

III-129

有限変形理論を用いた定ひずみ速度圧密試験結果の整理法

鳥取大学工学部 ○(正) 清水正喜
(株) 竹中土木 (正) 植原隆宏

1. 研究の背景と目的

定ひずみ速度圧密試験結果から圧密特性を決定する方法(結果の整理法)はWissaら¹⁾による微小変形理論に基づいて基準化されている²⁾。しかし、実際の粘土試料の定ひずみ速度圧密試験で生じるひずみは、硬質の試料を除いて、決して微小ではない。従って、有限変形理論に基づいた整理法の適用性を検討することも重要である。

著者ら^{3), 4)}は、Znidarcicら⁵⁾による有限変形理論に基づいた整理法の適用性を検討した。その過程でZnidarcicらが提案したオリジナルの方法では、供試体の上面および下面で同じ $e-\sigma'$ 関係が得られるまで反復計算を行うが、収束の判定が容易でないこと、また必ずしも収束しない場合があるなどの問題点があることがわかった。

微小変形、有限変形に関らず、理論解を得るためには支配方程式を線型化する必要がある。Wissaらの理論では圧密係数(c_v)を、Znidarcic等の理論では c_v に相当するパラメータ(g)を一定と仮定して解が得られた。ここに、

$$g = - \frac{k}{\gamma_w(1+e)} \frac{d\sigma'}{de}$$

基準法では、この理論的仮定以外に構成関係に関する仮定を設けることによって巧みに圧密特性が決定できる。著者ら⁶⁾は、基準法と同じ理論に基づくが、理論上の仮定以外の仮定を設けない、一つの整理法を提案した。基準法による結果と比較することによって、提案法の有用性を示した。

提案した方法は、Wissaらの解のように、定ひずみ速度圧密試験の開始からある時間まで、一定の圧密係数を用いる場合に適用できる。一方、Znidarcicらの解は、構成パラメータ(g)が1つの時間増分では一定であることが要求されるが、時間増分毎にその値を変えることができる、一種の増分型である。本報告では、先に提案した方法と同じ原理に基づいているが、その様な増分型の解に適用できる方法を新たに示す。ここで提案する方法も、先の提案法と同じく、理論上

の仮定以外の仮定を設けない方法である。この方法を適用した結果は、別に示している⁷⁾ので、ここでは方法のみを示す。

尚、ここで示す新しく提案する整理法を「増分型整理法」、先に示した提案法を「全ひずみ型整理法」と仮称する。

2. 結果の整理法の原理

2.1 定ひずみ速度圧密試験時の有効応力

定ひずみ速度圧密試験では、供試体上面($z=0$)および下面($z=H$)での有効応力を刻々測定する：

$$\begin{aligned}\sigma'(z=0, t) &= p(t) \\ \sigma'(z=H, t) &= p(t) - u_b(t)\end{aligned}\quad (1)$$

ここに、

$p(t)$: 軸方向圧縮力(単位面積当り)

$u_b(t)$: 供試体下面での間隙水圧

一般に $u_b(t) > 0$ なので、どの時間 t においても

$$\sigma'(z=0, t) \neq \sigma'(z=H, t) \quad (2)$$

換言すれば、同時に上面と下面で有効応力が等しくなることはない。等しくなる時間は上面と下面で異なることに注意する。

2.2 全ひずみ型整理法⁶⁾

位置 z 、時間 t における解が理論的に与えられているものとする。Wissaの理論ではひずみ ϵ が未知関数、従ってここでは解として ϵ が与えられるものとする。この解は、圧密係数のある一定値($c_v(t)$ とおく)に対して求められるものであるから、解は z, t 以外に $c_v(t)$ に依存する：

$$\epsilon = \epsilon(z, t; c_v(t)) \quad (3)$$

$t=t_0$ のときの上面の有効応力が $t=t_H$ のときの下面の有効応力に等しいとする(図1のA, A'点)、即ち、

$$\sigma'(z=0, t=t_0) = \sigma'(z=H, t=t_H) \quad (4)$$

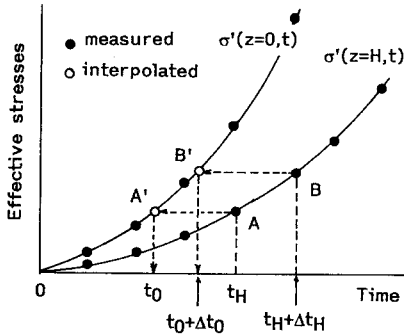


図1：定ひずみ速度圧密試験時の有効応力（模式図）

試料の有効応力-ひずみ関係は上面と下面で同じであるので、各々の時間におけるひずみも上面と下面で等しい：

$$\varepsilon(z=0, t=t_0; c_v(t_0)) = \varepsilon(z=H, t=t_H; c_v(t_H)) \quad (5)$$

圧密係数は有効応力（またはひずみ）の関数と考えられるので、有効応力が同じ状態では圧密係数も同じである、即ち、

$$c_v(t_0) = c_v(t_H) = \bar{c}_v \quad (6)$$

式（5）を書き直して

$$\varepsilon(z=0, t=t_0; \bar{c}_v) = \varepsilon(z=H, t=t_H; \bar{c}_v) \quad (7)$$

上式を解いて $\bar{c}_v$ を決定することができる。

2. 3 増分型整理法

Znidarcicらの理論では間隙比が未知関数、従ってここでは解として間隙比 $e(z, t)$ が与えられるものとする。理論解から、時間 t における間隙比の分布 $e(z, t)$ を初期条件として、時間 $t+\Delta t$ における解を計算することができる。構成パラメータ g のある一定値（ $g(t+\Delta t)$ と置く）に対して計算されるものであるから、解は z, t 以外に $g(t+\Delta t)$ に依存する：

$$e = e(z, t+\Delta t; g(t+\Delta t)) \quad (8)$$

$t=t_0$ における上面の有効応力が、 $t=t_H$ における下面の有効応力に等しいとする（図1のAおよびA'点）、即ち、

$$\sigma'(z=0, t=t_0) = \sigma'(z=H, t=t_H) \quad (9)$$

t_0 および t_H からそれぞれ時間増分 Δt_0 、 Δt_H 経過したとき上下面の有効応力が等しいとすると（図1のB、B'点）、

$$\sigma'(z=0, t=t_0+\Delta t_0) = \sigma'(z=H, t=t_H+\Delta t_H) \quad (10)$$

試料の有効応力ひずみ関係は上面と下面で同じであるので、各々の時間における間隙比も上面と下面で等しい：

$$\begin{aligned} e(z=0, t=t_0+\Delta t_0; g(t_0+\Delta t_0)) \\ = e(z=H, t=t_H+\Delta t_H; g(t_H+\Delta t_H)) \end{aligned} \quad (11)$$

パラメータ g は有効応力（または間隙比）の関数と考えられるので、同じ有効応力状態からの同じ有効応力増分間では g も同じである、即ち、

$$g(t_0+\Delta t_0) = g(t_H+\Delta t_H) = \bar{g} \quad (12)$$

式（12）を書き直して

$$e(z=0, t=t_0+\Delta t_0; \bar{g}) = e(z=H, t=t_H+\Delta t_H; \bar{g}) \quad (13)$$

式（13）を解いて $\bar{g}$ を決定することができる。

3. 結果の整理法の手順

全ひずみ型の手順は既に示している⁶⁾ので、ここでは増分型の手順を示す。以下の計算はパソコンを用いて行う。手順を2つのステップにわけることができる

ステップ1

実測データより、（9）および（10）式を満たすような時間の組 (t_0, t_H) 、 $(t_0+\Delta t_0, t_H+\Delta t_H)$ を求める。 t_H および $t_H+\Delta t_H$ は実測データのある時間から選べば都合がよい。 t_0 および $t_0+\Delta t_0$ は内挿して決定する。

ステップ2

式（13）を満足するような $\bar{g}$ を反復計算により求める。ただし、理論解は無次元時間 $T (= \bar{g}t/h_s^2; h_s$ は土粒子実質部分の高さ)の関数として与えられているので、（13）式左边には $T = \bar{g}\Delta t_0/h_s^2$ の時の解を、右边には $T = \bar{g}\Delta t_H/h_s^2$ の時の解を用いる。

参考文献 1)Wissa et al. (1971):ASCE, 97, SM10, 139 3-1413. 2)土質工学会基準:JSF T 412-1992. 3)清水・前田・飯塚(1992):27回土質工学研究発表会, 307-308. 4)清水・楢原(1994):29回土質工学研究発表会(投稿中). 5)Znidarcic et al. (1986):Geotechnique, 36, 2, 227-237. 6)清水・辻・楢原(1993):28回土質工学研究発表会. 7)清水・楢原(1994):49回土木学会年次学術講演会(投稿中)