

粘性土の動的強度について

大原 資生*・藤井 信夫*

Experimental Study on Dynamic Shear Strength of Cohesive Soil

Sukeo ŌHARA and Nobuo FUJII

Abstract

It is important to obtain the dynamic shear strength of a soft clay for a seismic design of a foundation built on soft clay layer.

The results of some experimental studies are obtained in the writer's laboratory by the simple shear test apparatus.

From these results, it is clear to a dynamic shear strength of clay is not always larger than a static shear strength and it depends on the initial shear stress and a number of pulse.

1. 緒 言

粘性土がくり返し応力をうけたときの強度（これを以後、動的強度という）を求めることは軟弱地盤に設けられる基礎工の耐震設計の資料をうることから必要なことである。しかし、粘性土の動的強度を求めることは間げき水圧やチキソトビローなどの問題がからみ、それに影響を及ぼす因子も多く、簡単には明らかにできない事柄である。

われわれの知るところでは、粘性土の剛性率や履歴減衰常数を測定した結果¹⁾は多いが、その動的強度を求めた実験はそれほど多くなく、この問題についてもっとも系統的に行なわれた実験は、Seed の動的三軸試験による実験²⁾であろう。

そこで、われわれは地震時の地盤のせん断変形は単純せん断試験によって供試体に生じる変形にもっとも類似しているので、この実験では動的単純せん断試験機を用いて粘性土の動的強度を求める実験を行なってみた。

2. 試料および供試体

試料として用いた土は Fig. 1 に示す粒度加積曲線をもつ粘土で、宇部付近の干拓地で採取した頁岩の風化土である。

これを水を加えてよく練りペースト状にしてせん断箱のゴムスリーブ内に入れ、所定の圧密圧（0.3, 0.5, 0.7kg/cm²）で24時間圧密した。

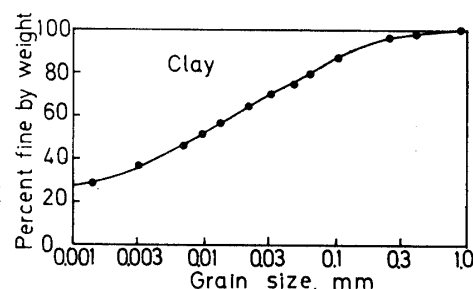


Fig. 1 Grain size distribution curve

圧密後の間げき比は、それぞれの圧密圧によって異なるが、それぞれ1.40, 1.34, 1.27であった。また、この粘土の L.L, P.L はそれぞれ 47.0%, 24.3% であり、圧密後の供試体の平均含水比はそれぞれ、52.0%, 49.5%, 47.0% であるからいずれの圧密圧で圧密された供試体の含水比も液性限界以上となっている。

3. 実験装置および実験方法

前述のように、この実験では動的単純せん断試験機が用いられた。この装置のせん断箱は Kjellman 型で、Fig. 2 に示すように供試体は、ゴムスリーブに包まれた状態で、さらにその外側に内径 75.2mm, 外径 96.0mm, 厚さ 2 mm のプラスチックリングをつみ重ねた状態ではめこまれ、供試体が純粋なせん断変形に近い変形が生じるようになっている。

くり返しせん断力は複働式のエアシリンダーの左右の圧力室に所定の空気圧を交差的に送りこむことに

* 土木工学科

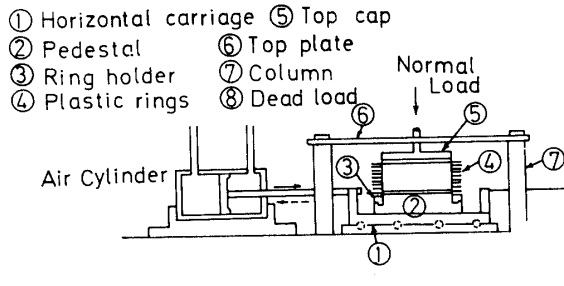


Fig. 2 Mechanism of dynamic simple shear test apparatus

よって得られる。その操作はソレノイドバルブをリレー回路で作動させて行なう。そのため、くり返しせん断力の波形は矩形波である。また、くり返し周期は2秒である。

供試体の寸法は直径7.5cm、厚さ2.0cmの円板状である。

動的強度を求めるための実験では、所定の圧密圧によって圧密された供試体に、あらかじめ求められた静的強度より小さい振幅のくり返しせん断応力を加える。

このときでもせん断ひずみ量は、次第に増加して、ついに破壊点に達する。その時点までくり返しせん断応力を加える。

破壊点に達したことの判定は静的試験時の破壊点と同じせん断ひずみが生じたことによって行なった。

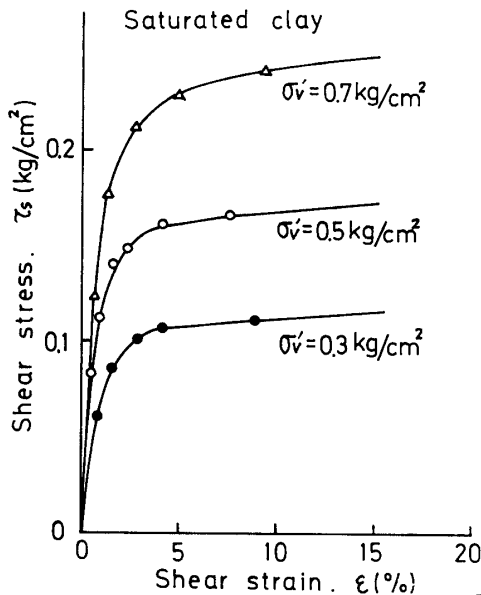


Fig. 3 Stress-strain curve for simple shear test

Fig. 3が静的試験の結果で、各圧密圧の場合とも破壊時のせん断ひずみはひずみが急増する傾向が見える付近ということで、 $\epsilon=0.025$ とし、Fig. 3の結果から

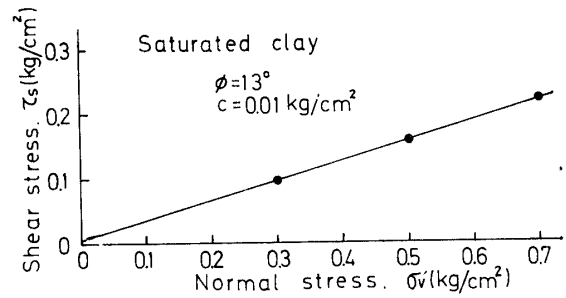


Fig. 4 Mohr diagram for simple shear test at failure

モール・クーロンの破壊線を求めたのがFig. 4である。この線の示す値が静的強度 τ_s となる。

静的試験の方法をFig. 2によって説明すると、エアシリンダーの右側の圧力室を開放し、左側の圧力室に空気圧を入れることによって①の水平移動台に右向きの推力を加えるようにし、空気圧を段階的に増大して行くという方法によって負荷せん断力を段階的に増大していった。その際、一段階の負荷せん断力によるせん断ひずみの漸増が、ほぼやんだ後に次の段階へと負荷せん断力を増加していった。死荷重による静的試験を行なうこともできるので、その方法にもよって見たが上記と全く同じ結果が得られたので、簡単な上記の方法によって行なった。

動的試験ではFig. 2にWと記して示した死荷重を加えて供試体に静的せん断応力 4τ を負荷した状態での試験も行なった。

静的、動的いずれの場合の試験でも供試体は非排水状態で試験され、間げき水圧の測定は行なわなかった。

4. 実験結果および考察

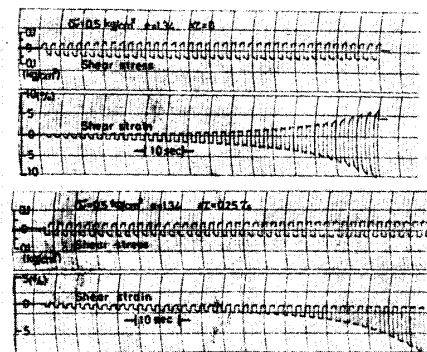


Fig. 5 Records of dynamic simple shear test

Fig. 5は動的試験の場合の記録例を示す。上がくり返しせん断応力のみが、負荷されている場合で下が静的せん断応力が負荷された状態に動的せん断応力を負

荷した場合の記録である。

いずれもくり返し回数がある値に達したときにせん断ひずみが急増し、破壊が生じている。下の静的せん断応力を負荷した場合には、破壊は静的せん断応力の作用方向にひきづられた形で生じていることがわかる。

これらの結果をくり返しせん断応力 τ_d と破壊にいたるまでのくり返し回数 n との関係で整理すると Fig. 6 に示すような結果が得られる。圧密圧がちがっても τ_d と n との関係にはほとんど差異のないことがわかる。

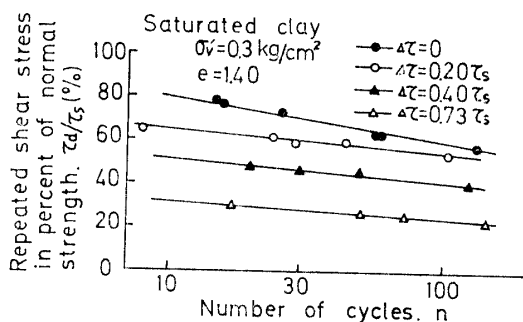


Fig. 6 (a) Relationship between τ_d/τ_s and n

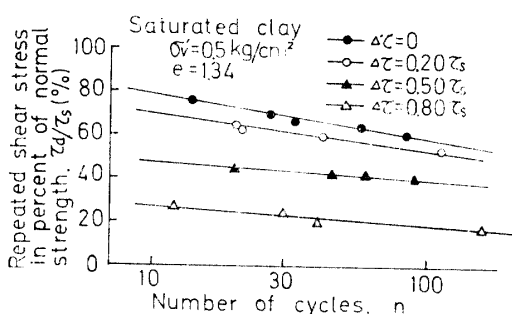


Fig. 6 (b) Relationship between τ_d/τ_s and n

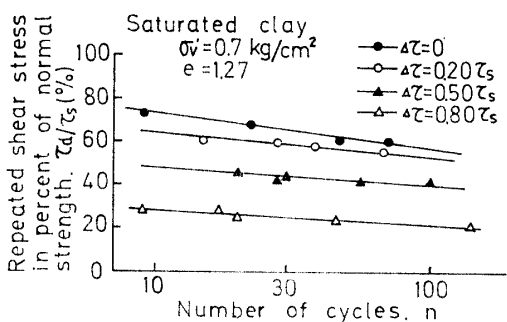


Fig. 6 (c) Relationship between τ_d/τ_s and n

すなわち、 n が大きいほど動的強度が小さくなっていること、 $\Delta\tau$ が大きいほど τ_d が小さくて破壊が生じることがわかる。

しかし、この図では動的強度に対する $\Delta\tau$ および

n の影響が明確にわからないので、これらの実験結果を整理しなおしたのが Fig. 7, Fig. 8 である。

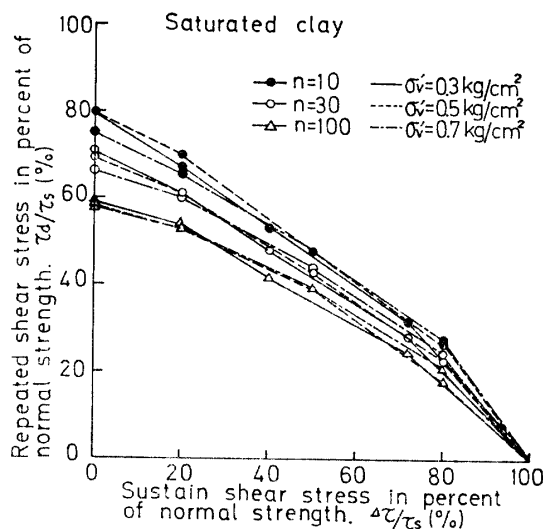


Fig. 7 Relationship between τ_d/τ_s and $\Delta\tau/\tau$

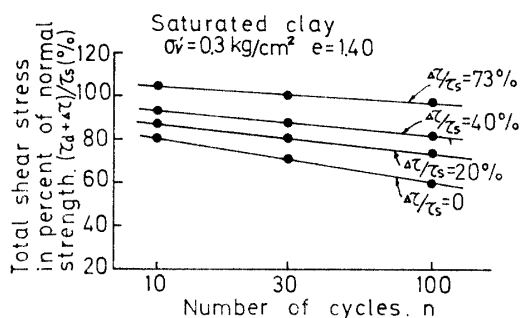


Fig. 8 (a) Relationship between $(\tau_d + \Delta\tau)/\tau_s$ and n

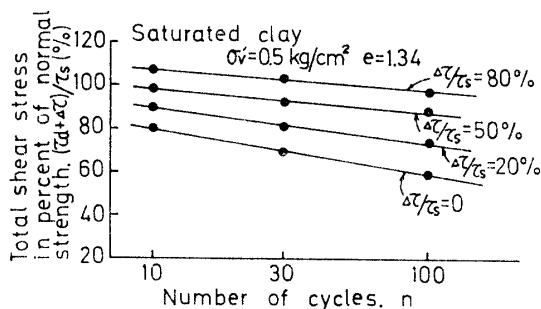


Fig. 8 (b) Relationship between $(\tau_d + \Delta\tau)/\tau_s$ and n

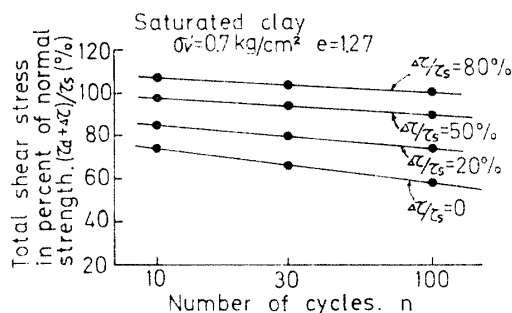


Fig. 8 (c) Relationship between $(\tau_d + \Delta\tau)/\tau_s$ and n

Fig. 7は τ_d/τ_s と $\Delta\tau/\tau_s$ との関係を示したものであり、 $\Delta\tau/\tau_s$ が大きいほど動的強度が小さくなることを示している。このことは常識的なことではあるが、 $\Delta\tau/\tau_s$ による τ_d の減少の様子が問題である。

このような結果はSeedらの実験結果と同じ傾向のものであるが、 $\Delta\tau/\tau_s$ の小さい場合でも τ_d/τ_s が100%をこえるという結果は得られなかった。また、Fig. 8は縦軸に $(\tau_d + \Delta\tau)/\tau_s$ をとることによって、供試体に負荷される破壊時の全せん断応力、すなわち、静的せん断応力とくり返しせん断応力の和 $\tau_d + \Delta\tau$ （これを以後、動的強度という）と静的強度とがどのような関係にあるかを示したものである。

これより、一般に動的強度はくり返し回数が大きいほど小さくなっていることから粘性土の動的強度にはチキソトロピーの影響が大きいと考えられる。

しかし、 $(\tau_d + \Delta\tau)/\tau_s$ の値が $\Delta\tau/\tau_s$ の値の大きい場合の方が大きくなっている点についてはまだその原因が明らかでない。

静的応力の負荷によるひずみ硬化なども考えられる。同様の実験結果を $(\tau_d + \Delta\tau)/\tau_s$ と $\Delta\tau/\tau_s$ との関係であらわしたのがFig. 9である。

この図で原点より引いた点線で示す直線より、上の部分の縦距は τ_d 、下の部分の縦距は $\Delta\tau$ を表わすこととなる。実線で引いた曲線が、実験結果を表わしたものである。破壊までのくり返し回数が多い場合に動的強度が低下していることや、 $\Delta\tau/\tau_s$ の値が大きい場合が動的強度の値が大きいことがわかる。

いま、安全率2.0で設計された基礎工を考えると、Fig. 9の横軸の $\Delta\tau/\tau_s$ の値が50%のところの実験値を見ることとなるので、くり返し回数10回の場合に動的強度は、静的強度にほぼ等しくなり、それ以上のくり返し回数となると動的強度は静的強度を下まわることとなる。

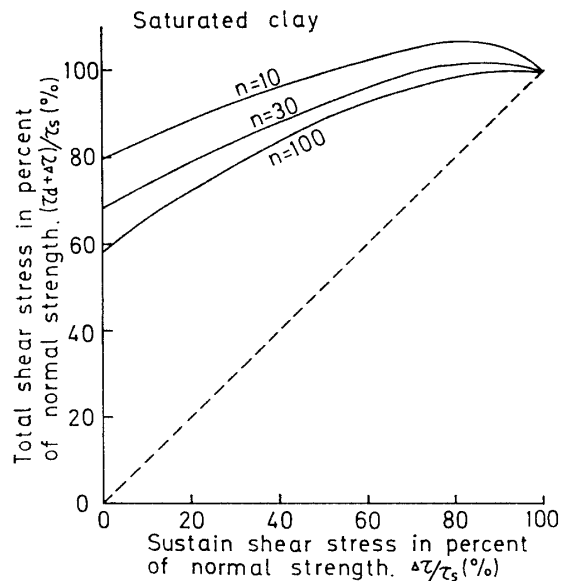


Fig. 9 Relationship between $(\tau_d + \Delta\tau)/\tau_s$ and $\Delta\tau/\tau_s$

5. 結 語

粘性土の動的強度を求めるために再圧密された供試体について、動的単純せん断試験を行なった。

その方法および結果についてのべたのであるが、得られた結果の解釈において明らかにできない点が多く残った。それらの点については、さらに実験を続けて解明していく予定である。

参 考 文 献

- 1) 土木学会：土木技術者のための振動便覧
- 2) Seed, H. B: Soil strength during Earthquakes, Proc. of 2nd W.C.E.E. 1

(昭和49年10月9日受理)