

有明粘土（山脚試料）の Hvorslev の強度定数と非可逆比 A

Hvorslev's Strength Parameters and Irreversibility Ratios of Ariake Clay (Yamaashi Samples)

○東 孝寛* 大坪政美** 中野晶子*

HIGASHI Takahiro*, OHTSUBO Masami** and NAKANO Akiko*

1. はじめに 有明海の沿岸域や浅海域に分布する有明粘土の正規・過圧密領域における強度特性については、これまでも数多く調べられているが、沿岸域や浅海域の有明粘土に関するものが多く、内陸部の有明粘土に関するものは比較的少ない。広範囲に分布している有明粘土の強度特性を統一的に解釈するためにも、内陸部の有明粘土の過圧密領域における強度特性について調べることは有益である。本文では、現在の海岸線より約9km内陸の地点（佐賀県杵島郡白石町大字馬洗）で採取した乱さない有明粘土試料（山脚試料と呼ぶ）の Hvorslev の強度定数と非可逆比 A について、山脚試料（Y-5）についての圧密定体積（CU）一面せん断試験結果ならびに圧密・膨張定体積（CSU）一面せん断試験結果をもとに検討している。

2. 試料土の性質と実験方法 実験に使用した山脚試料（Y-3, 5）は、六角川近くの旧排水機場敷地内（佐賀県杵島郡白石町大字馬洗（北緯 30.2°, 東経 130.1°））においてシンウォールサンプリングした乱さない試料である。採取深さ d は、試料 Y-3 で 5.0~16.9 m（標高 EL.-2.32~-14.22 m）、試料 Y-5 で 5.0~15.9 m（EL.-2.29~-13.19 m）である。両試料採取地点（両ボーリング孔）間の水平距離は約 6 m である。試料 Y-3 採取地点の土質詳細図を Fig.1 に示す。試料土の自然含水比 w_n は 45~135% の範囲にあり、 $d=5.00\sim 5.25$ m（EL.-2.32~-2.57 m）付近を除けば、 w_n は液性限界 w_L より概ね高い。砂分が多い $d=5.00\sim 5.25$ m（EL.-2.32~-2.57 m）、6.00~6.76 m（EL.-3.32~-4.08 m）、10.00~10.88 m（EL.-7.32~-8.20 m）の範囲を除けば、大半が粘土分を 50%以上含む有明粘土層である。

一面せん断試験は、圧密定体積（CU）ならびに圧密・膨張定体積（CSU）せん断試験であり、地盤工学会基準（JGS 0560）に準拠して行った。供試体は、直径 6 cm、高さ 2 cm または 3 cm の直円柱状であり、せん断面と試料土採取地点の地表面（水平面）が平行になるように切り出した。CU 試験では、圧密圧力 σ'_{vc} は有効土被り圧 σ'_{vo} と 98, 147, 196, 245, 294, 343, 392 kPa を基本とした。CSU 試験においては、 σ'_{vc} は 196 kPa とし、過圧密比（OCR）が約 4/3, 2, 4, 8, 16 になるように除荷後の有効垂直応力 σ'_{vp} を設定した。また、せん断変位速度は約 0.2 mm/min とし、圧密・膨張の打ち切り時間は $3t$ 法によって決定した。

3. 実験結果および考察 Fig.2 には、一例として採取深さ d が 14.00~14.90 m（EL.-11.29~-12.19 m）の山脚試料（Y-5-10）の一面 CSU 試験結果（ベクトルカーブ）を示す。除荷後の有効垂直応力 σ'_{vp} が 98 kPa 以上（過圧密比 OCR が 2 以下）のときは、せん断中に有効垂直応力 σ'_v が減少し（負のダイレイタンスー

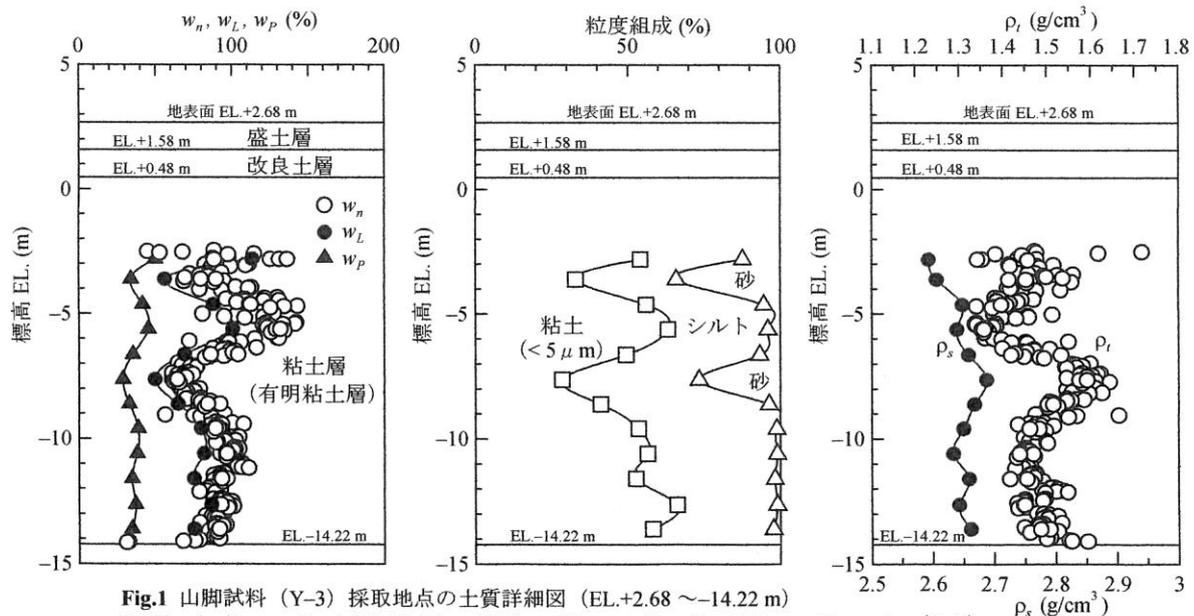


Fig.1 山脚試料（Y-3）採取地点の土質詳細図（EL.+2.68~-14.22 m）
Profile of soil properties in EL.+2.68~-14.22 m at the sampling site of Yamaashi samples (Y-3)

* 九州大学大学院農学研究院（Faculty of Agriculture, Kyushu University）

** 九州大学名誉教授（Professor Emeritus, Kyushu University）

キーワード：有明粘土, Hvorslev の強度定数, 非可逆比 A , 圧密・膨張定体積一面せん断試験

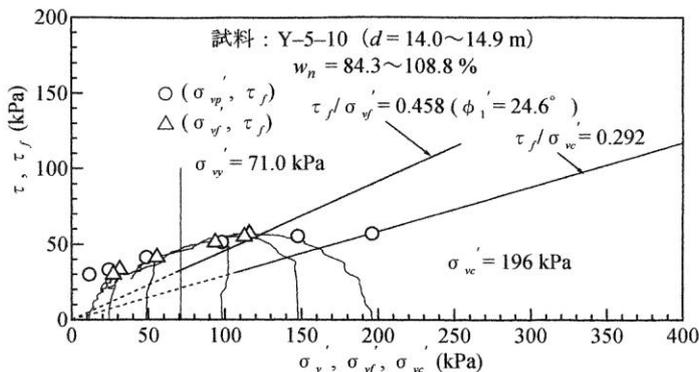


Fig.2 山脚試料 (Y-5-10) の圧密・膨張定体積一面せん断試験結果
Results of consolidated and swelled constant volume direct shear tests for the Yamaashi samples (Y-5-10)

(収縮) 傾向を示し), σ'_{vp} が 49 kPa 以下 (OCR が 4 以上) のときは, せん断中に σ'_v が増加し (正のダイレイタンスー (膨張) 傾向を示し), それぞれせん断応力 τ が最大となる破壊点 (図中の Δ で示される点) に至っている。

山脚試料 (Y-3, 5) の正規圧密領域におけるせん断強度 $\tau_f (= \tau_{max})$ と破壊時の有効垂直応力 σ'_{vf} の関係は, Fig.2 に示すように原点を通る直線となる (東ら, 2015) ので, 式 (1) で表される Hvorslev の破壊規準が適用できる (東ら, 1988)。

$$\tau_f = \kappa \sigma'_{ve} + \sigma'_{vf} \tan \phi_e \quad (1)$$

ここに, κ は粘着力係数, ϕ_e は有効摩擦角, σ'_{ve} は等価圧密圧力である。一例として山脚試料 (Y-5-10) の $\tau_f/\sigma'_{ve}-\sigma'_{vf}/\sigma'_{ve}$ 関係を Fig.3 に示す。 $\tau_f/\sigma'_{ve}-\sigma'_{vf}/\sigma'_{ve}$ 関係は直線となり, 直線の切片値として κ (0.161), 傾斜角として ϕ_e ($\tan \phi_e = 0.209$) が求まる。このようにして求めた山脚試料 (Y-5) の Hvorslev の強度定数 κ , ϕ_e は, それぞれ 0.13~0.18, 11.5~15.6° の範囲であった。

圧密後に除荷し, 十分吸水膨張させた粘土の非排水せん断強度 τ_f とせん断開始時の有効垂直応力 σ'_{vp} の比である τ_f/σ'_{vp} と OCR ($=\sigma'_{vc}/\sigma'_{vp}$) の関係は, 非可逆比 A を用いて式 (2) のように表すことができる (Mitachi and Kitago, 1976)。

$$\frac{\tau_f}{\sigma'_{vp}} = \left(\frac{\tau_f}{\sigma'_{vp}} \right)_{OCR=1} \cdot OCR^A \quad (2)$$

一例として, 山脚試料 (Y-5-10) の $\tau_f/\sigma'_{vp}-OCR$ 関係を両対数紙上に示したのが Fig.4 である。両者の関係は直線となり, 直線の傾きとして A (0.760) が求まる。このようにして求めた山脚試料 (Y-5) の A の範囲は 0.71~0.80 となり, これまでに報告されている有明粘土の A の値 (0.6~0.8) の範囲内であった。

4. まとめ 内陸部で採取した乱さない有明粘土 (山脚試料) の Hvorslev の強度定数と非可逆比 A について, 圧密定体積一面せん断試験結果ならびに圧密・膨張定体積一面せん断試験結果をもとに検討した。その結果, 山脚試料の Hvorslev の強度定数 κ , ϕ_e , 非可逆比 A の値は, それぞれ 0.13~0.18, 11.5~15.6°, 0.71~0.80 の範囲となり, 粘土分を同程度含む他地区の有明粘土の測定結果とほぼ一致した。

最後に, 本研究の一部は, 平成 26 年度日本学術振興会科学研究費助成事業 (学術研究助成基金助成金) (基盤研究 (C), 課題番号: 24580357) の補助を受けました。付記して, 深甚なる謝意を表します。

引用文献 東 孝寛, 高山昌照, 國武昌人 (1988): Hvorslev の破壊規準に関する一二の考察, 農業土木学会論文集, 第 138 号, 53-62. 東 孝寛, 中野晶子, 大坪政美 (2015): 有明粘土 (山脚試料) の強度特性 - 圧密定体積 (CU) 一面せん断試験結果のまとめ -, 平成 27 年度農業農村工学会九州沖縄支部大会講演要旨集, 84-85. Mitachi, T. and Kitago, S. (1976): Change in undrained shear strength characteristics of saturated remolded clay due to swelling, *Soils and Foundations*, Vol.16, No.1, 45-58.

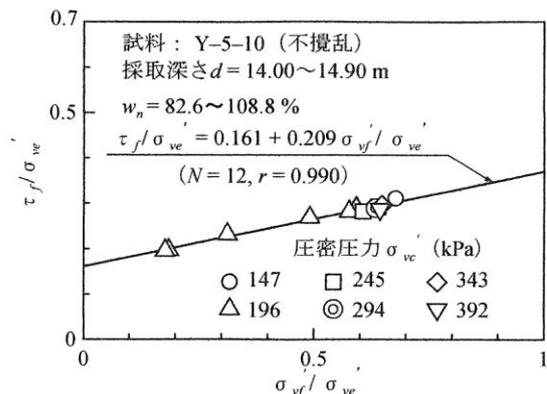


Fig.3 山脚試料 (Y-5-10) の $\tau_f/\sigma'_{ve}-\sigma'_{vf}/\sigma'_{ve}$ 関係
Relation between τ_f/σ'_{ve} and $\sigma'_{vf}/\sigma'_{ve}$ for the Yamaashi samples (Y-5-10)

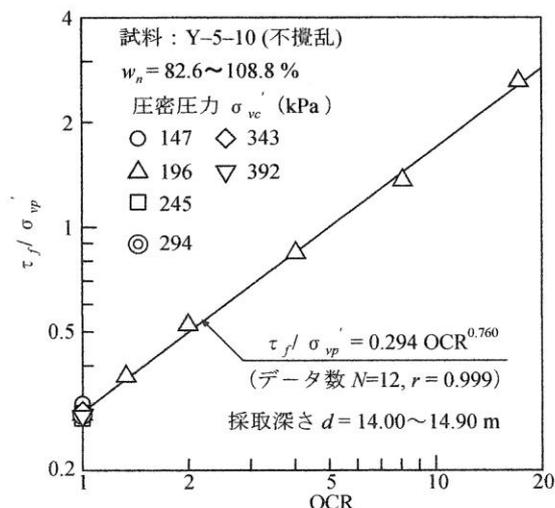


Fig.4 山脚試料 (Y-5-10) の $\tau_f/\sigma'_{vp}-OCR$ 関係
Relation between τ_f/σ'_{vp} and OCR for the Yamaashi samples (Y-5-10)