

石炭灰を用いた吹付けコンクリートの現場適用について

飛鳥建設広島支店 正会員 山本 修
 山口県錦川総合開発事務所 緒方正則
 飛鳥建設広島支店 周藤昭夫
 飛鳥建設技術研究所 正会員 平間昭信 岩城圭介
 中国電力土木部 正会員 齊藤 直 安野孝生

1. はじめに

近年、環境問題に関する意識の向上から、産業廃棄物の建設材料としての有効利用が進められている。石炭火力発電所で産出する石炭灰は、分級後、JIS 規格に合致したフライアッシュとして、コンクリート用混和材に用いられている。しかし、JIS に適合しない分級前の石炭灰は、比較的成本メリットが高いにもかかわらず、コンクリート分野への利用が進んでいない現状がある。一方、山岳トンネルの吹付けコンクリートでは、はね返り低減や施工性確保の観点から、一般的なコンクリートに比べて単位セメント量が多い配合が用いられており、セメント置換による石炭灰の添加が、吹付けコンクリートのコスト縮減を実現する方策として有効であると考えられる。ここでは、山口県平瀬ダム錦川総合開発事業一般国道 434 号付替道路（平瀬トンネル）工事で、VE 提案の位置付けで適用した石炭灰添加吹付けコンクリートに関して、コストメリット、吹付け性状、強度特性について報告する。

2. 使用材料および配合

表 - 1 使用材料

使用材料を表 - 1 に示す。使用した石炭灰は、原粉で JIS A 6201 コンクリート用フライアッシュの II 種に近い品質を有するものである。

本工事では、これまでの実績¹⁾と室内配合検討の結果²⁾に基づき表 - 2 の CA1 配合を適用したこの配合では、一般的な単位セメント量 360 kg/m³ の 30%を安価な石炭灰で置換することにより、コンクリート 1 m³ 当たり

| 材料 | 材料の諸元 |
|--------|--|
| セメント C | 普通ポルトランドセメント, 密度 3.16 g/cm ³ |
| 石炭灰 CA | 新小野田火力発電所産, 比表面積 3,290 cm ² /g, 強熱減量 3.7%, 活性度指数 82.9% (28 日) 95.2% (91 日), 密度 2.20 g/cm ³ |
| 水 W | 河川水 |
| 細骨材 S | 岩国市守内蒲江沖産, 砕砂・海砂混合砂, 粗粒率 2.64, 密度 2.66 g/cm ³ |
| 粗骨材 G | 岩国市守内産, 砕石 1505, 粗粒率 6.18, 密度 2.65 g/cm ³ |
| 急結剤 A | セメント鉱物系, 密度 2.70 g/cm ³ |

の材料費で約 1,000 円のコスト低減が図られた。

また、配合要因の影響による強度特性や粉じん、はね返りなどの施工性を把握する目的で、表 - 2 に示す N (一般的な配合)、CA2、CA3 (石炭灰添加量、添加方法を変化させた配合) の 3 配合を比較対象に加え、試験施工を行った。

3. 試験方法

試験方法を表 - 3 に示す。はね返り以外の試験は、各配合で 2 回の試験を行った。なお、実測に基づく吹付け条件は、コンクリート吐出量で 15~17 m³/hr、圧送効率で 83~90%、急結剤添加量で 25.0~28.8 kg/m³ の範囲であり、各ケースともほぼ一定の条件下で試験を行った。

4. 試験結果および考察

フレッシュコンクリートの試験結果は、各配合とも、スランブの目標値 10 ± 2 cm を満足した。しかし、スランブ試験時の目視評価

表 - 2 配合表

| 配合 No. | スランブ (cm) | 水粉体比 W/P (%) | 水セメント比 W/C (%) | 細骨材率 s/a (%) | 単位量 (kg/m ³) | | | | | |
|--------|-----------|--------------|----------------|--------------|--------------------------|--------|--------|-------|-------|-------|
| | | | | | 水 W | 粉体 P | | 細骨材 S | 粗骨材 G | 急結剤 A |
| | | | | | | セメント C | 石炭灰 CA | | | |
| N | 10 ± 2 | 61.1 | 61.1 | 61.7 | 220 | 360 | 0 | 1,061 | 655 | 25.2 |
| CA1 | | 58.9 | 84.1 | 61.3 | 212 | 252 | 108 | 1,043 | | |
| CA2 | | 60.0 | 70.6 | 61.6 | 216 | 306 | 54 | 1,053 | | |
| CA3 | | 52.2 | 70.6 | 60.0 | 216 | 306 | 108 | 987 | | |

表 - 3 試験方法

| 試験項目 | 試験方法 |
|------------|---|
| スランブ | JIS A 1101 による。 |
| 粉じん濃度 | 旧労働省「ずい道建設工事における粉じん対策に関するガイドライン」の測定方法に準拠（切羽から 50 m 中央 1 点で経時モニタリング） |
| 吹付け性状の目視評価 | 固定した 3 名評価員により、急結剤の混合状態、脈動状態、急結性、粉じん、付着性を目視により 5 段階評価。 |
| はね返り率 | 2.0 m ³ をトンネル上半に吹付け、はね返り質量を測定。はね返り率 = はね返り質量 / コンクリート 2.0 m ³ の質量 |
| 初期強度 | ブルアウト法 (JSCE-G 561, JHS 702) による。試験材齢 3, 24 時間 |
| 長期強度 | 吹付けコアの圧縮強度 (JSCE-F 561, JIS A 1107), 試験材齢 7, 28, 91 日 |

キーワード：吹付けコンクリート、石炭灰、コスト縮減、粉じん低減、強度発現

〒740-0724 山口県玖珂郡錦町大字広瀬字迫瀬 2710-1 飛鳥建設・井森工業・成長建設共同企業体 Tel: 0827-71-0150 Fax: 0827-71-0151

では、配合間でコンクリートの粘性に相違が認められた。

粉じん濃度の経時変化については、長時間の上半吹付けを行った時間帯のデータを選定し、粉じん濃度増加量の移動平均（5分間）として図-1のように表した。この結果から、石炭灰添加配合 CA1, CA2, CA3 では、N に比べて粉じん濃度の増加が少なく、定常状態になるまでに長時間を要することが示された。定常状態の粉じん濃度増加量は、N が 3.7 mg/m^3 程度であるのに対して、CA1, CA2, CA3 で 3.0 mg/m^3 を下回る程度に低減されることが示された。

吹付け性状の目視評価結果を図-2 に示す。一般的に石炭灰を添加した配合では、粉じんの低減や付着性の改善が見られる結果であった。しかし、CA1 は、他に比べて急結性に劣る結果であった。この原因としては、コンクリートのフレッシュ性状や単位セメント量の不足が考えられる。また、CA3 では、脈動が見られる結果であった。これは、多い粉体量による粘性の増加に起因すると考えられ、コンクリートの粘性に応じたスランプの設定に関し、さらなる検討を要すると考えられる。

はね返り率の測定結果は、CA1 が 20.3%、CA2 が 11.5%、CA3 が 14.7%であった。これらの結果は、発破工法の上半吹付けにおける一般的にはね返り率（25～30%）に比べて良好であったが、CA1 のはね返りが比較的多い結果であった。CA1 では、目視評価で示した急結性の不足が、吹付けエアによる「まくられ」を助長したと考えられる。この現象は、石炭灰添加によるワーカビリティの改善効果を活用した適切なスランプの設定により改善できる可能性がある。

強度発現に関しては、図-3 に示すように、材齢 24 時間までの初期強度の範囲および材齢 91 日に CA3 が比較的高い圧縮強度を示し、N, CA1, CA2 に差違が認められない結果であった。CA3 では、石炭灰とセメントの総量である単位粉体量が他の 3 配合に比べて多いことから、石炭灰のポゾラン反応による強度発現への影響が示唆される。また、いずれの配合も、材齢 24 時間、材齢 28 日の基準強度を満足する結果であった。

5. まとめ

VE 提案で適用した石炭灰を添加した吹付けコンクリートに関する試験施工の結果、以下の知見を得た。

- (1) 石炭灰添加吹付けコンクリートは、吹付け時の粉じん濃度を抑制可能であり、坑内作業環境の保全に有効であることが示された。また、適切なスランプの設定により、はね返りの低減効果を有する可能性も示された。
- (2) セメント置換で 30%の石炭灰を添加した CA1 配合の強度発現は、一般的な吹付けコンクリートと同等であり、材齢 24 時間、28 日の基準強度を満足することが確認された。また、CA1 配合では、コストメリットが高く、品質を損なうことなくコスト縮減が可能であると考えられる。

【謝辞】 試験施工の実施に当たり、太平洋マテリアル（株）他関係各位にご協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表します。

【参考文献】 1) 飯島他：石炭灰原粉を用いた吹付けコンクリートのモデル試験施工，土木学会第 55 回年次学術講演会 V-213, 2000.

2) 岩城他：石炭灰を用いた吹付けコンクリートの凝結・強度発現に関する研究，土木学会第 57 回年次学術講演会 V(投稿中)，2002.

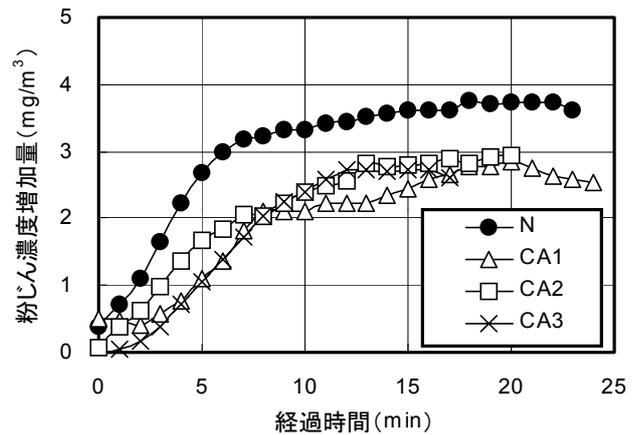


図-1 粉じん濃度の経時変化

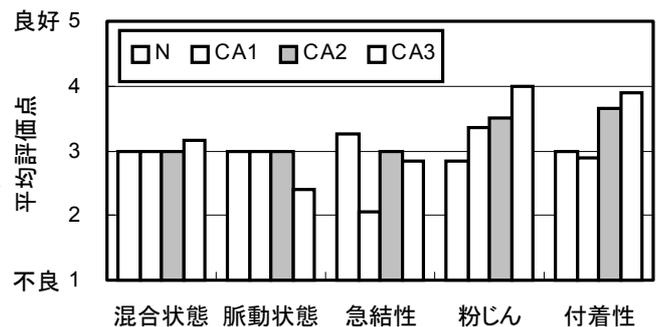


図-2 吹付け性状の目視評価結果

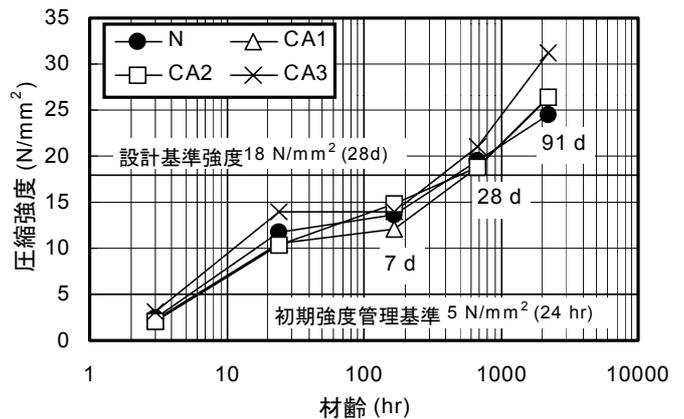


図-3 圧縮強度の経時変化