

## 産地の異なるフライアッシュを混合した中庸熱フライアッシュ セメントのダム用コンクリートへの適用に関する検討

宇部三菱セメント(株)九州支店 技術グループ 正会員 ○田中純一 平岡信幸  
福岡県五ヶ山ダム建設事務所 住吉正浩 豊増隆敏 真崎達也 平田優己  
鹿島建設(株) 正会員 林 健二 内田典男 松本信也 取違 剛

### 1. 目的

五ヶ山ダムでは、「巡航 RCD 工法」を採用している<sup>1)</sup>。この工法は打込み速度の異なる内部コンクリートと外部コンクリートを独立施工することで高速施工を可能としている。同ダムでは、外部コンクリートに、フライアッシュ置換率 30%の中庸熱フライアッシュセメント(MF30)を採用している。通常、フライアッシュは、施工期間を通して同一の発電所から発生するものを使用することを原則としているが、発電所で使用する石炭の多様化等の影響で良質なフライアッシュを大量に確保することが困難になっていることに加え、巡航 RCD 工法による打込み速度の高速化、同ダム用の A 火力発電所の定期点検に伴いフライアッシュの供給が不足する期間があり、産地の異なるフライアッシュを入手して比較検討を行い実際の施工に適用した事例を報告するものである。

### 2. フライアッシュの銘柄および品質

今回使用したフライアッシュは、通常使用している A 火力発電所品(A-FA)、B 火力発電所(B-FA) と併せ、C 火力発電所(C-FA)および D 火力発電所(D-FA)の 4 種類である。フライアッシュの物性を表-1 に、粒度分布測定結果を図-1、表-2 に示す。物性では、D-FA の比表面積が他と比べて小さく、過去の値からも五ヶ山ダム管理基準値の  $3900 \pm 400 \text{ cm}^2/\text{g}$  を外れる恐れがあるため、管理基準値を  $3500 \pm 400 \text{ cm}^2/\text{g}$  として別管理することとした。その他の管理項目については、全て五ヶ山ダム管理基準値を満足している。

粒度分布に着目すると A-FA は粒子の 50%通過率を表すメディアン径は比較的小さく微粒子が多いのが特徴で、 $100 \mu\text{m}$  以上の粒子が殆どないブロードな粒度分布である。B-FA は  $10 \mu\text{m}$  付近の粒子が多くシャープな分布となっており、 $3 \mu\text{m}$  以下の微粒子も  $45 \mu\text{m}$  以上の大きい粒子も少ない。C-FA は B-FA に近い粒度分布であるが、 $45 \mu\text{m}$  以上の大きい粒子が比較的多い。D-FA は A-FA に近いブロードな粒度分布であるが、 $45 \mu\text{m}$  以上および  $100 \mu\text{m}$  以上が多く平均粒径も他のフライアッシュと比較して大きくなっている。

### 3. 使用材料およびコンクリートの配合

本検討に使用したコンクリートの使用材料を表-3 に、外部コンクリートの配合を表-4 に示す。室内試験練りでの検討においては、A-FA、C-FA および D-FA の 3 種類を用いた。それ以外の材料はすべて五ヶ山ダムの施工に用いられる材料である。また、外部コンクリートの配合に用いる粗骨材最大寸法は  $80 \text{ mm}$  であり、G1 : G2 : G3 の比率は通常の施工で使用している、40 : 30 : 30 (重量比)とした。

表-1 フライアッシュの物性

|      | 密度<br>( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) | 化学成分 (%)         |     |      | MB 吸着<br>量( $\text{mg}/\text{g}$ ) |
|------|----------------------------------|------------------|-----|------|------------------------------------|
|      |                                  | SiO <sub>2</sub> | 湿分  | 強熱減量 |                                    |
| A-FA | 2.28                             | 64.1             | 0.1 | 2.30 | 0.34                               |
| B-FA | 2.28                             | 62.7             | 0.1 | 3.02 | 0.48                               |
| C-FA | 2.28                             | 57.8             | 0.2 | 2.38 | 0.29                               |
| D-FA | 2.27                             | 60.7             | 0.1 | 2.63 | 0.41                               |

|      | 粉末度                       |                                    | フロー<br>値比(%) | 活性度 (%) |      |
|------|---------------------------|------------------------------------|--------------|---------|------|
|      | 45 $\mu\text{m}$ 残<br>(%) | 比表面積<br>( $\text{cm}^2/\text{g}$ ) |              | 28 日    | 91 日 |
| A-FA | 1.6                       | 3900                               | 102          | 82      | 95   |
| B-FA | 0.3                       | 3950                               | 107          | 84      | 99   |
| C-FA | 0.6                       | 3730                               | 114          | 84      | 101  |
| D-FA | 4.6                       | 3580                               | 102          | 83      | 98   |

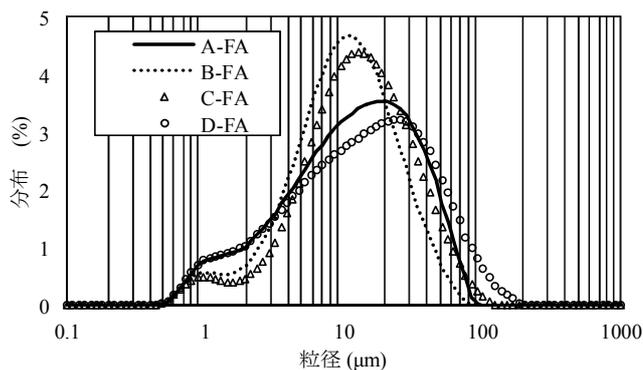


図-1 フライアッシュの粒度分布

表-2 フライアッシュの粒度分布

|      | 平均粒径<br>( $\mu\text{m}$ ) | メディアン径<br>( $\mu\text{m}$ ) | 45 $\mu\text{m}$ 以上<br>(体積%) | 3 $\mu\text{m}$ 以下<br>(体積%) |
|------|---------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| A-FA | 19.6                      | 12.9                        | 8.56                         | 14.34                       |
| B-FA | 11.5                      | 10.7                        | 3.01                         | 10.87                       |
| C-FA | 13.5                      | 13.3                        | 7.68                         | 8.08                        |
| D-FA | 25.0                      | 14.8                        | 15.58                        | 14.47                       |

キーワード 中庸熱フライアッシュセメント, フライアッシュ, 粒度分布, フレッシュ性状, 圧縮強度  
連絡先 〒814-0001 福岡市中央区天神 1-12-20 宇部三菱セメント(株)九州支店 TEL:092-752-6105

4. 試験結果

コンクリートのフレッシュ性状を表-5 に、圧縮強度試験結果を図-2 に示す。フライアッシュ産地の違いにより懸念されるのは、未燃カーボンの影響による空気量の変動である。未燃カーボン量はメチレンブルー(MB)吸着量<sup>2)</sup>で代用することが可能で表-1 に示すとおり、C-FA のMB 吸着量が小さく、D-FA が大きい値となっている。同一空気量を得るための AE 剤量もMB 吸着量に比例して、D-FA が多く必要な結果となった。しかし、MB 吸着量の比較的小さいA-FA もAE 剤添加量が多くなっている。空気量は、微粒分量が多くなると減少する傾向にある<sup>3)</sup>ため、図-1 のとおり、3 $\mu$ m 以下の微粒分の多いA-FA およびD-FA のAE 剤量が多くなったとも推察できる。但し、3 $\mu$ m 以下の微粒分量と AE 剤添加量の関係については、以前に検討した例がないので今後の課題である。

圧縮強度試験結果については、極初期の3日強度に於いて、D-FA の結果が低かったものの、その他の材齢ではFA の種類によらずほぼ同等の結果が得られた。

5. 実施工時のコンクリート強度

今回の MF30 の納入ではセメント工場において、フライアッシュの銘柄毎にサイロを設け、製造ロット毎に別管理とした。A-FA で52ロット、B-FA で1ロット、C-FA で3ロット、D-FA で4ロットの製造を行った。

実施工時の外部コンクリートの圧縮強度試験結果を図-3 に示す。実施工時の圧縮強度試験結果も現地骨材の状況や打設時期の影響で多少のばらつきはあるものの、平均値を比較すると室内試験とほぼ同等の結果が得られた。

6. まとめ

フライアッシュは、産地により同等の比表面積でも粒度分布に違いがあることが分かった。しかし、ダム用セメントの原材料として使用する場合、事前の試験練りで品質確認を行うことで、コンクリート製造時に配合変更等行うことなく使用できることが分かった。また、長期強度発現性はフライアッシュの種類によらずほぼ同等であった。

今回、五ヶ山ダム向け MF30 に使用したフライアッシュは、A-FA、B-FA を除きスポット的な受入れであり得られたデータも少ない。今後、更にデータを収集して物性等を確認していく必要がある。

参考文献

- 1) (財)ダム技術センター：改訂版巡航 RCD 工法施工技术資料, 2012.2
- 2) 環境技術協会, 日本フライアッシュ協会：石炭灰ハンドブック (第4版), pp.1-19-23, 2005.5
- 3) 鶴田ほか：細骨材の一部を石灰石微粉末で置換したコンクリートの諸物性,コンクリート工学年次論文集 Vol.26, No.1, pp.99-104, 2004

表-3 コンクリートの使用材料

| 材料      | 記号   | 摘要  |
|---------|------|---|
| 水       | W    | 河川水   |
| セメント    | M    | 中庸熟ポルトランドセメント<br>密度：3.21g/cm <sup>3</sup> , 比表面積：3940cm <sup>2</sup> /g |
| フライアッシュ | A-FA | A 火力発電所産 密度：2.28g/cm <sup>3</sup>                                       |
|         | C-FA | C 火力発電所産 密度：2.28g/cm <sup>3</sup>                                       |
|         | D-FA | D 火力発電所産 密度：2.27g/cm <sup>3</sup>                                       |
| 細骨材     | S    | 砕砂<br>密度：2.60g/cm <sup>3</sup> , FM：2.67                                |
|         | G1   | 砕石 80-40mm<br>密度：2.63g/cm <sup>3</sup> , FM：8.81                        |
|         | G2   | 砕石 40-20mm<br>密度：2.62g/cm <sup>3</sup> , FM：7.86                        |
| 粗骨材     | G3   | 砕石 20-5mm<br>密度：2.61g/cm <sup>3</sup> , FM：6.50                         |
|         | AD   | AE 減水剤<br>リグニンスルホン酸塩とナリソルボン酸塩   |

表-4 外部コンクリートの配合(A配合)

| W/C (%) | s/a (%) | スランプ (cm) | 空気量 (%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |    |     |     |     | AD (C×%) |     |
|---------|---------|-----------|---------|--------------------------|-----|----|-----|-----|-----|----------|-----|
|         |         |           |         | W                        | M   | FA | S   | G1  | G2  |          | G3  |
| 53.2    | 28.0    | 3±1       | 3.5±1   | 117                      | 154 | 66 | 563 | 582 | 436 | 436      | 1.0 |

表-5 コンクリートのフレッシュ性状

| FA 種類 | AE 剤 A(g) | スランプ (cm) | 空気量(%) |     | 単容 (t/m <sup>3</sup> ) |
|-------|-----------|-----------|--------|-----|------------------------|
|       |           |           | 読み値    | 換算* |                        |
| A-FA  | 20(88)    | 3.4       | 4.7    | 3.5 | 2.37                   |
| C-FA  | 11(48.4)  | 3.2       | 3.8    | 3.0 | 2.37                   |
| D-FA  | 20(88)    | 3.1       | 4.3    | 3.3 | 2.34                   |

※測定した空気量から、G1 容積をもとに換算

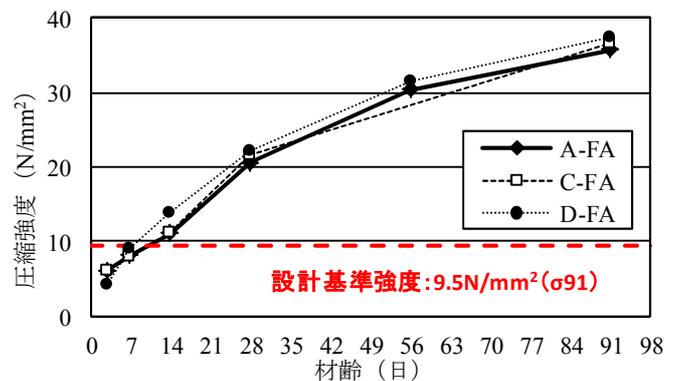


図-2 コンクリートの圧縮強度試験結果

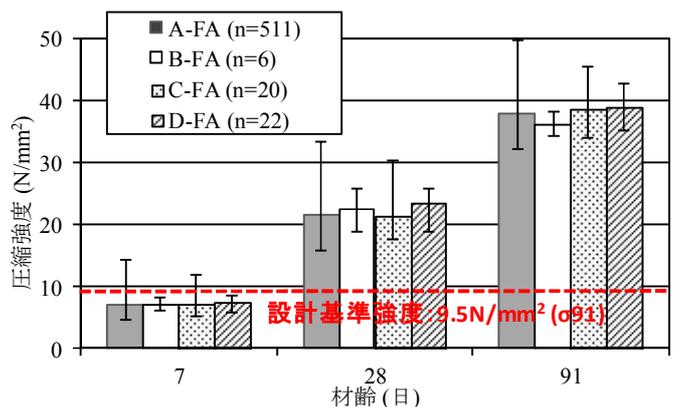


図-3 施工時のコンクリートの圧縮強度