

凍土の破壊規準線とせん断強さの評価 ー凍土設計データベースの整備（その5）ー

鹿島建設(株) 正会員 ○辻 良祐 吉田 輝 田口翔大
ケミカルグラウト(株) 正会員 相馬 啓 長田友里恵
北海道大学 正会員 西村 聡

1. はじめに

凍結工法は、高水圧下においても高い安全性と止水性を有する掘削防護工として活用されている。筆者らは様々な地盤や改良土を対象とした凍土試験を体系的に行い、凍土物性値のデータベース化¹⁾を進めている。その一環として凍土の破壊規準線について検討したので報告する。

2. 目的

図-1 は凍土の一軸圧縮強さ q_u および曲げ引張強さ σ_{bt} 、非拘束せん断強さ τ_{f0} の幾何学的関係の概念図である（本報では q_u 、 σ_{bt} はピーク強さとする）。このうち τ_{f0} は、「 q_u を直径とする一軸圧縮破壊時モール応力円」と「 σ_{bt} を直径とする曲げ引張破壊時モール応力円」の両者に接する破壊規準線の縦軸切片（直応力が 0 の時のせん断強さ）である。破壊規準線を勾配 $\tan \phi$ （ ϕ は内部摩擦角）の直線（Mohr-Coulomb 規準）と仮定すれば、式 (1)、式 (2) で直線を描くことができる。この提案式が妥当であれば q_u および σ_{bt} から、式 (1)、式 (2) を用いて、 $\tan \phi$ 、 τ_{f0} を求めることができる。

$$\tan \phi = \frac{q_u - \sigma_{bt}}{2\sqrt{q_u \cdot \sigma_{bt}}} \quad \dots \text{式 (1)}$$

$$\tau_{f0} = \frac{\sqrt{q_u \cdot \sigma_{bt}}}{2} \quad \dots \text{式 (2)}$$

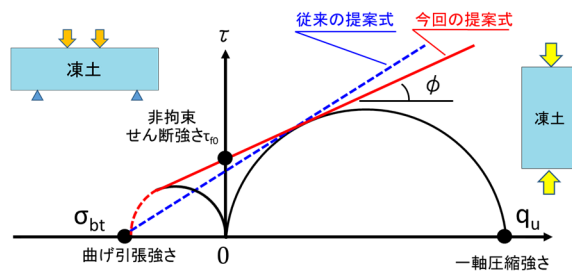


図-1 各強度の関係と破壊規準線

ここで、 q_u と σ_{bt} は正の値とする。今回、上記の方法で破壊規準線および τ_{f0} を求めることの妥当性を実験的に検討した。なお、前報¹⁾では図-1中の引張側のモール円を考慮せず、点 (σ_{bt} , 0) 点を通る破壊規準直線を仮定していたが、今回、理論的により明快な形に修正した。なお、曲げ引張破壊時モール円と破壊規準直線との接点より引張側の破壊規準線は、曲げ引張破壊時モール円と同じ円弧を仮定（図-1中の赤点線）しているが、その妥当性の検証は今後の課題である。

表-1 試料の物理的性質

試料	土粒子密度 ρ_s g/cm ³	コンシステンシー特性			粒度			
		液性限界 w_L	塑性限界 w_p	塑性指数 I_p	礫分	砂分	シルト分	粘土分
君津砂	2.712	NP	NP	NP	0.9	97.9	1.1	0.0
木節粘土	2.642	47.1	21.8	25.3	0.0	10.1	32.8	57.1

3. 試料および試験方法

3.1 試料

試料には市販の君津砂と木節粘土を使用した。各試料の物理的性質を表-1、粒径加積曲線を図-2に示す。各試験の供試体は、凍結後の乾燥密度が君津砂 1.60g/cm³、木節粘土 1.50g/cm³ となり、かつ飽和度が 100% を目標として作製した。

3.2 試験方法

同一の試料、温度において一軸圧縮試験、曲げ試験、傾斜型一面

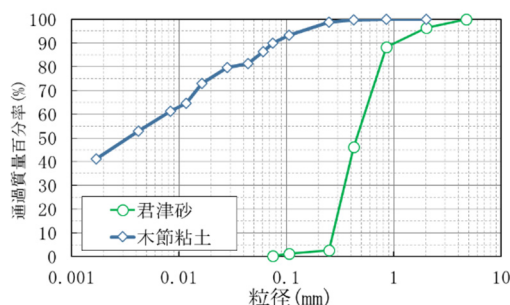


図-2 粒径加積曲線

キーワード 凍結工法 凍結強度 せん断強さ

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL042-489-6481

せん断試験¹⁾ (以下、せん断試験)を実施した。各試験の供試体寸法 (JIS A 1216:2009)、曲げ試験はモルタルの試験方法 (JIS R 5201:2015) に準じて実施した。せん断試験は図-3 に示すように型枠ごと軸方向に圧縮してスリット沿いに滑り破壊させ、滑り面上のピーク応力 D

(σ, τ) を求めた。このピーク応力 D は、図-3 中の σ - τ 平面上において軸圧縮応力のピーク値 q_u^* (見掛けの一軸圧縮強さ) を用いた破壊時モール円と、原点 O から σ 軸に対し滑り面の傾斜角 θ で引いた直線との交点に位置する。 θ は 60° 、 45° の2通りとした。各試験とも型枠に試料を充填して試験温度 (-10°C または -20°C) の冷凍庫内で24時間以上凍結させた後、脱型・整形して使用した。

4. 試験結果

各試験の結果を図-4、図-5に示す。図中の円はそれぞれ q_u および σ_{bt} の平均値に基づく破壊時モール円であり、破壊規準線を両者に接する直線として描いた。図-4、図-5に示すように各強度は温度低下とともに増加することが確認できた。また、せん断試験による破壊時応力状態 (図-3 の D 点) が新たな提案式による直線と良く整合した。このことから、新たな提案式は破壊規準線として妥当であり、式 (1)、式 (2) から $\tan \phi$ および τ_{f0} を算出可能であることがわかった。

5. 結論

-10°C ~ -20°C の温度範囲の凍土強度 (ピーク強さ) について以下の知見を得た。

- ① 凍土の破壊規準線は、今回提案した直線とみなすことができる。
- ② 凍土の非拘束せん断強さは、破壊規準線上の直応力 $\sigma = 0$ の点として q_u 、 σ_{bt} から算出できる。

6. おわりに

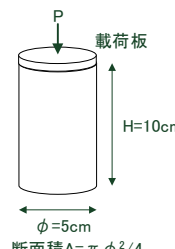
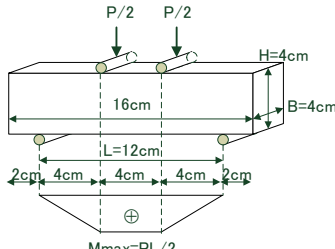
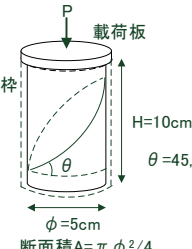
実務設計では凍土のピーク強さではなく、降伏強さを慣用しているため、上記の知見が降伏強さでも成立するか検討する予定である。

参考文献

- 1) 吉田輝ら：凍土の一軸圧縮・曲げ引張・せん断

強さの一括評価—凍土設計データベースの整備 (その1) —, 第53回地盤工学研究発表会, pp.456_457, 2018.

表-2 各試験の供試体寸法と載荷方法

試験名	一軸圧縮	曲げ	せん断
供試体寸法・載荷方法			
強度計算式	一軸圧縮強度 $q_u = P/A$	曲げ引張強度 $\sigma_{bt} = M_{max}/Z$ $Z = B \cdot H^2/6$	軸圧縮応力 $q_u^* = P/A$ 滑り面面積 $A' = A/\cos \theta$ 滑り面応力 $D(\sigma, \tau)$ $\sigma = q_u^* \cos \theta / A'$ $\tau = q_u^* \sin \theta / A'$

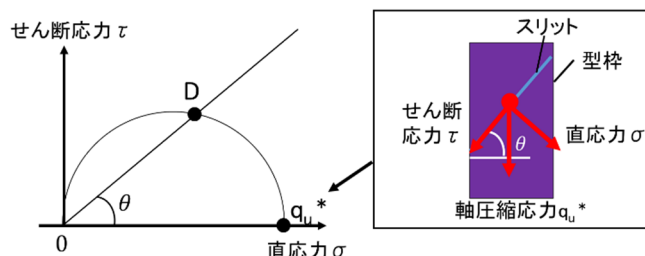


図-3 傾斜型一面せん断試験

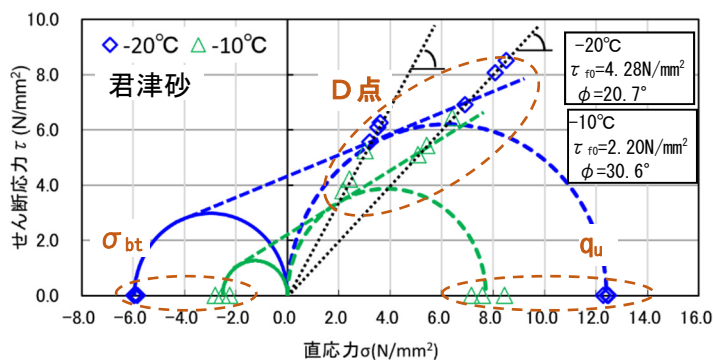


図-4 試験結果 (君津砂)

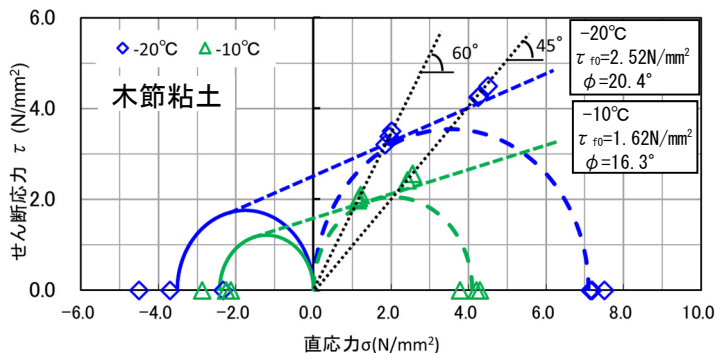


図-5 試験結果 (木節粘土)