

生コンスラッジを混入したコンクリートの基本性状  
Basic Properties of Sludge Containing Concrete

瀧田 安浩 Yasuhiro Fuchita  
一瀬 賢一 Ken-ichi Ichise  
辻 千広 Chihiro Tsuji  
(本店 建築生産技術部)

1. はじめに

多くのレディーミクストコンクリート工場から発生する生コンスラッジの再利用はほとんどなされず、廃棄物として処分されているため、環境に与える影響は大きい。再利用に関する研究は、「2次製品原料への利用」、「セメント原料への利用」、「コンクリート材料への利用」等がなされている。一般的に、産業副産物の再利用に当っては、中間処理コストが安価で、できるだけ特別の設備を必要としない方法が望ましく、生コンスラッジの再利用の場合、「コンクリート材料への利用」が最も効率の良い方法と考えられる。JIS A 5308では単位セメント量の3%を超えない範囲でスラッジ固形分をコンクリートに混入することが認められている。しかし、スラッジを混入したコンクリートの物性に関する研究が少ないことや、産業廃棄物として処分されているものを混ぜて使うことへの抵抗感から積極的に利用する環境が整っていないのが現状である。

平成10年度の全国における生コンクリートの総出荷量は、全国生コンクリート工業組合連合会の調べによると約1億5,000万m<sup>3</sup>となっている。現状では、生コンスラッジの発生量は出荷量に対して約1%といわれているので約150万m<sup>3</sup>、脱水処理されたスラッジ固形分67~75万m<sup>3</sup>が産業廃棄物として処分されているといわれている。これらの生コンスラッジは、JIS規定値の範囲内で使用すれば、全量使用することが可能である。このような背景から、ここでは、生コンスラッジを混入したコンクリートの基本性状について紹介する。

2. スラッジについて

生コンスラッジは生コン製造の過程で発生するもので、一般的な生コン工場では一日に十数トン発生するといわれている。通常、建設現場では打設数量の不足が生じないように必要量より多めにコンクリートを発注するが、その余剰コンクリートは戻りコンクリートとして生コン工場に戻される。生コン工場では、戻りコンクリートや生コン車および製造設備の洗浄水からコンクリートの骨材を取除いた後に、セメントや骨材微粒分、混和剤等を含んだ生コンスラッジ水が発生する。このスラッジ水は、脱水処理後のスラッジ固形分が、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」（通称、廃掃法）において「汚泥」に分類され、産業廃棄物として処分されている。

ここでは、スラッジ固形分を外割混入として、コンクリートに混入した。使用したスラッジ固形分の粒度分布は0.3mm以下が多いものである。

Table 1 コンクリートの調合  
Concrete Mix Proportions

シリーズ名*	水セメント比 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			
		水	セメント	細骨材	粗骨材
55-0	55	175	318	857	907
50-0	50	175	350	823	915
45-0	45	175	389	784	923
40-0	40	175	438	736	931

\*シリーズ名は、水セメント比-スラッジ混入率を示す。

Table 2 調合条件  
Mixing Conditions

項目	種類	水準数
水セメント比(%)	55,50,45,40	4
スラッジ混入率(%)	0,5*,10,15*,20*	5

スラッジ混入率は、単位水量の重量外割換算値  
\*は水セメント比50%のみ実施

Table 3 測定項目および測定方法  
Measurement Items and Methods

試験名	測定項目・条件等	測定方法
スランブ試験	スランブ値 スランブ70-値	JIS A 1101
空気量試験	空気量 単位容積質量	JIS A 1128
ブリーディング試験	加圧 無載荷	コンクリートポンプ工法施工 指針・同解説 付5、 JIS A 1123
凝結試験	貫入抵抗値	JIS A 6204 付属書1
圧縮強度	標準水中養生	JIS A 1108
乾燥収縮	乾燥収縮量	JIS A 1129
中性化促進試験	中性化深さ	高耐久性鉄筋コンクリート造 設計施工指針(案)付1
凍結融解抵抗性試験	相対動弾性係数	JIS A 6204 付属書2

スラッジ混入量の管理方法は、スラッジ水の濃度を調整し、目標のスラッジ固形分率となるようにした。すなわち、細骨材の表面水率試験方法（JIS A 1111, 1134等）で使用するピクノメータを用い、攪拌されたスラッジ水と通常使用の練混ぜ水の質量差に、精密法から求めた補正係数を乗じて、スラッジ濃度を求めた。濃度を求めたスラッジ水を通常練混ぜ水で希釈して、目標のスラッジ固形分率となるようにした。また、計量前のスラッジ水は、固形分が沈殿しないように常に攪拌した状態が保たれるようにした。

### 3. 実験概要

Table 1および2に、コンクリートの調合および調合条件を示す。本文中で示すスラッジ混入率は、スラッジ固形分を単位水量の外割質量比率で表している。すなわち、スラッジ混入率10%とは、スラッジ固形分17.5kg混入を意味している。また、水セメント比50%の調合のみ、スラッジ混入率を20%まで5%ごとに増加させた。

使用材料は、普通ポルトランドセメント、細骨材に香川県室木沖海砂(比重2.56)と兵庫県西島砕砂(比重2.58)を80:20で混合したもの、粗骨材に西島砕石(比重2.63)を用いた。混和剤は、ポリカルボン酸系高性能AE減水剤を使用した。練混ぜは、50%二軸強制練りミキサーを用い、試験室内で行った。

Table 3に測定項目および測定方法を示す。フレッシュ試験、強度試験および耐久性に関する試験を行った。スラッジ混入コンクリートの場合、スランプ値の練混ぜ管理を水量の調整にて行った報告もある<sup>1)</sup>が、本実験では、単位水量を一定とした。

### 4. 実験結果

#### 4.1 フレッシュ性状

Table 4にフレッシュ性状の測定値の一覧を示す。空気量の測定値は、50-20を除いて、いずれも設定範囲内で大きな変化はなく、通常のコンクリートと同様に管理することが可能であった。単位容積質量、コンクリート温度に関しても大きな差はなかった。

Fig. 1にスラッジ混入率とスランプ値の関係、Fig. 2にスランプ値の経時変化を示す。スラッジ混入率が10%までの範囲では、設定範囲内であった。しかし、水セメント比50%の場合、10%を超えると、混入率が増加するに伴い、スランプ値は低下した。スランプフロー値も同様に低下する傾向となった。

混和剤使用量を一定としたため、練上り直後のスラン

Table 4 フレッシュ試験結果  
Results of Fresh Concrete

シリーズ名	スランプ値 (cm)	スランプフロー値 (cm)	空気量 (%)	単位容積質量 (ton/m <sup>3</sup> )	水セメント比 (%)	コンクリート温度 (°C)
設定値	21±2.5	—	4.5±1.0	—	—	20±3
55-0	22.5	44.0 × 45.0	4.2	2.244	57.1	21.0
55-10	22.5	37.0 × 36.0	4.0	2.243	57.0	21.0
50-0	22.0	44.5 × 45.0	3.5	—	50.2	19.0
50-5	23.0	46.0 × 47.0	4.3	2.260	49.3	21.0
50-10	22.0	37.0 × 37.0	4.1	2.257	50.2	21.0
50-15	19.5	31.0 × 33.0	5.1	2.225	49.4	21.0
50-20	9.4	22.5 × 22.0	4.4	2.253	47.5	21.0
45-0	23.5	55.0 × 55.0	3.5	2.289	46.4	21.0
45-10	22.5	44.0 × 45.0	4.3	2.260	46.4	21.0
40-0	24.0	53.0 × 56.0	3.7	2.282	41.0	21.0
40-10	23.5	46.0 × 45.0	5.2	2.245	41.4	22.0

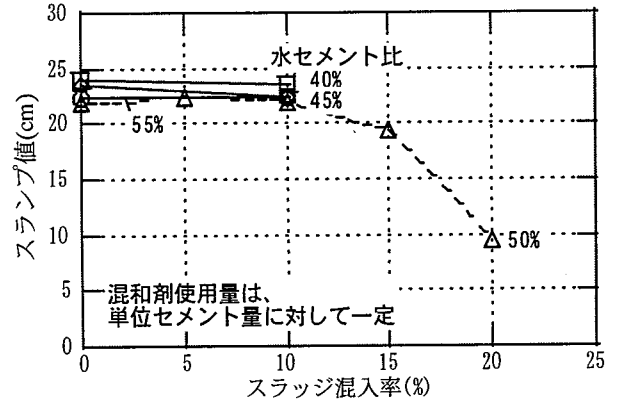


Fig. 1 スラッジ混入率とスランプ値の関係  
Relationships between Containing Ratio of Sludge and Slump Value

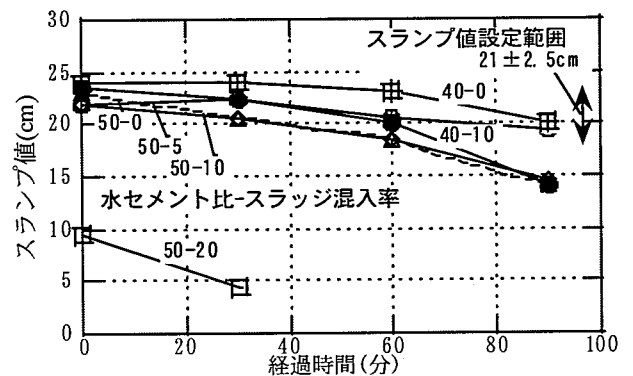


Fig. 2 スランプ値の経時変化  
Time Alternation of Slump Value

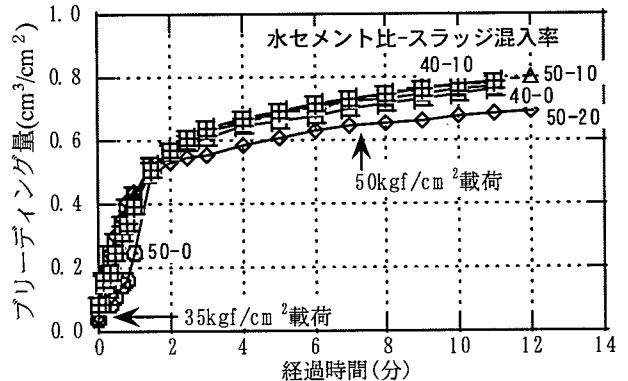


Fig. 3 加圧ブリーディング試験結果  
Results of Bleeding Test under Pressure

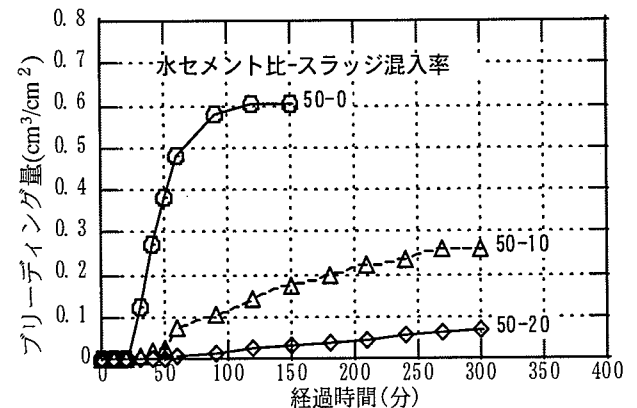


Fig. 4 ブリーディング試験結果  
Results of Bleeding Test under no Pressure

ブ値は一致しないが、経時変化は混入率10%までの範囲で60分経過までは、設定範囲内であった。また、スラッジを混入しても、無混入と比較して、スランプ値の経時変化が大きくなることはないようである。スラッジ水に含まれる混和剤等の影響も認められなかった。

#### 4.2 ブリーディング特性

Fig. 3および4に、加圧および無載荷のブリーディング試験結果を示す。加圧ブリーディング量は、スラッジ混入率にかかわらず、ほぼ同程度の値となった。無載荷でのブリーディング量は、明らかに、スラッジ混入率の増加に伴い、ブリーディング量が抑えられることがわかった。また、ブリーディングの終了時期は、スラッジの増加に伴い、長くなる傾向となった。

#### 4.3 凝結特性

Fig. 5に、貫入抵抗試験結果を示す。スラッジ混入率の増加に伴い、凝結の始発・終結は早くなった。混入率10%につき、始発・終結が数時間早くなった。これらの特性は現場打設時に床押さえの時間調節等に利用することができる可能性がある。

#### 4.4 強度発現特性

Fig. 6に、水セメント比50%の割合におけるスラッジ混入率と圧縮強度の関係を示す。スラッジ混入率20%で、若干強度が大きくなった。Fig. 7に標準水中養生の圧縮強度の変化を示す。標準水中養生の場合、水セメント比55%ではスラッジを10%混入したときの強度発現が若干低い、他の割合では、無混入と同程度の強度発現を示した。また、水セメント比50%のスラッジ混入率20%では、無混入に比べ3.1~5.5N/mm<sup>2</sup>高い強度を示した。

#### 4.5 乾燥収縮

材齢140日までの乾燥収縮の測定結果をFig. 8に示す。この結果から、無混入のコンクリートに比べ、概ねスラッジの混入率が大きくなるほど乾燥収縮ひずみは若干大きくなることがわかった。20%混入した場合、材齢140日で、無混入に比べ85×10<sup>-6</sup>大きくなった。

質量減少率（測定開始時からの質量減少量/測定開始時の質量×100、単位：%）と乾燥収縮ひずみの関係をFig. 9に示す。この結果から、水セメント比の大きいものほど質量減少率が大きく、乾燥収縮ひずみも大きくなることわかる。全体的な傾向としては、スラッジを混入した方が質量減少率が小さくなった。

#### 4.6 中性化

促進材齢91日までの中性化試験の結果をFig. 10に示す。水セメント比40%では、スラッジ混入の有無によらず中性化の進行は認められなかった。また水セメント比45, 50, 55%では、測定結果に多少のばらつきが認められるが、スラッジの有無により中性化の進行が大きな影響を受けることはなさそうである。

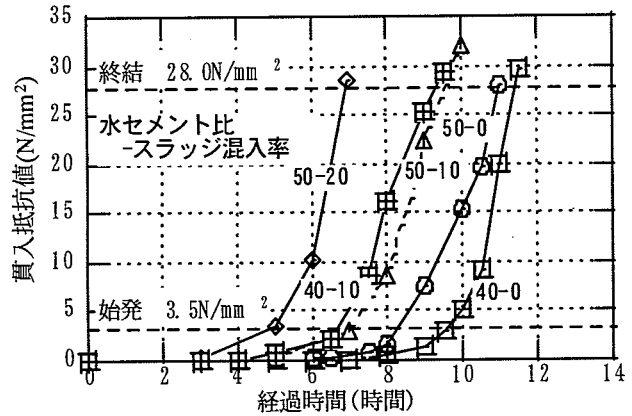


Fig. 5 貫入抵抗試験結果 Results of Penetration Test

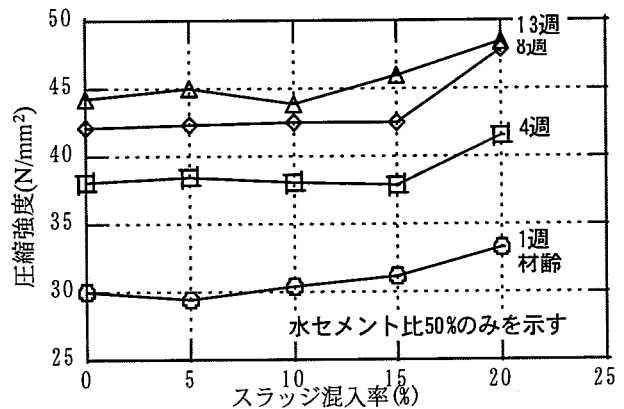


Fig. 6 スラッジ混入率と圧縮強度の関係 Relationships Between Containing Ratio of Sludge and Compressive Strength

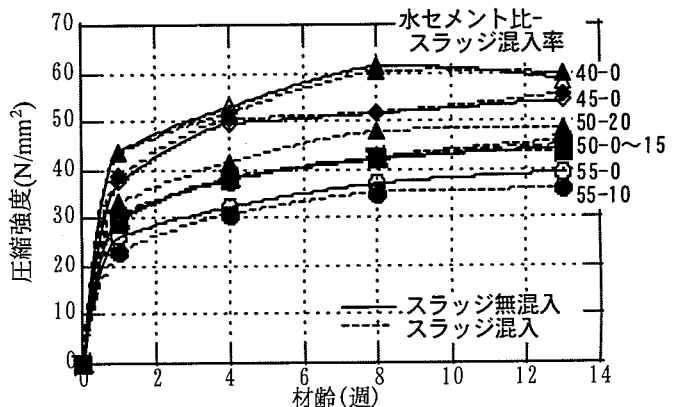


Fig. 7 圧縮強度の変化 Development of Compressive Strength

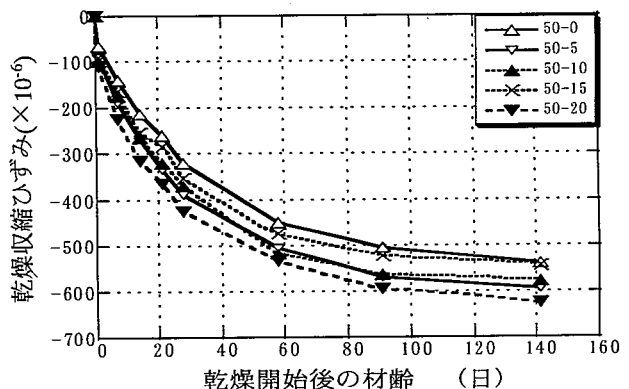


Fig. 8 乾燥収縮の測定結果 Results of Drying Shrinkage

#### 4.7 凍結融解抵抗性

300サイクルまでの相対動弾性係数の変化をFig. 11に示す。この結果によると、同一水セメント比で比較すると、全般に、スラッジを混入したコンクリートの方が、相対動弾性係数の低下が小さくなっている。したがって、スラッジの混入が凍結融解抵抗性に対して悪影響を及ぼさないと理解できる。

#### 5. 現場適用例

すでに非構造体部分では3件の工事に適用し、打設実績の累計は1,000m<sup>3</sup>を超えている。構造体には、大林組花壇寮新築工事の地上部分へ初めて適用した。この工事では、JISの許容限度であるスラッジ固形分率3%（スラッジ混入率で5%）のスラッジ混入コンクリートを採用した。

##### 〈工事概要〉

工事名称：大林組花壇寮新築工事  
 所在地：大阪府吹田市  
 建物用途：独身寮  
 規模等：RC造 地上5階・一部地下1階  
 延床面積 3,656.47m<sup>2</sup>  
 スラッジ混入コンクリート使用量：約960m<sup>3</sup>

#### 6. まとめ

室内実験により得た主な知見を以下にまとめる。

- 1) スラッジを混入することにより、ブリーディング量が抑えられ、凝結時間の調整等に利用することが可能である。
- 2) フレッシュ性状、強度発現特性および耐久性に関する物性値は、無混入のコンクリートと大きな差異はなかった。

室内試験を行った後、スラッジ混入コンクリートを非構造体部分および構造体部分に適用した。

今後、各種構造体にスラッジ混入コンクリートを採用すれば、産業廃棄物の減量化につながり、環境影響を小さくすることができることになる。試算によれば、JISの許容限度である固形分率3%のスラッジを混入したコンクリートを使用すれば、産業廃棄物として処分されるスラッジ固形分がなくなるはずである。今後も、スラッジ混入コンクリートの採用を推進していきたい。

なお、本技術の検討は、シンワ生コン株式会社と共同で行ったものである。

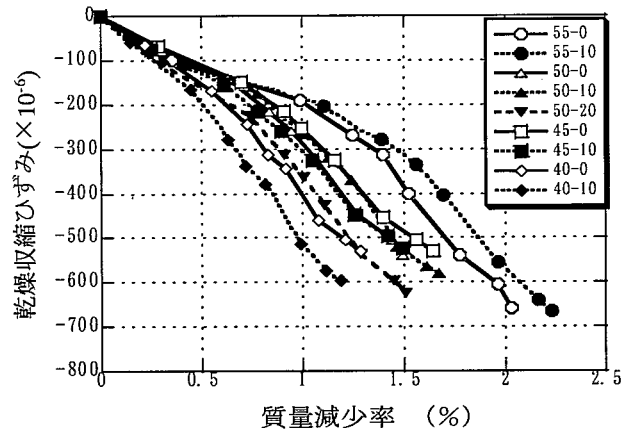


Fig. 9 乾燥収縮ひずみと質量減少率の関係  
Relationships between Drying Shrinkage and Ratio of Mass Reducing

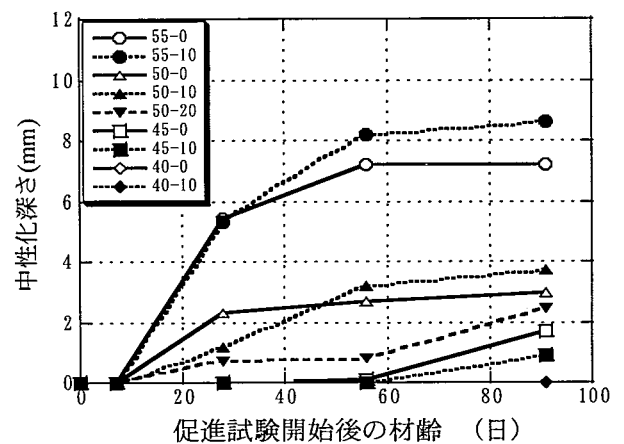


Fig. 10 中性化促進試験の結果  
Results of Accelerated Carbonation Test

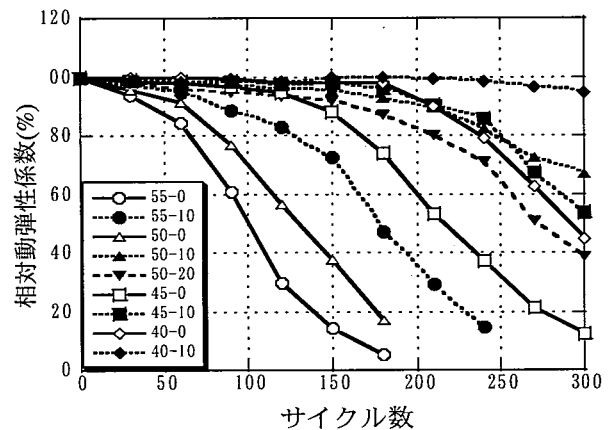


Fig. 11 相対動弾性係数の測定結果  
Results of Dynamic Modulus of Elasticity

#### 参考文献

- 1) 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、日本コンクリート工学会、(1996)
- 2) 一瀬、瀧田、他：スラッジ水を用いたコンクリートに関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、日本建築学会、pp. 659~666, (1998), pp. 193~194, (1999)