

東海大学工学部 学生員○鈴木 敏行
東海大学大学院 学生員 鈴木 智
東海大学工学部 正会員 杉山 太宏・赤石 勝

1. まえがき

土木工事で遭遇する粘性土は不飽和状態にあるものも多く、その圧密沈下予測が必要なものも少なくない。関東地方全般に分布する高含水比粘性土の関東ロームを盛土材として利用する場合、締固めたロームの飽和度は90%以上であることが知られている。雨量の多い我が国では、盛土施行前に多少不飽和であっても、降雨により施工中は飽和に近い状態にあると考えられる。実用的な不飽和粘性土の圧密理論が確立していない現状では、飽和粘性土の圧密理論を若干修正して、不飽和土の沈下予測に適用することも可能と思われる。本研究では、含水比を調整して静的および動的に締固めた不飽和ロームの一次元圧密試験を行いその圧密特性について検討した。また、不飽和粘性土の簡便な一次元圧密沈下解析法として、二次圧密を含む一次元圧密方程式に間隙水圧係数 B (B 値) を導入し¹⁾、この解析法の適用について検討した。

2. 一次元圧密方程式¹⁾

Barden は、不飽和土の有効応力式から圧密の基礎式を導いた²⁾。しかし、3 相体からなる不飽和土の圧密方程式には、現行の標準圧密試験から決定できない多くの実験パラメーターが必要となる。さらに、飽和度 S_r によって圧密式が異なるので、不飽和土の圧密解析をより複雑なものにしている。飽和度が90%以上になると、ほぼ飽和粘土の圧密理論と同じになると言われているので³⁾、 B 値を取り入れた一次元圧密方程式を以下のように表した¹⁾。体積ひずみ ε を有効応力と時間の関数として、

$$\varepsilon = m_v \sigma' = [m_a + m_b \log(t/t_0)] \cdot \sigma' \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 m_v は体積圧縮係数、 m_a, m_b は体積圧縮係数に関する定数、 t_0 は時間に依存する体積ひずみが発生し始める時間である。空気泡を含む間隙水に Darcy 則と連続条件式を適用し、一次元圧密中 B 値が一定と仮定することで次式を得る。

$$\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial \sigma'} \right)_t \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{k}{\gamma_w} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} \right)_\sigma + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial \sigma'} \right)_t B \frac{\partial \sigma}{\partial t} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式(1)を有効応力と時間で偏微分して、式(2)に代入し支配方程式が得られる。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \frac{0.434 m_b \sigma'}{m_v} + B \frac{\partial \sigma}{\partial t} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 c_v は圧密係数である。図-1 は、式(3)を差分表示し、 B 値を変化させて計算した体積ひずみ時間曲線である¹⁾。 B 値が小さく飽和度が低下すると、載荷直後に大きなひずみを生じている。このときの曲線は、載荷直後より圧密末期のような形状となっている。

2. 試料および実験方法

実験に用いた試料は、東京都内および東海大学構内で採取した乱した関東ローム(試料 A, B)で、試料の物理特性を表-1 に示した。いずれも一般的な高含水比のロームで、この試料により以下の実験を行った。

実験 A: 試料 A を圧密リングに詰め、静的な締固め荷重 $p_v = 1.6, 3.2, 6.4, 12.8 \text{ kgf/cm}^2$ で 24 時間圧密した後、試料上端をカットし標準圧密試験を行った。

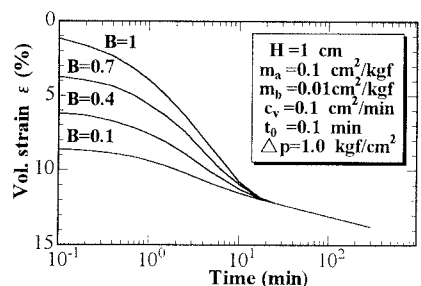


図-1 B 値を変化させた計算結果

表-1 関東ロームの物理特性

sample	Gs	w _n (%)	w _L (%)	w _p (%)	Grading(%)		
					clay	silt	sand
A	2.732	87~97	116.0	70.5	13	33	54
B	2.897	100~110	104.9	72.0	21	42	37

キーワード：一次元圧密、飽和度、関東ローム、間隙水圧係数

連絡先：〒259-1201 平塚市北金目1117 東海大学土木工学科 TEL 0463-58-1211 FAX 0463-50-2045

実験B：試料Bの含水比を気乾あるいは加水して 50%から 120%に調整し、静的($p_v=0.05\text{kgf/cm}^2$)あるいは CBR モールド内に圧密リングを置いて動的に締固めた後、上端をカットして $p_v=1.6\text{kgf/cm}^2$ で 24 時間圧密した試料を各 3 つ用意した。このうち2つは、 p_v で圧密後の含水比と飽和度、ならび三軸試験装置により B 値を測定した。残りの試料は 6 秒以前の沈下挙動を調べるために、圧密荷重増分 $\Delta p=1.6\text{kgf/cm}^2$ を載荷後、ダイヤル式変位変換器で 0.01 秒から 24 時間計測した。

3. 実験結果と考察

図-2の各記号は、実験Aから得られた締固め荷重 $p_v=3.2\text{kgf/cm}^2$ の体積ひずみと時間の関係である。圧密荷重が p_v 以上になると c_v あるいは不飽和の影響か、飽和粘土で観察される一次圧密末期のような形状となる。また、 p_v を境に正規圧密、過圧密領域とすると二次圧密係数 c_a は各領域毎でほぼ一定である。図-3の実線は、差分計算の結果である。B 値以外の定数を各圧密曲線から求め¹⁾、B 値のみ変化させて試験結果に近いものを示した。荷重段階の増加により各荷重載荷前の飽和度も増加していると思われる、計算に用いた図中の B 値も増加する傾向である。

図-3は、自然含水比の試料Bを 0.05kgf/cm^2 で静的に締固めた後、標準圧密試験の荷重段階で 0.01 秒から計測した体積ひずみと時間の関係である。載荷時間間隔は最後を除き 40 分とした。初期飽和度は 56%と低く、全荷重載荷後も 78%である。荷重の大きさによるひずみ量と形状にはほとんど違いがなく⁴⁾、 10^{-2} min まで排気によると思われる瞬間的な沈下が生じている。それ以降、徐々に沈下速度が減少しているが、この程度の飽和度では、6 秒以降の沈下はあたかも二次圧密ような形状を呈している。

図-4(a),(b)は、静的、動的に締固めた実験Bの体積ひずみ時間関係の一例である。図中の飽和度と B 値は Δp 載荷前の値である。いずれも飽和度が 90%を越えると 10^{-1} min 付近から見れば飽和粘性土の沈下曲線と同じように見える。また、いずれも飽和度の増加に伴い、B 値は増加するが、この B 値による差分法の計算結果はよく一致したが、紙面の都合上、詳細は会場にて報告する。

4. むすび

不飽和ロームの一次元圧密について実験と数値計算により検討し、飽和度が圧密曲線に及ぼす影響を示した。

参考文献

1) 山田,杉山,赤石,稲田(1989): 粘性土盛土材料の～第 16 回関東支部,pp.220-221. 2)Barden,L.(1965a):Consolidation ～, Geotechnique,pp.15-267. 3) 最上武雄:土質力学,技報堂. 4)Yoshimi,Y.et.al(1963): Proc.Am.Soc.Civ.Engrs.89-SM.

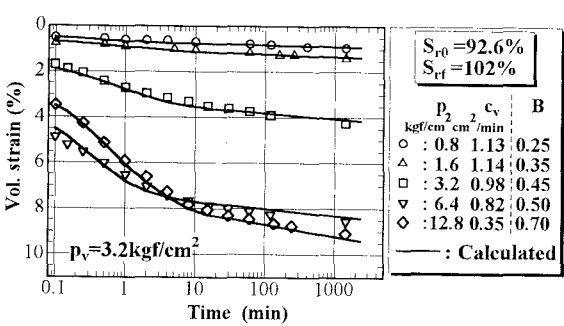


図-2 体積ひずみ時間関係 (実験A)

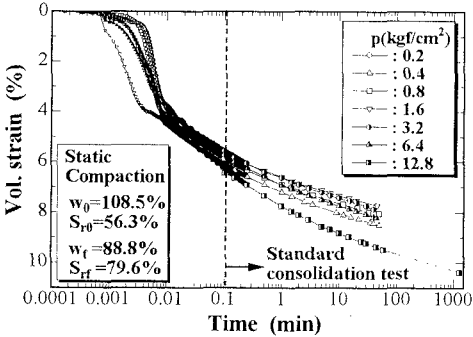
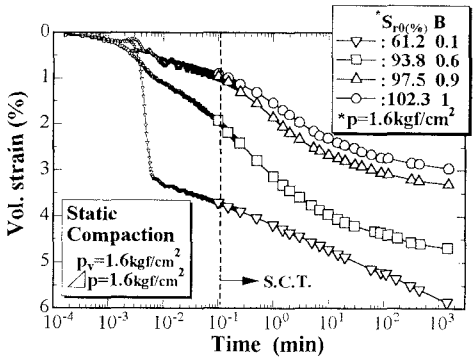
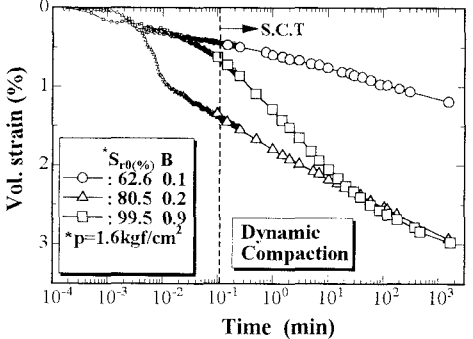


図-3 0.01秒からの体積ひずみ時間関係 (試料B)



(a) 静的締固め



(b) 動的締固め

図-3 0.01秒からの体積ひずみ時間関係 (実験B)