

III-15

ベントナイト混合土の変形量算定方法に関する一提案

日本原燃(株)

平松住雄、佐々木泰、高橋一憲

清水建設(株)

正会員 ○大槻正彦、河辺 衛、藤森一男

正会員 石井 卓、長沢達朗

1. はじめに

ベントナイト混合土（ベントナイトと骨材との混合材料）は、飽和に伴う膨潤という特有の性質を有している。このベントナイト混合土を用いた土構造物の変形挙動の評価を目的に、ベントナイト混合土の一供試体に対する不飽和圧縮～飽和膨潤～圧密試験を行った。本報告はこの実験結果に基づき、不飽和状態で載荷されたベントナイト混合土のその後の飽和過程を考慮した変形量算定法（1次元）を提案するものである。

2. 不飽和圧縮～飽和膨潤～圧密試験結果

試験に用いた試料は、砂とベントナイトとの混合土で、ベントナイト配合率は17.5%である。試験方法については文献1)を参照されたい。試験結果を図-1に示す。各曲線はそれぞれ圧密圧力 $p=0.03, 0.23, 0.83$ および 3.23 kgf/cm^2 の下で飽和させたときの結果で、同一圧力における間隙比の増加は膨潤したことを表す。 $p=0.83 \text{ kgf/cm}^2$ では僅かに膨潤し、 $p=3.23 \text{ kgf/cm}^2$ では膨潤しなかった。

図-1より以下のことが考察できる。

- ① 圧密降伏応力の前後に見られる直線関係の傾き（膨潤指数 C_s および圧縮指数 C_c ）はどの結果もほぼ同じで、飽和や膨潤により C_s, C_c が大きく変化することはない。
- ② 膨潤によって圧密降伏応力は変化しているが、 $p=2 \text{ kgf/cm}^2$ 以降の各曲線はほぼ同一線上にあり、膨潤後の圧密降伏応力はこの上方延長線上にある傾向がみえる。

一方、最大膨潤率 ε (%)と飽和時圧力（拘束圧） p (kgf/cm^2)の関係は尾上らの報告²⁾と同様に、 $\sqrt{\varepsilon}$ と $\log p$ との間に概ね直線関係が認められ、次式で表せる。

$$\varepsilon = (-2.5758 \cdot \log p + 0.5243)^2, \quad p \leq p_r = 1.598 \quad \cdots (1)$$

ここに、 p_r は最大膨潤圧で $\varepsilon=0$ より得られる。

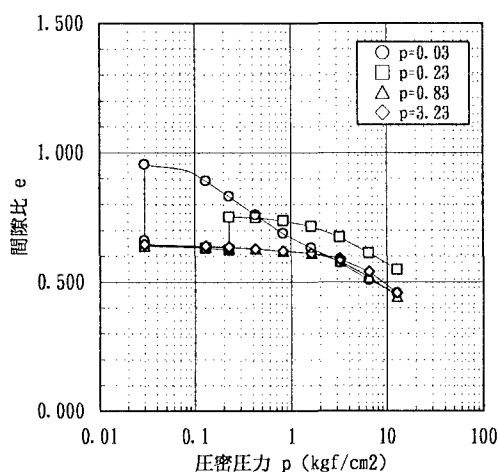


図-1 不飽和圧縮～飽和膨潤～圧密試験結果

3. 変形量算定方法

上記考察より、ベントナイト混合土の変形過程を以下のように考え、変形量の算定を行うこととする。

- ① 膨潤指数 C_s および圧縮指数 C_c は飽和・不飽和の状態によらずそれぞれ一定とする。よって、図-2において不飽和時、および飽和時に膨潤がない場合の圧縮曲線 obd が設定される。
- ② 飽和による除荷膨張(図-2、 $c \rightarrow f$)、膨潤($a \rightarrow a'$)は圧密沈下が終了した段階で起こるものとする。
- ③ 膨潤後の圧縮過程は C_s 直線と平行な直線に沿って圧密後、 C_c 直線の上方延長線上との交点を圧密降伏応力として、以後の圧密は C_c 直線に沿う。(図-2、 $a' \rightarrow e \rightarrow b \rightarrow d$)

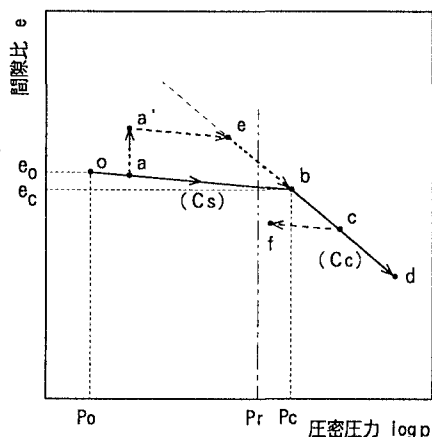


図-2 ベントナイト混合土の変形過程

④ 除荷膨張およびその後の再圧密は一般的な土と同様に考え、膨潤指数Csによるものとする。(図-2、c→f→c→d)

変形量はベントナイト混合土層をn分割して算定することとする。各分割層の沈下量 Δs_k 、膨張量 $\Delta s'_k$ 、膨潤量 Δd_k とすると、変形量 ΔS はこれらの和として次式により求めることができる(沈下方向を正とする)。

$$\Delta S = \sum_{k=1}^n (\Delta s_k + \Delta s'_k + \Delta d_k) \quad \cdots(2)$$

$$\Delta s_k = \frac{Ccs}{1+e_k} h_k \cdot \log \frac{p_k + \Delta p_k}{p_k} \quad \cdots(3), \quad \Delta s'_k = \frac{Cs}{1+e'_k} h'_k \cdot \log \frac{p'_k}{p_k + \Delta p_k} \quad \cdots(4), \quad \Delta d_k = -h'_k \cdot \frac{\varepsilon_k}{100}$$

ここに、 h_k, e_k :分割層厚および間隙比、 $p_k, \Delta p_k$:分割層の作用鉛直圧および鉛直圧増分、 h'_k, e'_k :沈下後の分割層厚および間隙比、 p'_k :飽和後の分割層の作用鉛直圧。 …(5)

Ccs は $p_k, p_k + \Delta p_k$ および分割層の圧密降伏応力 p_{ek} との大小関係に応じて膨潤指数Csまたは圧縮指数Ccをとる。膨潤率 $\varepsilon_k(\%)$ は式(1)より求め、 $p'_k > p_r$ の場合は $\varepsilon_k = 0$ とする。

各分割層の膨潤後の圧密降伏応力 p_{ek}' (図-2、e点)は、膨潤前の圧密降伏間隙比を e_{ek} 、膨潤後間隙比を e_{ek}'' として次式により求める。

$$p_{ek}' = 10^{\left[\frac{(Cc \cdot \log p_{ek} + e_{ek}) - (Cs \cdot \log p'_k + e_{ek}'')}{Cc - Cs} \right]} \quad \cdots(6)$$

一例として、不飽和で施工されたベントナイト混合土に、等分布荷重が十分な時間経過後に順次載荷された場合の変形量を、飽和過程が異なる3ケースについてそれぞれ求め、図-3に示す。変形量 $\Sigma \Delta S$ は、試験に用いたベントナイト混合土からなる層厚2.0mの土層について、 $n = 10$ (分割)、試験結果(図-1)より $Cs = 0.02, Cc = 0.23, (p_e, e_e) = (2.40, 0.60)$ 、単位体積重量 $\gamma = 2.0 (\gamma' = 1.0) \text{ tf/m}^3$ として求めた。

作用圧 [kgf/cm ²]	$p_0 = 0$	$\Rightarrow$ $p_1 = 0.50$ ($\Delta p_0 = 0.50$)	$\Rightarrow$ $p_2 = 1.00$ ($\Delta p_1 = 0.50$)	$\Rightarrow$ $p_3 = 2.00$ ($\Delta p_2 = 1.00$)
CASE-1 $\Sigma \Delta S$ [cm]	0.00	1.61	2.20	2.85 2.80
CASE-2 $\Sigma \Delta S$ [cm]	0.00	1.61	2.20 1.76	2.45
CASE-3 $\Sigma \Delta S$ [cm]	0.00	1.61 -0.97	-0.32	1.30

※ ベントナイト混合土 不飽和 飽和

図-3 変形量算定結果の一例

4. まとめ

ベントナイト混合土の不飽和圧縮～飽和膨潤～圧密試験から得られた変形特性に基づいて、不飽和状態で施工されたベントナイト混合土の、その後の載荷状態に加えて飽和過程も考慮した変形量算定手法を提案した。本手法は、通常の1次元圧密計算手法にベントナイト混合土の飽和膨潤特性を組み込んだ比較的簡易な計算手法であり、ベントナイト混合土の変形量算定に際し有用な方法であると考えられる。

参考文献 1) 尾上篤生、他：「ベントナイト混合硅砂の膨潤率と膨潤圧について」、土木学会第48回年次学術講演会講演概要集、pp. 358～359、1993
 2) 尾上篤生、他：「ベントナイト混合硅砂の圧密・膨潤特性について」、土木学会第47回年次学術講演会講演概要集、pp. 932～933、1992