

## 論文 生コンスラッジの混和材としての有効利用に関する研究

月 岡 存 \*<sup>1</sup>

**要旨:** 生コンプラントで発生するスラッジケーキを乾燥微粉碎した場合、それがコンクリート中の結合材の一部として利用できるかどうかを知る目的で実験を行った。乾燥スラッジを混入したモルタルの試験では、スラッジはかなりの大きさの活性度を示した。次に、スラッジを普通ポルトランドと高炉B種セメントについて質量で最大 15 %まで置換したコンクリート実験では、ブリーディング、強度、凍結融解に対する耐久性および乾燥収縮について検討した。その結果、乾燥微粉碎スラッジはコンクリート用の混和材として使用できる可能性のあることがわかった。

**キーワード:** 生コンクリート, スラッジ, 混和材, 圧縮強度, 凍結融解, 乾燥収縮

## 1. はじめに

現在、生コンクリート工場において、ミキサの洗浄や残りコンクリートの処理などの際に発生するスラッジが産業廃棄物として問題になっている。そこで、近年、生コンスラッジをコンクリート用材料、路盤材、中和材などに有効利用しようとする研究が行われている<sup>1)、2)</sup>。これに関して、筆者も、乾燥微粉碎したスラッジがコンクリート中の細骨材の微粒分として利用できる可能性のあることを報告した<sup>3)</sup>。本研究では、脱水したスラッジケーキを乾燥させて微粉碎した乾燥スラッジを、コンクリート中の結合材の一部としてセメントに置換して混入した。そして、スラッジの置換率とセメントの種類がコンクリートの性質に及ぼす影響について検討し、乾燥スラッジの混和材としての可能性を明らかにしようとするものである。

## 2. 実験概要

実験は、後に示すようなモルタル実験(実験 I)とコンクリート実験(II)を実施した。

## 2.1 使用材料

セメントは、普通ポルトランドセメント(比重 3.16)と高炉セメント B 種(比重 3.03、ブ

レーン値  $4,000\text{cm}^2/\text{g}$  の高炉スラグ微粉末 50 %含有)の 2 種類を使用した。

乾燥スラッジは、生コンプラントで発生したスラッジを当日脱水してスラッジケーキ(含水率約 100 %)としたものを、翌日から  $105^\circ\text{C}$  で 3 日間乾燥させた後、ボールミルで微粉碎した。乾燥微粉碎スラッジの試験結果は、比重 2.15、強熱減量 26.7 %、 $0.074\text{mm}$  ふるい通過分 55 %、ブレーン値  $6,050\text{cm}^2/\text{g}$ 、砂分含有率 22.1 %であった。

細骨材は、JIS R 5201-1997 の標準砂(実験 I)と三重県雲出川流域産の陸砂(実験 II)で比重 2.59、粗粒率 2.87 のもの、粗骨材は、同じく雲出川流域産の玉砂利で比重 2.65、最大寸法  $20\text{mm}$ 、粗粒率 6.69 のものをそれぞれ用いた。

混和剤(実験 II)は、A E 減水剤(JIS A 6204 適合の標準形)と空気量調整剤(A E 助剤)を使用した。

## 2.2 実験 I: 乾燥スラッジを混入したモルタルの実験

## (1) モルタルの種類と配合

スラッジ混入モルタルの種類と配合は表 1 に示すように、普通ポルトランドセメント

\* 1 三重大学助教授 生物資源学部生物資源学科 農博(正会員)

表-1 モルタルの種類と配合

シリーズ (記号)	スラッジ置 換率 (%)	普通ポルト ランドセメント (g)	高炉B種 セメント (g)	スラッジ (g)	標準砂 (g)	水 (g)
P-0	0	540	0	0	1350	270
P-10	10	486	0	54	1350	270
P-25	25	405	0	135	1350	270
P-50	50	270	0	270	1350	270
S-0	0	0	540	0	1350	270
S-10	10	0	486	54	1350	270
S-25	25	0	405	135	1350	270
S-50	50	0	270	270	1350	270

を用いたPシリーズと高炉B種セメントのSシリーズの2シリーズ、計8種類である。

(2) 実験方法

モルタルはオムニミキサを使用して練混ぜ、JIS A 6206 の高炉スラグ微粉末のモルタルによる活性度指数およびフロー値比の試験方法に準じて、モルタルの圧縮強度試験とフロー試験を実施した。

2.3 実験II：乾燥スラッジを混入したコンクリートの実験

(1) コンクリートの種類と配合

コンクリートは、表-2に示すように、混和剤の使用量を調節することにより、スランプ、空気量、単位水量をすべて一定とした。N-0~N-15は普通ポルトランドセメントを用い、スラッジの置換率を5%ずつ変化させたものであり、B-0とB-10は高炉B種セメントを使用したものである。スラッジを結合材の一部とすると、これら6種類のコンクリートの水結合材比はすべて55%である。NV-10は、

スラッジをセメント量の外割で10%混入したものであり、水結合材比は50%である。

(2) 実験方法

コンクリートは可傾式ミキサを使用して練混ぜ、フレッシュコンクリートの試験としてスランプ、空気量およびブリーディング試験(JIS A 1123)を行った。硬化後のコンクリートについては、圧縮強度、引張強度(JIS A 1113)、凍結融解(JIS A 6204)および乾燥収縮(JIS A 1129、長さ変化試験、材齢12日乾燥開始)試験を実施した。ただし、一部の試験については代表的なコンクリートの種類のみとした。

3. 実験結果および考察

3.1 スラッジ混入モルタルの性質

(1) フロー値比

図-1はP-0のモルタルのフロー値(229)を100(%)としたフロー値比を示したものである。スラッジの置換率の大きいほどフロー値比が小さくなり、P、S両シリーズ共に置

表-2 コンクリートの種類と配合

コンクリートの種類	セメントの種類	スラッジ置換率(%)	スランプ(cm)	空気量(%)	水セメント比(%)	細骨材率(%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )					
							水セメント	スラッジ	細骨材	粗骨材	混和剤	
N-0	普通ポルト	0	10	6.0	55.0	4.4	172	313	0	762	993	0.51
N-5	普通ポルト	5	10	6.0	57.9	4.4	172	297	15.7	760	990	0.78
N-10	普通ポルト	10	10	6.0	61.0	4.4	172	282	31.3	757	985	1.10
N-15	普通ポルト	15	10	6.0	64.7	4.4	172	266	47.0	754	982	1.41
NV-10	普通ポルト	(10)	10	6.0	55.0	4.3	172	313	31.3	728	988	1.50
B-0	高炉B種	0	10	6.0	55.0	4.4	172	313	0	758	987	0.78
B-10	高炉B種	10	10	6.0	61.0	4.4	172	282	31.3	753	981	0.94

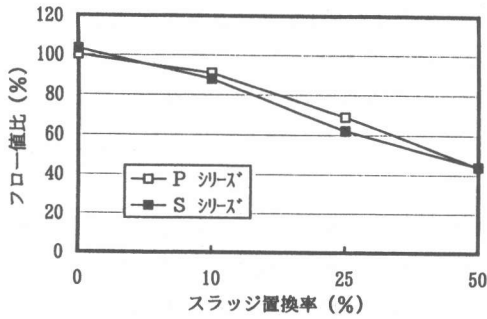


図-1 モルタルのフロー値比

換率 50%ではフロー値が 100 となり強度試験用の供試体の作製が困難であった。このため、これらの場合には、A E 減水剤を使用してフロー値を 200 程度とした。スラッジを混入するとフロー値が小さくなるのは、スラッジの比重がセメントよりかなり小さいこととスラッジの吸水性が大であるためと考えられる。

## (2) 活性度指数

図-2は、スラッジ無混入である P-0 のモルタルの圧縮強度を基準とした活性度指数を示したものである。材齢 7 日では、P シリーズのほうが S シリーズより活性度指数が大きい。これは、普通ポルトランドセメントと高炉セメントの初期強度の差を表しているものと思われる。

材齢 28 日では、スラッジ置換率が 10 % の場合の活性度指数は、P, S シリーズともに 80 % 近くの値を示している。これらは、コンクリート用のフライアッシュ (JIS A 6201) と高炉スラグ微粉末 4000 (JIS A 6206) の品質規格に決められている材齢 28 日の活性度指数、それぞれ、80 % と 75 % 以上に匹敵する大きさである。この結果により、コンクリート実験におけるスラッジの置換率を 15 % までとした。シリーズ別ではスラッジを置換した場合、高炉セメントを用いた S シリーズの活性度の方がやや大きい結果となった。これは、畑中ら<sup>4)</sup>がスラッジにセメントまたは高炉スラグを混入して圧縮強度を測定した実験の結果と同様の傾向である。

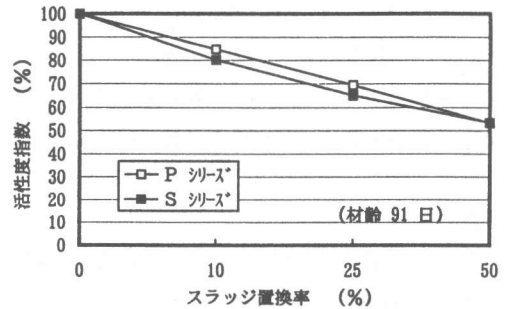
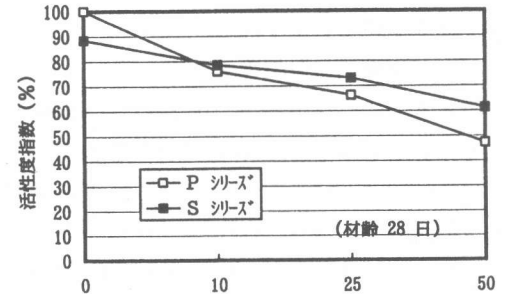
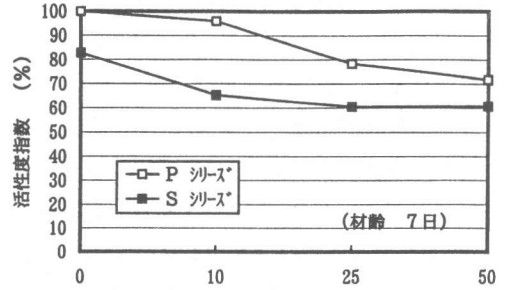


図-2 モルタルの活性度指数

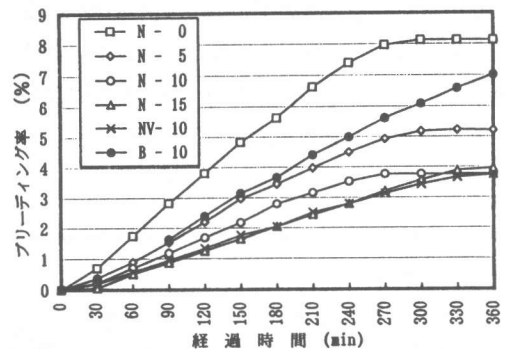


図-3 コンクリートのブリーディング率

次に、材齢 91 日では、活性度指数に及ぼす影響は P シリーズと S シリーズの違いでは小さく、スラッジ置換率による差が大きかった。

## 3.1 スラッジ混入コンクリートの性質

### (1) ブリーディング

コンクリートのブリーディング率を図-3に示した。N-0~N-15をみると、ブリーディング率はスラッジ置換率の大きいほど小さく、スラッジの保水性が大きいことを示しているものと考えられる。また、B-10のコンクリートのブリーディング率が、同じスラッジ置換率のN-10より大きいのは、高炉セメントのほうがポルトランドセメントより凝結時間が長いためではないかと考えられる。

## (2) 圧縮強度と引張強度

図-4は、コンクリートの圧縮強度の試験結果を示したものである。材齢7日の値をみると、普通ポルトランドセメントを用いたN-0~N-15の圧縮強度は若材齢期の強度発現が小さいといわれている高炉セメント使用のB-0とB-10より大きく、1.36~1.68倍である。しかしながら、これらのコンクリートについて、スラッジ置換率が強度に及ぼす影響は大きくないようである。また、NV-10の圧縮強度は、他のコンクリートの材齢28日のそれに相当する大きさである。

次に、材齢28日では、N-0~N-15とB-0、B-10の圧縮強度の比の範囲は0.99~1.19倍となり、使用セメントによる違いが材齢7日の場合より小さく、圧縮強度で-0.2~4.4 N/mm<sup>2</sup>の範囲の差であった。また、スラッジ置換率による違いも小さく、最大でもN-0とN-10で強度の差で3.1N/mm<sup>2</sup>、強度比で1.13倍である。この強度差は、スラッジをセメント量の外割

で混入したNV-10(水セメント比55%)の圧縮強度が極めて大きいことから分かるように、スラッジ混入コンクリートの水セメント比を少し小さくするだけでなくすることができるものと思われる。

材齢91日の圧縮強度では、高炉セメントを用いたB-0とB-10の強度の伸びが普通ポルトランドセメント使用のN-0~N-15より大きく、同じスラッジ置換率で比べると、その値も大きい。また、スラッジ置換率が大きくなるほど圧縮強度が小さくなり、この傾向は普通ポルトランドセメントを用いたほうが、また、材齢28日より91日の圧縮強度のほうが高くなるようである。

図-5に材齢28日における引張強度の試験結果を示した。引張強度は、NV-10のコンクリートが一番大きく、スラッジの置換率が大きくなるにつれて小さくなるなど、材齢28日の圧縮強度とほとんど同じ結果である。

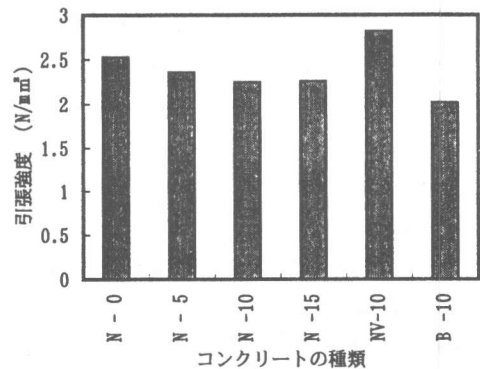


図-5 コンクリートの引張強度

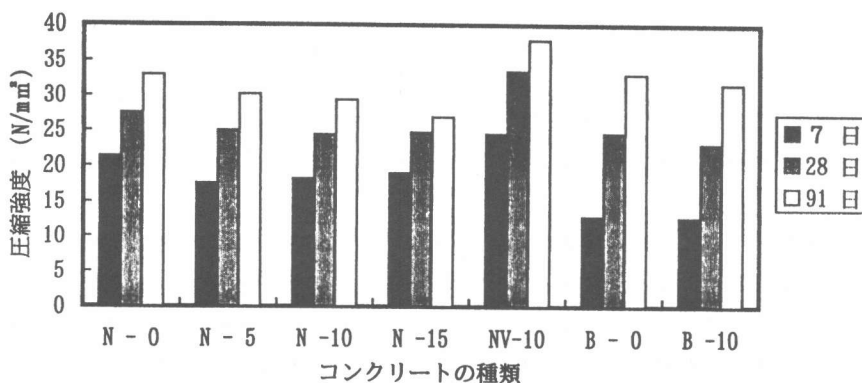


図-4 コンクリートの圧縮強度

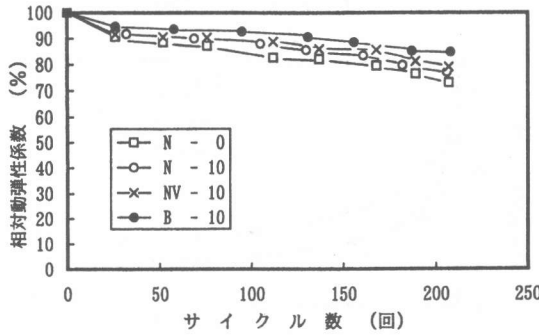


図-6 相対動弾性係数 (凍結融解試験)

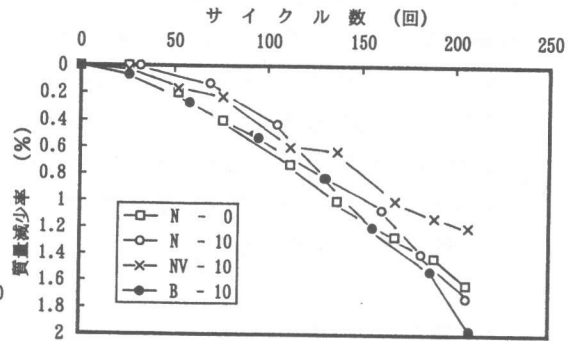


図-7 質量減少率 (凍結融解試験)

### (3) 凍結融解に対する耐久性

図-6に凍結融解試験における相対動弾性係数の変化を示した。200サイクル経過時の相対動弾性係数は、すべて耐久性の判断指標である60%を上回る75%以上であり、いずれのコンクリートも耐久性があるものといえる。コンクリートの種類別では、スラッジを混入したもののほうが混入しなかったN-0より相対動弾性係数が大きく、中でもB-10とNV-10は大きい。この原因は、B-10については高炉セメントを用いたことにより水密性の高いコンクリートになったこと、NV-10については水結合材比が他より小さいことによるためではないかと考えられる。

図-7に、同じく凍結融解のサイクル数と質量減少率の関係を示した。コンクリート供試体の質量はサイクル数の増加と共に減少し、200サイクル経過時の質量減少率は、B-10、N-10、N-0、NV-10の順に大きい。これは、相対動弾性係数の低下の順とは対応してなくて、コンクリートの28日強度の大きさと同様であり、圧縮強度の大きいほど質量減少率が小さい。この理由は、凍結融解試験における相対動弾性係数は供試体全体の耐久性の低下の程度を示すと考えられるが、質量減少率はおもにコンクリート供試体表面の損傷の程度を表すためであると思われる。

以上のことから、セメントをスラッジで置

換してもコンクリートの凍結融解に対する耐久性は劣らないと考えてよいと思われる。

### (4) 乾燥収縮

図-8に乾燥収縮ひずみの測定結果を示した。N-0とN-10のコンクリートの乾燥によるひずみの大きさはほとんど等しく、B-10はこれらより乾燥開始後20週で $80 \times 10^{-6}$  (12%)程度小さい。このことから、本実験の範囲では、乾燥収縮の点からスラッジを混入しても、単位水量が同一であれば問題はないものと思われる。ただし、一般に、高炉セメントを用いたコンクリートの初期の乾燥収縮は大きい傾向があるとされているため、初期材齢(たとえば、3日)で乾燥を開始した場合は本実験の結果と異なることも考えられる。

次に、乾燥収縮試験における質量減少率の結果を図-9に示した。N-0のコンクリートと

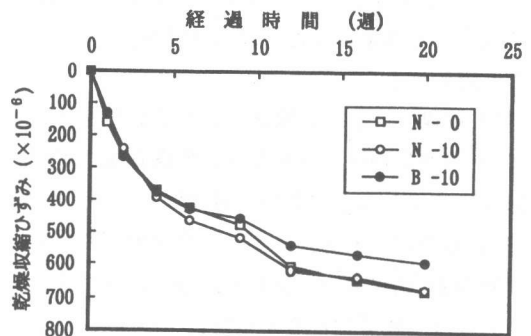


図-8 乾燥収縮ひずみ

比べて、スラッジを混入したN-10とB-10は、乾燥開始後1～2週間までの質量の減少がやや大きく、その差がそれ以後ほぼ続いている。この原因は不明であるが、スラッジの保水性（吸水性）と関連があるのかもしれない。しかしながら、質量の減少率と乾燥収縮ひずみの大きさは関連がないようである。

#### 4. まとめ

本実験の範囲で得られた結果をまとめると次のようである。

(1) 乾燥スラッジを混入したモルタルの活性度は相当高く、たとえば、スラッジ置換率10%の時、材齢28日の活性度指数が80%近くであった。

(2) コンクリートのブリーディング率は、スラッジ置換率が大きくなるほど小さくなる傾向を示した。

(3) コンクリートの圧縮強度は、スラッジ置換率が大きくなるほど小さくなる傾向を示した。しかしながら、スラッジ置換による圧縮強度の低下は比較的小さく、水セメント比をわずかに少なくすることにより解決できるものと考えられた。

また、コンクリートの種類別にみた材齢28日の引張強度の大きさは、圧縮強度と同じ傾向であった。

(4) コンクリートの凍結融解試験では、スラッジを混入したコンクリートは無混入のもの比べ、相対動弾性係数の低下が少なく、質量の減少はやや多かったが、耐久性は劣らないものと思われた。

(5) 乾燥スラッジを混入してもコンクリートの単位水量が同一であれば、乾燥収縮ひずみはあまり変わらないものと思われた。

(6) 普通ポルトランドと高炉B種のセメントの種類が、乾燥スラッジを混入したコンクリートに及ぼす影響は小さかった。

以上の(1)～(6)より、乾燥スラッジを普通ポルトランドセメントまたは高炉B種セメン

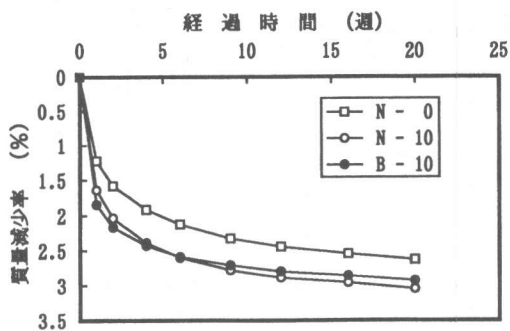


図-9 質量減少率 (乾燥収縮試験)

トの代わりに、質量で10%程度置換してコンクリートに用いても、その性質に及ぼす影響は少ないといえる。よって、乾燥スラッジはコンクリート用結合材の一部として使用できる可能性があると思われる。

#### 謝辞

本研究は、平成9年度文部省科学研究費補助金(基盤研究B:代表者・三重大学工学部畑中重光教授および基盤研究C:月岡存)を受けて行ったものである。

#### 参考文献

- 1) 畑中重光・谷川恭雄: 生コンスラッジに関する研究の現状、コンクリート工学、Vol.33, No.6, pp.14-24, 1995.6
- 2) 日本コンクリート工学協会: コンクリートスラッジの有効利用に関するシンポジウム論文報告集・委員会報告書、1996.6
- 3) 月岡 存: 乾燥スラッジを混入したコンクリートの特性、セメント・コンクリート論文集、No.49, pp.348-353, 1995.12
- 4) 畑中重光・山本裕二・谷川恭雄・中川英康: 生コンスラッジの基礎的性状に関する実験的研究、第48回セメント技術大会講演集 1994、pp.296-301, 1994.4