

## フライアッシュを多量に使用したコンクリートの強度特性に関する検討

中部電力(株) 正会員 ○高見 一郎<sup>\*1</sup>  
 中部電力(株) 正会員 佐藤 正俊<sup>\*1</sup>  
 佐藤工業(株) 正会員 宇野洋志城<sup>\*2</sup>  
 佐藤工業(株) 高橋 英史<sup>\*3</sup>

## 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フライアッシュを有効利用するため、これまでにコンクリートの混和材としての利用をはじめ様々な取組を行ってきている。フライアッシュはコンクリートに混和することで、①流動性の改善および単位水量の減少、②水和熱の減少、③長期強度の増進、④乾燥収縮の減少などの効果を持つ一方で、フライアッシュによるセメント置換(内割)により初期強度が低下することや、細骨材置換(外割)により粘性が増加することから、高性能 AE 減水剤の使用量が増加する傾向があることが知られている。このため、フライアッシュは 250kg/m<sup>3</sup> 以下の混入量で使用されている例<sup>1,2)</sup>がほとんどである。

筆者らは、軟弱土層の置換工事における置換コンクリートへフライアッシュの積極的な利用を目指し、これまでに例のない多量のフライアッシュを混入したコンクリート(HVFC)の実用化を試みた<sup>3)</sup>。本報告は、従来を上回るフライアッシュの使用を目指し、室内試験によりフライアッシュによるセメントや細骨材との置換量と強度特性等について検討した結果について述べるものである。

## 2. 室内試験の概要

## (1) 配合および使用材料

置換コンクリートは構造体ではないことから、設計上、材齢3日の脱型時の圧縮強度 3.5N/mm<sup>2</sup>を確保すればよく、長期的にはフライアッシュの利用により強度増進が期待できる。

配合において、フライアッシュの使用を内割と外割の併用とし、フライアッシュ(内割)とセメントの合計を結合材とした水結合材比を 61~65%程度に設定した。配合ケースおよび使用材料の諸元を表-1に示す。フライアッシュの単位量は施工に問題のない範囲で増加させることを前提に考え、一般的な量を大きく超える 294~550kg/m<sup>3</sup>の範囲とした。スランプはフライアッシュ混入による粘性の増加を考慮して 21±1.5cm を目標値とした。なお、混和材として使用するフライアッシュは中部電力碧南火力発電所産の JIS II 種相当品とした。

ケース0(単位水量 175kg/m<sup>3</sup>)に対してケース1,2は外割量を増し、ケース3はケース1に対し内割量を増

表-1 配合ケースおよび使用材料の諸元

| ケース | 水結合材比<br>W/(C+F<br>内割))<br>(%) | 置換率<br>F(内割)<br>(C+F内割)<br>)<br>(%) | 水セメント<br>比<br>(%) | 細骨材率<br>(%) | ス<br>ラ<br>ン<br>プ<br>(cm) | 空気<br>量<br>(%) | 単位量 (kg/m³) |     |                 |       |       |     |      |     |     |      |
|-----|--------------------------------|-------------------------------------|-------------------|-------------|--------------------------|----------------|-------------|-----|-----------------|-------|-------|-----|------|-----|-----|------|
|     |                                |                                     |                   |             |                          |                | W           | C   | FA<br>(内割) (外割) |       | S1    | S2  | G1   | G2  | Ad  |      |
| 0   | 61.2                           | 21.0                                | 77.4              | 40.5        | 21                       | 3.0            | 175         | 226 | 433             | (60)  | (234) | 433 | 192  | 473 | 473 | 4.68 |
| 1   |                                |                                     |                   | 384         |                          |                |             |     | (324)           |       | 361   | 163 | 6.10 |     |     |      |
| 2   |                                |                                     |                   | 452         |                          |                |             |     | (392)           |       | 307   | 139 | 8.14 |     |     |      |
| 3   |                                | 44.1                                | 109.4             | 35.2        |                          |                |             | 160 | 450             | (126) | (324) | 346 | 155  |     |     | 4.88 |
| 4   | 64.7                           | 46.2                                | 120.1             | 31.3        |                          |                | 185         | 154 | 507             | (132) | (375) | 289 | 128  |     |     | 4.63 |
| 5   |                                | 61.2                                | 166.7             | 30.6        |                          |                |             | 111 | 550             | (175) |       | 279 | 125  |     |     | 4.63 |

セメント: C (普通ポルトランドセメント), 密度 3.16g/cm<sup>3</sup>, フライアッシュ: FA (碧南火力産 JIS II 種相当品), 密度 2.29g/cm<sup>3</sup>  
 細骨材: S1 (山砂), 美浜町産, 表乾密度 2.56g/cm<sup>3</sup>, S2 (砕砂), 幸田町産, 表乾密度 2.67g/cm<sup>3</sup>  
 粗骨材: G1 (砕石) Gmax20mm, 幸田町産, 表乾密度 2.67g/cm<sup>3</sup>, G2 (砕石) Gmax15mm, 幸田町産, 表乾密度 2.67g/cm<sup>3</sup>  
 混和剤: Ad (高性能 AE 減水剤; 主成分はポリカルボン酸系)

キーワード 混和材, フライアッシュ, 圧縮強度, 置換, HVFC

連絡先 \*1 〒459-8522 愛知県名古屋市長区大高町字北関山 20-1 TEL: 052-621-6101 FAX: 052-623-5117

\*2 〒243-0123 神奈川県厚木市森の里青山 14-10 TEL: 046-270-3091 FAX: 046-270-3093

\*3 〒461-8512 愛知県名古屋市長区泉 1-2-3 TEL: 052-962-7297 FAX: 052-962-9364

し、ケース 4,5 はフライアッシュ  $500\text{kg/m}^3$  以上の使用を目指し、粘性を調整するため単位水量を  $185\text{kg/m}^3$  に上げて内割量を増したものである。

## (2) 試験方法

フレッシュ性状についてはスランプ試験 (JIS A 1101)、空気量試験 (JIS A 1128) を行い、強度特性については圧縮強度試験 (JIS A 1108) に準じて行った。

## 3. 試験結果

単位水量  $175\text{kg/m}^3$  の 4 ケース (ケース 0~3) のフレッシュ性状を表-2 に、圧縮強度試験の結果を図-1 に示す。ケース 2 ではコンクリートの粘性が大きいので、他のケースと比べモルタル先練り方式で均一なモルタルが製造できるまでの時間が長く現場施工時の運用に支障をきたすものと想定され、その後の性状確認は必要なしと判断した。また、ケース 0,1,3 とも材齢 3 日の圧縮強度は脱型強度  $3.5\text{N/mm}^2$  を上回っている。

単位水量を  $185\text{kg/m}^3$  に増した 2 ケース (ケース 4,5) のフレッシュ性状を表-2 に、圧縮強度試験の結果を図-2 に示す。ケース 5 は材齢 3 日の圧縮強度が  $3.7\text{N/mm}^2$  であり、脱型強度  $3.5\text{N/mm}^2$  に対して品質のばらつきを考慮した場合の余裕がないことから、これ以上の低強度配合の検討は必要なしと判断した。

以上より、ケース 4 は材齢 3 日強度が  $6.5\text{N/mm}^2$  かつフライアッシュ使用量は  $507\text{kg/m}^3$  であることから実用に適していると判断される。

ただし、実施工において地中に施工されるため長期的な乾燥収縮によるひび割れの発生の可能性は小さいと考えられるものの、単位水量や結合材量の多さによる初期の乾燥収縮や水和発熱の影響が懸念されるために大型試験体で検証する必要があると考える。

## 4. まとめ

本試験の結果、フレッシュ性状 (スランプ  $21\text{cm}$ ) および強度特性 (脱型強度  $3.5\text{kN/mm}^2$  以上) を満足するフライアッシュを  $500\text{kg/m}^3$  以上と多量に使用した配合を見出すことができた。

## 5. おわりに

現在、本試験で見出した配合で作製した大型試験体を用いて試験施工を実施し、乾燥収縮、水和発熱の影響に加え、スランプロス等の基礎物性に関するデータの収集を行っている<sup>3)</sup>。

## 参考文献

- 1) 平岡伸哉, 河野清, 石丸啓輔, 川田修: 生コン工場で製造したハイボリュームフライアッシュコンクリートの諸性質, コンクリート工学年次論文報告集, pp.109-114, 1998
- 2) 金森誠治, 久野通也, 長谷川俊樹, 河村彰男, 吉田勝美, 森博嗣: フライアッシュを多量に混入したコンクリートの人工岩盤への適用, 日本建築学会技術報告集 第5号, pp.7-11, 1997.12
- 3) 河村精一, 松井伴和, 宇野洋志城, 小林重仁: フライアッシュを用いたコンクリートの適用性評価, 土木学会第67回年次学術講演会概要集, (V 部門投稿中), 2012.9

表-2 フレッシュ性状 (ケース 0~ケース 5)

| ケース | スランプ <sup>°</sup><br>(cm) | 空気量<br>(%) | コンクリート<br>温度 (°C) | 備考                            |
|-----|---------------------------|------------|-------------------|-------------------------------|
| 0   | 20.0                      | 2.5        | 20.0              | ケース 0~ケース 2 で<br>水セメント比 77.4% |
| 1   | 21.0                      | 2.6        | 20.0              |                               |
| 2   | —                         | 2.6        | 21.0              | スランプ フロー 51.5cm               |
| 3   | 21.5                      | 2.9        | 19.5              | 水セメント比 109.4%                 |
| 4   | 21.5                      | 2.7        | 19.5              | 水セメント比 120.1%                 |
| 5   | 21.0                      | 2.6        | 19.0              | 水セメント比 166.7%                 |

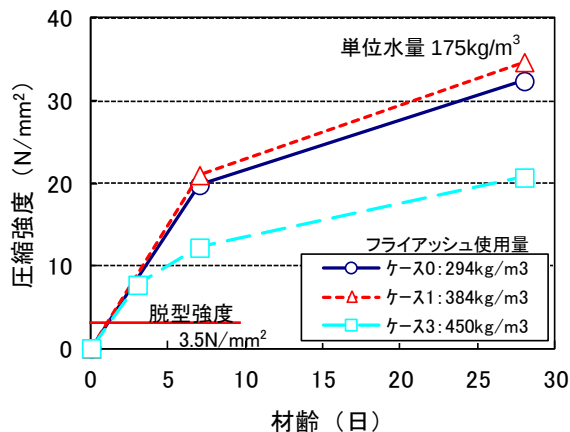


図-1 圧縮強度試験の結果 (ケース 0~ケース 3)

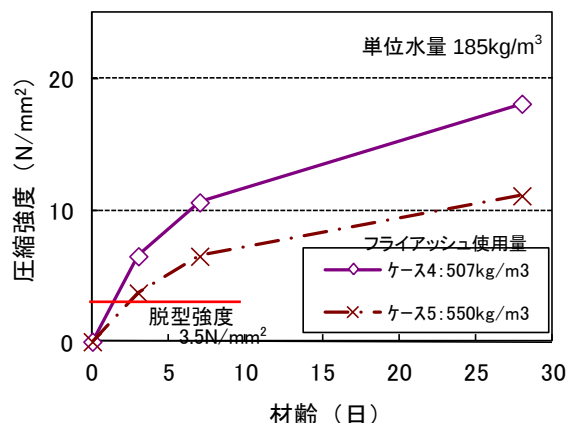


図-2 圧縮強度試験の結果 (ケース 4~ケース 5)