

フォールコーン試験による粘性土の力学特性評価

日大生産工(院) ○砂盆 優

日大生産工 西尾 伸也

日大生産工 秋葉 正一

1. はじめに

フォールコーン試験は北欧で粘土のコンシステンシーを測定する方法として開発され¹⁾、コーンの貫入力に材料の降伏応力に関連していることから、強度や含水比変化に伴う強度変化を求める方法として、その適用性が数多くの研究で検討され²⁾、原位置試験から求めた強度や鋭敏比との対応についても検証されている³⁾。既報⁴⁾では、7種類の自然粘土試料を用いて、フォールコーン試験から推定した非排水せん断強さと液性指数の間に一定の関係があることを示した。

ここでは、粘土 H を加えた計 8 種類の自然粘土試料を用いて、フォールコーン試験、室内ベーンせん断試験を行い、フォールコーン試験による粘性土のせん断強さの推定について考察した。

2. 試験方法

用いた試料は、全国の 8 地点で採取した自然粘土 8 種類：粘土 A、粘土 B、粘土 C、粘土 D、粘土 E、粘土 F、粘土 G、粘土 H である。JIS 法で測定した主な性質を表 1 に示す。

表 1 試料の主な性質

試料名	液性限界 (%)	塑性限界 (%)	塑性指数
粘土 A	65.9	30.2	35.7
粘土 B	119.8	81.4	38.4
粘土 C	93.1	35.4	57.7
粘土 D	58.7	24.9	33.8
粘土 E	77.4	34.7	42.7
粘土 F	68.3	29.1	39.2
粘土 G	37.3	19.8	17.5
粘土 H	143.7	88.3	55.4

フォールコーンは、JGS 0142-2009 に準拠した 60°・60g コーンの電磁石式自動解放・固定型の装置を用いた。また、非排水せん断強さ： s_u は、フォールコーン測定終了後、同一の試料容器で小型ベーンせん断試験（ベーンブレード幅：20mm、高さ：10mm）により測定した。

3. 試験結果及び考察

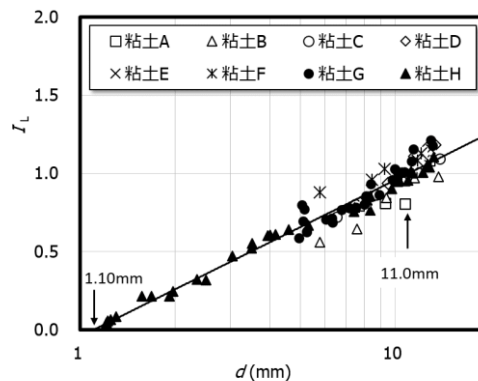


図 1 コーン貫入量と液性指数の関係

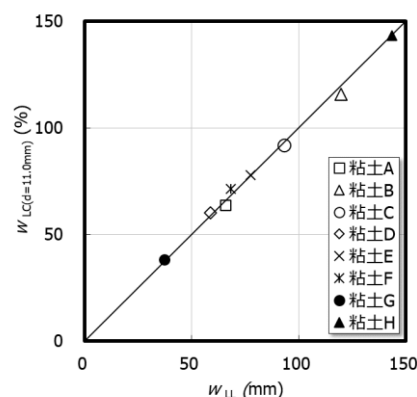


図 2 JIS 法で求めた液性限界との比較

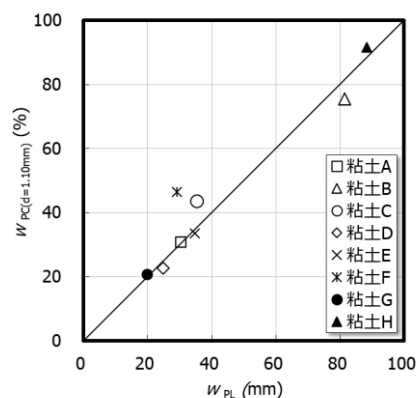


図 3 JIS 法で求めた塑性限界との比較

Evaluation of mechanical properties of cohesive soil by fall cone test

Yu ISAHAI, Sinya NISHIO and Shoichi AKIBA

図1は、用いた自然粘土についてコーン貫入量と液性指数の関係性を調べたものである。地盤工学会基準ではCasagrande法で求めた液性限界との比較から貫入量 $d=11.5\text{mm}$ に対応する含水比を液性限界としている。一方、下辺⁵⁾は、 $30^\circ \cdot 80\text{g}$ コーンを用いた場合、液性限界および塑性限界に対応するコーン貫入量は、 $d_{LL}=20\text{mm}$ および $d_{PL}=2\text{mm}$ 、 $60^\circ \cdot 60\text{g}$ コーンを用いた場合は、その1/2の $d_{LL}=10\text{mm}$ および $d_{PL}=1\text{mm}$ を用いることを提案している。ここでは、図1において、コーン貫入量と液性指数： I_L 関係の近似曲線から求まる、 $I_L=1$ および $I_L=0$ に対応する $d=11.0\text{mm}$ および $d=1.10\text{mm}$ をそれぞれ d_{LL} および d_{PL} とした。

$d_{LL}=11.0\text{mm}$ および $d_{PL}=1.10\text{mm}$ に対応する含水比から液性限界および塑性限界を求め、JIS法と比較した結果を図2および図3に示す。液性限界について良好な相関が見られるが、塑性限界についてはJIS法に比べフォールコーンの方が高い値を示す試料もあり、その対応は必ずしも良好ではない。

従来、 d と s_u の関係については次式が知られており、

$$s_u = k \cdot mg/d^2 \quad (1)$$

k : フォールコーン係数, m : コーン重量,
 g : 重力加速度

k は、室内ベーンせん断試験結果を基に、 30° コーン : 0.85, 60° コーン : 0.29 の値が報告されている¹⁾。

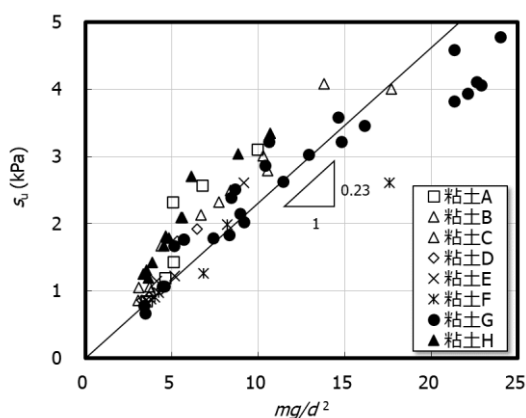


図4 コーン貫入量と s_u の関係

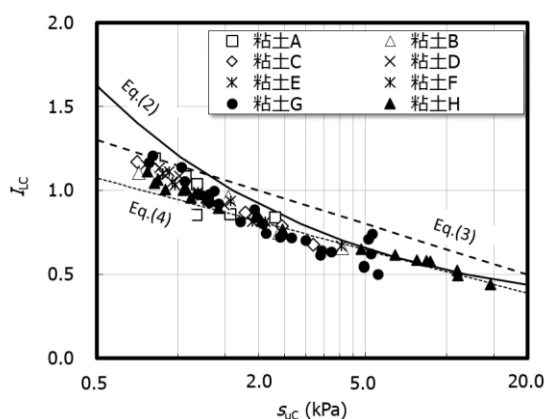


図5 フォールコーンから推定した s_u と液性指数

図4にコーン貫入量から求めた mg/d^2 とベーンせん断試験から得られた s_u の関係を示した。用いた試料のフォールコーン係数は、0.23の値が得られた。図4から求めた k を用いて式(1)で計算される $s_{u,c}$ とフォールコーン試験で得られた液性限界、塑性限界から計算した $I_{L,c}$ の関係を図5に示す。図中には、以下の式を併記した。

$$s_u = k \cdot mg/d^2 \quad (2)$$

$$s_u = 2 \cdot 100^{(1-I_L)} \quad (3)$$

$$s_u = 1.1 \cdot 100^{(1-I_L)} \quad (4)$$

式(2)は文献³⁾で紹介された Leroueil らの提案式、式(3)は、液性限界および塑性限界に対応する s_u を 2kPa および 200kPa とした提案式¹⁾、式(4)は、図1で求めた $d_{LL}=11.0\text{mm}$ および $d_{PL}=1.10\text{mm}$ から式(1)を用いて液性限界および塑性限界に対応する s_u を 1.1kPa および 100kPa と求め式(3)を修正した式である。用いた試料の I_L の範囲では、式(4)の方が変化傾向を比較的良く説明している。

4. おわりに

8種類の粘土試料を用いてフォールコーン試験、室内ベーンせん断試験を行い、フォールコーン試験による非排水せん断強さの評価について検討した結果、フォールコーンから求めた非排水せん断強さと液性指数との間にはある一定の関係が示唆された。

フォールコーンはコンシステンシーに加えて直接強度を評価できることから、コーン係数、他のせん断試験との対応、鋭敏比の影響が整理できれば、力学試験実施が難しい場合などにおける原位置せん断強さの推定方法として期待できる。

参考文献

- 1) Wood, D.W.: Soil behavior and critical Soil Mechanics, Cambridge University Press, 1990.
- 2) 下辺悟: 拡張BSフォールコーン法による土の液性・塑性限界の同時測定とその工学的応用, 第44回地盤工学シンポジウム, pp.7-12, 1999.
- 3) Tanaka, H., Hirabayashi, H., Matsuoka, T. and Kaneko, H.: Use of fall cone test as measurement of shear strength for soft clay materials, Soils and Foundations, pp.590-599, Vol.52, No.4, 2012.
- 4) 砂孟優・西尾伸也: フォールコーン試験を用いた粘性土のせん断強さの推定, 第57回地盤工学研究発表会講演集, 20-3-1-02, 2022.7.
- 5) 下辺悟: スウェーデン・英国規格に基づく土のフォールコーン試験結果の比較, 第48回地盤工学研究発表会発表講演集, pp. 415~416, 2013.