

# フライアッシュⅣ種相当を用いた PC床版用コンクリートの開発に関する検討

日本大学 学生会員 ○福島 巧也 日本大学 正会員 榊原 直樹

日本大学 正会員 子田 康弘 日本大学 フェロー 岩城 一郎

## 1. はじめに

現在我が国の電力需要を賄うため、国内石炭火力発電所はフル稼働の状態にある。福島県浜通りに所在する原町火力発電所は東日本大震災の影響を受け、その最たる例である。これにより、石炭火力発電所からは大量のフライアッシュ(以下、FA)が発生しており、その利活用が深刻な課題となっている。一方で、コンクリート材料は、地産地消を原則としており、浜通りで産出されるFAをこの地域の生コンクリートに活用できれば高耐久なコンクリート構造物を造ることが可能となり、震災復興においても有用と考えられる。そこで本研究では、2019年に施工予定の常磐自動車道PC床版用コンクリートに対して、原町火力発電所から産出されるⅣ種相当のFAを適用するため、PC床版の要求性能を満足するコンクリートの配合検討を行うとともに、各種物性試験を実施した。

## 2. 実験概要

表-1に、使用するFAの物性値を示す。表より比表面積、フロー値比、活性度指数の値から、使用するFAがⅣ種相当であることがわかる。PC床版用のFAコンクリートとして、緊張作業を前提とした強度発現性に加え、ワーカビリティの観点からも床版施工に適した配合としなければならない。表-2に、実験パラメータとなる配合を示す。表より、セメントは早強セメント(H)とし、水セメント比(W/C)は、40%と45%の2種類、単位水量は168kg/m<sup>3</sup>(W)と158kg/m<sup>3</sup>(Wm)の2種類、FAは外割20%(F)とし、これらを組み合わせた合計5種類の配合について各種物性試験を実施した。試験項目は、フレッシュコンクリートについて施工性を考慮しフレッシュ性状試験とブリーディング試験、およびプロクター貫入試験とN式貫入試験<sup>1)</sup>とした。また、硬化コンクリートについては、圧縮強度試験による強度発現性の確認と、耐久性試験としてASR試験、塩分浸透試験のための供試体を作製した。ブリーディング試験は、練上り直後から10分間隔で1時間まで、1時間を超えた段階からはブリーディング水がなくなるまで30分おきにブリーディング水を採取し、その累計量を記録した。また、プロクター貫入試験では、貫入抵抗値が28.0N/mm<sup>2</sup>になるまで、N式貫入試験においては高さ750mmから自由落下させた突き棒の貫入量が5mm以下になるまでの時間をそれぞれ計測した。圧縮強度試験に関しては、材齢3日、7日、28日、91日、182日で試験を実施することとした。なお、本稿では現時点で得られた実験結果について示し、その他に関しては発表時に報告する。

表-1に、使用するFAの物性値を示す。表より比表面積、フロー値比、活性度指数の値から、使用するFAがⅣ種相当であることがわかる。PC床版用のFAコンクリートとして、緊張作業を前提とした強度発現性に加え、ワーカビリティの観点からも床版施工に適した配合としなければならない。表-2に、実験パラメータとなる配合を示す。表より、セメントは早強セメント(H)とし、水セメント比(W/C)は、40%と45%の2種類、単位水量は168kg/m<sup>3</sup>(W)と158kg/m<sup>3</sup>(Wm)の2種類、FAは外割20%(F)とし、これらを組み合わせた合計5種類の配合について各種物性試験を実施した。試験項目は、フレッシュコンクリートについて施工性を考慮しフレッシュ性状試験とブリーディング試験、およびプロクター貫入試験とN式貫入試験<sup>1)</sup>とした。また、硬化コンクリートについては、圧縮強度試験による強度発現性の確認と、耐久性試験としてASR試験、塩分浸透試験のための供試体を作製した。ブリーディング試験は、練上り直後から10分間隔で1時間まで、1時間を超えた段階からはブリーディング水がなくなるまで30分おきにブリーディング水を採取し、その累計量を記録した。また、プロクター貫入試験では、貫入抵抗値が28.0N/mm<sup>2</sup>になるまで、N式貫入試験においては高さ750mmから自由落下させた突き棒の貫入量が5mm以下になるまでの時間をそれぞれ計測した。圧縮強度試験に関しては、材齢3日、7日、28日、91日、182日で試験を実施することとした。なお、本稿では現時点で得られた実験結果について示し、その他に関しては発表時に報告する。

## 3. 実験結果と考察

まず表-3にコンクリートの練上り直後のフレッシュ性状としてスランプ、空気量と温度を示す。表より、目標値をスランプ12cm、空気量4.5%と設定した結果、製造時の温度に応じた混和剤添加量により低水セメント比かつ早強セメントであってもフレッシュ性状の制御が可能であることが分かった。次に、図-1にブリーディング率の経時変化を示す。図より、ブリーディング率は、FAを混和した方がFA無し

キーワード:PC床版、フライアッシュ、フレッシュ性状、強度発現性、配合設計

連絡先 :〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原1番地 TEL024-956-8721

表-1 原町のFA物性値

| No.         | 細分期間       | 二酸化ケイ素含有量(%) | 45μmふるい残分(%) | 湿分(%)                  | 比表面積(cm <sup>2</sup> /g) |
|-------------|------------|--------------|--------------|------------------------|--------------------------|
| HE(Ⅳ)       | 9/18~10/19 | 66.7         | 18.6         | 0.13                   | 2660                     |
| MB吸着量(mg/g) | フロー値比(%)   | 遊離酸化カルシウム(%) | 強熱減量(%)      | 密度(g/cm <sup>3</sup> ) | 活性度指数(%)                 |
| 0.5         | 85.7       | 0            | 2.2          | 2.09                   | 材齢28日 材齢91日              |

表-2 コンクリートの配合

| ID        | Gmax(mm) | W/C(%) | s/a(%) | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |     |    |     |      |                 |
|-----------|----------|--------|--------|-------------------------|-----|----|-----|------|-----------------|
|           |          |        |        | W                       | C   | FA | S   | G    | Ad              |
| 40%HW     | 20       | 40     | 45     | 168                     | 373 | -  | 750 | 974  | 8SV Cx0.5% 202  |
| 40%HFW(1) |          |        |        | 168                     | 420 | 84 | 650 | 975  | 8SV Cx0.4% 202  |
| 40%HFW(2) |          |        |        | 168                     | 420 | 84 | 650 | 975  | 8SV Cx0.55% 202 |
| 45%HWm    |          |        |        | 158                     | 351 | -  | 795 | 1015 | 8SV Cx0.4% 202  |
| 45%HFW    | 20       | 45     | 45     | 168                     | 373 | 75 | 690 | 987  | 8SV Cx0.4% 202  |
| 45%HFWm   |          |        |        | 158                     | 351 | 70 | 710 | 1015 | 8SV Cx0.6% 202  |

表-3 各種コンクリートのフレッシュ性状

| 試験項目   | 40%HW | 40%HFW(1) | 40%HFW(2) | 45%HFW | 45%HWm | 45%HWm |
|--------|-------|-----------|-----------|--------|--------|--------|
| SL(cm) | 11.5  | 11.0      | 14.5      | 11.5   | 13.0   | 13.5   |
| Air(%) | 4.5   | 4.4       | 4.4       | 4.3    | 4.5    | 4.5    |
| CT(°C) | 18.0  | 20.5      | 17.0      | 16.0   | 18.0   | 17.0   |

よりも小さい(例えば40%HWと40%HFW)。また、粉体量が多い40%HWの方が45%HWmよりも値は小さくなる(例えば40%HFWと45%HFW)。加えて、単位水量を少なくした場合、ブリーディング率が小さく、終了時間も早くなるという傾向(40%HFWと45%HFWm)であった。従って、PC床版用コンクリートの施工性を考慮すると、40%HFWはブリーディングがほとんどなく、均し作業を行う上でのワーカビリティは十分とはいえない。45%HFWは5条件の中で通常使用される40%HWと同程度のブリーディング率があり最も均し作業に適している可能性が示唆された。また、W/Cを固定し単位水量を下げた45%HFWmは45%HFWのブリーディング率に近い値を有し、総粉体量も少なくなることからコスト低減方向にあると考えられる。図-2に、45%HWmと45%HFWmの貫入抵抗値を示す。まず、始発時間(3.5N/mm<sup>2</sup>)は、45%HFWmが450分、45%HWmが360分と45%HWmの方が早く、また終結時間(28.0N/mm<sup>2</sup>)についても45%HFWmが600分、45%HWmが510分となった。すなわち、同一水セメント比の場合、FAコンクリートの再振動限界までの時間は普通コンクリートよりも長い可能性が示唆された。図-3に、45%HWmと45%HFWmのN式貫入試験の結果を示す。図より、図-1のブリーディング率が一定値になるのと同じくして試験が終了しており、早強セメントを使用したPC床版においても仕上げの目安としてN式貫入試験が適用可能と考えられる。図-4に、圧縮強度試験による強度発現性の途中経過を示す。図より、FAコンクリートはポズラン反応による強度増進が発揮され60MPa近い強度に達する傾向であった。ただし、図-4の同一配合である40%HFW(1)と40%HFW(2)での圧縮強度のばらつきや、40%HFW(2)の方が45%HFWより強度が若干小さい傾向にあり、これらの点は再検証が必要と考えられる、材齢3日目で40MPa、7日目で45MPaを超えており、緊張力導入時の必要強度が32.5 MPaであることから、7日以前の早期に緊張作業が可能であることを踏まえると、強度発現上の支障はないものと思われる。

#### 4. まとめ

IV種相当のFAを用いたPC床版用コンクリートの配合を検討した結果、フレッシュコンクリートおよび硬化コンクリートに対する要求性能に加え、コストや環境負荷等も考慮した結果、当該床版に適用可能な配合を見出すことができた。今後は耐久性試験と実機試験を行い最終的な配合を決定する予定である。

**謝辞:**本研究は、東日本高速道路㈱東北支社からの委託研究として行われました。ここに謝意を表します。

#### 【参考文献】

1)土木学会:コンクリートライブラリー103 コンクリート構造物におけるコールドジョイント問題と対策、2000

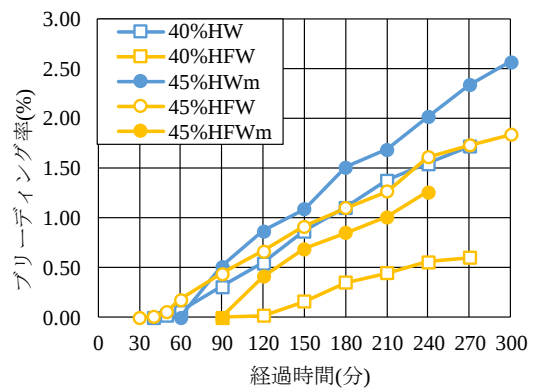


図-1 ブリーディング率の経時変化

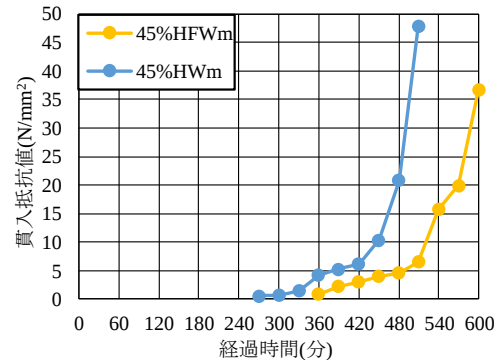


図-2 45%HFWm と 45%HWm の貫入抵抗値

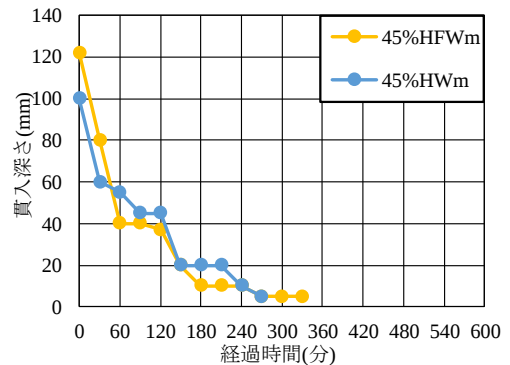


図-3 45%HWm と 45%HFWm の N 式貫入試験結果

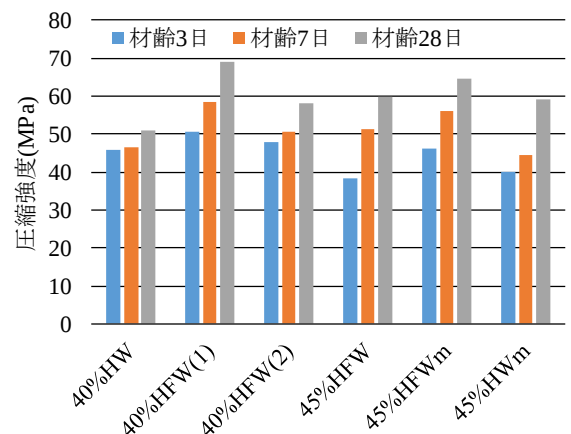


図-4 各種コンクリートの圧縮試験結果