

機械脱水処理した浚渫粘性土の力学特性

佐藤哲也*・山中道徳**・右田宏文***・片桐雅明****

* (財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員

** 前 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

*** 国土交通省 九州地方整備局 関門航路事務所 建設管理官

**** (株) 日建設計シビル 土質研究室 主任研究員

浚渫土処分場の護岸の腹付及び嵩上げ材として、浚渫粘土から間隙水を強制的に取り除いて製造する機械脱水処理土が適用できるか否かを検討した。脱水処理土は、浚渫土から製造されるため、浚渫土の有効利用及び処分量の削減が図れる。本文では、機械脱水処理土の試験結果から評価した物性を取りまとめる。

キーワード：リサイクル材、機械脱水処理土、浚渫土砂処分場

1. はじめに

関門航路は、山口県下関市と福岡県北九州市に挟まれた関門海峡を縦断する、全長 45km の国際航路であり、関門港を門戸とする西日本経済圏の中心部と、東京湾、大阪湾などのわが国の主要経済圏及び中国、韓国などの東アジアとを結ぶ海上輸送ルートとして日本の産業経済活動を支えている。この関門航路では、航路維持ならびに大型化する船舶に対応するための浚渫が行われている。現在、この関門航路等で発生する浚渫土砂の多くを、新門司沖土砂処分場(第3工区)で処分しているが、埋立天端高さDL+7.5mに平成25年頃で達し、満杯になることが予測された。新土砂処分場の建設が急がれるところであるが、多くの課題を解決するためには時間を要する。今後も発生する浚渫土砂の処分場として、この土砂処分場の処分容量の拡大を図ることが、重要な課題となっている。本文では、嵩上げ護岸の築堤材料として検討している機械脱水処理土の課題を抽出し、試験結果から物性を評価する。

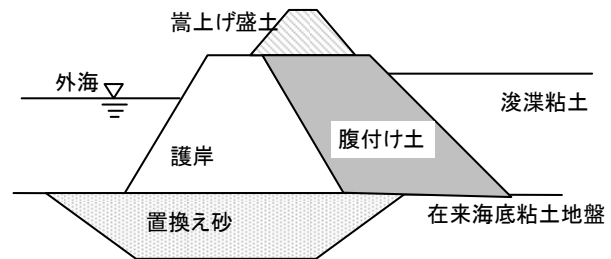


図-1 土砂処分場の容量確保の方策図¹⁾

浚渫土の減容化は、浚渫土を処分場に投入する前に行う事前処理(機械脱水処理)と処分場内に堆積した後に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も適用できる大型化されたプラントも構想されている。一方、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。

2. 護岸の嵩上げによる容量増加

2.1 処理能力の拡大方策

既存の土砂処分場の処理能力を拡大する方策は、大きく2つある。ひとつは、護岸を嵩上げて、受入れ容量を増加させること(受入れ容量の増加)である。他方は、投入する浚渫土の容量を減らすこと(浚渫土の減容化)である。これには、浚渫土中に含まれている間隙水を絞り出すことのほかに、他所で有効利用するなど埋立処分しないことも含まれる。

受入れ容量の増加は、既存の護岸を嵩上げるので、護岸の安定性を確保するための対策、たとえば、築堤のための腹付けの構築などの対策(図-1)が必要となる。

2.2 機械脱水処理土による嵩上げと課題

関門航路浚渫事業における土砂処分場の延命化対策に、護岸を嵩上げて、受入れ容量を増加させることが有力な候補として挙げられた(図-1参照)。護岸の嵩上げには、一般に護岸背後の腹付けが必要で、腹付け、築堤には、山土などが用いられている場合が一般的である。本検討では、山土ではなく、浚渫粘性土から間隙水を強制的に取り除いて製造する脱水処理土を腹付けに用いることが可能かどうかを検討してきた。この場合、浚渫土を母材としているため、全てが浚渫土となり、受入れ容量を減少させないだけでなく、減容した分だけ受入れ容量も増加することになる。さらに、浚渫土という建設副産物(リサイクル材)を有効利用することになる。しかしながら、

脱水処理土を海中に投入し、水浸状態となると、脱水処理土の土塊自身が吸水・膨張して、強度が低下することが懸念された。本文では、これまで行ってきた土塊及び土塊群の長期試験²⁾と同条件でさらに長期間水浸の試験を行ったので、これまでの成果と併せて報告する。

3. 機械脱水処理土の作製原理

機械脱水処理土は、図-2に示すように、濾布に囲まれた濾室内に浚渫粘土を適切な濃度に調整したスラリーを高圧で送り込み、濾過脱水するものである。本検討では、スラリーを送り込む圧力を1MPaと4MPaとした。

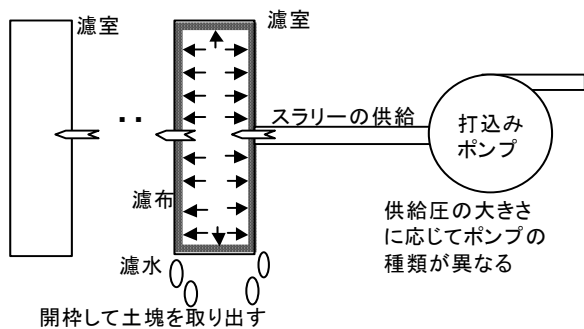


図-2 機械脱水処理土の作製原理図



写真-1 機械脱水処理土

4. 機械脱水処理土の物性評価

4.1 土塊群の物性把握

(1) 土塊群の物性把握

機械脱水処理土を用いた水中埋立の実績例³⁾はあったが、腹付土の設計に必要な地盤としての力学特性(単位体積重量 γ 、せん断抵抗角 ϕ 、粘着力 c)や長期特性の評価がなかったため、小規模な減容化試験⁴⁾及び室内実験¹⁾を行った。

(2) 土塊群の圧密挙動

図-3に大型一面せん断試験より求めた土塊群の真の間隙比 e_{true} と上載圧の関係を示す。供試体作製時の e_{true} は、

1MPa 試料が2.9 ~ 3.0程度を示したのに対し、4MPa 試料は2.2 ~ 2.3程度となり、1MPa 試料の方が大きくなった。ここで、 e_{true} (真の間隙比)とは、土粒子体積に対する間隙の比率であり、土塊そのものに含まれている間隙水も間隙として換算している。

4MPa 試料の $e - \log p$ 関係を見ると、供試体作製時の e_{true} と12 kPaならびに6 kPaの e_{true} がほぼ等しく、20 kPa付近でこの関係が折れ曲がっていることがわかる。これは、20 kPaまでの上載圧では沈下しなかったことを意味し、20 kPaを超えると、有意な沈下が生じることを示している。そこで、この折れ曲がる点を見かけの降伏応力と呼ぶことにする。この見かけの降伏応力を上載圧を超えるか否かで圧縮性が異なる。

減容土塊群の圧密係数は非常に大きいことも、大型一面せん断試験から得られた。

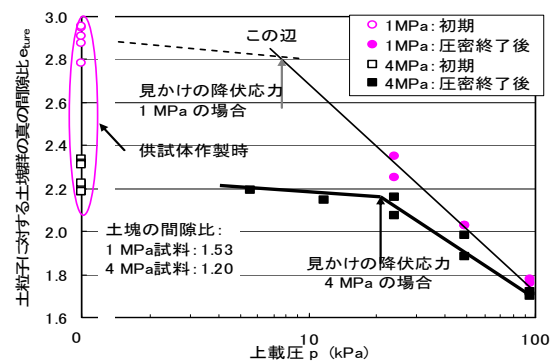


図-3 e_{true} (真の間隙比)と上載圧の関係図

(3) 土塊群の一面せん断強度特性

図-4に一面せん断試験より求めた上載圧とせん断強度の関係を示す。今回対象とした土塊群の破壊線は、数kPa程度の粘着力 c を有する ϕ 材とみなせ、そのせん断抵抗角 ϕ は、4MPa 試料で36.5度、1MPa 試料で23.6度と評価できる。

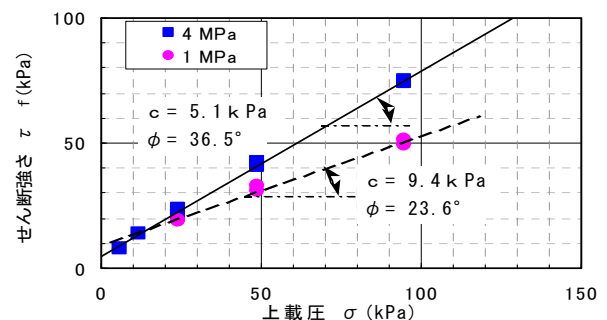


図-4 上載圧とせん断強度の関係図

(4) 設計用の仮地盤定数

「(3)土塊群の一面せん断特性」の結果を参考にして、4MPaの土塊群の地盤定数を「 $\phi=30$ 度、 $c=0$ kN/m²、 $\gamma=16.7$ kN/m³」と仮設定して、施工断面の検討を始めることにした。

4.2 土塊及び土塊群の長期試験

(1) 長期試験方法

脱水処理土は単に粘土スラリーから間隙水を強制脱水したものであり、これを水浸すると土塊周辺から吸水・膨張して強度が低下する可能性が考えられる。文献2)は、この点を中心とした実験を取りまとめたものであるが、水浸時間が8ヶ月までと限られたものであった。本文では、文献2)と同じ条件の下で行った最大18ヶ月まで水浸させた土塊に対する針貫入実験ならびに、最大31ヶ月まで水浸させた土塊の一面せん断試験から、水浸した脱水処理土塊群の長期特性を把握した。

(2) 土塊強度の経時変化

図-5に土塊の含水比を、図-6に針貫入量—貫入抵抗関係の傾き（貫入抵抗勾配）の経時変化を示す。

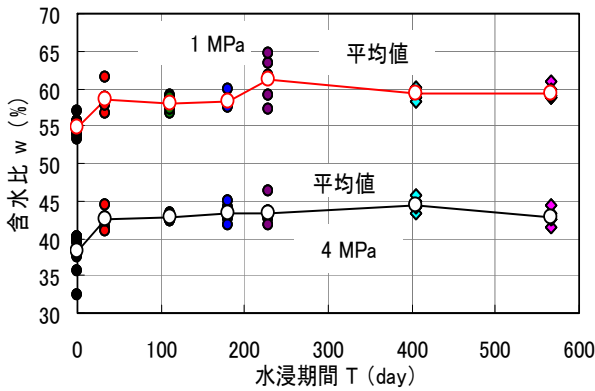


図-5 水浸土塊の含水比の経時変化

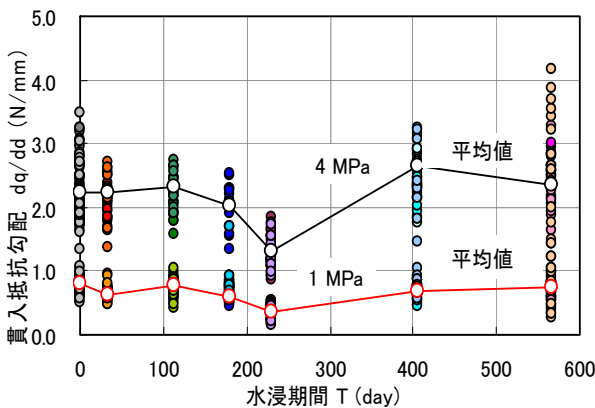


図-6 水浸土塊の貫入抵抗勾配の経時変化

それぞれ、個々のデータと平均値を示している。一つのデータはばらついているものの、全体の挙動は平均値の挙動によく対応している。土塊を水浸させると、両試料とも含水比は図-5を見ると、5%程度増加し、18ヶ月経過時でも5%の増加傾向を保っていた。貫入抵抗

勾配は、図-6を見ると、両試料とも8ヶ月の時点を除くと18ヶ月経過してもほとんど変化しない結果を示した。ただし、値のばらつきの幅は13ヶ月以上になると増加する傾向を示した。

(3) 土塊群の圧密挙動の経時変化

圧密荷重を加える前の供試体の真の間隙比は、文献2)と同様、4MPa試料で2.2~2.3程度、1MPa試料で2.6~2.7であった。両試料とも100kPaで圧密した結果、図-7に示すように、約10分でほとんどの沈下が発生し、それ以降の沈下は全沈下量の数パーセントであった。

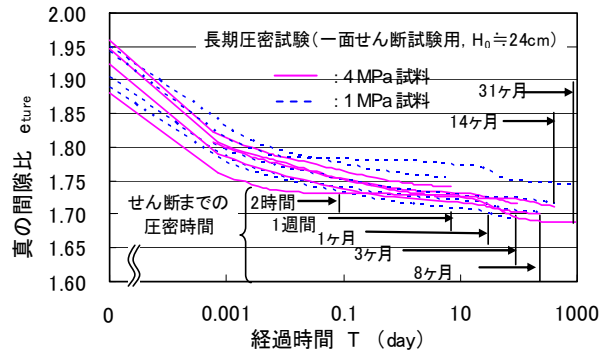


図-7 長期圧密過程の間隙比変化

(4) 土塊群のせん断挙動の経時変化

図-8, 9に一連の一面せん断試験から得られた諸特性と載荷期間の関係を示す。

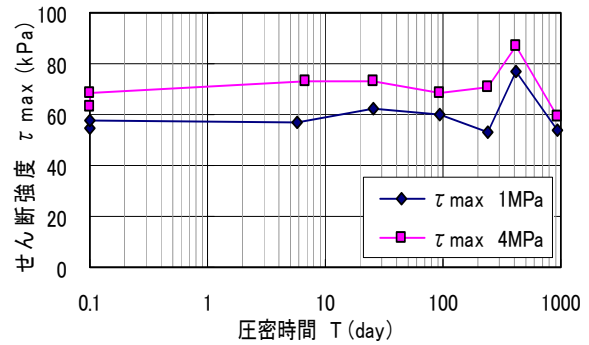


図-8 土塊群のせん断強度の経時変化

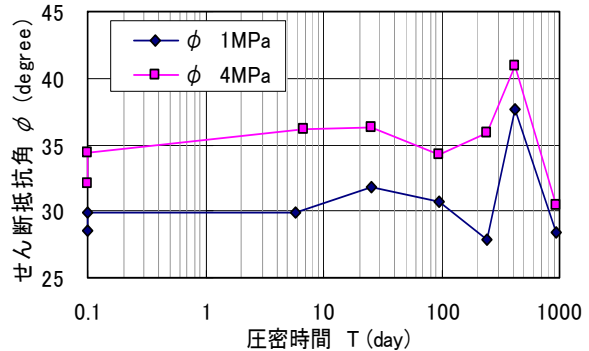


図-9 土塊群のせん断抵抗角の経時変化

せん断強度(図-8)およびせん断抵抗角(図-9)を見ると、全圧密時間を通して、4MPa 試料では60～87 kPa および31～41 度に、1MPa 試料では55～77 kPa および27～37 度に分布したが、圧密時間14ヶ月の時点を除くと、4MPa 試料で60～74 kPa (30～36 度)、1MPa 試料で55～62 kPa (28～32 度)であった。ここでのせん断強度とは、最大せん断応力である。4MPa 試料と1MPa 試料を比較すると、実験期間全体において、せん断強度で10 kPa 程度、せん断抵抗角で5度程度の違いがあり、土塊群のせん断強度に、それを構成する土塊の強度が影響していることがわかる。

経時変化に着目すると、最大せん断強度は、14ヶ月のもののみが大きく、その他はほぼ同じとなった。供試体を構成する土塊の含水比や強度が図-5,6に示すようにあるばらつきを有していること、および作製した供試体の真の間隙比がばらついていること、圧密時間2時間のせん断強度がばらついていることから、得られたせん断強度には載荷時間以外の影響も含まれており、経時変化だけで評価できないものと思われる。ただし、せん断強度は2時間圧密強度と同程度以上であったとは、評価できよう。

せん断抵抗-正規化変位のせん断開始付近の初期勾配 G_{bi} と圧密時間の関係を示したものが図-10である。ここで、 G_{bi} はせん断変位0.05 mm(正規化変位0.25%)程度で求めたものである。4MPa 試料の1ヶ月のものは低下したが、そのほかのものは、全体的に経過時間とともに増加傾向にあることがわかる。

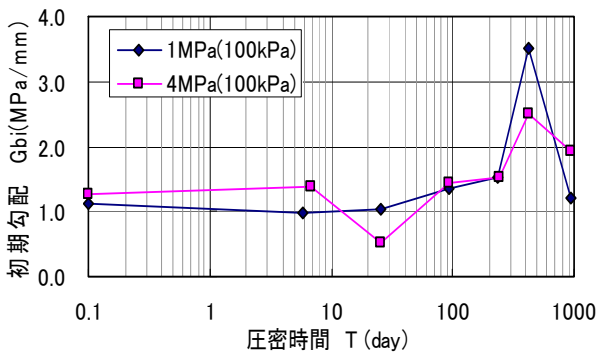


図-10 土塊群の初期勾配の経時変化

(5) 土塊と土塊群の経時変化の比較

土塊と土塊群の経時変化の特性の傾向をつかむため、針貫入試験および一面せん断試験の結果を比較してみる。

土塊を水浸したことにより、含水比は5%程度増加した(図-5)。実験結果(図-6)を見ると、土塊の強度はばらつきはややあるものの、ほぼ同じと見なせ、行った実験の範囲では吸水の影響は大きくないと判断できる。

一方、4MPa 試料における31ヶ月載荷までの一面せん断試験の結果は、正規化変位が5%程度の範囲で、14ヶ月圧密を除いたものとはほぼ同じであったが、それ以降の

せん断で31ヶ月圧密試料の強度は初期段階と比較し同程度となった(図-8)。これは吸水膨張による影響とも推測されるが、それを結論つける根拠はない。また、行った全ての最大強度は、2時間載荷試験のものと同程度かそれ以上であった。以上のことより、土塊ならびに土塊群とも、今回の実験の範囲で強度は低下していないと判断できる。

土塊群の変形係数に相当する G_{bi} は図-10を見ると、経過時間とともに増加していく傾向にある。強度が8ヶ月載荷よりも10kPa程度低下した4MPa 試料の31ヶ月載荷の場合でも G_{bi} は増加した。

5. おわりに

脱水処理土を腹付け材として用いる際に懸念される長期特性を、最大18ヶ月間水浸した脱水処理土土塊の針貫入試験ならびに最大31ヶ月間圧密した脱水処理土土塊群の一面せん断試験から検討し、以下の知見を得た。

- (1) 土塊の強度は、多少ばらついてはいるが、18ヶ月まではほぼ同じ強度とみなせる(図-6)。
- (2) 100 kPa を載荷した土塊群の強度は、ばらつきはあるものの31ヶ月までは、2時間圧密の強度程度は確保できる(図-8,9)。
- (3) 長期圧密した脱水土塊群の変形係数は、載荷期間が31ヶ月までであるが、時間とともに増加していく傾向にある(図-10)。

6. 謝辞

本論文は、国土交通省九州地方整備局関門航路事務所から受託した関門航路浚渫土砂減容化技術検討調査の成果を取りまとめたものである。また、関門航路浚渫土砂減容化検討委員会(委員長:善功企九州大学大学院教授)から、多くの貴重な意見をいただいた。ここ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) 石原弘一・梶原清隆・竹田春美・吉野新造・山本修司・山崎真史・片桐雅明・西村正人・寺師昌明: 水浸した脱水処理土ならびに土塊群の力学特性の経時変化, 第50回地盤工学シンポジウム論文集, pp. 171-176, 2005.
- 3) (独) 土木研究所編, 建設発生土利用技術マニュアル(第3版): pp. 202-204
- 4) 山本健吾・爲廣哲也: 機械脱水処理した処理土の水における基礎特性, 第49回地盤工学シンポジウム論文集, pp. 119-126, 2004.