果係数は粉じん低減剤の 0.5 と同値を得られる可能性を有していると思われる。

はね返り率の測定結果は、N が 20.6%、NC が 16.7%、F-1 が 17.3%、F-2 が 18.0%であった。この結果から、石炭灰の適用や粉じん低減剤を用いて粘性を付与した吹付けコンクリートは、はね返り率は 3~4%減少することが確認された。

4. まとめ

今回の施工試験では、粉じん濃度、はね返り率および長期材齢での強度特性において、石炭灰を適用した吹付けコンクリートは良好な結果であったが、初期強度は、一般的な吹付けコンクリートより劣る結果が確認された。また、使用する石炭灰の品質によっては異なる試験結果となることも考えられる。これらのことから、石炭灰の適用に際しては、試験吹付けなどの事前検討を十分に行う必要がある。

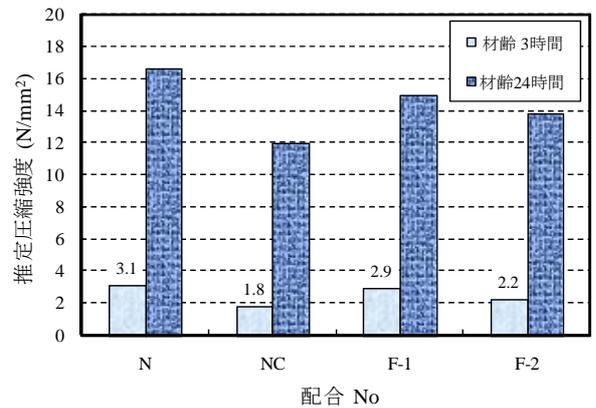


図-1 初期強度試験結果

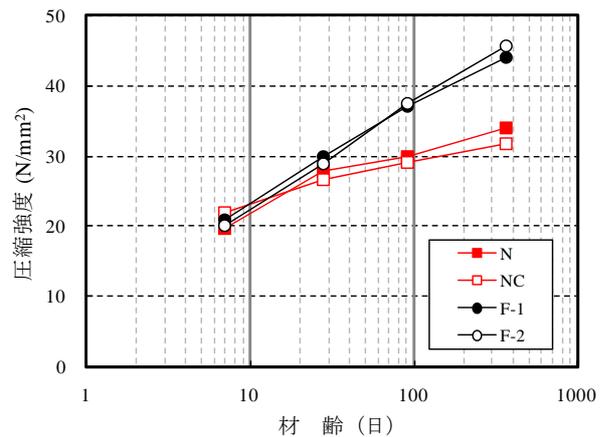


図-2 圧縮強度試験結果

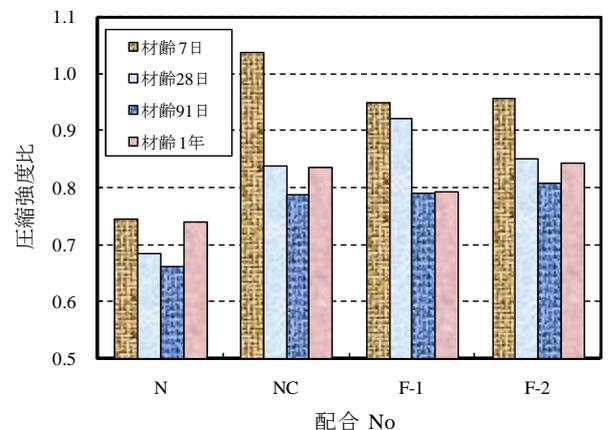


図-3 急結剤無添加に対する強度比

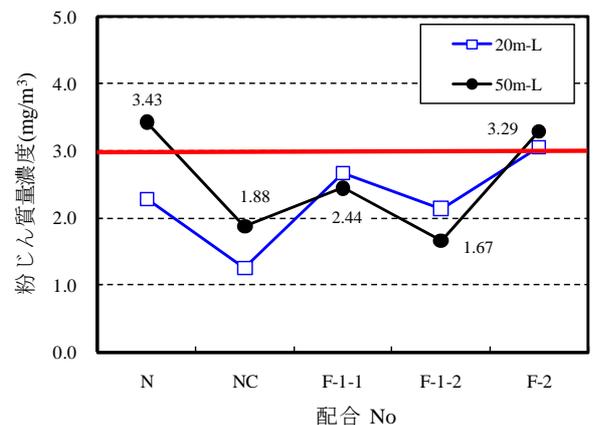


図-4 粉じん濃度測定結果