

高含水比状態で繰り返された粘土の力学特性

広島大学工学部 学生会員 ○布谷 信貴
広島大学大学院工学研究院 正会員 土田 孝
広島大学大学院工学研究科 学生会員 安部 太紀

1. はじめに

シルト・粘土を含む底泥と呼ばれる海底地盤に波が作用する時、底泥の巻き上がりや移動などの現象が問題となっており、波により巻き上げられた底泥の粒子は波により流され、波の穏やかとなる付近において沈降・堆積する。これは航路や泊地付近においても発生し、この堆積した底泥を放置すると船の航行に支障をきたす。これをシルテーション問題と呼ぶ。シルテーションによって巻き上がりや移動が生じるのは、自重圧密やシキソトロピーの影響がほとんどない堆積したての高含水比状態の底泥である。多くの港湾では浚渫土の処分場の不足や処分費用などの問題を抱えているため浚渫土の有効活用が求められている。浚渫土の有効活用法として、筆者らは浚渫土の地盤内圧入による人工干潟の造成工法を開発しているが、実施工においては浚渫土に加水し、繰り返しを受けた状態で圧入される。これらの問題を考える上で、高含水比状態で繰り返された状態での粘土の力学特性が必要となるが、まだあまり研究されていない。そこで本研究では、高含水比状態で繰り返された粘土の力学特性を明らかにすることを目的とする。

2. 実験方法・実験試料

本研究では、海成粘土を研究対象とし、ベーンせん断試験と回転粘度計によるレオロジー試験を行った。用いた海成粘土は、徳山港で浚渫された粘土(以下、徳山港粘土)、水島港で浚渫された粘土(以下、水島港粘土)、北九州港のひびきコンテナターミナルで浚渫された粘土(以下、ひびき粘土)、門司港で浚渫された粘土(以下、門司港粘土)を用いた。実験条件として、現在の含水比をキャサグランデの方法で求めた液性限界 w_L で割った正規化含水比を 1.3~2.2 まで変化させ、全ての実験ケースで測定開始前によく攪拌し繰り返しを受けた状態で実験を開始した。また、本研究では慣用のキャサグランデの方法による値ではなく、強度との関連を明確にするためベーンせん断強度が 1.5kPa のときの含水比を修正液性限界 $w_{L(1.5)}$ として定義した。表 1 に用いた実験試料の物性を示す。

表-1 実験試料の物性

試料	水島港粘土	徳山港粘土	ひびき粘土	門司港粘土
液性限界 w_L (%)	65.3	110.6	61.2	89.5
修正液性限界 $w_{L(1.5)}$ (%)	62.3	96.9	56.8	85.9

3. 流動曲線

図 2 に水島港粘土の様々な含水比における流動曲線を示す。図 2 に示したように、ずり速度が約 0.06~100(1/s)の範囲では

- ① ずり速度を小さくしてもせん断応力が変化しない領域
 - ② ずり速度の上昇に伴いせん断応力も上昇する領域
 - ③ ずり速度を大きくしてもせん断応力が変化しない領域
- この傾向は、試料や含水比に依らず全ての実験ケースにおいて見られた傾向であった。このことから、流動曲線を図 3 のようにモデル化した。モデル化した流動曲線において、領域①から②に変わる点を A 点、領域②から③に変わる領域を B 点とし、それ

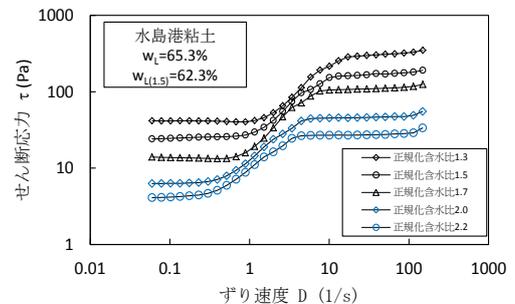


図-2 水島港粘土の流動曲線

それぞれの点におけるせん断応力，ずり速度を τ_A ， D_A ， τ_B ， D_B とする。モデル化においては，本研究で用いた回転粘度計の最小のずり速度の時のせん断応力として定義した降伏値 τ_y とA点のせん断応力は等しいとし，B点以降はのせん断応力は一定であると仮定している。

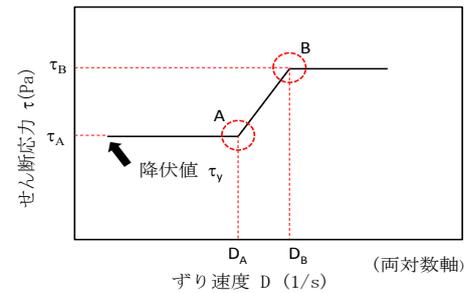


図-3 モデル化した流動曲線

4. ベーンせん断試験，レオロジー試験結果

図4に $w_{L(1.5)}$ を用いて正規化した含水比と降伏値の関係を示す。図4より，どの海成粘土においても降伏値は $w_{L(1.5)}$ を用いて正規化した含水比と良好な関係にあることが分かり，降伏値は $w_{L(1.5)}$ を用いて正規化した含水比の-5.0乗程度に比例する累乗関数で表現できることが分かった。

次に，図5にベーンせん断強度 τ_{vane} とB点のせん断応力 τ_B の関係を示す。なお，ベーンせん断強度は高精度ベーンせん断試験機を用いベーンの回転速度を6(deg/min)に制御した際のピーク強度である。図5より，ベーンせん断強度 τ_{vane} とB点のせん断応力 τ_B ほぼ一致していることが分かる。B点のせん断応力 τ_B は流動曲線において③ずり速度を大きくしてもせん断応力に変化しない領域のせん断応力であり，ずり速度が最大の時のせん断応力である。つまりベーンせん断強度はずり速度が最大の時に発揮されるせん断強度であることが推測される。

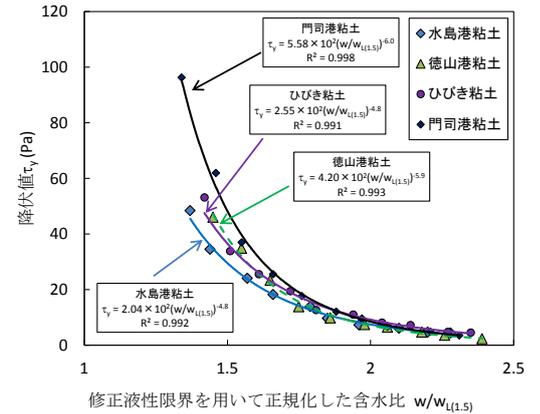


図-4 $w/w_{L(1.5)}$ と降伏値 τ_y の関係

5. まとめ

高含水比状態の4つの海成粘土を用いて流動曲線を求めた結果，ずり速度とせん断応力の関係は図3のようにモデル化でき，3つの領域に分けることができることがわかった。領域が変化する時のせん断応力は，液性限界で正規化した含水比と関連づけることができること，さらにベーンせん断試験で求めたせん断強度は流動曲線で求められる最大せん断応力とほぼ一致していることが分かった。

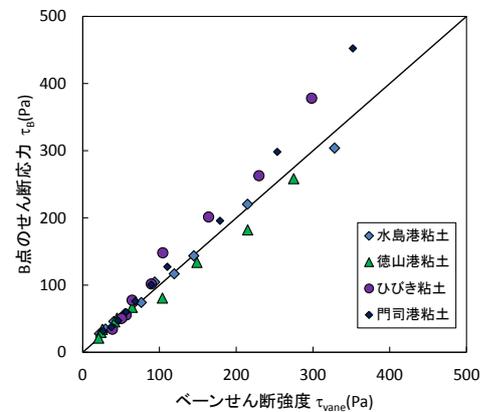


図-5 ベーンせん断強度 τ_{vane} とB点のせん断応力 τ_B の関係

参考文献

- 1) 鶴谷広一，中野晋，鷹濱潤：ベーン試験とスランプ試験による軟らかい粘土の流動限界の検討—回転粘度計との比較—，港湾技研資料，No.655，p1-21,1989