

横浜国立大学工学部 学生会員 ○久保陽太郎 正会員 田中洋輔
 日建設計中瀬土質研究所 正会員 片桐雅明 正会員 石田直美

1.はじめに

海底から浚渫された粘土で埋め立てられた地盤は非常に軟弱である。このような超軟弱粘土の強度特性を調べる手段として、フォールコーン試験とベーン試験がある。土田ら¹⁾・石田ら²⁾は高含水比の粘土を練り返した試料に対して両試験を行い、それらから求めた強度と含水比の関係を比較・検討した。その結果、塑性の違いに関係なく含水比を液性限界で正規化することで、フォールコーンならびにベーン試験から求めた強度が一義的に決まることが分かった。しかし、練り返した試料を一定時間放置したものについての実験は行われていない。また実際の埋立地では多かれ少なかれ放置される。そこで本研究では、ある一定時間放置した試料と、圧密させた試料に対して両試験を行い、同じ含水比でも構造の違いにより強度はどう変化するのか、ならびにフォールコーン試験はこのような試料にも適用しうるかについて検討した。

2.試料および実験方法

本研究では、横浜市みなとみらい地区で採取した粘土（以後MM粘土と表記）を用いた。採取した試料に人工海水を加えながら425 μ mのふるいに通し、攪拌・混合を繰り返して均一にしたものを準備した。表-1に、このMM粘土の物理特性を示す。なお、含水比の調整には人工海水（ $\rho_w=1.024\text{g/cm}^3$ ）を用いた。

表-1 MM粘土の物理特性

試料	$\rho_s(\text{g/cm}^3)$	$w_L(\%)$	$w_P(\%)$	I_P
MM粘土	2.685	93.8	38.9	54.9

設定した試料の条件を表-2に示す。①練り返した試料($t=0$)：所定の含水比に調整して充分練り返したもの。②3週間放置した試料($t=3\text{weeks}$)：所定の含水比に調整して充分練り返した試料を、直径15cm、高さ8cmの硬いプラスチック容器に層厚約5cm入れて密封し3週間放置したもの。③圧密させた試料：試料の初期含水比を液性限界の2倍に調整し、それを直径20.5cm、高さ25cmのステンレス製円筒容器に投入し、所定の圧密圧力で圧密したもの。これら3条件の試料に対して、フォールコーン試験ならびに

表-2 実験条件

①練り返した試料($t=0$)	②3週間放置した試料($t=3\text{weeks}$)	③圧密させた試料
初期含水比 $w_0=90,95,105,115,125,135(\%)$	初期含水比 $w_0=90,95,115,135(\%)$	初期含水比 $w_0=2w_L$ $\sigma_0=5,10,30,50(\text{kPa})$

ベーン試験を行った。

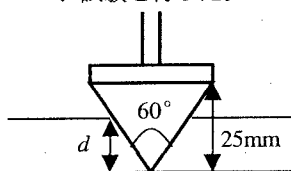


図-1 コーンの形状

本研究で使用したコーンは質量60g、先端角60°であった。図-1に示すように d を貫入量とし、25mm以内の値を結果として利用した。

ベーンせん断試験では、高さ $H=4\text{cm}$ 、幅 $D=2\text{cm}$ と $H=2\text{cm}$ 、 $D=1\text{cm}$ の2種類ベーンブレードを使用し、回転速度は0.2°/secとした。また、ベーンブレードは試料に応じて選択した。

3. 強度の算定方法

フォールコーン試験から強度を推定するために、以下に示す甲本³⁾によって導かれた(1)式を用いた。本研究では、 K の値を0.3とし、フォールコーン強度 $s_{u(\text{FC})}$ と称した。

$$s_{u(\text{FC})} = KQ/d^2 \quad \dots (1) \quad s_{u(\text{FC})} : \text{非排水せん断強度} \quad Q : \text{コーン重量} \quad d : \text{コーン貫入量}$$

ベーン強度 $s_{u(\text{vane})}$ は、測定された最大トルク $M_{\max}$ より、(2)式を用いて算出した。

$$s_{u(\text{vane})} = 2M_{\max}/(\pi HD^2 + D^3/3) \quad \dots (2)$$

キーワード：超軟弱粘性土、フォールコーン試験、ベーンせん断試験、強度、含水比

連絡先：〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5 TEL 045-339-4030

4. 実験結果

図一2は、繰り返した試料に対するフォールコーン試験の既往の実験結果^{1),2)}と今回の結果を比較したものである。それぞれ用いた試料が異なるため、それぞれの液性限界で正規化した含水比(正規化含水比)と非排水強度の関係プロットしている。今回の実験結果は既往の研究とほぼ一致していることがわかる。このことから含水比を正規化することで、塑性によらず強度が一義的に決まることが今回の実験からも確認できた。

図一3は今回行った全ての実験で得られた $s_{u(FC)}$ と $s_{u(vane)}$ を両軸にとったもので、値はそれぞれ同じ条件での平均値である。図中の太い実線は、両者の強度が等しい場合のラインである。繰り返した試料は $s_{u(FC)}$ と $s_{u(vane)}$ がほぼ一致している。しかし、 $s_{u(vane)}$ が4kPaのあたりから、 $s_{u(FC)}$ に顕著な違いが現れた。この部分を円で囲んだが、これは $\sigma_b=30\text{kPa}$ 、 50kPa で圧密させた試料と $w_0=90\%$ 、 95% の試料を3週間放置させた試料であった。

図一4はフォールコーン試験の貫入量と含水比の関係である。図一3と比較して見てみると、強度に違いが現れるのは貫入量が5mm以下の部分に位置している。これは(1)式からわかるように、 $s_{u(FC)}$ は貫入量の二乗に反比例することから、貫入量が小さい場合は、同じ貫入量計測の誤差が、算出される強度に大きく影響することになる。そのため、コーン貫入量が5mm以下のものでは求めた強度が大きくばらついたと思われる。

図一5は両試験の強度と含水比の関係である。図一4と比較すると、貫入量が小さい場合 $s_{u(FC)}$ にばらつきがあるのがわかる。

また、同じ含水比でも構造の違いにより強度が異なっていることがわかる。すなわち、圧密させた試料が一番強度が大きく、放置した試料と続く。3週間放置させた試料は、時間的効果により構造が発達したため、繰り返した試料より強度が大きくなったと考えられる。

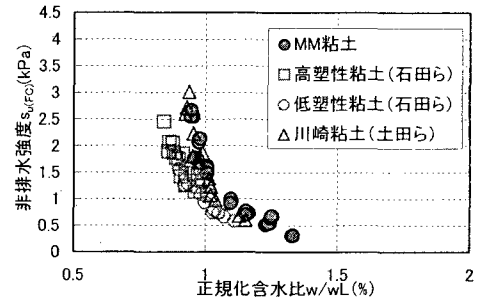
5. まとめ

今回の実験により、以下のことがいえる。

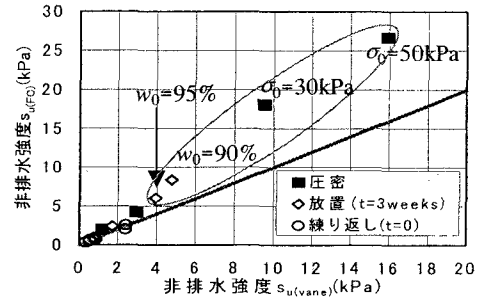
- ①同じ含水比でも構造の違いにより強度が異なる。
- ②フォールコーン試験では、貫入量が約5mm以下であると強度の誤差が大きくなる。
- ③コーン重量 60g を使用したフォールコーン試験では、 $s_{u(FC)} \geq 5\text{kPa}$ の強度測定が難しいと考えられる。

《参考文献》1) 土田孝、洪振舜、渡部要一、小川富美子(1999)『繰り返した粘性土の非排水強度と正規化含水比の関係』第34回地盤工学研究発表会, pp.543~544.

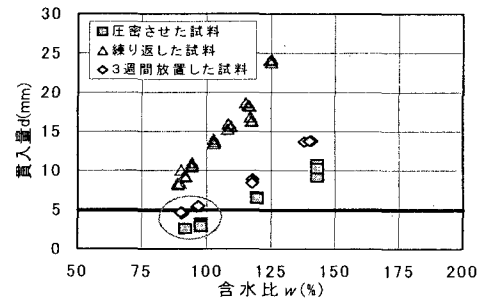
- 2) 石田直美、片桐雅明、西村正人(2001)『繰り返した粘土の非排水強度特性』土木学会第56回年次学術講演会, pp.12~13.
- 3) 甲本達也(1992)『フォールコーン試験による粘土の粘性・塑性両限界の決定とそれらの力学的意義について』新しい土の物理試験方法に関するシンポジウム, pp.183~188.



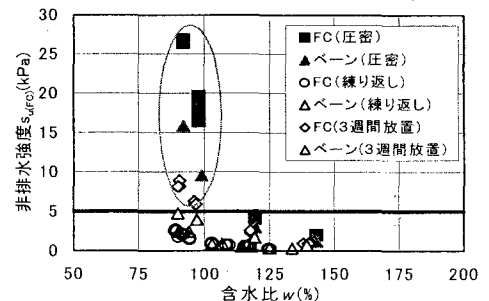
図一2 フォールコーン非排水強度—正規化含水比の関係



図一3 両試験の強度の比較



図一4 フォールコーン試験における貫入量と含水比の関係



図一5 フォールコーン非排水強度—含水比の関係