

土の動的せん断試験について（第1報）

奥村 哲夫・西堀 高弘・大根 義男

The Dynamical Shearing Tests of Soils (1st. Report)

Tetuo OKUMURA, Takahiro NISHIBORI, Yoshio OHNE

近時、土質構造物の動的設計がやかましく論議されるようになった。動的設計法を確立させるためには、まず土の動的強度特性を明らかにしなければならない。我々の研究室においては昨年からのこの種の研究を進めているが、本稿においては試験装置の特徴を紹介し、一部予備実験の結果を報告するものである。

1 はじめに

土構造物の長期安定性を検討する場合、土の動的せん断特性を明らかにしなければならない。特に我国は世界でも地震多発国として有名であるが、これらの特性が明らかでないため、多くの災害（例えば最近では新潟、長野、青森、北海道、etc）をこうむっており、土木界においてはこの種の研究が急務とされ、各大学、研究機関において活発に研究が行なわれている。

我々の研究室においてもこの種の研究を行なうため昭和44年文部省私立大学理科等教育設備補助金を受け、試験機械を製作し昨年より本格的な研究に入った。

本試験装置は直接並びに三軸圧縮装置を兼備するもので、三軸装置は軸方向と側方向の振動を個々にあるいは同時に与えることができ、土の動的せん断試験機として一般に知られているものと大差ない。

しかし、直接せん断装置は一般に使用されている、

Seed, H. B. 他によって開発された装置とはせん断機構を異にしている。従って、ここではまず本試験機の特徴である一面せん断箱、並びに載荷装置について機構的な説明を行ない、次に予備実験の結果とその適応性について報告するものである。

2 実験装置

a. 一面せん断箱

せん断箱の外観及び詳細は、写真2, 3, 及び図1に示すとおりである。この図からわかるように下せん断箱及び加圧板にOリングを挿入し、供試体を完全密閉し得るもので、この点が従来の直接せん断試験機には見られない本試験機の特徴である。これは、飽和土、特に飽和砂質地盤の地震時の力学的特性を問題とする場合、一般的に地盤中の間ゲキ水は非排水状態と考えられるからである。

b. 載荷装置

載荷装置の概要は、図2に示すとおりである。この一連の機構は、まず超低周波発振器により任意の波（正弦波、三角波、矩形波）をサーボ増幅器によって増幅しサーボ弁に入れる。サーボ弁は、油圧ポンプにより発生した油圧を電氣量に比例してシリンダーに伝達し、シリンダー内の圧力は、ピストンを介して供試体に加わる。この時の供試体与えた荷重及び変位量は、それぞれ荷重計、変位計で測定し、これらをビジグラフに同時記録する。間ゲキ水圧は、間ゲキ水圧計により測定し、ビ

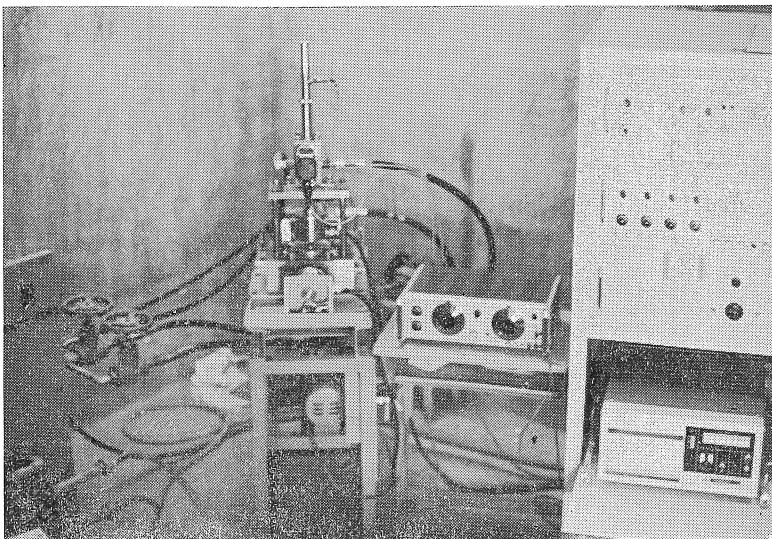


写真1 実験装置全景

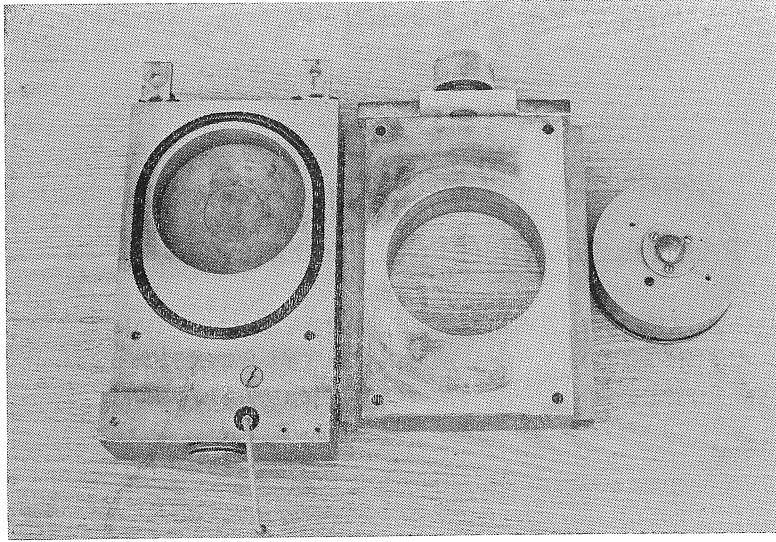


写真2 一面セン断箱

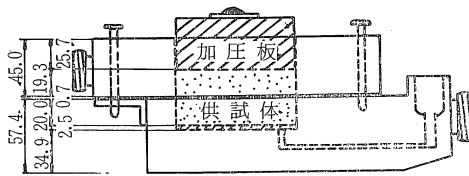
ジグラフに同時記録する。以下各計器及び装置の性能について説明する。

- i) 油圧装置は(写真4), 油槽内の油に対し圧力を加え, セン断装置の水平(写真5), 垂直方向のピストンを作動させる。最大圧力は約 $70\text{km}/\text{cm}^2$ である。
- ii) セン断装置の垂直方向ピストンは, 発振器によ

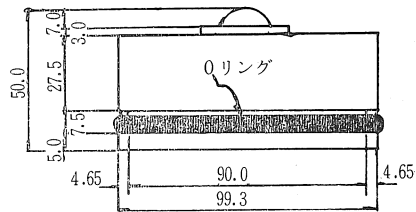
り発振させた波形を, ひずみ又は応力制御方式で供試体に対し垂直に振動載荷できる。水平方向ピストンも垂直方向ピストンと同様な制御方式で供試体に振動セン断荷重を与えることが出来る。

- iii) 荷重計は, 垂直荷重 500Kg ($6.4\text{Kg}/\text{cm}^2$), セン断荷重 800Kg ($10.2\text{Kg}/\text{cm}^2$), まで測定出来る。
- iv) 変位計は, 垂直変位 10mm , セン断変位 50mm まで測定出来る。
- v) 間ゲキ水圧計は, 最大 $10\text{Kg}/\text{cm}^2$ 測定出来る。

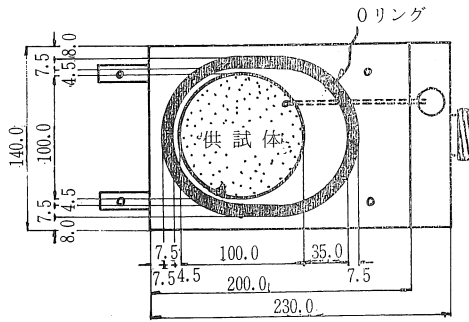
- vi) 超低周波発振器は, 正弦波と正弦波, 正弦波と三角波, 正弦波と矩形波の組合わせで任意に設定し, 位相差, $0\sim 360$ 度の範囲でピストンを作動出来る。周波数は $0.001\sim 1000$ °/sの範囲であるが, 油圧及びサーボ弁の影響があつて最大 20 °/sである。



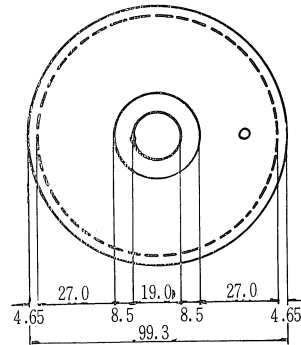
上下セン断箱(正面図)



加压板(正面図)



下セン断箱(平面図)



加压板(平面図)

図1 セン断箱(単位mm)

c. その他

水平方向ピストンを新しく購入した三軸装置に取り付ければ、他は一面せん断の計器をそのまま使用して振動三軸試験も可能である。また動的一面せん断試験機、動的三軸試験機は共に、ひずみまたは応力制御方式で静的試験もできる。

3 ○リングの摩擦測定

a. セン断箱の摩擦抵抗値

砂の場合そのせん断抵抗は、粒子間の摩擦抵抗とダイレイタンスー現象に起因する粒子のかみ合わせ抵抗の二要素からなる。本試験機の場合、上せん断箱と

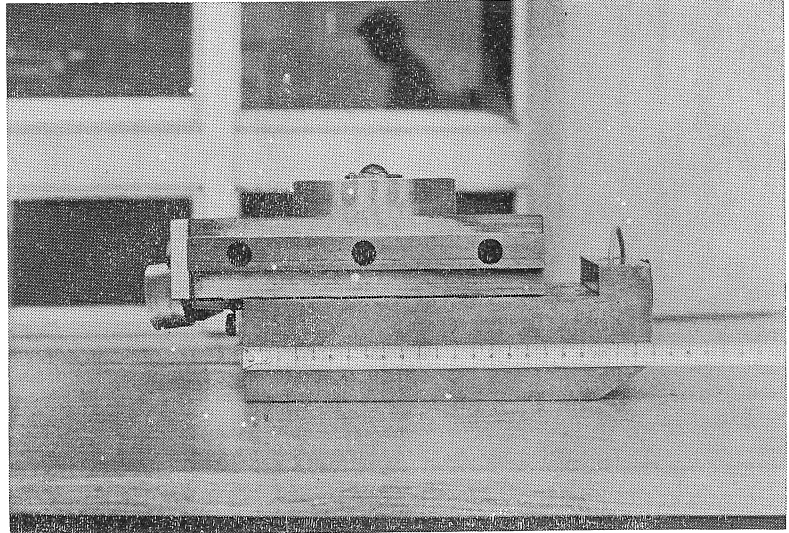


写真3 一面せん断箱（上、下）及び加圧板

加圧板、上せん断箱と下せん断箱の間に○リングを挿入したことによって、上記二要素の他に○リングの摩擦抵抗が測定値に含まれる。以下、特にせん断強度に影響の大きい上せん断箱と下せん断箱の間の○リングの摩擦測定方法について説明する。

- i) ○リングの摩擦をできる限り小さくし、一定にするためグリスを塗る。
- ii) セン断箱内に水（供試体と同じ容積）を入れて内部の空気を完全に取り除いてから静的もしくは、動的な垂直荷重を水に与え、ひずみ制御方式で毎

分1%の静的定速せん断を行なう。

○リングは繰返し使用することによってゴムの被劣が起り、その摩擦抵抗値も変化するものと考えられた。このため、①○リングが新しい時の状態、②約40回使った後の状態、③実際の砂試料について動的試験を行なった後の状態、の計3つの状態について摩擦抵抗測定をした。この結果を水平変位と摩擦抵抗との関係について整理し、図3、図4に示した。

○リングとせん断箱の動摩擦係数は、その接触面が全く均一の場合、一定値を示さなければならない。しかし、図からわかるようにその摩擦抵抗値は、除々に増加し続けるか、またはあるピークの値を示し、その後減少する傾向にある。これに対して、上部から振動を加えた

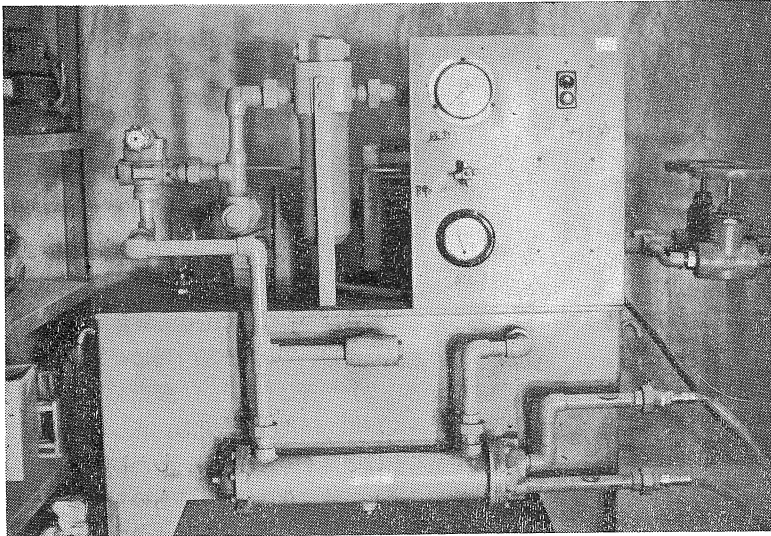


写真4 油 圧 装 置

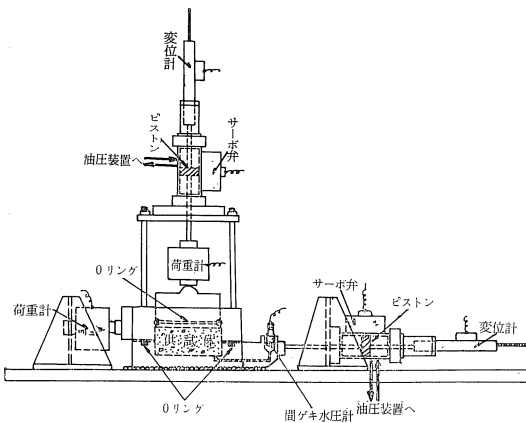


図2 載荷装置概略

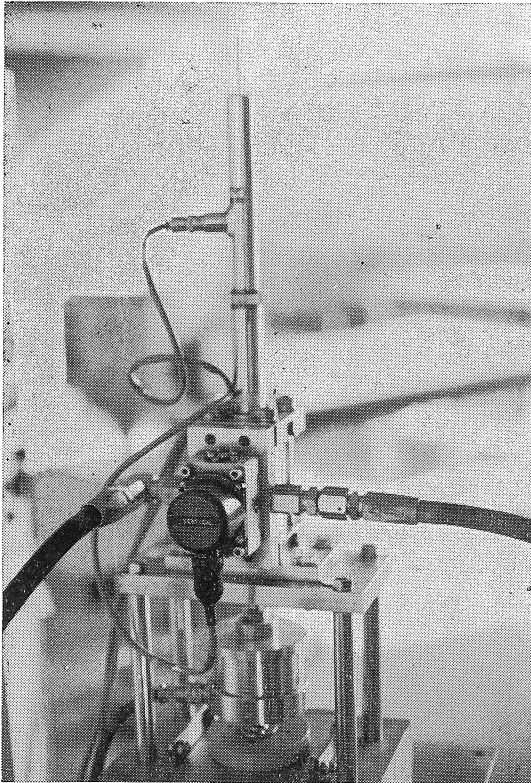


写真5 セン断装置 (垂直方向ピストン)

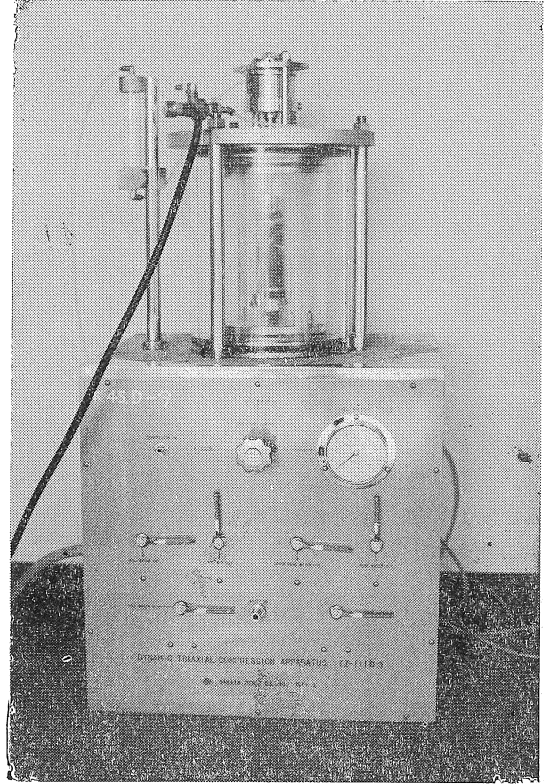


写真6 動的三軸圧縮装置

場合と加えない場合とではその相違は特に見られない。摩擦抵抗は、第1回、第2回の測定では垂直荷重に関係なくほぼ同じ傾向で現われている(第1回測定の垂直荷重、 $\sigma=1.25\text{Kg}/\text{cm}^2$ は、リングを固定した直後で他の測定と比べて全く安定していないので除外して考える)。このことは、内部摩擦角についてはリングの影響は無視して良く、粘着力については測定値から摩擦力を差引いた値で強度を求めれば良いことになる。しかし、第3

回の測定では、垂直荷重によって摩擦抵抗が異なっている。このことは一回の実験に対してそれぞれ摩擦抵抗の影響を考慮しなければならないことを意味している。したがって、本試験を用いて動的試験(特にセン断方向に振動を与える場合)を行なうことは、振動応力、振動数、等によって摩擦力が複雑に変化し、正しい動的強度を把握することは困難と考えられる。しかし、飽和砂の動的強度は主として液状化に起因するものであるから、液状化現象を把握するにはこの方式はより合理的と考えられ、現に液状化実験結果では妥当な値を得ている。さらに動的強度については、当然のことながら三軸振動試験によらなければならないが、ここでは動的強度を把握するための最初の段階として、静的条件下において、本試験機による場合と J.I.S. 型試験機を用いた場合とについて試験を行ないその相違を求めた。

b. 静的セン断強度の J.I.S. 型との比較

先に述べたことにより両試験機の比較を次のようにして行なった。その結果を表1に示し本試験機の特性値とする(表中 ϕ は内部摩擦角、Cは粘着力を示す)。

- i) 試料は、豊浦標準砂で12時間以上炉乾燥した状態で行なった。この物理的性質を表2に、粒径加積曲線を図5に示す。
- ii) 垂直荷重は、本試験機の場合、1.25, 2.36, 3.48, 4.59 Kg/cm^2 、J.I.S. 型では、1.1, 2.2,

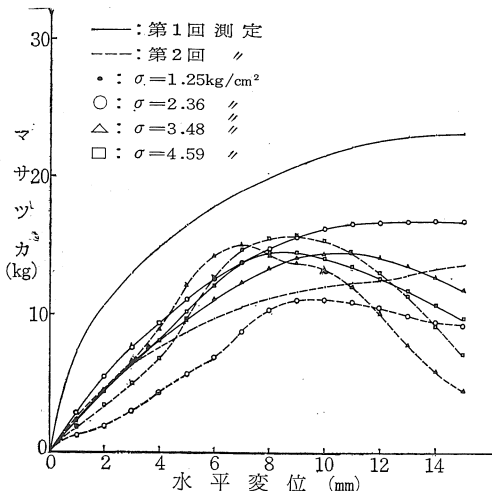


図3 水平変位—マツツカ (第1, 2回測定)

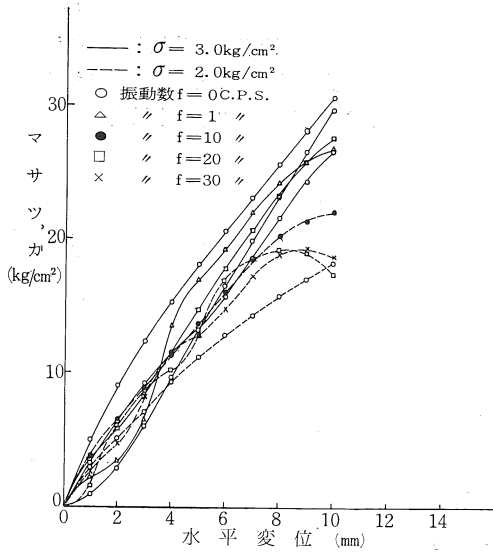


図4 水平変位—マサツカ (第3回測定)

3.3, 4.4Kg/cm², で行なった。

iii) 間ゲキ比(e_i)は、最も疎な状態として0.94, 最も密な状態として 0.69, その中間として 0.81, の三種類について行なった。

iv) セン断速度は 1%/min.とし, 両供試体共に, 直径100mm, 厚さ 40mmである。

表 1

J.I.S.型試験機			本試験機		
初期間ゲキ比 e _i	垂直荷重 σ (Kg/cm ²)	せん断強度 τ _f (Kg/cm ²)	初期間ゲキ比 e _i	垂直荷重 σ (Kg/cm ²)	せん断強度 τ _f (Kg/cm ²)
0.94	1.1	0.75	0.94	1.25	0.71
"	2.2	1.48	"	2.36	1.72
"	3.3	2.17	"	3.48	2.29
"	4.4	2.81	"	4.59	3.10
φ=32.5°, C=0.05Kg/cm ²			φ=34.5°, C=0Kg/cm ²		
0.81	1.1	0.87	0.81	1.25	1.57
"	2.2	1.70	"	2.36	2.59
"	3.3	2.53	"	3.48	3.51
"	4.4	3.33	"	4.59	4.49
φ=36.7°, C=0.05Kg/cm ²			φ=41.0°, C=0.49Kg/cm ²		
0.69	1.1	1.02	0.69	1.25	2.20
"	2.2	2.07	"	2.36	3.82
"	3.3	3.00	"	3.48	5.02

"	4.4	4.06	"	4.59	6.50
φ=42.1°, C=0.06Kg/cm ²			φ=51.7° C=0.69Kg/cm ²		

表 2

比重 (G _s)	均等係 数 (C _u)	自然含水 比 (W)	24時間以 上乾燥 した含水 比 (W)	初期間ゲ キ比 (e _i)	乾燥密 度 (γ _d)
2.64	1.23	0.08	0.06	0.94(e _{max})	1.36 g/cm ³
				0.81	1.46
				0.69(lm _{jn})	1.56

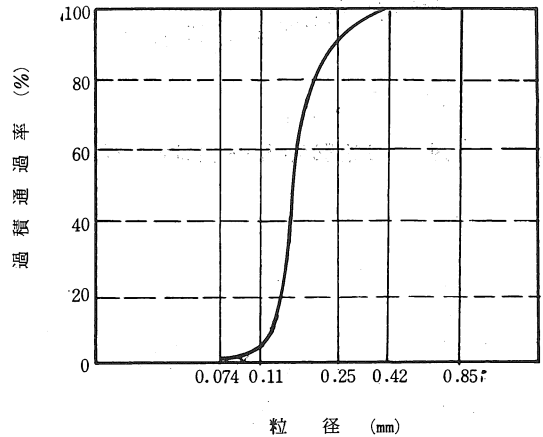


図5 粒径加積曲線

表1より垂直荷重, セン断強強度 (応力~ひずみ曲線のピークの値), 初期間ゲキ比, 内部摩擦角, 粘着力, の関係を図6~9に示す。

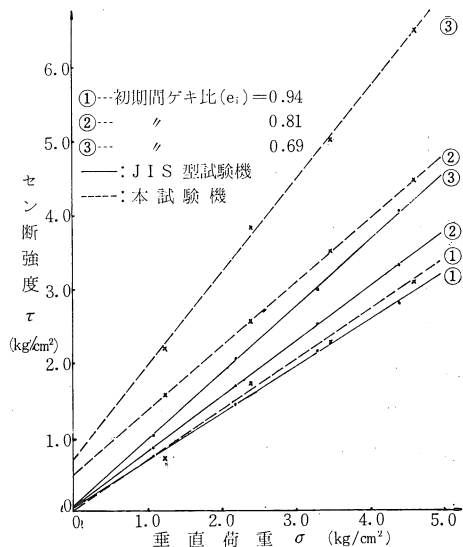


図6 垂直荷重—せん断強度

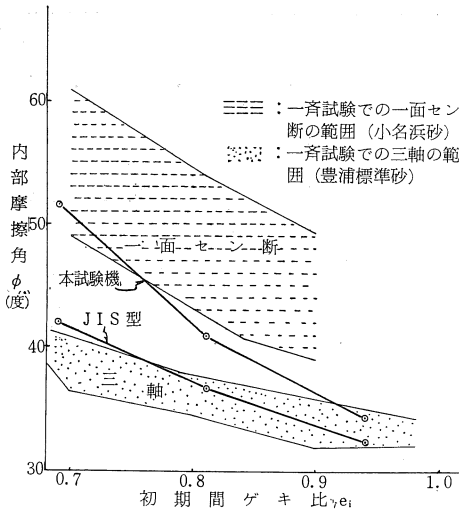


図7 初期間ゲキ比 — 内部マサツ角

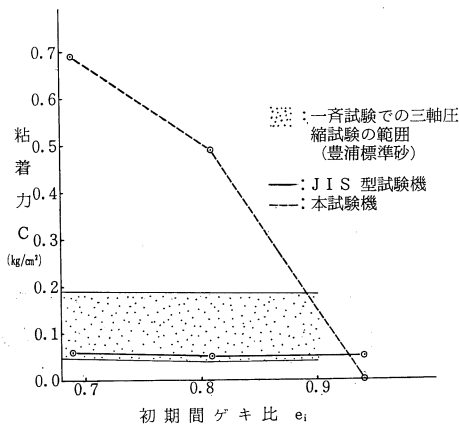


図8 初期間ゲキ比 — 粘着力

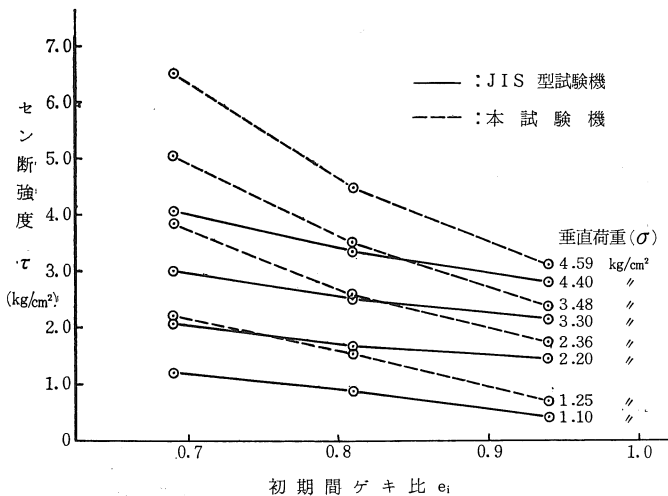


図9 初期間ゲキ比 — セン断強度

リングの摩擦力が強度に及ぼす割合を表3に示す。ここでリングの摩擦力は第1回測定値、摩擦力測定値のバラツキは平均値に対する上限の値、摩擦力が強度に及ぼすバラツキの割合はバラツキの上限値を強度で割って求めた。

表 3

垂直荷重 σ	摩擦力測定値のバラツキ	摩擦力が強度に及ぼす割合		摩擦力が強度に及ぼすバラツキの割合	
		$e_i=0.94$	$e_i=0.69$	$e_i=0.94$	$e_i=0.69$
Kg/cm ² 1.25	% 27.0	% 41.0	% 13.0	% 11.0	% 4.0
2.36	29.0	12.0	6.0	4.0	1.6
3.48	20.0	11.8	5.0	2.0	1.0
4.59	16.0	8.0	4.0	1.0	0.6

c. 検 討

上記の結果を検討すると次のようになる。

- i) リングの摩擦力は、実験条件により種々さまざまに変化するので真の静的および動的強度を把握することはできない。しかし、飽和砂の液状化現象を把握する場合には、リングの摩擦力は問題とならない。
- ii) 本試験機から得られる静的セン断強度はJ.I.S型と比較して大きく、さらに密度が高くなる程差は大きくなる。内部摩擦角については、だいたい妥当な値を示している。粘着力に関しては、密度が高くなると極端に大きな値を示している。このことは当然のことながら、リングの摩擦力が内部摩擦角よりも粘着力に大きく影響し強度が大きく出ると考えられる。

4 あとがき

本報文により本試験機の構造、特性、なごらびに問題点が明らかになったと考え、本年4月より、豊浦標準砂を用い砂質飽和土の液状化実験を行なって来て、現在数多くのデータがあり検討を加えている。

今後は現在行なっている実験条件を変えて液状化現象の基本的問題を究明しようと考えている。