

石炭灰配合吹付けコンクリートの現場適用性について

国土交通省 中国地方整備局 殿ダム工事事務所 ○山本康夫

(株) 大本組 土木本部 技術部 正会員 榊原高範

(株) エネルギア・エコ・マテリア 正会員 安野孝生

(株) 大本組 殿トンネル作業所 時末圭嗣

(株) 大本組 土木本部 技術部 正会員 鈴木昌次

1. はじめに

火力発電所から発生する石炭灰は、その有効利用方法の一つとして、トンネル吹付けコンクリートへの配合が可能である。本報告では、石炭灰配合吹付けコンクリートの配合設計から施工までの流れをまとめるとともに、現場適用性について報告する。さらに、PFBC 灰（中国電力㈱大崎発電所産）と呼ばれる、現在使用中の石炭灰（中国電力㈱三隅発電所産）よりもさらに自硬性の高い石炭灰の配合設計について報告する。なお、本報告では便宜上、一般的に使用される石炭灰を PFBC 灰と区別するため普通灰と呼ぶ。

2. 室内配合試験

配合設計は安野ら¹⁾によって示された、湿式吹付けコンクリートの配合設計フローに準じて実施した。ベース配合を表1に、使用材料を表2に示す。ベース配合をもとに室内配合試験を実施し、フレッシュ性能を満足する配合の絞り込みをおこなった。室内配合試験結果を表3に示す。

表1 ベース配合

W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					
		W	C	CA	s	G	Ad
51.9	59.2	220	297	127	967	676	—

B: 総粉体量=C+CA

表2 使用材料

名称	略称	適用
練混水	W	水道水
セメント	C	普通ポルトランドセメント
細骨材	s	表乾密度 2.60g/cm ³ , 吸水率 2.13%, F.M.3.47
粗骨材	G	表乾密度 2.64g/cm ³ , 吸水率 0.97%
石炭灰	CA	中国電力㈱三隅発電所産, 密度 2.20g/cm ³
混和剤	Ad	高性能 AE 減水剤 NT-1000

3. 実機試験練りおよび試験吹付け

表3 室内配合試験結果

最適単位水量	Ad なし: 206kg/m ³ Ad あり: 186kg/m ³
最適細骨材率	s/a=60.5%
石炭灰置換率	30%
総粉体量	360kg/m ³ 以上

配合試験結果より 4 配合を絞り込み、実機試験練りおよび試験吹付けを実施した。試験項目および要求性能を表4に、試験結果を表5に示す。試験の結果、実機試験練り時のフレッシュ性能はすべて要求性能を満足し、良好な練り上がり状態を呈した。スランプ経時変化については、全ケース 60 分後まで要求性能内のスランプを呈したが、Ad ありのケースでは 60 分後のスランプ低下量が 1.0~1.5cm であるのに対し、Ad なしのケースは 3.0cm のスランプ低下量であった。硬化物性は、全ケースで初期強度 σ_1 および長期強度 σ_{28} を満足する結果とな

表4 試験項目および要求性能

試験項目		要求性能
フレッシュ性能	スランプ JIS A 1101	10±2.0cm
	空気量 JIS A 1128	2.0±1.5%
硬化物性	圧縮強度 JIS A 1108 σ_7, σ_{28}	$\sigma_{28} > 18.0\text{N/mm}^2$
	初期圧縮強度 JSCE-G561	$\sigma_1 > 5.0\text{N/mm}^2$
	コア圧縮強度 JSCE-F561 JIS A 1108	$\sigma_{28} > 18.0\text{N/mm}^2$

ったが、Ad なしの配合は初期強度がやや劣る結果となった。

表5 試験結果

	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)						フレッシュ性能						硬化物性 (N/mm ²)			
			W	C	CA	s	G	Ad	スランプ (cm)	温度 (℃)	空気量 (%)	スランプ 経時変化			標準養生		プルアウト コア抜き	
												30分	60分	90分	σ ₇	σ ₂₈	σ ₁	σ ₂₈
1-1	50.2	60.5	206	287	123	984	652	---	11.0	16.0	1.7	10.0	8.0	---	22.0	38.9	5.69	26.7
1-2	47.9	60.5	206	300	130	972	644	---	11.0	16.0	1.9	10.5	8.0	---	26.4	44.5	5.89	31.2
2-1	47.7	60.5	186	273	117	1027	681	2.34	10.0	16.0	2.4	8.5	8.5	6.5	30.1	48.8	6.68	21.4
2-2	45.4	60.5	186	287	123	1015	673	2.34	10.0	16.0	2.4	9.0	9.0	7.5	30.1	49.0	6.79	29.4

以上の試験結果をもとに、現場で使用する石炭灰配合吹付けコンクリートの配合はスランプ経時変化および、初期強度の発現性より表5のケース 2-2 を採用した。

4. 実施工

表6 坑内粉じん濃度測定結果：吹付け時

測定日時	H15.2.3	H15.2.17	H15.3.3
測定値(mg/m ³)	2.113	1.559	0.763
風量(m ³ /min)	750	1000	1000

測定値は切羽右、左、中央の平均値。

測定は、厚生労働省ガイドラインに準じて測定。

キーワード：山岳トンネル、石炭灰、PFBC 灰、吹付けコンクリート

(株) 大本組土木本部技術部 〒700-8550 岡山県岡山市内山下 1-1-13 TEL:086-227-5179 FAX:086-227-5174

粉じん濃度目標レベル 3.0mg/m³を十分に下回る。また、施工中の視界も良好であり、切羽後方約 100m からでも切羽を見通すことが可能であった。なお、他現場での弊社実績による、通常の吹付コンクリート施工時の粉じん濃度測定値は風量 570m³/min で 2.96mg/m³ である。参考として、この値を建設労働災害防止協会の換気技術指針に示される算出式(1)を用いて、風量 1000m³/min 時の粉じん濃度に換算すると 1.69mg/m³ となる。

$$Qa = \frac{Fo}{Ga} \quad (1)$$

Qa：所要換気量(m³/min)、

Fo：吹付け作業時の粉じん発生量(mg/min)、

Ga：粉じん濃度レベル(mg/m³)

表 7 に吹付け厚さと吹付け量から算出したリバウンド率を示す。吹付けコンクリートの一般的なリバウンド率は 25%程度であるが、石炭灰を配合することにより 5～7%のリバウンド低減効果が得られた。

さらに、吹付け完了面の状況が滑らかであることも、石炭灰配合による粘性増加の効果と考えられる。吹付け状況を写真 1 に示す。

5. PFBC 灰の利用

PFBC 灰は普通灰に比べ、より高い自硬性を持つため、設計基準強度を満足する範囲でセメント量の低減が可能と考えられる。これにより、さらなるコスト低減、石炭灰有効利用量の増加が期待できる。

配合計画は、普通灰配合におけるセメント量 287kg/m³をベースに、セメント量を 210 kg/m³ まで低減し、最も経済的な配合を決定することを目的に計画した。表 8 に室内配合試験結果を示す。

ケース P4 の試験結果より、PFBC 灰は普通灰に比べ、同一セメント量および石炭灰量において、所要のスランプを得るために単位水量が約 20kg/m³ 増加していることが分かる。これは、灰の粒径が、普通灰は球状であるのに対し、PFBC 灰は不定形であるためと考えられる。セメント量を減少し、PFBC 灰使用量を増加した場合、最適単位水量は、Ad ありのケースで 210 kg/m³、Ad なしの場合で 225 kg/m³ となった。圧縮強度は、セメント量の減少とともに低下した。

室内配合試験の結果より、PFBC 灰の配合においては、図 1 に示すように、単位水量増加によるコンクリート強度の低下と、高い自硬性によるセメント量の低減という 2 つの相反する効果のバランスを考え、設計基準強度を満足する

表 7 リバウンド率算出結果

掘削パターン	実吹付け量 (m ³)	計算吹付け量 (m ³)	リバウンド率 (%)
DⅢa	7.0	5.6	20.0
DⅠ	5.5	4.5	18.2
CⅡ	4.5	3.6	20.0

実吹付け量：切羽に搬入したコンクリート量
計算吹付け量：吹付け厚より算出



写真 1 吹付け状況

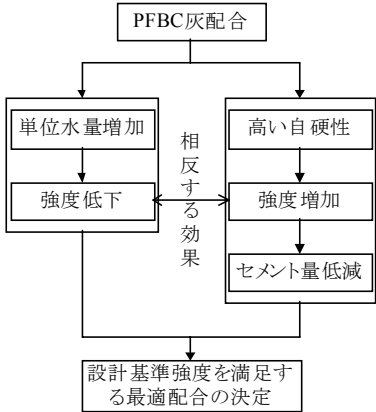


図 1 PFBC 灰配合決定フロー

る配合を絞り込むことが必要となる。

今後、室内配合試験結果をもとに実機試験練り、試験吹付けを実施し、硬化物性、施工性能を確認した後、実施工に採用する予定である。

6. おわりに

石炭灰配合吹付けコンクリートの使用により、(1)使用セメント量の減少によるコスト低減効果、(2)粉じん抑制効果による坑内環境影響の低減、(3)石炭灰の有効利用によるリサイクル効果等が得られることから、石炭灰配合吹付けコンクリートの現場適用性は高いと考える。今後は、PFBC 灰配合吹付けコンクリートの現場適用性について試験施工を実施し、検証をおこなう予定である。

参考文献

1) 安野他：石炭灰原粉を用いた湿式吹付けコンクリートの配合設計、土木学会第 55 回年次学術講演会、V-212、2000.9