

機械脱水処理土を用いた盛土の動態観測 と地盤工学的特性

MONITORING OF EMBANKMENT BY DEWATERED CLAY LUMPS AND THEIR GEOTECHNICAL PROPERTIES

中道正人¹・矢野米生²・右田宏文²・白井博巳³・佐藤哲也³・片桐雅明⁴
Masato NAKAMICHI, Yoneo YANO, Hirofumi MIGITA, Hiromi SHIRAI,
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 北九州市小倉北区浅野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 北九州市小倉北区浅野3-7-38)

³沿岸技術研究センター (〒102-0092 東京都千代田区集町3-16)

⁴正会員 工博 日建設シビル (〒112-0004 東京都文京区後楽1-4-27)

Dewatering technique for dredged clay has been developed, and has been able to produce huge volume of dewatered clay lumps. For the extension of the life of disposal pond, an additional bank is usually constructed. In this case, it is necessary to widen the revetment using hill-cut material, and the volume of hill-cut material is reduced from volume of disposal pond. If the dredged clay in the disposal pond is used as geomaterial for the additional bank, the volume reduced by hill-cut material does not generate. However, the characteristics of dewatered clay lumps are not clarified sufficiently. To confirm the characteristics of dewatered clay lumps, the field trial construction test was performed in the last year. This paper describes the monitoring results of embankment for 11 months from the end of construction and the characteristics of aggregate of dewatered clay lumps.

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

1. はじめに

港湾整備事業では、航路・泊地の維持や拡幅・増深などともなう浚渫工事において、大量の浚渫土が発生する。これら浚渫土の多くは、これまで土砂処分場に埋立処分されてきた。しかしながら、近年、土砂処分場の確保が困難となっており、土砂処分場の延命化につながる浚渫土の積極的な利用が全国で進められている。

今回、報告する土砂処分場の延命化策は、高含水比となっている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て製造した機械脱水処理土を護

岸の嵩上げ材料に用いて、受入れ容量を増加させるものである。この方法では、堆積していた浚渫土の体積分ならびに嵩上げによる増加分が受入れ容量となる。なお、後者には通常は山土が用いられる腹付け部で減じられる容量分(図-1(b)参照)も削減でき、さらなる延命化につながる。

問題は、機械脱水処理土地盤の特性が把握されていないことであった。これまでに、室内試験等によりその特性を把握し^{1)~3)}、嵩上げのための腹付け材となりうる可能性があること、それを受けて、実際の現場において護岸腹付けを想定した盛土の試験施工が計画・実行され、安定して盛り立てられたこと、

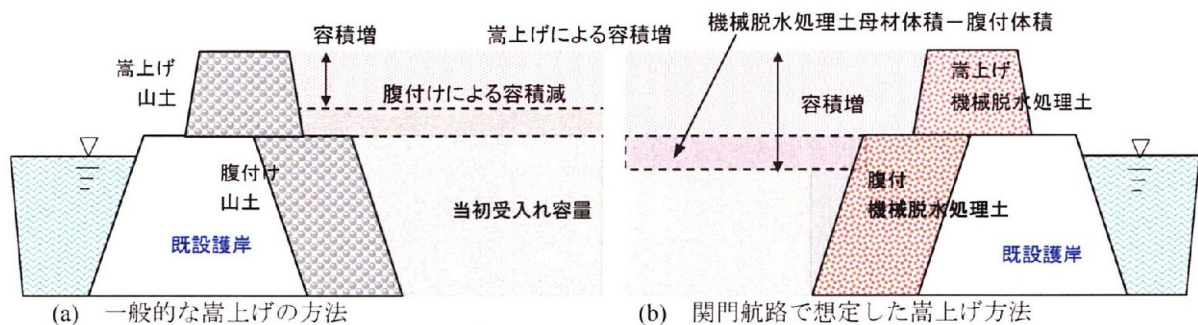


図-1 土砂処分場の嵩上げによる容量増加分の模式図

ならびに現場での物性値が把握できた⁴⁾。しかしながら、盛土後の挙動や基本的な物性は、まだ十分に把握されていない。

本文では、盛立て後 10 ヶ月までの動態観測結果、現地での調査・試験、サンプリング試料に対する室内試験などから、時間的な変化も踏まえた機械脱水処理土地盤の地盤工学的な特性を報告する。さらに、密度調整した試料の室内試験から、機械脱水処理土土塊群の基本的な特性を示す。

2. 試験施工の概要

試験施工の盛土は、2007 年 11 月から 2008 年 2 月までの間に、DL±0 m から DL+6 m まで盛り立てられた⁴⁾。ここでは、盛立てに用いた機械脱水処理土土塊の特性と盛立て施工時の概要を示す。

(1) 機械脱水処理土土塊の特性と評価

試験施工に用いた機械脱水処理土土塊（以下、土塊）は、供給圧を 4 MPa とした「フィルタープレス工法」で製造した。その原材料は、新門司沖土砂処分場 3 工区に堆積していた浚渫土砂で、その物理特性は、平均含水比：143 %，平均土粒子密度：2.63 g/cm³，液性限界：85～97 %であった。

土塊は、濾布をセットした濾室内に粘土スラリーを高圧で送り込み、浸透圧密させて製造される。それゆえ、土塊そのものの特性は浸透圧密の程度によって変化するため、土塊の品質管理が重要となる。

本試験施工では、土塊の含水比と針貫入勾配に着目して、データを収集した。図-2 に、2 回/日の割合で採取した土塊の正規化含水比（土塊含水比を原泥の液性限界で除したもの）ならびに、針貫入勾配の関係を示す。正規化含水比の平均値は 0.52 で、標準偏差は 0.02 であった。一方、針貫入勾配の平均値は 1.02 N/mm で、標準偏差は 0.04 であった。なお、針貫入勾配は一軸圧縮強度と相関性が報告され⁵⁾、強度としてのインデックスとして考えている。

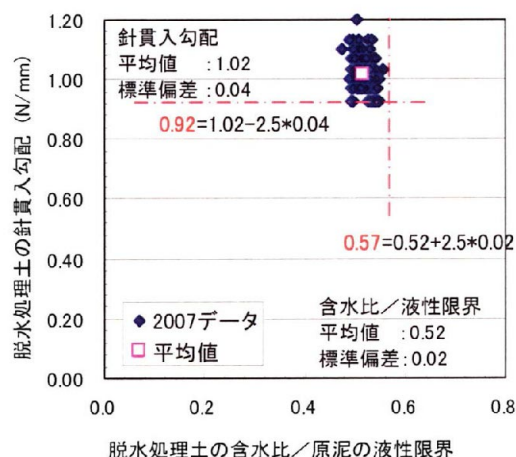


図-2 製造した機械脱水処理土土塊の特性

土塊の圧密度の程度が低い場合には、含水比が大

きくなり、針貫入勾配は小さくなる。土塊自体の品質を評価する観点から見ると、正規化含水比は上限で、針貫入勾配は下限で管理することが合理的となる。本試験施工では、後述するように、盛土を安全に盛れ、長期的にも安定していたという実績から、図-2 に示す特性を有する土塊は材料としての品質が確保できたと考えて、土塊のばらつきの範囲を設定することにした。すなわち、製造土塊としての品質管理値として、正規化含水比では平均値+2.5 倍の標準偏差内以下、針貫入勾配では平均値-2.5 倍の標準偏差以上、が提案できる。

(2) 試験盛土の概要

試験盛土は、図-3 に示すように、DL±0 m で整地された面から盛り立てられ、その形状は、天端幅：23.5 m，天端長さ：30 m，のり勾配：1：1.8，厚さ：6 m であった。平均水位は DL+2.35 m であったため、DL+4 m までは台船からバケットを用いて 1 m 層厚で盛り立てた。その後、DL+6 m までは、接地圧 23.5 kPa の重機を用いて 0.5 m ずつ撒きだした。この盛立過程では、大きな変状を生じることはなく、安定していた⁴⁾。なお、DL+4 m まで盛り立てた後に、重機で盛土表面を敷き均した。

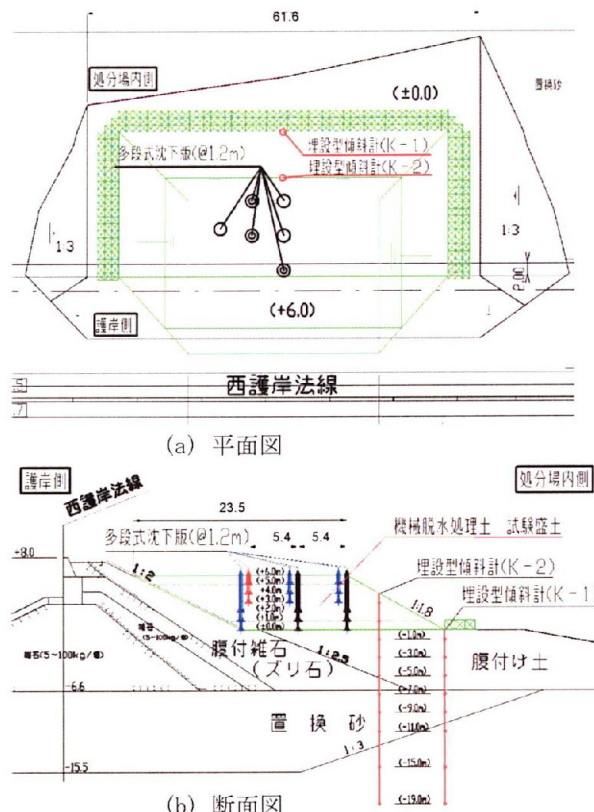


図-3 試験盛土の形状と測定位置（文献 4）に加筆）

盛立後は、経時的な変化を把握するため、のり面 2 箇所での水平変位、多段式沈下板による各層の圧縮量を 1 回/月の間隔で測定した。さらに、盛土部の力学特性の経時変化を把握するために、ラジオアイソトープコーンを併用したコーン貫入試験（RI-CPT）、平板載荷試験をほぼ 3 ヶ月ごとに行った。

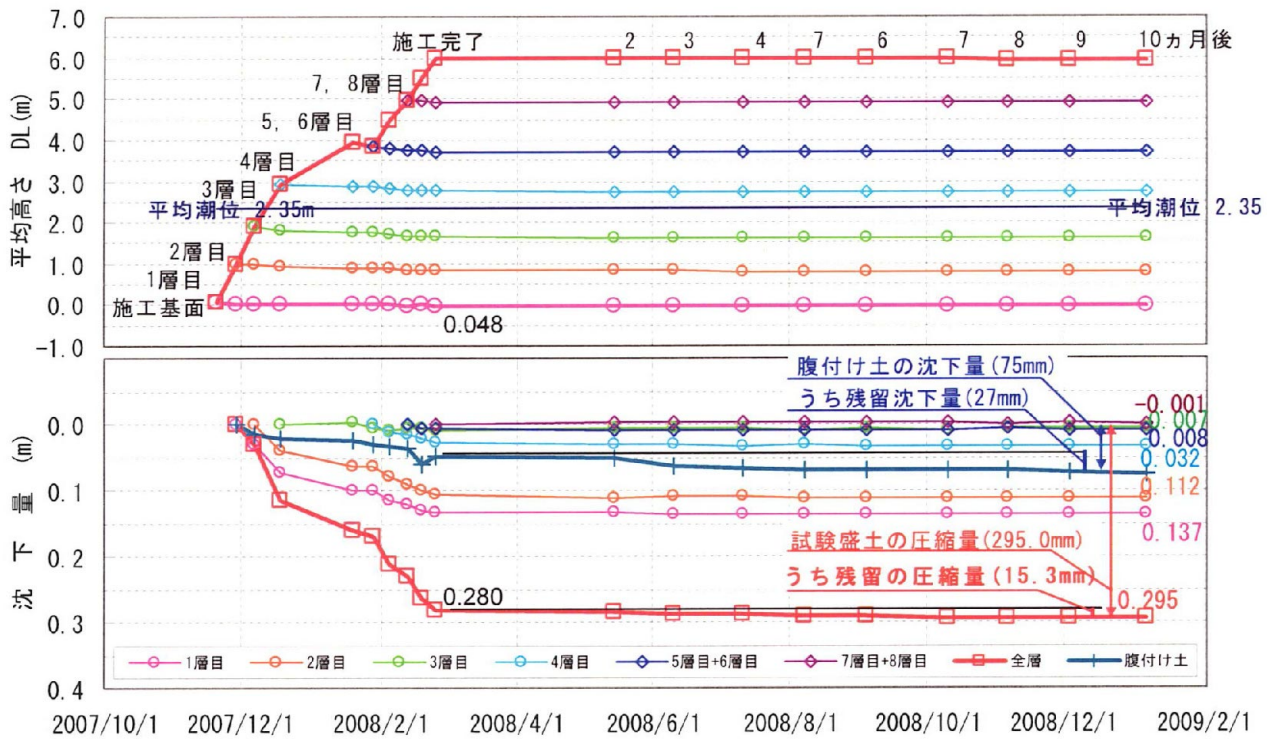


図-4 盛立過程から放置期間までの層別圧縮変化

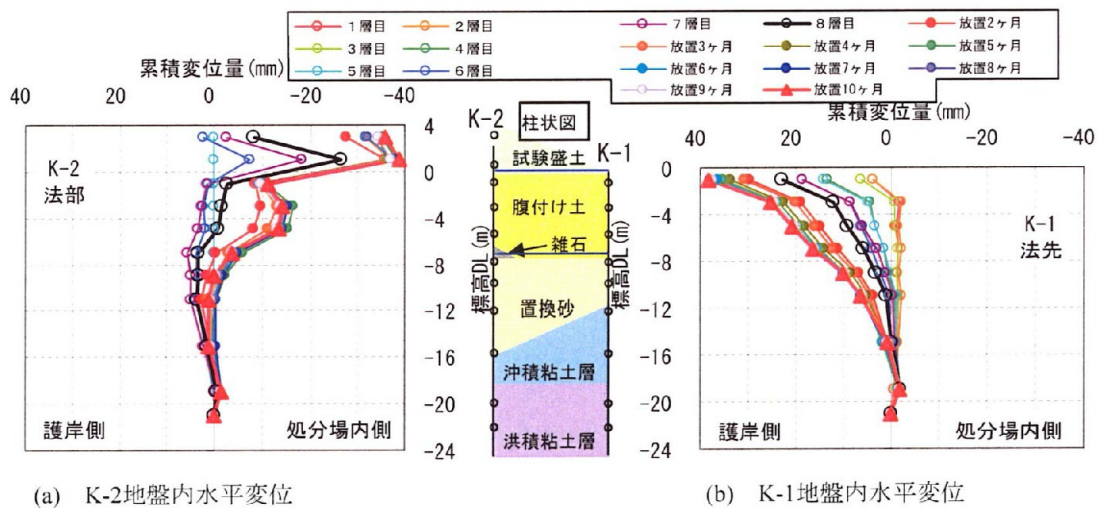


図-5 のり面内、のり尻における地盤内の水平変位

また、ブロックサンプリングによって採取した乱さない試料に対して、圧密試験ならびに一面せん断試験も行った。

3. 放置期間中の試験盛土の挙動と力学特性

(1) 観測結果と評価

図-4 に示すように、盛立て時に、DL±0 m 以下の腹付け土が 50 mm 程度沈下し、機械脱水処理土層で 280 mm 圧縮した。

図-5(b) に示すように、のり尻の水平変位は、盛立完了時（8 層目完了）に腹付け土内の DL-1 m の位置で 23 mm が護岸側方向に生じ、その後の放置期間でも同じ方向に 15 mm が生じた。一方、図-

5(a) に示すように、のり面内の水平変位は、盛土内の DL+1 m の位置で盛土完了時（8 層目完了）に 27 mm が処分場内側方向に発生し、その後の放置期間で同じ方向に 10 mm 生じた。これら水平変位は小さく、しかも、同じ間隔で測定している水平変位分布が時間とともに密になっていることから、変位が収束していることが確認できる。

以上、完成後 10 ヶ月であるが、その放置期間においての変形は小さく、収束している方向にあることが認められた。

(2) 力学特性の経時変化

a) RI-CPT 試験結果

図-6 に、盛立て完成 3 ヶ月後（RIC-1 シリーズ）、6 ヶ月後（RIC-2 シリーズ）、10 ヶ月後（RIC-3 シ

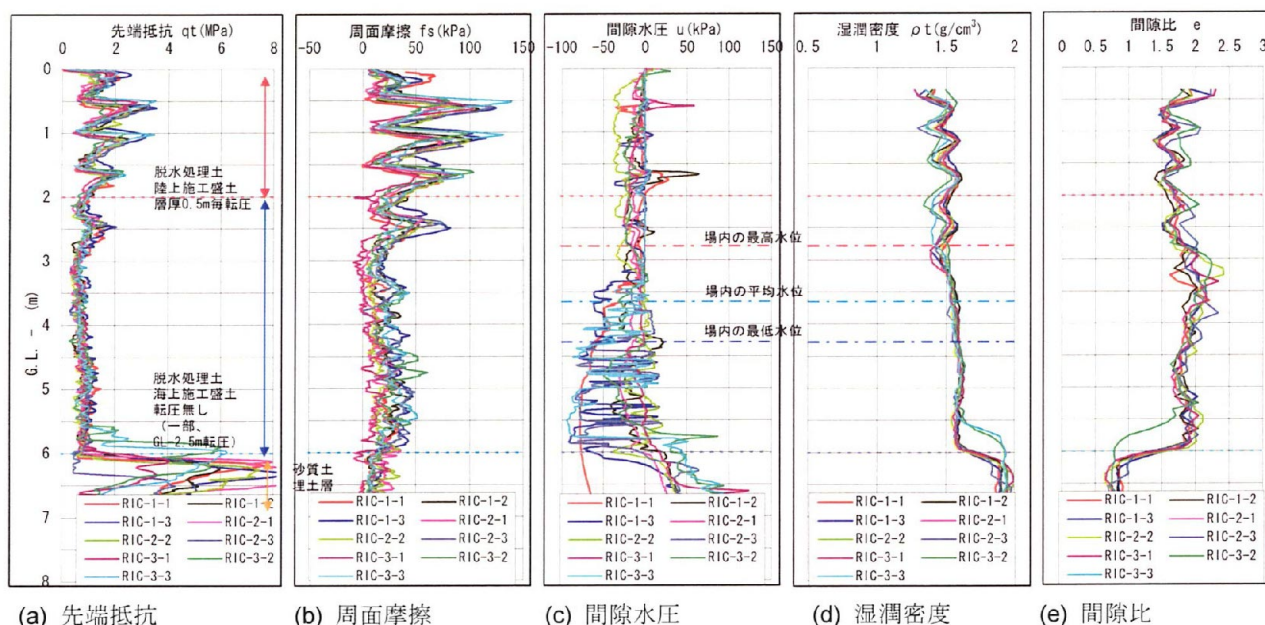


図-6 RI-CPTの結果

リーズ)に行った RI-CPT の結果を示す。腹付け土 (砂質土) は、GL-6 m 以下にあり、バケットを用いて盛り立てた水中施工部は GL-2 m 以下、表層 2 m 程度が 50 cm 撤出しによる陸上施工部である。処分場内の水位は、外海の潮位と連動して図に示す範囲を取り、平均値は GL-3.65 m(DL+2.35m)であった。

全分布とも多少のばらつきはあるものの、ほとんど重なっており、経時的な変化はないと判断できる。各測定値を詳細に見ると次のような特徴がある。先端抵抗 (a)図)と周面摩擦 (b)図)の結果は、GL-2.5 m 程度まで値が高いところとそうでないところがみられ、敷均しの効果が認められる。その下の水中部では、先端抵抗ならびに周面摩擦とも陸上施工部よりもそれらの値は小さく、密度が低いことが予測される。間隙比 (e)図)の分布を見ると、水中部で 1.7~2.2、陸上部で 1.5~1.8 程度と、これらとおおむね対応していることがわかる。

RI で測定した湿潤密度 (d)図)の分布も、先端抵抗、周面摩擦と間隙比の分布と同様で、敷均しの影響が認められる。なお、この現場密度試験の結果は、 $1.42 \sim 1.52 \text{ g/cm}^3$ と陸上施工部で測定された値とほぼ一致した。

b) 平板载荷試験

盛立て完了直後、放置後 3 ヶ月、6 ヶ月、9 ヶ月において平板载荷試験を行った。経過時間とともに、沈下量-载荷圧力関係は、その折れ曲がる载荷圧力が大きくなる方向に進んだ。特に、9 ヶ月の結果は明確な曲線部が認められず、極限支持力を確定することはできなかった。

平板载荷試験の結果から求められる地盤反力係数と極限支持力の経時変化を図-7 に示す。なお、放置後 9 ヶ月の極限支持力を確定できなかったため、試験で求めた最大値以上と表記してある。多少ばらつきはあるもの、両者は経過時間とともに増加していることがわかる。

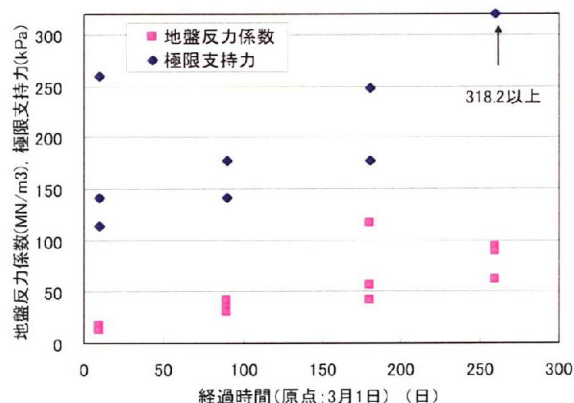


図-7 平板载荷試験結果から得られる諸量の経時変化

c) ブロックサンプリング試料の圧縮性・透水性

盛土 8 層目から、盛立後 6 ヶ月ならびに 9 ヶ月に採取した試料に対して行った圧密試験の結果 (それぞれ、ブロック-1-1、-1-5、ブロック-2-1、-2-5) を図-8 に示す。ここで、間隙比とは、土粒子に対する間隙の比率¹⁾であり、土塊に含まれている間隙水も間隙としている。また、同図には、土塊そのものに対して行った段階载荷圧密試験の結果 (土塊 1、2) も示してある。また、後述する突固め試料、水中堆積相当試料の結果もあわせて示してある。

ブロック試料の初期間隙比は 1.73~1.94 で、図-6(e)に示した陸上施工部のばらつきの幅よりも小さかった。ブロック試料の圧縮曲線は、低圧力範囲では圧縮性が低く、ある圧力を超えると圧縮性が高くなった。この特性は「粘土の圧縮曲線」と同様であるから、粘土の圧密降伏応力と同じ定義で降伏点を求め、それを「見かけの圧密降伏応力」としたところ、4 供試体とも 180 kPa 程度であった。また、最終圧力段階 (640 → 1280 kPa) の傾きは 0.7 程度で、土塊そのものならびに水中堆積部の圧縮指数とほぼ等しかった。

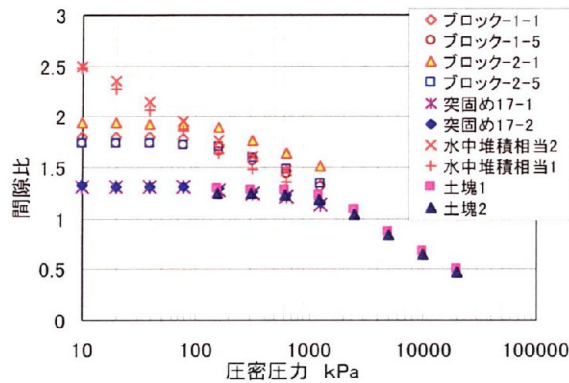


図-8 土塊・土塊群の圧縮曲線

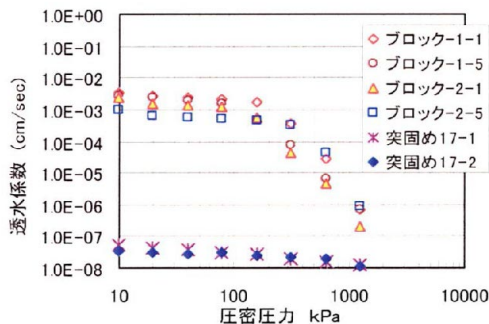


図-9 ブロック試料・突固め試料の透水性

図-9 は、図-8 に示したブロック試料ならびに突固め試料に対して行った圧密試験に併用して実施した透水試験の結果である。透水試験は、段階載荷圧密試験の各載荷段階の載荷 22 時間後に、ブロック試料では定水位、突固め試料では変水位で行った。

ブロック試料は、見かけの圧密降伏応力に達するまでの圧力領域の透水係数が 1.0×10^{-3} cm/sec のオーダーにあり、見かけの圧密降伏応力 (180 kPa 程度) を超えると、透水係数が低下し、1280 kPa の圧力下では 1.0×10^{-7} cm/sec のオーダーとなった。

d) ブロックサンプリング試料の圧密定圧一面せん断試験

図-10 に、盛土 8 層目から、盛立直後、盛立後 6 カ月 (BS-1)、11 カ月 (BS-3) で採取した試料に対する圧密定圧一面せん断試験の結果を示す。同図には、別途密度調整した供試体に対する破壊点ならびに現場一面せん断試験の結果⁶⁾も示してある。経時的な変化を見ると、盛土直後に採取した試料のばらつきの範囲内に、BS-1、BS-3 の結果が位置しており、この期間では特性は変化していないと評価でき、文献 4) の結果から提案している破壊基準線を十分満たしている。なお、実行した試験の応力範囲から、基準線の適用範囲は 200 kPa 以下としている。

(3) 密度調整した試料の力学特性

a) 密度調整した試料の圧縮性・透水性

図-8 には、飽和単位体積重量 17 kN/m^3 となるように突き固めた試料 (突固め 17-1、-2)、飽和単位体積重量 14.5 kN/m^3 に調整した試料 (水中堆積相当試料 1、2) の結果もあわせて示してある。なお、水中堆積時を想定した土塊群の飽和単位体積重量は、中道らが報告した試験施工の結果⁴⁾である。

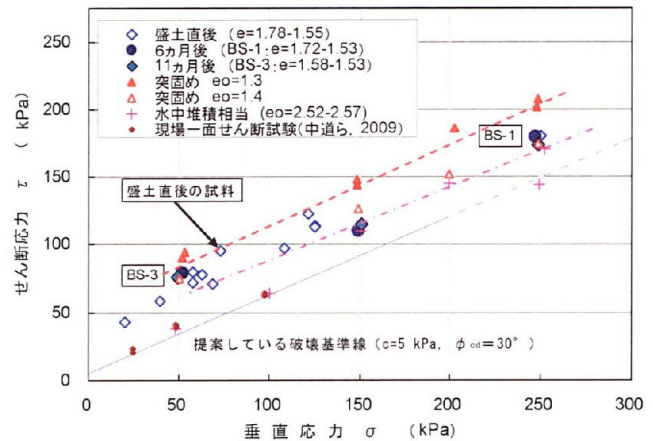


図-10 土塊群の破壊点・破壊線

突固め試料は、初期間隙比が 1.3 程度で、800 kPa 程度までの圧縮曲線の傾きは 0.1 程度であった。さらに圧力を加えると、圧縮曲線の傾きが大きくなり、土塊そのものの圧縮曲線と重なった。傾きが一樣とみなせる領域は明瞭ではないが、土塊そのものの圧縮曲線に重なったとすると、見かけの降伏応力は 1600 kPa 程度となる。

一方、水中堆積相当試料の初期間隙比は 2.55 程度であったため、見かけの圧密降伏応力は 10 kPa 程度とみなすことができる。

このように、見かけの圧密降伏応力は、初期間隙比が大きい場合には低く、間隙比が小さい場合には高い。図-11 に、見かけの圧密降伏応力を対数で表したものと初期間隙比の関係を示す。データ数は少ないが、見かけの圧密降伏応力を対数表示したものと初期間隙比 (土粒子に対する土塊群の間隙比) が線形関係にあることがわかる。

突固め試料に対する段階載荷圧密試験の各載荷段階での透水試験の結果は図-9 に示してある。締固め試料の透水係数は各載荷段階とも 1.0×10^{-7} cm/sec 以下であり、粘土地盤のそれと同程度であった。このように、締固め方法によって、透水性を低下させてしまうということがわかる。

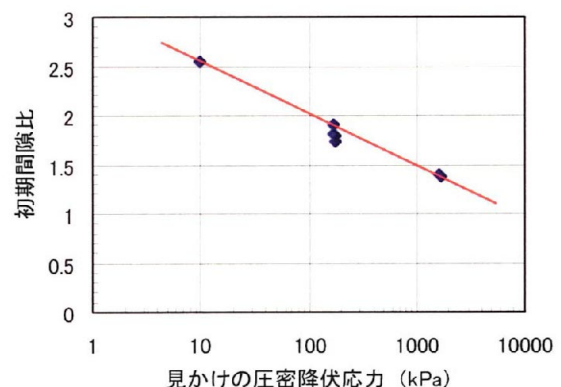


図-11 見かけの圧密降伏応力と初期間隙比の関係

b) 密度調整した試料の一面せん断試験

図-10 には、飽和単位体積重量 17.0 、 16.5 kN/m^3 となるように突き固めた試料 (初期間隙比はそれぞれ、1.3、1.4)、ならびに水中堆積相当試料 (初期

間隙比：2.52-2.57)の破壊点が示されている。

初期間隙比(密度)の違いによって、破壊点の位置が異なっている。すなわち、密度が高いものほど上位に位置し、水中堆積相当のものが下位にある。それぞれの試験結果を直線近似して求めた破壊線は、その傾きに差異はほとんどないが、圧密圧力がゼロの点での粘着力成分が大きく異なり、密なものほど粘着力成分が大きくなった。なお、図-11に示したように、土塊群の初期間隙比によって圧密降伏応力が異なることを述べたが、この破壊線は過圧密・正規圧密状態を区別していない。

(4) 突固めに対する検討

ある種の粘性土は、過度の突固めエネルギーを与えると強度が低下する、いわゆるオーバーコンパクションが見られる。ここでは、機械脱水処理土に対する同特性を確認するための実験を行った。試料容器は、直径：150 mm のものを用いた。

図-12は、突固め回数と乾燥・湿潤密度の関係を示す。突固め回数が45回以上では密度の変化はそれほど大きくない。突き固めた試料に対して実施したコーン貫入試験の結果を図-13に示す。コーン強度は、突固め回数とともに増加したが、ある回数以降では低下した。これはオーバーコンパクションではあるが、低下量は極端ではない。

加水によって含水比が50%から60%と増加する

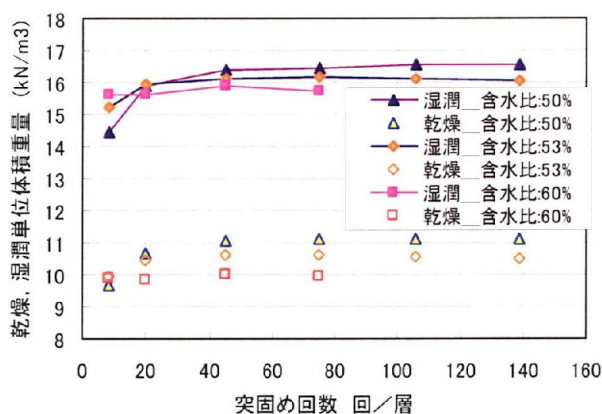


図-12 突固め回数と乾燥・湿潤単位体積重量の関係

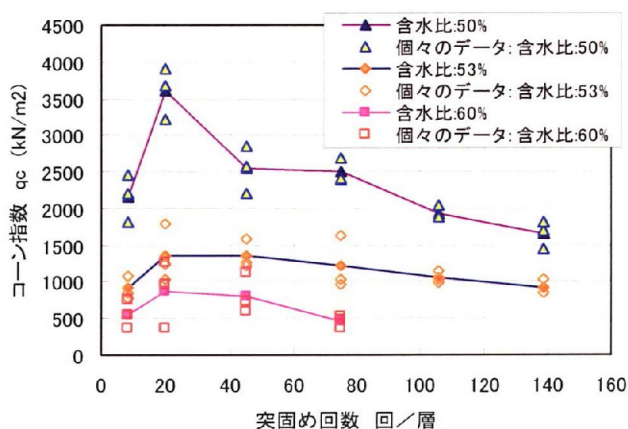


図-13 突固め回数とコーン指数の関係

につれ、突固めによって収束する両単位体積重量が小さくなっていることがわかる。これはB-b法により求めた最適含水比が50%程度であったこと⁴⁾に起因している。また、コーン指数は、含水比が高いものほど小さくなり、締め固まっていなかったことと関連している。この含水比を変化させた実験は、降雨等によって含水比が変化する際の強度とオーバーコンパクションを意図したものである。このことは、施工の実施条件として、実施可能な降雨量をあらかじめ設定しておくことが必要となることを意味する。

4. まとめ

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 機械脱水処理土の品質は針貫入勾配と正規化含水比に基準値を設定することで確保できる。
- 2) 完成後10ヶ月ではあったが、機械脱水処理土盛土は、大きな変形が生じず、安定していた。
- 3) 盛土内部ならびに表層付近の力学特性は、この期間でほとんど変化しなかった。
- 4) 完成後11ヵ月までの盛土から採取したブロックサンプリング試料の破壊基準線は、提案している破壊基準線よりも十分安全側にある。
- 5) 機械脱水処理土に過度に締め固めエネルギーを加えると、適切な場合よりも地盤の強度は低下するが、その低下量は極端ではない。

謝辞：本事業を行うにあたり、関門航路浚渫土減容化検討委員会（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。関係各位に感謝の意を表します。

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・空气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) 中道正人，矢野米生，右田宏文，山本修司，佐藤哲也，片桐雅明：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，海洋開発論文集，Vol.27，pp.357-362，2008。
- 5) たとえば，岡田繁，泉谷泰志，飯塚友之助，堀内澄夫：針貫入試験による軟弱な地山強度の推定方法，父と基礎，Vol.33，No.3，pp.35-38，1985。
- 6) 中道正人，矢野米生，右田宏文，山本修司，佐藤哲也，本村祐輔，片桐雅明，大野雅幸：機械脱水処理した浚渫粘土による盛土上での現場一面せん断試験，土木学会西部支部研究発表会，pp.547-548，2009。