

北海道大学工学部 正員 北郷 繁
同 上 正員 〇佐藤 正義

1. まえがき

飽和土のセン断強さを有効応力から求めるためには、破カイ時の固ゲキ水圧（以下 u と略す）を正しく計測する必要がある。たとえば三軸圧縮試験で普通に行われているように、供試体底面で u を測定する場合には、測定値はセン断面附近の u を表わすものでなければならない。三軸圧縮試験で、セン断力を受けて供試体内に発生する u は、ダイレタンシーが一樣に生じないことや供試体の端部拘束などの原因により、供試体全体にわたって一樣に生じない。それで供試体底部で測定する u は必ずしもその供試体中の u を代表する値ではない。したがって、供試体内に不均一に発生する u が均等化した値として測定するためには、 u の再分布が可能なようなヒズミ速度（以下 $\dot{\epsilon}$ と略す）で圧縮試験を行う必要がある。 u が均等化するのに要する時間は、その供試体の透水性に大きく影響されるものと考えられる。したがって、 u を正しく測定するための $\dot{\epsilon}$ と透水係数（以下 k と略す）との間には直接関係があるはずである。本実験はこの関係を明らかにするために行ったものである。また、 $\dot{\epsilon}$ の大きさが固ゲキ水圧、固ゲキ水圧係数、軸差応力および強度係数などにどのような影響をおよぼすかを調べた。

2. 試料土および供試体

試料土は供試体にしたとき自立し、また練り返えし易いような含水比（大体液性指数が0.80位）になるように水を加え、均一になるように丁寧に練り返えし、恒温槽内で約一ヶ月養生した。供試体の直径は50mm、高さは120mmであり、供試体作製時の飽和度はほとんどの場合96%以上であった。供試体のセットは水中で行い、フラツシングおよび固ゲキ水圧測定系内には煮沸による脱気水を使用した。試料土の物理的性質を表-1に示す。

表-1 試料の物理的性質と採取地

試料	比重	LL(%)	PL(%)	PI(%)	採取地
NO.1	2.69	34.6	21.5	13.1	三笠市養老別
NO.2	2.73	69.4	33.3	36.1	札幌市北田町
NO.3	2.67	92.8	35.0	57.8	石狩郡中小屋

3. 透水係数(k)の決定法

k はV. Escario^{文1)}の圧密解析にもとづいて行った。この方法によれば圧密中の排水は、放射方向にのみ許すから、この条件に適合させるため図-1に示すような供試体状態とした。すなわち、排水用のドレーンペーパーを供試体上方のポーラスストーンに接するように巻きつけ、下のポーラスストーンに接続させなかったのは、 u を測定するための通水部分に固ゲキ水の流入を許さず、排水はすべて上方排水路にだけよつたためである。圧密圧（以下 p と略す）は0.5、1.0、2.0、4.0、7.0 $\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ の5つで、圧密中の測定事項は u 、軸方向変位、および排水量であり、最初時間間隔を細かくとり次第に大きくしながら測定を行った。 k は測定した u 、軸方向変位および排水量の3つの項目からそれぞれ計算することができる。

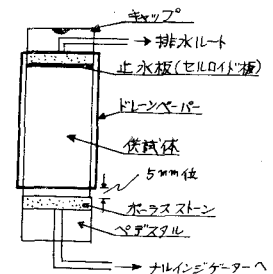


図-1 供試体のセットの状態

4. 固ゲキ水圧(u)の測定およびヒズミ速度($\dot{\epsilon}$)

1). u の測定

本実験の u の測定はすべて供試体底部において、ナルインジゲーターを用いて行った。間加キ水圧測定系のフラッシングの効果の判定の規準として、 $7.0 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ の水圧に対してナルインジゲーターのU字管内の水銀の移動が 5 mm 以内であることとした。

2). ヒズミ速度 ($\dot{\epsilon}$)

$\dot{\epsilon}$ は初期供試体高の $2.5, 0.5, 0.1, 0.02, 0.004 \text{ \%}/\text{min}$ の5段階とし、圧縮試験はすべて $15.0 \text{ \%}$ のヒズミに至るまで行った。

5. 実験結果およびその考察

1). 透水係数 (k) と圧密圧力 (p)

3. で述べた方法によれば、ある p について3つの k が計算できる。 $\dot{\epsilon}$ を5段階に変えたから、一つの p を同一の p で5回圧密したことになる、一つの p について合計15個の k が計算される。図-2は試料NO.3についての計算結果である。他の試料についても同様の傾向を示しているので省略する。 p が $0.5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ の k の値が全体的に小さ目ではあるが、この実験の範囲内では k と p は両対数紙上で大体直線関係を示している^(文2)ようである。この直線から各 p に

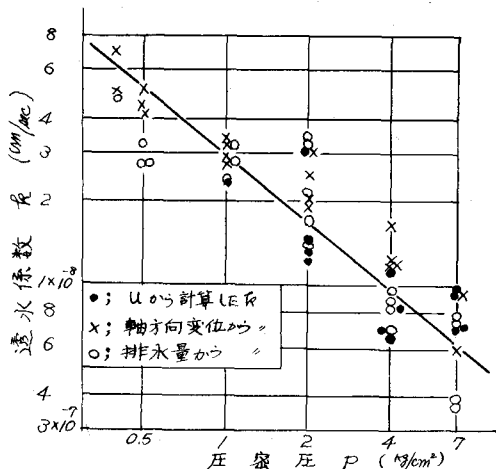


図-2. 圧密圧と透水係数の関係

おける k の概略を知ることができる。本実験の資料整理にはこの直線を利用して、ある p に対する k を求めた。尚次項についても p が $0.5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ の実験結果は特異な値を示しており、実験に何等かの不都合があったのかも知れない。

2). セン断中の間加キ水圧 (Δu) の挙動

図-3は試料NO.3において、非排水圧縮試験でのヒズミ ϵ と発生間加キ水圧 Δu との関係と5つの $\dot{\epsilon}$ について示したものである。他の試料もこれと同様の傾向を示している。これからわかることは $\dot{\epsilon}$ の大きい $2.5, 0.5 \text{ \%}/\text{min}$ (特に $2.5 \text{ \%}/\text{min}$) では、初期のヒズミにおける Δu の増加の割合が、他の小さい $\dot{\epsilon}$ の場合にくらべて小さい。この場合、5つの $\dot{\epsilon}$ において同一のヒズミを与えるに要する時間は、 $2.5 \text{ \%}/\text{min}$ を1とすると $0.004 \text{ \%}/\text{min}$ では625である。つまり、 $2.5, 0.5 \text{ \%}/\text{min}$ の $\dot{\epsilon}$ では u

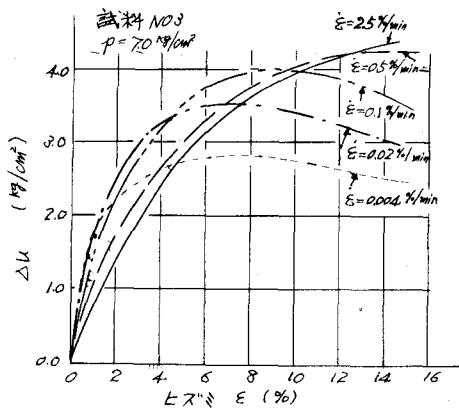


図-3. ヒズミと間加キ水圧の関係

が試料中で平均化するために必要な時間が不足であるが、他の3つでは、相互に大差ない程度に必要を満足しているとみられる。つまり $\dot{\epsilon}$ が遅いほど供試体底面に測定したセン断中の Δu は、試料中のより平均化された u を与えるものと考えることができ、この意味からまず $2.5 \text{ \%}/\text{min}$ と $0.5 \text{ \%}/\text{min}$ の2つは夫格とみることができる。同じような傾向が図-4についてもみられる。この図は間加キ圧係数 (以下Aと略す) とヒズミ ϵ の関係を表わす一例であるが、その一般的傾向は、 $\dot{\epsilon}$ の大きい $2.5 \text{ \%}/\text{min}$ と $0.5 \text{ \%}/\text{min}$ のものはAが他の3つの $\dot{\epsilon}$ の小さいものの初期部分の変化状況を示していると考えられ、刻々

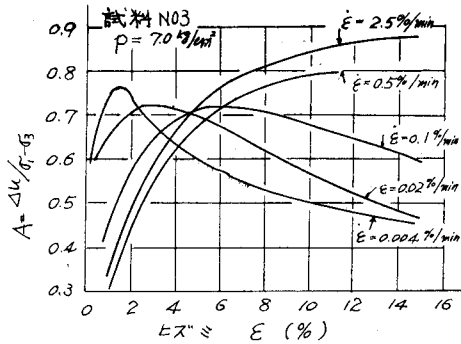


図-4 ヒズミと側ゲキ圧係数の関係

に変化するのを試料の底部で測定するには、これらの $\dot{\epsilon}$ では大にすぎること示している。図-5は試料No.3における破砕時(0.1-0.3の最大値を示すとき、最大値を示さない場合はヒズミが15.0%のとき)の側ゲキ圧係数 A_f (破砕時の A を A_f とする)と p の関係を $\dot{\epsilon}$ をパラメーターとして、また図-6は A_f と $\dot{\epsilon}$ の関係を、 p をパラメーターとして表わしたものである。これらの図からいえることは、 A_f は p が大きくなると、大きく計算される傾向を示すが、これを $\dot{\epsilon}$ 別にみると、 0.5 kg/cm^2 の p の場合を除いて、おそい方の2つの $\dot{\epsilon}$ では、 A_f は p の大小にはほとんど無関係のようにみられる。すなわちNo.3の上の場合最適の $\dot{\epsilon}$ は 0.02 %/min 前後にありそうである。また A_f が $\dot{\epsilon}$ に影響を受ける度合は p が大きいほど大きい。つまりある飽和土の A_f は、試料の状態(この場合、側ゲキ比あるいは k)や測定時の $\dot{\epsilon}$ によって異なる値となり、 k の小さいほど $\dot{\epsilon}$ の影響を受けて大きく計算されるということである。

図-7は A_f と k の関係を示す。この図はつきのようにしてかいたものである。まず図-2の直線から、ある p に対応する k を求め、 p を側圧とする非排水圧縮試験で得られる A_f と k を、土質に無関係に片対数紙上にプロットすると、これらの点はほぼ直線上にあつた。この直線を $\dot{\epsilon}$ ごとにかいたのが図-7である。この図の成因からして、きわめて大ザツパではあるが、 k が小さくなるほど A_f は $\dot{\epsilon}$ の影響を受けるとした前論がより明かになるし、また $\dot{\epsilon}$ が 0.02 %/min と 0.004 %/min の曲線はほぼ同一とみなすことができ、本実験で取り扱った程度の k の範囲では、供試体底で k を測定するための最適な $\dot{\epsilon}$ は 0.02 %/min 程度であると結論づけら

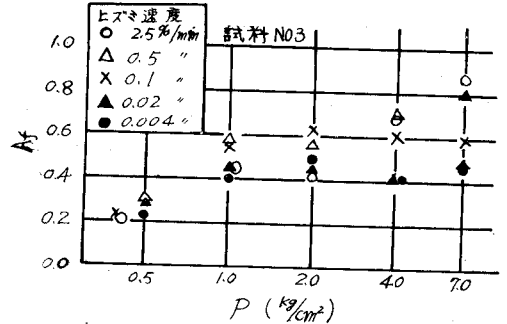


図-5 破砕時の側ゲキ圧係数と圧力 p の関係

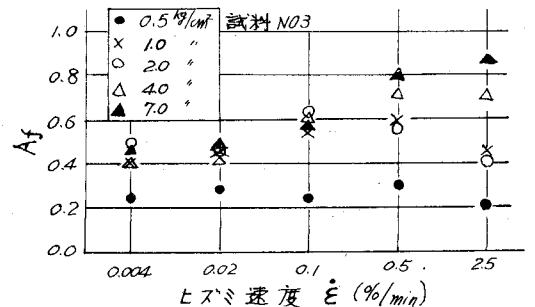


図-6 破砕時の側ゲキ圧係数とヒズミ速度の関係

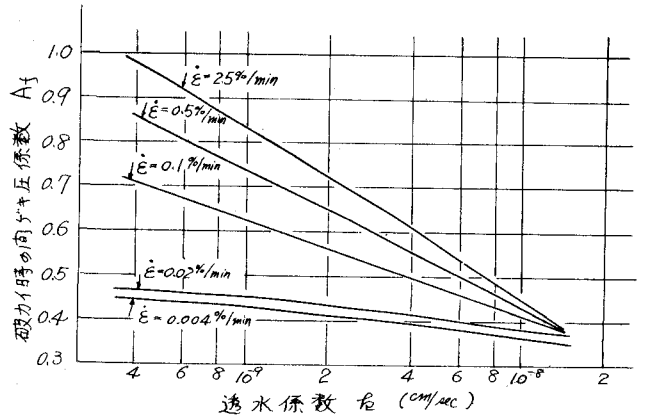


図-7 破砕時の側ゲキ圧係数と透水性係数の関係

れる。この図から考えられるもう一つのこととは、 λ が約 $1.6 \times 10^{-8} \text{ cm/sec}$ のところで5本の曲線が交っていることである。本実験ではこの λ より大きい値をもつ供試体について試験を行わなかったのは、以上の結論は得られなかったが興味のあることである。

3). ヒズミ速度($\dot{\epsilon}$)と軸差応力の関係

図-8は試料NO.3についての破力時の含水比(w_f)と軸差応力($\sigma_1 - \sigma_3$) $_f$ の関係について、 $\dot{\epsilon}$ とパラメーターとしてプロットしたものである。 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ の値にはメンブレンとドレーンペーパーの強さに対する修正を行った。その二つによる修正値は当研究室で実験を行って求めたものであり、ヒズミが 15% で約 0.18 kg/cm^2 である。この図より明らかなことは $\dot{\epsilon}$ が $2.5\%/min \sim 0.004\%/min$ の範囲では $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ の値にはほとんどその影響がみられない。一般に不攪乱試料については $\dot{\epsilon}$ が大きくなるにつれて $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ が大きくなることが知られているが、繰り返した試料を用いた本実験での $\dot{\epsilon}$ の範囲ではその影響がみられなかった。

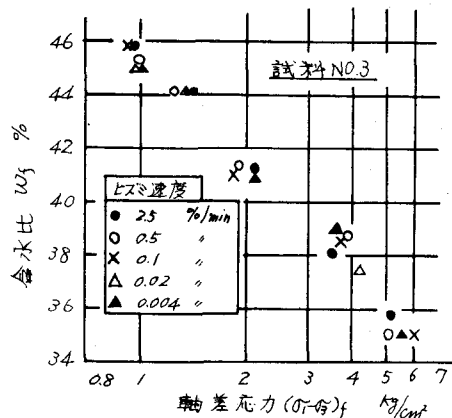


図-8 軸差応力と含水比の関係

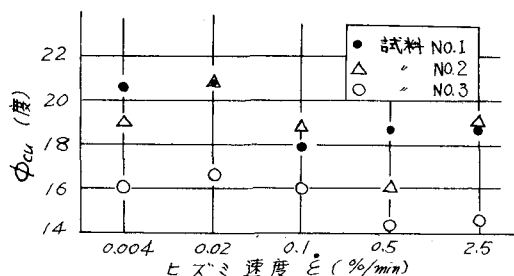


図-9 ϕ_{cu} とヒズミ速度の関係

4). ヒズミ速度($\dot{\epsilon}$)と強度常数の関係

図-9は3つの試料について、 ϕ_{cu} と $\dot{\epsilon}$ の関係も、図-10は ϕ' と $\dot{\epsilon}$ の関係を示したものである。ここで ϕ_{cu} とは全応力解析で求めたせん断抵抗角であり、 ϕ' とは有効応力解析で求めたせん断抵抗角である。 ϕ_{cu} の値は $\dot{\epsilon}$ が $2.5\%/min \sim 0.004\%/min$ の範囲ではほとんどその影響を受けていないようであるが、 ϕ' はその影響を大きく受けていることがわかる。すなわち $\dot{\epsilon}$ が小さくなると ϕ' は小さくなり、図-10によれば $0.1 \sim 0.02\%/min$ と境にして ϕ' がかわる傾向がみられる。このことは λ の測定に λ の値が $4.0 \times 10^{-9} \sim 1.6 \times 10^{-8} \text{ cm/sec}$ のとき最適な $\dot{\epsilon}$ が $0.02\%/min$ 程度のものであるとした結論と考え合せて興味のあることである。

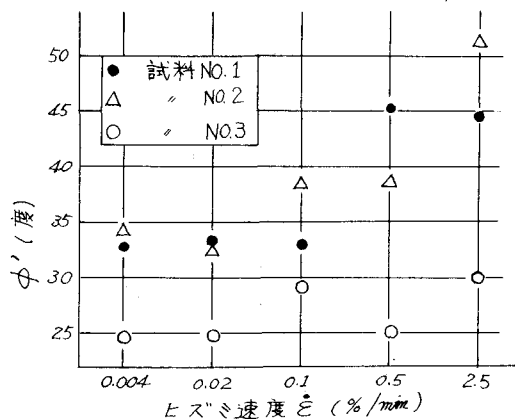


図-10 ϕ' とヒズミ速度の関係

参考文献

- 文1). V. Escario ; Determining the Coefficient of Consolidation and Horizontal Permeability by Radial Drainage. proc. 5th Int. Conf. Soil Mech. 1961
- 文2). 沢田敏男, 鳥山昭司 ; 「圧密諸係数に関する考察」 土と基礎 13-9 1965. September