

粘土梁を用いた圧密粘土の粘弾性定数の測定

東海大学大学院 学生員 ○横溝 純一
東海大学工学部 正会員 本間 重雄

1. まえがき

粘土地盤上に構造物荷重が載荷されると、瞬間的な即時沈下とともにせん断変形による沈下や側方変位ならびに圧密沈下が生ずる。しかし即時変形の計算では載荷重による粘土の体積変化やせん断変形は瞬間的に生ずるとみなし、変形の時間的推移は圧密理論のみによって算定されている¹⁾。飽和粘土が作用応力により変形する際、間隙水の排出による圧密変形と同時に、せん断応力による飽和粘土全体の粘性変形がどのように進行するのかは興味ある問題である。それには、粘土固体全体の粘性定数を知る必要があり、それが知れば載荷重による地盤の圧密変形と同時に進行する粘性変形が評価できる。本研究は圧密試験により圧密した粘土試料について粘土梁によるたわみ試験を行い、たわみ量の時間的変化から圧密粘土の弾性係数と粘性係数とを同時に求める方法について検討したものである。

2. 実験概要

たわみ試験用の矩形断面の粘土供試体を作成するため、図-1 に示す幅 2.0cm、長さ 14.1cm、圧密面積が標準圧密試験と同じ 28.3cm²の直方体圧密容器を製作した。



図-1 直方体圧密容器



図-2 圧密試験

実験には美術工芸用に市販されている彫塑粘土を用いた。物理試験の結果は、土粒子の密度 $\rho_s = 2.56 \text{ g/cm}^3$ 、自然含水比 $w_n = 36.2\%$ 、液性限界 $w_L = 58.2\%$ 、塑性限界 $w_p = 18.7\%$ 、粒度は 75 μm 通過率 100%、5 μm 以下(粘土分)含有率 77.5%であった。この粘土を圧密容器に初期厚さ 2.0cm に成形セットし、20 kPa から 640 kPa までの載荷重を各 1 日載荷して圧密量を測定した(図-2)。圧密終了後、粘土を取り出し、図-3 に示す粘土梁たわみ試験を実施した。たわみ量の測定は正面からマイクروسコープにより行った。

3. 粘弾性定数の求め方

図-4 は各圧密圧力で圧密した粘土供試体のたわみ試

験結果を示したものである。たわみは梁の中央位置 ($x = L/2$) で測定し、試験開始時に求めた粘土梁の寸法と重量(自重)を図中に示した。粘土梁は最初 0.5cm ほど急激に撓んだ後、自重によるたわみがゆっくりと増加していく様子がみられる。最初の数分間は、瞬間弾性たわみと粘性たわみとが重なった過渡的な変形(遅延弾性応答)がみられる。

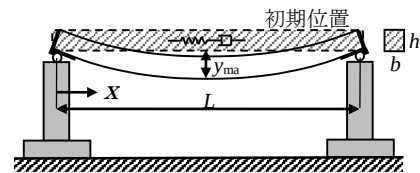


図-3 粘土梁たわみ

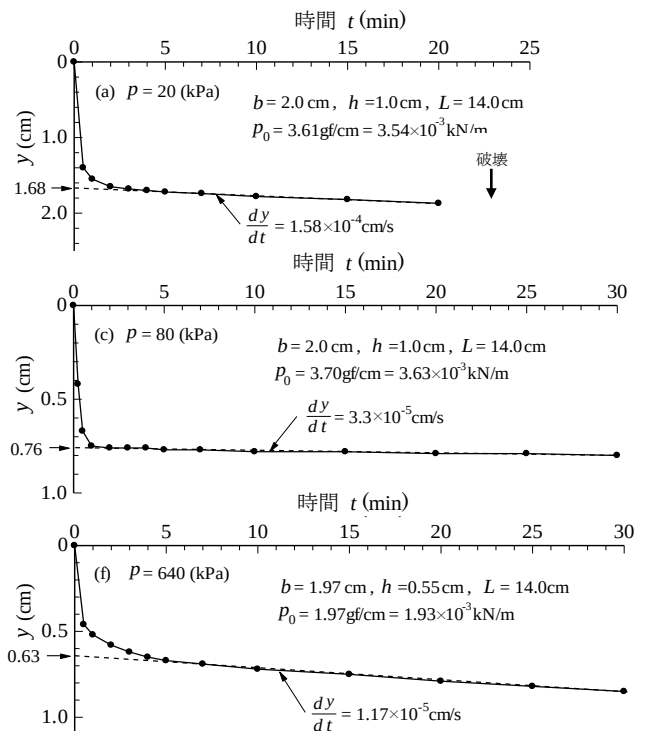


図-4 たわみ試験結果

4. 圧密粘土の粘弾性圧縮特性

等分布荷重(自重) p_0 を受ける単純梁の最大たわみは次式で与えられる²⁾。

$$y_{\max} = \frac{5p_0 L^4}{384EI} \quad (1)$$

したがって、梁の断面 2 次モーメント I と荷重強さ(自重) p_0 が与えられ、たわみ $y_{\max}$ が測定されれば、梁の弾性係数 E を求めることができる。瞬間的な弾性変形に引き続いて生ずる粘性変形を評価するため、単純な線形粘弾性体として Maxwell 固体を考える。

キーワード：圧密、圧縮率、粘弾性

連絡先：〒259-1292 神奈川県平塚市北金目 1117 東海大学工学部 TEL 0463-58-1211 FAX 0463-50-2045

線形 Maxwell 体に対する応力-ひずみ関係は次式で与えられる³⁾。

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\dot{\sigma}}{G} + \frac{\sigma}{\eta} \quad (2)$$

ここに G はせん断弾性係数, η は粘性係数である。式(1)に含まれる材料定数 $1/E$ をせん断弾性係数 G と体積弾性係数 K を用いて表すと

$$\frac{1}{E} = \frac{3K+G}{9KG} \quad (3)$$

となる。 G に対し Maxwell 体に対する粘弾性演算子を用いてラプラス変換を行うと

$$\frac{3K/\tau + (3K+G)s}{9KGs^2} = \frac{1}{3\eta s^2} + \frac{3K+G}{9KGs} \quad (4)$$

となり($\tau = \eta/G$: 遅延時間), この逆変換を行うと⁴⁾式(1)に対する粘弾性解は

$$y = \frac{5P_0L^4}{384I} \left(\frac{1}{E} + \frac{t}{3\eta} \right) \quad (5)$$

と求められる。さらに式(5)を時間 t に関して微分すると

$$\frac{dy}{dt} = \frac{5P_0L^4}{384I \cdot 3\eta} \quad (6)$$

となるので, 圧密粘土の粘性係数 η が次式で求められる。

$$\eta = \frac{1}{3} \left(\frac{5P_0L^4}{384I} \right) / (dy/dt) \quad (7)$$

図-5 は圧密試験から得られた体積圧縮係数 m_v とたわみ試験による弾性係数の逆数 $1/E$ (圧縮率)を比較したものである。圧密試験から得られる m_v は, 圧密理論で導入された有効応力に係わる粘土構造骨格の圧縮率であり, 一方たわみ試験から求められた圧縮率は粘土粒子および間隙水を含めた粘土全体の巨視的な圧縮率を示す。図-5 によれば, 粘土構造骨格の圧縮率は粘土全体の巨視的な圧縮率の約 1.5 倍の大きさとなっており, 両者とも同様な減少傾向を示している。

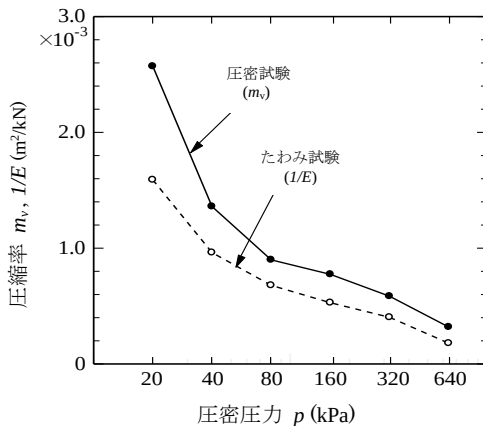


図-5 圧縮率の変化

図-6 は圧密圧力の変化に対する粘土の粘性係数の変化を示したものである。全体的に粘性係数の対数が圧密圧力の対数に比例して増大していることがわかる。

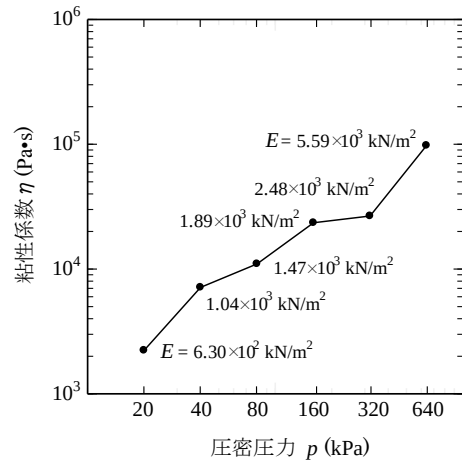


図-6 粘性係数の変化

図-7 はたわみ試験から得られた粘土の弾性係数と粘性係数の関係を示したものである。弾性係数の増加率に対し, 粘性係数は約 2 倍の増加率を示している。このことは, 圧密により粘土骨格が収縮すると, その弾性的な変形に比して粘性変形が大きく低下し, さらに粘土骨格の体積圧縮係数は粘土の巨視的な弾性係数と同様の变化を示すことから, せん断による粘土地盤の粘変形は圧密が進行するにつれ大きく減少するものと考えられる。

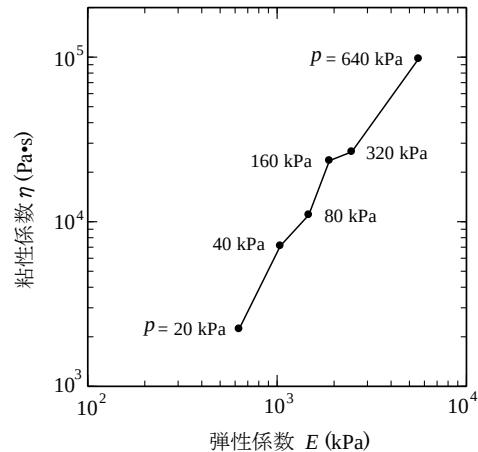


図-7 弾性係数と粘性係数の関係

5. あとがき

本研究は, 飽和粘土の変形特性を表す弾性係数と粘性係数を, 粘弾性理論に基づく梁のたわみ試験結果から求める方法について検討し, 圧密圧力の強さによって粘土の粘弾性特性がどのように変化するかを実験的に究明したものである。外力が作用する半無限弾性体内の応力や変位についてはすでに多くの理論解が求められている。これらに対し, 弾性体と線形粘弾性体の応力-ひずみ関係に関する対応原理³⁾を適用すれば, 地盤全体の粘弾性挙動を解析することができる。今回の実験結果は市販の彫塑粘土を用いた結果であり, 試験で得られた特性が他の自然粘土でも同様に見られるのか今後実験を通じて検証していくつもりである。

【参考文献】1) 地盤工学会: 土質工学ハンドブック, 第5章 土の圧縮と圧密, pp.159-162 (1982) 2) 成岡昌夫・遠田良喜: 土木構造力学, 市ヶ谷出版社, pp.71-87 (1991) 3) G.E. Mase: Continuum Mechanics, Chapter 9 Viscoelasticity, McGraw-Hill, pp.196-216 (1970) 4) 近藤次郎: ラプラス変換とその応用, 培風館, pp.1-40 (1977)