

脱水処理土の護岸裏埋め材性能を求めるための 現地試験施工

TRIAL FIELD CONSTRUCTION OF REVENTMENT BACKFILL TO CONFIRM ABILITY OF DEWATERED CLAY LUMPS

中道正人¹・矢野米生²・右田宏文³・山本修司⁴・佐藤哲也⁵・片桐雅明⁶
Masato NAKAMICHI, Yoneo YANO, Hirofumi MIGITA, Shuji YAMAMOTO, Tetsuya SATO
and Masaaki KATAGIRI

¹正会員 国土交通省九州地方整備局 関門航路事務所 (〒802-0001 北九州市八幡北区浅野3-7-38)

²国土交通省九州地方整備局 関門航路事務所 (〒802-0001 北九州市八幡北区浅野3-7-38)

³国土交通省九州地方整備局 関門航路事務所 (〒802-0001 北九州市八幡北区浅野3-7-38)

⁴正会員 工博 沿岸技術研究センター (〒102-0092 千代田区隼町3-16)

⁵沿岸技術研究センター (〒102-0092 千代田区隼町3-16)

⁶正会員 工博 日建設シビル (〒101-0061 千代田区三崎町3-3-10)

Filter-press technique for dredged clay deposits has been developed, and can produce large volume of dewatered clay lumps. The dewatered clay lump has volume reduction and strength gain. If this lump is used as geo-material for back-filling, the life of disposal pond will be extended.

In this project, a trail construction of revetment backfill is planned and performed in order to confirm the characteristics of dewatered clay lumps. In this paper, the outline of this trial construction is summarized, and the density of backfill and compressibility and shear behavior of dewatered clay lumps are described.

Key Words : *Dewatered clay lump, dredged clay, field test, embankment, monitoring, in-situ tests, laboratory test*

1. はじめに

海運立国であるわが国では、航路を維持するための浚渫は欠かせない。また、近年の船舶の大型化によって、航路の増深・拡幅がさらに必要となり、浚渫事業の重要度が増してきている。浚渫された土砂のほとんどは海域の環境を保つために、土砂処分場に埋立処分されているが、昨今の財政状況などから、新たな処分場を建設することが難しくなっている。そこで、現存する土砂処分場を長く使い続ける（延命化する）ための検討が各所で行われている。

本プロジェクトで用いた減容化策は、高含水比状態にある土砂処分場内の浚渫土砂の間隙水を機械で強制的に搾り出し、受入容量の増加を図るとともに、製造した脱水処理土を護岸の嵩上げ材料に用いて、さらに、受入れ容量を増加させる二重の効果を期待するものである。問題は、脱水処理土の物性であり、これまで、室内試験等でその特性を求め^{1)~3)}、嵩上げのための裏埋め材となりうる可能性があると評価されている。そこで、脱水処理土を裏埋め材に用

いる事業化に向けて、裏埋め材としたときの脱水処理土の挙動を把握し、その物性を評価するための実大規模の試験施工を計画・実行した。

本文では、試験施工の目的を達するための試験計画を紹介し、水中に裏埋めする部分、ならびに陸上で締め固めた部分における密度と圧縮性ならびにせん断試験結果の速報を取りまとめる。なお、土砂処分場の延命化の考え方を整理し、今回行ったプロジェクトの位置づけも明確にする。

2. 想定されたプロジェクトの位置付け

(1) 既存の土砂処分場延命化の考え方

既存の土砂処分場を延命化するための考え方は大きく2つに分かれる。ひとつは護岸を嵩上げして、受け入れる処分場の容量を増加させること（受入れ容量の増加）であり（図-1 参照）、他方は投入する浚渫土の容積を減ずること、また、処分場内に堆積した浚渫土の体積を減ずること（浚渫土の減容

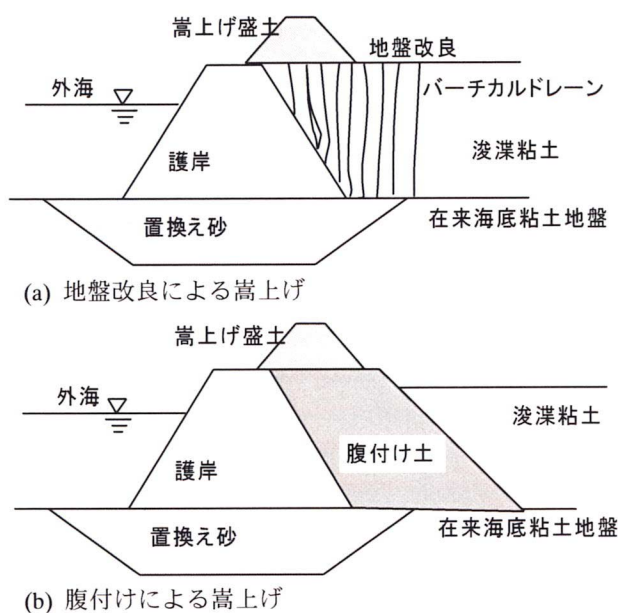


図-1 嵩上げ盛土のための方策

化)である。後者には、浚渫土中に含まれている間隙水を搾り出すことのほかに、埋立処分しないで地盤材料として他所で有効活用することも含まれる。

受入れ容量の増加は、既存の護岸に嵩上げするので、護岸の安定性を確保するために既設護岸に対する腹付けが必要となる。ある程度土砂が投入された場合には、堆積している土砂の強度を増加させるとか、ある程度の強度を有する地盤材料と置き換える必要がある。

浚渫土の減容化は、処分場に投入する前に脱水処理する事前処理（プラント処理）と堆積した後に減容化する現場処理に大別できる。プラント処理は、シールド汚泥の減容化のために開発された技術であるが、最近大型化されて浚渫土に適用できるプラントも構築可能となってきた。ただし、海水中に投入した脱水処理土の特性が把握されていない点が問題である。現場処理は埋立処分がある程度進んだ段階で排水材を打設して圧密を促進させる方法が一般的であるが、排水材を打設している期間は浚渫土を投入できないことが問題となる。

(2) 関門航路浚渫事業における土砂処分場延命化の方針と本研究の目的

関門航路浚渫事業における土砂処分場の延命化対策に、従来の埋立計画高さまで埋め立てる前までに腹付け・嵩上げを完成させる方法、かつ腹付けの材料として浚渫粘土を事前に処理した脱水処理土を用いる方法（図-1(b)参照）が有力な候補として挙げられた。通常の腹付けでは、山土などが用いられるため、かさ上げにより容量の増加分からこの腹付け容量の分を削除したものが、真の受入れ容量となる。しかしながら、今回想定している方法では、腹付けを脱水処理土で構築するため、山土等に占有されて

いた体積分、ならびに材料に用いる浚渫土体積と製造された脱水処理土の体積との差だけ受入れ土量が増加することになる。また、浚渫土の受入れを中断させることなく施工できるというメリットもある。

問題は、脱水処理土群が護岸腹付けの検討を行うための特性が把握されていなかった点であった。そこで、脱水処理土ならびに土塊群の物理・力学特性を把握するための室内実験を中心とした研究・調査が計画・実行され^{1)~3)}、腹付けとしての安定性を検討するための仮の物性値を設定するまでに至った。

今回、脱水処理土を活用する事業化に向けて、実大規模の盛土を構築して脱水処理土の物性を把握し、設計値を提案していく試験施工が計画・実行された。本文では、この試験施工の概要を紹介し、これまでに得られた各特性について取りまとめる。

3. 試験施工の概要

(1) 脱水処理土と原材料

脱水処理土は、供給圧 4 MPa とした加圧脱水濾過方式である「フィルタープレス」で製造した。その母材は新門司沖土砂処分場 3 工区に堆積していた浚渫土砂である。その物理的特性は、平均含水比：143%，平均土粒子密度：2.63 g/cm³，液性限界：85～97%であり、既往の検討¹⁾で用いた粘土よりも液性限界が大きいものであった。

脱水処理土は、フィルタープレス・プラントの 1 濾室（1600*1600*23.5 mm）でまず形成される。その後、濾室からの脱型、投入位置まで運搬によって、濾室と同じ大きさの土塊は細粒化されていく。仮置きした脱水処理土塊群から採取した試料の土塊粒度を調べたところ、通過最大径は 75 mm であった。

(2) 試験盛土形状と調査項目

今回の試験施工では、盛土部の密度、圧縮性、せん断強度を把握するため、盛立て中に各種調査と測量を行った。また、安全管理のため、のり尻の水平変位とのり肩部底面の沈下の動態観測も行った。図-2 に、試験盛土の形状と動態観測機器の位置を示す。天端幅は 23.5 m、DL+6.0 m の高さでの天端長さは 30 m、のり勾配は 1：1.8 と設定した。

密度は、投入した土量の重量と体積を把握し、盛り立てた後に盛土部を測量して、その体積を求めた。投入量の把握は、脱水処理土がバッチごとに製造されるため、1 バッチの質量と体積をあらかじめ求め、それに投入したバッチ数を乗じた。また、3 層目、5 層目、8 層目において、現場密度試験を行い、ローカルな密度も測定した。

圧縮性に関しては、盛り立てた層の自重による変化を把握するため、1 m の盛立てごとに層別沈下計を設置した。なお、沈下板のゲージが林立すること

○多段式沈下計 ○RIコーン試験の実施範囲

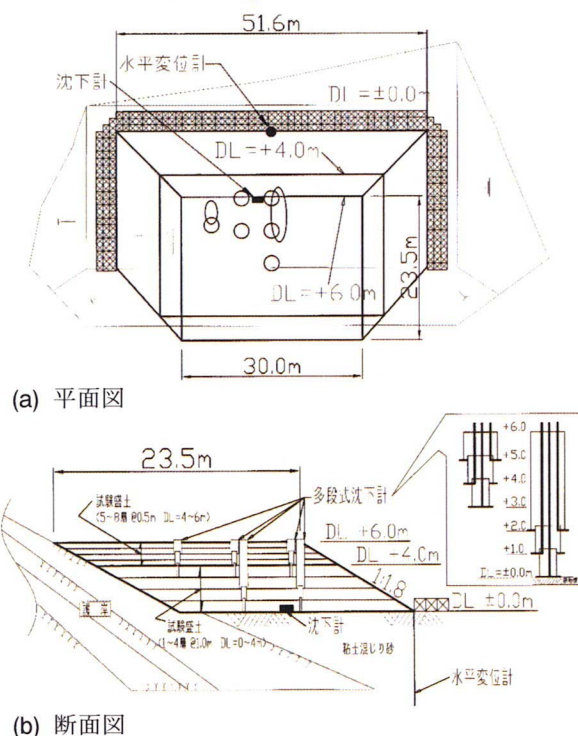


図-2 想定した盛立てと観測ならび調査位置

を避けるため、3層分を1箇所に集めた多段式沈下版(図-2(b)参照)を採用した。盛り立てた層のいくつかから、不攪乱試料を採取し、それに対する段階圧密試験も計画した。

せん断挙動に関しては、不攪乱試料に対する一面せん断試験と現場一面せん断試験を計画・実行した。

台船からの投入、ならびに最終状態において、盛土部の深度方向の特性を把握するために、RIコーン試験も行った。

(3) 盛立て手順

護岸周辺には粘土混じり砂が堆積していたため、盛土を厚くするために、i) DL±0.0 m まで掘削し、±0.1 m の精度でその表面を整形した。次に、ii) 在来地盤と脱水処理土を分離するシートを敷設し、のり尻に3列の土嚢を配置した。iii) 水平変位と沈下

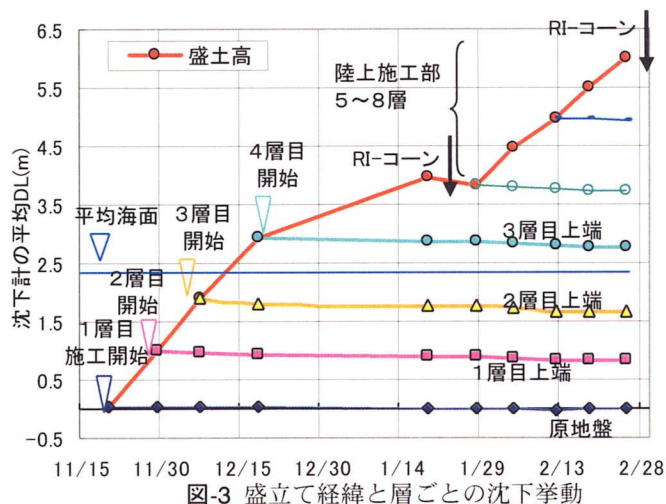


図-3 盛立て経緯と層ごとの沈下挙動

をリアルタイムで計測する機器を設置した。iv) 所定の厚さとなるように、台船から、またはブルで層ごとに盛り立て、測量等を行った。

4. 試験結果の速報

試験施工において、これまでに行われた観測・試験結果の速報値を以下にまとめる。

(1) 動態観測結果

1層目から8層目までを盛り立てたときに計測されたのり尻の水平変位とのかか下部の鉛直変位は、それぞれ30 mmと100 mm、のかか勾配は1:2程度で安定して盛り立てられた。このように、設計時に用いた破壊基準($c = 0 \text{ kPa}$, $\phi = 30^\circ$)では、破壊しないことが確認された。

(2) 盛立て時の挙動

図-3に、盛土高さならびに層別沈下計による各層の高さの経時変化を示す。盛立てが進むにつれて、盛土層下部の層が沈下していることが認められる。試験工事实施中の潮位はDL+1.85 ~ DL+2.90 m(平均: DL+2.35 m)にあった。また、図中には、後述するRIコーンの実施時期も記入してある。

a) 盛立て・敷均した層の密度

各層を盛り立てたとき(施工時)の密度を表-1

表-1 盛立て直後の最上層の密度(層全体)

層	標高 DL+m	盛立て状況	土量変化率 測量/投入	かさ密度 g/cm ³	乾燥密度 g/cm ³	間隙比	飽和密度 g/cm ³	平均飽和密度 g/cm ³
8	5.5 ~ 6.0	水面上, 重機敷均し	1.06	1.445	0.975	1.679	1.614	1.612
7	5.0 ~ 5.5		1.06	1.455	0.981	1.663	1.618	
6	4.5 ~ 5.0		1.05	1.471	0.992	1.633	1.625	
5	4.0 ~ 4.5		1.11	1.384	0.933	1.800	1.589	
4	3.0 ~ 4.0	水面上, 台船投入	1.23	1.251	0.843	2.098	1.534	1.534
3	2.0 ~ 3.0	潮干帯, 台船投入	1.14	1.354	0.913	1.861	1.576	1.576
2	1.0 ~ 2.0	水面下, 台船投入	1.42	1.087	0.733	2.563	1.467	1.472
1	0.0 ~ 1.0		1.39	1.109	0.748	2.492	1.476	

註: かさ密度=投入質量/測量した体積, 乾燥密度を算定する際、土塊の含水比を48%とした。

に示す。1～4 層目は台船から盛り立てた層で、潮位が DL+1.85 ～ 2.90 m であったため、1 層目 2 層目は水面下、3 層目は潮干帯、4 層目は水面上と、撒きだし状況が異なる。5～8 層目は、接地圧が 30 kPa 程度の重機による敷均しである。得られた密度に関する情報も、盛立て状況の違いによって異なっていることがわかる。

土量変化率は、製造された脱水処理土の体積が現場でどの程度増加するかを示したものである。重機で施工した陸上部では、10 % 以下の膨張であったが、水中では 40 % 程度膨らむという結果となった。

飽和密度は、水面下の投入部で小さく、重機による敷均し部で大きい。ただし、潮干帯ではいわゆる「水締め」の効果により、密度が増加していることがわかる。

表-2 は、3 層目、5 層目、8 層目に行った現場密度試験の結果である。測定された含水比が、表-1 で用いた土塊の含水比（平均値：48 %）よりも大きい。飽和密度に換算すると、0.01 ～ 0.05 g/cm³ の差異の中にあり、ほぼ同じとみなせる。

表-2 現場密度試験の結果

	含水比 (%)	湿潤密度 (g/cm ³)	飽和密度 (g/cm ³)
8層(重機敷均)	50.0	1.557	1.653
5層(重機敷均)	56.3	1.573	1.634
3層(潮干帯)	58.4	1.425	1.569

表-3 盛立て最終段階での層全体の密度

層	間隙比	かさ密度 (g/cm ³)	乾燥密度 (g/cm ³)	飽和密度 (g/cm ³)
8	1.679	1.464	1.009	1.648
7	1.571	1.526	1.051	1.675
6	1.513	1.561	1.076	1.690
5	1.866	1.368	0.973	1.607
4	1.672	1.468	1.012	1.650
3	1.838	1.382	0.952	1.613
2	2.156	1.243	0.856	1.553
1	2.014	1.301	0.897	1.578

b) 盛立てによる密度の変化

図-3 に示したように、盛立ての進行とともに、各層は圧縮した。表-3 に、最終状態における各層全体の密度に関わる情報をまとめる。最も大きな圧力が作用する 1 層目では、初期状態から 0.1 g/cm³ 程度増加し、飽和密度は 1.58 g/cm³ 程度となった。陸上施工部でも圧縮し、飽和密度は増加した。

図-4 に、DL+6.0 m で実施した RI コーンの結果としての密度の深度方向分布と層ごとに求めた密度、現場密度試験の結果を示す。同図には、DL+4.0 m において実施した RI コーンの結果も示してある。地下水位は、先に示したように平均で DL+2.35 m であった。それゆえ、脱水処理土は、DL+0.0 ～ +2.5 m 程度までが飽和状態で、それよりも上部が湿潤状態である。なお、RI コーンの結果として、密度が 1.6 g/cm³ 程度から低下する深度が各試験結

果で異なっていることが認められるが、これは地下水位が潮汐によって変化したためと理解できる。

DL+4.0 m における RI コーンの結果と盛土した DL+6.0 m での同じ標高でのその関係は、全域において増加している。特に、標高 3.0～3.5 m では、顕著に増加している。また、測定位置ごとのばらつきは、深いほど小さい傾向にあることがわかる。

DL+4.0 m より上位の陸上施工部では、重機を用いて 50 cm 撒きだした部分である。これらの層では、各層の上部の密度が大きく、深くなるに連れて密度が低下し、次の撒きだし層に達するとまた増加していることがわかる。この分布は、重機の圧力が撒きだした層全体に伝わらなかったことを意味している。今回の試験施工の目的は、設定した方法で盛立てができるかどうか、盛立層の特性がどうなったのかを把握することであり、均質に盛り立てていく手法については今後の検討と位置付けている。

表-3 に示した盛立て最終段階での密度を、図-4 に各層の範囲と平均深度にマークを入れてプロットした。DL+3.0 ～ 4.0 m では飽和密度と湿潤密度の両方が示したが、これは水面下と判断できる RI コーンの測定値に対しては飽和密度と、水面よりも上位と判断できる部分は湿潤密度と対応させて、両者の関係性を評価するためである。

投入時の密度と多段式沈下版による測定から算定した層ごとの層全体での飽和密度と RI コーンの結果はよく対応していることがわかる。また、水面よりも上位の湿潤密度に対しては、RI コーンの結果が各層内で一様ではないが、分布している範囲内に層全体で評価した結果が位置しており、両者が対応していると判断できる。

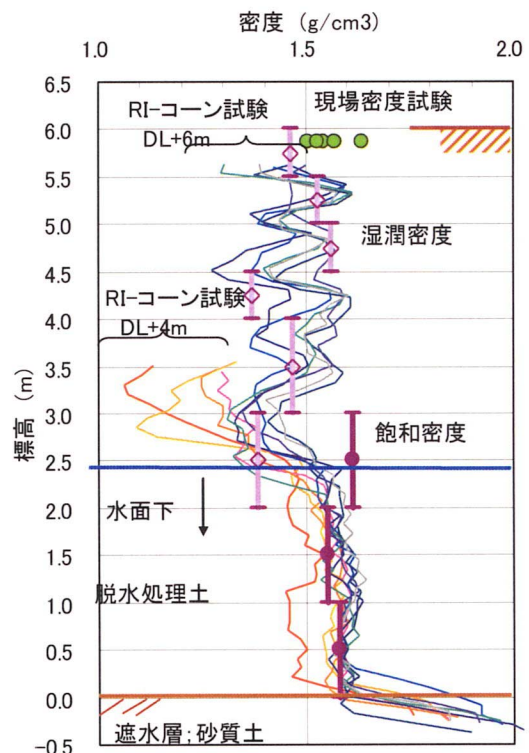


図-4 RI コーンによる密度の深度方向分布と層厚管理・計測結果から算定した密度との関係

8 層目において実施した現場密度試験は、深さ 26 cm 程度の試験孔で測定されたため、表面から 13 cm の位置に、それぞれのデータをプロットした。この深度における RI コーンの結果はないが、DL+5.0 ～ 5.5 m の関係から類推して、両者はほぼ対応していると評価できる。

(3) 盛立て層の締固め特性

試験施工で構築された盛土部の密度を、室内で行った締固め特性と比較・評価してみる。

図-5に、室内試験から求めた締固め曲線と現場密度試験の結果をまとめて示す。ここで、締固め試験はB法とE法という異なる締固めエネルギーを与えた。締固め曲線は、加えたエネルギーが大きいほど、最適含水比が小さく、乾燥密度が大きくなるという一般的な土質材料の特性を示していることがわかる。台船からグラブで盛り立てた3層目の空気間隙は10～15%であり、陸上施工部ではこれよりも締め固められて、空気間隙は5～10%であった。

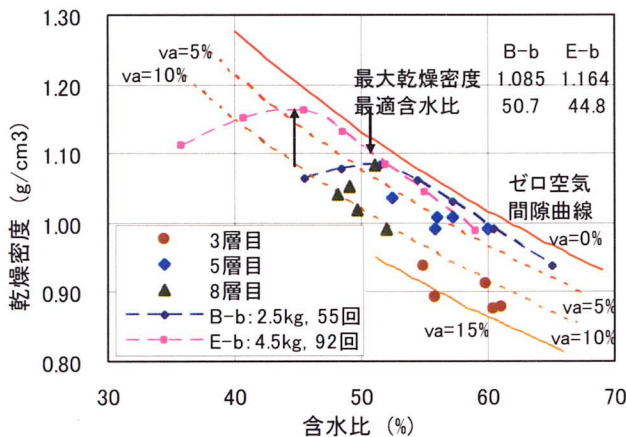


図-5 締固め試験と現場密度試験の関係

(4) 圧縮特性

図-3に示した層ごとの沈下挙動を、上載圧と間隙比の関係に換算したものを図-6に示す。なお、各層の有効応力は、各層厚の半分の位置で応力と代表値とした。同図には、現場密度試験の結果と3層目から採取した試料に対する圧密試験ならびに村山ら(2004)が報告した圧密試験の結果も示してある。

水中に堆積させた1層目・2層目の盛立て直後の間隙比は2.5程度と大きい。また、その圧縮曲線は、村山ら(2004)が示した水中堆積させた試料のそれにほぼ重なっていることがわかる。

台船から盛り立てた3層目の間隙比は1.8程度であり、水中部に堆積させた層よりも小さい。その層に上載圧が作用していくと応力が増加したが、間隙比はほとんど変化しなかった。同じ層から採取した供試体に対する圧密試験の結果も、図-3に示した結果から算定した関係に重なり、80 kPa程度までは間隙比が大きく変化していないことがわかる。

上載圧が小さいこともあるが、他の陸上施工部の

挙動も盛立てによって、それほど間隙比は変化していないことがわかる。ただし、3層目の圧密試験の結果から、ある応力を超えた段階で圧縮性が大きくなる降伏応力を有するものと考えられる。

4層目の盛立て時の間隙比は2.1程度と大きかったが、盛立て後、接地圧が30 kPa程度の重機が走行したことで150 mm程度沈下した。そのため、間隙比は1.8程度となり、その後の盛土荷重に対してはそれほど大きな間隙比の変化は生じなかった。なお、重機が走行したときには、3層目はほとんど影響しなかった。

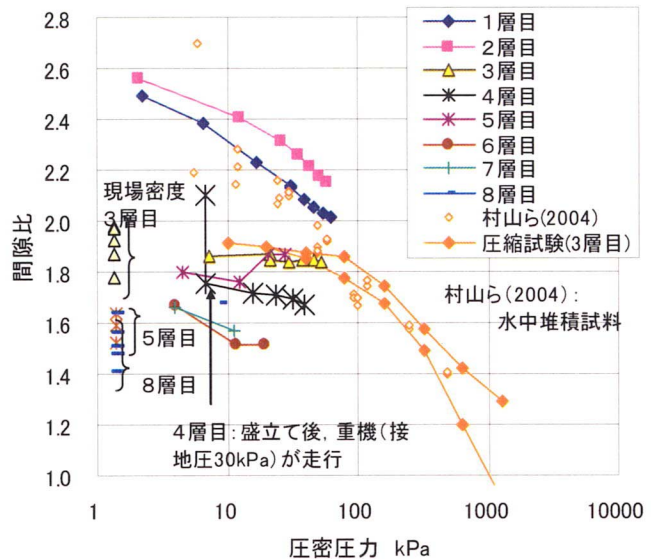


図-6 多段式沈下版により求めた層ごとの圧縮曲線

(5) せん断特性

盛立て層8層目において、現場一面せん断試験を行った。試験方法は、松岡ら(2003)が行ったロックフィル材に対する方法⁴⁾を参考に、せん断にともない材料が収縮していくこと¹⁾を考慮し、せん断中に载荷枠(内寸: 632*632*90 mm)が地面に接しないように隙間を大きくした。

与えた上載圧は、24.5、49.0、98.0 kPaとし、再現性も確認するために、同じ圧力下で2実験を行った。加えた上載圧で沈下が落ち着くまで放置した。その判断基準は3t法とした。せん断過程では、せん断速度を1 mm/minとし、水平変位は载荷枠寸法の15% (90 mm)を上限とした。また、せん断中の体積変化の傾向を把握するために、簡易ではあるが上載圧を与えたインゴットの鉛直変位を測定した。

図-7に、現場一面せん断試験結果として得られた水平変位とせん断応力ならびに垂直変位の関係を示す。せん断変位にともなうせん断応力の反応(図-7(a))は、上載荷重が98 kPaの場合にはやや異なるが、他の上載圧ではほとんど一致しているとみなせる。なお、この98 kPaの条件でも最大せん断応力(破壊点)はほぼ同じであった。

図-7(b)はせん断中に簡易手法で測定した鉛直変

位である。せん断にともない測定点が移動するという簡易的な測定であるが、上載荷重が小さい場合には圧縮したのちに膨張方向に進むという状況にあること、上載荷重が大きくなると、圧縮するだけという挙動が認められる。

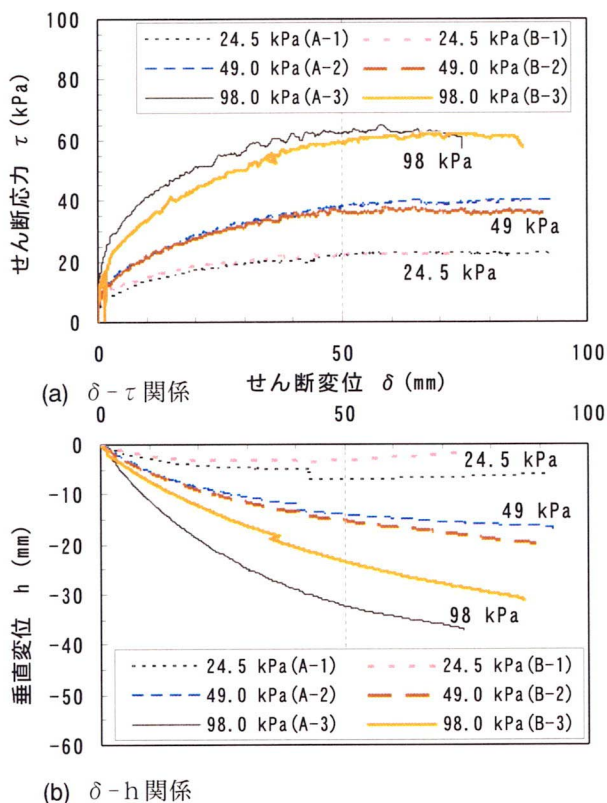


図-7 現場一面せん断試験の結果

図-8は、現場一面せん断試験の破壊点（最大せん断応力）と既往の室内実験結果^{1),3)}から試験施工計画策定のために仮に設定した脱水処理土の破壊基準線を示す。同図には、水中堆積部を想定した既往の実験結果^{1),3)}も示してある。今回の陸上施工部の結果は、水中堆積部の結果とほぼ重なっていること、仮に設定した破壊線よりも5 kPa以上も上位に位置していることがわかる。

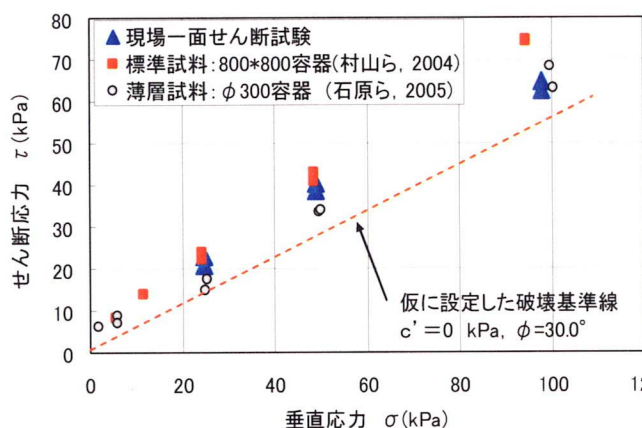


図-8 現場一面せん断試験の破壊点と既往の成果の関係

5. まとめ

本文では、脱水処理土を土木材料とするための物性値を評価するために計画・実行した試験施工の概要を紹介した。また、脱水処理土を用いることの有効性についての考え方も整理した。

試験施工は、計画した高さまで盛立てが完了した段階であり、別途計画した試験盛土内から採取した試料に対する室内試験は実施段階にある。現時点までに得られた脱水処理土に対する知見を以下にまとめる。

- 1) 脱水処理土を1:2程度で盛り立てられた。
- 2) 脱水処理土を水中に投入すると、その間隙比は2.5程度、陸上部では締固めの方法によって異なるが、間隙比は1.4～2.0となった。
- 3) RI コーンによって、脱水処理土の密度を推定することができる。本条件では、水中部で1.5～1.6 g/cm³、陸上部で1.4～1.6 g/cm³であった。
- 4) 脱水処理土は、一般的な締固め曲線を示し、今回の盛立て条件では、空気間隙が10%の締固めであった。
- 5) 今回盛り立てた脱水処理土地盤はいわゆる圧密降伏応力を有するものと考えられる。
- 6) 現場一面せん断試験の破壊点は、上載圧が100 kPa程度までの応力範囲では、仮の設計値として設定した破壊基準線よりも上位に位置し、粘着力成分を有する ϕ 材とみなしてもよいと思われる。

今後、盛土内から採取した試料に対する力学試験の結果もあわせて、脱水処理土の力学特性を総合的に評価し、材料定数を設定していく予定である。

謝辞：本事業を行うに当たり、関門航路浚渫土砂減容化技術検討委員会（委員長：善功企九州大学教授）から有意義な助言をいただいた。また、現場試験の実行・計測は、りんかい日産建設、東京ソイルリサーチが行った。関係各位に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 村山伊知郎，梶原清隆，竹田春美，吉野新造，山本修司，守屋正平，豊饒智樹，片桐雅明，寺師昌明：脱水処理した浚渫粘土土塊ならびに土塊群の力学特性，第49回地盤工学シンポジウム論文集，pp.91-98，2004。
- 2) 山本健吾，爲廣哲也：機械脱水処理した処理土塊群の水中における基礎特性，第49回地盤工学シンポジウム論文集，pp.119-126，2004。
- 3) 石原弘一，梶原清隆，竹田春美，吉野新造，山本修司，山崎真史，西村正人，片桐雅明，寺師昌明：水中・空中で堆積させた脱水処理土群の一面せん断特性，土木学会第60回年次学術講演会，pp.181-182，2005。
- 4) 松岡元，劉斯宏，山田章史，松山幸太郎，田代幸英，袴着正隆，江藤芳武：ロックフィル材の原位置一面せん断試験の実施例，第38回地盤工学研究発表会概要集，pp.549-550，2003。