

広範囲の含水比領域における練返し粘土の圧縮性とせん断強度およびせん断弾性係数

信州大学工学部 正会員 梅崎健夫, 正会員 河村 隆
前田建設工業(株) 非会員 岡本賢和(元信州大学大学院)

1. はじめに スラリー状態から十分に圧密が進行するまでの広範囲の含水比領域における練返し粘土の圧縮性, せん断強度およびせん断弾性係数は, 年代効果や二次圧密の影響を考える上で基礎となるものである. また, 浚渫埋立地盤の変形・強度増加特性の予測に非常に有効である.

本文では, 4種類の練返し粘土に対して, ベンダーエレメント試験(BE), 室内ペーンせん断試験(VS), 定体積一面せん断試験(DBS)および段階載荷圧密試験(OC)を実施し, 広範囲の含水比領域における練返し粘土の圧縮性とせん断強度およびせん断弾性係数の統一的な評価について検討した.

2. 試験の概要 試料には, 表-1に示す4種類の粘土を用いた. それぞれ市販の工業用粘土, 浚渫土, 沖積粘土および干潟土であり, 塑性や圧縮性が大きく異なる. ここで, ρ_s : 土粒子密度, w_L : 液性限界, I_p : 塑性指数, C_c : 圧縮指数, c_u/p : 強度増加率($c_u = s_u, p = \sigma_v'$), s_u : DBSより決定したせん断強度, σ_v' : 有効鉛直圧密圧力である. BEおよびVSの詳細については, それぞれ文献1)および2)を参照されたい. DBSおよびOCは, それぞれJIS 0560-2000およびJIS A 1217に基づいて実施した.

3. 結果および考察 図-1~4に w_L で正規化した含水比 w/w_L と σ_v', s_u , せん断弾性係数 G およびせん断波速度 V_s の関係を示す. 図-1の各試料の $w/w_L \sim \log \sigma_v'$ 関係は, それぞれの C_c に基づいて決定した. $w/w_L \sim \log s_u$ 関係は, w/w_L 以下の正規圧密領域において, $w/w_L \sim \log \sigma_v'$ 関係と平行になることが知られている. さらに, $w/w_L \sim \log G$ 関係の傾きも, w/w_L 以下において, 粘土によらずほぼ等しい値に近似できることが報告されている¹⁾. すなわち, 図-2および図-3の各試料の近似線は図-1の近似線と平行となるように決定した. それぞれの近似線の相関係数 r は, 表-2に示すとおりすべて $r=0.95$ を上回っており, 近似線の相関は非常に高い. 一方, 図-4においては, 傾きを規定せずに, それぞれの試料に対して, 最小二乗法により近似線を決定した. この場合の相関係数も $r=0.95$ 以上である.

一方, 図-1~4には, それぞれ全試料に対して決定した近似線も破線で示した. それぞれの相関係数も表-2に示すように, $w/w_L \sim \log \sigma_v', \log V_s$ および $\log G$ 関係では $r=0.95$ 程度以上であり相関は高く, 粘土の種類によらずそれぞれ1本の直線で近似することができる. また, $w/w_L \sim \log s_u$ 関係では $r=0.9$ 程度であるが, 1本の直線で近似することができる. 粘土の種類によらず, 全試料において近似した $w/w_L \sim \log \sigma_v'$ および $\log s_u$ 関係の傾きは $\alpha_2=0.26$, $w/w_L \sim \log G$ 関係の傾きは $\alpha_1=0.27$ であり, また, 個々の試料における近似線の傾きともほぼ等しく, $w/w_L \sim \log \sigma_v', \log s_u$ および $\log G$ 関係の近似線は平行な直線として評価できる. ここで, $w/w_L=1$ における σ_v', s_u, G および V_s の値は, それぞれ $\sigma_{L'} 6.2\text{kN/m}^2, s_L 2.6\text{kN/m}^2, G_L 2600\text{kN/m}^2$ および $V_L 41\text{m/s}$ である. これらの値を用いれば, 試料によらず $w/w_L \sim \log \sigma_v', \log s_u$ および $\log G$ 関係を決定すること

表-1 試料の諸特性

	NSF(B) 粘土	宇部港 浚渫土(B)	栗田 粘土	有明干潟土 (六角川)
$\rho_s(\text{g/cm}^3)$	2.726	2.619	2.622	2.650
$w_L(\%)$	73.9	84.2	56.4	125.5
I_p	40.8	49.5	30.5	78.6
C_c	0.59	0.52	0.37	0.94
c_u/p	0.22	0.43	0.34	0.46

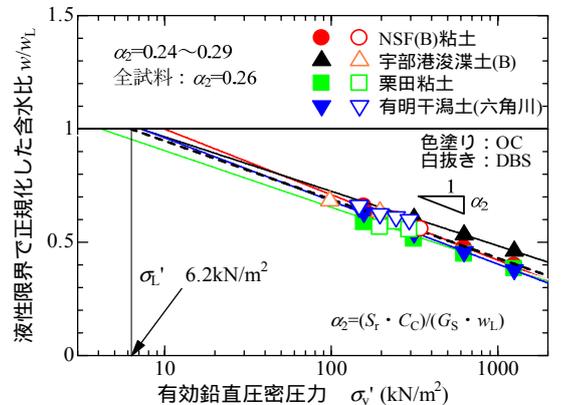


図-1 w/w_L と $\log \sigma_v'$ の関係

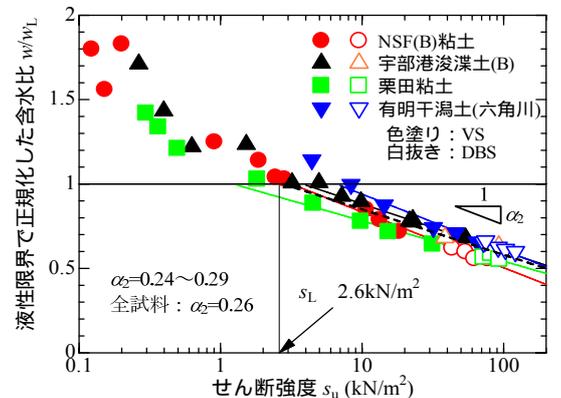


図-2 w/w_L と $\log s_u$ の関係

キーワード: 圧縮指数, せん断強度, せん断弾性係数, 液性限界, ベンダーエレメント, ペーンせん断試験
住所: 〒380-8553 長野市若里 4-17-1 信州大学工学部社会開発工学科, TEL&FAX:026-269-5291

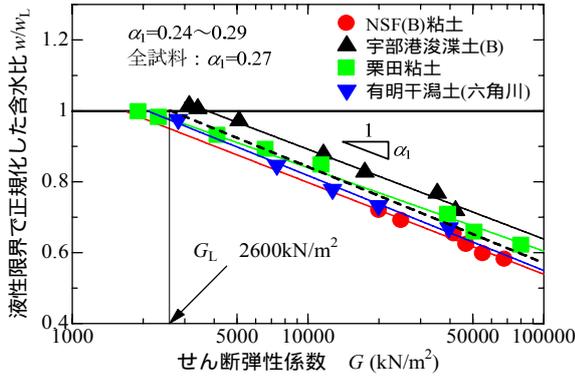


図-3 w/w_L と $\log G$ の関係

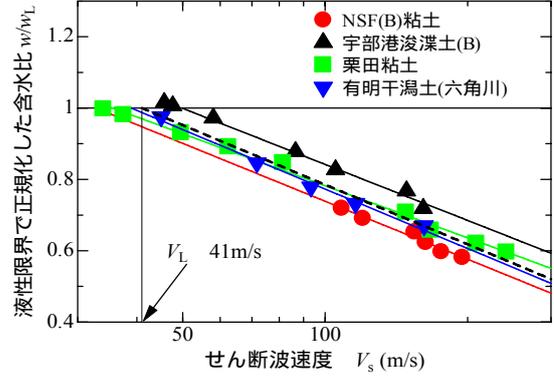


図-4 w/w_L と $\log V_s$ の関係

表-2 w/w_L と $\log \sigma_v'$, $\log s_u$, $\log G$ および $\log V_s$ の関係の近似線の一覧

関係式	NSF(B)粘土	宇部港浚渫土(B)	栗田粘土	有明干潟土(六角川)	全試料
$w/w_L \sim \sigma_v'$	$w/w_L = 1.29 - 0.29 \log \sigma_v'$ $r = 0.9960, p_L = 9.9 \text{ kN/m}^2$	$w/w_L = 1.19 - 0.24 \log \sigma_v'$ $r = 0.9749, p_L = 6.3 \text{ kN/m}^2$	$w/w_L = 1.15 - 0.25 \log \sigma_v'$ $r = 0.9566, p_L = 4.1 \text{ kN/m}^2$	$w/w_L = 1.26 - 0.28 \log \sigma_v'$ $r = 0.9822, p_L = 8.5 \text{ kN/m}^2$	$w/w_L = 1.21 - 0.26 \log \sigma_v'$ $r = 0.9456, p_L = 6.2 \text{ m/s}$
$w/w_L \sim s_u$	$w/w_L = 1.10 - 0.29 \log s_u$ $r = 0.9786, s_L = 2.2 \text{ kN/m}^2$	$w/w_L = 1.10 - 0.24 \log s_u$ $r = 0.9753, s_L = 2.7 \text{ kN/m}^2$	$w/w_L = 1.04 - 0.25 \log s_u$ $r = 0.9877, s_L = 1.4 \text{ kN/m}^2$	$w/w_L = 1.17 - 0.28 \log s_u$ $r = 0.9655, s_L = 3.9 \text{ kN/m}^2$	$w/w_L = 1.11 - 0.26 \log s_u$ $r = 0.8954, s_L = 2.6 \text{ m/s}$
$w/w_L \sim G$	$w/w_L = 1.98 - 0.29 \log G$ $r = 0.9812, G_L = 2327 \text{ kN/m}^2$	$w/w_L = 1.85 - 0.24 \log G$ $r = 0.9955, G_L = 3251 \text{ kN/m}^2$	$w/w_L = 1.84 - 0.25 \log G$ $r = 0.9954, G_L = 2333 \text{ kN/m}^2$	$w/w_L = 1.94 - 0.28 \log G$ $r = 0.9947, G_L = 2242 \text{ N/m}^2$	$w/w_L = 1.91 - 0.27 \log G$ $r = 0.9663, G_L = 2577 \text{ m/s}$
$w/w_L \sim V_s$	$w/w_L = 1.91 - 0.58 \log V_s$ $r = 0.9845, V_L = 36.5 \text{ m/s}$	$w/w_L = 1.81 - 0.48 \log V_s$ $r = 0.9934, V_L = 47.6 \text{ m/s}$	$w/w_L = 1.78 - 0.50 \log V_s$ $r = 0.9967, V_L = 36.5 \text{ m/s}$	$w/w_L = 1.89 - 0.56 \log V_s$ $r = 0.9956, V_L = 39.3 \text{ m/s}$	$w/w_L = 1.89 - 0.56 \log V_s$ $r = 0.9624, V_L = 41.0 \text{ m/s}$

ができる。ただし、全試料の近似線から求めた強度増加率は c_u/p 0.36 となり、表-1 に示した各試料の値とは誤差がある。また、図-1 ~ 4 の各試料の近似線の間には、同じ w/w_L で比較すれば幅があり、含水比が低い場合の s_u , G および V_s を予測する場合には、この幅に応じて誤差が生じる。例えば、 s_u を精度良く予測するためには、全試料に対してではなく、各試料における $w/w_L \sim \log s_u$ 関係を用いるか、もしくは、実測の c_u/p の値を考慮した近似線を用いることが必要である。

図-5 に、全試料に対する $w/w_L \sim \log \sigma_v'$, $\log s_u$ および $\log G$ 関係の近似線から逆算した圧縮指数 C_c^* と実測の C_c の関係を示す。図中の式にそれぞれの傾き α_1 もしくは α_2 と土粒子比重 G_s , w_L および飽和度 $S_r = 100\%$ を代入することにより、 C_c を $\pm 10\%$ 程度以下の精度で予測することができる。

図-6 に σ_v' , s_u , G_L および V_L と各試料の近似線を用いて予測した w_L^* と実測の w_L の関係を示す。 $w/w_L \sim \log \sigma_v'$, $\log G$ および $\log V_s$ 関係を用いれば $\pm 5\%$ 程度以下の精度で、 $w/w_L \sim \log s_u$ 関係を用いれば $\pm 10\%$ 程度以下の精度で、 w_L を予測することができる。

4. まとめ 4 種類の練返し粘土に対して得られた主な知見は以下の通りである。 $w/w_L \sim \log \sigma_v'$, $\log s_u$ および $\log G$ 関係は、試料によらず w_L 以下においてそれぞれ平行な 1 本の直線で近似することができる。その傾きは 0.26 程度である。 $w/w_L = 1$ における σ_v' , s_u , G および V_s は、それぞれ $\sigma_v' = 6.2 \text{ kN/m}^2$, $s_u = 2.6 \text{ kN/m}^2$, $G_L = 2600 \text{ kN/m}^2$ および $V_L = 41 \text{ m/s}$ である。 $w/w_L \sim \log \sigma_v'$, $\log s_u$ および $\log G$ 関係のいずれかが評価できれば、 C_c と w_L を $\pm 10\%$ 程度以下の精度で予測することが可能である。

【参考文献】1)梅崎健夫, 河村 隆, 岡本賢和: 広範囲の含水比領域における粘土の圧縮性とせん断強度・せん断弾性係数の関係(その2), 第42回地盤工学研究発表会, 2007(印刷中)。2)岡本賢和, 梅崎健夫, 河村 隆: 広範囲の含水比領域における粘土の圧縮性とせん断強度・せん断弾性係数の関係, 第41回地盤工学研究発表会, pp.261-262, 2006。

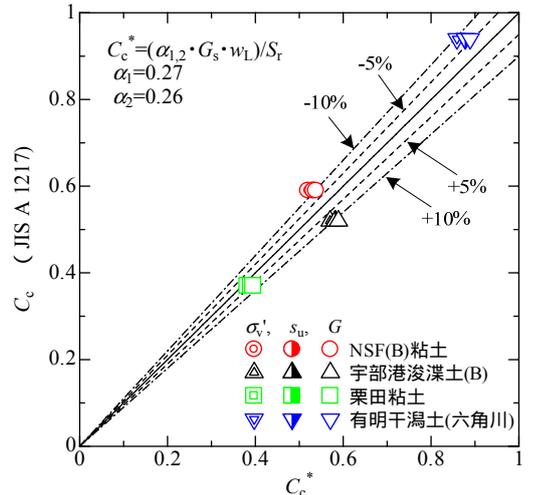


図-5 近似線に基づく C_c の予測精度

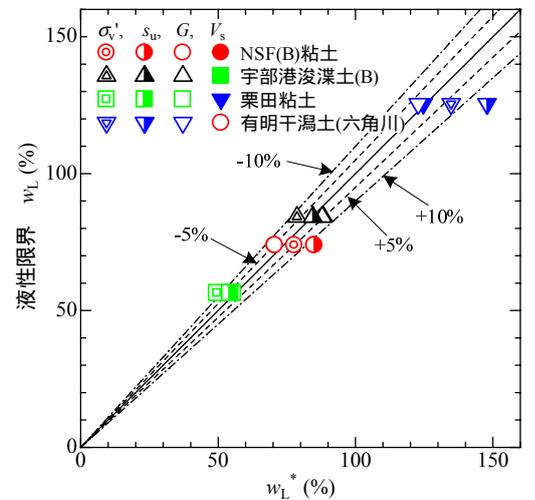


図-6 近似線に基づく w_L の予測精度