

論文 コンクリートスラッジの活性度に及ぼす各種要因の影響

沼尾達弥*¹・福澤公夫*²・大野真希*³

要旨：コンクリートスラッジの有効利用のための基礎的データを得ることを目的として、コンクリートスラッジの物性変化を活性度指数を指標として調べた。本報告では、かくはん貯蔵時間、混和材の種類、かくはん貯蔵時間の異なるスラッジの混合を影響要因として取り上げた。その結果、かくはん貯蔵初期では硬化性能を十分保持していること、また、発生時間の異なるスラッジが混合される場合でも、その性質を推定できる可能性があること、高炉スラグが含まれる場合にはかくはん貯蔵による活性度指数の低下が抑えられることが示された。

キーワード：コンクリートスラッジ、活性度指数、かくはん貯蔵時間、混和材

1. はじめに

レディーミクストコンクリート（以下生コンと記す）工場のプラントミキサやトラックアジテータの洗浄などによって発生する生コン残滓（コンクリートスラッジ：以下スラッジと記す）の一部は、スラッジ水として再びコンクリートに練り混ぜられて使用されている。しかし、再利用されず廃棄されるスラッジも多く、そのほとんどが自然乾燥または脱水ケーキ化された後、多額の処理費を伴って管理型の産業廃棄物として埋立て処分されるか、プラント内外で適宜処理されているのが実状である。スラッジの廃棄による環境への影響や、廃棄場確保及び莫大な処理費用の問題の解決が重要な課題となっている。そのため、現在、スラッジの再利用に関する様々な試みが行われ始めている[1, 2, 3, 4]。しかし、実際に発生するスラッジは、各工場や発生する時期によりその性質がばらつき、安定した性質のスラッジを得ることが困難であることが再利用を妨げている原因の一つと考えられる。スラッジの再利用のためには、スラッジそのものの性質や、ばらつきの原因を知る必要があるが、この種の研究が極めて少ないのが現状である。

既報[5]では、スラッジの性質に及ぼす影響要因を大まかに把握するため、練り混ぜ時間、かくはん貯蔵時間と水温、砂微粒分の混入の有無の影響について調べた。本報告では、影響の大きかったかくはん貯蔵時間の水準を増やすとともに、スラグ微粉末やシリカヒュームの混入、かくはん貯蔵時間の異なるスラッジが混合される場合の影響について報告する。

尚、著者らの研究においては、スラッジの再利用のための基礎的データを得ることを目的に、スラッジの性質の変化に及ぼす各種要因の影響を、活性度指数[6]を指標として調べることにした。

2. 実験方法

2. 1 実験概要

コンクリートの洗い排水から骨材等を取り除いた後のペースト分のみの貯蔵槽を模擬して、図1に示す様なかくはん装置を作製し実験に使用した。尚、既報[5]の研究では、かくはん羽と底

* 1 茨城大学助教授 都市システム工学科、工博（正会員）

* 2 茨城大学教授 都市システム工学科、工博（正会員）

* 3 日本舗道（株）

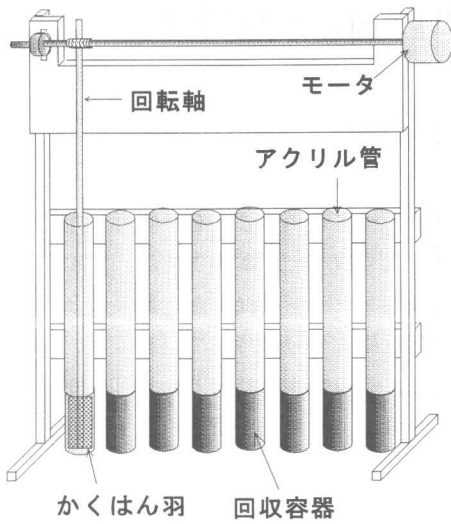


図1 かくはん貯蔵装置の概要

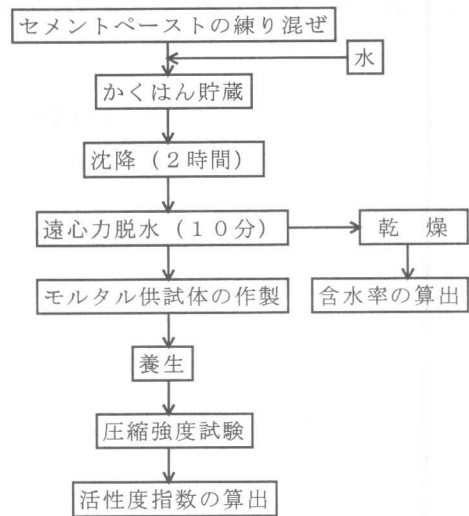


図2 実験手順

表1 モルタル供試体の調合 (g)

	セメント	スラッジ	骨材	水
基準モルタル	500	—	1000	250
スラッジモルタル	250	250	1000	250

板の間にスラッジの沈殿が一部に生じてしまったため、本実験では羽形状の改良を行った。このかくはん貯蔵槽に、所定の調合のペースト及びそのペースト容積の約10倍の水を加え貯蔵槽に投入し、かくはんを行った。かくはん貯蔵を所定の時間行った後、上澄み水とスラッジの分離が目視で確認できる程度まで静置(約2時間)した。その後上澄み水を捨て、沈降したスラッジを回収した。回収したスラッジの含水率を調整するため、市販の脱水槽により10分間遠心力脱水を行いスラッジケーキとした。更に、スラッジケーキの一部をパーナー等により加熱した鉄板上で約10分間加熱による乾燥を行い、脱水後のスラッジケーキの含水率の測定を行った。

次に、JIS A 6206 付属書『高炉スラッジ微粉末のモルタルによる活性度指数及びフロー値比の試験方法』[6]の規定に準拠して、基準モルタル、およびセメント量の半分をスラッジの固形分(含水率により補正)で置換したスラッジモルタル供試体(φ5×10cm)を作製して、所定の養生後に圧縮強度試験を行った。この結果を用いて活性度指数を算出した。以上の実験手順の概略を図2に示す。

尚、実験は、20℃、60%RHの恒温恒湿室内で行った。また、モルタル供試体の養生は、養生期間7日のものは40℃の温水養生、28日のものは20℃の水中養生により行った。

2.2 使用材料および調合

実験に使用したセメントは普通ポルトランドセメント、細骨材として鬼怒川産砂を2.5mm ふるいに通過したものを使用した。混和材として高炉スラッジ微粉末(比重:2.92,比表面積:4,050cm²/g)、シリカヒューム(比重:2.20,比表面積:200,000cm²/g)を使用し、セメントの20%(質量

比)を置換した。また、表1には、回収したスラッジの活性度指数を求めるための基準モルタル、及びスラッジモルタルの調合を示している。

尚、実験のし易さから、前記付属書の規定と異なる方法を一部採用した。即ち、モルタルの調合を、水：セメント：砂＝1：2：4（質量比）に、細骨材はけい砂と豊浦標準砂の混合とはせづ川砂のみを使用した。また、圧縮強度は供試体3体の平均として求めた。

2.3 活性度指数算出方法

本研究では、かくはん貯蔵後のスラッジの性質を検討するために、前記付属書を基に、以下の様に、基準モルタルとスラッジモルタルの圧縮強度の比から求められる活性度指数を用いて評価を行った。即ち、活性度指数は次の式によって算出した。

$$A_s = (C_2 / C_1) \times 100 \quad (1)$$

ここで、 A_s :活性度指数(%)、 C_1 :基準モルタル供試体の圧縮強度(N/mm²)、 C_2 :スラッジモルタル供試体の圧縮強度(N/mm²)

2.4 要因と水準

本研究では、以下に示すように全体で3種類の実験を行った。表2に、各実験で取り上げた要因と水準を示す。

表2 要因と水準

実験No.	要因	水準	単位
1	供試体養生期間	7 (40℃水中), 28 (20℃水中)	日
	かくはん貯蔵時間	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 18, 24, 72	時間
2	水セメント比	40 60	%
	供試体養生期間	7 (40℃水中), 28 (20℃水中)	日
	かくはん貯蔵時間	0, 1, 3, 1+0, 3+0, 3+1	日
3	混和材の種類	高炉スラッジ微粉末, シリカヒューム	—

実験1：かくはん貯蔵時間の影響

既報[5]の実験では、かくはん貯蔵時間が1日前後で急激に活性度指数が減少する傾向を示した。本実験では、1日までの水準を増やし、かくはん貯蔵時間の影響を調べた。尚、かくはん時間0時間とは、貯蔵水槽にペーストおよびその容積の10倍の水を加えた後、直ちに沈降させ回収したものである。

実験2：かくはん貯蔵時間の異なるスラッジの混合による影響

実際の生コン工場におけるスラッジ処理の過程においては、通常発生時間の異なるスラッジが混合されて貯蔵される。この実験では、処理時間の異なるスラッジが混合した場合を想定して、かくはん貯蔵時間の異なるスラッジの混合による影響を、1日または3日間かくはん貯蔵を行っている貯蔵槽に、新たにペーストを加えスラッジとした場合（各々1+0日または3+0日と記す）、及び2日間かくはん貯蔵を行っている貯蔵槽に、新たにペーストを加えた後に、1日間かくはん貯蔵を行いスラッジとした場合（3+1日と記す）について調べた。尚、予めかくはん貯蔵を行っているペーストと、新たに追加したペーストとは同容積とした。

実験3：混和材の影響

本実験では、洗い処理されるコンクリートに混和材が用いられている場合の影響を調べるために、高炉スラグ微粉末、及びシリカヒュームをセメントの内割りで添加したペーストにより、実験1と同様にかくはん貯蔵時間を変えて実験を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 実験1：かくはん貯蔵時間の影響

図3に、かくはん貯蔵時間と活性度指数との関係を示した。この図から、6時間のかくはん貯蔵までは、活性度指数が100%以上の値を示しており、スラッジモルタルは、基準モルタルと同等かそれ以上の圧縮強度を有していることが分かる。この結果は、かくはん貯蔵6時間程度までであれば、セメントの水和はあまり進まず、セメント粒子のほとんどが硬化性能を十分保持していることを示している。また、水中でのかくはんによりセメント粒子が十分な水と混ざること、粒子表面に水和に要する水が十分に保たれること、及び遠心力脱水により粒子中の余分な水が除去されることにより、モルタル供試体中での水和の進行と組織の緻密化が促進されることによるものと考えられる。

また、かくはん貯蔵6時間以上になると活性度指数の減少が見られ、水中かくはんが長くなることによりセメント粒子の水和が進み、未水和部分が減少し硬化性能が低下することが示されている。尚、詳細な検討の為には、今後水和速度や凝結時間との関係の議論が必要と思われる。

更に、7日間40℃温水養生した場合では、28日標準養生を行った供試体に比べ圧縮強度は80%程度であったが、図3に示されているように、活性度指数の変化過程における両者の結果はほぼ同じ傾向を示すことから、既報[5]の結果と同様に、7日間40℃温水養生した供試体のみでも十分にその傾向を把握することができることが示された。

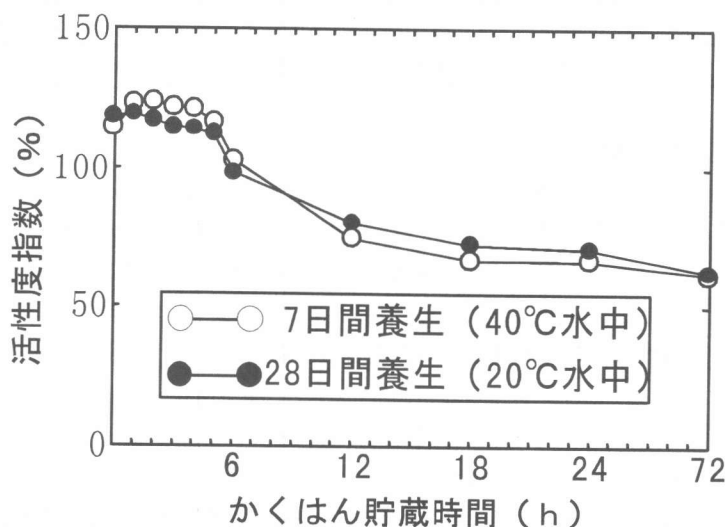


図3 かくはん貯蔵時間と活性度指数の関係

3. 2 実験2：かくはん貯蔵時間の異なるスラッジの混合による影響

本実験では、かくはん貯蔵中に新たにセメントペーストを追加して、かくはん時間の異なるスラッジの混合による活性度指数への影響を調べた。図4にはその結果として、ペーストの水セメント比が40%と60%について示している。また、この図には、比較のために混合を行わない場合の値を各結果の脇に付け加えて図示した。尚、この実験では、水セメント比40%の場合は、新たに実験を行い、水セメント比60%については実験1の結果の一部を用いた。

この結果から、水セメント比が40%の場合は、混合を行わないものの活性度指数のほぼ平均値を示しており、混合を行わないものの平均として取り扱えることを示している。しかし、水セメント比が60%の場合は、1日かくはん貯蔵を行ったものに新たにペーストと水を加えてスラッジとした場合(1+0日)以外は、その平均値よりも小さな値を示した。水セメント比によるこの傾向の差の原因については不明であるが、より多くの実験結果を得ることにより、発生時間の異なるスラッジが混合される場合においても、かくはん貯蔵時間が分かれば、その性質を推定できる可能性があることが示されている。

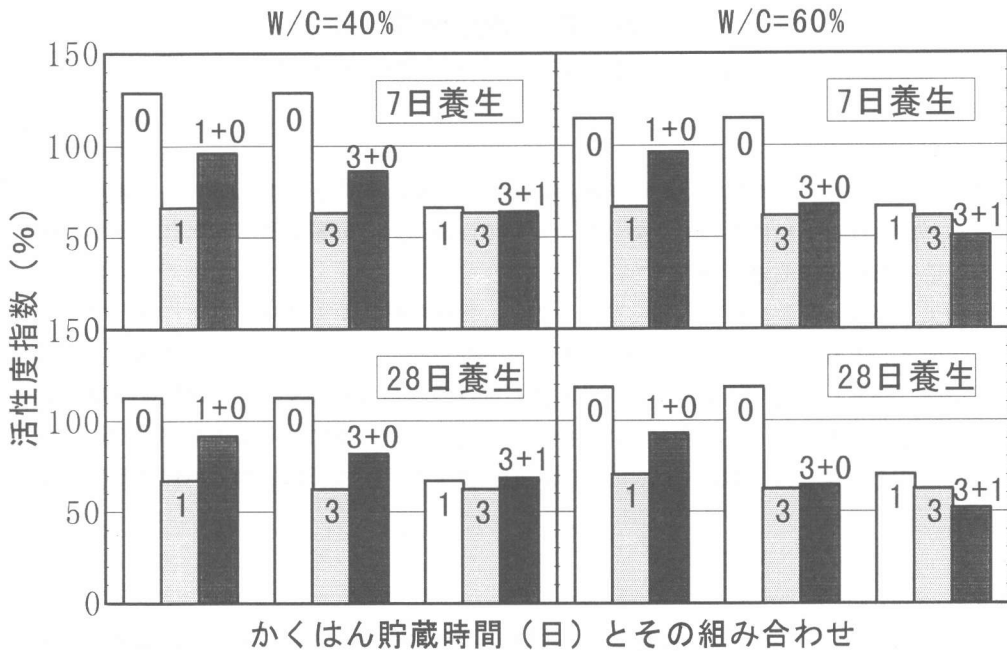


図4 かくはん貯蔵時間の異なるスラッジの混合の影響

3. 3 実験3：混和材の添加による影響

実験3の結果として、図5に、シリカフェーム及び高炉スラグ微粉末を添加した場合の、かくはん貯蔵時間による活性度指数の変化について示している。この図から、高炉スラグ微粉末を添加した場合は、かくはん貯蔵0時間の活性度指数は、普通ポルトランドセメントのみを使用したものに比べ高く、その為に、かくはん貯蔵時間の経過に伴う減少も少ない傾向を示している。これは、高炉スラグが予め含まれているスラッジについても、高炉スラグを添加したスラッジペーストの強度発現は非常に良好であるとの報告[7]と同様な傾向を示している。

一方、シリカヒュームを添加した場合については、無添加に比べかくはん貯蔵時間の経過に伴う活性度指数の減少が大きくなる傾向を示した。

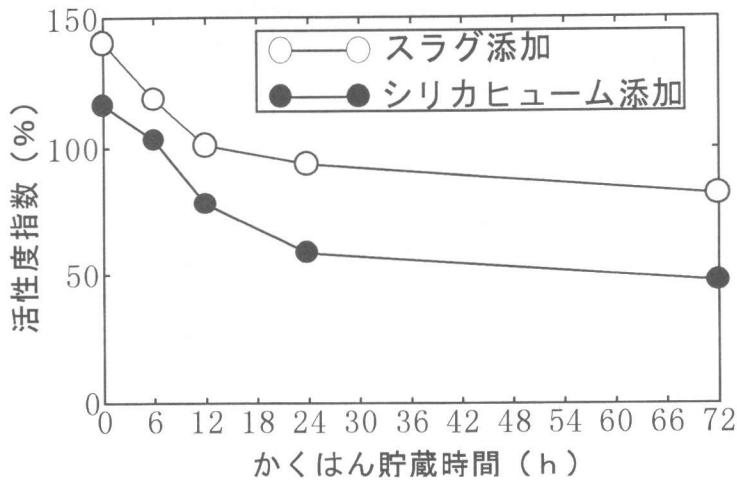


図5 混和材添加による活性度指数への影響

4. まとめ

本研究は、コンクリートスラッジの再利用のための基礎的研究として、生コン工場において洗い排水が処理される過程において、発生スラッジの性質に対し影響を及ぼすと考えられる要因の幾つかを取り上げ実験的検討を行った。

その結果、約6時間程度のかくはん貯蔵までは、活性度指数が100%以上の値を示し、スラッジ中のセメント粒子のほとんどが硬化性能を十分保持していること、また、発生時間の異なるスラッジが混合される場合においても、かくはん貯蔵時間が分かれば、その性質を推定できる可能性があること、更に、コンクリートに用いられる混和材の種類によってスラッジの性質も異なり、高炉スラグが含まれる場合には、かくはん貯蔵による活性度指数の低下が抑えられることが示された。

参考文献

- [1]セメント協会 コンクリート委員会：「レディミクストコンクリート工場の回収水を用いたコンクリートの共同試験報告Ⅰ～Ⅲ」File. 25-27, Oct. 1973-Sept. 1975
- [2]棚原正己ほか：生コンスラッジ再利用について、月刊生コンクリート Vol. 11, No. 1, pp29-33, Jan. 1992
- [3]武田吉紹ほか：乾燥スラッジを混入したコンクリートの特性に関する研究、第48回セメント技術大会講演集, pp. 470-475, 1994
- [4]関口賢二ほか：生コンスラッジの有効利用に関する研究、月刊生コンクリートVol. 11, No. 9, pp. 7-15, Sep. 1992
- [5]沼尾達弥、福沢公夫：コンクリートスラッジの活性度に関する基礎的研究、第50回セメント技術大会講演要旨, pp. 412-413, 1996. 5
- [6]日本規格協会：JIS A 6206 コンクリート用高炉スラグ微粉末, pp. 5-6, 1995
- [7]畑中重光ほか：生コンスラッジの強度発現性状に及ぼす混和材の影響、セメント・コンクリート論文集 No. 49, pp. 312-317, 1995