

脱水処理土の長期力学特性

Long Term Mechanical Characteristics of Dewatered Clays

山崎真史*・石原弘一**・守屋正平***・片桐雅明****

YAMAZAKI Shinji, ISHIHARA Kouichi, MORIYA Masahira and KATAGIRI Masaaki

* (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

*** 前 (財) 沿岸技術研究センター 研究主幹兼第一調査部長

**** (株) 日建設 中瀬土質研究所 主任研究員

This paper describes the time variations of strength for submerged filter-pressed clay lump and its aggregate. The needle penetration and vane tests were performed on the submerged clay lump and the aggregate passed including particle through the 4.75 mm mesh sheave, respectively. The strength of clay lump decreased by submerging, and then decreased after 6 months curing. The strength of aggregate increased with time.

Key Words : dewatered clays, dredged clay, long term characteristics, needle penetration test, vane test

1. はじめに

関門航路では、航路維持及び整備のために毎年大量の浚渫土砂が発生する。これに対して土砂処分場は将来的に容量が不足しており、環境的な配慮からも現状の土砂処分場をなるべく延命化することが望まれている。そのための方策として、浚渫された土砂から間隙水を強制的に絞り出して減容化した脱水処理土を土砂処分場の腹付け・嵩上げ材として使用できるかどうか検討されている。

この脱水処理土は、単に粘土スラリーから間隙水を強制的に脱水したものである。そのため、脱水処理土を再度水中に置くと吸水・膨張する可能性があり、吸水に応じて強度が低下する可能性が考えられる。

そこで、本文では、水浸養生した土塊ならびに土塊群の強度の経時変化を調べるため、それぞれ針貫入試験およびベーンせん断試験を行った結果を報告する。

2. 延命化対策の概要

関門航路浚渫事業における土砂処分場の延命化対策として、計画高さまで埋め立てる前までに浚渫土を事前に処理した脱水処理土を用いて、図-1 に示す腹付け・嵩上げを完成させる方法が有力な候補として挙げられている。その理由はつぎのとおりである。山砂などが用いられる腹付け・嵩上げでは、受入れ容量から山砂使用分を差し引かねばならず効率的でないが、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、体積分を浚渫土の受入れ量として換算でき、結果的に容量を増加できる。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。

ここで問題は、脱水処理土群が腹付けに要求される特性を有しているかどうか確認されていない点である。この点を検討するため、実際の脱水処理プラントを構築し、脱水処理土および土塊群の物理・力学特性を把握するための実験が計画され、その成果が報告されている^{1)~3)}。

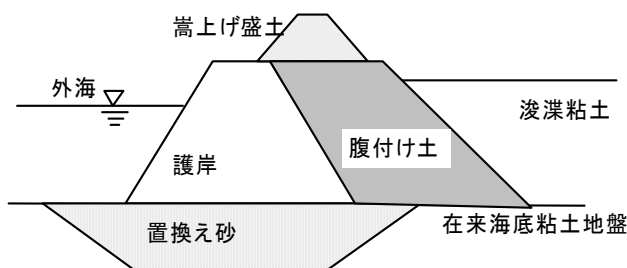


図-1 土砂処分場の容量確保のための方策（概念図）

3. 実験に供した資料

各実験には、供給圧を 1MPa および 4MPa とした加圧脱水ろ過方式であるフィルタープレスによって製造された脱水処理土²⁾を用いた。その原泥は新門司沖土砂処分場 3 工区に堆積した浚渫土砂である。それから不純物や爽雑物を取り除き、含水比を調整した粘土スラリーをフィルタープレスに供した。調整した粘土スラリーの物理特性は、平均値として、含水比:288%, 土粒子密度:2.65 g/cm³, 液性限界:70%, 塑性指数:39 である¹⁾。

針貫入試験には、約 50 mm 角に切り出した標準試料（厚さ 23mm 程度）を用いた。

ベーン試験には、標準試料のうち、4.75mm ふるいを通した細土塊群を用いた。

4. 土塊強度の経時変化

4.1 設定した養生期間と針貫入の方法

水浸には、人工海水を用い、室内においた水槽で養生した。養生期間は、1, 3, 6, 8ヶ月とした。針貫入試験に供する際は、土塊全体をペーパータオルで包むことによって土塊表層に付いている水滴を取り除いた。

針貫入試験では、貫入方向を土塊の厚さ方向とし、直径0.84mmの木綿針を、3mm/minの速度で10～15mm貫入し、そのときの貫入抵抗と貫入量を計測した(図-2参照)。土塊に亀裂が入り貫入抵抗が低下した場合にはそこで貫入を打ち切った。また、各養生期間のデータは、5個の土塊に対して1土塊あたり3回の貫入試験を行う計15ケースとした。また、実験終了後、針貫入試験に供した土塊全体の含水比を測定した。



図-2 針貫入試験状況

4.2 実験結果

(1) 針貫入の特性

図-3に、水浸期間が異なる試料の針貫入量と貫入抵抗の関係を示す。各養生期間のデータは、得られたデータの平均値と最大・最小値を示している。各養生条件でのばらつきは、おおむね平均値の±20～30%程度であるが、詳細に見ると、1MPa試料のばらつきは、4MPa試料のそれよりもやや小さく、±20%程度である。平均値で見ると、4MPa試料の貫入抵抗は、同じ養生期間・同じ貫入量の4MPa試料のそれよりも2～3倍程度大きい。また、水浸時間が長くなると、両試料とも貫入抵抗は低下していることがわかる。

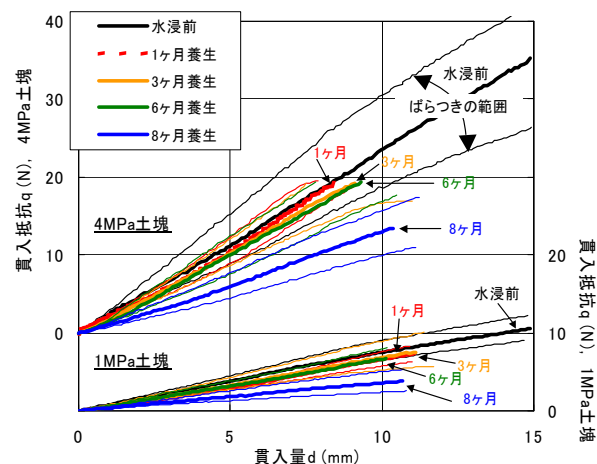
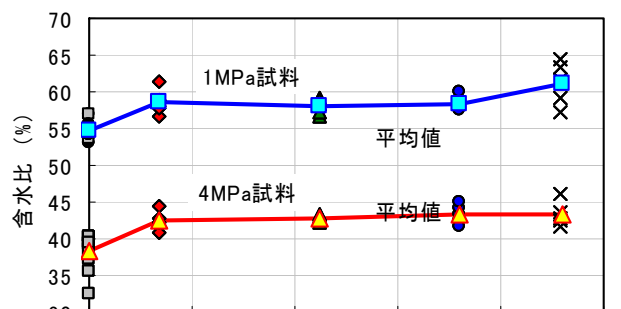


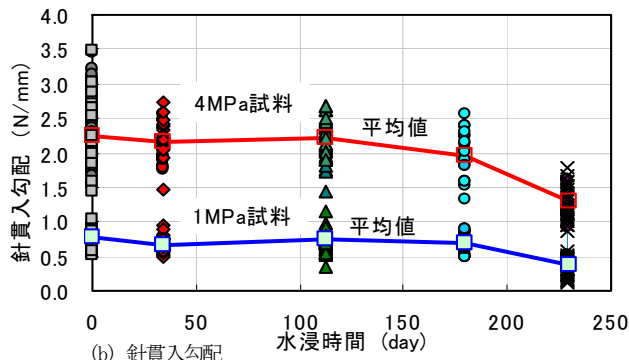
図-3 針貫入試験の結果(水浸した1, 4MPa資料)

(2) 時間依存性

図-4に、土塊の含水比と貫入量－貫入抵抗関係の傾き(針貫入勾配)の経時変化を示す。それぞれ、個々のデータと平均値を示している。個々のデータはばらつきがあるものの、全体とした挙動は平均値の挙動によく対応している。水浸によって、含水比は増加し、針貫入勾配は低下する。その後、6ヶ月くらいまでは、両指標ともほとんど変わらず、8ヶ月となると、含水比は増加し、針貫入勾配は低下している。



(a) 土塊の含水比



(b) 針貫入勾配

図-4 水浸土塊の含水比と針貫入勾配の経時変化

5. 土塊群強度の経時変化

5.1 設定した養生期間とベーン試験の方法

図-5 に示すベーンせん断試験装置⁴⁾は、ベーンブレード(幅 $D=40\text{mm}$, 高さ $H=20\text{mm}$), ベーンブレード回転装置, ベーンブレード昇降装置および計測機器(ロードセル, 回転角計)からなる。

本試験では, 供試体表面とベーンブレード中心が 30, 70, 110, 150mm となる位置で, ベーンブレードを $0.24^\circ/\text{s}$ の速度で回転させ, ベーンシャフト中心から 23mm の位置にあるロードセルで回転時の抵抗値 P と回転角 θ を計測した。

ベーンせん断抵抗は, Cadling and Odenstad が示した式⁵⁾から算定した。ただし, α は $1/3$ とした。(α : ベーン端面上のせん断応力分布を長方形分布と仮定した値)

供試体は, 海水を入れた直径 100mm, 高さ 200mm の(コンクリート用)プラスチックモールドに, 最小密度試験の方法に準じて, 試料(4.75mm 以下の土塊)を投入し, 表層を整形して作製した。養生条件は, 人工海水中で 1 ヶ月, 2 ヶ月, 3 ヶ月, 6 ヶ月, 8 ヶ月とした。作製直後の供試体(養生前)に対しても同様の実験を行った。なお, 各養生期間に対して, 供試体は 3 体準備した。

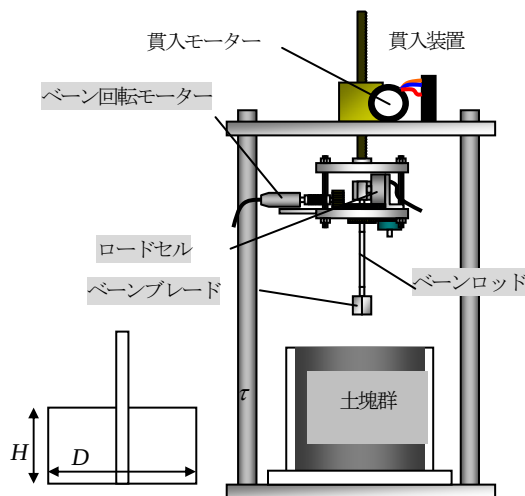


図-5 ベーンせん断試験機概要

5.2 実験結果

(1) 体積変化挙動

8 ヶ月養生後の 1MPa 試料供試体では 7.8mm の水浸沈下が生じていた。測定した沈下量から変換した湿潤密度の経時変化を, 図-6 に示す。湿潤密度の変化から水浸による沈下はおおむね 6 ヶ月程度で終了している。なお, 脱水圧の大きさに応じて, 作製される土塊の重量が異なるので, 4MPa 試料の湿潤密度が大きくなっている。

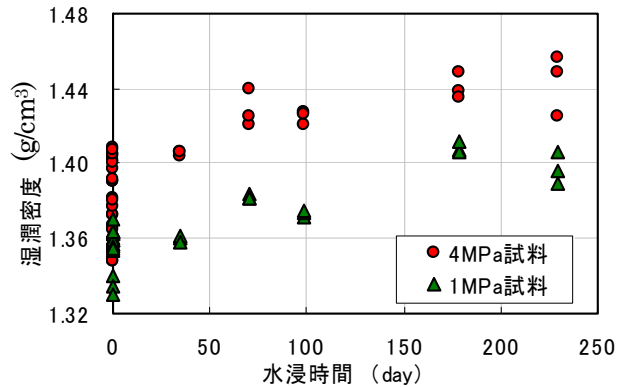


図-6 ベーン試験用供試体の湿潤密度の経時変化

(2) せん断挙動

図-7 に, 深さ 11cm のベーン位置における回転角とベーンせん断抵抗の関係を示す。水浸前の最大値はおよそ 1.3kPa 程度であったものが, 8 ヶ月の水浸では, 2.5kPa 程度となり, ほぼ 2 倍となった。図-6 にも示したが, この間に水浸沈下して密度が増加していることも, 強度増加の要因と考えられる。

また, 初期の立上りも, 水浸時間が長いほど, 急となっており, 別途行った一面せん断試験の結果と対応している。

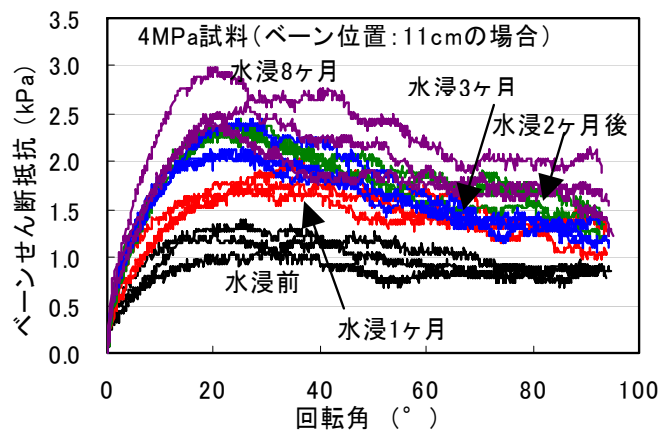


図-7 回転角とベーンせん断抵抗の関係

(3) 圧密時間との対応

せん断強度 (最大ベーンせん断抵抗), 回転角とベーンせん断抵抗関係の初期立上りの割線勾配 $Gv50$ の経時変化を図-8 に示す。ここで, 初期立上りの勾配 $Gv50$ は, $E50$ に準じて, せん断強度の半分における回転角-ベーンせん断抵抗曲線の傾きを示している。一面せん断試験と異なる定義としたのは, ベーン試験において計測された初期立上り部がほとんど重なったためである。

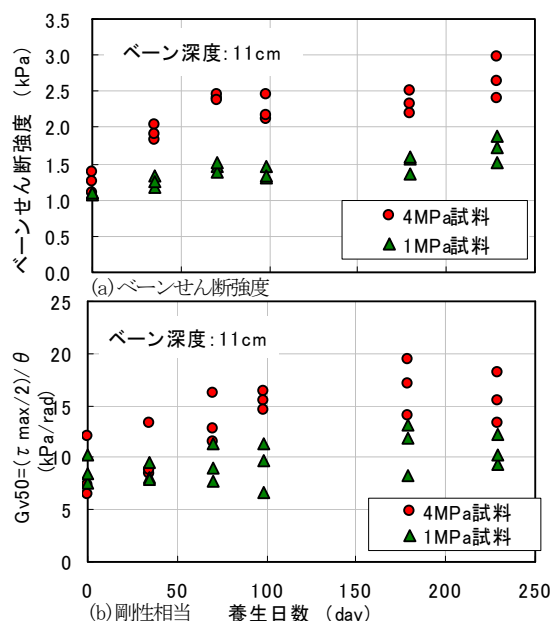


図-8 ベーンせん断強度と剛性相当の経時変化

図-8(a)に示したせん断強度と水浸時間の関係から、両試料とも水浸時間が長くなるにつれて強度が増加していることがわかる。しかも、水浸後2ヶ月程度までの増加量が大きいこと、4MPa試料のほうが1MPa試料よりも増加量が大きいことが読み取れる。

せん断剛性を表現する回転角—ベーンせん断抵抗曲線の傾きの割線勾配 $Gv50$ の経時変化 (図-8(b)参照) については、4MPa試料の方が1MPa試料よりも大きいこと、水浸時間とともに増加する傾向にあること、水浸初期の増加量がその後のものよりも大きいことがわかる。

6. 土塊特性と土塊群特性の対応

土塊および土塊群強度の経時的変化は、針貫入試験に供した土塊とベーンせん断試験に供した土塊群の厚さが異なるため、劣化の時間的進み方が異なり、直接一対一には対応しない。しかしながら、劣化の傾向がつかめるものと考え、土塊の特性と土塊群の特性を比較してみる。

針貫入試験からみた土塊の強度は、水浸することにより低下した。これは飽和による有効拘束圧の低下と吸水膨張によるものと考えられる。

ベーンせん断試験からみた土塊群の強度は、増加していく傾向にある。この強度の増加は、土塊群内の接触点の状態が変化したためと考えられる。たとえば、吸水膨張によって土塊間の接触面が粘土化したため透水係数が低下し、同じせん断速度でも、粘性抵抗が増加したという解釈もできる。しかしながら、それを裏付ける根拠は今のところない。

7. まとめ

2つの実験から、脱水土塊および細粒土塊群の長期せん断強度特性として得られた知見を以下にまとめる。

- ①水浸された土塊強度は経時変化でみると水浸直後に低下したが、6ヶ月程度はほぼ同じ値を示し、その後さらに低下することがわかった (図-4(b)参照)。
- ②細粒土塊群に対するベーンせん断強度は時間経過とともに増加する傾向にある。また、割線勾配 $Gv50$ も時間経過とともに増加するが、8ヶ月で収束傾向がみられる (図-8(a) (b)参照)。

当初、土塊群の強度は、土塊そのものの強度と同じように徐々に低下するものと予測された。しかし、ベーン試験から得られた土塊群の強度は、時間経過とともに増加するという興味深いものとなった。このことから、設計では、水浸前の強度を確認することで、腹付け土としての成立可否が判断可能と示唆される。本文では、一面せん断試験の結果は割愛したが、更に長期の結果を含め設計に必要な脱水处理土の特性を把握する必要がある。

謝辞

本検討においては、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、多くの貴重なご助言・ご指導をいただいた。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：脱水处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：機械脱水处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) 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・山崎真史・片桐雅明・寺師昌明：脱水处理した土塊地盤に対するコーン貫入試験の試み，第6回環境地盤工学シンポジウム論文集，pp. 59-64，2005。
- 4) 田中洋輔・今井五郎・片桐雅明(2004)：深度方向に含水比が減少する超軟弱粘土地盤のベーンせん断強度と含水比の関係，土木学会論文集，No. 778/III-69，pp. 99-110，2004。
- 5) Cadling L. and Odenstad, S.: The vane borer an apparatus for determining the shear strength of clay soils directly in the ground, Proc. of S.G.I., No. 2, 1950。