

不攪乱粘性土の動的変形特性に関する実験

建設省土木研究所 正員 岩崎敏男 常田賢一 吉田精一
東京大学生産技術研究所 正員 藤岡文夫

§1 まえがき

粘性土の動的特性(変形・強度)に関しては、砂質土ほど明確に把握はされていないのが実情である。本報告は、不攪乱粘性土を用いて実施した室内動的変形試験から「せん断剛性率(G)のヒズミ(γ)依存性」に及ぼす諸要因の影響を明らかにし、さらにその定量的評価を試みたものである。

§2 実験概要

実験装置は、低ヒズミ領域($\gamma \approx 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-4}$)では共振法土質試験機を、中・高ヒズミ領域($\gamma \approx 5 \times 10^{-4} \sim 2 \times 10^{-2}$)では振動三軸試験機を用いた。実験対象とした試料は、東京湾岸の浮島町、千鳥町、荒川・中川、境川、浮島沖と神戸のポートアイランドの不攪乱粘性土である。実験より得られた G と γ の関係に影響を及ぼす諸要因の検討および $G/\{G\}_\gamma=10^{-6}$ の定量的評価を行った。 G と γ に影響を及ぼす諸要因として実験時拘束圧 σ_c 、圧密圧力 σ_m 、塑性指数 I_p 、実験時間 t_c 、圧密時間 T_c と圧密条件3種(正規圧密N.C., 過圧密O.C., 長期圧密L.C.)について検討した。

§3 低ヒズミ領域における結果

図-1に $G/\{G\}_\gamma=10^{-6}$ と関係の一例を示す。図-1の結果を基にして $G/\{G\}_\gamma=10^{-6}$ に及ぼす σ_c の影響を調べた例として正規圧密試料の $\gamma = 5 \times 10^{-5}$ における結果を図-2に示す。 σ_c の減少に伴い、 $G/\{G\}_\gamma=10^{-6}$ の値が減少する傾向が見られる。また、長期圧密、過圧密の試料では σ_c の影響は正規圧密より小さくなる結果が得られている。 $G/\{G\}_\gamma=10^{-6}$ に及ぼす I_p の影響について正規圧密試料の $\gamma = 5 \times 10^{-5}$ の場合の結果を図-3に示す。図-3から I_p の増大に伴って $G/\{G\}_\gamma=10^{-6}$ の値は減少する傾向が見られるが、既往の研究成果¹⁾とは逆の傾向となるが原因は不明である。また、過圧密、長期圧密の試料では小さくなる結果が得られている。図-4に $G/\{G\}_\gamma=10^{-6}$ に及ぼす圧密時間 T_c の影響を示す。図中24丸のデータは $\sigma_m = \sigma_c$ の正規圧密試料のデータの範囲である。同図より圧密時間24丸以下では、圧密時間の経過に伴い $G/\{G\}_\gamma=10^{-6}$ の値は増加するが、24丸以上では24丸のばらつきを考えると T_c の影響は小さいと言える。

§4 低ヒズミ領域における $G/\{G\}_\gamma=10^{-6}$ の定量的評価

前節で $G/\{G\}_\gamma=10^{-6}$ の値が σ_c の減少に伴い減少し、 I_p の増加に伴い減少する傾向があることが分った。そ

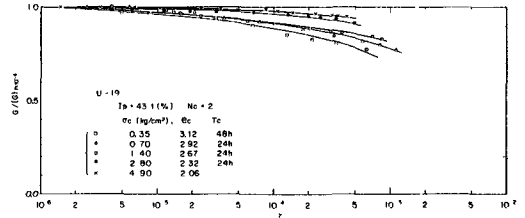


図-1 共振法土質試験結果例($G/\{G\}_\gamma=10^{-6} \sim \gamma$)

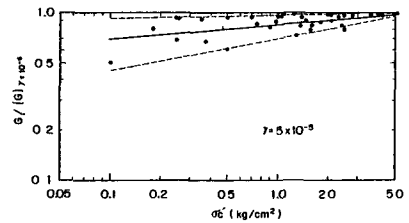


図-2 $G/\{G\}_\gamma=10^{-6} \sim \sigma_c$

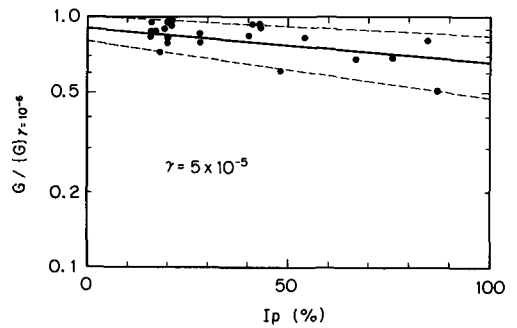


図-3 $G/\{G\}_\gamma=10^{-6} \sim I_p$

こで、図-2,3のように各ヒズミレベル毎に平均的関係を推定した結果、任意の σ_c ($0.1 \leq \sigma_c \leq 5.0 \text{ kg/cm}^2$) 及び I_p ($0 \leq I_p \leq 100\%$) に対する $G/\{G\}_t$ $\delta=10^{-6} \sim \delta$ の関係が(1)式及び(2)式で得られた。

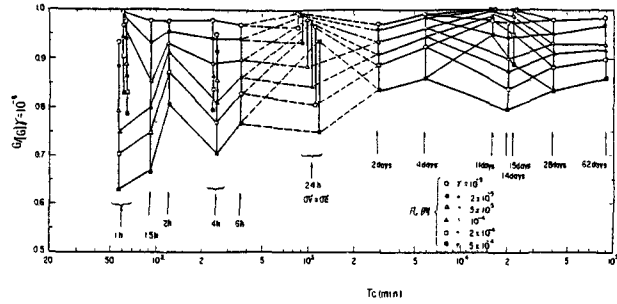


図-4 $G/\{G\}_t = 10^{-6} \sim T_c$

$$\left[G/\{G\}_t = 10^{-6} \right]_{\sigma_c} = f(\sigma_c) = A(\sigma_c)^B \quad \text{----- (1)}$$

$$\left[G/\{G\}_t = 10^{-6} \right]_{I_p} = G(I_p) = C \cdot 10^{DI_p} \quad \text{----- (2)}$$

定数 A , B は図-2の結果または、図-3の結果から各ヒズミ毎に算出される値である。次に σ_c と I_p の両者の影響を考慮して推定を試みた。図-5は、 $\delta = 5 \times 10^{-6}$ における実験値と(1)式に基づく推定値との比 $[g_1(I_p)]$ と I_p の関係例を示す。ここでは、同図に示すような平均曲線の設定を行った。(1)式と図-5を用いて(3)式により任意の σ_c および I_p に対する $G/\{G\}_t = 10^{-6} \sim \delta$ の関係が推定できる。

$$\left[G/\{G\}_t = 10^{-6} \right]_{\sigma_c}^{I_p} = f(\sigma_c) \cdot g_1(I_p) \quad \text{----- (3)}$$

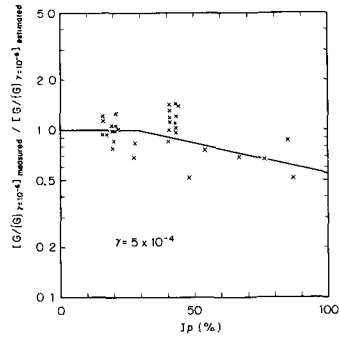


図-5 $[G/\{G\}_t]_{10^{-6}}$ 実験値 / $[G/\{G\}_t]_{10^{-6}}$ 推定値

ここで、 $f(\sigma_c)$ は(1)式から、また、 $g_1(I_p)$ は図-5のようにしてヒズミ毎に求められる。図-6は(3)式に基づく σ_c 及び I_p の影響を考慮した $G/\{G\}_t = 10^{-6} \sim \delta$ の算定例を示す。図-7は、 $f(\sigma_c) \cdot g_1(I_p)$ と同様比 e_c の関係を示すが、(3)式に対する影響は小さい。図-8は、(3)式を用いた推定値と実験値とを比較図である。

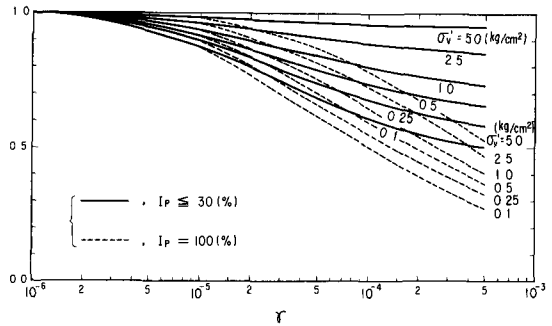


図-6 σ_c および I_p を考慮した $G/\{G\}_t = 10^{-6} \sim \delta$ 曲線

§5 中・高ヒズミ領域における結果

図-9は、 $G/\{G\}_t = 10^{-3} \sim \delta$ 関係の一例を示す。

図-10に正規圧縮試験料での $G/\{G\}_t = 5 \times 10^{-4} \sim \delta$ に及

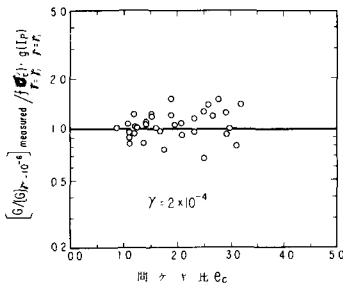


図-7 $f(\sigma_c) \cdot g_1(I_p) \sim e_c$

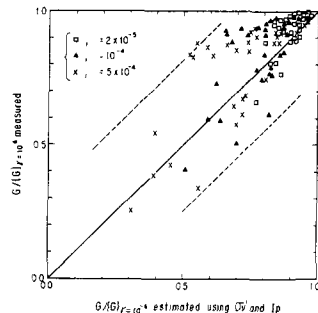


図-8 実験値と σ_c および I_p による推定値との比較

ばす σ の影響を示す。各ヒズミレベルにおいて $\gamma/\{\gamma\}_r=5 \times 10^{-4}$ の値は σ に左右され一定である。この傾向は、長期圧密・過圧密試料においても同様に見られる。図-11に正規圧密試料での $\gamma/\{\gamma\}_r=5 \times 10^{-4}$ に及ぼす I_p の影響を示す。 I_p の増加に伴い $\gamma/\{\gamma\}_r=5 \times 10^{-4}$ の値は増加する傾向が見られる。また、長期圧密・過圧密試料ではこの傾向は顕著でない。図-12に $\gamma/\{\gamma\}_r=10^{-3}$ に及ぼす圧密時間 T_c の影響を示す。图中的24hの縦の免線は、正規圧密のデータ(圧密時間24h)の範囲を示す。圧密時間に与える影響は見られない。

§6 中・高ヒズミ領域における $\gamma/\{\gamma\}_r=5 \times 10^{-4}$ の定量的評価

前節で $\gamma/\{\gamma\}_r=5 \times 10^{-4}$ の値は、 σ_c にほぼ一定で I_p の増大に伴い増大する傾向があることが分ったが、 $\gamma/\{\gamma\}_r=5 \times 10^{-4}$ の値は σ_c にもヒズミ推定値(図-11の平均値)と実験値との比 $[q_2(I_p)]$ と I_p の関係を図-13に示す。同図に示すところ高ヒズミレベルに $\gamma/\{\gamma\}_r=5 \times 10^{-4}$ I_p 関係の平均曲線の設定を行ない、(4)式でその関係を表した。

$$\left[\gamma/\{\gamma\}_r=5 \times 10^{-4} \right] \text{実験値} / \left[\gamma/\{\gamma\}_r=5 \times 10^{-4} \right] \text{推定値} = q_2(I_p) = E \cdot I_p + F \quad \text{----- (4)}$$

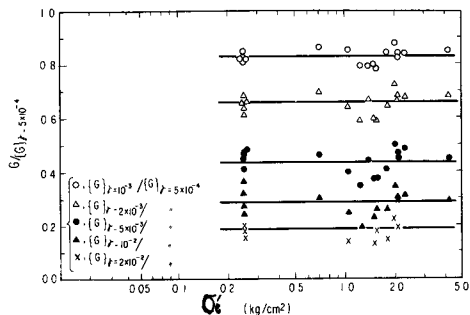


図-10 $\gamma/\{\gamma\}_r=5 \times 10^{-4} \sim \sigma_c$

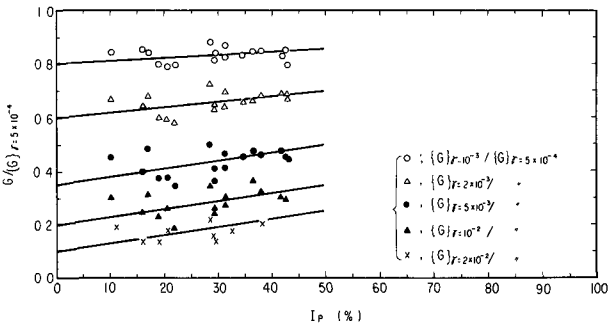


図-11 $\gamma/\{\gamma\}_r=5 \times 10^{-4} \sim I_p$

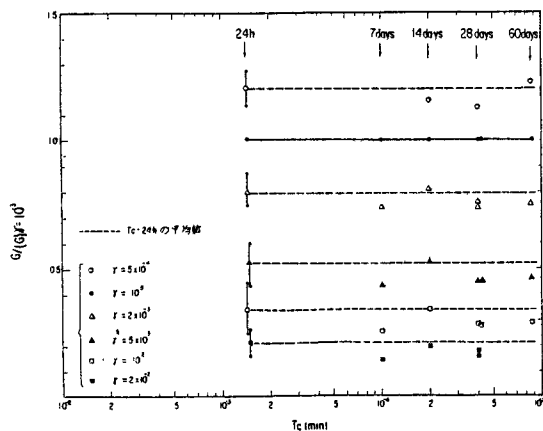


図-12 圧密時間 T_c の影響

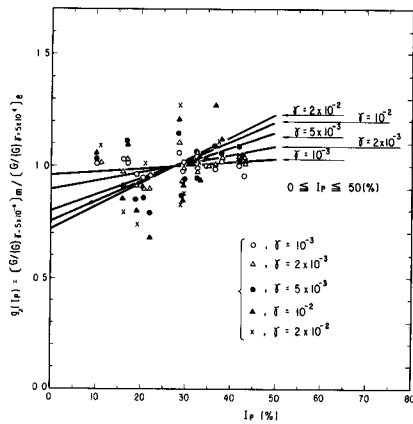


図-13 $q(I_p) \sim I_p$

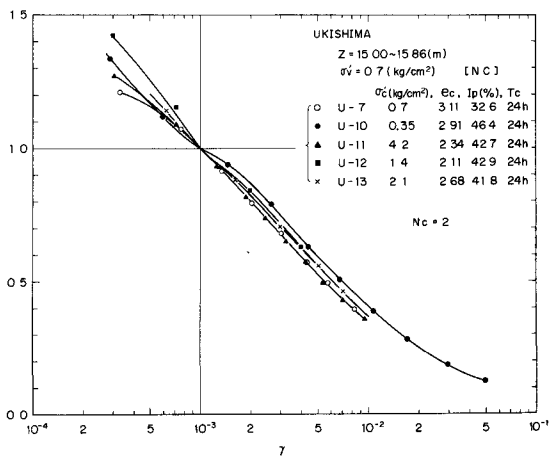


図-9 振動三軸試験結果例

E, F の値は、図-13 で設定した曲線からヒズミに得られる。以上の結果から $G/\{G\}_0 = 5 \times 10^{-4}$ の値を求める推定式が(5)式のように表わせる。

$$\left\{ \frac{G}{\{G\}_0} \right\}_{\gamma=5 \times 10^{-4}} \Big|_{\sigma'_c} = F(\sigma'_c) \cdot g_2(I_p) \quad \text{----- (5)}$$

ここで $F(\sigma'_c)$ は、図-10 から決定する。 $G/\{G\}_0 = 5 \times 10^{-4}$ の実験値と推定式(5)による値との比と間隙比 e_c との関係を図-14 に示す。 e_c の影響は小さい。図-15 に $G/\{G\}_0 = 5 \times 10^{-4}$ の実験値と(5)式による推定値の比較を示す。

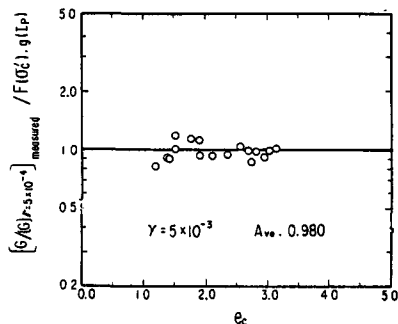


図-14 $F(\sigma'_c) \cdot g_2(I_p) \sim e_c$

§7 広範囲のヒズミ領域 ($\gamma = 10^{-6} \sim 2 \times 10^{-2}$) における $G/\{G\}_0 = 10^{-6} \sim 5$ の定量的評価

(3) 式と(5)式と併用することにより広範囲なヒズミ領域 ($\gamma = 10^{-6} \sim 2 \times 10^{-2}$) において σ'_c 及び I_p を考慮した $G/\{G\}_0 = 10^{-6} \sim 5$ の関係を算定できる。その結果の一例を図-16 に示す。

§8 まとめ

(1) 低ヒズミ領域 ($\gamma = 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-4}$) では $G/\{G\}_0 = 10^{-6}$ のヒズミ依存性は σ'_c 及び I_p の影響を受けるが、これらのパラメータに基づく $G/\{G\}_0 = 10^{-6} \sim 5$ の推定式は各々(1)式及び(3)式で表される。又、 σ'_c 、 I_p の両者の影響を考慮した推定式は(3)式で表される。

(2) 中・高ヒズミ領域 ($\gamma = 5 \times 10^{-4} \sim 2 \times 10^{-2}$) では、 $G/\{G\}_0 = 5 \times 10^{-4}$ の推定式は(5)式で表される。

(3) (1) 及び(2)の結果を結びつけることにあり、任意の σ'_c (0.1 ~ 5.0 kg/cm²)、任意の I_p (0 ~ 50%) に対する $G/\{G\}_0 =$

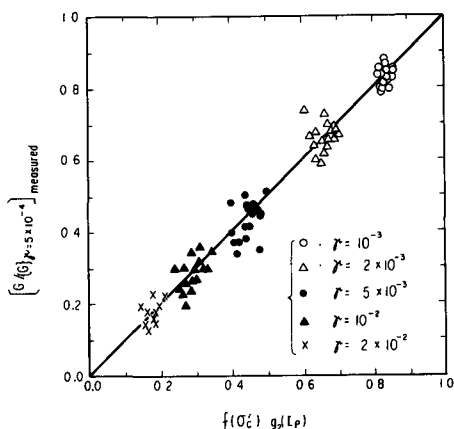


図-15 実験値と推定値の比

$10^{-6} \sim 5$ の関係を推定できる。

(4) $G/\{G\}_0 = 10^{-6}$ および $G/\{G\}_0 = 5 \times 10^{-4}$ に対する I_p の差異に関して検討を行う必要がある。

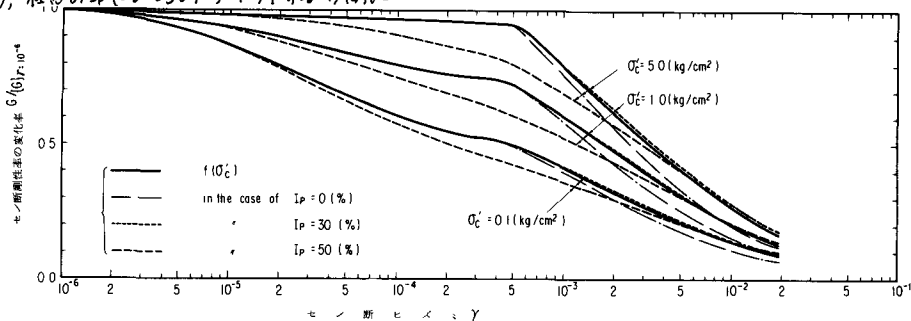


図-16 広範囲なヒズミ領域 ($\gamma = 10^{-6} \sim 2 \times 10^{-2}$) における $G/\{G\}_0 = 10^{-6} \sim 5$ の曲線例

参考文献

(1) 善・梅原・浜田: LABORATORY TESTS AND IN-SITU SEISMIC SURVEY ON VIBRATORY SHEAR MODULUS OF CLAYEY SOIL WITH VARIOUS PLASTICITIES 5土・工・E. S., 1978

(2) 岩崎, 常田, 吉田, 龍岡 「粘性土の動的変形特性に関する実験」 第14回土質工学研究発表会 1979.6.

(3) 岩崎, 常田, 吉田, 「正規圧載下の沖積粘性土の動的変形特性」

土木技術資料 Vol. 21-8