

平成 22 年 5 月 20 日現在

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2007～2009

課題番号：19560468

研究課題名 (和文) ゼロエミッション達成のための生コンスラッジ水多量有効利用の実用化に関する研究

研究課題名 (英文) A STUDY ON THE EFFECTIVE UTILIZATION OF SLUDGE WATER IN ORDER TO ACHIEVE ZERO-EMISSION FROM READY-MIXED CONCRETE PLANTS

研究代表者

中本 純次 (NAKAMOTO JUNJI)

和歌山工業高等専門学校・環境都市工学科・教授

研究者番号：70043552

研究成果の概要 (和文)：

社会基盤の多くはコンクリートでつくられているが、生産工場である生コン工場ではスラッジ水と呼ばれる汚濁水が発生する。それにはセメントや砂などが含まれているため処分するには固形分を分離し、水は浄化しなければならない。近年、資源の有効活用や環境負荷の低減が国策として取り組まれているが、最も効果的なことはゼロエミッションを達成することである。そのためには発生した副産物は、発生した場所で元の形で再利用することが重要である。それにより、処理コストや輸送コストの低減さらにはエネルギー消費や CO₂ 排出の抑制につながる。

研究成果の概要 (英文)：

Almost all infrastructures are made of concrete so that concrete is very important structural material. In ready-mixed concrete plants where concrete is produced, a lots of dirty water so called sludge water is produced resulting from washing mixer, agitator truck ,etc. Sludge water should be separated into solid and water, in order to dispose of wastes. Recently, effective utilization of natural resources and environment-friendly materials and environmental preservation have been promoting as a national policy. In order to achieving the policy, the most effective means is the completion of zero-emission from ready-mixed concrete plants. Industrial by-product should be reuse in the original situation and in the original shape, then it is expected leading to restraint of cost for disposal and transportation, in addition energy consumption and CO₂ emission.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	700,000	210,000	910,000
2008 年度	500,000	150,000	650,000
2009 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
総計	1,700,000	510,000	2,210,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学，土木材料・施工・建設マネジメント(5201)

キーワード：(C)コンクリート，ゼロエミッション，スラッジ水，練混ぜ水，実用化，インプラントリサイクル

1. 研究開始当初の背景

国土交通省は，平成14年5月に「建設リサイクル推進計画2002」を策定している．その背景として，建設産業は我が国の資源利用量の約40%を建設資材として消費する一方で最終処分量の30%程度を建設廃棄物として処分していること，さらに今後更新時期を迎える構造物による建設副産物の排出量が増大し，資源循環に占める建設産業の比率がより高くなると推定している．

既にこれまで建設リサイクルを推進する各種の施策が講じられ，平成12年度の実態調査によればセメントコンクリートに注目してみれば，コンクリート塊の再資源化率が95%とその成果を上げている一方で，コンクリート製造時および残コンおよび戻りコンの処理において発生するスラッジ水の利用については未だ低迷しているのが現状である．

図-1は，我が国のレディミクストコンクリートプラント（以下，生コン工場という）で，回収水いわゆるスラッジ水の利用が少ない都道府県を示している．なお，全国平均でも10.2%であり，前述のようにスラッジ水のリサイクル利用が非常に低いのが現状である．特に近畿圏での利用が非常に少ないことが特筆される．

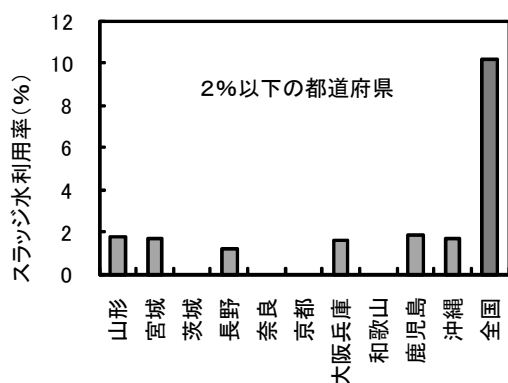


図-1 スラッジ水の利用の少ない都道府県

生コン工場は，現在4160工場あり，生コンスラッジの発生量は $45\text{m}^3/\text{工場}/\text{月}$ という報告もあり，単純計算でも $45\text{m}^3/\text{生コン工場}/\text{月} \times 4160\text{工場} = 225\text{万m}^3/\text{年}$ という膨大な量のスラッジが発生している．また，残コン・戻りコンの発生量は，出荷数量の約

0.9%にのぼるというアンケート結果もある．コンクリートの出荷量は年々暫減しているものの，大都市圏の生コン工場では特殊コンクリートなどの出荷が増え，また検査の厳格化などによりますます残コン・戻りコンの発生率は，上昇している．首都圏の工場によっては， $700\sim 800\text{m}^3/\text{月}$ の戻りコン量，あるいは出荷数量の2.5~3.0%に達している工場もあり，スラッジ水の増加が懸念されている．

「建設リサイクル推進計画」の理念は，① Reduce，② Re-use，③ Material recycle，④ Thermal recycle，⑤ Disposal である．スラッジ水は，未水和のセメント粒子，水和生成物，骨材および混和材微粒分からなっており，コンクリートの構成材料そのものであることから，スラッジ水を練混ぜ水として利用することは，①②③を同時に達成することになり，かつ新たなエネルギー投入も不要であることから非常に効率の良い方法であると考えられる．

現在，JISでは，上澄み水（スラッジ水の上澄み分）の利用は認められているが，スラッジ固形分の利用については新コンクリートにおける単位セメント量の3%未満という制限がある．この制限があつては現実の生コンプラントでゼロエミッションを達成することは困難である．さらに，実際の使用に当たっては使用者との協議事項となっていることから，利用促進へのブレーキとなっていることは否めない．

筆者らは，1997年より生コンスラッジ水の多量有効利用に取り組むことで，このJISの制限の緩和あるいは撤廃を目指して研究を継続してきている．これまで，スラッジ水の練混ぜ水への利用ならびに固形分の利用については，国の内外において相当数の研究が行われてきているが，スラッジ水の練混ぜ水への利用については，1つにはJISの制限が存在すること，2つにはJISの制限を超えるような利用についてはコンクリートの特性の低下が懸念されること，3つには以前は今日ほどリサイクルの推進が社会的にも強く求められていなかったことから，活発には行われて来なかったのが現状である．スラッジ水の利用による新コンクリートの特性の低下は，「スラッジ水の品質の管理」に原因があると考え，その原因を除去することを主

体に行ってきた。すなわち、スラッジ水の品質は、主にセメント粒子の水和によって起こることから、再使用までの期間において水和が進行しないようにした。それが凝結調整剤添加によるスラッジ水の安定化であった。

その結果、スラッジ水を練混ぜ水として利用した新コンクリートの特性は、固形分率9%までの範囲においては、スラッジ水を用いない基準コンクリートの特性と何ら遜色のないコンクリートを得ることが出来ることが明らかになった。なお、特性の種類によっては固形分率15%程度まで十分使用することも明らかにした。再掲になるが、本方法は、新たなエネルギー投入が不要であり、建設リサイクル推進理念の①②③を同時に解決することになり、もっとも安価で効率的にゼロエミッションを達成できる方法であると考えられる。それらの研究成果をもとに、実際の生コン工場でゼロエミッションを達成するための実用化の研究が必要である。

2. 研究の目的

本研究はスラッジ水を練混ぜ水として新コンクリートに利用して、環境保全と経済性等を考慮し、生コン工場の外部に一切出さずに自工場内で完全に再利用することを目的とし、そのため生コンスラッジへの凝結調整剤の添加を含めた、スラッジの品質の確保の方法の確立とスラッジ水を練混ぜ水として用いたコンクリートの性能の確保を図るものである。

これまでの研究では、凝結調整剤を添加することによって生コンスラッジ中のセメント分を未水和のセメントとしての有効性を得て、セメント使用量の低減や、凝結調整剤を使用することによる単位水量の低減効果とフレッシュコンクリートならびに硬化コンクリートの諸特性の改善をはかってきた。そしてその方法はスラッジ水中に未水和のセメント粒子が存在する場合には、特性の向上が期待されるが、現実の生コンプラントにおいて保有するスラッジ水は、スラッジ水としての材齢が若いものと相当程度の日数が経過したものなど、未水和のセメント粒子が必ずしも含まれているとは限らない。

体系的な実験計画を通して生コンスラッジの完全循環型使用が確立されると考えており、以下の項目について実験的に検討するものである。

- 1) 生コンスラッジ水を練混ぜ水に用いたコンクリートの配合設計
- 2) スラッジ水の練混ぜ水への利用実態の調査
- 3) スラッジ水の品質確保と技術力の向上
- 4) スラッジ水を練混ぜ水に用いたコンクリートの品質確保および新たな利用方法の開拓

3. 研究の方法

- 1) 生コンスラッジ水を練混ぜ水に用いたコンクリートの配合設計

生コンスラッジの多量有効利用を図るために現実のレディミクストコンクリートプラントでは、スラッジ水を練混ぜ水として用いたコンクリートであってもスランプおよび強度等の管理が容易に行えることが必要である。言い換えれば、スラッジを添加したコンクリートについて、スラッジを用いないコンクリートの目標スランプおよび目標強度等と同等のコンクリートを配合設計することが必要になることから、コンクリートの同一スランプ、同一空気量および材齢28日の同一圧縮強度を合理的に得るための配合設計方法を実験的に検証する。すなわち、実在する生コン工場で発生したスラッジ水を用いて、所要の特性、施工性が確保されることを確認する。

2) スラッジ水の練混ぜ水への利用実態の調査

近畿地区におけるスラッジ水の利用が少ないことから、和歌山県生コンクリート工業組合の協力を得てアンケート調査ならびに聞き取り調査を行う。

3) スラッジ水の品質確保と技術力の向上

県下の生コン技術者を対象にスラッジ水を練混ぜ水に用いたコンクリートの品質確保と技術力の確保に向けた講習会を開催し、実用化に向けた環境整備を行う。技術研究会として本研究の一部を実施し、技術と知識の教授をはかる。

4) スラッジ水を練混ぜ水に用いたコンクリートの品質確保および新たな利用方法の開拓

スラッジ水を練混ぜ水として用いたコンクリートのフレッシュコンクリートの特性および硬化コンクリートの特性を比較用コンクリートの特性と対比させて、特性の変化を検証する。さらに、銅スラグ骨材などその使用に当たって特性が低下するとされるものについて、スラッジ水を用いることで特性の改善が図れないか検討する。スラッジ水を練混ぜ水として用いたコンクリートの特性が良好であることが広く認知され、またこれまで特性が低下することから利用されなかった銅スラグ骨材コンクリートの特性が改善されれば、スラッジ水の利用に対する理解と期待が高まるものと考えられる。

4. 研究成果

スラッジ水の材齢が定かでないスラッジ

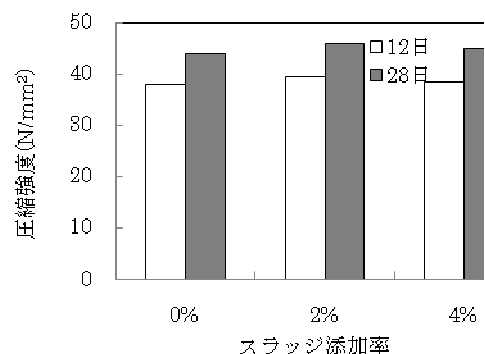


図-2 スラッジ混入コンクリートの圧縮強度

水を練混ぜ水として利用する場合であっても、またスラッジ固形分率が異なってもプラスチックでワーカブルなコンクリートが得られたことから、品質管理されたスラッジ水を練混ぜ水に用いることは、打設・締固めなど施工性の面からもフレッシュコンクリートの特性に悪影響を与えないことが明らかになった。また、目標スランプ値および目標空気量など所定の特性を有するコンクリートを配合設計することが可能であることも確認された。図-2は、24-8-20Nの配合について、スラッジ固形分率を0, 2および4%となるようにスラッジ水を練混ぜ水として用いたコンクリートの圧縮強度試験結果である。なお、ここでは配合設計方法としては単位粗骨材容積法を取り上げたが他の設計方法についても同様の結果が得られるものと考えている。

和歌山県域の生コンプラントで発生するスラッジの利用実態を調査した結果、スラッジ水の練混ぜ水への利用に関する関心は高く、問題がなければ使用したいと考えている工場は多いものの、実際にスラッジ水を練混ぜ水として利用している工場は皆無であった。理由として、図-3に示すように、近年の生コンクリートの使用量の減少により生産量の落ち込みが著しく新たな設備投資が経営的に負担となること、また和歌山県域では特殊コンクリート等の比率が小さく、スラッジの発生量が少ないことから、スラッジケーキ化して最終処分することに対するメリットが少ないことがあげられる。さらに、和歌山県産の骨材（和泉砂岩）を用いたコンクリートの乾燥収縮ひずみが大きいことが問題となる中、スラッジ水の利用は発注者の理解が得られにくいという背景もあるものと考えられる。

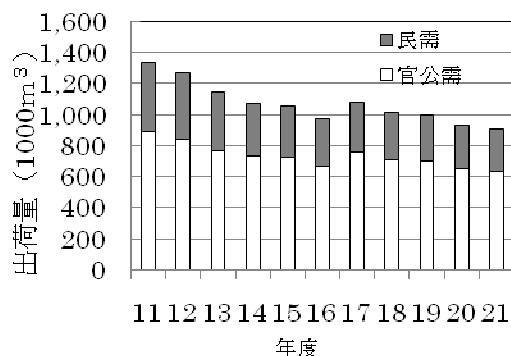


図-3 和歌山県内の生コン出荷量

スラッジ水中の固形分のケーキ化と運搬、最終処分場への投棄は、最終処分場の逼迫とともに環境負荷の低減という観点から可能な限り小さなサイクルでの再利用が有効であることから、その有効性と技術力の向上ならびに定着を目的として、和歌山市内の生コン工場から発生したスラッジ水を練混ぜ水に用いたコンクリートの特性に関する技術講習会を開催するとともに、固形分率4%まで

のコンクリートの特性を実験的に検証した。

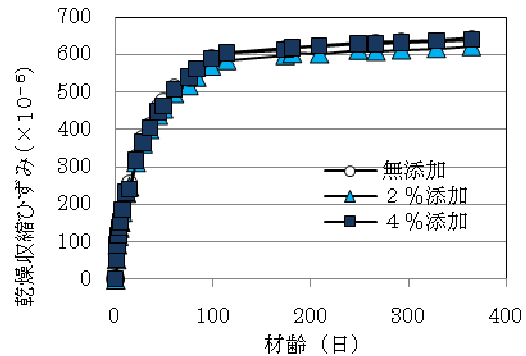


図-4 材齢経過に伴う乾燥収縮ひずみの変化

その結果、フレッシュコンクリートおよび硬化コンクリートともに特性の低下は認められず、有効に利用できることが明らかになった。図-4には乾燥収縮ひずみに関する結果を示しているが、固形分率4%までであれば比較用のコンクリートと差異は認められない。県内生コン工場に勤務するコンクリート技術者に対する新たな情報提供の場となったこと、さらにスラッジ水の有効利用への関心を高め、取り組みを促す結果となったことは大きな成果である。

図-5は、異なる粗骨材を用いた場合のスラッジ固形分率3%を添加したコンクリートの乾燥収縮ひずみに関する結果である。スラッジ水を練り混ぜ水として用いて、3%の固形分を添加しても乾燥収縮ひずみに悪影響はないことが明らかである。また、スラッジ水を用いた場合であっても収縮低減剤を用いることで乾燥収縮ひずみを 100×10^{-6} 程度低減することが可能であることもあきらかとなった。

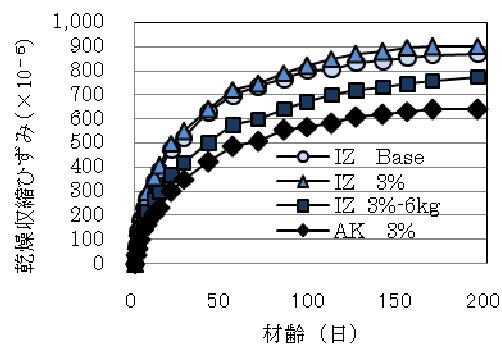


図-5 スラッジ水混入コンクリートの乾燥収縮ひずみ

銅スラグ骨材は、銅を精錬する際に副産されるスラグであり年間約250万tに及んでいる。海砂や川砂と比較して密度が大きくガラス質で、吸水率が小さいことが特徴である。銅スラグ骨材をコンクリート用細骨材として利用した場合、その置換率が大きい場合、コンクリートのブリーディング率が大きくなる傾向があることや、凝結時間が遅延する傾向があること等が報告されている。ブリーディングの抑制には微粒分の多いスラグ細骨材やフライアッシュが使用されているものの、フライアッシュの利用については、凝

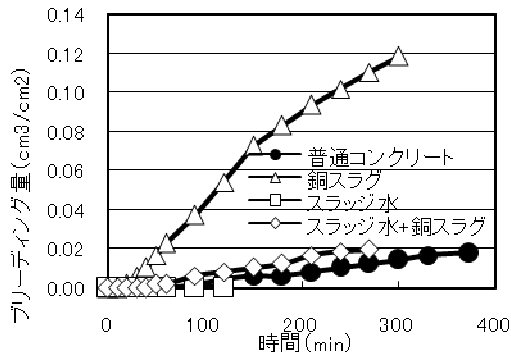


図-6 ブリーディング試験結果

結時間がさらに遅延する可能性も考えられる。そこで本研究では、銅スラグ骨材を用いたコンクリートの特性改善を図るため、スラッジ水を利用した。その結果、スランプ特性や圧縮強度特性はほとんど変化が見られなかったが、銅スラグ骨材を用いたコンクリートの欠点であるブリーディング特性などフレッシュコンクリートの特性の改善が図れ、同骨材の有効利用に寄与できることが明らかになったことから、副産物を組み合わせることによってさらなる有効利用が期待出来る可能性のあることが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- 1) 三岩敬孝, 中本純次, 横井克則, 天羽和夫:銅スラグ骨材およびスラッジ水を使用したコンクリートに関する基礎研究, コンクリート工学年次論文集, 有, Vol.31, No.1, pp.151-156, 2009.7
- 2) 上田清, 田村健一, 芝隆夫, 鶴巻誠, 中本純次:低品位骨材を使用したコンクリートの乾燥収縮低減への試み, 生コン技術大会 研究発表論文集, 有, pp.211-216, 2009.4
- 3) 中本純次, 三岩敬孝:安定化したスラッジ水を用いた貧配合コンクリートの諸特性, 材料, 有, Vol.56, No.8, pp.718-723, 2007.8

[学会発表] (計7件)

- 1) 三岩敬孝, 中本純次, 横井克則, 天羽和夫: 転炉スラグ骨材を使用したモルタルおよびコンクリートの長さ変化について, 土木学会関西支部年次学術講演会, CD-ROM, 2009.5.23
- 2) 三岩敬孝, 横井克則, 天羽和夫: 銅スラグ骨材およびスラッジ水を使用したコンクリートに関する研究, 土木学会年次学術講演会講演概要集, pp.725-726, 2009.9
- 3) 三岩敬孝, 横井克則, 中本純次, 西村良平: 銅スラグ骨材およびスラッジ水を使用したコンクリートに関する基礎研究, 土木学会関西支部年次学術講演会, CD-ROM, 2009.5
- 4) 佐藤和久, 西川和政, 三岩敬孝: 銅スラグ骨材および生コンスラッジを使用したコンクリートに関する研究, 高専シン

ポジウム講演要旨集, p.174, 2009.1

- 5) 三岩敬孝, 横井克則, 天羽和夫: 各種刺激材により硬化したスラグ石膏ポーラスコンクリートについて; 土木学会年次学術講演会講演概要集, pp.835-836, 2008.9
- 6) 三岩敬孝, 横井克則, 天羽和夫, 中本純次: 各種刺激材により硬化したノンセメントポーラスコンクリートについて, 土木学会関西支部年次学術講演会, CD-ROM, 2008.5
- 7) 西山善幸, 三岩敬孝, 天羽和夫, 横井克則: 生コンスラッジを刺激材としたスラグ石膏コンクリートについて, 土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集, pp.350-351, 2007.5

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中本 純次 (NAKAMOTO JUNJI)

和歌山工業高等専門学校・環境都市工学科・教授

研究者番号: 70043552

(2) 研究分担者

三岩 敬孝 (MITSUIWA YOSHITAKA)

舞鶴工業高等専門学校・建設システム工学科・准教授

研究者番号: 40274253

(3) 連携研究者

なし