

## 乾燥スラッジ微粉末と高炉スラグ微粉末を結合材としたモルタルの基礎物性

三和石産(株) 正会員 ○八巻 真規 大川 憲  
 非会員 青木 真一  
 鹿島建設(株) 非会員 閑田 徹志 百瀬 晴基  
 石関 浩輔  
 東海大学 正会員 笠井 哲郎

### 1. 目的

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（以下、戻りコンと称す）は、国土交通省の調査によると、平成 17 年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おり<sup>1)</sup>、有効利用が喫緊の課題である。一方、近年地球温暖化の抑制対策として、CO<sub>2</sub> の排出量削減が求められ、副産物の有効利用を含めた普通ポルトランドセメント（以下、N と称す）を用いないコンクリート（以下、クリンカーフリーコンクリートと称す）の開発が報告されているが<sup>2), 3)</sup>、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、中性化抵抗性の確保が課題となる。これらの問題を同時に解決するため著者らは、中性化抵抗性を有したクリンカーフリーコンクリート（以下、RCCF コンクリートと称す）の開発を目指し、戻りコンから製造した乾燥スラッジ微粉末（以下、DSP と称す）と産業副産物混和材を使用した RCCF コンクリートの基礎検討を行い、設計基準強度 36N/mm<sup>2</sup> までの普通強度域のコンクリートを実現できることを報告した<sup>4)</sup>。

そこで本研究では、RCCF コンクリートの実用化に向け、DSP と高炉スラグ微粉末(以下、BFS と称す)の最適混合割合について、再度明確にすることを目的とし、DSP と BFS を結合材としたモルタルのフレッシュ性状、凝結時間、強度発現性について検討した。

### 2. 実験概要

#### 2.1 DSP の概要

DSP の製造工程を図-1 に示す。DSP は、スラッジ水をフィルター加圧装置で脱水後、破碎攪拌翼付きスラッジ乾燥機（乾燥温度:120~130℃）を用いて含水率が 1~2%程度となるまで乾燥・粉碎処理して製造したものである。DSP の密度、比表面積および強熱減量は、2.20~2.90g/cm<sup>3</sup>、5,000~10,000cm<sup>2</sup>/g、7.0~18.0%であり、強度発現性は、N の 40~55%を発揮する。さらに図-1 に示す湿式サイクロンの工程で細骨材の微粒分の一部を除去しているものの、DSP には微砂分が 20~30%程度含まれている<sup>5)</sup>。

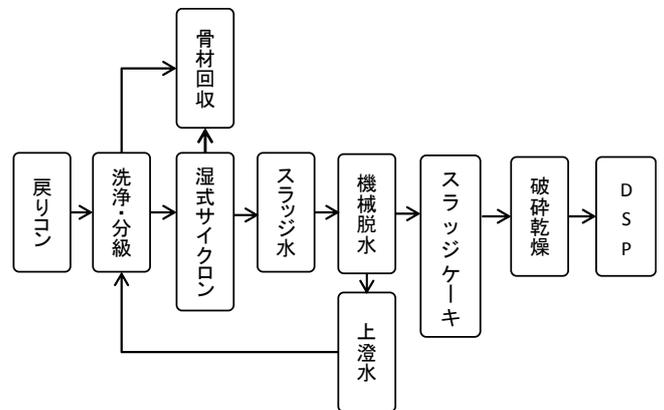


図-1 DSP 製造工程図

#### 2.2 モルタルによる評価試験

使用材料を表-1 に示す。低ブレンの DSP（以下、DSP-L と称す）および高ブレンの DSP（以下、DSP-H と称す）の 2 種類について、DSP に対する BFS 混合率を 0~75%とした結合材を用いたモルタルと、比較対象として N を

表-1 使用材料一覧表

品名	記号	密度 [g/cm <sup>3</sup> ]	比表面積 [cm <sup>2</sup> /g]	三酸化硫黄 [%]	吸水率 [%]
普通ポルトランドセメント	N	3.16	3250	2.04	-
低ブレン乾燥スラッジ微粉末	DSP-L	2.81	6620	1.72	-
高ブレン乾燥スラッジ微粉末	DSP-H	2.42	9360	1.86	-
高炉スラグ微粉末	BFS	2.89	4370	1.96	-
菊川産砕砂	S	2.56	-	-	1.62
高性能AE減水剤	SP	-	-	-	-
空気量調整剤(消泡剤)	DF	-	-	-	-

キーワード 戻りコンクリート, スラッジ微粉末, 高炉スラグ微粉末, 凝結時間, 圧縮強度

連絡先 〒252-0823 神奈川県藤沢市菖蒲沢 710 番地 三和石産(株)テストング事業部 TEL. 0466-48-5515

用いたモルタルについて検討した。モルタルの配合条件は、水結合材比 (W/B) = 50%，細骨材結合材比 (S/B) = 3.0 である。細骨材には菊川産の砕砂を用いた。評価試験として、フロー試験 (JIS R 5201)，凝結時間試験 (JIS A 1147)，圧縮強度試験 (JIS R 5201) を行い、モルタルフローは  $150 \pm 20\text{mm}$ ，空気量は  $4.5 \pm 1.5\%$  を目標値とし、この値となるように高性能 AE 減水剤および空気量調整剤 (消泡剤) を添加した。フロー値は全ての配合で練混ぜ直後 (以下、練直と称す) と、経過時間 15 分後 (以下、経時 15 分と称す)，30 分後 (以下、経時 30 分と称す) についても実施した。

### 3. 実験結果

#### 3.1 フレッシュ性状

各配合における SP 添加率を図-2 に示す。図より、DSP を用いた配合は N を用いた配合に比べ、所定のフロー値を得るのに SP 添加率が大きくなった。また DSP の種類では DSP-L よりも DSP-H の方が倍近くの SP 添加率となった。これは、DSP の比表面積が影響しているものと考えられ、比表面積が大きい DSP には、写真-1 に示すような水和生成物等が顆粒状に凝集したものが多く含まれ<sup>5)</sup>、これらが練混ぜ水を保水することによって、同一水結合材比において、所定のフロー値を得るための SP 添加率が大きくなったものと考えられる。また、DSP に対する BFS 混合率が大きくなるにつれ、SP 添加率が小さくなった。

モルタルフローの試験結果を図-3 に示す。図より、DSP に対する BFS 混合率を大きくすると練直と経時 15 分および 30 分のフロー値の差は小さくなった。また、DSP の種

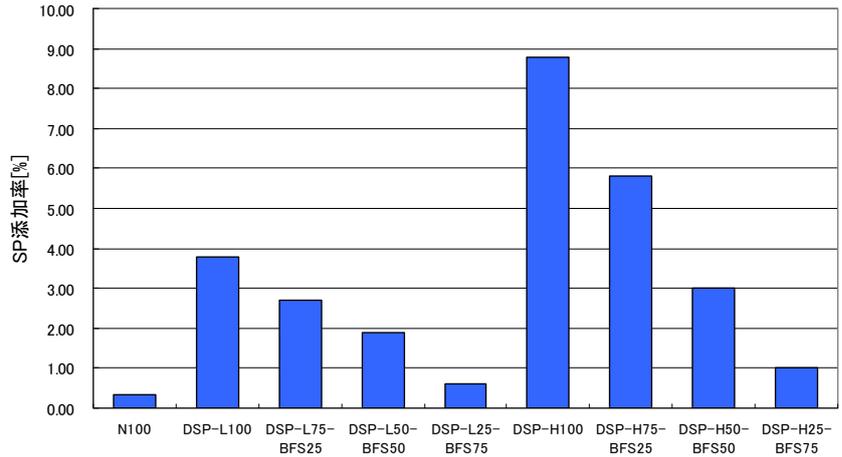


図-2 各配合における SP 添加率

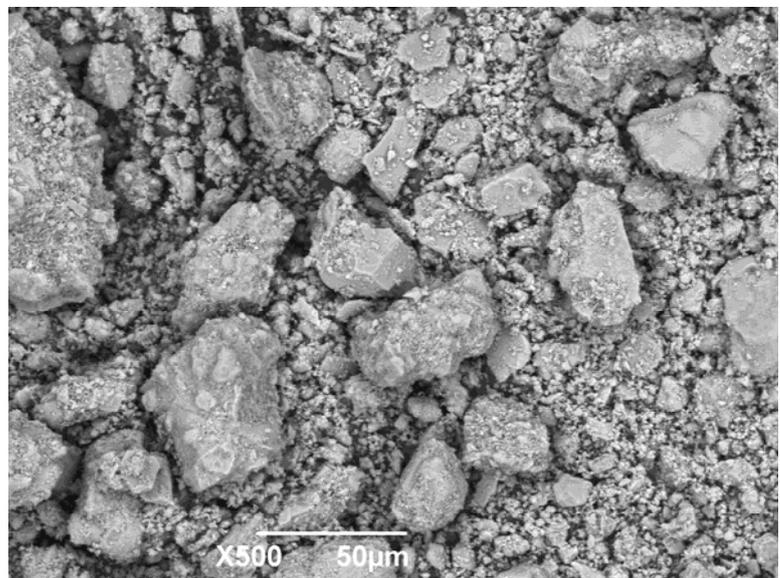


写真-1 DSP (比表面積 10000) の SEM 画像

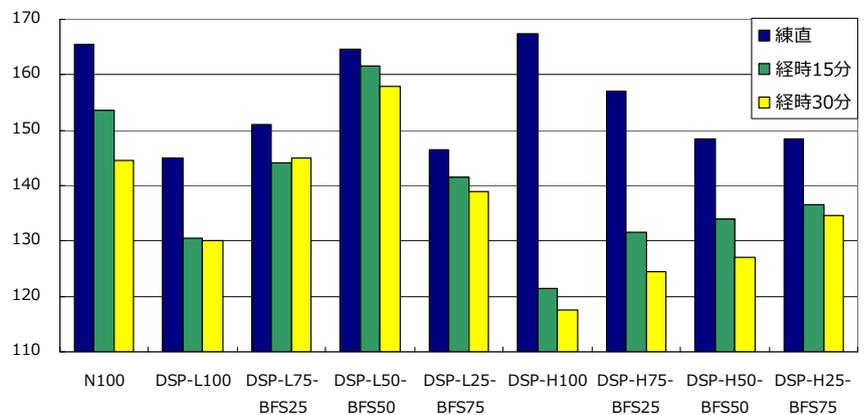


図-3 モルタルフロー試験結果

類では、DSP-Lは、経過時間に対するフロー値の差は小さかったが、DSP-Hでは大きくなった。これは先述の比表面積及び顆粒状に凝集した水和生成物等が影響し（写真-1記載）、経過時間に対するフロー値の差が大きくなったものと考えられる。

### 3.2 凝結時間

モルタルの凝結時間試験結果を図-4に示す。図より、DSPに対するBFS混合率が大きくなると、始発・終結時間が共に遅くなる傾向が見られた。またDSPの種類では、DSP-LがDSP-Hに比べ、始発・終結時間も遅くなった。これらは、結合材のみで行った凝結試験結果と同様な傾向を示しており<sup>6)</sup>、DSPの比表面積等が影響したものと考えられる。

### 3.3 圧縮強度

モルタルの圧縮強度試験結果を図-5に示す。図より材齢3日において、DSP-LではDSPに対するBFS置換率が大きくなると、強度は小さくなった。一方DSP-Hでは、BFS置換率が大きくなると、強度が大きくなった。またDSP-LとDSP-Hでは、ほぼ同程度の強度となった。材齢7日では、DSP-LはDSPに対するBFS置換率が大きくなると、材齢3日から材齢7日にかけて大幅に強度が大きくなった。一方DSP-Hでは、DSP-Lに比べ、強度の伸びは小さくなった。これらは、前記の3.2の結果と関連し、DSP-LとDSP-Hでは、DSP-Lの方が未水和セメントが多く含まれているが、初期材齢ではDSPの比表面積が大きく影響しているものと思われる。しかし、材齢3日から材齢7日においては、未水和セメントが多く含まれるDSP-Lの強度の伸びが大きくなったものと考えられる。次に材齢28、91日の長期材齢において、DSP-Lでは、材齢7日と同様な強度の伸びを示し、DSP-L75-BFS25、DSP-L50-BFS50はNを用いたモルタルよりも強度が大きくなった。一方DSP-Hでは、Nを用いたモルタルよりも強度は小さくなったが、DSP-H75-BFS25、DSP-H50-BFS50で強度が大きくなった。これらは、DSP-Lの未水和セメントの含有率が高いことと、BFSのアルカリ刺激材としての作用の両方が寄与したものと考えられる。

### 4. まとめ

本論では、RCCFコンクリートの実用化に向け、DSPとBFSの最適混合割合を明確にすることを目的とし、DSPとBFSを用いたモルタルについて、フレッシュ性状、凝結時間、強度発現性を検討し、以下の事項が明らかになった。

- (1) DSPの比表面積が大きいほど、経過時間に対するフロー値の差は大きくなった。
- (2) DSPの比表面積が大きいほど、初期材齢での強度は大きくなるが、その後の強度の伸びは、小さくな

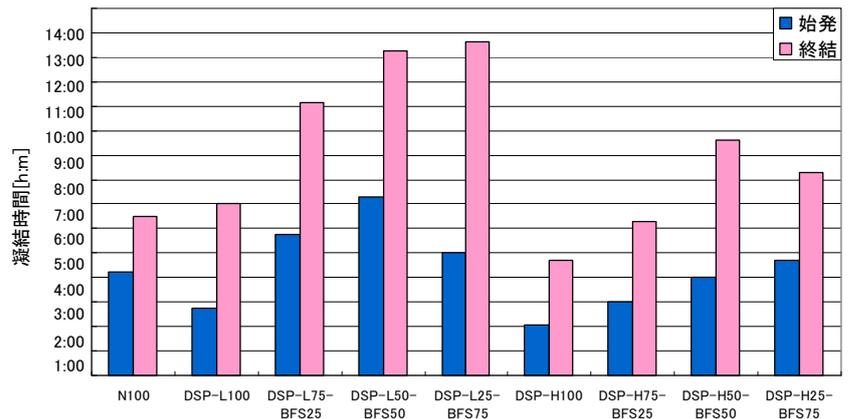


図-4 凝結試験結果

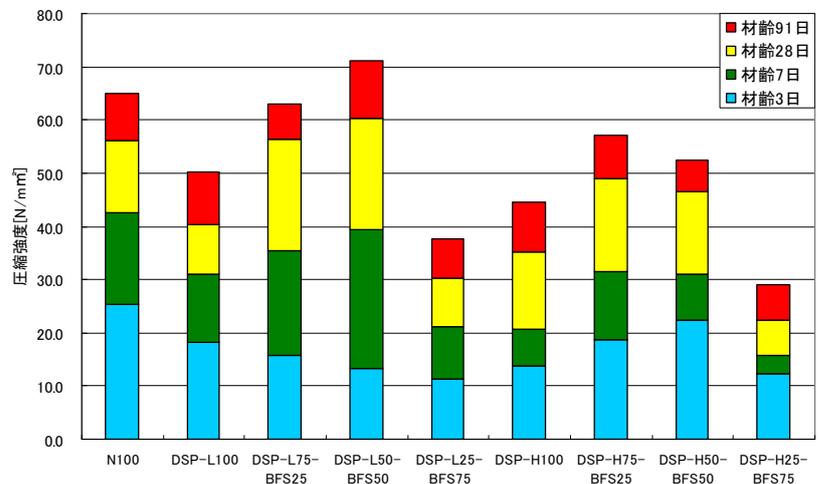


図-5 圧縮強度試験結果

った。

- (3) DSP と BFS を結合材としたモルタルの強度発現性は、DSP の比表面積により強度の傾向は異なり、DSP と BFS の混合率 50:50 および 75:25 において、N を用いた配合と同等以上の強度が得られた。

## 謝辞

本研究は、平成 27-29 年度環境研究総合推進費課題 3J153001 「スラッジ再生セメントと産業副産物混和材を併用したクリンカーフリーコンクリートによる鉄筋コンクリート部材の開発研究」の一環として実施した。ここに記して謝意を表する。

## 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) 岩田正幸，藤原浩巳，丸岡正知，竹井智哉：各種アルカリ刺激材を用いた環境負荷低減コンクリートの基本性状に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.34，No.1，pp.1546-1551，2012.7
- 3) 原田耕司，一宮一夫，津郷俊二，池田攻：ジオポリマーの諸特性に関する一考察，コンクリート工学年次論文集，Vol.34，No.1，pp.1894-1899，2012.7
- 4) 石関浩輔，百瀬晴基，閑田徹志，大川憲，青木真一，笠井哲郎：戻りコンクリート起源の再生セメントによるクリンカーフリーコンクリートの基礎物性，日本建築学会大会学術講演会梗概集，pp.1180-1181，2014.7
- 5) 大川憲，青木真一，百瀬晴基，閑田徹志，笠井哲郎：乾燥スラッジ微粉末と産業副産物混和材を併用したクリンカーフリーコンクリートに関する実験研究，日本建築学会構造系論文集，Vol.80，No.710，pp.539-549，2015.4
- 6) 八巻真規，大川憲，青木真一，百瀬晴基，閑田徹志，笠井哲郎：戻りコンクリートから製造した乾燥スラッジ微粉末の基礎物性，第 42 回土木学会関東支部技術研究発表会，V-65，2015