

石炭灰を用いた高強度吹付けコンクリートの強度特性に関する検討

中部電力(株)電力技術研究所
中部電力(株)徳山水力建設所
中部電力(株)火力部
飛鳥建設(株)建設事業本部
(株)テクノ中部

正会員
正会員

○佐藤 正俊
松下 政史
富田 雅美
平間 昭信
近藤 久雄

1. はじめに

中部電力では、石炭火力発電所の副産物である石炭灰を有効利用するため、これまでにトンネル吹付けコンクリートへの石炭灰の適用性について取組んできた。近年トンネルの建設において、トンネル断面が大断面化、扁平化するなかで、高強度のコンクリートを使用することにより吹付け厚を薄くし、材料使用量を低減するとともに、施工期間を短縮する取り組みが行われるようになった。しかし、この高強度吹付けコンクリートへの石炭灰の適用性については、検討された事例はほとんどない。

そこで、第二東名・名神高速道路のトンネル工事等での実績がある、粉体急結剤に水を添加してスラリー化したものをコンクリートに混合する湿式吹付け方式のスラリーショットシステムを対象に、石炭灰を用いた高強度吹付けコンクリートの強度特性について、室内配合試験および現場実証試験を実施して検討を行った。本報告は、強度特性に関する内容について取りまとめたものであり、施工性に関しては別途報告²⁾する。

2. 試験概要

2. 1 室内配合試験

使用した材料を表-1に、試験に用いたベースコンクリートの配合を表-2に示す。石炭灰によるセメント置換率は0～25%とし、細骨材置換率は5%とした。なお、目標スランプ値は、石炭灰の混入による粘性の増加による施工性の低下を考慮し、20±2cmとした。

フレッシュコンクリートの試験はスランプ試験(JIS A 1101)、硬化コンクリートについては圧縮強度試験(JIS A 1108)を行った。

2. 2 現場実証試験

試験は、水力発電所建設地点の放水路トンネル工事区間の一部にて実施した。使用した材料は表-1のとおりである。室内配合試験結果から3配合に絞り込みを行い試験に用いた配合を表-3に示す。

試験方法は、プルアウト試験(JSCE-G561-

表-1 使用材料

材 料	種 類	記号	諸 元
セメント	普通ポルトランド	C	密度3.15 g/cm ³
石炭灰	碧南火力産 (JIS II 種相当品)	FA	密度2.29 g/cm ³ , 二酸化珪素56.74%, 強熱減量2.1%, 比表面積3,340cm ² /g
細骨材	水力発電所建設地点 骨材プラント産	S	F.M2.95, 密度2.88 g/cm ³
粗骨材	緑色岩	G	密度2.93 g/cm ³
高性能減水剤		Ad	ポリエチレングリコール系
急結助剤		SD	水溶性高分子化合物
急結剤		AC	カルシウムサルフォアルミ ネット系

表-2 室内配合試験における検討配合

No	セメント 置換率	細骨材 置換率	スラ ンプ (cm)	水セメ ント比 W/C (%)	水結 合材 比 W/B (%)	細骨 材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						
							水 W	結合材(B)		細骨材		粗骨材 G	高性能 減水剤 Ad (B×%)
								セメ ント C	石炭灰 FA	細骨材 S	石炭灰 FA		
1	0 wt%	0 wt%	20	42.0	42.0	60	189	450	0	1,087	0	738	0.85
2	10wt%			46.7				405	45	1,078		731	0.80
3	20 wt%			52.5				360	90	1,069		725	0.70
4	25 wt%			56.1				337	113	1,065		722	0.70
5	15 wt%	5 wt%		49.5				382	68	1,010	53	728	0.65
6	20 wt%			52.5				360	90	1,006		725	0.70

表-3 現場実証試験における検討配合

No	セメント 置換率	細骨材 置換率	スラン プ (cm)	水セメン ト比 W/C (%)	水結合 材比 W/B (%)	細骨材 率 s/a (%)	単位量 (kg/m³)								スラリー急結剤	
							水 W	結合材(B)		細骨材		粗骨 材 G	高性能 減水剤 Ad (B×%)	急結 助剤 SD (B×%)	急結剤 AC (B×%)	スラリー 化水 Ws (AC×%)
								セメン ト C	石炭 灰 FA	細骨 材 S	石炭 灰 FA					
I	0 wt%	0 wt%	20	42.0	42.0	60	189	450	0	1,087	0	738	0.85	0.02	10	70
II	15 wt%			49.5				382	68	1,074		725	0.65			
III				5 wt%				49.5		1,010	53	728				

キーワード：山岳トンネル、吹付けコンクリート、高強度、石炭灰、強度特性
連絡先：〒459-8522 名古屋市緑区大高町字北関山 20-1 中部電力(株) 電力技術研究所 TEL: 050-7772-2850

2007), 圧縮試験(JIS A 1108)に準じて行った。

3. 試験結果

3. 1 室内配合試験

フレッシュコンクリートは、目標としたスランプ $20 \pm 2\text{cm}$ を確保できた。セメント置換率と圧縮強度の関係を図-1に示す。図に示すように、セメント置換率と圧縮強度には負の相関が認められる。吹付けコンクリートとの強度比と、変動係数を考慮して設定したベースコンクリートの目標強度 54N/mm^2 以上を満足する配合を、現場実証実験で検討する配合とすることとして、石炭灰を用いない標準配合(No. I), セメント置換率 15% (No. II), およびセメント置換率 15%と細骨材置換率 5%(No. III)の3ケースを選定した(表-3参照)。

3. 2 現場実証試験

初期強度に関する試験結果を図-2に示す。石炭灰を用いた配合ケース(No. II, III)においても、高強度吹付けコンクリートの管理強度である材齢 3 時間強度 2N/mm^2 , 24 時間強度の 10N/mm^2 を満足する強度発現が得られることが確認された。

長期強度に関する試験結果を図-3に示す。標準水中養生した供試体の試験結果より、材齢 7 日, 28 日とも標準配合(No. I)の圧縮強度に対し、セメント置換率 15% (No. II, III) の圧縮強度は $1 \sim 5\text{N/mm}^2$ 程度低下する結果であったが、設計基準強度(材齢 28 日強度 36N/mm^2)を確保する結果であった。材齢 91 日の圧縮強度は、標準配合の 47N/mm^2 に対しセメント置換率 15%(No. II)はほぼ等しく、セメント置換率 15%と細骨材置換率 5%(No. III)は、 5N/mm^2 上回る強度が得られた。材齢 28 日から 91 日間の強度の伸びは、標準配合の 1.2 倍程度に比べ、セメント置換率 15%が 1.3 倍程度、セメント置換率 15%と細骨材置換率 5%が 1.4 倍程度と大きい。これは、石炭灰のポズラン反応および吹付けコンクリートの急結剤がポズラン反応を促進する効果によると考えられる。

現場気中養生した供試体における配合や材齢による強度の発現傾向は、標準水中養生の場合と同様であった。

4. まとめ

強度特性に関する試験の結果より、管理値を満足する石炭灰による置換率を見出し、石炭灰が高強度吹付けコンクリートに適用できることを明らかにした。本研究で得られた知見は以下のとおりである。

- 1) 初期強度において、セメント置換率 15%の吹付けコンクリートの材齢 3, 24 時間強度は、強度特性の管理値であるそれぞれ 2, 10N/mm^2 を満足する強度発現が得られた。
- 2) 長期強度において、材齢 28 日の圧縮強度は、セメント置換率 15%の配合の吹付けコンクリートでは、設計基準強度の 36N/mm^2 以上の強度発現が得られた。材齢 91 日の圧縮強度は、セメント置換率 15%の配合は標準配合の値にほぼ等しく、セメント置換率 15%と細骨材置換率 5%では標準配合の値を上回る強度発現が得られた。

参考文献

- 1) 尾留川剛, 小島亘, 白戸伸明, 齋藤敏樹: 石炭灰(フライアッシュ)の高強度吹付けコンクリートへの適用性, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, pp.1637-1642, 2006
- 2) 佐藤正俊, 松下政史, 富田雅美, 平間昭信, 葛野靖史: 石炭灰を用いた高強度吹付けコンクリートの施工性に関する検討, 土木学会第 67 回年次学術講演会概要集, (VI部門投稿中), 2012.9

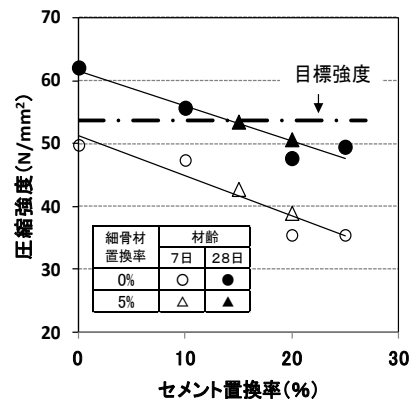


図-1 セメント置換率と圧縮強度の関係

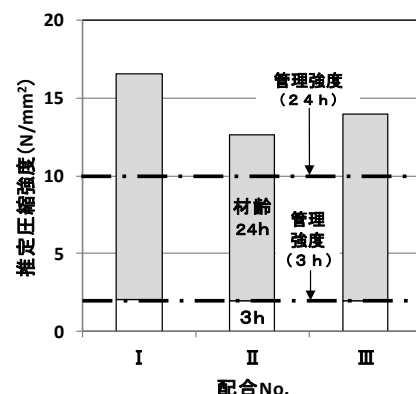
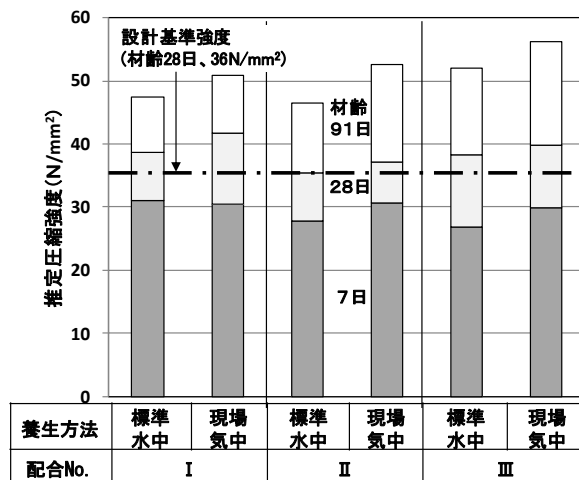


図-2 初期強度



注) 現場気中養生の平均養生温度: 24°C

図-3 長期強度