

神戸大学工学部 正会員 田中 泰雄  
 神戸大学工学部 正会員 谷 本 喜 一  
 神戸大学工学部 学生員 高 城 俊 介

## 1. まえがき

粘性土の微小ひずみでの動的変形係数(初期せん断剛性率)を算定するにあたっては、通常Hardin-Blackの提案式を用いることが多い。しかし、Hardin-Blackの式は、低塑性で圧縮性の低い粘土には比較的よく適合するが、軟弱海底粘土のように、高塑性で高圧縮性の粘土については適合しにくいという報告<sup>1,2)</sup>がある。著者ら<sup>3)</sup>は、先にねじり振動試験により海底粘土の初期せん断剛性率( $G_0$ )について研究した結果、 $G_0$ を算定するには土の圧縮特性などを考慮する必要があるとの結論を得、土の圧縮特性などに関係する係数を含む、新たな $G_0$ の算定式を提案した。しかし、異種の粘土に対して、式中の諸係数がどのように変化するかは未検討であったため、式を実用に供するには不十分であった。今回、他種の粘土について得られた実験結果を参考にして、提案式中の諸係数の変化について検討した結果、2, 3の結論が得られたので報告する。

## 2. 初期せん断剛性率( $G_0$ )の算定式について

まず、説明の徹底を期するために、著者らの提案する $G_0$ の算定式について再述する。粘性土を圧縮または膨張させ、異なる応力履歴の条件下で $G_0$ を決定すると、一般に図-1に示すような結果が得られる。図のように、正規圧密領域での $e \sim \log \bar{\sigma}'_m$ 関係および $\log G_0 \sim \log \bar{\sigma}'_m$ 関係はほぼ一本の直線で近似され、また、過圧密領域での $e \sim \log \bar{\sigma}'_m$ 関係および $\log G_0 \sim \log \bar{\sigma}'_m$ 関係も互に平行な直線で近似される。図-1の結果を模式的に示したものが図-2である。図中の $e_r$ および $G_r$ はそれぞれ規準応力(例えば $\bar{\sigma}'_m = 1 \text{ kgf/cm}^2$ )における間隙比ならびに剛性率である。 $e_r$ と $G_r$ および図中の諸係数を用いると、正規圧密領域の $e \sim \log \bar{\sigma}'_m$ 関係および $\log G_0 \sim \log \bar{\sigma}'_m$ 関係は以下のように示される。

$$e = e_r - \bar{C}_c \log (\bar{\sigma}'_m / \bar{\sigma}'_{mr}) \text{ ----- (1)}$$

$$\log G_0 = \log G_r + b \log (\bar{\sigma}'_m / \bar{\sigma}'_{mr}) \text{ ---- (2)}$$

式(1)から $\log (\bar{\sigma}'_m / \bar{\sigma}'_{mr}) = (e_r - e) / \bar{C}_c$ となり、これを式(2)に代入すると、

$$\log G_0 = \log G_r + (2b-1)(e_r - e) / 2\bar{C}_c + \frac{1}{2} \log (\bar{\sigma}'_m / \bar{\sigma}'_{mr})$$

と変形され、よって次式のように整理できる。

$$G_0 = G_r f(e) (\bar{\sigma}'_m / \bar{\sigma}'_{mr})^{0.5} \text{ ----- (3)}$$

但し、 $f(e) = 10^{(2b-1)(e_r - e) / 2\bar{C}_c}$

上式とHardin-Blackの式とを比較すると、両者は類似しているが、 $f(e)$ の関数が異なる。また、ここには示さないが、過圧密領域の $G_0$ についてもHardin-Blackと同様な式が得られた<sup>3)</sup>。前述のように、式(3)の実用化のためには、式中の諸係数 $G_r, b, e_r, \bar{C}_c$ などについて検討する必要があるが、今回は正規圧密領域での $G_0$ の算定式(式(3))について、今回

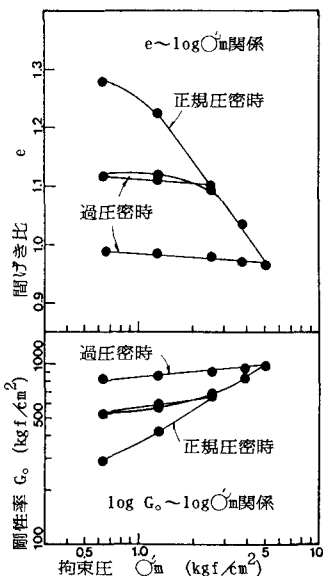


図1  $e \sim \log \bar{\sigma}'_m$  および  $\log G_0 \sim \log \bar{\sigma}'_m$  関係

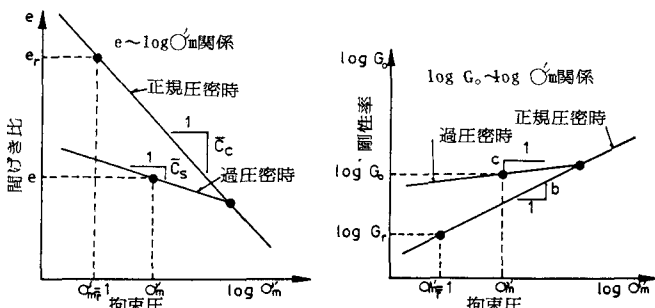


図2 模式化された  $e \sim \log \bar{\sigma}'_m$  および  $\log G_0 \sim \log \bar{\sigma}'_m$  関係

実施した実験の結果、および国生ら<sup>4)</sup>の結果をもとに、諸係数に対する検討を加えた。

### 3. 係数 $G_r$ , $e_r$ , $b$ , $\bar{C}_c$ についての検討

まず、係数  $b$  と  $\bar{C}_c$  に注目する。既往の実験結果では、一般に圧縮性の高い土ほど拘束圧の増加による剛性率の増加率が大きいようである。そこで、係数  $b$  と  $\bar{C}_c$  の関係を探ると、図3に示す関係が得られた。一次回帰による相関係数は0.732であり、よい相関性を示している。よって、係数  $b$  は  $\bar{C}_c$  の値から推定できると考えられる。 $\bar{C}_c$  の値は圧密試験結果から比較的容易に決定でき、また、 $\bar{C}_c$  値を液性限界( $w_L$ )から推定することも可能であると考えられる。ここには示さなかったが、今回検討した実験結果から  $\bar{C}_c$  と  $w_L$  の関係を探ると、 $\bar{C}_c = 0.01 \times (w_L - 5.0)$  の関係が得られた。

次に、規準応力( $\sigma'_0$ )を1 kgf/cm<sup>2</sup>とした場合の  $G_r$  および  $e_r$  の値について検討を加えた。図2は  $G_r$  と  $e_r$  の相関を示したものである。図に示すように、 $G_r$  の値は  $e_r$  の増加とともに減少しており、両者の間の相関係数は0.814であった。したがって、多少の変動はあるが、 $G_r$  の値を  $e_r$  から推定するのは妥当であると考えられる。一方、 $e_r$  の値は土の圧縮特性と強く関連すると考えられるので、ここでは圧縮特性に關係する液性限界( $w_L$ )との相関を探った(図5参照)。図に示すように  $e_r$  値は液性限界の増加とともにほぼ直線的に増加しており、相関係数は0.90であった。

以上のように、式(3)中の諸係数は互に独立したものであるが、土の圧縮性の変化とともに、ある一定の関係を保持しながら変化すると判断される。今回の検討から得られた一次回帰の値を用いて、全ての係数を  $w_L$  に関係づけると、式(3)は次式のように示される。

$$G_0 = A(e) \sigma_m^{0.5} \text{----- (4)}$$

$$\text{但し, } A(e) = (-2.48 w_L + 459) 10^{[0.49 - 13/(w_L - 5)](0.015 w_L + 0.63 - e)}$$

$$\sigma'_{mr} = 1.0 \text{ kgf/cm}^2$$

式(4)中の  $w_L$  の値を50%, 100%, 150%とし、関数  $A(e)$  と  $e$  の関係を示したのが図6である。また同図には、 $A(e)$  に対応する Hardin-Black 式の項  $330(2.973 - e)/(1 + e)$  の値を破線で示した。図に示すように、間隙比が約1.3以上では  $A(e)$  の値は Hardin-Black 式のそれより大きい値を示している。Taniguchi<sup>1)</sup> や杉本ら<sup>3)</sup> によれば、間隙比の大きい粘土では、Hardin-Black 式は  $G_0$  を過少評価するという結果が得られており、これは、本研究の結論とも一致するものである。

### 参考文献

- 1) Taniguchi, E. et al. (1978) "Effects of shear strain on the dynamic deformation coefficients of clay," 5th. Jap. Earth. Eng. Symp. pp.705~72
- 2) 杉本他 (1978) "海産軟弱粘土の動的変形特性と動的解析のためのモデル," 5th. Jap. Earth. Eng. Symp. pp.713~720
- 3) Tanimoto, K. et al. (1982) "On some factors affecting the dynamic modulus of marine clay," 6th. Jap. Earth. Eng. Symp. pp.553~560
- 4) 国生昭治 (1982) "土の動的変形特性と地盤の非線形動的解析," 報告, No. 301. 電力中央研究所

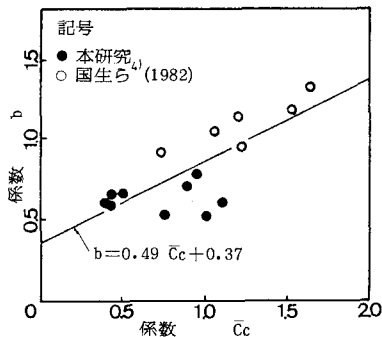


図3 係数  $b$  と  $\bar{C}_c$  の関係

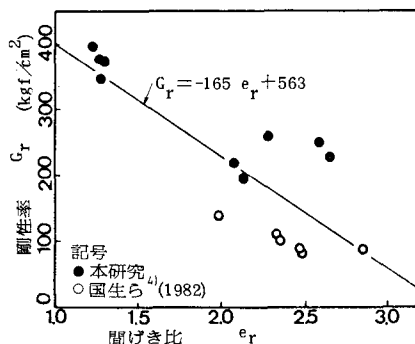


図4 係数  $G_r$  と  $e_r$  の関係

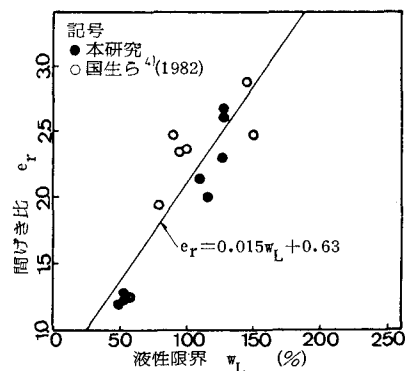


図5 係数  $e_r$  と液性限界の関係

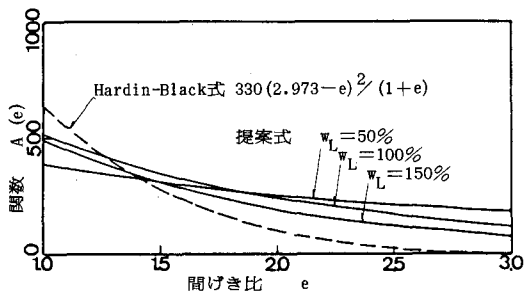


図6 提案式  $A(e)$  と Hardin-Black 式との比較