

Yin モデルによる粘性土の圧密沈下解析

山口大学工学部 正会員 松田博
山口大学大学院 学生員○村上剛敏
復建調査設計(株)正会員 佐藤秀政
復建調査設計(株) 正会員 周藤宜二
山口大学大学院 学生員 三原正之

1. はじめに 圧密機構を明確にするための努力はすでに半世紀以上にわたって払われてきているが、その中で特にクリープは沈下－時間関係に著しく影響する。しかしそのメカニズムについてはいまだに明らかにされていない点が多い。一方、泥炭は植物繊維が縦横に交錯した海綿状の構造をしており、沖積海成粘土に比べてクリープによる沈下が大きいことが知られている¹⁾。そこで、本研究では一次圧密中に生じるクリープを表現できる圧密モデルとして Yin 等²⁾(1996)により導かれた EVP(弾粘塑性)モデル (Yin モデルと呼ぶ) による計算結果と泥炭についての圧密試験結果を比較することによって、一次圧密中のクリープが粘土の沈下特性に及ぼす影響について検討した。

2. 試験方法 本研究で用いた試料は、神奈川県でシンウォールチューブにより採取した泥炭の攪乱・不攪乱試料および横浜で採取した攪乱試料（横浜粘土）である。これらの試料の物理的性質を Table 1 に示す。実験は、層別計測型圧密試験装置(分割供試体高さ 20mm、直径 60mm、分割数＝5)を用い、Table 2 に示す载荷パターンのもとで、実験を行なった。実験においては、圧密圧力 39.2kPa、78.4kPa で各分割層ごとに片面排水状態で 2 段階の予圧密を行なった。次に、上部排水バルブを閉じ非排水状態で所定の圧密圧力で約 1 週間载荷した後、上部排水バルブを開け圧密を開始した。この実験を Type A と呼ぶことにする。また、予圧密終了後、载荷と同時に排水させる試験も行なった (Type B)。なお、圧密中はバックプレッシャーとして 98kPa を負荷した。

3. 実験結果 Yin 等¹⁾ (1996)は、弾粘塑性 (EVP) 圧密モデルによる圧密計算手法を提案した。以下にモデルの基本式を示す。

$$C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{\partial u}{\partial t} - \frac{1}{m_v} g(u, \varepsilon_z) \tag{1}$$

$$\frac{\partial \varepsilon_z}{\partial t} = -m_v \frac{\partial u}{\partial t} + g(u, \varepsilon_z) \tag{2}$$

ここで、

$$g(u, \varepsilon_z) = \frac{\psi/V}{t_0} \left\{ \exp \left(-\varepsilon_z \frac{V}{\psi} \right) \right\} \left(\frac{\sigma_z - u}{\sigma_{z0}} \right)^{\lambda/\psi} \tag{3}$$

ここに、
u は間隙水圧、 m_v は体積圧縮係数、 ϕ はクリープパラメータ、V は体積比、 σ_z は圧密圧力、 ε_z はひずみ、また、 $g(u, \varepsilon_z)$ は、Yin モデルのクリープ関数である。このモデルは、等価時間 t_e の考え方

Table 1 Physical properties of samples.

	Yokohama peat		Yokohama clay
	Disturbed	Undisturbed	
ρ_s (g/cm ³)	2.161		2.69
w_L (%)	245.1		113.3
I_p	167.2		69.1
L_i (%)	70.0		—
C_c	3.40	4.13	0.77
e_0	8.41 (3.64~12.54)		2.70
w_0 (%)	365.3 (166.2~345.4)		102.3

Table-2 Loading patterns and drainage conditions.

Test No.	Type	Sample	Condition in sample	σ_0 (kPa)	$\Delta \sigma$ (kPa)	H ₀ (cm)	No. of subspecimens n	Drainage
PBd-10	B	Peat	Disturbed	78.4	78.4	10	5	Without Undrained loading
PBu-10	B		Undisturbed					
YBd-10	B	Yokohama clay	Disturbed	78.4		2	1	With undrained loading
YAd-2-1	A	Yokohama clay	Disturbed		0			
YAd-2-2	A				78.4			
YAd-2-3	A				156.8			

H_0 : Initial specimen height

を發展させたもので、一定のクリープパラメータを用いることにより過圧密および正規圧密粘土に対して適用できる。ここでは、Yin モデルによる結果と層別計測型圧密試験結果を比較する。

Fig. 3 は、攪乱ピートの沈下ひずみと時間の関係であり、Fig. 4 は過剰間隙水圧の消散過程である。ピートは一次圧密中のクリープが大きいため、Terzaghi の圧密理論では最終沈下量に違いが生じるが、Yin モデルの解析結果とはよく一致している。

Fig. 4 において、Yin モデルと実測値では、いずれの場合も排水面側の過剰間隙水圧の消散が早く、また、Yin モデルでは载荷後ある期間、非排水面側の層で過剰間隙水圧が上昇していることが分かる。これは、圧密過程において過剰間隙水圧の消散速度 ($-\partial u_e / \partial t$) が負になることを示している。

Fig. 5 は層厚 2cm の供試体について非排水期間中の過剰間隙水圧の経時変化を示したものである。Fig. 6 は、境界条件を両面非排水として得られた Yin モデルでの結果を示す。Fig. 5 より、载荷直後、荷重増分 (0kPa, 78.4kPa, 156.8kPa) と等しい過剰間隙水圧が発生し、その後時間経過とともに増加している。これは、非排水状態ではクリープ量に対応した応力緩和が生じるため、有効応力の減少すなわち過剰間隙水圧の上昇が生じると考えられる。また、図中には、粘土のかわりに真鍮を用いた結果も示しているが、間隙水圧はほぼ一定になっており、粘土供試体で得られる間隙水圧上昇は応力緩和に起因したものであるといえる。すなわち非排水条件下では、粘土はクリープに起因して過剰間隙水圧が上昇するが、これはクリープが生じる時、粘土は圧縮する傾向にあるが、非排水状態にあるために、圧密圧力が過剰間隙水圧によって受け持たれるため、結果として間隙水圧が上昇したと考えられる。

Fig. 6 は、境界条件を非排水状態として Yin モデルにより得た間隙水圧の経時変化である。同図より、Yin モデルによって、非排水状態における過剰間隙水圧の上昇を表現できることが分かる。

Yin モデルも、この考えを表す構成関係からなっているため、非排水期間中の過剰間隙水圧の上昇を予測できる。

4. まとめ Yin モデルは一次圧密中のクリープをうまく表現できるため、骨格が顕著な粘性を示す泥炭に対しても、沈下ひずみにおいて実験結果とよく一致し、また、非排水期間中の過剰間隙水圧の上昇も予測できることが分かった。

参考文献: 1) 松尾啓・山口晴幸・大平至徳: 泥炭の二次圧密係数について, 土質工学会論文報告集, Vol. 26, No. 1, pp. 139-150, 1986. 2) Yin J. H. and Graham J., Elastic visco-plastic modeling of one-dimensional consolidation, Geotechnique, 46, No. 3, 515-527, 1996.

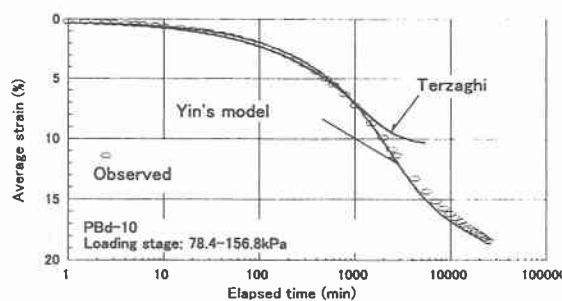


Fig.3 Average strain calculated by EVP model for PBd-10.

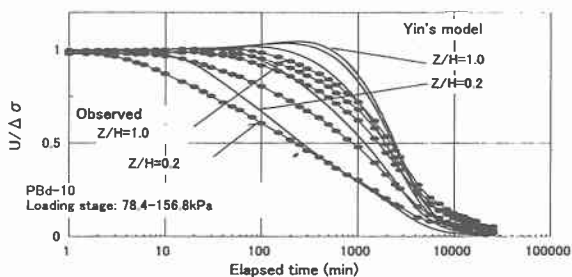


Fig.4 $u / \Delta \sigma$ calculated by EVP model for PBd-10.

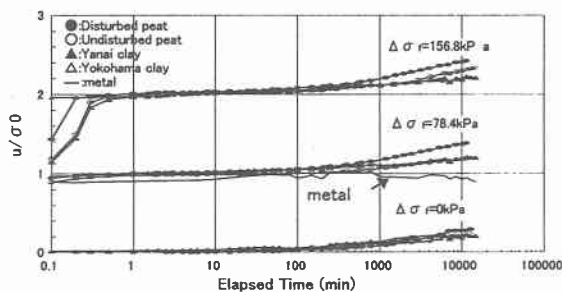


Fig.5 Changes of excess pore water pressure.

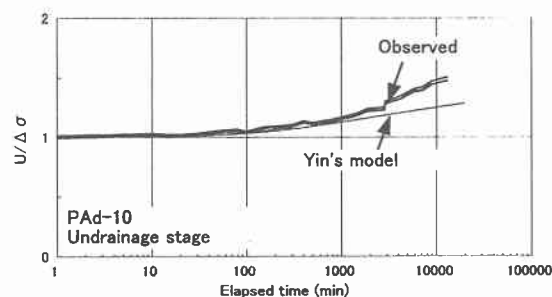


Fig.6 $u / \Delta \sigma$ calculated by EVP model for PAAd-10.