

(56) くり返し三軸試験による液状化実験値の補正について

山口大学工学部 正員 大原資生

1、まえがき 砂の液状化実験において、くり返し三軸試験によって求められた液状化抵抗はくり返し単純せん断試験など他の試験によって求められたそれより大きいことはよく知られているところである。この原因については三軸試験の供試体と単純せん断試験のそれとでは静止土圧係数が異なることが挙げられるが、その他に三軸試験の供試体

ではゴム膜の貫入量の減少の影響が考えられる。すなわちくり返しせん断による飽和砂の液状化は砂骨格に生じる負のダイレタンスーによって圧縮をうけた間けき水の一部が、その間けきから押出され、ゴム膜の貫入量を減少するのに費されるため、真の意味での非排水状態が保たれず、見掛上液状化抵抗が大きい結果が得られることになる。

筆者はこの影響を補正することを目的として、くり返し三軸試験機を用いて、排水くり返しせん断中の供試体の体積ヒズミ、側圧減少中の供試体のリバウンド量を測定する試験、それにゴム膜貫入量の減少を測定する試験などを行い、これらの結果を用いてゴム膜貫入量減少の影響を考えた液状化抵抗の補正を行った結果、方法について述べる。

2、試料 本実験に用いた砂は豊浦砂・

新宮浜砂および山口県産のマサ土の3種である。物理常数は表-1に示す。豊浦砂と新宮砂は均等度がよく、マサ土はかなり微粒子を含んでおり、均等係数は大きい。

3、実験装置 本実験には、動的三軸試験機が用いられた。供試体は直径5cm 高さ約12cmで、側圧は一定で所定の振幅の軸差応力を周期2秒でくり返し作用させるようになっている。くり返し軸差応力は上部加圧板に連結されたロードセルで測定される。また、供試体の間けき水圧は下部ペダスタルの透水板を通過してきた水圧を適当な位置に導き、受圧面径6mmの抵抗線ヒズミ計式の小型圧力計で測定した。

4、供試体および実験方法 ほぼ320～360gfの乾燥試料をピーカーに入れて脱気水を加え攪拌した後、湯煎して脱気する。これを水中落下させる方法を用いて中詰めおよびゆるぎめの供試体を、作る。

実験は、液状化実験、排水くり返しせん断試験およびリバウンド試験の3種が行われた。

液状化試験は通常行われているもので、排水くり返しせん断試験は所定のくり返し軸差応力を加えた際の供試体の収縮率を測定する目的で行われた。液状化試験の場合と同じ方法でセットされた供試体に、排水状態で所定のくり返し軸差応力を加えながら、供試体からの排水量をビューレットで測定する。このときのくり返し軸差応力は、前に行った液状化試験の際のくり返し軸差応力に等しくし、排水量の測

表-1

	Toyoura sand	Shingu sand	Masado
$G_s$	2.63	2.64	2.63
$D_{50}$ (mm)	0.27	0.83	1.13
$U_c$	1.64	1.70	5.11
$e_{max}$	1.028	0.859	1.091
$e_{min}$	0.678	0.623	0.549

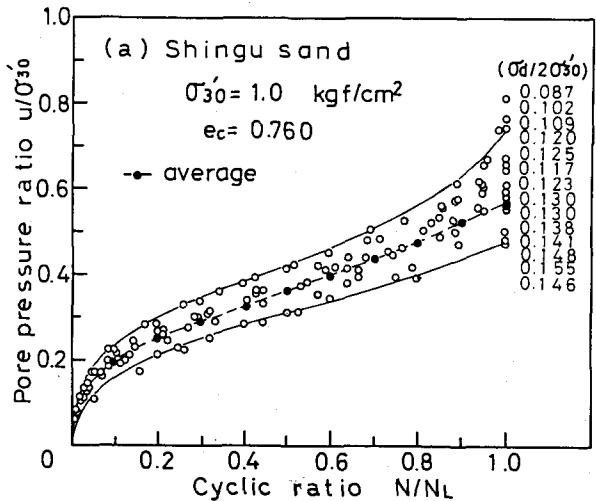


図-1

定も初期液状化が生じたくり返し回数まで行う。排水量を供試体の初期体積で割って体積ヒズミを求めて実験結果を整理した。

リバウンド試験では、液状化現象が有効応力の減少という形で発生することを考えて、三軸セル室内にセットされ、所定の側圧で圧密された供試体に対し、側圧を $0.1 \text{ kgf/cm}^2$ ずつ段階的に減少させていきながら、供試体の膨張率を求める試験を行った。供試体の膨張量の測定には、供試体が膨張するにしたがって供試体につながっているビューレット内の水量の減少が供試体の膨張量に

等しいことを利用して行った。この実験では、砂の骨格の膨張量に供試体表面におけるゴム膜の砂粒子間への食い込みの回復、いわゆるゴム膜貫入量の減少によるものが含まれている。そこで、砂の骨格のリバウンド量を求めるためには、供試体のリバウンド量からゴム膜貫入量の減少分を補正する必要がある。本実験では、その量をロッド法を用いて求めた。

5、実験結果 図-1は液状化試験の間げき水圧の上昇の状況を示すもので、間げき水圧比 $u/\sigma'_3$ とくり返し回数比 $N/NL$ との関係を示したものである。NLは初期液状化までに要するくり返し回数であるが、われわれは初期液状化を、従来から間げき水圧がある値まで上昇し、砂のせん断抵抗がくり返しせん断応力と等しくなったとみよせる点をもって定義している。そのため $N/NL=1$ のときに $u/\sigma'_3=1$ となっていない。

図-1でみるように、初期液状化時の $u/\sigma'_3$ の値は砂の種類とその条件が決まればほぼ一定値をとると考えられる。図中の黒点は平均値を示したものである。

図-2は排水くり返しせん断試験の結果である。前述のように液状化試験の結果と対応するように、くり返し軸差応力に加え $N/NL$ と供試体ヒズミ $\Delta v/v_c$ の関係求めた。この図でも黒点は平均値である。

図-3は有効応力 $\sigma'_3$ と供試体のリバウンド量との関係を示したものである。実線の値がそれである。しかし、この値にはゴム膜貫入量の減少分が含まれているので、その分を補正して砂の骨格のリバウンド量を求める必要がある。ロッド法によって求められたゴム膜貫入量の減少分を点線で示した。結局、両者の差が砂骨格のリバウンド量である。

6、実験結果の考察 液状化過程においては、くり返しせん断応力の負荷によって生じる砂の骨格の体積減少と有効応力の減少による体積膨張とが同時に起る結果、体積が一定に保たれると考えられている。八木はこの関係を(1)式であらわしている。 $\Delta u$ はくり返しせん断による間げき水圧上昇量、 $\Delta \epsilon_v$ は排水条件下での砂骨格の体積ヒズミ、 $^m_s$ は砂骨格の体積膨張係数である。

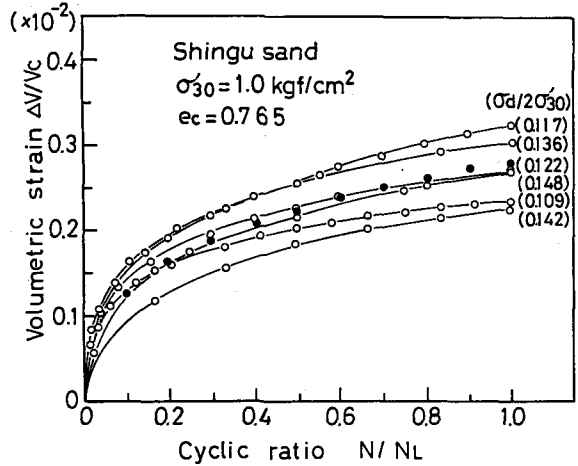


図-2

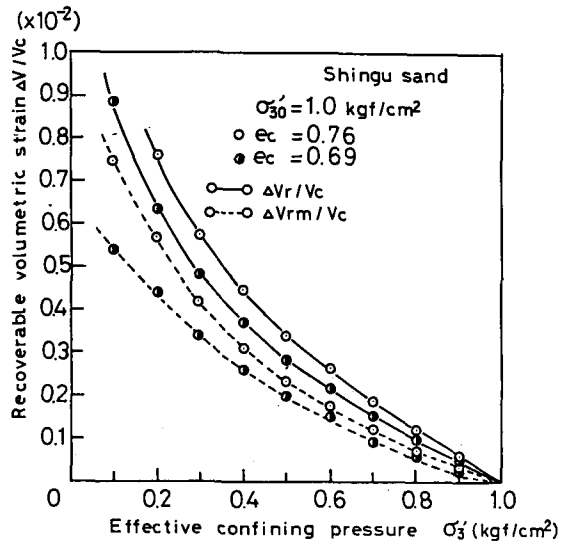


図-3

$$\Delta u = \frac{\Delta \epsilon_v}{m_s} \quad (1)$$

くり返し三軸試験ではゴム膜の貫入量減少の影響があるので、次のように考える。

単位体積の飽和砂に含まれる間けき水の体積は間けき率  $n$  に等しく、それが  $\Delta u$  の間けき水圧変化によって起こす体積変化は、水の体積圧縮係数を  $m_w$  とすれば  $\Delta u \cdot m_w n$  となる。また、有効応力減少による砂骨格の体積膨張量は  $m_s \cdot \Delta u$  となり、ゴム膜の膨張量は、その膨張係数を  $m_m$  とすれば  $m_m \Delta u$  となるから  $\Delta \epsilon_v$  との関係を求めれば、

$$\Delta \epsilon_v = m_s \Delta u + m_m \Delta u = \Delta u (m_s + m_m) \quad (2)$$

$$\Delta u = \frac{\Delta \epsilon_v}{m_s + m_m + m_w n} \quad (2)$$

をうる。 $m_s$  に比して  $m_w$  はかなり小さく、 $n$  も 0.5 以下であるから (2) 式は次のように書くことができる。

$$\Delta u \div \frac{\Delta \epsilon_v}{m_s + m_m} \quad (3)$$

$\Delta u (m_s + m_m)$  は間けき水圧の上昇  $\Delta u$  に伴う有効応力の減少によって生じる供試体の体積膨張ヒズミである。実験においては、供試体の体積を  $V_c$ 、排水くり返しせん断による体積縮少量を  $\Delta V$ 、リバウンド試験の際の体積膨張量を  $\Delta V_r$ 、ゴム膜貫入量の減少分に相当する体積膨張量を  $\Delta V_{rm}$ 、として測定しているのであるから

$$\begin{aligned} \Delta \epsilon_v &= \frac{\Delta V}{V_c}, \quad \Delta u (m_s + m_m) = \frac{\Delta V_r}{V_c} \\ \Delta u \cdot m_m &= \frac{\Delta V_{rm}}{V_c} \end{aligned} \quad (4)$$

となる。結局、(3)式は

$$\frac{\Delta V}{V_c} = \frac{\Delta V_r}{V_c} \quad (5)$$

となる。

図-2 に示したと同様な実験結果から各試料についての  $N/N_L = 1.0$  のときの  $\frac{\Delta V}{V_c}$  の平均値を求め、図-3 に示したと同様な結果から得られる各試料の  $N/N_L = 1.0$  のときの間けき水圧比に対応する体積膨張ヒズミ  $\Delta V_r/V_c$  を求め、両者の関係を示したのが図-4 である。図中  $\frac{\Delta V}{V_c} = \frac{\Delta V_r}{V_c}$  の関係を示したが、両者の関係は完全ではないが、ほぼ等しいとみることができよう。

このことから砂の骨格の体積圧縮ヒズミは間けき水圧の上昇とゴム膜の膨張に関与していると考えら

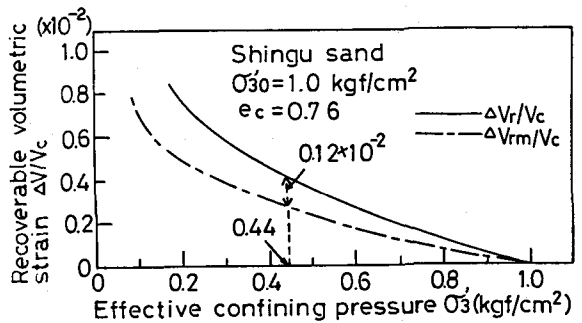
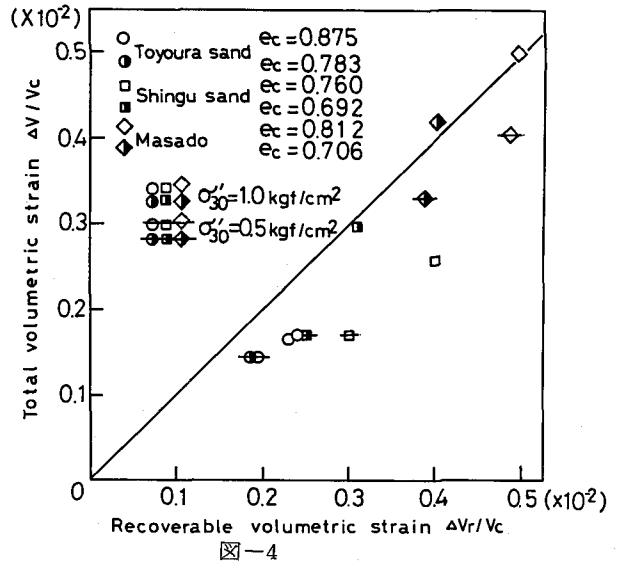


図-5

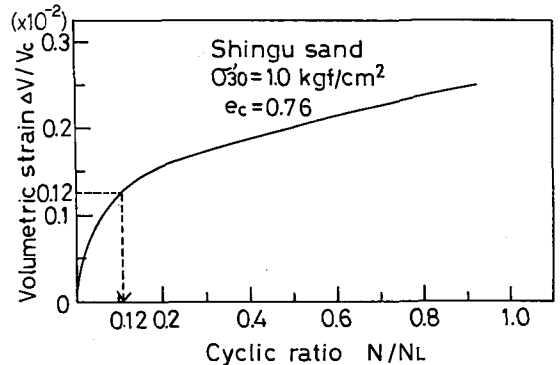


図-6

れる。

7、液状化抵抗の補正 図-4において排水くり返しせん断における体積ヒズミとリバウンド体積ヒズミはほぼ等しいとみなすことができた。したがって、ゴム膜貫入量の減少分をとり除いた間げき水圧の上昇に関する砂の骨格の体積ヒズミを用いることにより液状化抵抗の補正を行うことができる。新宮砂の $\sigma_{30} = 1.0 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $e_c = 0.76$ の場合を例にとって補正の方法をのべる。

図-5は図-3に示したリバウンド試験の結果である。図-6は図-2に示した排水くり返しせん断試験の平均値曲線である。

まず、図-1において $N/NL = 1.0$ での $\sigma_{30}$ の平均値 $0.56\sigma_{30}$ を図-5に対応させる。このときの有効応力 $\sigma'_3 = 0.44 \text{ kgf/cm}^2$ であるから図-5において $\sigma'_3 = 0.44 \text{ kgf/cm}^2$ での砂骨格の体積ヒズミ $\Delta V_s/V_c$ は実線と点線の差から $0.12 \times 10^{-2}$ となる。この体積ヒズミが間げき水圧の上昇に関係していると考えられる。そこで図-6において $\Delta V/V_c = 0.12 \times 10^{-2}$ となる $N/NL$ の値を求めると $0.12$ を得る。

すなわち、図-6の $\Delta V/V_c$ はゴム膜貫入の影響が含まれていない体積ヒズミであるから、この体積ヒズミに図-5から求めた砂骨格の膨張ヒズミを対応させることにより、ゴム膜貫入量の減少分の影響がない場合の初期液状化の時点が $N/NL = 1.0$ から $N/NL = 0.12$ へと補正される。したがって、 $N = 0.12 NL$ の点で初期液状化が起こると考えるから図-7の液状化抵抗では、補正前の応力比とくり返し回数 $N$ の関数直線を $NL$ に関して $0.12$ 倍ずらすことによって補正することができる。図-8は新宮砂についてのくり返し三軸試験の結果の補正前と補正後の液状化抵抗を示し、それらをくり返し単純せん断、振動台による結果と比較したものである。

また、図-9は各試料についてのくり返し三軸試験の結果をこの補正法によって補正した結果を示したものである。この補正によって液状化抵抗はおよそ32~58%程度低下することになる。

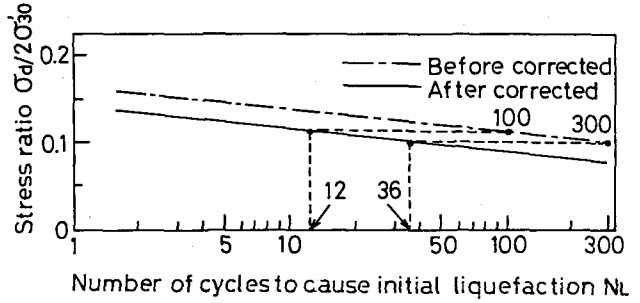


図-7

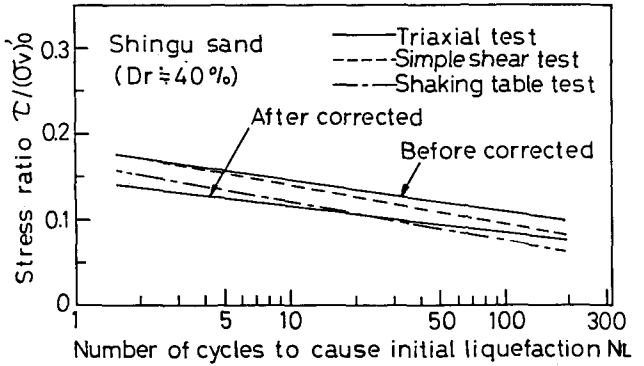


図-8

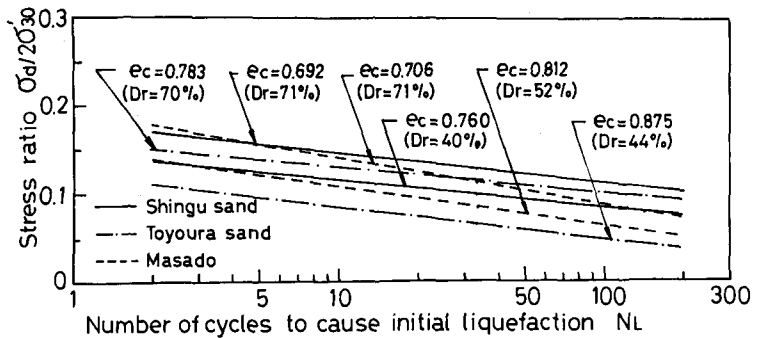


図-9