

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE

OF

THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No.1264 December 2012

セメント固化処理土を原材土として再利用する場合の配合の検討

渡部 要一
田中 政典

独立行政法人 港湾空港技術研究所

Independent Administrative Institution,
Port and Airport Research Institute, Japan

目 次

要 旨	3
1. はじめに	4
2. 研究方法	4
2.1 試験材料	4
2.2 試験内容	5
3. 試験結果と考察	6
3.1 物理的特性	6
3.2 力学的特性	7
3.3 微視的構造	7
4. まとめ	7
謝辞	8
参考文献	8

Study on Cement Proportion for Recycled Treated Soil

Yoichi WATABE*¹

Masanori TANAKA*²

Synopsis

Properties of remolded cement treated dredged soil is different from its original dredged soil. In practice, at joint section between previous and current placements, excavated soils from the previous section is used as a material for the current section. In addition, to respond a change of land use on a ground consisted of cement treated soil, it is important to study if the excavated soil from the cement treated soil can be used as a material. The objective of this study is to investigate physical and mechanical properties of recycled treated soil in association with cement proportion. For dredged clay, cement was added and cured as a mixture, then the cured material was remolded, then cement was added and cured again as a mixture, and then the cured material was remolded. Liquid limit and plastic limit tests were conducted after each remolding stage and unconfined compression tests were conducted after each curing stage. It was found out that liquid limit and plastic limit increase, but plastic limit decreases, with cement addition, and that shear strength is governed as a function of water-cement ratio, which is defined with cement mass corresponding to new addition for the stage of recycling.

Key words: cement treated soil, recycling, marine clay, unconfined compression strength, liquid limit.

*1 Director of Geotechnical Engineering Field

*2 Research Specialist (formerly Senior Researcher of Soil Mechanics and Geo-environment Group)

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone : +81-46-844-5053 Fax : +81-46-844-4577 e-mail: watabe@ipc.pari.go.jp

セメント固化処理土を原料土として再利用する場合の配合の検討

渡部要一¹⁾・田中政典²⁾

要 旨

セメント固化された浚渫土は、解泥しても原料土であった浚渫土の性質には戻らない。しかし、施工時の打継ぎ部分等では削り取った固化処理土を原材料として使えたとしたら、輸送費や処理費をかけて処分場に処理するよりも経済的である。また、将来の土地利用形態の変化などによっては、固化処理土を掘削することも考えられ、これを再び同様の固化処理土の原材料として使えるかどうかを検討する意義は大きい。本研究では、固化処理土を解泥してリサイクル利用する場合の物理・力学特性について明らかにすることを目的とする。浚渫粘土に対して、セメントを添加・養生し、解泥処理後、セメントを再添加する一連の試験を行った結果、セメント固化・再解泥した試料の液性限界ならびに塑性限界はセメント添加前より大きくなること、セメント固化・再解泥して再びセメントを添加して養生固化した際には、最初に添加したセメントは強度発現にほとんど寄与しないこと、すなわち、その時点で再添加したセメントのみが強度発現に寄与することなどが結論として得られた。

キーワード：固化処理土，再利用，海成粘土，一軸圧縮試験，液性限界

1) 地盤研究領域長（兼 土質研究チームリーダー）

2) 専門研究員（元 土質研究チーム主任研究官）

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 独立行政法人港湾空港技術研究所

電話：046-844-5053 Fax：046-844-4577 e-mail: watabe@ipc.pari.go.jp

1. はじめに

浚渫土を原料土とした固化処理土（気泡混合処理土を含む）は、港空研が中心となって技術開発がなされ、実用化に至っており、中部国際空港の建設¹⁾や羽田空港再拡張事業^{2),3)}では大規模に利用された（写真-1）。これらの事業では、航路や泊地の浚渫事業で発生した浚渫土砂を空港建設で有効利用することの他、山砂などの良質材の不足を補うこと、裏込め土の固化・軽量化によって護岸構造物の安定性を向上させることなども目的として、浚渫土砂の固化処理土が大量に活用された代表的な事例である。

セメント固化された浚渫土は、解泥しても原料土であった浚渫土の元の性質には戻らない。しかし、施工時の打継ぎ部分等で削り取った固化処理土（写真-2）を原材料として使えたとしたら、輸送費や処理費をかけて処分場に処理するよりも経済的である。また、将来の土地利用形態の変化などによっては、固化処理土を掘削することも考えられ、これを再び同様の固化処理土の原材料として使えるかどうかを検討する意義は大きい。

固化処理土に関する研究は多く、管中混合固化処理土や気泡混合処理土については、実務のためのマニュアルも整備されている^{4),5)}。しかしながら、固化処理土を再利用することに関しては、まだ、研究はなされていなかったのが実情である。

本研究では、固化処理土を解泥してリサイクル利用する場合の物理・力学特性について明らかにすることを目的として、セメント固化処理土の再利用に際し、改良された土質材料の物理特性ならびに力学特性について検討した。具体的には、セメント固化処理土を作製した後に解きほぐし、再度セメント添加により固化処理した改良土に対して、液性限界・塑性限界試験および一軸圧縮試験を実施し、再改良時における材料特性の変化について検討した。特に、初期の配合、および再利用時の配合について水セメント比に着目し、これと材料強度との関係を整理した。

2. 研究方法

2.1 試験材料

試験に用いた試料は、神奈川県横浜市の本牧沖で浚渫された粘性土（以下、本牧粘土と称す）である。試験試料の物理特性を表-1に示す。液性限界は108.0%と高く、塑性指数が約60ある、いわゆる高塑性粘土である。固化材として用いたセメントは、六価クロムの溶出の可能性



写真-1(a) 中部国際空港での管中混合処理土による埋立て状況



写真-1(b) 羽田空港D滑走路での管中混合処理土による埋立て状況



写真-1(c) 羽田空港D滑走路での気泡混合処理土による埋立て状況

が低く、多くの固化処理土において用いられている高炉セメントB種である。セメントを添加する際は、均質に



写真-2 気泡混合処理土の打継ぎ部分の様子

混ざり合うように配慮し、蒸留水でセメントミルクを作製したものをミキサー内に流し込む方法とした。ミキサーを用いて材料を10分間混練することとしたが、ミキサーによる練りムラを防止するため、2分毎に計4回の手練りを加え、できあがる材料の均質性に配慮した。

2.2 試験内容

(1) 原料土の解泥とセメント固化（初期添加）

本研究で実施した一連の試験のフローを図-1に示す。まず、本牧粘土を0.425mmのふるいで裏ごしし、粗粒分や異物を取り除いた後、液性限界108.0%の1.8倍に含水比を調整し、そこに、原泥の基本体積に対する高炉セメントB種の質量として、100kg/m³の割合で添加し、直径50mm、高さ100mmのモールドに気泡が入らないように流し込み、湿潤状態を保ったまま恒温室（約22℃）にて養生した。以下では、このセメント添加のことを「初期

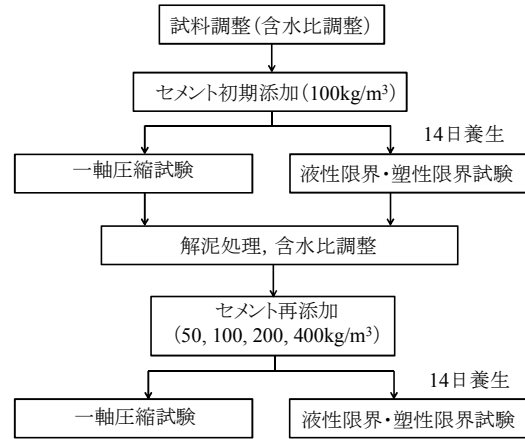


図-1 固化・解泥・再固化の試験フロー

添加」と称する。

(2) 固化処理土（初期添加）の一軸圧縮試験

14日間養生した後、一軸圧縮試験を行って一軸圧縮強さを求めた。このようにして得られた一軸圧縮強さは、本検討におけるせん断強さの基準として考えることとし、初期添加によるせん断強さと称することにする。

(3) 固化処理土（初期添加）の解泥とセメント固化（解泥後再添加）

次に、14日養生後の試料を解泥処理し、再固化のための原料土を作製した。具体的には、0.425mmのふるいで裏ごしし、ステンレス製のヘラとガラス板にて固結物を入念にすり潰す処理をした。固化した試料の裏ごしは、大根おろしのようなイメージである。

このように解泥した試料に対して、再度セメントを添加して固化処理土を作製した。ただし、一度セメントを添加した試料は、初期の試料とは物性が異なっているこ

表-1 本牧粘土（原料土）の物理特性

土粒子密度 ρ_s (g/cm ³)	液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_L (%)	塑性指数 I_p	砂分 (%)	シルト分 (%)	粘土分 (%)
2.594	108.0	47.9	60.1	5.6	29.4	65.0

表-2 配合条件

配合条件 (ケース)	初期添加 セメント配合	養生日数	解泥後再添加 セメント配合	養生日数
CASE1	100kg/m ³	14日間	50kg/m ³	14日間
CASE2			100kg/m ³	
CASE3			200kg/m ³	
CASE4			400kg/m ³	

表-3 一軸圧縮強さ q_u 、液性限界 w_L 、塑性限界 w_p の試験結果一覧

試料状態	セメント 添加量 (kg/m ³)	水セメント比 W/C	一軸圧縮強さ q_u (kPa)	液性限界 w_L (%)	塑性限界 w_p (%)	塑性指数 I_p
初期添加	100	8.2	620	124.0	80.6	43.4
CASE1	50	16.2*	92.6	145.2	100.6	44.6
CASE2	100	8.1*	576	146.4	101.3	45.1
CASE3	200	4.1*	2250	147.1	101.2	45.9
CASE4	400	2.0*	5935	146.4	100.9	45.5

※CASE1からCASE4の再添加の水セメント比は、初期に添加したセメントを考慮していない

とを考慮し、まず、解泥処理した試料について液性限界試験を行い、新たに得られた液性限界の1.8倍の含水比に調整した試料を作製して、これに対してセメントを添加した。解泥土に対するセメントの添加のことを「解泥後再添加」と称する。セメントの再添加量は、含水比調整土の単位体積あたりのセメント質量で表現し、50kg/m³、100 kg/m³、200 kg/m³、400 kg/m³の割合とした。以下では、これらを順にCASE1、CASE2、CASE3、CASE4と称する。十分攪拌した上で直径50mm、高さ100mmのモールドに気泡が入らないように試料を流し込み、湿潤状態を保ちながら恒温室にて養生した。試験条件をまとめ、表-2に示す。

(4) 固化処理土（解泥後再添加）の一軸圧縮試験

再添加後に14日間養生した後、一軸圧縮試験を行って一軸圧縮強さを求めた。このようにして得られた一軸圧縮強さは、再添加によるせん断強さと称することにする。

なお、一軸圧縮試験はJIS A 1216に、液性限界・塑性限界試験はJIS A 1205に準拠して行った。液性限界・塑性限

界試験は、オリジナルの原泥、14日間養生した固化処理土（初期添加）を解泥した試料、14日間養生した固化処理土（解泥後再添加）を解泥した試料に対して実施した。

3. 試験結果と考察

3.1 物理的特性

各ケースで得られた一軸圧縮強さ q_u 、液性限界 w_L および塑性限界 w_p を表-3にまとめて示す。また、それぞれの試料のコンシステンシー特性とセメント添加量との関係を図-2に示す。同図では、それぞれの値を原料土（本牧粘土）に対して得られた値で正規化して示してある。

液性限界 w_L は、原料土である本牧粘土と比較して初期添加で1.2倍程度に増加し、解泥後再添加ではさらに増加して1.3~1.5倍に増加した。塑性限界は原料土（本牧粘土）より1.7倍程度にまで著しく増加し、解泥後再添加でもさらに増加が見られるが、原料土に比べて2倍程度の増加に留まった。塑性指数 I_p は、初期添加で0.7倍程度に低下し、

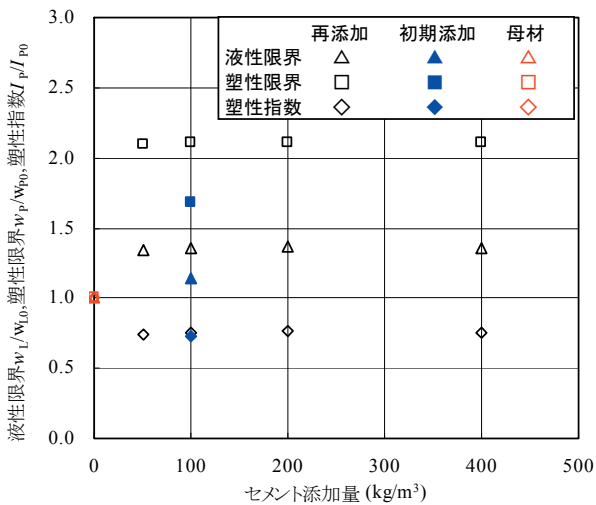


図-2 液性限界、塑性限界、塑性指数～セメント添加量の関係（原料土の値にて正規化して表示）

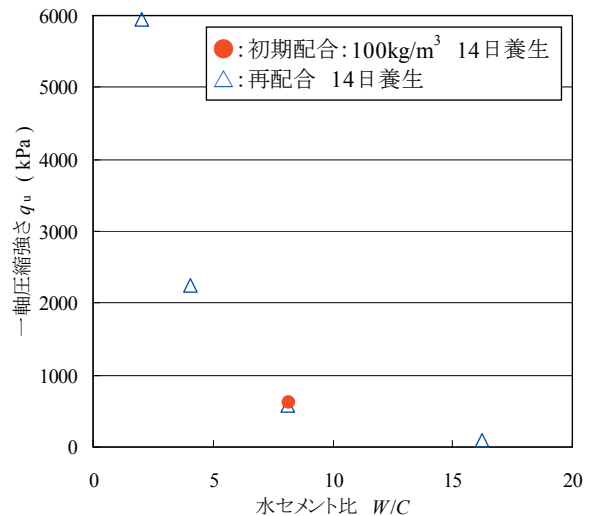


図-3 一軸圧縮強さ q_u ～水セメント比W/Cの関係

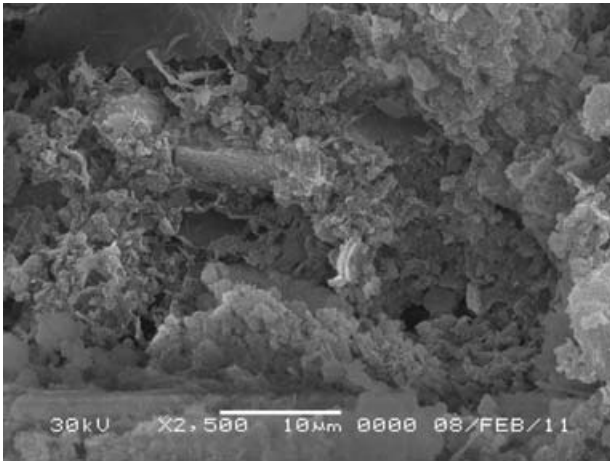


図-4(a) SEM観察画像：初期添加100kg/m³

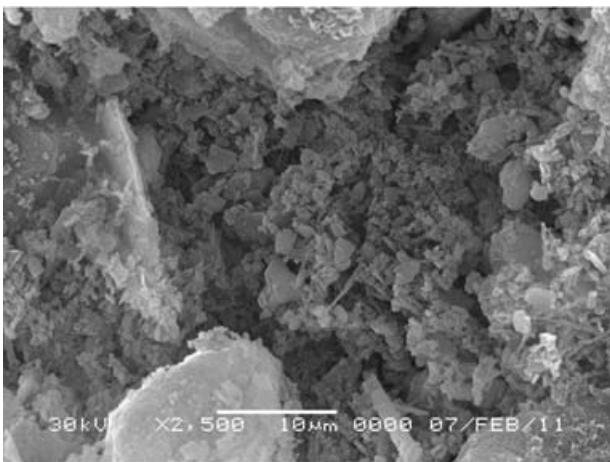


図-4(b) SEM観察画像:CASE2(解泥後再添加100 kg/m³)

その後は、解泥後再添加でも、ほぼ同じ値となった。

なお、試験ではできる限り解泥する努力をしたが、土のコンシステンシー特性を表す指標は解泥時間（練混ぜ時間）等にも影響されることがわかっており⁶⁾、ここで示した物理特性の値は絶対的な値ではないことに留意していただきたい。

3.2 力学的特性

一軸圧縮強さ q_u と水セメント比 W/C の関係を図-3に示す。解泥後再添加における水セメント比は、初期添加したセメント量を考慮せず、再添加したセメント量のみで算出したものである。通常セメント配合と同様に、CASE1からCASE4の解泥後再添加した条件では、セメント添加量が大きくなると圧縮強さも大きくなることを確認できる。初期添加とCASE2は共に100kg/m³のセメントを添加したものであるが、一軸圧縮強さが同程度の値を示した。このことから、初期に添加した100kg/m³のセメントは、解泥してセメントを再添加する仮定において、

もはや強度の発現に寄与していないことが示唆される結果となった。すなわち、セメント固化処理土の配合を考える場合、セメント固化処理土を解泥したものを原料土として再利用する場合を含めて、その時点で解泥された原料土の特性のみに着目して配合を決定すれば良いことになる。

3.3 微視的構造

セメント添加後の内部の骨格の様子、すなわち、微視的構造を調べるために、走査型電子顕微鏡（SEM = Scanning Electron Microscope）による画像観察を行った。原料土（1.8w_Lに含水比調整した本牧粘土）にセメントを100kg/m³を添加した初期配合により養生固化した試料のSEM画像を図-4(a)に、また、養生固化後に一旦解泥し、その後100kg/m³のセメントを再添加したCASE2の養生固化試料のSEM画像を図-4(b)に示す。どちらのSEM画像も倍率2500倍にて観察したものであるが、これらのSEM画像において確認できる針状の水和物の結晶がエトリンサイトである。このエトリンサイトは初期の強度発現に寄与すると考えられているが、両画像において、エトリンサイトの長さや生成量を比べると、わずかに多い・少ないは認められるものの、両者に顕著な差は認められない。すなわち、初期添加によるセメント固化と、解泥後再添加によるセメント固化では、微視的な骨格構造に顕著な差は認められないことがわかる。

4. まとめ

本牧粘土を原料土としたセメント固化処理土、ならびにこれを一旦解泥してから再度セメント固化した処理土に対して、一軸圧縮強さの変化や解泥時のコンシステンシー特性の変化について調べる一連の試験を実施した。その結果、以下のことが新たな知見として得られた。

- 1) 浚渫土にセメントを添加し、養生固化した試料を解泥すると、液性限界ならびに塑性限界は、セメント添加前の原料土のものより大きくなり、初期添加して養生固化した試料を解泥してセメントを再添加して養生固化した試料を解泥した場合には、液性限界、塑性限界はさらに増加した。塑性限界の増加は液性限界の増加に対して著しく、結果として塑性指数は小さくなった。
- 2) 初期添加100kg/m³で養生固化後した試料と、これを解泥してから100kg/m³を再添加して養生固化した試料では、同程度の一軸圧縮強さを示した。これらの試料では、新たに添加したセメント量のみを考慮して

定義した水セメント比 W/C がともに同程度の値であったことから、初期添加したセメントは解泥後再添加して養生固化した際には強度発現にほとんど寄与していないことを示唆する結果が得られた。すなわち、過去のセメント添加とは無関係に、解泥されている原料土の特性のみに着目して配合を決定すれば良いことになる。

- 3) 初期添加によるセメント固化と、解泥後再添加によるセメント固化では、電子顕微鏡で観察した微視的な骨格構造の画像に顕著な差は認められなかった。

(2012年8月10日受付)

謝辞

本研究の実施にあたり、応用地質(株)の渡部 有氏、依頼研修員であった東亜建設工業(株)の野崎郁郎氏のご協力をいただいた。ここに記し、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 佐藤恒夫 (2003): 中部国際空港埋立用地造成への管

中混合固化処理土工法の適用, 土木学会論文集 No.749/VI-61, pp.33-47.

- 2) 野口孝俊, 渡部要一, 鈴木弘之, 奥 信幸, 大和屋隆司, 渡邊雅哉 (2012): 羽田空港D滑走路埋立部の施工と維持管理, 土木学会論文集C, Vol.68, No.1, pp.305-320.
- 3) 野口孝俊, 渡部要一, 鈴木弘之, 堺谷常廣, 梯 浩一郎, 小倉勝利, 水野健太 (2012): 羽田空港D滑走路の設計, 土木学会論文集C, Vol.68, No.1, pp.150-162.
- 4) 沿岸技術研究センター (2008): 管中混合固化処理工法技術マニュアル(改訂版) .
- 5) 沿岸技術研究センター (2008): 軽量混合処理土工法技術マニュアル(改訂版) .
- 6) Ogawa, F. and Kobayashi, M. (1995): Influence of remolding on the liquid and plastic limits of soil, *Soils and Foundations*, Vol. 35, No. 4, pp. 115-121

港湾空港技術研究所資料 No.1264

2012. 12

編集兼発行人 独立行政法人港湾空港技術研究所

発行所 独立行政法人港湾空港技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号
TEL. 046(844)5040 URL. <http://www.pari.go.jp/>

印刷所 株式会社シーケン

Copyright © (2012) by PARI

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of PARI

この資料は、港湾空港技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は港湾空港技術研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。



古紙配合率70%再生紙を使用しています