

東京大学 正員 福田正巳
 学生員 徳江俊秀
 銭高組 正員 大場智公

1. はじめに.

これまで、振動や繰返し載降荷による砂の体積変化に関する研究は、様々な工れてきた。これらを大まかに整理すると、表1のようになる。これらの研究は、それぞれ目的からな工れているが、今、地震という点から考えた時、いずれも、条件の一部を反映したものにすぎない。即ち、地震を想定する場合、せん断歪と加速度とを、共に加えてみる必要がある、と考えられるからである。この目的から、ここでは、単純せん断装置を作成し、これに、加速度も加えられるようにして、体積変化に及ぼす、せん断歪、加速度両方の影響を調べた。そして、地震時における沈下安定性を論ずる場合には、静的単純せん断試験に帰すること及び、可能な存在かについて、併せて検討することにした。

2. 実験概要、装置及び試料.

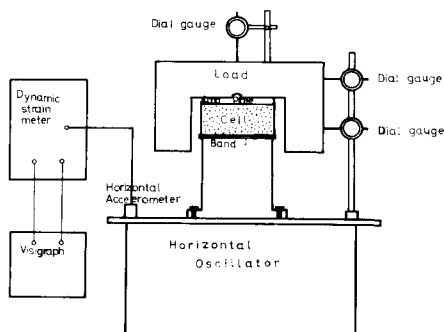
概要は、Fig.1に示してある。上載圧一定の下に、一定水平加速度を加え、加振時間と共に、沈下量、せん断歪を記録し、これを、上載圧と加速度とを変えて、くり返し行つた。用いた加速度は、0.5g以下、振動数は、5~20 cps. であった。上載圧は、0.25, 0.5, 1.0, 2.0 Kg/cm² の4種で行つた。又、静的単純せん断実験は、細いワイヤーに、プルベングリングを付けて引張り、剪断力を測定する方法を用いた。全て、乾燥状態で実験し、供試体の寸法は、 $\phi=150\text{mm}$, 高さ50mm であった。単純せん断試験機は、円筒形の鉄製台座を作り

、それに、ゴム製のモールドを取り付け、更に、載荷板を通して、鉄製の重りと載せるようになってゐる。モールドは、せん断歪と許すように、薄いゴム製であり、側方膨張を防ぐ為、針金を巻いてある。試料の上下端にあたる所の、載荷板、台には、試料砂を貼りつけてある。荷重は、その重心が試料上端にくるように、中心部と凹形に、へこませてある。試料は、相馬標準砂で、平均粒径840 μ 、その均等係数は、ほぼ1に近い、等粒径状のもので、粒子形状は、かなり、球形に近いものであった。

(表 1)

加速度	実験条件	研究者
縦方向	剛性モールド 載荷	最上, Whitman et al
横方向	剛性モールド 載荷	Verkaay, Lynch et al
X(静的)	くり返し単純せん断 載荷, 歪, 応力制御	Seed, ハル et al
X(静的)	くり返し三軸, 応力制御	土岐, 龍岡 et al

Fig.1 OUTLINE OF APPARATUS



3, 実験結果及び考察

3-1. Fig. 2 は、横軸に加振時間の対数を、縦軸に間隙比変化をとったものである。ただし、記録開始が、加振後10秒であったから、0~10秒間の直線は、便宜的に結んだものである。これによると、上載圧Pの相違にかかわらず、加速度が同じであれば、ほぼ同一直線或曲線に沿って、間隙比が変化することが認められる。なお、これらの初期間隙比は、ほぼ同じ値で、ゆる結状態であった。この上載圧によらず、加速度による理由としては、次のことだ、

$\alpha = \frac{\tau}{P} g$ となっている。(Fig. 3 参照)
(ただし、 τ は、供試体内の水平面上に作用する、加速度 α に起因する所の剪断応力)。何故なら、今、重りの質量をM、供試体の水平断面積をSとすると、

$$P = \frac{1}{S} M g$$

又、供試体上の重りに作用する加速度も、振動台のそれにほぼ等しいと

仮定すると、重りに作用する慣性力Qは、

$$Q = M \alpha$$

$$\therefore \tau = Q/S = \frac{1}{S} M \alpha$$

$$\therefore \tau/P = \alpha/g$$

以上から、 α が等しいことは、応力比 τ/P が等しいことと同値である。龍岡^②の報告によれば、Fig. 4 に示すように、くり返し三軸試験を行なった場合、1 回目の除荷時から、最初とは異った剪断歪が、 τ/P に対応してくることが言われている。又、Seed^①等によると、歪制御による単純せん断のくり返し実験では、剪断歪が等しければ、体積歪（この場合、側方膨張が許されていないので、間隙比変化に比例）も等しくなることが指摘されている。以上の二点から、上載圧によらず、加速度($=\tau/P$)に、間隙比変化が、依存すると考えられる。

3-2. 同じ Fig. 2 から、次の様子が、大きく二つに分かれているのが、認められる。即ち、時間の対数と間隙比変化が、ほぼ直線的な関係にあるものと、加振直後に間隙比変化が急激に生じ、その後、折線になるものがある。この二つの境界は、この実験では、 $\alpha (= \tau/P) = 0.32 g$ 付近であった。実験は、振動数が一定であるから、加振時間とくり返し回数とは比例することになる。Seed 等によっても示された、くり返し単純せん断実験からも、Fig. 5 に示すように、せん断歪が小さい場合、同様の直線性が認められ、せん断歪が大きくなると、これが成立しないことが認められた。更に、Fig. 2 から、 $\alpha \geq 0.32 g$ では、加振直後、数秒間で大部分の沈下が生じてしまうことが認められ、その後は、再び、 $\alpha - \log T$ の直線性が認められる。これは、大沈下後、粒子同士の接触し合う為と考えられる。この時、せん断歪も、沈下が大きいつ

Fig. 2 $\alpha - \log T$

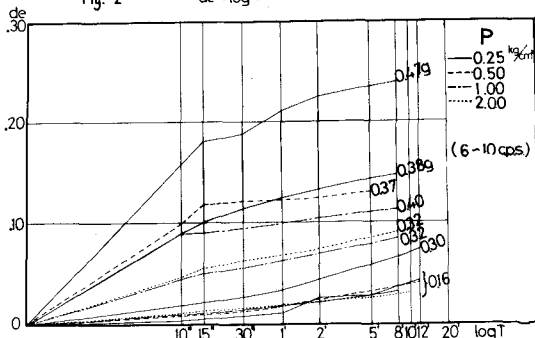


Fig. 3

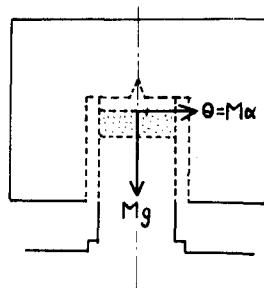
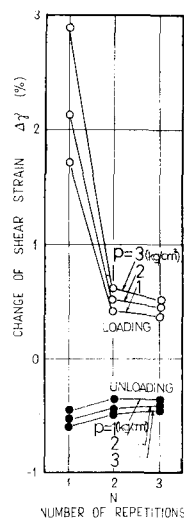


Fig. 4



は、大きく、沈下が、おこってくるにつれて、
歪も小さくなることが、認められた。

3-3. この境界加速度値 $\alpha=0.32g$ の物理的意
味を、明らかにする為に、静的単純せん断実験
を行い、歪増分 $\Delta\gamma$ と、 γ/p の関係を調べたところ、
Fig.6になり、 $\gamma/p=0.32$ 付近で、急激に、せん
断歪が増加していることが、認められた。

ただし、せん断歪の大きさは、振動の場合、0.5%
付近であり、静的せん断試験の場合、2.5%付近
で、大きく異なっていた。これは、一方的に増加して
いく場合と、両振りくり返しの場合との差であろう
と考えられる。この境界点を変相点と名付ける。
この変相点の物理的意味を、更に、明確にする為
に、 $\sigma_3 = \text{const}$ の三軸圧縮試験を行ったのが、Fig.7
である。この時、 $p = \frac{1}{3}(\sigma_1 + 2\sigma_3)$ 、 $\tau = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3)$
としてある。せん断歪が、急激に増加する付近は、
体積変化が、収縮から膨張に変わる付近であること
がわかる。ただし、この場合、せん断歪は、0.5%
付近で曲り、振動の場合とほぼ対応しているが、

γ/p は、0.6付近で、ほぼ2倍に
なっている。これは、単純せん
断の場合、せん断方向に平
行な平面上の値であって、
つまり γ/p の最大値でない為と
考えられる。以上のことから、
変相点より大きいせん
断歪を加えられると、砂の
構造が大きく乱れていく、
不安定状態になり、その為
に、急激な沈下が生じても
のと考えられる。

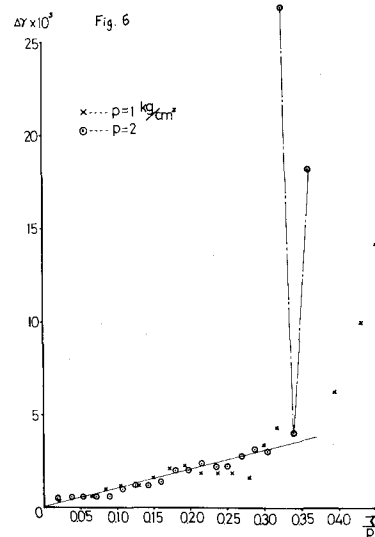


Fig.5

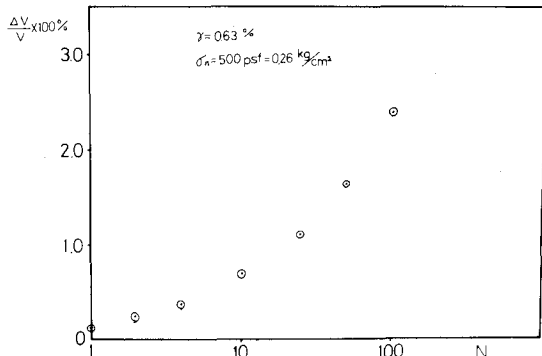
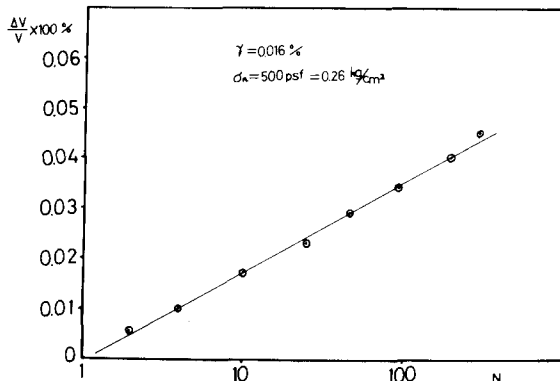
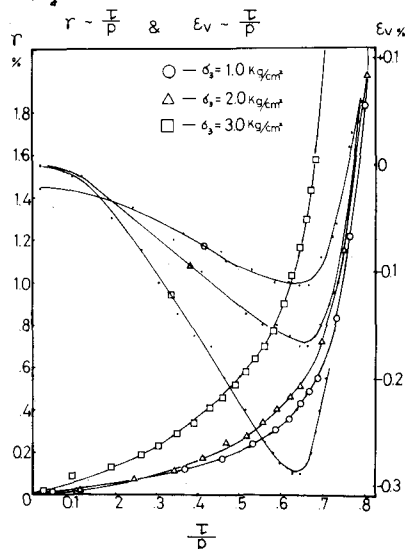


Fig.7

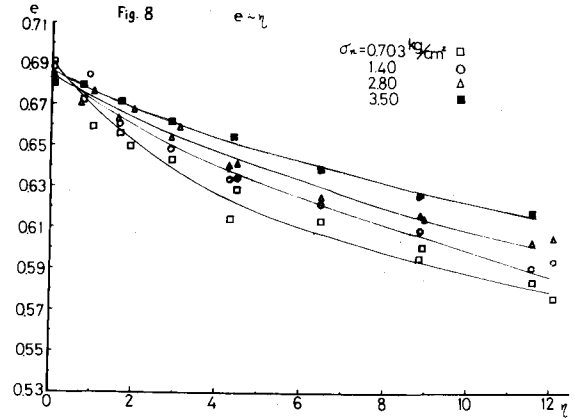


3-4. Fig.8は、Yand^③によって行われた、剛性モールドによる、水平振動実験の結果である。
せん断歪を許す場合と、許さない場合とでは、沈下の仕方が、全く異なることが、わかる。即ち、今回
の実験では、 $\alpha=0.5g$ 程度で、最大間隔比変化は、0.25にも達したから、Fig.8からもわかるように、歪を
許さない時は、加速度が0.5g付近では、ほとんど沈下しない。

3-5 3-2で述べたように、変相点以下の場合、間隙比変化と加振時間は、ほぼ直線的であった。この直線の傾きと、加速度の関係を調べてみると、Fig. 9のように、両対数上で、ほぼ直線的になった。これから、実験式は、次のようになった。

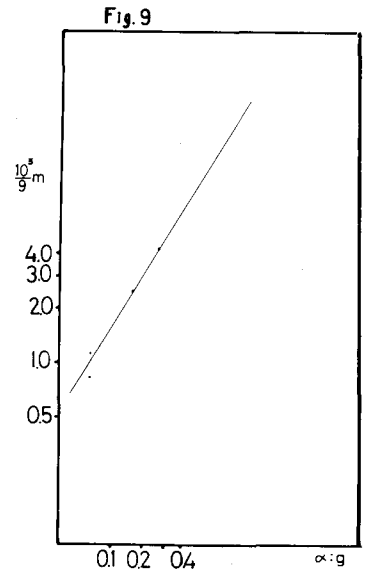
$$\Delta e = m \log T, \quad [T] = \text{min.}$$

$$m = \frac{1}{4.8} \alpha^{\frac{1}{5}} \quad [\alpha] = g$$



4. おわりに.

加速度の試料に与える影響としては、一般に、せん断力を与える、外力としての機能と、マサツ角の減少等の砂の物理定数を変化させる、動的性質特有の機能とがあるように考えられる。今回の実験では、単純せん断振動による間隙比変化が、上載圧に直接影響を与えるが、 σ_p という応力比で整理すると、静的なくり返しによる実験と同じように、統一的にとらえられること、更に、変相点の応力比が、静的実験のそれとほぼ等しいこと、等の点から、この実験で用いた程度の加速度の場合、加速度は、主に外力として作用し、従って、静的単純せん断試験に帰して良いように思える。今後、更に、この点を明確にするために、くり返し実験を行い、振動の場合と比較していく予定である。



§謝辞.

この研究を、予備実験、装置造りの段階から、一緒に手伝ってくれた、卒論の金川君、様々な助言を与えて下さった石原助教様、振動台その他測定器具を借して頂き、一ろろ御世話になつた、建設省土木研究所振動研究室の方々、心から感謝の意を表します。

§参考文献

- ① M. L. Silver & H. B. Seed. "Volume Changes in Sands during Cyclic Loading" 1971. A.S.C.E.
- ② 龍岡文夫. 「三軸圧縮における砂の応力-歪特性」 1971. 第6回土木工学工学研究発表会講演集
- ③ T. L. Youd. "Densification and Shear of Sand during Vibration" 1970. A.S.C.E.