

日本大学理工学部 正員 浅川美利

" " 宮森建樹

同大学院 学生員 丸山 誠

まえがき

粘土の圧密諸係数に影響する要素として荷重増加率 ($\Delta P/p$), 載荷時間, 粘土の厚さ, 周辺摩擦, 温度などがあげられ, それらの影響を確かめるための実験が数多く行なわれてきている。

本報告では, 荷重増加率と載荷時間の影響をとりあげ, 試験条件によって変わる原因と構造の概念を入れて検討してみた。また締め固めた粘土の圧密特性について若干の検討を加えた。

I. 試験方法

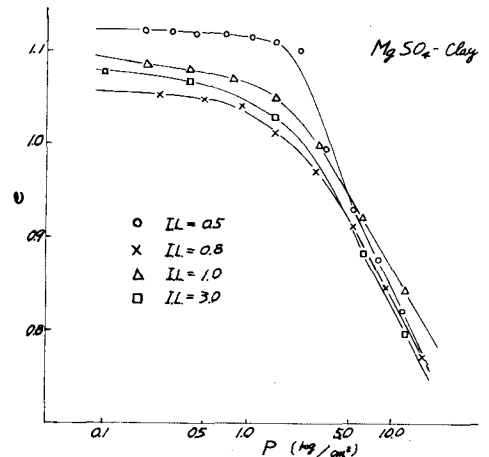
粘土として市販カオリン ($G_s=2.675$, $w_L=50.8\%$, $I_p=20.8$) を用い, 粘土の初期構造を変えるために, 分散剤として $\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7$ (モル濃度 4.95%), 凝集剤として MgSO_4 (モル濃度 6.60%) の溶液を加え, 収条件の違う2種類の試料を用意した。スラリー状の粘土 (LLテストで5回相当の含水量) を 0.4 kg/cm^2 の等圧で24hr圧密し, 直径7cm高さ15cmの再成試料を作り, それを分割して標準圧密試験用試料体 ($h=2\text{cm}$, $\phi=6\text{cm}$) を作った。試験は 1.6 kg/cm^2 まで段階的に載荷し, その後 $\text{OCR}=8$ まで膨張させ圧密膨張による過圧密状態の粘土を初期条件とした。予定した荷重増加率は $\Delta P/p = 0.5, 0.8, 1.0, 3.0$ の4種類で $\Delta P/p$ の影響を調べる場合の載荷時間は24hr一定とした。また載荷時間の影響を調べる場合 $\Delta P/p = 1.0$ とし各段階荷重における時間と $t = 5 \text{ min}, 1 \text{ hr}, 3 \text{ hr}, 48 \text{ hr}, 96 \text{ hr}$ の5種とした。(一次圧密終了時間: $5 \sim 8 \text{ min}$) 締め固めた粘土の供試体はCBRモールドで各層90回と130回(3層)の2種のエネルギーで締め固め, 同一密度 $\gamma_d = 1.55 \pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ のものを乾燥側, 湿潤側からとり出した。

II. 実験結果と考察

II-1 荷重増加率 $\Delta P/p$ の大きさによる影響

載荷時間を一定にして $\Delta P/p$ を $\Delta P/p=1$ から $\Delta P/p < 1$ あるいは $\Delta P/p > 1$ のように変えた載荷を行なうと $e-\log p$ 曲線において, $\Delta P/p$ が小さいときは P_g が大きく C_c が大きく表われ, P_g を越えたと P の増加に伴って $\Delta P/p$ の大きさに関係なく $e-\log p$ 曲線は収束する傾向のあることが知られている。¹⁾ この理由としては, 段階荷重が入ると載荷と同時に粘土の骨組構造が壊れられて, 圧密圧力の大部分が過剰間ゲキ水圧の発生に費やされて, その後の圧密過程は, いわゆる Terzaghi 式のものとなり変形量も大きくなる。一方 $\Delta P/p$ の小さい場合, 圧密圧力は粘土粒子がその圧力に応じて平衡しようとする粒子間の位置の再調整に大部分が消費され, 間ゲキ水圧はほとんど発生せず, 発生した間ゲキ水圧も変形より早く減衰し, 変形量そのものも小さい。

また圧密係数 C_v にかかわる要素のうち α と m_v について考えてみると, $\Delta P/p$ の大きい場合は α の影響が

図-1 $\Delta P/p$ を変えた $e-\log p$ 関係

が大きく、 $\Delta P/p$ の小さいときは m_w の役割が大きい、という説明が加えられている。Yangらは、その機構を土粒子が圧力と界面条件に応じて平衡する位置をとろうとする再調整作用、粒子の転位、及び発生する過剰間隙水圧の3点から説明している。²⁾

この現象は、板面と板端の接する部分にセメダインのような時間依存性をもった接着剤が塗られた場合の模型でシミュライズできる。接着剤が十分硬化していないうちに大きい ΔP が加えられると接合部が壊れるが時間が経過してある程度硬化したものにあまり大きくない ΔP が加えられても、板の接触角の変化はあっても壊れない。セメダインの硬化過程はちょうど粘土粒子の接近に伴うVan der Waals力の増加に相当するもので、ある粒子間における力が ΔP 以上のものであれば粒子の再接近が起きるだけで、粒子の転位あるいは再配列は生じない。

図-1は $\Delta P/p = 0.5, 0.8, 1.0, 3.0$ のそれぞれ $e - \log p$ を示すものである。結果はLeonardの示したものとほぼ同じ傾向を示している。 m_w 依存性を調べることに、 $m_w - p$ が圧密特性をよく表わすので $m_w - \log \bar{p}$ 関係をとリ、土の初期構造条件別に図-2と図-3に示す。 $\Delta P/p$ あたえばさのように大きいと、正規圧密過程に近い傾向を示し、 $\Delta P/p = 0.5$ では過圧密程度の大きい状態の傾向を示している。この傾向は塩綿毛状構造の場合に顕著である。これは $\Delta P/p$ の大きさで m_w 依存性が変わることを意味し、また上述のモデルでの説明を裏づけるものであると思う。どの条件のものでも P_0 の約2倍の圧力で正規圧密状態に移行する。

図-4は二次圧密速度に及ぼす $\Delta P/p$ の影響を示す。Leonardらは、二次圧密量は C_α だけが関係し $\Delta P/p$ は無関係であるとしてあるが、二次圧密速度で整理すると $\Delta P/p$ の影響が見られる。とくに正規圧密状態に移行してから傾向に差が表われる。 $\Delta P/p = 3$ では P に応じてほぼ直線的に増加する傾向がある。 $\Delta P/p = 0.5$ では正規圧密状態に移行してからはほぼ一定の v_{sec} となり、再度増加しはじめる傾向がある。Leonardの

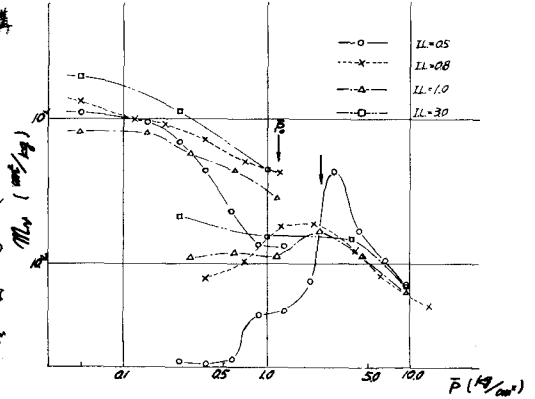


図-2 $\Delta P/p$ を変えた $m_w - \log \bar{p}$ 関係 ($MgSO_4$ の場合)

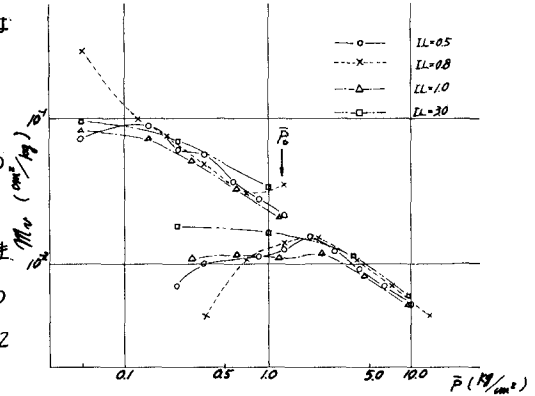


図-3 $\Delta P/p$ を変えた $m_w - \log \bar{p}$ 関係 ($Na_2B_4O_7$ の場合)

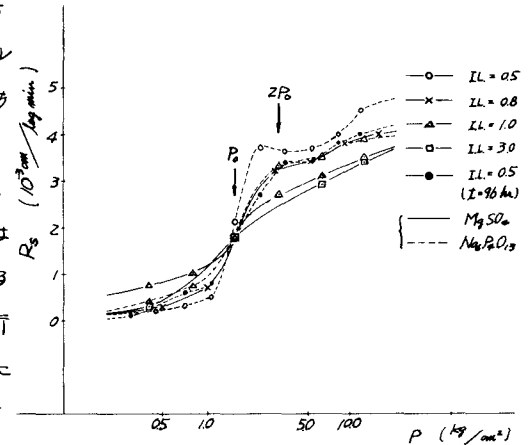


図-4 $\Delta P/p$ を変えた二次圧密速度の変化

意見に反して二次圧缩量 $\Delta p/p$ によって影響を受ける。
表-1 は $\Delta p/p = 3.0, 0.8, 0.5$ の先行圧密荷重 P_0
下での二次圧缩量 R_s を示すものである。傾向として
 $\Delta p/p$ の小さくなるほど二次圧缩量 R_s は小さくなり、
当然のこととして載荷時間が長くなると R_s も増加す
る。また分散凝集剤の影響はこの場合も少ない。

表-1 ($\times 10^{-3} \text{ cm}$)		
$\Delta p/p$ / Clay	MgSO ₄ の場合	Na ₂ P ₄ O ₁₃ の場合
3.0 (t=24hr)	13.5	17.4
0.8 (t=24hr)	12.6	11.9
0.5 (t=24hr)	2.4	5.0
0.5 (t=96hr)	9.6	9.2

II-2 載荷時間の影響

$\Delta p/p$ を一定にして各段階荷重での載荷時間を変えると
 $e-\log p$ 曲線の丸々曲線は載荷時間によってあまり変
らないうえ、圧密降伏応力 P_y の大きさは載荷時間によ
ってかなり変化するといわれている。小さい荷重増加率
で長時間載荷すると、正規粘土でも擬似先行圧密荷重
が現われるともいわれている。

図-5 は載荷時間を 5 min から 96 hr まで種々変え
て行った圧密試験結果であるが、今回の実験では
Leonard の言っていることが判然としにくい。そこで
 $m_{uo}-\log p$ で表わしてみると、図-6 で見られるよう
に載荷時間の影響が明瞭となる。時間の長いものは
過圧密程度が増す。図-7 は $m_{uo}/m_{un}-P/P_0$ 関係で
表わしたものである。正規圧密状態に移るには2倍の
 P_0 相当の荷重で、正規圧密状態に入ってから圧密特
性は一定する。

II-3 締め固めた土の圧密特性

締め固めた土は突固めによってポレストレスされた
ものであるから、過圧密粘土の特別なケースと考える
ことができる。締め固めの時の含水量や締め固めエネ
ルギーによって、土粒子の配向、粒子間距離、粒子間
に働く引力、反発力などに違いが生じ、締め固めた土
の圧縮特性を正確に評価することはできない。また

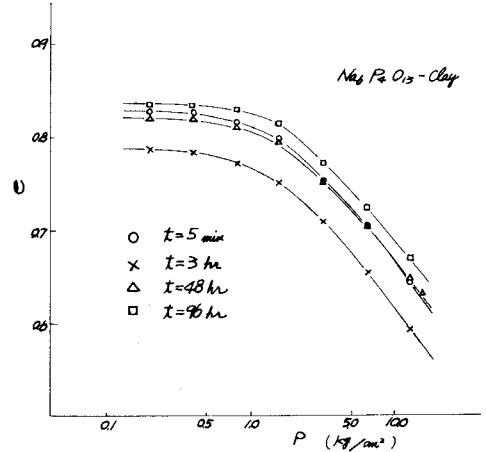


図-5 載荷時間を変えた $e-\log p$ 関係

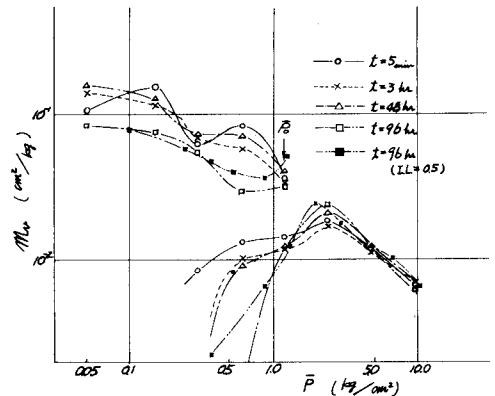


図-6 載荷時間を変えた $m_{uo}-\log p$ 関係
(MgSO₄ の場合)

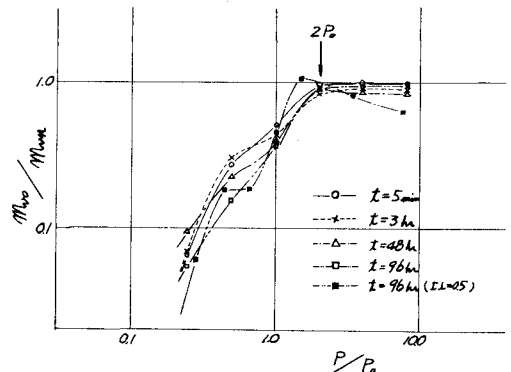


図-7 載荷時間を変えた $m_{uo}/m_{un}-P/P_0$
(Na₂P₄O₁₃ の場合)

圧密降伏応力あるいは相当先行圧密荷重は、圧密試験を行ない、 $e-\log p$ から P_y 相当値を見積ることはできず、それだけでは過圧密状態を評価できない。

そこで一つの試みとして、“一定の粘土に対して $m_{uo}/m_{un} - P/P_o$ 関係をとると、その関係における曲線の傾向は過圧密比で特徴づけられる。”という中瀬の提案³⁾に準じて整理してみると締め固めた土の過圧密の程度あるいは過圧密比が評価されよう。あらかじめ種々の OCR(過圧密比) を与えたものの圧密試験結果から $m_{uo}/m_{un} - P/P_o$ 関係(OCR ごとに)を整理しておき、同じ土について締め固め後の圧密試験を行ない締め固

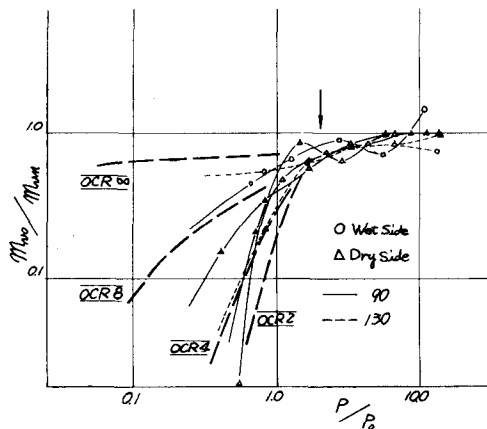


図-8 締め固めた土の過圧密比の変化

め固めた土の $m_{uo}/m_{un} - P/P_o$ 曲線を作成し、両者を重ねて締め固めた土の $m_{uo}/m_{un} - P/P_o$ 曲線が OCR のどれのパターンに属するかを調べてみるとよい。図-8 は等圧圧密によって再成した粘土を OCR = 2, 4, 8, ∞ と4種に変え、標準圧密試験結果から $m_{uo}/m_{un} - P/P_o$ 関係で整理したものと、締め固めた同じ粘土の圧密試験から得た $m_{uo}/m_{un} - P/P_o$ 曲線とを比べたものである。締め固めた土の乾燥密度、飽和度は一定になるように管理してある。乾燥側で締め固めた土では OCR = 4~8 で締め固めエネルギーの高いものは OCR = 4 に接近し、低いものは OCR = 4~8 の間にある。湿潤側のもものでは OCR = 8~ ∞ にあり、締め固めエネルギーの高いものは ∞ に近づく傾向がある。 P_y 相当値は乾燥側で締め固めエネルギーの大きくなるほど大きくなる傾向があり、湿潤側の P_y は乾燥側の P_y に比べて小さく、こわ送されたものでは P_y 相当値はほとんど見られない。

おすむ

(1) 荷重増加率の大きさによって $e-\log p$ の関係における P_y と C_c の値が変わるという Leonard の結果と同じものも得た。整理の仕方として $m_u-\log p$ 関係で表わす方が特性をよりよく反映する。

$\Delta P/P$ の大きさは二次圧密(二次圧缩量、圧密速度とも)にも影響する。

(2) 載荷時間の影響は、本実験の $e-\log p$ 関係では明確な差違が認められなかったが、 $m_u-\log p$ によつて時間の長短の影響が明確に認められた。

(3) 締め固めた土の過圧密状態を評価する方法として、まず $e-\log p$ から P_y 相当値を求め、次に $m_{uo}/m_{un} - P/P_o$ から過圧密比を求める事によって締め固めた土の圧密特性がつかめる。

卒業研究として実験に協力してくれた鴨下定治、津山文作 両君に感謝する。

参考文献 1) たとえば土質工学会：土質試験法 PP 317~318

2) Yong & Warkentin:

Introduction to Soil Behavior Mc. Graw Hill PP 221~222

3) Leonards & Girault

:"A Study of the One-dimensional Consolidation Test" Proc. 5th Inter. Conf. Soil Mech. I PP 213 1961

4) 中瀬明男：“過圧密粘土の圧密特性” 第6回土質工学研究発表会 PP 117

~120 または 浅川美利：“過圧密粘土の圧密特性” 第7回土質工学研究発表会 PP 129~132