

ベントナイトを含む試料のヒズミ軟化とせん断強度について

秋田工専 (学) ○ 佐々木 俊成
 " (学) 藤 原 秀幸
 " (正) 伊 藤 駿

1. はじめに

ベントナイトなどを含む膨潤性の地盤の応力-ヒズミ関係を評価する研究は、あまり多く見受けられない。軟岩などの著しい塑性流動の現象や応力-ヒズミ関係の非線形性を解明する手法として、本研究では Richard-Abbott の提案式により検討してみた。

膨潤性の土を含むものはひじょうにヒズミ軟化が著しいので、この軟化をベントナイトの含有率によってどのように表示されるか、実験し理論的に考察したので以下にその概要を述べる。

2. 試料と実験方法

試料は、豊浦標準砂⁵⁾にベントナイト(クネゲル-3V)を重量比で混合し、ベントナイトの含有率 (Bc) 10, 20, 30, 40, 50 % によって B₁₀, B₂₀, B₃₀, B₄₀, B₅₀ の5種類とした。これを Proctor の相当エネルギーを与えて締め固め、各含有率における最適含水比状態の試料を作製した。

この試料は、容易に吸排水を行なわないので、三軸による UU-Test を実施した。なお供試体は 作製後 24 時間デシケータに静置し、実験時の三軸チャンバーの水温は 20 ± 1 ° に調整した。

3. ヒズミ軟化の表現法

軟岩やベントナイトを含む地盤のヒズミ硬化や軟化の現象を表示する方法 としてはいろいろの試みが考えられるが、ここでは、Ramberg-Osgood 式 を改良した次式の応力 (σ) - ヒズミ (ε) を表示した Richard-Abbott の提案式を適用する。

$$\sigma = \frac{E_0 \varepsilon}{\{1 + (E_0 \varepsilon / \sigma_0)^m\}^{1/m}} + E_p \varepsilon \quad (1)$$

ここで、各定数は 図-1 を参照して次のようになる。

$E_0 = E_i - E_p$ E_i : 初期弾性係数 E_p : 塑性係数
 なお、 σ_0 は E_p 決定時の応力であり、 m は $\sigma - \varepsilon$ 曲線の形状によるパラメーターである。次に $E_p = 0$ の時は

$$\sigma = \frac{E_0 \varepsilon}{\{1 + (E_0 \varepsilon / \sigma_0)^m\}^{1/m}} \quad (2)$$

となり、弾完全塑性 (elastic-perfectly plastic) $\sigma - \varepsilon$ 曲線を表わす。この時 Kondner の双曲線と同一である。

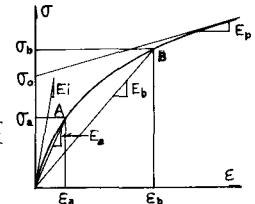


図-1 解析の表示モデル

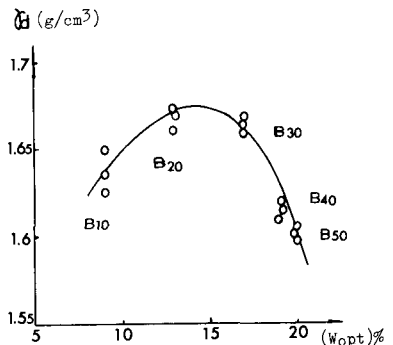


図-2 実験試料の $G_d - w_{opt}$

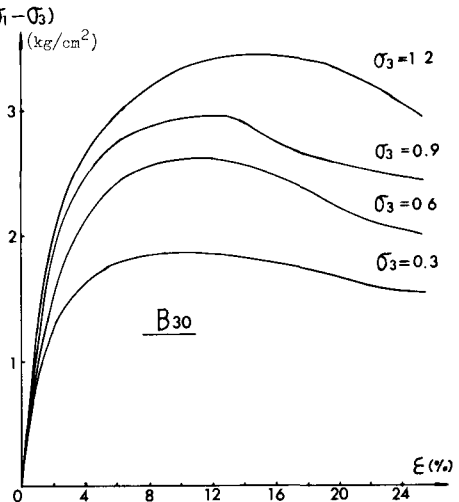


図-3 三軸試験 (UU-Test) の一例

ヒズミ軟化は、ピーク後の $\sigma-\epsilon$ 曲線の接線勾配の E_p (5)に負の値を適用して描く。これは図-1に示すように $\sigma-\epsilon$ 関係の適当な2点A, Bを選び m や各係数を次のように決める。例えば、 $\epsilon_a = \frac{1}{2} \epsilon_b$ とすると

$$A^m - 1 \frac{1}{2^m} (B^m - 1) = 0 \quad (3)$$

ここで $A = E_a / (E_a - E_p)$, $B = E_b / (E_b - E_p)$

$$E_a = \sigma_a / \epsilon_a, E_b = \sigma_b / \epsilon_b$$

これより形状係数(m)は上式(3)を満足するようにして決めるが、 m が求まれば σ_0 も次のように決定する。

$$\sigma_0 = E_b \epsilon / (A^m - 1)^{1/m} \quad (4)$$

4. 実測と解析例

本研究における試料の最適含水比(w_{opt})とその乾燥密度(ρ_d)の関係は図-2のようであった。図示のように $B_{20} \sim B_{30}$ 間で ρ_d が最も大きい。最終強度($\sigma_1 - \sigma_3$)は B_{10} で最も大きく現れた。

このような試料の $\sigma-\epsilon$ 関係を描くと、例えば B_{30} においては図-3のようになる。 σ_3 の大きさによる関係がよくわかるが最大強度に達するまでヒズミ硬化現象がみられ、その後はヒズミ軟化の現象が顕著である。このような $\sigma-\epsilon$ 関係を統一的に表示すると図4のようである。Kondnerの表示法ではヒズミ硬化の現象は表現できるが軟化の挙動については表示できない。そこで式(4)によってこれを近似すると図示の○印のように残留応力状態に達するまでかなりの近似度で表示できることがわかる。残留強度はこれによって推定できないが、ベントナイトを含む供試体の挙動がかなりの範囲まで良く説明できることが検証された。以上のような B_{30} の実験結果より求められた式(4)の諸定数は σ_3 に対し図-5のようであった。 σ_3 の変化に伴う各定数が一定の関係で分布していることがわかる。

次に図-6は、本実験で行った各 B_c による $(\sigma_1 - \sigma_3)_f / \epsilon_f = E_f$ を表わしている。図からわかるように B_c が小さいほど強度の割に ϵ が小さいことがわかり、その関係はほぼ次式のようにであった

$$E_f = 1.688 \times 10^4 \times \frac{1}{(B_c)^2} \quad (5)$$

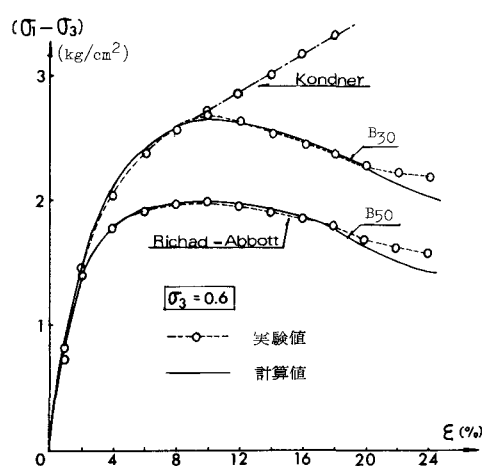


図-4 KondnerとRichard Abbottの方法による解析例

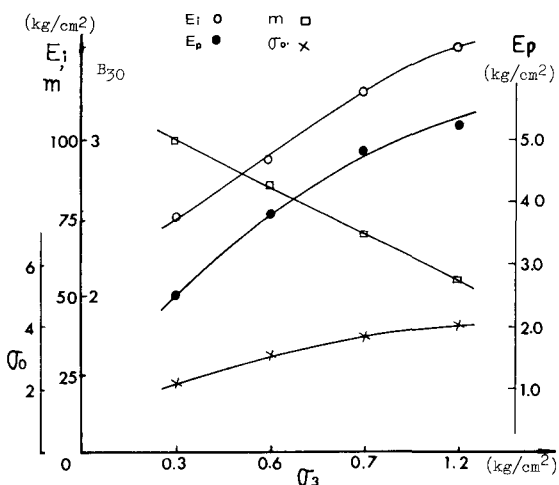


図-5 B_{30} の試料に対する各定数変化

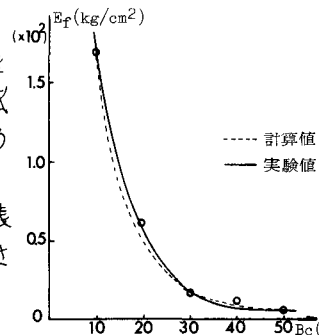


図-6 試料のベントナイト含有率と E_f の関係

【むすび】 以上、ベントナイトを含む供試体の三軸試験により、ヒズミ硬化～軟化現象について考察した。なお一面せん断試験も行なったので、三軸との関係について現在検討を進めている。