

### III-74 繰返し応力を受ける飽和粘土のせん断特性

新学大学工学部 正員 小川正二  
東北大学工学部 正員 柳沢栄司  
鹿島建設 正員 渡辺豊彦

#### 1. はしがき

飽和した土供試体の動力学的性質に関する研究は、大別すると動的せん断特性および振動的性質についての研究とに分けられる。砂の動的せん断特性については、液状化現象として多数の実験的研究がなされているが、粘性土の動的せん断特性についての研究は比較的少ない。この分野のこれまでの研究は主にせん断強度に及ぼす載荷速度の影響や繰返し応力を受ける土の強度などに限られていた。このような動的挙動のうち最も重要な要因の一つである間ゲキ水圧特性についてはまだ不明な点が多いので、筆者等は繰返し応力を受ける飽和粘土供試体の間ゲキ水圧を測定することにより、動的なせん断破壊規準を求めることを試みた。

#### 2. 試料土および試験方法

実験に用いた試料土は仙台市青葉山のローム土を自然乾燥し粉砕した後、1.2mmのふるいでふるい分けしたものである。

この試料土の物理試験結果は表-1に示す通りである。表-1 物理試験結果

この試料に水を加えてペースト状に練ったもの(含水比約70%)を圧密供試体作製装置で( $\phi 6 \times 13 \text{ cm}$ ) 100% 圧密時間のほぼ2倍の時間をかけて圧密し、成形したものを土供試体として用いた。圧密試験から得られたこの土の透水係数は圧密圧  $0.3 \sim 2.5 \text{ kg/cm}^2$  の範囲で約  $10^{-4}$  のオーダーであり、粘性土としては比較的透水係数の高いものである。静的試験は  $0.1\%/\text{min}$  のひずみ制御で、また動的試験は静的強度のそれぞれ25, 50, 75, 100および125%のパーセントの応力を加えていづれも圧密非排水条件で行った。この時の間ゲキ水圧は供試体中央部分にさし込んだ間ゲキ水圧測定針を通して、常圧調整法により測定した。このような測定方法でも比較的長い載荷周期で試験

|              |
|--------------|
| 砂質ローム        |
| 比重 = 2.70    |
| L.L. = 58.0  |
| P.L. = 39.2  |
| P.I. = 18.8  |
| $I_f = 14.5$ |

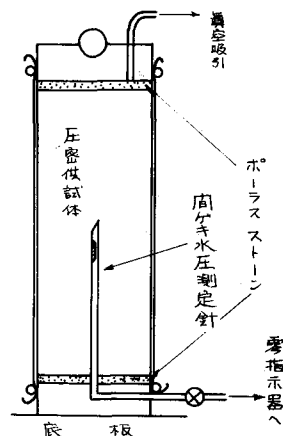


図-1 供試体概略

のひずみ制御で、また動的試験は静的強度のそれぞれ25, 50, 75, 100および125%のパーセントの応力を加えていづれも圧密非排水条件で行った。この時の間ゲキ水圧は供試体中央部分にさし込んだ間ゲキ水圧測定針を通して、常圧調整法により測定した。このような測定方法でも比較的長い載荷周期で試験

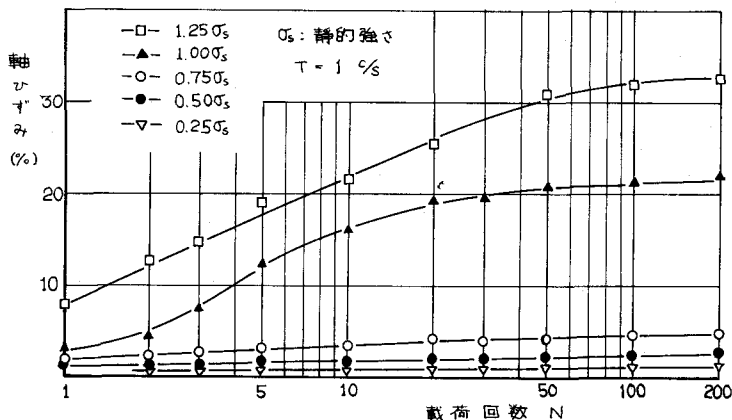


図-2(A) 正規圧密供試体の変形曲線

する限りは充分追従できることが知られる。

### 3 試験結果

図-2(A)は  $\sigma_c = 1\%$  で正規圧密した供試体に5段階の繰返し応力を加えた時の軸ひずみを記したものであるが、静的強度の1.25倍の荷重に対しても顕著な破壊を示さない。これは同じ過圧密粘土供試体 ( $O.C.R = 4$ ) の場合は図-2(B)に示すように静的強度よりも小さな応力に対してはほとんど変形しないが、静的強度を越える応力に対しては急激に軸ひずみが増大するのが見られる。

図-3(A)~(C)はそれぞれ  $\sigma_c = 1\%$  と  $4\%$  の正規圧密供試体および  $\sigma_c = 1\%$  の過圧密供試体における間ゲキ水圧の測定値を記したものである。正規圧密の場合、動的荷重によって生ずる間ゲキ圧の発生のはば拘束圧が小さい程大きい。また、過圧密の場合は間ゲキ圧はほとんど発生せず、破壊を生ずるような荷重に対してもほとんど零に近い値を保っている。過圧密粘土ではダイレタンシー効果によって負の間ゲキ圧が生ずると言われているが、本実験の範囲ではこのような結果は得られなかった。前述のひずみの特徴と間ゲキ圧特性の間には密着な関係があるものと思われる。

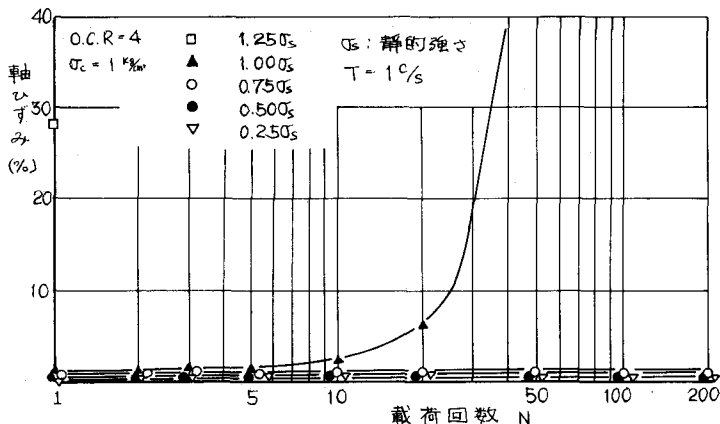


図-2(B) 過圧密供試体の変形曲線

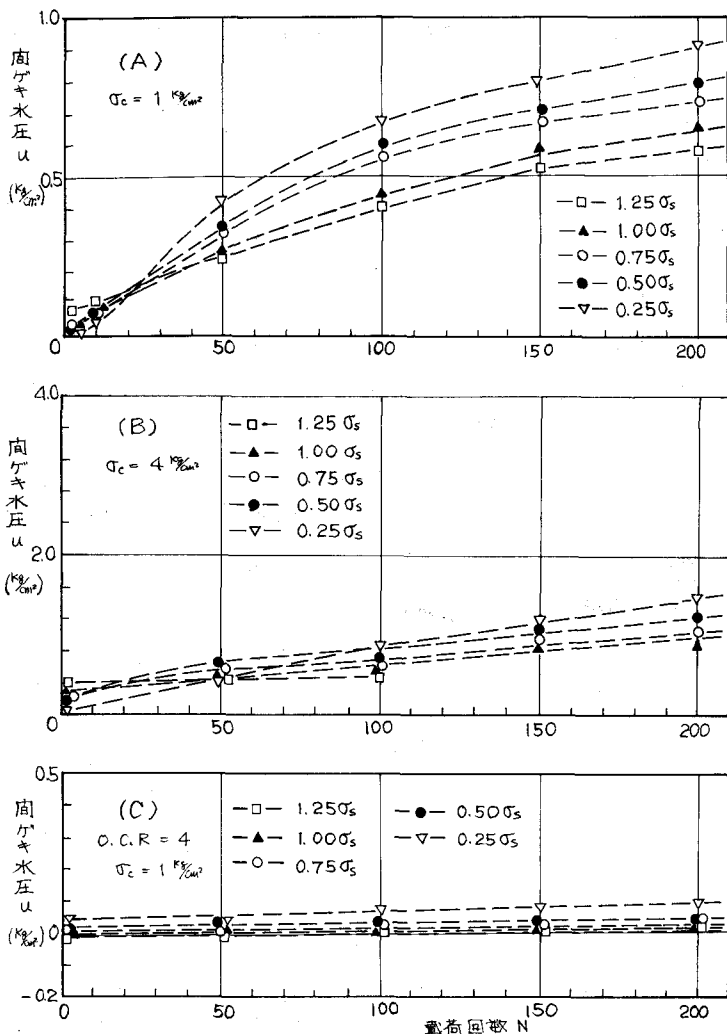


図-3(A)~(C) 間ゲキ水圧

#### 4. 結果の考察

繰返し載荷試験結果を用いて静的試験結果と比較するため、応力制御試験を想定して繰返し荷重と繰返し回数にある規準をきめて値をとった。すなわち、繰返し応力度が静的強度の25%の時は40サイクル目のひずみと間ゲキ水圧を、また50%の時は80サイクル目、75%では120回、100%では160回125%では200回のひずみと間ゲキ水圧を読んだ。

また、載荷中ひずみが40%を越える場合にはその最大値をとった。以上のようにして静的な応力歪曲線に対応する動的な応力ひずみ曲線や動的間ゲキ水圧曲線を求めた。この結果から動的試験における破壊時の間ゲキ水圧係数 $A_f$ を

$$A_f = \frac{\Delta u_f}{(\sigma_1 - \sigma_3)_f}$$

から求め、 $\sigma_3$ に対して記すと図-4の如くになる。

静的試験においては正規圧密条件での $A_f$ はほぼ一定値となり0.6であるが、動的

試験においては正規圧密条件でも圧密圧が高くなると $A_f$ は急速に小さくなる。 $\sigma_3$ が小さい場合間ゲキ比はほぼ1.15と比較的大きく動的載荷によって生ずる間ゲキ水圧も大きい。が、 $\sigma_3$ が大きくなると間ゲキが小さくなり恐らくはある限界の $A_f$ に達するものと想像される。同図は過圧密条件での静的および動的間ゲキ水圧係数と過圧密比との関係も記されているが、過圧密比が2以上になる場合は $A_f$ は0.2以下の非常に小さな値となる。

図-5は有効応力表示による静的および動的なモールの破壊包絡線であるが、載荷方法による強度パラメータの差異が明らかに見られる。表-3にはこのようにして得られた $C'$ 、 $\phi'$ とHvorslevのパラメータ $C_e$ 、 $\phi_e$ を示すものである。この値から明らかに静的な破壊規準と動的な破壊規準は明瞭な差異がある。この方法で得られた動的破壊規準は正規圧密条件でも過圧密条件でも顕著な差異がないと言えよう。

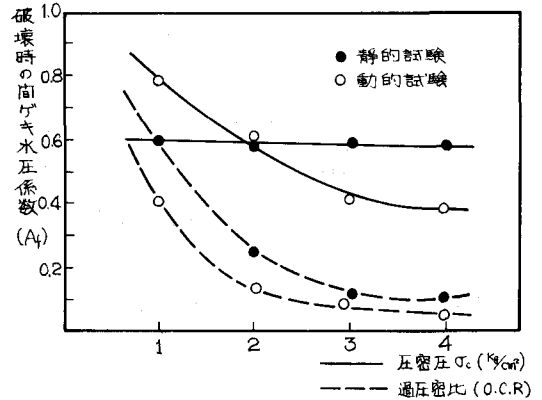


図-4 破壊時の間ゲキ水圧係数

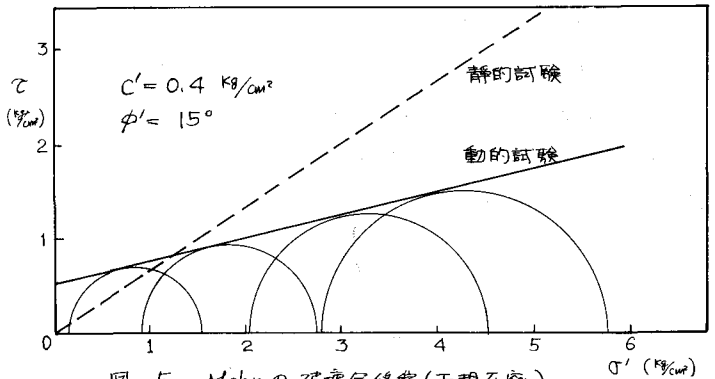


図-5 Mohrの破壊包絡線(正規圧密)

表-2 試験条件と強度パラメーター

| 規 準          | パラメータ    | 静的 試験                |                      | 動的 試験                |                      |
|--------------|----------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|              |          | 正規圧密                 | 過圧密                  | 正規圧密                 | 過圧密                  |
| Mohr-Coulomb | $C'$     | 0°                   | 0.35 % $\sigma_{cm}$ | 0.40 % $\sigma_{cm}$ | 0.48 % $\sigma_{cm}$ |
|              | $\phi'$  | 31°                  | 27.5°                | 15°                  | 14.5°                |
| Hvorslev     | $C_e$    | 0.35 % $\sigma_{cm}$ | 0.35 % $\sigma_{cm}$ | 0.48 % $\sigma_{cm}$ | 0.5 % $\sigma_{cm}$  |
|              | $\phi_e$ | 28°                  | 28°                  | 13.5°                | 13.5°                |

て得られた $C'$ 、 $\phi'$ とHvorslevのパラメータ $C_e$ 、 $\phi_e$ を示すものである。この値から明らかに静的な破壊規準と動的な破壊規準は明瞭な差異がある。この方法で得られた動的破壊規準は正規圧密条件でも過圧密条件でも顕著な差異がないと言えよう。

このような静的載荷と動的載荷による挙動の差を明らかにするために応力経路図によって載荷開始時より破壊に至るまでの過程を示したものが図-6および図-7である。正規圧密土の場合、繰返し荷重を受けると図-6の実線に示した経路をたどるが、静的圧縮の経路と大差がないことが知られる。一方、過圧密土の場合、過圧密比によって静的試験の経路は曲り方が異なるが、動的試験の場合にはほぼ直線的に上向き異なる経路をたどり静的経路と着いて要する。このことは既に間ヤキ木圧係数 $A_f$ の結果から想像されるが、過圧密土のこのような挙動は土粒子の構造的可塑性性にもよるものと思われる。

#### 5. あとがき

正規圧密粘土試体と過圧密土試体について静的試験と動的試験を行った結果、次のような事が明らかになった。

- i) 正規圧密条件では繰返し載荷を受けると $\sigma_c$ が小さい場合には静的載荷時よりも大きな間ヤキ木圧を生ずるが $\sigma_c$ が大きい場合は小さい。
- ii) 過圧密比の大きい土では繰返し載荷によってほとんど間ヤキ木圧は発生しない。O.C.R. 2以上では破壊時の間ヤキ木圧係数は0.2以下になる。
- iii) 正規圧密条件では繰返し載荷による応力経路は静的なそれとほぼ同じであるが、過圧密条件では非常に異なる。
- iv) 上述の方法で求めた動的破壊規準は静的規準と異なるが、正規圧密状態と過圧密状態で顕著な差がない。

尚、本研究の費用の一部は科学研究費補助金によることを付記する。

#### 参考文献

- H. B. Seed Increased Resistance to Deformation of Clay caused by Repeated Loading. Proc. of ASCE 1955  
 赤井浩一 代 「衝撃荷重に対する飽和粘土の応答特性」 土木学会論文集 149号 昭和43年

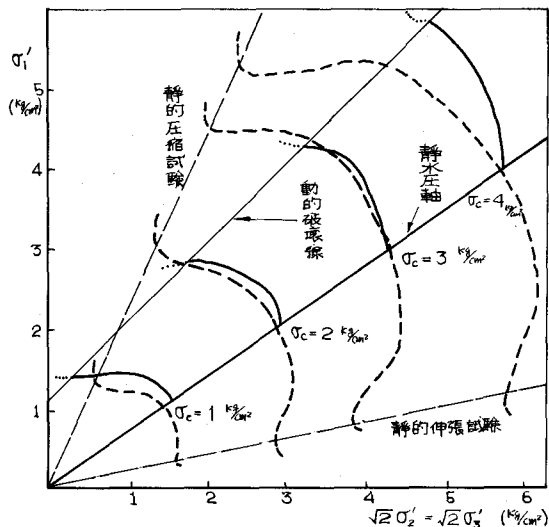


図-6 正規圧密土試体の応力経路

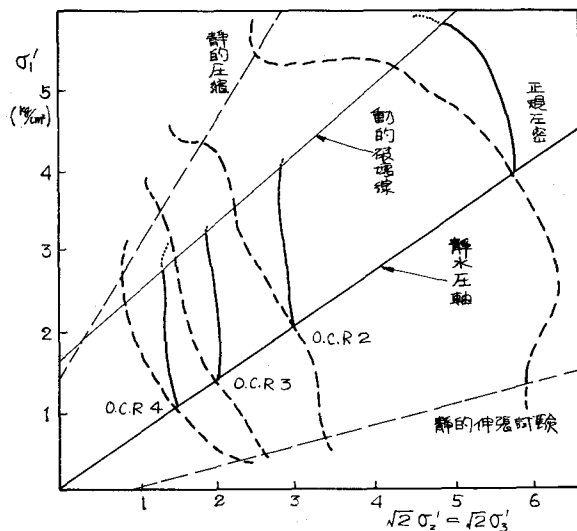


図-7 過圧密土試体の応力経路