

九州大学 工学部 正員 山内豊純
西日本工業大学 同 安原一哉
不動産建設 同 阿部直文

1. まえがき 近年埋立軟弱地盤におけるビルダムの破壊が基礎の不等沈下にも原因があることが報告され話題になっている。筆者らはタンク内の燃料の変動に加えて海面の潮位の変化による繰返し荷重の影響を無視しないことを指摘した。このことからは Bjerrum が指摘したことであれば、筆者らは数年来未だ一軸的繰返し圧密試験による粘性土が繰返し荷重をうけると顕著なかつた沈下を起す事実をもとにして、現地への適用例と応用例を示してきた。本文はこの5年従来の成果を踏まえ、一軸的な変形に限らず、この種の問題に關するより一般的な挙動を知るためとして三軸圧縮試験による飽和粘土の繰返し荷重下の変形挙動を検討した結果を報告する。

2. 繰返し三軸圧縮試験 試験機は従来筆者の一人が道路用材料の力学挙動を知るために用いたもので、空気圧制御による繰返し装置と通常の三軸装置に取りつけたものである。用いた試料は有明沖積粘土でその物性は $G_s = 2.46$, $w_L = 11.5\%$, $I_p = 58$ である。この試料に加水後十分に繰返し大型等圧圧密試験で液圧 0.5 kg/cm^2 での約 96 時間圧密させ一次圧密が終了したことを確かめる。その後この容器から三軸用円筒供試体として径 35, 高さ 9.0 cm に切り出す。排水を促進するため paper drain を使用し、漏水を防ぐためグリスアップを二枚使用した。今回はタンク基礎などの沈下を想定したので排水条件で一定の繰返し荷重を負荷した。試験条件は表-1 に示通りである。

表-1 三軸試験条件

圧密条件	0.5, 1.0 kg/cm^2 (等圧圧密)
繰返し荷重	0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7 kg/cm^2
周期	60 sec / cycle
載荷回数	約 5000 回

3. 繰返し荷重をうける飽和粘土の変形 3.1 主ヒズミと体積ヒズミの関係

繰返し載荷時の体積ヒズミと最大軸ヒズミは図-1 に示す通りである。初期は体積ヒズミよりせん断ヒズミの方が軸ヒズミに等しいという事は静的荷重の場合と同様であるが、体積変化が追いつく過程では極めて等圧圧密状態であることが推察される。この試料については変形が一次元圧密的になるのは繰返し負荷荷重 $\Delta\sigma_r = 0.7 \text{ kg/cm}^2$ 、応力比 $(\sigma_1 - \sigma_3) / (\sigma_1 + \sigma_3) \div 1.23$ のときである。図のような表示は供試体の変形の様子を把握するに有効であることがわかる。3.2 変形の予測方法 ここでは一軸的側方拘束圧密にもとづく方法を提案し、これが三軸側方非拘束条件下でも適用できることを示す。本法は山内・青砥⁴⁾による研究成果を基礎としている。繰返し荷重をうける土の主ヒズミは回復ヒズミ ϵ^e と非回復ヒズミ ϵ^p とから成ると仮し、次式が成り立つことになる。

$$\epsilon_t = \epsilon^e + \epsilon^p \quad (1)$$

いま両辺を ϵ_t で除すれば次のようになる。

$$\epsilon^e / \epsilon_t + \epsilon^p / \epsilon_t = 1 \quad (2)$$

一般的に繰返し応力を負荷される供試体の弾性ヒズミは載荷回数の増大に伴って定化する傾向がある。今回の実験において図-2 のようにこのことが確かめられる。したがって式(2)における左辺の初項 ϵ^e / ϵ_t はヒズミの増大に伴って $\epsilon^e / \epsilon_t \rightarrow 0$ となる。従って、破壊に至らない条件下では

$$(\epsilon^p / \epsilon_t)_N \div 1 \quad (3)$$

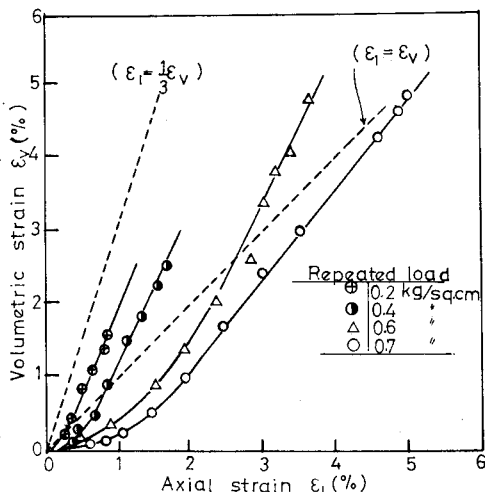


図-1 繰返し三軸試験中の最大主ヒズミと体積ヒズミの関係

を満足する載荷回数が存在すると考えられる。ゆえに、この載荷回数における主軸ミが知られれば、繰返し応力による低下を推定することができる。一軸圧縮条件のもとでこの応力応用が可能なことを示すデータは確められている³⁾。これを数式的に求める場合次のようにすれば容易である。いま、図3の57に全軸ミ E_t と非回復軸ミ E^p との比 r と載荷回数 N との関係曲線の直線部分の勾配を $\dot{r} = dr/d\log t$ とすれば、

$$\log_{10}(N_o/N_o^*) = (1-r_o)/\dot{r} \quad \text{---- (4)}$$

が成り立つ。 N_o^* : 低下が収束する時の載荷回数, N_o : 直線部分の開始点における載荷回数, r_o : N_o に相当する軸ミ比 r である。また、図4から繰返し応力による全軸ミ E_{tf} は

$$E_{tf} = E_{tp} + \dot{E}_t \log_{10}(N_o/N_o^*) \quad \text{---- (5)}$$

のように表わすことができる。ここで、 E_{tp} : 一次圧縮の全軸ミ, $\dot{E}_t$: $dE_t/d\log t$, N_o^* : 717-727地下の開始点における載荷回数である。いま仮に、式(4)の N_o と式(5)の N_o^* が近似的に等しいとすれば、式(4),(5)より

$$E_{tf} = E_{tp} + (1-r_o) \cdot (\dot{E}_t/\dot{r}) \quad \text{---- (6)}$$

が得られる。これが提案する実験式である。これをともなう実験データの解析を行うことが今後の課題である。

3.3 繰返し応力負荷後の強度変化 締固め土が繰返し応力による硬化現象の発現により著しく強度増加を示すことは多くの研究により確かめられているが、飽和粘土の場合は膨化や繰返し作用が考えられるので締固め土とは同様にないと思われる。しかし、今日の繰返し応力負荷後の試験体の非排水せん断試験を行って u の増加を調べてみると図5のようになります。 $u/p = 0.11 + 0.0037Ip$ より求めらる強度増加の割合は大きい値が得られている。このことは、一軸的繰返し圧縮粘土試験において確かめられている³⁾、飽和粘土においても硬化効果は存在していることがわかるのである。

4. あいさ 排水条件のもとで飽和粘土試験に三軸的繰返し応力を負荷し、その変形と強度変化のデータからではあるが若干の考察を行った。その結果、(1)繰返し応力下において進行変形は非回復軸ミに比べて小さいものであり、(2)三軸的繰返し応力負荷後の粘土試験体の強度変化は静的応力負荷後のそれより顕著であり、飽和粘土でも硬化効果はみられる。ことばでいわれる。

引用文献 1) Yamauchi, T. and K. Yasuhara ; Behavior of Soft Clay under Repeated Loading and Its Applications to Field Problems, Submitted to the Symp. 'Recent Developments in the Analysis of Soil Behavior and Their Applications to Geotechnical Structures', in Div. of N. S. W., 2) Bjerrum, L. (1966) : Secondary Settlement of Structures Subjected to Large Variations in Line loads, Proc. Symp. Phenology and Soil Mech., IUTAM, pp. 460-471, 3) Yamauchi, T. and K. Yasuhara ; Settlement of Clay Subgrades of Low Back Roads after Opening to Traffic, Proc. 2nd Aust. N. Z. Conf. Geomech. (to be Submitted), 4) 山内 清次 (1969) : 繰返し荷重を受ける土の変形について, 第25回土力学年報, pp. 99-102.

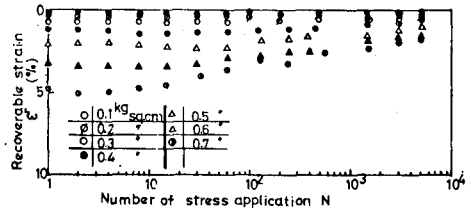


図2 繰返し三軸圧縮試験中の回復軸ミ

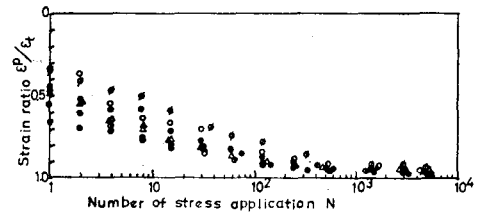


図3 繰返し三軸圧縮試験中の軸ミ比

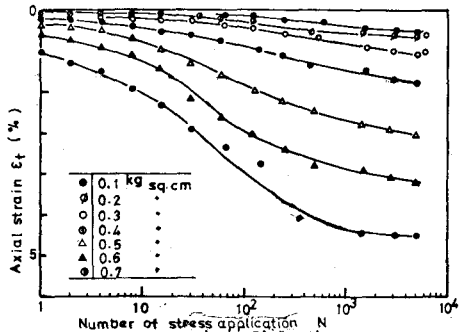


図4 繰返し三軸圧縮試験中の全軸ミ

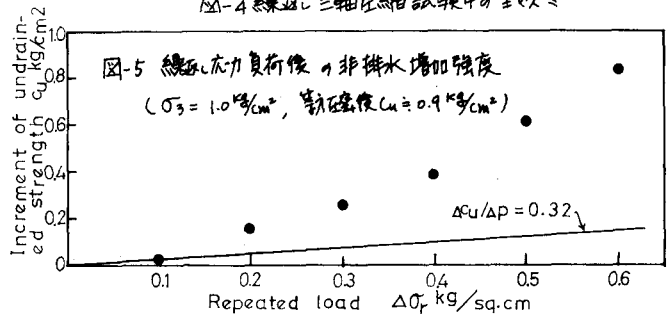


図5 繰返し応力負荷後の非排水増加強度
($\sigma_3 = 1.0 \text{ kg/cm}^2$, 新硬化土 $u = 0.9 \text{ kg/cm}^2$)