

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

三和石産(株)	正会員	〇八巻	真規
	正会員	大川	憲
	非会員	青木	真一
鹿島建設(株)	非会員	閑田	徹志
	非会員	百瀬	晴基
	非会員	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¹⁾、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、CO₂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^{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、中性化抵抗性の確保が課題となる。これまでに著者らは、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コンクリートの基礎検討を行い、設計基準強度36N/mm²までの普通強度域のコンクリートを実現できる見通しを得ている^{4)・5)}。

そこで本研究では、RCCFの開発を目指し、DSPの基礎物性をさらに明確にすることを目的とし、DSPの凝結時間、粒度特性、未水和セメント量およびDSPに含まれる微砂分量についての検討を行った。

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、破砕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・粉砕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/cm³、5,000～10,000 cm²/g、7.0～18.0%であり、強度発現性は、Nの40～55%を発揮する⁶⁾。

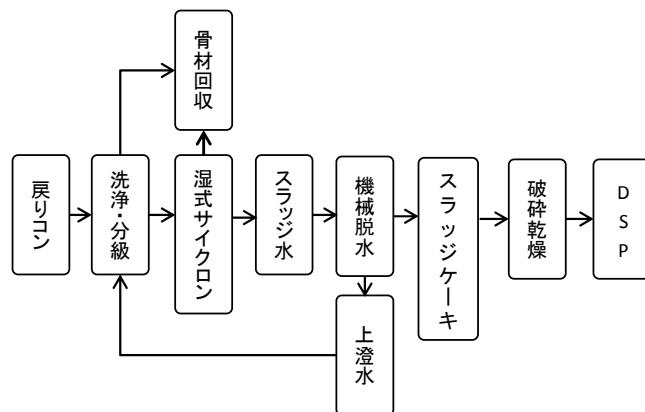


図-1 DSP製造工程

表-1 使用材料

2.2 試験・評価項目

(1) DSPの凝結試験（始発・終結）

使用材料を表-1に示す。比表面積が異なる3種類のDSP（記号：DSP①～③）と、比較対象としてNと早強ポルトランドセメント（以下、Hと称す）についてセメントの凝結試験（JIS R 5201）に準拠して行った。

(2) DSPの粒度特性

使用材料を表-1に示す。比表面積が異なる3

品名	記号	試験項目	密度 g/cm ³	比表面積 cm ² /g
乾燥スラッジ微粉末①	DSP①	凝結試験	2.64	7790
乾燥スラッジ微粉末②	DSP②		2.45	9300
乾燥スラッジ微粉末③	DSP③		2.44	12600
乾燥スラッジ微粉末④	DSP④	レーザー回折粒度分布測定	2.50	6570
乾燥スラッジ微粉末⑤	DSP⑤		2.52	7740
乾燥スラッジ微粉末⑥	DSP⑥		2.60	8790
乾燥スラッジ微粉末⑦	DSP⑦	SEM観察、未水和セメント量、モルタル強度	3.05	4800
乾燥スラッジ微粉末⑧	DSP⑧		2.63	7930
乾燥スラッジ微粉末⑨	DSP⑨		2.49	9880
普通ポルトランドセメント	N	-	3.16	3310
早強ポルトランドセメント	H		3.14	4510

キーワード 戻りコンクリート、スラッジ微粉末、粒度特性、未水和セメント量、微砂分量

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

種類の DSP (記号：DSP④～⑥) と、比較対象として N と H についてレーザー回折による粒度分布を測定した。さらに比表面積の異なる 3 種類の DSP (記号：DSP⑦～⑨) と N について SEM 観察を行った。

表-2 配合表

配合名	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)					
		N	DSP	W	S	SP	DF
DSP⑦配合	50	—	900	450	2700	0.40%	2.40%
DSP⑧配合	50	—	900			3.60%	2.00%
DSP⑨配合	50	—	900			4.80%	1.20%
N	50	900	—			—	—

(3) DSP の未水和セメント量およびモルタル試験

比表面積が異なる 3 種類の DSP (記号：DSP⑦～⑨) について、走査型電子顕微鏡 (SEM) およびエネルギー分散型 X 線分析 (EDX) により、DSP の成分分析を行った。エポキシ樹脂と粉体を練り混ぜ DSP のエポキシ樹脂混合試料による SEM 画像を二値化することにより、DSP の未水和セメント量を定量化した。

モルタル試験の使用材料および配合表を表-1, 2 に示す。上記の未水和セメント量を定量化した DSP (記号：DSP⑦～⑨) と比較対象として N を用いたモルタルに関し、フレッシュおよび強度発現性の試験を行った。モルタルの配合条件は、水結合材比 (W/DSP) = 50%, 細骨材結合材比 (S/DSP) = 3.0 である。細骨材はセメント協会標準砂を用いた。また目標フロー値を $160 \pm 15 \text{ mm}$, 目標空気量を $6.5 \pm 1.5 \%$ とし、この値となるように高性能 AE 減水剤 (SP) および空気量調整剤 (消泡剤) (DF) を添加した。

(4) DSP に含まれる微砂分量

これまで用いたものと異なる 6 種類の DSP (記号：A～F) について、DSP に含まれる微砂分量を把握するため、「スラッジ固形分中の砂分含有率試験方法 (ZKT-103)」(以下、ZKT 法と称す) に準拠して行った。また DSP は原料である戻りコンに石灰砕砂を用いていることから「グルコン酸ナトリウムによる硬化コンクリートの単位セメント量試験方法 (NDIS 3422 : 2002)」(以下、グルコン酸法と称す) による方法においても検討した。

3. 実験結果

3.1 DSP の凝結試験 (始発・終結)

DSP の凝結試験結果を図-2 に示す。図より、DSP の始発時間は N や H に比べ早い結果となり、終結時間は同等か遅い結果となった。これは、これまでのモルタルレベルの結果と同様な傾向であり⁴⁾、DSP の原料である戻りコンが水和初期に石膏を消費したため、N における石膏による水和の休止期⁷⁾が現れにくいことが一因であると考えられる。

3.2 DSP の粒度特性

レーザー回折による粒度分布結果を図-3 に示す。図より、DSP は既往の報告と同様に N や H に比べ、粒度分布の幅が広く、粒径 $100 \sim 1000 \mu\text{m}$ にも計測されているが、これはセメントが凝集したものや DSP 製造時に細骨材の一部が混入したものと考えられる⁶⁾。DSP の比表面積の違いでは、DSP の比表面積が大きくなるにつれ、粒径 $300 \mu\text{m}$ 程度の値が大きくなった。これは、DSP の比表面積は原料である戻りコンの水和進行に伴い、比表面積が大きくなり、細かい粒子が凝集し $300 \mu\text{m}$ 程度の見掛け上、粒径の大きな粒子が増大しているものと考えられる。

比表面積が異なる 3 種類の DSP と N の SEM 画像を

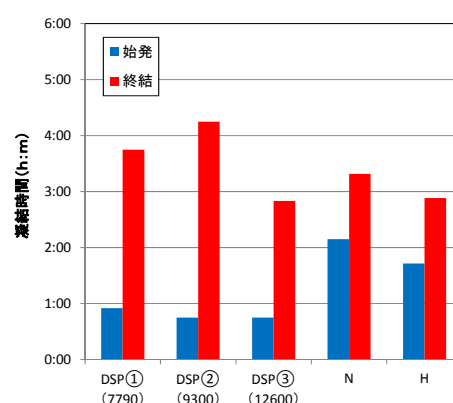


図-2 DSP の凝結試験結果

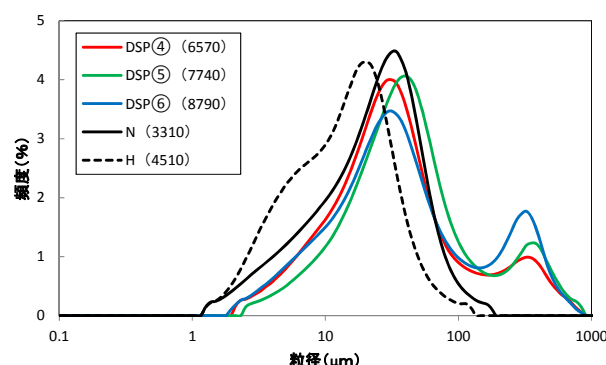


図-3 レーザー回折粒度分布結果

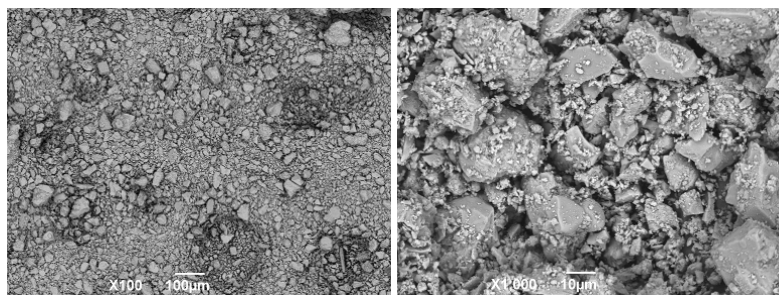
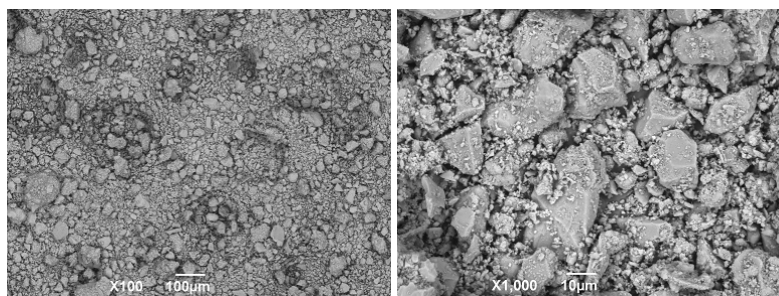
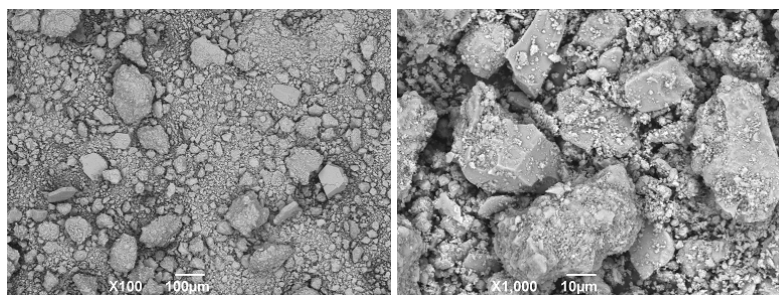
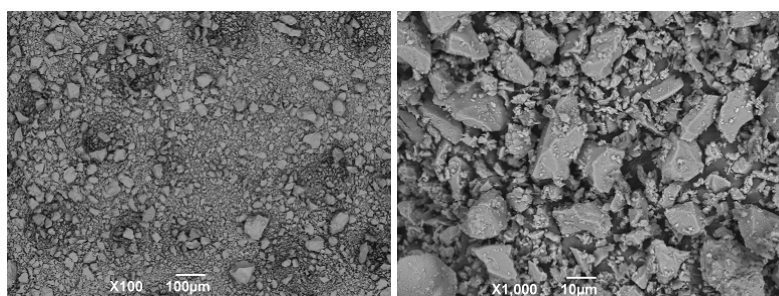
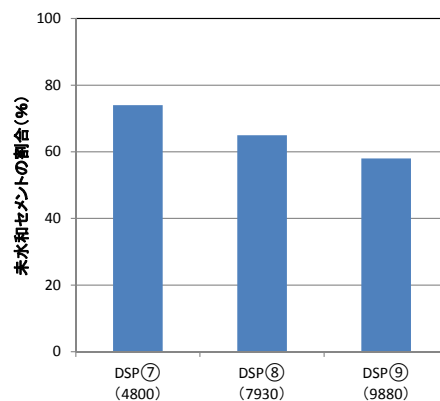
写真-1 DSP⑦ (比表面積 4800cm²/g)写真-2 DSP⑧ (比表面積 7930cm²/g)写真-3 DSP⑨ (比表面積 9880cm²/g)写真-4 N (比表面積 3310cm²/g)

図-4 DSPの未水和セメント量

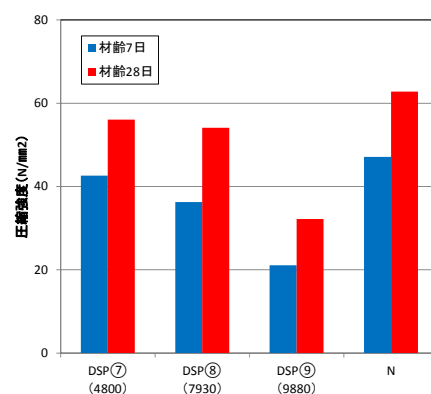


図-5 モルタル強度試験結果

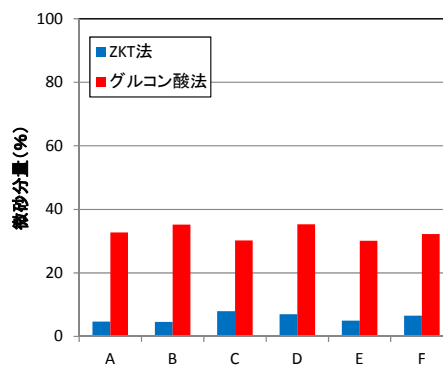


図-6 DSPの微砂分量

写真-1~4に示す。写真より、DSPの比表面積が大きくなるにつれ、粒径100μm以上の凝集した粒子が多く存在していることが観察された。これらは、DSPの比表面積が大きくなると粒径100~1000μmの粒子が多くなることがわかった。

3.3 DSPの未水和セメント量およびモルタルの圧縮強度

DSPの未水和セメント量の結果を図-4に示す。図より、DSPの比表面積が大きくなるほど、未水和セメント量が小さくなった。また、同様のDSPを用いたモルタルの圧縮強度試験結果を図-5に示す。図より、DSPの比表面積が大きくなるほど、圧縮強度は小さくなった。Nを用いたモルタルの圧縮強度(材齢28日)に対し、DSP⑦は89%、DSP⑧は86%、DSP⑨は51%の強度となり、未水和セメント量と同様の傾向であることがわかった。

3.4 DSPに含まれる微砂分量

ZKT 法とグルコン酸法による DSP に含まれる微砂分量試験結果を図-6 に示す。図より A～F の 6 種類の DSP の測定を行ったが、ZKT 法は 4.5～8.0%程度、グルコン酸法は 30～35%程度となった。また、3.3において、未水和セメント量の定量を SEM 画像から二値化した際に、砂、水和生成物、石膏および炭酸カルシウムなどが 35%程度であった。これらの結果から、DSP の微砂分量は、ZKT 法に比べ、グルコン酸法が適していると考えられ、DSP には微砂分量が 30%程度含まれていることがわかった。

4. まとめ

本論では、RCCF の開発を目指し、DSP の基礎物性をさらに明確にすることを目的に、戻りコンから製造した DSP 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) DSP の凝結時間は、始発時間は N や H に比べ早い結果となり、終結時間は同等か遅い結果となった。
- (2) DSP の粒度特性は、DSP の比表面積が大きくなると、細かい粒子が凝集し 300 μ m 程度の見掛け上、粒径の大きな粒子が増大している。
- (3) DSP の未水和セメント量は、DSP の比表面積が大きくなるほど、未水和セメント量が小さくなり、モルタルによる 28d 圧縮強度も同様の結果となった。
- (4) DSP に含まれる微砂分量は、グルコン酸法が適していると考えられ、30%程度含まれていることがわかった。

謝辞

本研究は、平成 24-26 年度環境研究総合推進費課題 3K123015「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) 百瀬晴基，閑田徹志，石関浩輔，大川憲，笠井哲郎：乾燥スラッジ微粉末と副産物混和材を用いたクリンカーフリーコンクリートに関する基礎検討，日本建築学会大会学術講演会梗概集，pp.187-188，2013.8
- 5) 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
- 6) 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回収したスラッジ微粉末と骨材の物性およびその有効利用に関する研究，第 17 回生コン技術大会，pp.169-174，2013.4
- 7) 荒井康夫：改訂 2 版 セメントの材料化学，大日本図書(株)，pp.131-137，1991