

東京大学 正員 福岡正巳
 〃 学生員 〇徳江俊秀
 銭高組 正員 高橋正廣

1. はじめに

これまで既に報告したように、繰り返しせん断による砂の体積変化現象では、変相点応力比($\frac{\sigma}{P}$)が、重要な役割を果たす事が明らかになった^{①②③}。今回は、せん断方向の変化、上載圧Pの影響、及び($\frac{\sigma}{P}$)に関する二、三の実験結果を報告する。

2. 実験概要、装置、及び試料

実験概要、装置は、前回^②と同じであり、省略する。又、試料も、同じ相馬砂(石英砂)で、平均粒径 840μ の、等径状であった。

3. 実験結果及び考察

3-1 Fig.1は、体積変化に及ぼす、せん断方向の変化の影響を調べたものである。即ち、 $N=30$ 回の繰り返し後、せん断方向を 90° 回転させた時と、回転せずにそのまま続けた時とを、 $e-N$ 関係で比較したものである。この結果、回転の影響が、ほとんど無いことがわかる。 $N=12$, $\frac{\sigma}{P}=0.310$ で回転させても、同様の結果を得た。この結果は、せん断によって、試料中の空隙が、大きい方から壊れていくことを示唆していると思われる。即ち、初期の繰り返しで、試料内の大きい空隙が壊れると、新につぶされる空隙は、既により小さくなっているわけで、次にせん断方向を回転させて、この系に対応する接点が、多少多く新にいじられても、ことさら、大変化を示さないと考えられる。

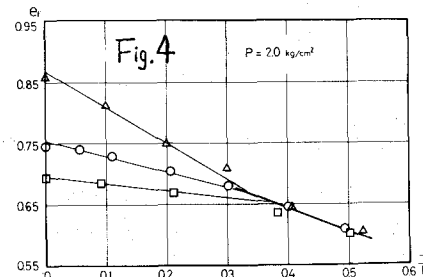
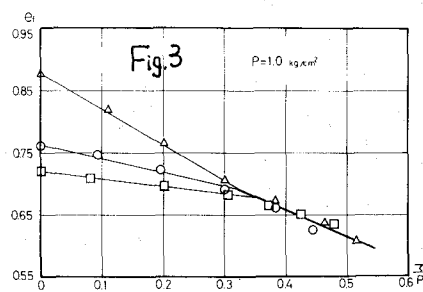
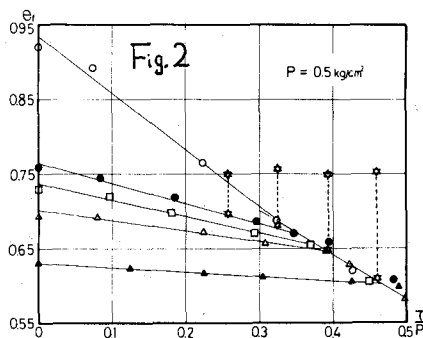
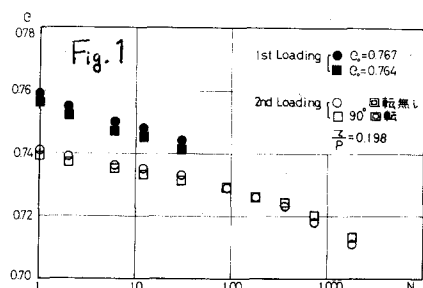
3-2 Fig.2,3,4は、前回^②にも示したように、ある一定応力比 $\frac{\sigma}{P}$ で、 $N=1800$ 回の繰り返しせん断を行い、ほぼ究極の状態に近ずいた、最終空隙比 e_u と、その時の $\frac{\sigma}{P}$ との関係について、Pの影響を調べたものである。これらから、 e_u は、Pにほとんど影響を受けずに、 $\frac{\sigma}{P}$ で、ほぼ統一的に表現されることが判る。

3-3 Fig.5は、応力比増分 $\Delta\frac{\sigma}{P}$ を一定にした単純せん断を行い、 $\frac{\sigma}{P}$ に対応するせん断歪増分 $\Delta\epsilon$ と、 $\frac{\sigma}{P}$ との関

P_{max}	0.5	1.0	2.0
$\Delta\frac{\sigma}{P}$	0.0284	0.0215	0.0218

係を示したものである。これから、($\frac{\sigma}{P}$)は、初期空隙比 e_0 が等しければ、Pが小さい程より大きくなるが、ほぼ一致していることがわかる。更に、同じ $\frac{\sigma}{P}$ であっても、 $\Delta\epsilon$ は、Pが大なる程大きいことがわかる。

Fig.6は、同じ実験で、($\frac{\sigma}{P}$)に及ぼす e_0 の影響を、調べたものである。これによると、($\frac{\sigma}{P}$)は、 e_0 が小さい程大きくなる事がわかる。Fig.2で、それまで e_0 の影響を受けて、傾きの異った直線群を作っていたのが、 $\frac{\sigma}{P}$ が大きくなってくると、共通の直線に、



出会うが、この出会う点が、 e_0 に依存して、Fig. 6の $(\frac{\tau}{p})_H$ と、ほぼ良く一致していることが認められる。この対応は、 $P=1.0 \text{ kg/cm}^2$ 、 $e_0=0.754, 0.696, 0.644$ の場合も、認められている。Fig. 7は、Fig. 6の実験における体積歪 v と $\frac{\tau}{p}$ との関係を示している。これより、 e_0 が大きい時、 $(\frac{\tau}{p})_H$ は、 v の停留に達してゐる一方、 e_0 が小さい方は、 $(\frac{\tau}{p})_H$ が、 v の停留状態に達していることがわかる。

4. せん断モデルによる実験結果の解釈

4-1. "記憶喪失線"の力学的意味

Fig. 2で、 $(\frac{\tau}{p})_H$ 後、 $e_0 - \frac{\tau}{p}$ は、共通直線をなし、それまでの、 e_0 の影響を消失させている。繰り返しせん断による砂の体積変化が、粒子破砕を無視すれば、砂の構造変化のみに、帰せられると思われるから、従って、この線上では砂は、全て共通の構造変化を受けていると考えられる。筆者等は、既に、この共通の構造変化を、全接点が乱される様相変化として、せん断モデルを用いて、明らかにした。又、その時、乱される接点角 θ は、 P によらず、 $\frac{\tau}{p}$ によって支配されるとしており、3-2の実験事実と一致する。

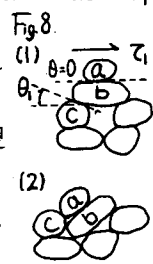
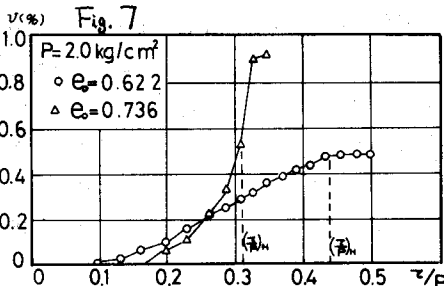
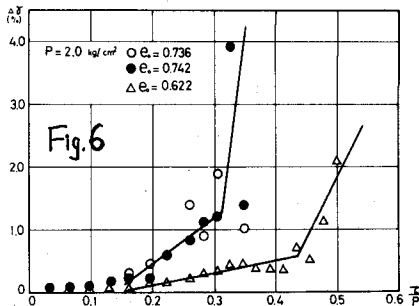
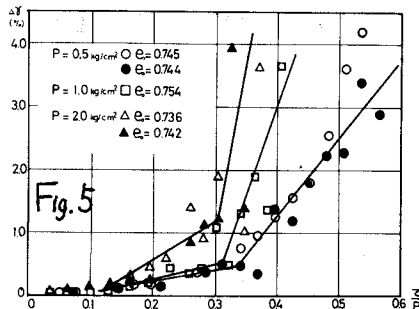
4-2. $\frac{dv}{d\frac{\tau}{p}}=0$ なる応力比 $(\frac{\tau}{p})_{H=0}$ と $(\frac{\tau}{p})_H$ との関係

前回のせん断モデルによれば、 $(\frac{\tau}{p})_{H=0} = \mu$ (物理摩擦係数) であり、 $(\frac{\tau}{p})_{H=0}$ は、 e_0 によらない。これは、龍岡等にも実証されている。一方、 $(\frac{\tau}{p})_H$ は、3-3の様に、 e_0 に依存している。両者の関係を、我々は、次の様に考えた。前述の通り、Fig. 2の共通直線上では全接点か、同じように動くと考えられるが、全接点と動く方とは、必ずしも $(\frac{\tau}{p})_{H=0}$ まで、応力か加える必要はない。即ち、Fig. 8(1)の様な、ルーズな構造では、 τ によって動く接点角は θ で、粒子a, c間だが、本来 τ によって直接には近らない $\theta=0$ なる接点(a, b間)も、b, c間で止った結果、Fig. 8(2)の様に乱されると考える。この様な現象は、当然、 e_0 が大きい程多発すると考えられるから、 $(\frac{\tau}{p})_H$ が e_0 に依存すると考えられる。実際、Fig. 6で、 $(\frac{\tau}{p})_H$ 以後、 $\frac{dv}{d\frac{\tau}{p}}$ が急増し、構造が大きく乱れる事が示されており、上述の現象発生の根拠を示していると思われる。又、以上の考察と、 $(\frac{\tau}{p})_{H=0}$ では、如何なる e_0 でも、全接点が動くこと^③とを考えると、 e_0 が、小さくなるにつれて、上述の現象が生じにくく、 $(\frac{\tau}{p})_H$ が $(\frac{\tau}{p})_{H=0}$ に近づく、即ち、 $\max(\frac{\tau}{p})_H = (\frac{\tau}{p})_{H=0} = \mu$ 、----(1)であることが、予想されるが、実際に、実証される。

表1は、Fig. 6の $(\frac{\tau}{p})_H$ に対応する θ を示したものである。Roweによると、粒径 0.8 mm 位の石英砂では、 $\theta_m = 23^\circ$ 付近であることを示しているが、表1で示す様に、 $e_0=0.622$ の θ が、ほぼ対応しており、(1)の關係の妥当性を示している。又、Fig. 7の v に注目すると、 $e_0=0.622$ の方は、 $(\frac{\tau}{p})_H$ で、停留状態を示し、 $(\frac{\tau}{p})_H = (\frac{\tau}{p})_{H=0}$ であるが、 $e_0=0.74$ では、 $(\frac{\tau}{p})_H$ で、 $dv \neq 0$ であり、 $(\frac{\tau}{p})_H < (\frac{\tau}{p})_{H=0}$ が、認められる。なお、 $e_0=0.622$ は、構で突き固めた、 e_{min} に近い値であった。

5 参考文献

- ① 福岡、徳江、大場「単純せん断振動による砂の体積変化特性について(その1)」1972、第27回土学会講演集 P173~176.
- ② " " " " " (その2) 1973、第8回土質学会 " P307~310.
- ③ 福岡、徳江「粒状体のせん断機構に関する二次元モデルとその応用」1973. " P235~238.
- ④ 龍岡「三軸せん断装置による砂の変形特性に関する基礎的研究」博士論文
- ⑤ P. W. Rowe "The stress-dilatancy relation for static equilibrium of an assembly of particles in contact" Proc. Royal Soc., London Series A, Vol. 269, 1962.



(表1)		
e_0	$(\frac{\tau}{p})_H$	θ
0.74	0.31	17°
0.62	0.45	24°