

戻りコンクリートから回収したスラッジ水および上澄水と副産物混和材を用いたモルタルの基礎物性

東海大学 正会員 武田 尚人
三和石産(株) 正会員 大川 憲
東海大学 正会員 笠井 哲郎

1. はじめに

国内のレディーミクストコンクリート工場で発生する戻りコンクリートは、国土交通省の調査によると、平成17年度時点でレディーミクストコンクリート出荷量の約1.6%発生していると言われている¹⁾。近年、産業廃棄物処分場が逼迫しレディーミクストコンクリート業界においても廃棄物削減とリサイクル促進が必要不可欠である。

一方で地球温暖化の抑制対策として、CO₂の排出量削減が求められ、副産物の有効利用を含めた環境負荷低減型コンクリートの開発が多数報告されている。これは、普通ポルトランドセメント（以下、Nと称す）よりもCO₂排出量が少ない高炉スラグ微粉末（以下、BFSと称す）やフライアッシュ（以下、FAと称す）などの混和材を高置換させたコンクリートである^{2), 3)}。これらのコンクリートは十分な強度発現が得られる一方で、初期強度や中性化抵抗性の確保が課題となる。またスラッジ水および上澄水は、これらの混和材（BFSおよびFA）のアルカリ刺激材としての作用が期待できるが、これに関する報告はあまり多くない⁴⁾。

そこで本研究では、戻りコンから回収したスラッジ水および上澄水の有効利用として、BFSやFAを用いた環境負荷低減型コンクリートへの有効性について評価することを目的とし、スラッジ水および上澄水のさらなる有効利用を進めるため、それらを用いたモルタルの基礎物性について検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

使用材料を表-1と示す。結合材はN、BFSは高炉スラグ微粉末4000、FAはフライアッシュII種を使用し、練混ぜ水は水道水、模擬スラッジ水、模擬上澄水、スラッジ水および上澄水を使用した。なお模擬スラッジ水は、Nと水道水をスラッジ濃度5.9%となるように計量し、傾動ミキサーにて4時間練り混ぜ後、

使用した。模擬上澄水は上記の模擬スラッジ水を作製後、すぐに吸引ろ過したものである。スラッジ水と上澄水は、実機プラントで戻りコンから回収したものをを用いた。スラッジ水はスラッジ濃度を5.9%に調整し、pHは12.7であった。なお実機プラントから採取したスラッジ水には微砂分が含まれていることから、「スラッジ固形分中の砂分含有率試験方法(ZKT-103)」により測定したところスラッジ固形分に含まれる微砂分は4.76%であった。上澄水のpHは12.5であった。モルタルの強度発現性の試験は「モルタルの圧縮強度比による回収水の品質試験方法(ZKT-102)」に準拠して行い、配合条件はW/B=50%、s/a=2.5とした。結合材はBFSをNに対して0~80%、FAをNに対して0~60%置換した。

2.2 練混ぜ方法

モルタルの練混ぜは、ホバート型モルタルミキサーを使用し、結合材と練混ぜ水を投入し低速で30秒練り混ぜ後、細骨材を30秒間で投入し、高速で30秒間練り混ぜを行った。90秒間停止後、高速で60秒間練り混ぜをした。

2.3 モルタルのフレッシュおよび硬化性状

キーワード 戻りコンクリート 上澄水 スラッジ水 高炉スラグ微粉末 フライアッシュ

連絡先 〒259-1292 神奈川県平塚市北金目4-1-1 東海大学工学部土木工学科 TEL. 0463-58-1211

表-1 使用材料

項目	記号	材料名	密度 g/cm ³	比表面積 cm ² /g
結合材	N	普通ポルトランドセメント	3.16	3330
	BFS	高炉スラグ微粉末4000	2.89	4310
	FA	フライアッシュII種	2.31	4440
細骨材	S	菊川産砕砂	2.59	-
練混ぜ水	W1	水道水	-	
	W2	模擬スラッジ水	スラッジ濃度5.9%、pH12.4	
	W3	模擬上澄水	pH12.4	
	W4	スラッジ水(実機プラント採取)	スラッジ濃度5.9%、pH12.7	
	W5	上澄水(実機プラント採取)	pH12.5	

表-2 フレッシュ試験結果一覧

No	配合名	混和材置換率	モルタルフロー(15打) (mm)	空気量 (%)	CT (°C)
1	N100-W1	0%	182 × 180	3.2	21.0
2	N60-BFS40-W1	40%	188 × 187	2.9	20.5
3	N40-BFS60-W1	60%	189 × 187	2.9	20.0
4	N20-BFS80-W1	80%	189 × 184	3.2	20.0
5	N100-W2	0%	189 × 185	2.2	25.5
6	N60-BFS40-W2	40%	180 × 179	2.9	25.0
7	N40-BFS60-W2	60%	180 × 175	3.4	24.0
8	N20-BFS80-W2	80%	177 × 174	3.0	23.5
9	N100-W3	0%	179 × 177	2.4	27.0
10	N60-BFS40-W3	40%	178 × 176	2.2	26.0
11	N40-BFS60-W3	60%	183 × 181	2.5	25.0
12	N20-BFS80-W3	80%	183 × 180	3.5	25.0
13	N80-FA20-W1	20%	192 × 190	1.5	21.0
14	N60-FA40-W1	40%	199 × 198	1.5	21.0
15	N40-FA60-W1	60%	213 × 211	1.7	20.0
16	N80-FA20-W2	20%	183 × 182	2.1	26.0
17	N60-FA40-W2	40%	195 × 192	2.0	25.5
18	N40-FA60-W2	60%	200 × 199	1.9	25.0
19	N80-FA20-W3	20%	189 × 186	1.9	26.0
20	N60-FA40-W3	40%	197 × 195	1.2	26.0
21	N40-FA60-W3	60%	207 × 200	1.1	25.0
22	N100-W4	0%	168 × 167	5.9	23.0
23	N60-BFS40-W4	40%	163 × 162	4.6	22.0
24	N40-BFS60-W4	60%	163 × 161	2.9	19.0
25	N100-W5	0%	191 × 189	4.4	26.0
26	N60-BFS40-W5	40%	190 × 189	2.7	26.0
27	N40-BFS60-W5	60%	188 × 186	3.4	25.0
28	N80-FA20-W4	20%	177 × 176	1.4	22.5
29	N60-FA40-W4	40%	185 × 182	1.2	23.0
30	N80-FA20-W5	20%	205 × 202	1.8	26.0
31	N60-FA40-W5	40%	213 × 212	2.0	25.0

モルタルのフレッシュ性状に関する試験として、モルタルフロー試験 (JIS R 5201) および空気量試験 (JIS R 1128) をそれぞれ練混ぜ後に実施した。硬化性状に関する試験は、材齢 3 日, 7 日, 28 日, 91 日について圧縮強度試験 (JIS R 1108) を行った。試験体はφ50×100mm の円柱供試体を作製し、打込み直後から 20°C 封かん養生とした。材齢 3 日で脱型後、試験材齢まで標準養生とした。

3. 実験結果および考察

3.1 フレッシュ性状

各種練混ぜ水における混和材置換率とモルタルフロー値の関係を図-1 に示す。図より混和材に BFS を用いたものは、BFS の置換率によらずほぼ同程度のフロー値であった。一方混和材に FA を用いたものは、FA の置換率が大きくなるにつれ、フロー値が大きくなった。これは FA のボールベアリング効果によるものだと考えられる。また水道水に比べ、模擬スラッジ水および模擬上澄水を練混ぜ水として用いた場合、フロー値はわずかに小さくなった。

混和材置換率と空気量の関係を図-2 に示す。図より混和材に BFS を用いたものは、空気量が 2.0~3.5% の範囲となり、BFS 置換率や練混ぜ水による影響はほとんど見られなかった。一方、混和材に FA を用いたものは FA 置換率が大きくなるにつれ、空気量は小さくなり、練混ぜ水による影

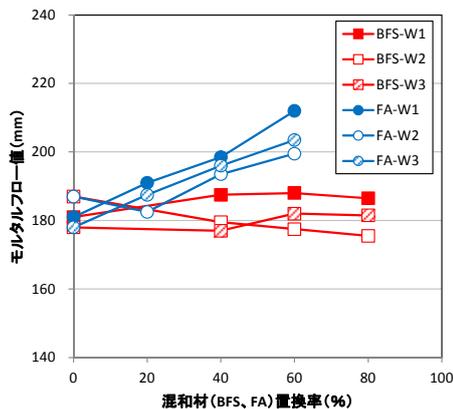


図-1 混和材置換率とモルタルフロー値の関係

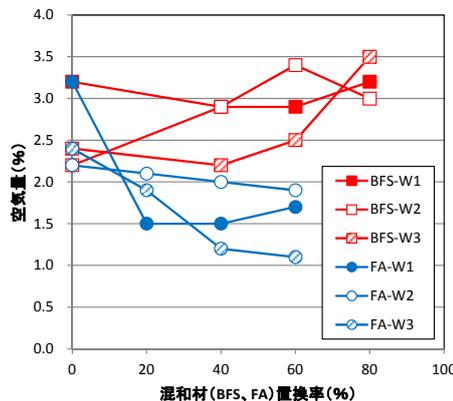


図-2 混和材置換率と空気量の関係

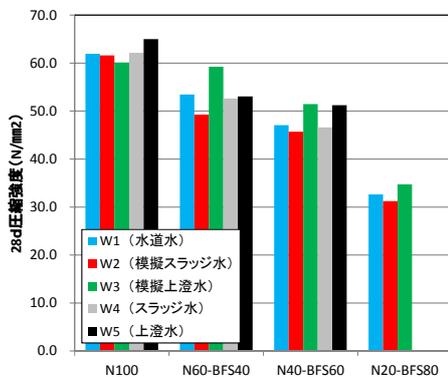


図-3 各種練混ぜ水と 28 d 圧縮強度 (BFS)

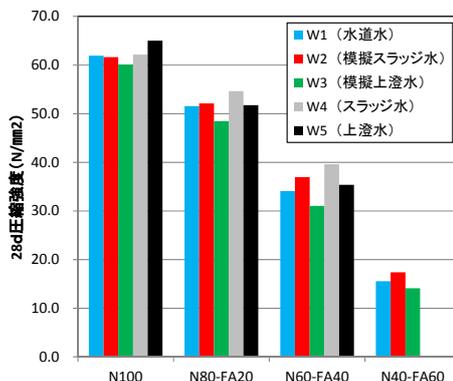


図-4 各種練混ぜ水と 28 d 圧縮強度 (FA)

響はほとんど見られなかった。なお、図は模擬スラッジ水（W2）および模擬上澄水（W3）を用いたものであるが、スラッジ水（W4）および上澄水（W5）に関しても同様な傾向となった。

3.2 硬化性状

混和材別に各種練混ぜ水と28d圧縮強度を図-3, 4に示す。図よりBFSを用いた配合では、模擬上澄水（W3）、上澄水（W5）で強度が大きくなった。一方FAを用いた配合では、模擬スラッジ水（W2）、スラッジ水（W4）で強度が大きくなった。

試験材齢別にBFS置換率と模擬スラッジ水および模擬上澄水と水道水の強度比の関係を図-5, 6に示す。図より模擬スラッジ水と水道水の強度比は、材齢7日でBFS置換率60%の配合において強度比が大きくなった。模擬上澄水と水道水の強度比は、BFS置換率が大きくなるほど強度比は大きくなった。特に初期材齢（3日、7日）で強度比が大きく、長期材齢（91日）の強度比は大きくなかった。これらは模擬スラッジ水および模擬上澄水がBFSの潜在水硬性に寄与したものと考えられ、特に模擬上澄水を練混ぜ水として用いた場合、効果が大きくなった。

試験材齢別にFA置換率と模擬スラッジ水および模擬上澄水と水道水の強度比の関係を図-7, 8に示す。図より模擬スラッジ水と水道水の強度比は、FA置換率が大きく、長期材齢になるほど強度比が大きくなった。模擬上澄水と水道水の強度比は、模擬スラッジ水のような傾向は見られず、全体的に強度比は大きくなかった。これらはFAのポズラン反応によるものと考えられるが、特に模擬スラッジ水の効果が大きくなった。

試験材齢別にBFS置換率とスラッジ水および上澄水と水道水の強度比の関係を図-9, 10に示す。図よりBFSの置

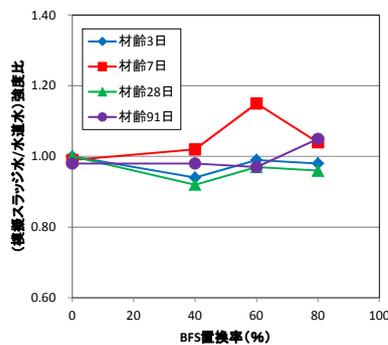


図-5 BFS置換率と各材齢における強度比の関係

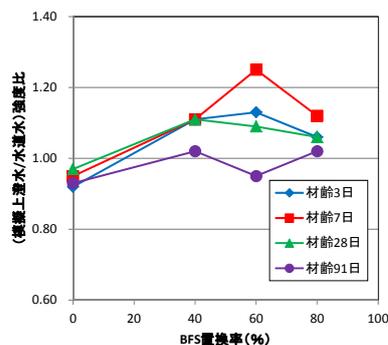


図-6 BFS置換率と各材齢における強度比の関係

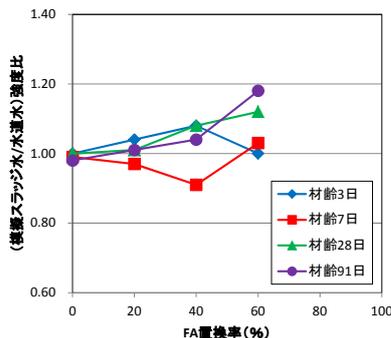


図-7 FA置換率と各材齢における強度比の関係

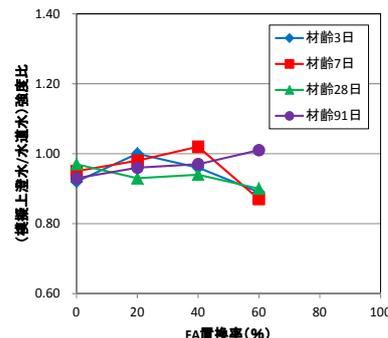


図-8 FA置換率と各材齢における強度比の関係

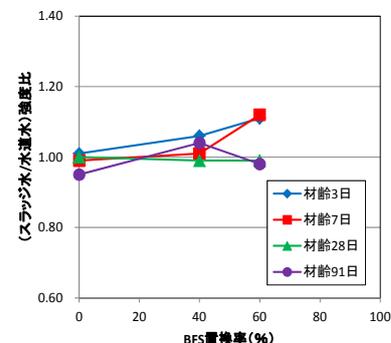


図-9 BFS置換率と各材齢における強度比の関係

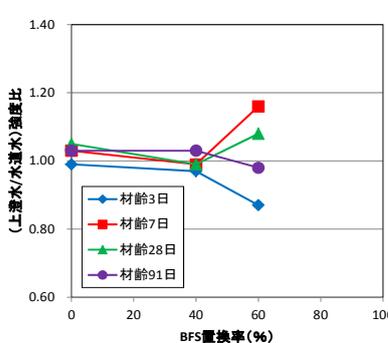


図-10 BFS置換率と各材齢における強度比の関係

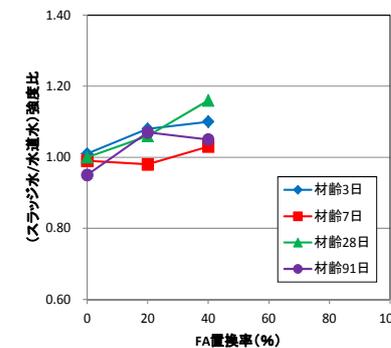


図-11 FA置換率と各材齢における強度比の関係

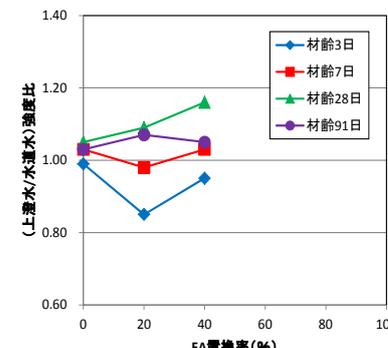


図-12 FA置換率と各材齢における強度比の関係

換率が大きくなると、強度比が大きくなった。また初期材齢(3日, 7日)で強度比が大きくなり、特にスラッジ水の効果が大きくなった。

試験材齢別に FA 置換率とスラッジ水および上澄水と水道水の強度比の関係を図-11, 12 に示す。図より FA 置換率が大きくなると強度比が大きくなった。また長期材齢(28日, 91日)で強度比が大きくなり、特にスラッジ水の効果が大きくなった。

4. まとめ

本論では、戻りコンから回収したスラッジ水および上澄水の有効利用として、BFS や FA を用いた環境負荷低減型コンクリートへの有効性について評価することを目的に、スラッジ水および上澄水を用いたモルタルの基礎物性について実施し、以下の事項が明らかとなった。

- (1) 混和材に BFS を用いた場合、置換率によらずほぼ同程度のフロー値となり、混和材に FA を用いた場合、置換率が大きくなるにつれ、フロー値が大きくなった。また水道水に比べ、模擬スラッジ水および模擬上澄水を練混ぜ水で用いた場合、フロー値はわずかに小さくなった。
- (2) 混和材に BFS を用いた場合、特に模擬上澄水およびスラッジ水を用いた配合は、BFS 置換率が大きくなると強度比が大きくなり、また初期材齢で強度比が大きくなった。
- (3) 混和材に FA を用いた場合、特に模擬スラッジ水およびスラッジ水を用いた配合は、FA 置換率が大きくなると強度比が大きくなり、また長期材齢で強度比が大きくなった。

以上より、BFS や FA を用いた環境負荷低減型コンクリートの練混ぜ水にスラッジ水および上澄水を用いることは、若干の強度改善に寄与することが示唆された。今後さらに検討する必要がある。

参考文献

- 1) 国土交通省総合政策局建設振興課労働資材対策局：残コン・戻りコンの発生抑制，有効利用に関するアンケート調査の結果概要について，国土交通省，pp.5, 2006
- 2) 小林利充，溝渕麻子，近松竜一，一瀬賢一：混和材を高含有したコンクリートの強度発現および促進中性化に関する実験的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.34, No.1，pp.118-123, 2012.7
- 3) 大澤友宏，平田隆洋，二戸信和，人見尚：種々の混和材を高置換したセメント系混合材料の基礎物性と CO2 削減効果，コンクリート工学年次論文集，Vol.32, No.1，pp.179-184, 2010.7
- 4) 久米里沙，横井克則，原田隆敏，田中光浩：スラッジ水及び上澄水を用いたフライアッシュコンクリートの特性，土木学会第 64 回年次学術講演会，V-285, pp.567-568, 2009.