

## 浚渫脱水処理土リサイクル築堤工法（DRE工法）について

白井博己\*・佐藤哲也\*\*・中道正人\*\*\*・矢野米生\*\*\*\*・右田宏文\*\*\*\*\*・片桐雅明\*\*\*\*\*

\* (財) 沿岸技術研究センター 調査役

\*\*前 (財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員

\*\*\*国土交通省 九州地方整備局 関門航路事務所 所長

\*\*\*\*国土交通省 九州地方整備局 関門航路事務所 海洋環境課長

\*\*\*\*\*前 国土交通省 九州地方整備局 関門航路事務所 品質管理課 総合評価係長

\*\*\*\*\* (株) 日建設シビル 地盤調査設計部門 技術長

浚渫粘土から間隙水を強制的に取り除いて製造した機械脱水処理土を浚渫土処分場の護岸の腹付け及び嵩上げの土木材料として用いる際の設計値ならびに留意点について報告する。

キーワード：DRE工法, 機械脱水処理土, 浚渫土砂処分場, 力学特性

### 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で、大量の浚渫土が発生する。これらの浚渫土の多くは、これまで土砂処分場に埋立処分されてきた。しかし、近年、土砂処分場の確保が困難となってきており、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。

本報告は、関門航路事務所で検討してきた一連の成果<sup>1)</sup>を踏まえ、浚渫粘土を機械脱水処理して製造した粘性土土塊を、腹付け・築堤の土木材料として用いる際に必要となる設計値および留意事項の概要を取りまとめたものである。なお、表題のDREは、Dredging-Dewatered clay lumps-Recycling-Embankment の頭文字である。

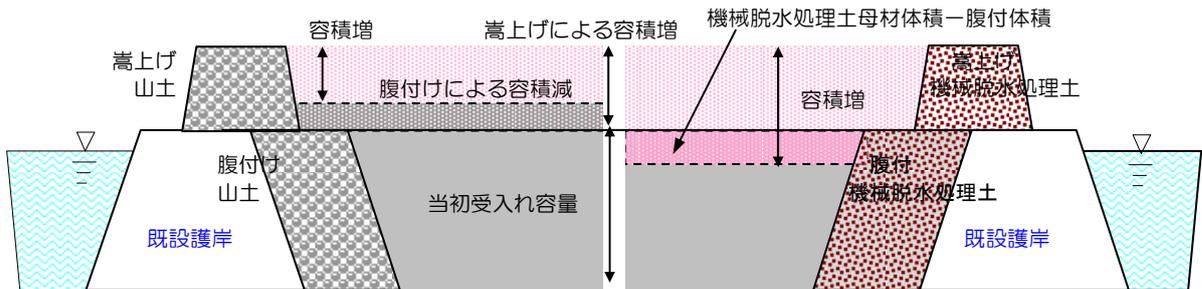
### 2. 開発の経緯

関門航路は、九州と本州を隔てる関門海峡を中心とした長さ45 kmの国際航路である。この航路の周防灘側には軟弱な粘性土が堆積し、航路の増深・拡幅によって生じる浚渫土のほとんどは高含水比で大きな体積を占めたままの状態です砂処分場に埋立処分されている。現在、使用している土砂処分場の今後の処分可能容量も年々少なくなっている。

このため、関門航路事務所では、既存の3工区の入受容量の増加を目的に護岸の嵩上げが計画された。通常、既設護岸の嵩上げを行う場合、当初計画の護岸に対して腹付けが必要となる。

一般的に腹付け・築堤材には、山土などの土木材料が用いられる。しかし、山土を用いると、図-1(a)に示すように、その腹付けの容積分だけ受入容量が減少する。仮に、浚渫土から製作した機械脱水処理土を腹付け材に用いることができれば、腹付け部に相当する土量を浚渫土から製造することになり、図-1(b)に示すように、その分だけ、受入容量が増加することになる。しかも、母材とする原泥の含水比が高ければ、機械脱水処理土の母材の体積と腹付け部の体積の差が大きくなり、その分、受入容量が増加することから、減容化の効果は大きくなる。

このような背景の下、関門航路事務所では、浚渫粘土を機械脱水処理した粘性土土塊が腹付け材として妥当かどうかの適用性を確認するため、試験工事を含む一連の検討<sup>1)~4)</sup>を行ってきた。以下、これまで検討してきた機械脱水処理土を腹付け・築堤に用いることを念頭に求めてきた機械脱水処理土の物性値をとりまとめ、設計値ならびに留意事項を紹介する。



(a) 一般的な嵩上げの方法

(b) 関門航路事務所で想定した方法

図-1 土砂処分場の延命化方策

### 3. 機械脱水処理土の特性

#### 3.1 前提条件

供給圧を4MPaとした「フィルタープレス工法」で製造する機械脱水処理土の原泥は液性限界が70～100%，塑性指数が40～70の浚渫土で含水比が高いものを用いることが効率的である。また、原泥の砂分含有量は少ないことが望ましい。

フィルタープレス工法において、粘土スラリーに砂分が含まれていると、シャフト内に砂が詰まり脱水の障害となる場合がある。また、濾布などの磨耗や目づまりなども問題になる。なお、試験工事に用いた原泥の砂分含有量は最大4.6%であった。

#### 3.2 土塊の品質管理

土塊の特性は、土塊を盛り立てた土塊群（地盤）の特性に影響を与える。特に、土塊の非排水せん断強さが影響すると考え、それを簡便に把握できると考えられる針貫入試験<sup>5)</sup>の結果を、図-3にまとめた。今回の試験工事で得られた強度定数を保障するため、土塊の強度としては試験工事に用いた土塊における針貫入勾配<sup>註)</sup>の最小値以上とすることにした。なお、針貫入勾配の平均値は1.02 N/mm、標準偏差は0.04であった。

註：針貫入勾配とは、直径：0.37 mmの木綿針を、軸変位速度：0.1 mm/minで貫入したときの5 mm貫入時の貫入抵抗～貫入量の傾き。

土塊の特性を評価する物理量としての含水比は、液性限界で除した正規化含水比を用いて整理し、図-2にまとめた。正規化含水比が高くなると、圧密度が低く、強度も低下する。今回の試験工事で安定に盛れたため、今回得られたデータの範囲が材料特性を保障するものと考えて、規定値は最大値以下とした。なお、正規化含水比の平均値は0.52、標準偏差は0.02であった。

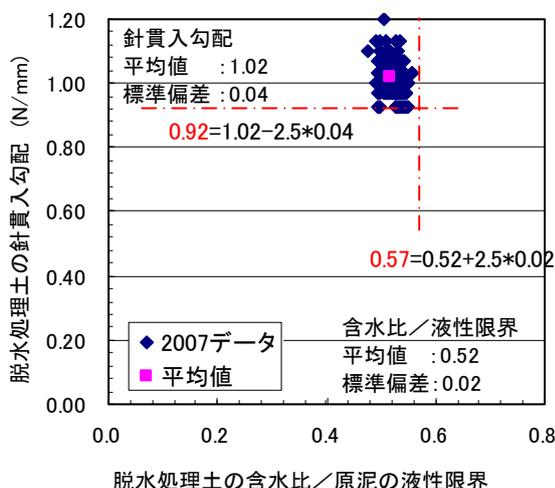


図-2 土塊の含水比／原泥の液性限界と針貫入勾配の関係

### 4. 腹付け・築堤の設計

#### 4.1 設計の基本的な考え方

浚渫土から間隙水を強制的に搾り出して粒状体とした土塊は取扱いやすくなるとともに、透水性がよく、拘束圧力に応じてせん断抵抗が変化するいわゆるφ材とみなすことができた。しかも、拘束圧力が作用していない状態でもせん断抵抗を發揮する軽量の土木材料であった。

このように、土塊群は、粘着力成分を有する砂質材料と見なすことができ、これを用いた腹付け・築堤の設計においては、土の設計方法を用いることができる。

#### 4.2 設計に用いる機械脱水処理土の地盤定数

関門航路周辺の浚渫土を用い、4MPaの供給圧力で製造した、品質管理され所定の特性を有する機械脱水処理土を腹付け・築堤に用いる際の設計用の地盤定数は以下のとおりである。

##### (1) 単位体積重量

土塊群は、締め固めることによって、単位体積重量が変化する。また、水中施工部では、基本的に締め固めることはできない。したがって、機械脱水処理土を用いる状況に応じて、単位体積重量を設定するものとする。

(水中施工部)

投入堆積時（初期状態）： $\gamma_t = 14.5 \text{ kN/m}^3$   
 上載圧により変化（表-1参照）

(陸上施工部)

$\gamma_t = 16.5 \text{ kN/m}^3$

上記の設定値は、2007年に実施した試験工事の結果<sup>6)</sup>をベースとしたものである。ここで、水中施工部とは、バケットを用いて1m厚さとなるように盛り立てた部分であり、陸上施工部は、接地圧25.5 kPaの湿地ブルドーザー(6.8 t)で50 cm厚さになるように撒きだした部分である。表-1は、e-logP曲線がほぼ直線となることから、 $\log \sigma$ と単位体積重量が線形と仮定したときの上載圧と単位体積重量の関係である。また、この施工方法と異なる方法を用いる場合には、この設定値となる仕様を前もって確認しておく必要がある。

表-1 水中堆積部の単位体積重量と上載圧の関係

上載圧 kPa	単位体積重量 kN/m <sup>3</sup>	上載圧 kPa	単位体積重量 kN/m <sup>3</sup>
10	14.50	110	16.10
20	14.96	120	16.16
30	15.23	130	16.21
40	15.43	140	16.26
50	15.58	150	16.31
60	15.70	160	16.35
70	15.80	170	16.39
80	15.89	180	16.43
90	15.97	190	16.47
100	16.04	200	16.50

(2) 破壊基準

土塊群の破壊基準は、締固めをとまなわれない施工部および陸上施工部ともに、上載圧200 kPaを上限とし、以下のとおりとする。

$$c_{cd} = 5 \text{ kPa}, \phi_{cd} = 30 \text{ 度}$$

なお、上載圧が所定の値を超える場合には、別途、適切な試験や検討を加えて、破壊線を設定することも可能と考える。

室内試験から求めた破壊点と破壊基準を図-3 に示す。完成後放置された盛土から採取したブロックサンプリング試料も含めて、圧密圧力が200 kPaまでの条件で提案した破壊基準線よりも、各破壊線は上位に位置している。

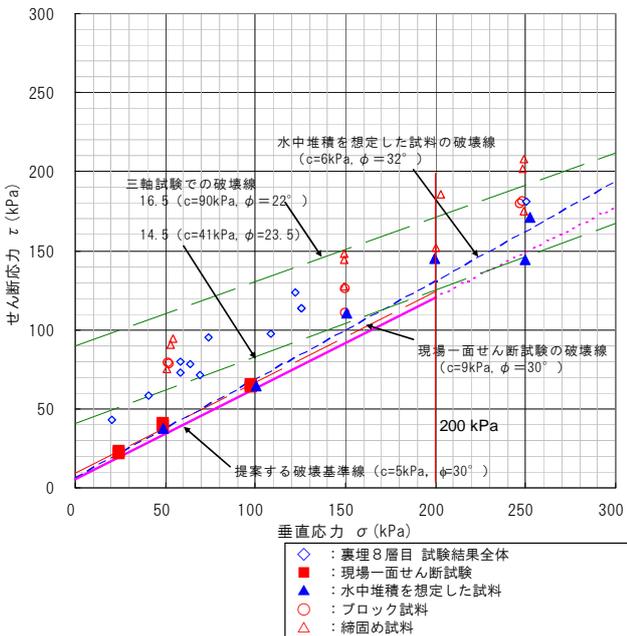


図-3 室内試験から求めた破壊点と破壊基準線

(3) 圧密定数

土塊群の圧密定数は、必要に応じて現場条件を再現した試験を行って合理的に設定することを原則とする。このような実験を行えない場合には、既往の測定例<sup>7),8)</sup>から、おおむね次の値を用いることができる。

- 圧縮指数  $C_c$  0.7
  - 膨潤指数 (再圧縮指数) 0.1
  - 圧密係数 10,000  $\text{cm}^2/\text{day}$  以上
- 見かけの圧密降伏応力は堆積時の間隙比から、図-4 を用いて設定

これらより、設計に用いる水中堆積部の圧縮曲線は図-5 に示す緑色の二重線で示した圧縮曲線となる。この設計用圧縮曲線を用いて、水中堆積部の設計における圧縮量の算定することにする。

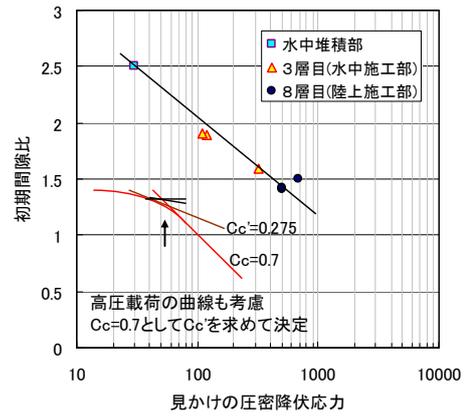


図-4 堆積時の間隙比と見かけの圧密降伏応力

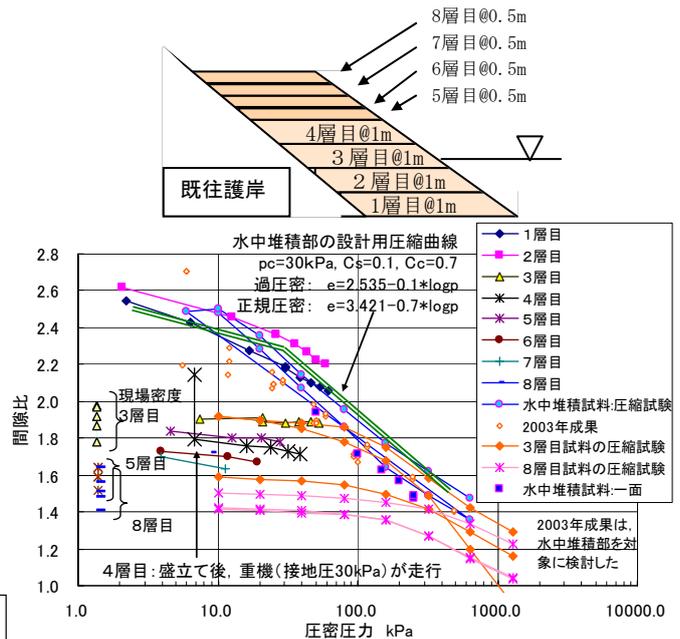


図-5 実測データと水中堆積部の設計用圧縮曲線

(4) 透水係数

陸上施工部ならびに水中施工部の土塊群の透水係数は、 $1.0 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ が確保できる。ただし、上載圧が200 kPaを超えた場合には、極端に低下していく(図-6参照)。

なお、土塊群を過度に締め固めると、間隙比が低下し、粘性土地盤程度の透水係数 ( $1.0 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$ 以下)まで低下する。

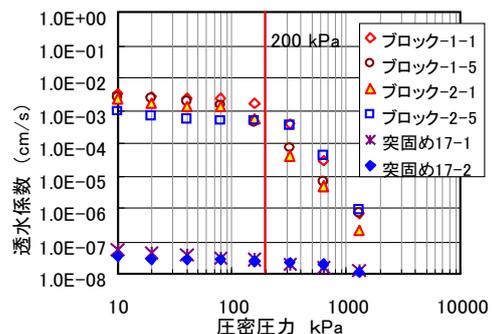


図-6 ブロック試料・突固め試料の透水性

図中のブロック-1-1, -1-5は, 盛土8層目から盛立後6ヵ月, ブロック-2-1, -2-5は, 盛立後9ヵ月に採取したブロックサンプリング試料である.

### 4.3 腹付け・築堤の際の課題

#### (1) 土砂処分場内の泥面高さの予測

腹付け・嵩上げの施工中にも, 浚渫土は投入され, 泥面は上昇していく. 機械脱水処理土の母材として, 処分場内の浚渫土が使われるので, その分, 泥面は下降する. これら, 処分場内の浚渫粘土の土量バランスを考えた埋立予測解析を行い, 既存護岸での計画高さであるDL+7.0 mに達する時期を予測することが必要となる. この検討には, 腹付け分の面積が減じられていることなど, 処分場内の状況に合わせた条件設定が必要である. さらに築堤完成後の目標高さに達する時期を予測することも重要となる.

腹付け・築堤にあたっては, 浚渫土の自重をカウンターに用いて, 築堤の埋立側への円弧すべりを抑制する設計を行うことにより, 経済的な築堤を構築できる. 従って, 腹付け施工期間や築堤施工期間と泥面高さの予測が重要になる. また, 泥面高さの経時変化は施工計画にも反映できる.

#### (2) 浸透流が生じる築堤の安定性

浚渫土が投入され処分場内の水位が外海水位よりも高くなると, 堤体内に浸透流が生じる. 堤体の透水性が低ければ堤体を浸透する水量は少なく, 逆に堤体の透水係数が高ければ浸透水量は多くなり, 堤体内の浸潤線の位置が高くなる. 高透水性を有する堤体の場合, その形状にも依存するが, 浸潤線が堤体表面に達することも考えられる. この場合, 浸潤線がのり面に達した位置では, 堤体の土粒子が流出していき, 堤体は徐々に侵食されていくことになる.

したがって, 機械脱水処理土を堤体に用いる際には, 浸透流解析を行い, 必要に応じてドレーン部の構築や遮水シートの敷設などを検討しておく必要がある.

## 5. おわりに

機械脱水処理土を築堤材料に用いる際の物性値を評価するため, 試験工事を含む一連の検討を行ってきた.

本検討から得られた機械脱水処理土の特性は次のとおりであった.

- 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) 浚渫土から間隙水を強制的に搾り出して粒状体とした土塊は取扱いやすくなるとともに, 透水性がよい. ただし, 土塊群を過度に締め固めると, 間隙比が低下し, 粘性土地盤程度の透水係数に低下する.
- 3) 拘束圧力に応じてせん断抵抗が変化する, い

わゆるφ材とみなすことができる.

以上の特性から, 機械脱水処理土を腹付け・築堤に用いる際の主要な設計値として,  $c_{cd} = 5 \text{ kPa}$ ,  $\phi_{cd} = 30 \text{ 度}$ , 単位体積重量は陸上施工部で  $\gamma_t = 16.5 \text{ kN/m}^3$  を提案した.

## 6. 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. ここに関係各位に感謝の意を表します.

## 参考文献

- 1) 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料性能を求めための現地試験施工, 海洋開発論文集, Vol.27, pp.357-362, 2008.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 石原弘一, 山中道徳, 右田宏文, 山本修司, 佐藤哲也, 片桐雅明, 大野雅幸, 西村正人, 寺師昌明: 脱水処理土の力学特性に及ぼす水浸時間の影響, 第7回環境地盤工学シンポジウム, pp.299-302, 2007.
- 5) 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, 土と基礎, 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, 寺師昌明: 脱水処理土盛土上における現場支持力試験の数値解析, 第63回年次学術講演会概要集, 第3部, pp.883-884, 2008.
- 7) 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料性能を求めための現地試験施工, 海洋開発論文集, Vol.27, pp.357-362, 2008.
- 8) 中道正人, 矢野米生, 右田宏文, 白井博巳, 佐藤哲也, 本村祐輔, 片桐雅明, 大野雅幸, 西本秀憲: 機械脱水処理土群の圧密ならびに透水特性, 第44回地盤工学会研究発表会概要集(投稿中).