

不攪乱粘性土の動的強度

大原資生*・山本哲朗*・生田裕彦**・小串利勝**

Dynamic Shear Strength of Undisturbed Clay

Sukeo O-HARA, Tetsuro YAMAMOTO, Hirohiko IKUTA
and Toshikatsu OGUSHI

Abstract

It is important for the aseismic design of the foundation and the earth dam to study the change of shear strength of clay subjected to a earthquake motion. In this experiments, the simple shear test apparatus is used and at first, the specimen was subjected to the required cyclic shear strain and after that, the static shear strength of this specimen was obtained.

Fig. 7 shows the typical record and Fig. 8 shows the relation between shear strength ratio $\tau_{d,sf}/\tau_{s,sf}$, number of cycles and amplitude of cyclic shear strain.

From these results, we may conclude that the shear strength $\tau_{d,sf}$ decreases in proportion to the amplitude of shear strain and number of cycles, and becomes smaller than the static shear strength $\tau_{s,sf}$ at the amplitude of shear strain above 6%~10%.

1. 結 言

粘性土の動的強度をいう場合に、地震動をうけた後の土の強度変化をいう場合がある。これは地震動をうけた後の上構造物の安定性を考えなければならない場合に必要となる。

この際に考えられる実験方法としては、はじめに所定のレベルのくり返しせん断応力またはくり返しせん断ひずみを、所定のくり返し回数だけ与え、その後その供試体の静的せん断試験を行うという方法である。

上構造物が地震動をうけた場合、その内部に発生するせん断応力が一定であるか、せん断ひずみが一定であるか考えるかはかなり難しい問題である。

すなわち、せん断ひずみレベルによって土の動的せん断定数や減衰比などが変わることは多くの実験結果で明らかである。いわゆるひずみ依存性である。

このことは土の動的強度についてもいえることで、大きいひずみレベルが与えられる場合はくり返し効果が大きい、いいかえれば、くり返しひずみをうけるこ

とによる土の軟弱化が大きいということである。

この原因としては、土の骨格構造のせん断ひずみによる破壊が考えられる。不攪乱試料の方がその影響を見るのに適当であることから、本実験では佐賀県有明海の干拓地で採取した不攪乱粘土についてくり返しせん断ひずみを与えた場合のせん断強度を測定しせん断ひずみレベルのちがいによる強度低下のちがいを実験的にしらべた。その結果についてのべる。

2. 実験装置

本実験には単純せん断試験機が用いられた。

この装置は Kjellman 型のせん断箱よりなっており、以前からわれわれの実験室で試作、使用しており、前論文¹⁾でも度々紹介しているので、ここでは概略のみをのべる。

せん断箱は Fig. 1 に示した。供試体（直径 7.5 cm, 厚さ 2.0 cm）はゴムスリーブに包まれ、上、下のペDESTALの間におかれ、鉛直圧が加えられた際の横方向の膨れ出しを防ぐために厚さ 2 mm のプラスチックリングを積み重ねた中に収められている。

下部のペDESTALが置かれている水平移動台が水平に動かされることによって供試体にせん断が生じるが

* 土木工学科

** 大学院 土木工学専攻

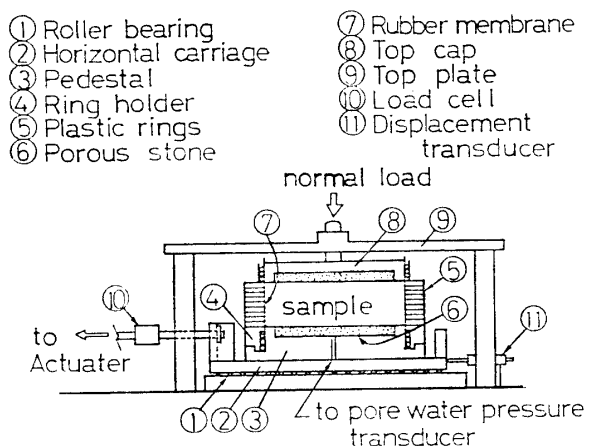


Fig. 1 Mechanism of simple shear test apparatus.

その際のせん断応力，せん断ひずみ，間げき水圧などは図示のように換力計，変位計，間げき水圧計でそれぞれ測定される。水平移動台と底板とのまさつを除くためにはローラーベアリングが用いられているが，まさつを完全に除くことができないので，その量をあらかじめ測定し，負荷せん断力から補正するようにした。

この実験では，最初に所定のくり返しせん断ひずみを供試体に作用するようにしたが，それには Fig. 2 に示すレバー装置を用いて，レバーの先端にある球座で水平移動台に連結された水平ロッドの端を押し引きすることにより行った。

レバーの先端の球座に与える変位はレバー下端につけたローラーと固定板との間に振幅の異なった塩化ビニール製の波形板 (Fig. 3 (a)) を出入させることによって，所定のせん断ひずみをもつくり返し水平変位を，また，三角形板 (Fig. 3 (b)) を押し込むことによって静的水平変位を与えた。

その他，鉛直圧力は分銅による直接载荷により加えた。

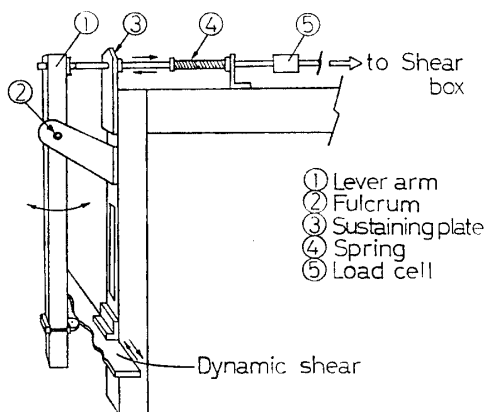


Fig. 2 Mechanism of displacement transmitting system.

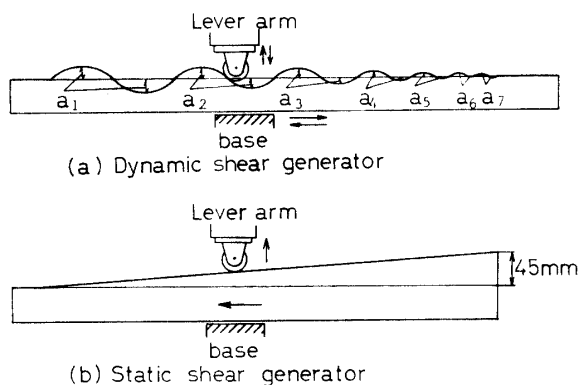


Fig. 3 Shear strain generator.

3. 試料

前述のように，試料は有明海沿岸の干拓地で採取された不攪乱粘性土である。

実験では3本のシンウォールチューブに入ったものを用いたが，採取深さ，地点のちがいで粒度分布や物理常数などが若干異なる。

粒度分布曲線を Fig. 4 に，物理諸常数を Table 1 に示した。

静的強度を求める静的試験には，主として No. 1 の試料を，動的試験には No. 2 の試料を用いた。二つの試料は全く同一とはいえないが，Fig. 4 からわかるよ

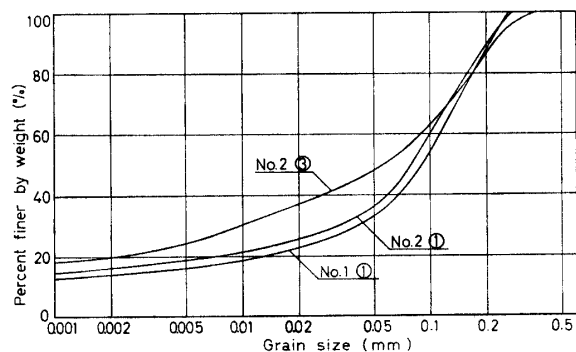


Fig. 4 Grain size distribution curves.

Table 1 Physical properties.

Sample	No. 1 ①	No. 2 ①	No. 2 ③
Liquid limit (%)		54.6	55.4
Plastic limit (%)		34.5	29.5
Specific gravity	2.677	2.663	2.679
Water content (%)	64.7	66.2	61.4
Density (g/cm ³)	1.553	1.591	1.589
Degree of saturation (%)	94.2	98.9	95.5

うに粒度分布の上からは大きなちがいはないと見られる。

4. 実験方法および結果

静的強度を求める実験は、前述のように Fig. 3 に示す三角形板をレバー下端のローラーと固定板との間に一定速度で押込むことによって、供試体に 1.0 mm/min (せん断ひずみ速度で約 5%/min) のせん断変位速度を与えた。

静的せん断試験結果を Fig. 5 に示す。せん断ひずみ γ_s が 15% に達するまでは静的せん断応力はほぼ一定値となっているので、 $\gamma_s = 15\%$ の時のせん断応力をもって静的強度 τ_{sf} とした。

Fig. 5 の結果から、クーロンの破壊線を全応力表示(点線)、および有効応力表示(実線)したものを、Fig. 6 に示した。

Fig. 6 の全応力表示の実験値が鉛直圧 σ_v が 1.5 kg/cm²

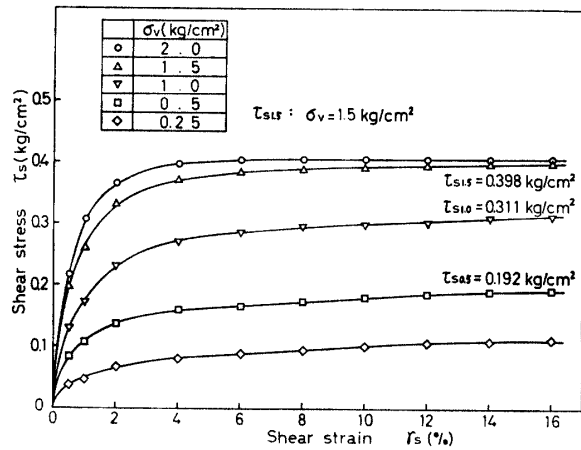


Fig. 5 Stress-strain curves for simple shear tests.

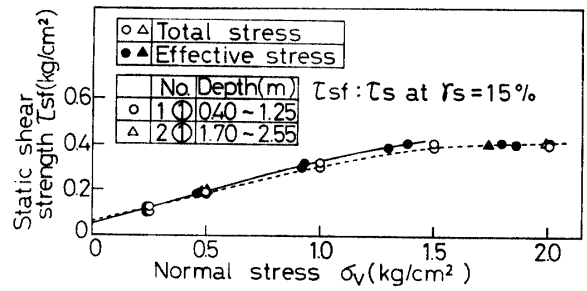


Fig. 6 Mohr-Coulomb diagram at failure for simple shear tests.

cm² 以上で破壊線の傾斜が水平に近づく傾向が見られるが、この原因は供試体が不完全飽和粘土であることが考えられる。

次に動的強度の測定であるが、この実験では、最初に所定のくり返しせん断ひずみを周期 2 秒で、所定の回数 (10, 30, 50, 100回) だけ与えた。

その後、静的試験と同じ方法で供試体を破壊に至らした。

最初に所定のくり返しせん断ひずみを与えるには、前述のように Fig. 3 の波形板を用いた。

動的試験の記録を Fig. 7 に示した。

前半が所定のくり返しせん断ひずみが加えられた場合で、ひずみ振幅は一定となっているが、それに対応して供試体に生じるせん断応力は、漸次減少している。

また、この間にかかなりの量の間げき水圧の上昇が見られる。後半は、この供試体で静的せん断を行った各測定量の変化が示されてあるが、興味深いことは、くり返しせん断ひずみの作用によって発生した間げき水圧が、静的せん断では減少することである。

この場合も後半の静的試験でのせん断ひずみが 15%

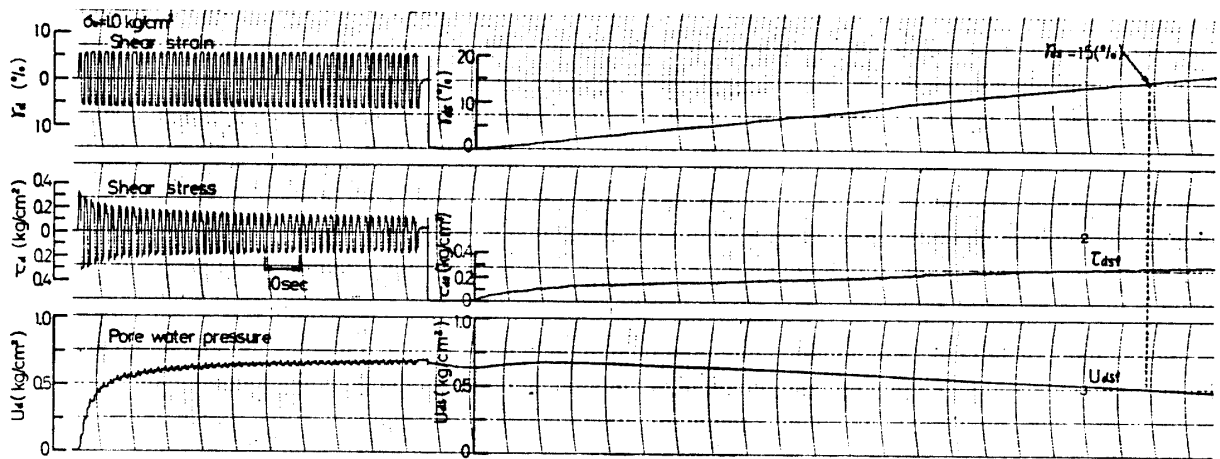


Fig. 7 Typical record of dynamic simple shear test.

に達したときのせん断応力をもってせん断強度 τ_{assf} とした。

このように、くり返しせん断ひずみ振幅を6%、9%、12%として、くり返し回数10、30、50、100回のくり返しせん断ひずみを加えた後に供試体の強度がどの程度低下するかということを求めた。

一般的には粘性土の場合は、くり返しひずみが大きいほど、またくり返し回数が多いほど強度の低下が大きいことが考えられる。ただ、われわれとしては、このようくり返し現象によって土の強度が静的強度以下となるひずみ振幅とくり返し回数を知ることが必要であろう。その点に注目して実験結果を整理したのが Fig. 8 である。用いた試料は、不攪乱ではあるが、そのためある程度の不均一さが供試体間に残ることが原因で実験値に多少のバラツキがあるが、一応、Fig. 8 に示す直線関係が得られる。

これより、土の強度の低下は、6~10%以上のくり返しせん断ひずみが与えられた土に生じることが示される。

図のような結果を横軸にくり返し回数をとって示したのが Fig. 9 である。

次に、Fig. 7 の記録からわかるように、同一のせん

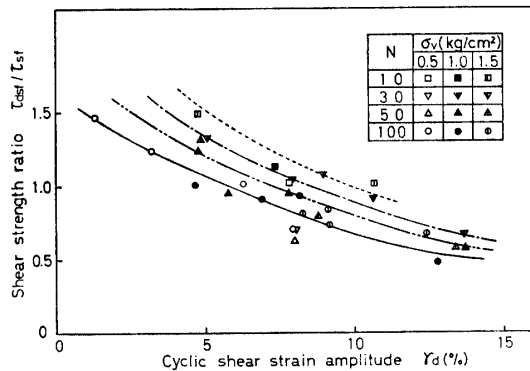


Fig. 8 Relationship between τ_{assf}/τ_{sf} and γ_d .

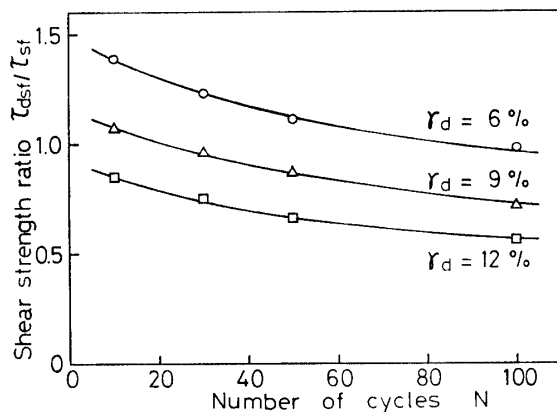


Fig. 9 Relationship between τ_{assf}/τ_{sf} and N.

断ひずみを作用しているときに生じるせん断応力は初めに大きく次第に小さくなる。

その状況を示したのが Fig. 10 である。所要のせん断ひずみが加えられてから1パルス目に生じたせん断応力、3パルス目に生じたせん断応力といった形で実測値を記録し、それらの平均的な値を実線で示している。

回数の増加にともなってせん断抵抗が減少しているが、8~10%のせん断ひずみが作用したときのせん断抵抗の減少が最大で、とくに、くり返し回数が1回から3回までの間の減少が大きくなっていることは考慮すべきことであろう。

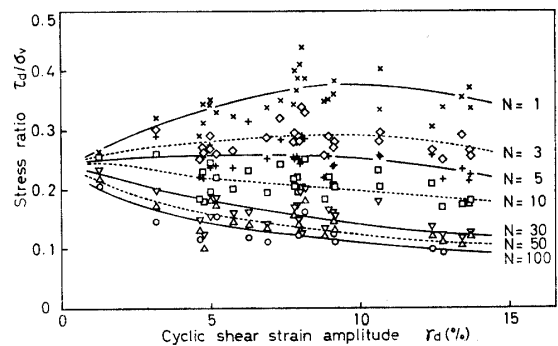


Fig. 10 Relationship between τ_d/σ_v and γ_d .

5. 結 論

以上、粘性土が地震動をうけたために、その強度が減少するという問題を明らかにすることを目的として、はじめに所定のくり返しせん断ひずみのあるくり返し回数だけ与え、その後、その供試体の静的試験を行うという方法によって実験を行った。

その結果、本実験に使用した有明粘性土においては6~10%のくり返しせん断ひずみが与えられた後に、その強度は静的強度を下まわることになることがわかった。

以上の事実の他に間げき水圧の挙動についても興味深い結果が得られている。

間げき水圧の発生が前述の強度低下の原因の一つとなることは現在までの実験結果から明らかであるが、これに対する考察は現在行っている。

参 考 文 献

1) 大原資生, 松田 博: 飽和粘土の動的強度について, 土木学会論文報告集, No. 274, 69-78 (1978)

(昭和55年4月15日 受理)