

フライアッシュを使用した中流動コンクリートの材料分離抵抗性に関する検討

千葉工業大学 学生会員 ○市川晃 渡邊大河 石川椋太 重本憂大 池田信義
 加納龍斗 花咲魁人 正会員 橋本紳一郎
 電力中央研究所 正会員 山本武志 佐藤工業 正会員 小山広光

1. はじめに

近年、国土交通省が掲げる生産性向上の観点から、JIS A 5308 の普通強度領域に、スランプフローで管理するコンクリートが追加された。土木学会では、これを締めめを必要とする高流動コンクリート(以降、中流動コンクリート)と定義づけ、配合設計や施工技術に関して、様々な検討や報告を行っている。その中で、中流動コンクリートは、粘性が低く流動性が高いことから、材料分離を生じやすいことが懸念されている。また、中流動コンクリートは、材料分離抵抗性を確保するために、一定以上の単位セメント量を確保する必要がある。そのため、普通コンクリートの強度領域の 24N/mm^2 以下については JIS に認証されていない。そこで、中流動コンクリートにフライアッシュ(以降、FA)を使用することで、物理的、化学的特性から流動性や、材料分離抵抗性の確保、さらには低い強度領域の品質確保が見込める。したがって、本研究では、中流動コンクリートを一般構造物に適用することを目的に、フレッシュ性状および強度特性について評価・検討を行った。

2. 実験概要

(1) 使用材料及び配合条件

使用材料は、C：普通ポルトランドセメント(密度： 3.16g/cm^3)、 S_1 ：砕砂(表乾密度： 2.62g/cm^3 、実積率： 55.8%)、 S_2 ：山砂(表乾密度 2.61g/cm^3 、実積率： 64.1%)、 G_1 ：砂岩砕石 2005(表乾密度： 2.66g/cm^3 、実積率： 59.8%)、 G_2 ：石灰岩砕石(表乾密度： 2.70g/cm^3 、実積率： 59.3%)、FA：フライアッシュ II 種(表乾密度： 2.23g/cm^3 、強熱減量： 2.3% 、比表面積： $3600\text{cm}^2/\text{g}$)を用いた。表-1 にコンクリートの配合条件を示す。配合要因は、「施工性能にもとづくコンクリートの配合設計・施工指針」²⁾より、一般的な施工性能の確保に必要な単位セメント量の下限値を単位結合材量の目安とした。これに対し、配合 No.2, 3, 8, 9 は強度ランクの低い配合を想定し、単位結合材量に対して FA を置換(以降、内割)し検討した。さらに、細骨材容積の 10%を FA に置換

表-1 配合表

| 配合 | W/C (%) | W/P (%) | s/a (%) | 単位量(kg/m^3) | | | | | | | |
|----|---------|---------|---------|------------------------|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-----|
| | | | | C' | | W | S' | | G | | |
| | | | | C | FA | | S_1 | S_2 | G_1 | G_2 | |
| 1 | 50.0 | 50.0 | 50.0 | 350 | - | 175 | 873 | - | - | 890 | - |
| 2 | 55.6 | | | 315 | 35 | | 867 | - | - | 884 | - |
| 3 | 62.5 | | | 280 | 70 | | 861 | - | - | 878 | - |
| 4 | 50.0 | | | 350 | - | | - | 873 | - | - | 907 |
| 5 | 55.6 | | | 315 | 35 | | - | 867 | - | - | 897 |
| 6 | 62.5 | | | 280 | 70 | | - | 861 | - | - | 894 |
| 7 | 46.1 | | | 380 | - | | 861 | - | - | 877 | - |
| 8 | 55.6 | | | 315 | 65 | | 850 | - | - | 866 | - |
| 9 | 62.5 | | | 280 | 100 | | 844 | - | - | 860 | - |
| 10 | 46.1 | | | 380 | - | | 775 | - | 74 | 877 | - |
| 11 | 55.6 | | | 315 | 65 | | 765 | - | 73 | 866 | - |
| 12 | 62.5 | | | 280 | 100 | | 759 | - | 72 | 860 | - |

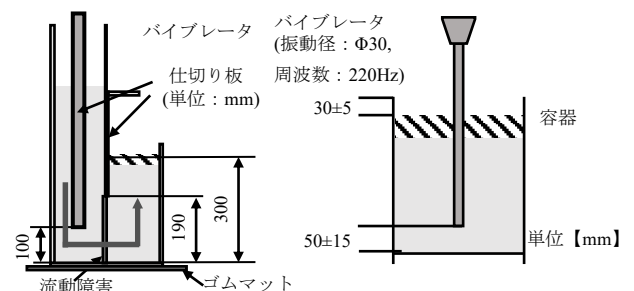


図-1 材料分離抵抗性評価試験の概要

(左: 加振ボックス充填試験, 右: 沈下量試験)

(以降、外割)したものも検討した。

(2) 試験項目

スランプ試験、スランプフロー試験および空気量試験をそれぞれ JIS に準拠して行った。すべての配合の目標スランプフローと目標空気量は、それぞれ $450 \pm 50\text{mm}$ と $4.5 \pm 1.5\%$ とした。

図-1 に材料分離抵抗性評価試験の概要を示す。本試験では、加振ボックス充填試験と沈下量試験を材料分離抵抗性評価試験とした。加振ボックス充填試験は、JSCE-F 701-2018、沈下量試験は、JSCE-F 702-2022 に準拠して行った。これらの試験で得られた粗骨材量比率をそれぞれ加振比率、沈下比率と表記する。

その他に強度試験は JIS A 1108 に準拠して行った。

3. 実験結果及び考察

図-2, 3 にそれぞれ、加振ボックス充填試験と沈下量試験の結果から得られた、間隙通過速度と粗骨材量比率の関係を示す。まず、閾値は既往の研究³⁾をも

とに間隙通過速度を 20mm/s, 沈下比率を 40%に設定し, 評価を行った. 実積率が低い砕砂・碎石を使用し, 単位結合材量 350kg/m³を内割した配合 No.1~3 では, 間隙通過速度の変化は見られなかったが, FA の置換量の増加に伴い加振比率は向上し, 沈下比率は低下する傾向がみられた. このことから, FA が微粒子で球状であることによって充填性が向上したが, それに伴い, 骨材の沈下が促進されたと考えられる. 一方, 山砂・石灰岩碎石を使用した配合 No.4~6 と単位結合材量を 380kg/m³に変更した配合 No.7~12 では, 単位結合材量に対して FA の置換率が 10%または 17%程度で大幅に性状が向上し, 20%または 27%程度で性状が低下する傾向がみられた. これらの結果から, 物理的性質が悪い骨材を使用した単位粉体量の少ない配合(配合 No.1~3)では FA の使用による性状の改善はあまり見られなかったが, 単位結合材量の増加(配合 No.7~9)や細骨材容積に対する FA の置換(配合 No.10~12)により, 材料分離抵抗性の向上や実積率の改善による影響が確認できた. 配合 No.12 では配合 No.9 の細骨材容積に対して 10%を外割したことにより間隙通過速度および粗骨材量比率が向上したが, ほかの配合条件の傾向とは異なる結果となった. これは, FA の使用量の増加による材料分離抵抗性の向上が考えられる. 以上より, フレッシュ性状および材料分離抵抗性は単位結合材量, FA の置換手法や使用量および骨材の種類や物理的性質によって異なると考えられる.

図-4 に強度試験結果と各呼び強度の配合強度を示す. この結果から, FA の置換量の増加に伴い, 強度が低下する傾向がみられた. これは, 単位セメント量の減少や FA のポズラン反応による水和熱の低減が要因だと考えられる. また, 異なる単位結合材量で同じ単位セメント量を使用した配合を比較すると, 単位結合材量が 380kg/m³の強度が下回る結果となった. これは, 同じ単位セメント量の場合でも, 単位結合材量や FA の置換量によって影響を受けると考えられる. 以上を踏まえ, 配合 No.3 は呼び強度 24N/mm², 配合 No.9 は呼び強度 21N/mm²に相当する値となったことから, FA を用いることで, JIS に認証されていない低強度領域のコンクリートを製造することが可能であると示唆された. 表-2 に製造可能だと考えられる箇所を赤丸で示す.

4. まとめ

今回の結果から, 中流動コンクリートにおいて FA を使用することで, 骨材全体の实積率の改善や低強度

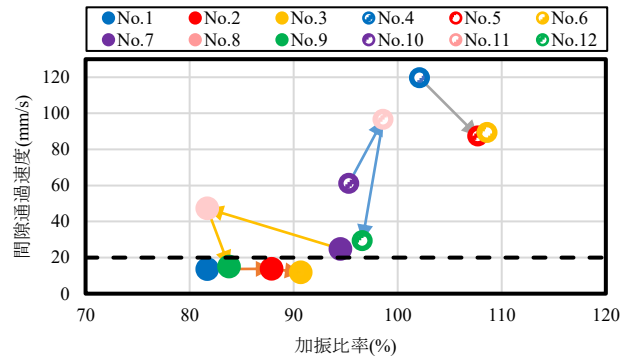


図-2 加振ボックス充填試験結果

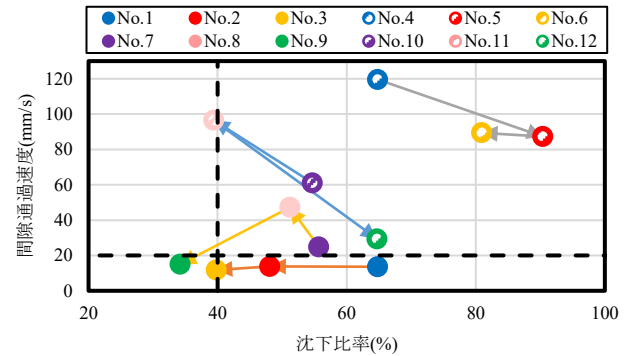


図-3 加振ボックス充填試験と沈下量試験の結果

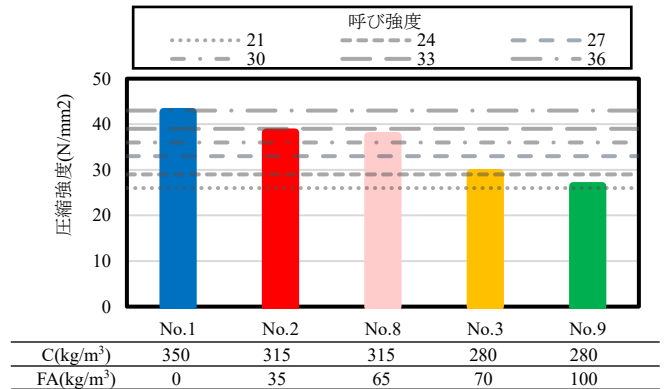


図-4 強度試験結果

表-2 SLF45cm における呼び強度の現状と本試験で製造可能だと示唆された箇所

| 種類 | Gmax (mm) | SLF (cm) | 呼び強度(N/mm ²) | | | | | | | | | | | | |
|----|-----------|----------|--------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | | 18 | 21 | 24 | 27 | 30 | 33 | 36 | 40 | 42 | 45 | 50 | 55 | 60 |
| 普通 | 20,25 | 45 | - | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | - | - | - |

領域の製造に寄与し, 流動性を向上させつつ適切な材料分離抵抗性を確保できることが示唆された. FA を内割で使用する場合, 置換率 10~17%が有効であったが, 細骨材の品質等によらず安定した流動性や材料分離抵抗性を確保するためには, 380kg/m³以上の単位結合材量の確保を提案する.

参考文献

- 1)土木学会：締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計・施工技術研究小委員会 (358 委員会) 委員会報告書, コンクリート技術シリーズ No.123, 2020.5
- 2)土木学会：施工性能にもとづくコンクリートの配合設計・施工指針, コンクリートライブラリーNo.145, 2016
- 3)渡邊大河, 橋本紳一郎, 根本浩史, 伊達重之:プレキャストコンクリートへの締固めを必要とする高流動コンクリートの適用に関する基礎的研究, プレキャスト施工技術論文集, vol3, 2021