

# 飽和粘性土のせん断強度特性に及ぼす ヒズミ速度の影響について

三浦 雅己・鈴木 立実\*

Effect of Strain Rate upon Shear Strength Characters  
of Saturated Clay.

Masaki MIURA and Tatsmi SUZUKI\*

(昭和48年10月31日受理)

## 1 ま え が き

地盤上に作用する荷重には静的と動的荷重とがあり、それらの中でも作用する速度の大きさはさまざまなものである。作用する荷重の速度あるいはヒズミ速度の大小によって、外力を加えてから破壊にいたるまでの過程は、それぞれ異なった特性を示すことが知られている。

従来行なわれている研究は、毎分1%以上の大きいヒズミ速度を与えて強度の増分を調べるいわゆるヒズミ速度効果の研究であった。しかし、そこには土粒子骨格間の応力すなわち有効応力については、内容が不明であるように思われる。

本研究は、三軸圧縮試験機による圧密非排水せん断試験のヒズミ制御法を用いて、異なるヒズミ速度を作用させた場合の有効応力解析による強度特性の挙動を調べることを目的としたものである。実験に使用した試料は、自然地盤から採取した粘性土であり、間ゲキ水圧測定には精度上の問題があるので、毎分0.001%から0.1%の範囲のヒズミ速度を作用させたものである。

## 2 試料と実験概要

今回使用した試料は、秋田県横手市効外の雄物川筋農業水利事業所の工事現場から長さ25cm、内径7cm、厚さ0.2cmの塩化ビニールパイプによって採取した飽和粘性土である。またこの試料には繊維性の有機物質を多少含み、比較的軟弱なものである。

供試体の寸法は直径5cm高さ12.5cmであり、物理試験粒度試験及び強熱減量試験による結果は表1の通りである。

\* 秋田大学大学院修士課程2年

表 1

液性限界 L. L	64.1 %
塑性限界 P. L	34.7
塑性指数 P. I	29.4
比 重 Gs	2.65
シ ル ト 分	32.6 %
粘 土 分	67.4
強 熱 減 量 値	7.0 %

供試体は水中セットを行なって、ゴムスリーブとの間の空気を抜き圧密圧力に相当する等方液圧を与え、スケンプトンの間ゲキ水圧係数Bの測定により不飽和のときは、backpressureを与え $B \geq 0.980$ になるまで等方圧密した。圧密終了は、残留間ゲキ水圧3%以下及び排水量の測定によって判定した。圧密終了後、供試体は大気圧と等しくなるために不飽和になる可能性があり、飽和土として扱うのに疑問を生じる。このために、せん断を行う前に供試体数個について、非排水の状態で液圧を新たに $1.0 \text{ kg/cm}^2$ 増加させ、その増分を間ゲキ水圧装置で測定した結果、満足すべき飽和状態であると認められた。従って圧密終了後、直ちに所定のヒズミ速度で三軸非排水せん断試験を行なったものである。

この実験では、ほとんどが軸差応力 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ でのピークがあらわれなかったため、有効応力比 $\sigma_1'/\sigma_3'$ がピークとなった時、破壊として解析した、なお間ゲキ水圧の測定値は、供試体の底端部におけるものである。

圧密圧力とヒズミ速度は、表の2通りであり各圧密圧力に対してすべてのヒズミ速度を作用させた。

表 2

圧密圧力 $\sigma_c$ ( $kg/cm^2$ )	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
ヒズミ速度 $\dot{\epsilon}$ (%/min)	0.001				
	0.004				
	0.01				
	0.02				
	0.03				
	0.05				
	0.1				

### 3 実験結果

強度やその他の挙動に大きな要素となる含水量は、自然地盤から採取した試料であるため様なものは得られなかった。

以下に揚げるヒズミ速度の影響と比較するために、試験後の含水量をヒズミ速度に対して描けば図1のようになる。

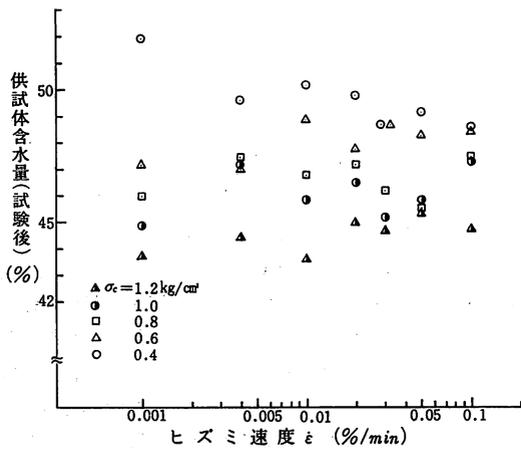


図1 供試体の含水量(試験後)とヒズミ速度

図2及び図3は、発生最大間ゲキ水圧  $U_{max}$  とその時の軸ヒズミ量 (%) を、それぞれのヒズミ速度に対してプロットしたもので、発生した最大の間ゲキ水圧は、ヒズミ速度とは無関係に一樣であるが、最大間ゲキ水圧発生時の軸ヒズミ量は、ヒズミ速度が大きくなるにつれて

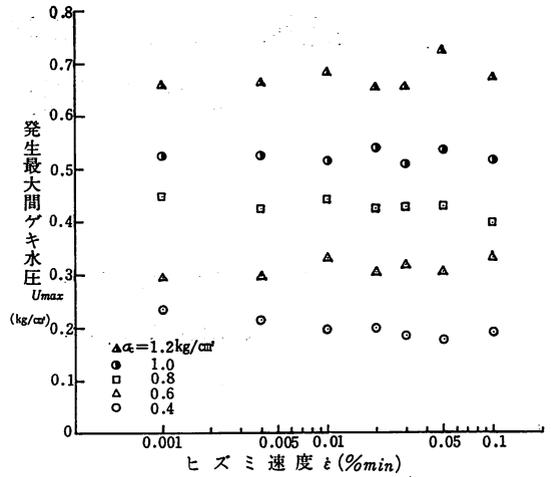


図2 発生最大間ゲキ水圧とヒズミ速度

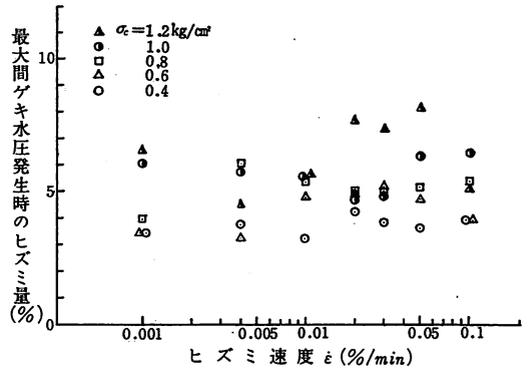


図3 最大間ゲキ発生時のヒズミ量とヒズミ速度

多少大きくなり、また拘束圧が大きくなるにつれてバラツキも大きくなるような傾向にある。

図4～7図は、破壊時の間ゲキ水圧  $U_r$ 、軸ヒズミ量  $\epsilon_r$ 、軸差応力  $(\sigma_1 - \sigma_3)_r$ 、間ゲキ水圧係数  $A_r$  を各ヒズミ速度に対して示した。間ゲキ水圧  $U_r$  は、ヒズミ速度とは無関係に一樣であることが認められ、破壊時の軸ヒズミ量  $\epsilon_r$  は、ヒズミ速度が大きくなるにつれて、小さくなる傾向が見られ、また圧密圧力が大きいほどその傾向が顕著である。破壊時の軸差応力  $(\sigma_1 - \sigma_3)_r$  は、前述の図1と比較すると圧密圧力  $\sigma_c = 1.0, 1.2 kg/cm^2$  については、ヒズミ速度による影響よりもむしろ供試体の含水量のバラツキによって、影響されているように思われ

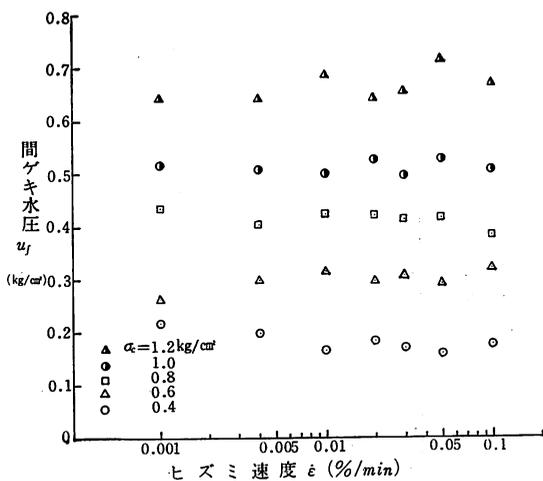


図4 破壊時のヒズミ量とヒズミ速度

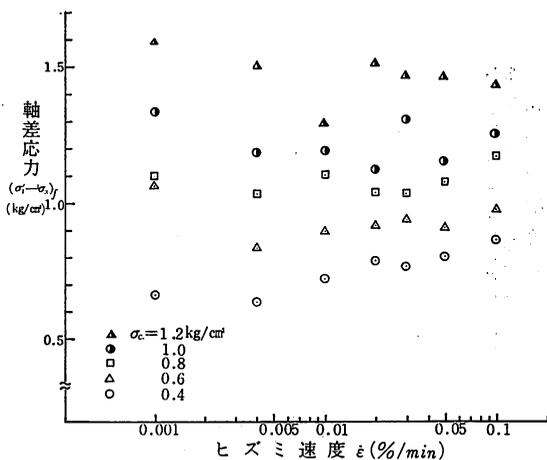


図6 破壊時の軸ヒズミ量とヒズミ速度

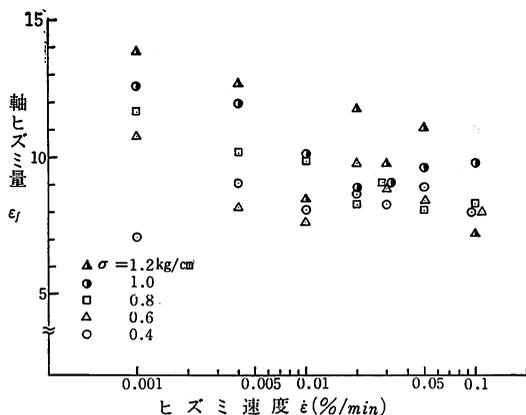


図5 破壊時の間ゲキ水圧とヒズミ速度

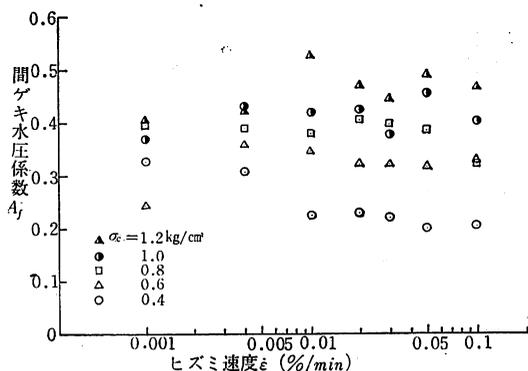


図7 破壊時の軸差応力とヒズミ速度

るが、それ以外の圧密圧力では、一般にヒズミ速度が大きくなるにつれて、軸差応力 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ は増加することがわかる。すなわち、ヒズミ速度によるせん断変形に伴って、固体粒子間の相対的すべり運動が起り、ヒズミ速度が大きくなるにつれて、粒子間の抵抗が増大するためと思われる。破壊時の間ゲキ水圧係数 $A_f = U_f / (\sigma_1 - \sigma_3)_f$ については、圧密圧力 $\sigma_c = 1.0, 1.2 \text{ kg/cm}^2$ を除いては、一般に減少することを示している。しかし、その減少の割合が著しくないのは、ヒズミ速度 $0.1 \sim 0.001 \text{ %/min}$ の範囲では間ゲキ水圧がうまく追随し、正確に間ゲキ水圧が測定されていると思われる。

有効応力解析による内部摩擦角 $\varphi'$ と粘着力 $C'$ につい

て図8及び図9に示す。これは、縦軸に破壊時の軸差応力 $(\sigma_1' - \sigma_3')_f$ を横軸に最小主応力 $\sigma_3'_f$ をとって、一連の実験結果をプロットしそれらを通る直線を最小二乗法を適用してユウ配 $m_0$ 、切片 $f_0$ を求めた。それによる内部摩擦角 $\varphi'$ と粘着力 $C'$ は、それぞれ

$$\sin \varphi' = \frac{m_0}{2 + m_0} \quad C' = \frac{f_0}{2\sqrt{1 + m_0}}$$

なる関係がある。

図10はヒズミ速度 $0.1 \text{ %/min}$ について、破壊時の軸差応力 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ と最小主応力 $\sigma_3'_f$ をプロットしたものである。

これらから得られた $\varphi'$ と $C'$ は、それぞれ前述の図8

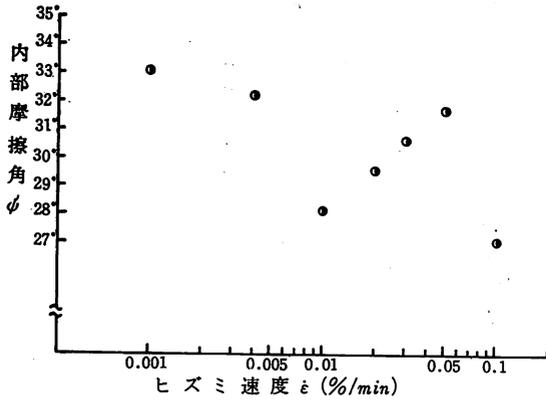


図8 内部摩擦角とヒズミ速度

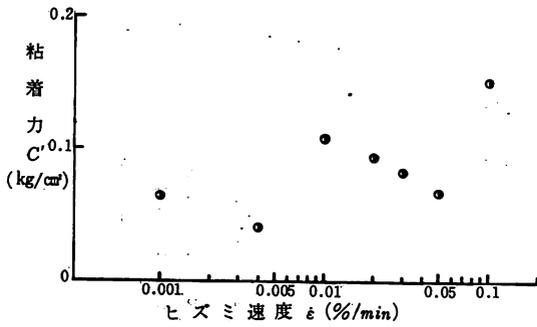


図9 粘着力とヒズミ速度

図9のようになり、この結果、粘着力はヒズミ速度による影響がほとんどなく、内部摩擦角 $\phi'$ はヒズミ速度による影響は受けていて、全般的にはヒズミ速度が増大するにつれて、小さくなるという傾向があるように思われる。

図11は、強度増加率をヒズミ速度に対応して示したものである。ここで強度増加率としては、縦軸に非排水強度  $C_u$ 、横軸に圧密圧力  $\sigma_c (= P_c)$  をプロットし、最小二乗法を用いた直線の回帰係数を求め強度増加率  $\Delta C_u / \Delta P_c$  とした。これからわかることは、ヒズミ速度  $0.001\%/min \sim 0.02\%/min$  までは減少するが、 $0.02\%/min$  以上のヒズミ速度については、バラツキが多く不明である。しかし全般的には、ヒズミ速度の増大に伴って、強度増加率  $\Delta C_u / \Delta P_c$  は小さくなる傾向を示す。

この直線と縦軸との切片は、圧密圧力がゼロの時の非排水強度すなわち一軸圧縮強度に相当する値である。

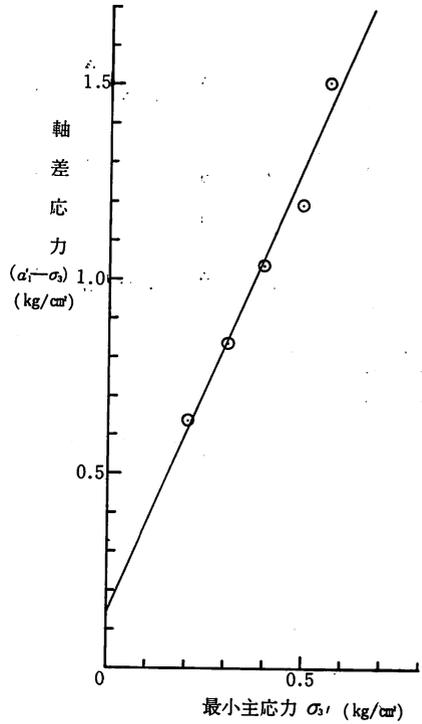


図10 軸差応力と最小主応力

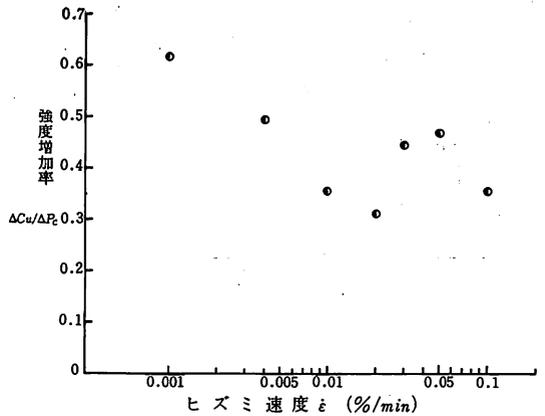


図11 強度増加率とヒズミ速度

#### 4 結論及び考察

本研究では供試体そのものの含水量及び供試体が均一でなかったために、それらの値よりも大きくヒズミ速度の影響に依存するものしか判明できなかった。

軸差応力  $(\sigma_1 - \sigma_3)$  すなわち非排水強度がヒズミ速度よりも含水量によって大きく影響を受ければ、ヒズミ速度によって影響を受けるのは、間ゲキ水圧であるかもしれない。しかしその間ゲキ水圧の大きさにもその効果が表われなかった。

図5からわかるように、ヒズミ速度が大きくなるにつれて、破壊時の軸ヒズミ量が減少していくという結果が得られた。これは有効応力比規準によって、破壊に達するまでの間における有効応力の挙動にヒズミ速度が影響しているように思われる。

Casagrande と Wilson<sup>4)</sup> は、さまざまな載荷速度でセン断試験を行い、長時間のセン断は標準のセン断に比べて、強度が低下することを報告している。本実験はこの報告とほぼ一致することが図6で認められ、圧密圧力  $\sigma_c = 1.0, 1.2 \text{ kg/cm}^2$  については、含水量の影響や供試体がほかのものに比べて飽和度が良好でなかったために間ゲキ比が減少する現象、すなわち内部圧密によって逆に強度が増加したものと思われる。

赤井ら<sup>3)</sup>の研究によるヒズミ速度と間ゲキ水圧  $U_r$ 、間ゲキ水圧係数  $A_r$  は、その速度の範囲について  $0.068\%/\text{min} \sim 13.6\%/\text{min}$  まで実施しており、間ゲキ水圧係数  $A_r$  は  $0.5\%/\text{min} \sim 1.0\%/\text{min}$  を境にしてそれより大きいところでは、減少の度合いがいちじるしい。本実験では  $0.5\%/\text{min}$  よりおそい速度で行なった結果、間ゲキ水圧係数  $A_r$  はわずかに減少し、間ゲキ水圧  $U_r$  はほとんど無関係に一樣であることがわかり、赤井らの実験と一致する。

内部摩擦角  $\phi'$  は、図8からヒズミ速度  $0.01\%/\text{min} \sim 0.05\%/\text{min}$  では、北郷ら<sup>1)</sup>の研究と同様の傾向を示すが、 $0.01\%/\text{min}$  よりおそい速度では逆に  $\phi'$  が大きくなることわかる。全般的に見ると  $\phi'$  がヒズミ速度の

増大に伴って減少していると思われるが、なお今後の課題としたい。

今回の実験では、間ゲキ水圧の測定が供試体の底端部で行なわれているために、供試体内の間ゲキ水圧分布を推定するような何らかのチェックが必要であろう。

終りに本研究を行なうにあたり御指導いただいた秋田大学鉱山学部宮川教授に感謝の意を表します。なおこの報告は、秋田大学院生鈴木立実君の修士論文の一部である。

#### 参 考 文 献

- 1) 北郷, 佐藤: 第23回年次学術講演会講演集, 飽和粘土の間ゲキ水圧測定におよぼすヒズミ速度の影響について P.91~94 (1968)
- 2) 赤井, 小谷, 足立: 土木学会論文集第90号, 飽和粘土の三軸圧密における間ゲキ水圧の挙動について P.1~8 (1963)
- 3) 赤井, 山本, 小沢: 土木学会論文集第58号, 飽和粘土のセン断における間ゲキ水圧の挙動について P.1~6 (1962)
- 4) Casagrande and Wilson: Effect of Rate of Loading on the Strength of Clays and Shales at Constant Water Content. *Geotechnique* Vol. 2 P.251~263 (1951)