

くり返しせん断力をうける飽和粘土の挙動について

山口大・工, 正員 ○大原資生, 正員 山本哲朗, 学生員 生田裕彦

1. まえがき さきに「飽和粘土の動的強度について」と題する論文¹⁾を発表し, 正規圧密粘土の動的単純せん断試験の結果をのべ, その動的強度は間げき水圧の発生量によってきまるという見解をのべた。

著者らは, その後もこの点を確かめるために過圧密飽和粘土について動的単純せん断試験を行い, その結果を間げき水圧の発生状況に注目して整理した。実験は応力制御方式により, 非排水せん断試験を行った。また, 供試体には完全な粘土ということから前に用いたと同じカオリン粘土を用いた。以上の実験結果およびその考察について順次のべる。

2. 実験装置および方法 本実験に用いた単純せん断試験機などについては前にくわしく説明したので, ここではのべない。

今回も, 実験は動的試験と静的試験とが行われたが, いづれも非排水状態で, 過圧密比(以後OCRという)が1から4までの供試体について実験された。静的試験では, ひずみ速度5%/minでせん断を行った。

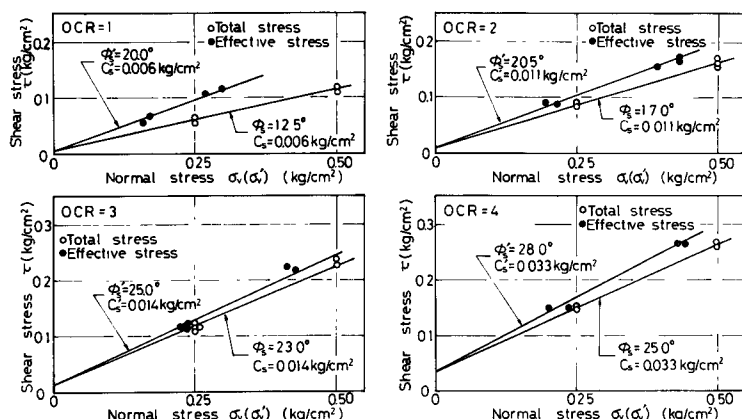


図-1 静的試験の結果

また, 動的試験では前回と同様に周期2秒の矩形波に近い波形のくり返しせん断力を加えて実験を行った。

試験中のせん断応力, せん断ひずみおよび間げき水圧の変化はすべてペンシログラフに記録した。

3. 試料および供試体の作製 本実験に用いた試料は粉末状の粘土含有率98%のきわめて均質な粘土である。この粘土に含水比が90%となるように脱気水を加え, よく練り合せた後, 水分の蒸発を防ぎながら一昼夜放置する。その後さらに気泡が完全に除去されるまで繰り返すを行う。このようにして作った飽和試料をせん断箱の中に三層に分けて詰め, 一層ごとに突き棒で突き固める。そのようにして詰められた供試体を上下面から排水可能な状態で所定の圧密圧によって24時間圧密する。

供試体の寸法は直径7.5 cm, 高さ約2.0 cmの円板状である。過圧密供試体とするには, 圧密圧を所要の鉛直圧まで除荷する。この際に生じる負の間げき水圧は除荷後, 約一時間放置することによって消滅させた後に実験を行った。

実験に供した供試体の間げき比などは表-1に示すとおりである。

4. 静的試験 前回同様に, 静的試験の応力-ひずみ曲線はいづれのOCRの供試体についてもひずみ量が15%のときには応力値は最大値を示しているなのでこの値をもってせん断強度とした。

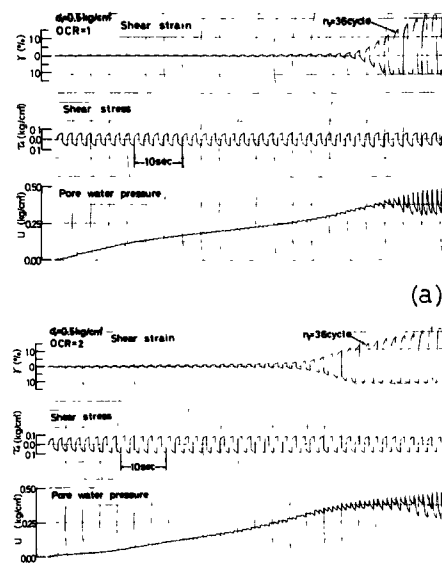


図-2 動的試験の記録例 (b)

図-1はその結果から得られたクーロンの破壊線で全応力表示と有効応力表示で示してある。OCRの大きい供試体ほど傾斜角（内部まざつ角）が大きくなっており、全応力表示と有効応力表示とが接近し、発生する間げき水圧が少ないことがわかる。

5. 動的試験 図-2は動的試験の記録例で、(a)が正規圧密供試体、(b)が過圧密供試体（OCR = 2.0）によるもので、両者のちがいはせん断ひずみの増加が(a)の方が急であることと、間げき水圧の増加の速度も(a)の方が大きいことである。静的せん断結果との対応を考えて、このような記録からせん断ひずみが15%に達したときまでのせん断応力のくり返し回数を、供試体の破壊に至るくり返し回数 n_f とし、その際に負荷されたくり返しせん断応力 τ_d の初期有効鉛直圧 σ_v に対する比 τ_d/σ_v との関係を示したのが図-3である。

n_f の増大にしたがって τ_d/σ_v が低下しており、実験値に σ_v のちがいはるバラツキが目立つ場合もあるが、 τ_d/σ_v と n_f との関係はOCRごとにほぼ一本の直線で表わし得るとみることができる。

図-3に示される結果は飽和砂の液状化の場合と非常によく似ている。すなわち砂質土の液状化の実験結果では応力比 τ_d/σ_v と n_f との関係は、それぞれのOCRごとに一本の線で示されることがわかっているが、この飽和粘土についても同じような結果が得られていることは興味深い。

図-4は間げき水圧比 u/σ_v と破壊に至るまでのくり返し回数 n_f との関係を示すもので、これより $n_f = 30$ の u/σ_v をとってOCRとの関係を示したのが図-5である。

この図中に静的試験における破壊時の u/σ_v とOCRとの関係を記載した。OCRの大きい場合が u/σ_v の値が小さくなっている点は動的試験の結果も静的試験のそれと変わらないが、両者の間には減少傾向に差が認められる。

また、両者の u/σ_v の値に大きい差があることが注目すべきことであろう。すなわち動的試験では、供試体の破壊は u/σ_v が0.8程度で生じている。この値は静的試験の場合のそれより非常に大きい値である。結局は動的試験時の間げき水圧の発生量は大きいということである。

このように、供試体にくり返しせん断力が負荷された状態では間げき水圧の発生量が大きくなることは砂質土の液状化と同ようであって、この

表-1 供試体の状態

鉛直圧 σ_v (kg/cm ²)	先行圧密圧 σ_p (kg/cm ²)	OCR	間げき水圧 e	
			正規圧密後	過圧密後
0.25	0.25	1	1.45	1.45
	0.50	2	1.27	1.28
	0.75	3	1.21	1.22
	1.00	4	1.18	1.19
0.50	0.50	1	1.32	1.32
	1.00	2	1.23	1.23
	1.50	3	1.15	1.16
	2.00	4	1.11	1.13

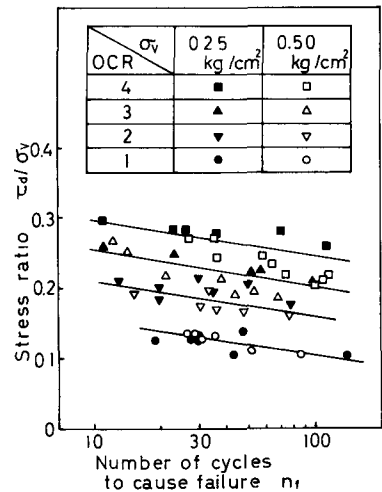
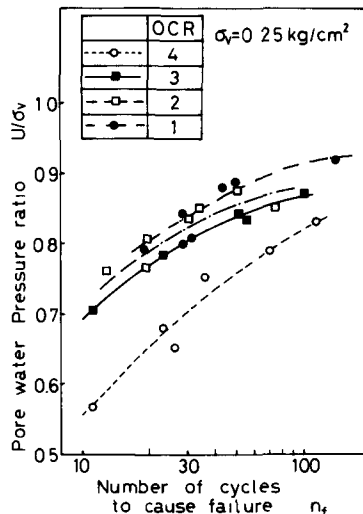
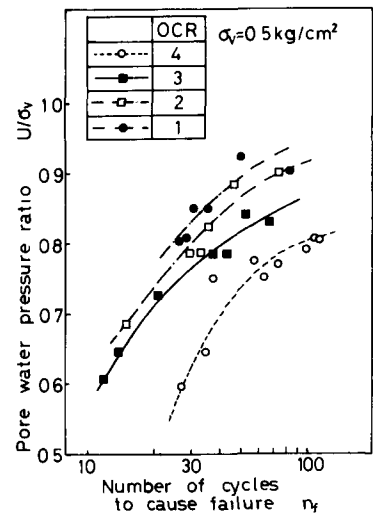


図-3 応力比 τ_d/σ_v と n_f との関係



(a)



(b)

図-4 間げき水圧比 u/σ_v と n_f との関係

場合の供試体の破壊も液状化と考える。

間げき水圧の発生や挙動については、応力径路によって考察するのが便利である。しかし、この実験に用いた単純せん断試験機では側圧を制御できないので、静止土圧係数 k_0 が不明で正確な有効主応力が求められない。

そこで k_0 値として、過圧密粘土の場合についても Brooker らが提案している値²⁾を用いることにした。すなわち表-2に示すように k_0 値を定めた。この実験に用いた飽和粘土の正規圧密の場合の内部まっさつ角は有効応力表示で 29° となっている。Brooker らは $OCR = 1.0$ の場合は $k_0 = 0.95 - \sin \phi'$ の式を提案しているが、 $\phi' = 29^\circ$ とすると $k_0 = 0.46$ となり、この値は Brooker らの実験結果とよく一致していることから、他の OCR の場合の k_0 値も Brooker らの実験値を用いた。

そして、この k_0 値を用いて次の(1)式、(2)式から σ'_1 、 σ'_3 および p' 、 q' を求め動的試験時の応力径路を書いたのが図-6である。なお、(1)式は前論文¹⁾で導いたものである。

$$\sigma'_1 = \{ (1 - k_0) \sigma_v'^2 + \tau_d^2 \} / (1 - k_0) \sigma_v' \quad (1)$$

$$\sigma'_3 = k_0 \sigma_v'$$

$$p' = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} = \{ \sigma_v'^2 (1 - k_0^2) + \tau_d^2 \} / \{ 2 (1 - k_0) \sigma_v' \} \quad (2)$$

$$q' = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} = \{ \sigma_v'^2 (1 - k_0)^2 + \tau_d^2 \} / \{ 2 (1 - k_0) \sigma_v' \}$$

ここで、 σ'_1 、 σ'_3 ：有効主応力、 τ_d ：くり返しせん断応力、 σ_v' ：有効鉛直圧である。

図-6より OCR によって応力径路が大きく異なることがわかる。出発点（初期状態）と破壊点との水平距離が大きいほど間げき水圧の発生量が多いことを示すので、 $OCR = 1.0$ の場合がその発生量が最も大きく、 OCR が大きくなるにしたがって順次小さくなる。以上の結果から動的試験時に生じる間げき水圧は静的試験時のその数倍になることがわかる。

また、図-3の結果から $n_f = 30$ のときの τ_d/σ_v の値を求め、 $OCR = 1.0$ のときの値を $(\tau_d/\sigma_v)_{NC}$ 、過圧密状態 ($OCR > 1.0$) のときの値を $(\tau_d/\sigma_v)_{OC}$ とする。縦軸に両者の比 $(\tau_d/\sigma_v)_{OC} / (\tau_d/\sigma_v)_{NC}$ をとり、横軸に OCR をとると図-7が得られる。

石原教授らは砂質土の液状化に対する過圧密比の影響をみるために、この方法を提案し次の関係式を導いている。³⁾

$$(\tau_d/\sigma_v)_{OC} = \sqrt{OCR} (\tau_d/\sigma_v)_{NC} \quad (3)$$

図-7の中の点線が(3)式の値である。これより、この実験に用いた粘土についてもほぼ(3)の関係が成立していることがわかる。

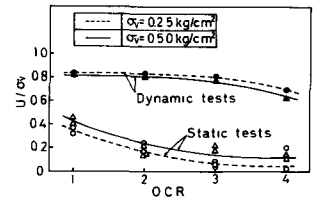


図-5 U/σ_v の OCR による変化

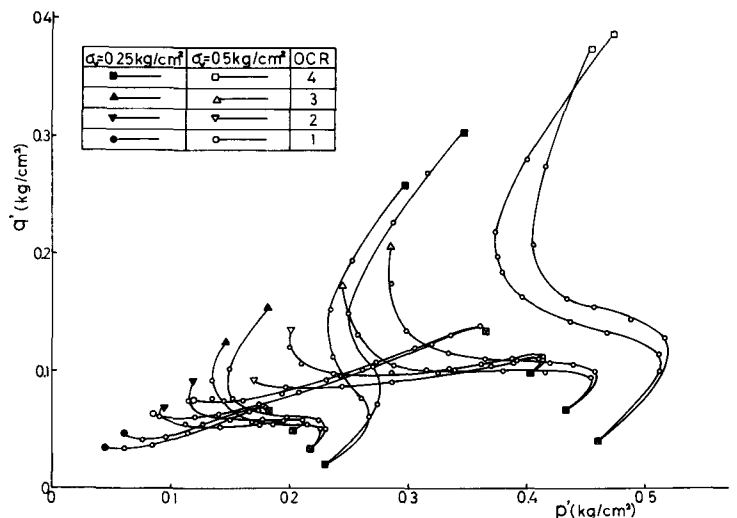


図-6 動的試験時の応力径路図

6. 結語 飽和粘土の動的強度についての実験を、動的単純せん断試験によって行い、くり返しせん断応力の作用によって生じる間げき水圧は静的せん断応力負荷時のそれよりかなり大きいことが実験的に明らかになり、このことが飽和粘土の動的強度を支配していると考えられる。本論文では、飽和過圧密粘土についての実験を行って間げき水圧の発生の特長について考察した結果をのべた。

飽和粘土の動的強度は発生する間げき水圧に大きく影響されることが明らかとなった。また、くり返しせん断応力による飽和粘土の破壊状況は飽和砂の液状化と似ているとの結論が得られた。

参考文献 1). 大原・松田：飽和粘土の動的強度について，土木学会論文報告集，274号，1978年 6月。
 2). E.W. Brooker and H.O. Ireland: Earth Pressures at Rest Related to Stress History, Canadian Geotechnical Journal, vol.2, Feb. 1965. 3). K. Ishihara and H. Takatsu: Effects of Overconsolidation and K_0 Conditions on the Liquefaction Characteristics of Sands, Soils and Foundations, vol.2, June. 1978 (掲載予定)

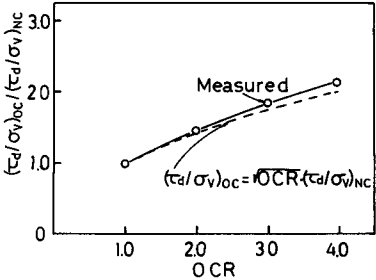


図-7 動的強度に対するOCRの影響

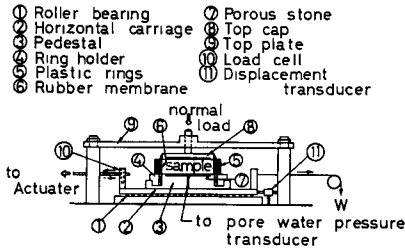


図-8

表-2 K_0 値

OCR	K_0
1	0.46
2	0.61
3	0.73
4	0.84

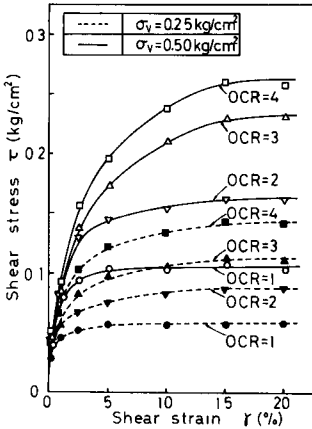


図-9

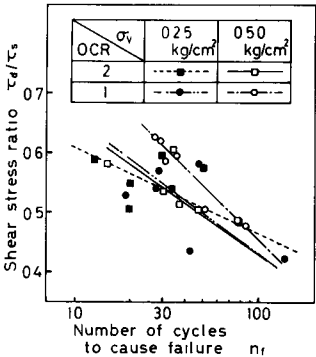


図-10