

土質改良材としてのコンクリートスラッジの 利用可能性について

友久誠司* 鍋島康之* 内藤永秀** 池藤八起***

Possibility of Effective Use of Concrete Sludge as Additive

Seishi TOMOHISA, Yasuyuki NABESHIMA, Nagahide NAITO and Yaoki IKEFUJI

ABSTRACT

In recent years, the generation of concrete sludge from construction sites and freshly mixed concrete plants has been increasing. Therefore, it is very important to utilize concrete sludge from the view point of building up the society with an environmentally-sound material cycle. The purpose of this study is to clarify the possibility of the concrete sludge as soil improvement materials. As a result, it is found that the strength of the muddy soil mixed with the concrete sludge has been increasing during aging period because the water content of the muddy soil decreases by absorption of the concrete sludge. The greater the mixing rate of concrete sludge, the lower water content and the higher the unconfined compression strength of the treated soils. However, the concrete sludge did not have much effect on the strength appearance of treated soil.

KEY WORDS: Muddy soil, Concrete sludge, Soil improvement, Unconfined compression test

1. 緒論

現在の日本は、各種の産業において世界を牽引する技術大国として定着している。これは昭和 30 年代からの高度経済成長期時代の急激な技術の進歩によるもので、社会基盤施設の整備や国内総生産の増加などに大きく貢献した。それ以降に建設された社会資本ストック、すなわち、各種の構造物も建設から約 50 年が経ち、次々と更新期を迎え、今後は構造物が解体される際に排出される廃棄物の急増が予想される。

廃棄物の減量化においては各種製品の高度化、大量生産に伴う廃棄物の膨大化、多種多様化の問題が生じている。これら廃棄物の処理には多くの費用や手間がかかり、最終処分場の不足や不法投棄といった早急に解決すべき数々の課題が顕在化している。一方、今日においては、あらゆる分野において持続可能な循環

型社会への転換が望まれているため、廃棄物の排出量を抑制し再利用を推進して環境負荷を軽減させる必要がある。

建設の分野で言えば、各種の工事からも毎年多量の廃棄物が排出されている。図-1 は平成 18 年度の環境省による調査結果¹⁾である。これによると、全国の産業廃棄物総排出量の約 4 億 7053.3 万 t のうち、建設に関わる廃棄物の量は約 7753.5 万 t を占めており、全体の第 3 位となっている。

また、種類別の同調査によると、汚泥が約 1 億 8537.2 万 t 排出されており、全体の 44.3% で最も高い割合となっている。ここで汚泥とは、低強度で建設材料としての利用が困難なもので、廃棄物の処理と清掃に関する法律（以後、廃棄物処理法と呼ぶ）によると廃棄物として最終処分場に投棄されるものである。

*都市システム工学科、**技術教育支援センター、***専攻科(建築・都市システム工学専攻)

また、建設現場からは、工事現場の見込み発注などの理由により残コンクリート・戻りコンクリート（以後、残コン・戻りコンと呼ぶ）が多く発生している。さらに、生コン工場のミキサー設備やコンクリート運搬車の清掃・故障時に発生するコンクリートも少なくなく、これらを含めた余剰コンクリートの発生が問題

となっている（図-2、図-3）。

平成17年度の国土交通省の調査²⁾によると残コン・戻りコンの処理法は、建設会社では「プラントへ返却」、「産業廃棄物として処分」との回答が挙げられ有効利用しているケースはわずかであった。それらの建設会社の多くは、残コン・戻りコンの発生抑制の必要性を

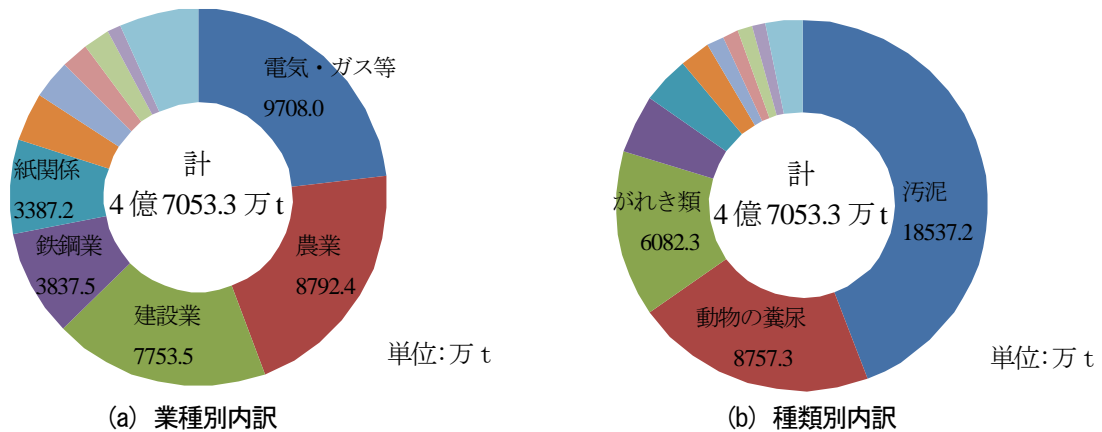


図-1 産業廃棄物排出量（平成18年度）¹⁾

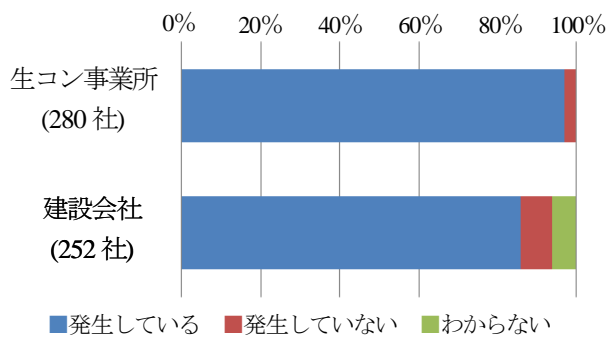


図-2 余剰コンクリートの発生状況²⁾

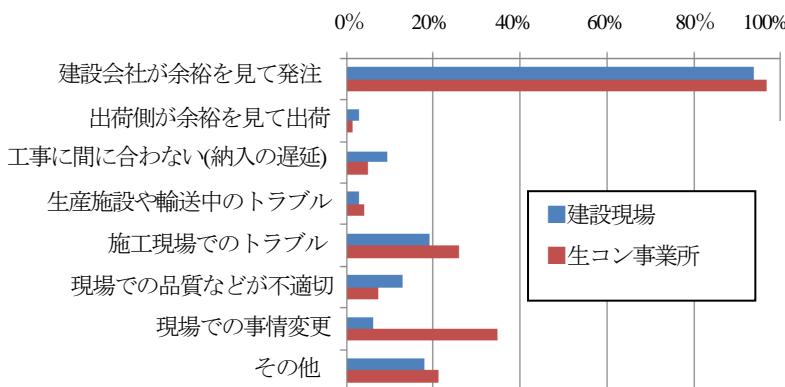


図-3 余剰コンクリートの発生要因調査²⁾

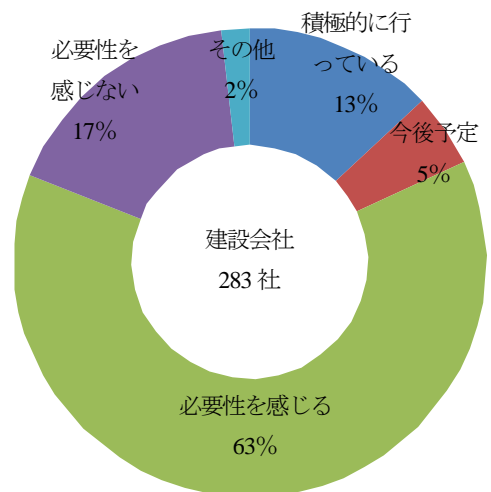


図-4 有効利用に対する意識調査²⁾

認識し、有効利用への取組みの必要性も認識していたが、発生抑制や有効利用について具体策を考えていた建設会社は一握りに留まっている(図-4)。

2. 研究目的

本研究は、高含水比で低強度の建設汚泥を再資源化し、有効に利用することを目的としており、建設汚泥の強度特性を改善するために同じ産業廃棄物であるコンクリートスラッジを改良材として添加する。そして、用いるコンクリートスラッジの地盤改良材の有効性について検討するものである。本研究で定義しているコンクリートスラッジとは、余剰コンクリートから骨材を取り除き、乾燥させたものである。

改良土は第4種処理土としての利用を考えており、目標強度としては $q_c=200 \text{ kN/m}^2$ ($q_u=50 \text{ kN/m}^2$)を設定している。また、X線回折装置や走査型電子顕微鏡を用いて反応生成物などの同定を行い、改良土の強度発現

メカニズムを追究する。これらの建設汚泥とコンクリートスラッジはいずれも産業廃棄物であり、改良土としての再利用が可能となれば、最終処分量を減少することになり、大変有意義である。

3. 実験方法

3・1 試料

3・1・1 建設汚泥

本実験に用いた試料は、兵庫県明石市の区画整理現場から発生した建設汚泥であり、含水比47.1%、一軸圧縮強度 12.8 kN/m^2 と高含水比・低強度のため、そのままでは建設材料としての利用が困難である。この建設汚泥の基本的性質を表-1に、粒度分布を図-5に示す。

図-6は建設汚泥のX線回折分析の結果である。図中○印で示している回折ピーク(回折角 21° 、 27° など)より石英の存在が、また回折角 $28^\circ \sim 29^\circ$ の回折ピークより長石類の含有が確認できる。一方、低回折角では粘土鉱物として、カオリナイト系(7 \AA)・ハロイサイト系(10 \AA)・モンモリロナイト系(15 \AA)の回折ピークが確認でき、今回用いた建設汚泥は一次鉱物である石英、長石類と二次鉱物である粘土が共存していることがわかる。

表-1 建設汚泥の基本的性質

含水比(%)	47.1
土粒子の密度(g/cm^3)	2.52
液性限界(%)	57.0
塑性限界(%)	28.7
一軸圧縮強度(kN/m^2)	12.8

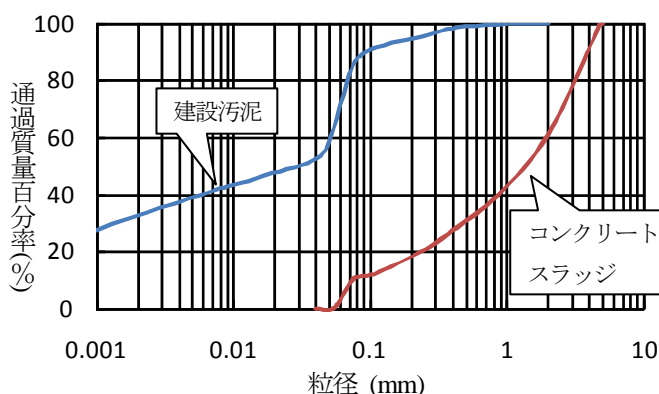


図-5 試料の粒度分布

表-2 コンクリートスラッジの基本的性質

最大粒径(mm)	5.0
含水比(%)	29.3
密度(g/cm^3)	1.839
吸水率(%)	55.4

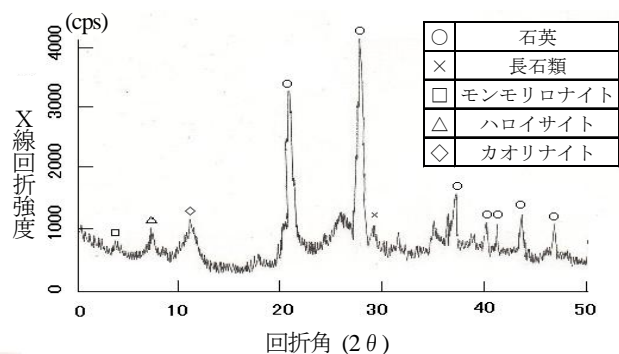


図-6 建設汚泥のX線回折結果

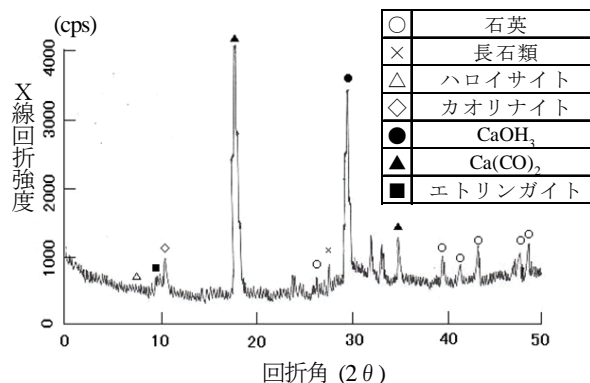


図-7 コンクリートスラッジのX線回折結果

3・1・2 コンクリートスラッジ

コンクリートスラッジは、余剰コンクリートから粗・細骨材を取り除き脱水したもので、強アルカリ性を示す残渣である。これは廃棄物処理法では汚泥に分類され、凝結遅延剤や減水剤などの薬品を含有しているため取り扱いが困難で、多くの企業は多額の費用をかけて管理型処分場で埋立処理している。コンクリートスラッジの排出量は年間 300 万 m³程度³⁾であると推定されており、処分場の残余容量をひっ迫する原因の一つである。

今回使用したコンクリートスラッジは生コン工場の処理プラントから発生したものであり、基本的性質を表-2、図-5に示す。最大粒径は5 mmに調整しており、55.4%と高い吸水率が大きな特徴である。図-7より回折角 21°、27°、28°～29°、35°における回折ピークが存在により、石英や長石類が含有されていることが確認出来る。カオリナイト系(7 Å)やハロイサイト系(10 Å)などの粘土鉱物も含まれており、これらはコンクリートの骨材として混入されたものである。セメント系の成分としてはセメントの主成分である C₂S、C₃S の副産物である Ca(OH)₂(回折角 34.1°、18.0°)及び、その炭酸化した CaCO₃(回折角 29.5°)が存在する。

3・2 供試体作成

本実験に用いる供試体は次の手順で作成する。

- ① 建設汚泥の含水比を 47 %、52 %、57 %の3段階に調整する。
- ② 所定の配合(表-3)となるように建設汚泥とコンクリートスラッジを計量、混合する。
- ③ 内径 5 cm・高さ 10 cm の円柱形モールドで、JGS 0821「安定処理土の締固めをしない供試体作製方法」に準拠し、改良土を3層に分けていれ、空隙のないように成形を行う。

表-3 配合パターン

	建設汚泥の含水比(%)	コンクリートスラッジ添加率(%)
case1-1	47	10
case1-2		15
case2-1	52	10
case2-2		15
case3-1	57	10
case3-2		15

3・3 養生

供試体は脱型後、樹脂フィルムにて密閉し、恒温恒湿室(温度 20 °C、湿度 95 %)で所定の期間(5 日、14 日間)養生を行う。

3・4 一軸圧縮試験

脱型直後および所定の期間養生した供試体は、寸法、質量をノギス、電子ばかりにて測定し、JIS A 1216 に準じて、一軸圧縮試験(容量 100 kN)を行う。

3・5 反応生成物などの同定

反応生成物などの同定を行う調査対象は建設汚泥、コンクリートスラッジ、改良土であり、X線回折装置は(株)理学電機の RAD-IIA を用い、走査型電子顕微鏡は(株)日立製作所の S-570 を用いた。

4. 結果と考察

4・1 強度と養生日数

図-8に示す結果は表-3の配合パターンにより一軸圧縮試験を行ったものであり、改良土の養生に伴う強度変化を示している。

全ての配合において養生日数の経過に伴い、一軸圧縮強度が増加していることがわかる。そして、無添加の建設汚泥のみの強度は 13 kN/m²に対して、コンクリートスラッジ添加直後(養生 0 日)の改良土の強度は 17 kN/m²～40 kN/m²となり、4～27 kN/m²の強度の増加が見られる。その後、14 日養生後には、最低で 26 kN/m²、最大で 79 kN/m²となっている。そして、改良土の強度は、建設汚泥の含水比が 47 %、52 %、57 %の前者ほど、また同じ含水比でもコンクリートスラッジ添加率の多い 15 %改良土が大きくなっている。

表-4は、コンクリートスラッジの添加率別の改良土の養生前期(養生 0 日～5 日)と養生後期(養生 5 日～14 日)に2分した1日当たりの強度増加量を示してい

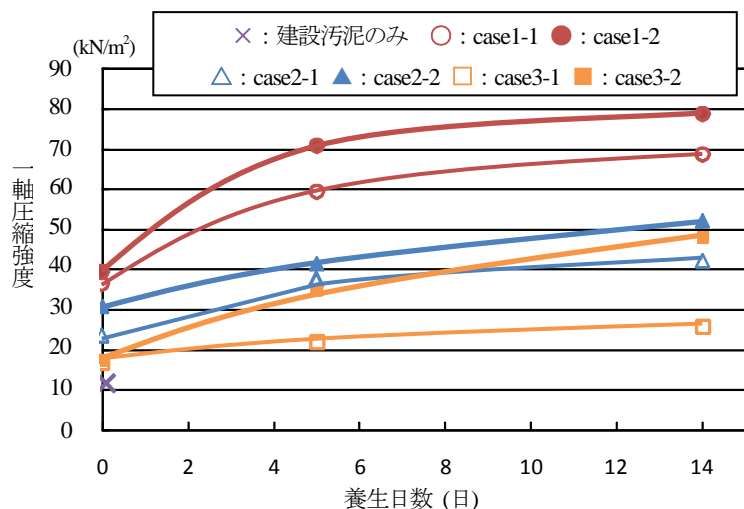


図-8 養生日数と一軸圧縮強度の関係

る。養生後期に比べて、養生前期の強度増加の大きいことが顕著に表れている。

これらの結果より、①コンクリートスラッジ添加率が高いほど、②養生期間が短いほど、③建設汚泥の含水比が低いほど、改良土の強度増加が大きいと言える。

今回の改良土の目標強度である 50 kN/m²(第4種処理土)については、コンクリートスラッジ添加直後は達成しないが、case1-1、case1-2においては5日間の養生後に、また、case2-2においては養生を14日間行うことによって達成することが可能となった。

4・2 強度と含水比

図-9は改良土中のコンクリートスラッジを取り除き、建設汚泥のみの含水比を測定し、養生日数との関係をグラフ化したものである。この試験においては、添加前の含水比が47%の建設汚泥に、コンクリートスラッジの粒径を2mm以上に調整し添加した。また、供試体は養生前期と養生後期がそれぞれ同じものである。

いずれの供試体の建設汚泥も養生日数の経過に従い、含水比は低下している。その低下量は改良土の混合直後が大きく、養生の経過とともに少なくなっている。

表-4 養生1日当たりの強度増加量 (kN/m²/日)

建設汚泥の含水比 (%)	コンクリートスラッジ添加率10%		コンクリートスラッジ添加率15%	
	養生前期 (0日-5日)	養生後期 (5日-14日)	養生前期 (0日-5日)	養生後期 (5日-14日)
47	4.8	1.0	6.3	0.9
52	3.0	0.4	2.1	1.2
57	1.0	0.4	3.5	1.5

その量的変化は一軸圧縮強度増加と同様の傾向である。したがって改良土中のコンクリートスラッジの吸水による、養生日数の経過に伴う建設汚泥の含水比の減少が強度増加の要因であると考えられる。

4・3 改良土中の反応生成物の同定

4・3・1 電子顕微鏡による観察

図-10(a)は建設汚泥を電子顕微鏡で観察したものである。全体的に数μmの大きさの斑状組織の土粒子が多く見られ、部分的には塊状になっていることがわかる。図-10(b)はコンクリートスラッジを観察したものである。粒子表面に雲状組織が多く見られ、これはセメントの水和反応物であるCa(OH)₂である。それらの間隙に見られる針状組織がアルミン酸硫酸石灰水和物のエトリンガイト(3CaO・Al₂O₃・3CaSO₄・32H₂O)であり、軟弱地盤の強度発現に有効であると考えられている。

図-10(c)は40日間養生した改良土を観察したものである。土粒子の表面を覆う雲状の水和反応物及び微小なエトリンガイトは確認できるが、その他の硬化反応物など大きな構造の変化は見られない。

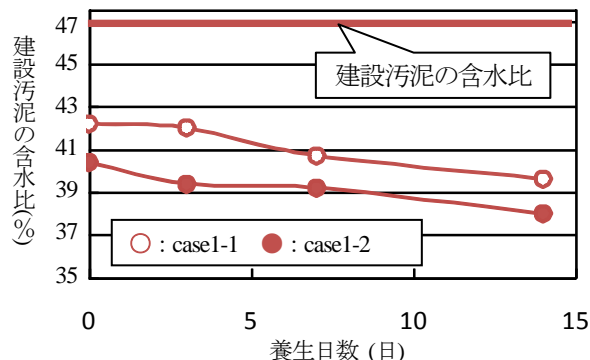
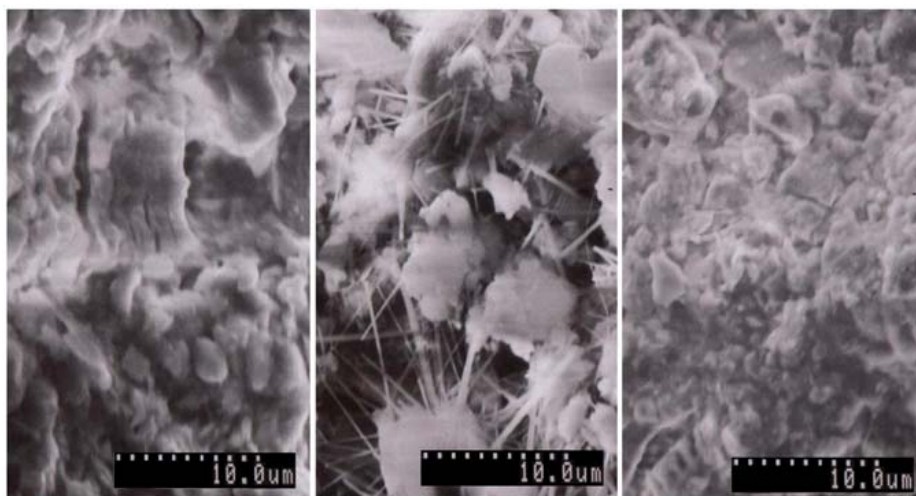


図-9 養生日数と含水比の関係



(a) 建設汚泥 (b) コンクリートスラッジ (c) 改良土

図-10 電子顕微鏡による観察結果

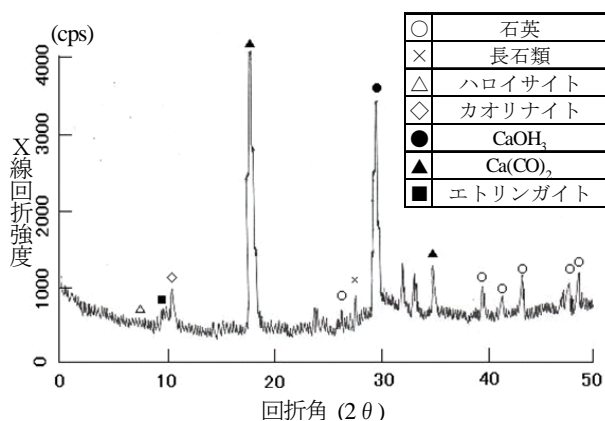


図-1 1 コンクリートスラッジのX線回折結果
(再掲)

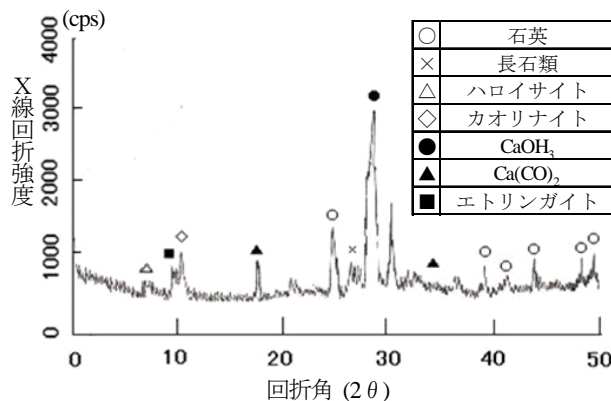


図-1 2 改良土のX線回折結果(40日養生)

4・3・2 X線回折分析

図-1 1はコンクリートスラッジ(再掲 図-7)、図-1 2は40日間養生後の改良土中のコンクリートスラッジ周辺をX線回折分析した結果である。図-1 2において一次鉱物である石英や長石類の回折ピークが大きくなっているが、これは建設汚泥の混入による含有量の違いである。養生の経過により回折角 34.1° 、 18.0° の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が減少し、改良土中で炭酸化したことにより回折角 29.5° の CaCO_3 が増加している。エトリンガイト(回折角 9.1°)のピークの変化は見られず、4.3.1の結果と合わせて、改良土を養生したことによる硬化反応生成物は確認されなかった。これらの結果、今回用いたコンクリートスラッジの化学的固化効果は期待できないと考えられる。

5. 結論

本研究は建設汚泥の有効利用を目的として、コンクリートスラッジを改良材として用いる可能性を検討した。その結果として、次のことが明らかになった。

- (1) コンクリートスラッジを添加した建設汚泥は、14日までの養生日数の経過に伴い、コンクリートスラッジの吸水による建設汚泥の含水比の低下が原因で強度は増加する。その強度増加の程度は養生期間が長く、コンクリートスラッジ添加率が高

いほど大きくなる。

- (2) 建設汚泥の含水比が改良土の強度発現に大きな影響を与える。よって、強度増加には建設汚泥の前処理が重要である。
- (3) 含水比が47%の建設汚泥は、コンクリートスラッジを10%添加し、5日間養生することで第4種処理土としての利用が可能となる。
- (4) コンクリートスラッジは硬化反応は期待できないが、建設汚泥の低強度領域における土質改良材としての利用が可能である。

参考文献

- 1) 環境省:産業廃棄物の排出および処理状況等(平成18年度実績) http://www.env.go.jp/recycle/waste/sangyo/sangyo_h18.pdf, 平成21年8月25日取得
- 2) 国土交通省:残コン・戻りコンの発生抑制、有効活用に関するアンケート調査の結果概要について, http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha06/01/010901_.html, 平成21年8月25日取得
- 3) ㈱サンケイ工業:生コンスラッジのリサイクルシステム, <http://www11.synapse.ne.jp/sankei/namacon.html>, 平成21年9月1日取得