

## フェロニッケルスラグ細骨材とフライアッシュを併用したコンクリートのフレッシュ性状と力学的性質

中日本高速道路株式会社 正会員 ○佐藤 辰輝

鳥取大学大学院 正会員 黒田 保 正会員 金氏 裕也

中国電力株式会社 正会員 河内 友一 宮本 将太

## 1. はじめに

鳥取県では、岩美鉱山から発生する坑排水の処理をフェロニッケル製造工場で行う過程で、フェロニッケルスラグが多量に発生するため、フェロニッケルスラグ細骨材（以下 FNS）の利用拡大が望まれている。しかし、FNS を多量に使用すると、ブリーディング量の増加や材料分離抵抗性の低下といった問題が生じる。一方で、石炭火力発電所から発生するフライアッシュ（以下 FA）の有効利用も望まれている。筆者らは、FNS を多量に使用した配合に FA をセメントに対して外割で混和することにより、フレッシュ性状および硬化後の性質の改善効果を確認したり、そこで本研究では、FNS を多量に使用したコンクリートの構造用コンクリートへの適用に向けて、混和材として FA をセメントに対して内割で混和した配合についても検討し、フレッシュ性状および力学的性質に及ぼす影響について検討した。

## 2. 実験概要

使用材料を表-1 に示す。本研究では細骨材として FNS を細骨材の容積比で 75% 置換して使用した。FA の混入量については、外割使用の場合は単位粉体量が 350, 400kg/m<sup>3</sup> になるように混和した。内割使用の場合は FA 置換率をセメント質量に対して 20% に設定した。また FA を外割で使用する配合は W/C を 60, 65, 70% と設定し、内割で使用する配合は W/B を 40, 50, 60% と設定した。さらに比較用に、普通細骨材（砕砂と陸砂を質量比 3:1 で使用）を用いた配合を設定し、NF は FA をセメントに対して内割で 20% 使用し、NC は結合材をセメントのみとした。実験要因について、FA を外割使用したものは表-2 に、FA を内割使用した配合および普通骨材を使用した配合を表-3 に示す。なお、配合条件はスランプ 12cm±1.5cm、空気量 4.5±1.5% とした。

## 3. 実験結果と考察

## 3.1 単位水量および AE 減水剤使用量

表-2, 表-3 に各配合の単位水量を示す。フライアッシュの内割および外割使用によらず、細骨材に FNS を使用した場合（P350, P400, FF, FC）の単位水量は 175kg/m<sup>3</sup> となり、普通骨材を使用した 2 配合（NF, NC）より 10kg/m<sup>3</sup> 程度単位水量が増加した。図-1 に AE 減水剤使用量を示す。FNS を使用した場合は、普通骨材を使用した場合より AE 減水剤使用量が増加している。一方で FF と FC を比較すると、FA を混和することで AE 減水剤使用量を 0.2~0.6% 程度減らせることが確認された。

## 3.2 フレッシュ性状

図-2 にブリーディング試験の結果を示す。NC と比較して FNS を使用した配合でブリーディング量が増加している

キーワード フェロニッケルスラグ細骨材, フライアッシュ, ブリーディング, 圧縮強度, 単位粉体量

連絡先 〒680-0942 鳥取県鳥取市湖山町南 4 丁目 101 鳥取大学大学院 持続性社会創生科学研究科 TEL 0857-31-5281

表-1 使用材料の物性値

材料	種類および物理的性質
水	上水道水
セメント	普通ポルトランドセメント 密度:3.16g/cm <sup>3</sup> , 比表面積:3250cm <sup>2</sup> /g
混和材	フライアッシュ II 種 密度:2.18g/cm <sup>3</sup> , 比表面積:2900cm <sup>2</sup> /g
細骨材	1.2mm フェロニッケルスラグ細骨材 表乾密度:3.09g/cm <sup>3</sup> , F.M.:1.54
	砕砂(表乾密度:2.66g/cm <sup>3</sup> , F.M.:3.14)
	陸砂(表乾密度:2.58g/cm <sup>3</sup> , F.M.:1.28)
粗骨材	砕石(表乾密度:2.72g/cm <sup>3</sup> , F.M.:6.83)
混和剤	AE 減水剤高機能タイプ, AE 剤

表-2 FA を外割使用した実験要因および単位水量

配合名	FNS 置換率 (%)	W (kg/m <sup>3</sup> )	W/C (%)	粉体量 (kg/m <sup>3</sup> )	W/B (%)
P350	75	175	60	350	50
P400			65 70		

表-3 FA を内割使用した実験要因および単位水量

配合名	置換率 (%)		W (kg/m <sup>3</sup> )	W/B (%)
	FNS	FA		
FF	75	20	175	40
FC		0		50
NF	0	20	164	60
NC		0		165

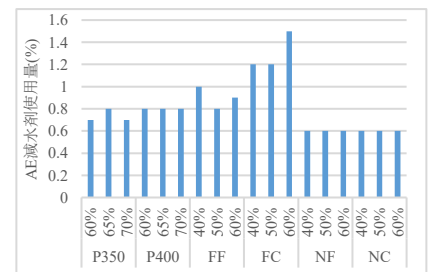


図-1 各配合の AE 減水剤使用量

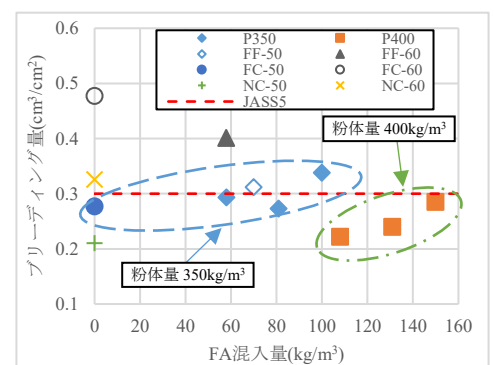


図-2 ブリーディング試験の結果

ることが確認できる。FNS を使用した配合で比較すると、単位粉体量の増加に従い、ブリーディング量が低下している。一方で、FA の内割・外割使用によらず、単位粉体量が同一であればブリーディング量が同程度となることが確認できる。

図-2 の JASS5 の赤線は、JASS5 の水密コンクリートで定められているブリーディング量の上限值 ( $0.3\text{cm}^3/\text{cm}^2$  以下) を示している。FNS を使用した場合、W/B=50% のブリーディング量は  $0.3\text{cm}^3/\text{cm}^2$  程度であるが、W/B=60% では、FF-60 および FC-60 のブリーディング量はどちらも基準値を超えている。したがって、FNS を多量に使用する場合は、単位粉体量が  $350\text{kg}/\text{m}^3$  以上となるように粉体を混和させると、JASS5 の基準を満たす程度までブリーディング量を抑制できると考えられる。

### 3.3 圧縮強度

図-3 に FA を内割で使用したコンクリートの材齢 3, 7 日における圧縮強度試験の結果を示す。細骨材に FNS を使用した配合で圧縮強度が若干高くなる傾向がみられ、材齢 3 日および 7 日の圧縮強度は、細骨材に FNS を使用した配合が普通骨材を使用した配合より  $2\sim 5\text{N}/\text{mm}^2$  程度高いことが確認できる。図-4, 図-5 に材齢 28 日および 91 日における FA を内割で使用したもの (FF, NF), FA 未混和のもの (FC, NC) の圧縮強度と B/W の関係を示す。FA 置換率が一定であることから、FA の混和の有無によらず圧縮強度と B/W には線形関係が確認できる。

図-6 に FA 置換率と圧縮強度の関係を示し、図-7 に FA を外割で使用した場合 (W/C=60%) の圧縮強度と B/W の関係を示す。これらの図から、FA 置換率の増加に伴って圧縮強度が低下する傾向が確認でき、圧縮強度と B/W には上に凸な関係を示している。一方で、図-8 に圧縮強度と C/W の関係を示すが、粉体量や材齢によらず圧縮強度と C/W には線形関係が確認できる。したがって、本研究で検討を行った粉体量の範囲内では、粉体量の増加によってブリーディング量の抑制や材料分離抵抗性の向上を図るために FA を外割使用する場合は、圧縮強度と C/W の関係から設計基準強度を満たすために必要な W/C を推定することが望ましいと考えられる。

### 4. まとめ

本研究では FNS を多量に使用し、FA を内割および外割使用したコンクリートのフレッシュ性状と力学的性質について検討した。本研究の範囲内で得られた結果を以下に列挙する。

- (1) 細骨材に FNS を使用すると単位水量が増加するが、FA を混和すると内割・外割使用によらず AE 減水剤使用量が  $0.2\sim 0.6\%$  程度減らせる。
- (2) FA の内割・外割使用によらず、単位粉体量を  $350\text{kg}/\text{m}^3$  以上とすると JASS5 の水密コンクリートの基準を満たす程度までブリーディング量を抑制できる。
- (3) 細骨材に FNS を使用した配合は、普通骨材を使用した配合より初期強度が若干高くなる。
- (4) 本研究で検討した範囲内での粉体量において FA を外割使用する場合は、圧縮強度と B/W の関係よりも、圧縮強度と C/W の関係性から設計基準強度を満たすために必要な W/C を推定することが望ましい。

### 参考文献

- 1) 佐藤辰輝ほか: フェロニッケルスラグ細骨材とフライアッシュを多量に使用したコンクリートのフレッシュ性状と硬化後の性質, コンクリート工学年次論文集, Vol.43, No.1, pp.1043-1048, 2021

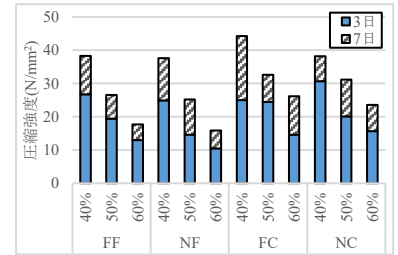


図-3 材齢 3・7 日圧縮強度 (FA 内割)

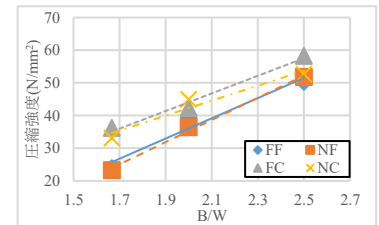


図-4 材齢 28 日圧縮強度と B/W の関係 (内割)

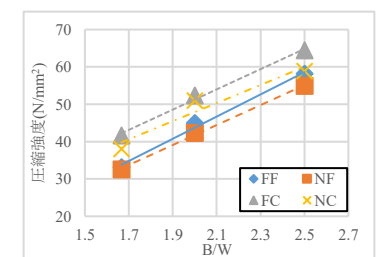


図-5 材齢 91 日圧縮強度と B/W の関係 (内割)

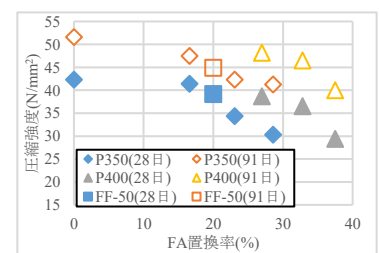


図-6 圧縮強度と FA 置換率の関係

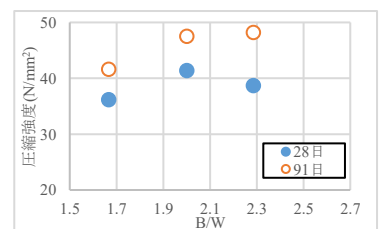


図-7 圧縮強度と B/W の関係 (外割)

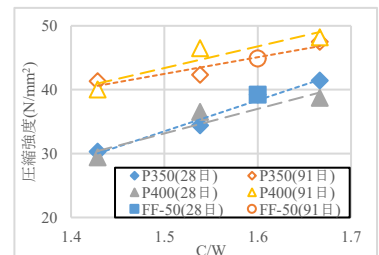


図-8 圧縮強度と C/W の関係 (外割)