

振動をうける砂質土の変形・強度について

京都大学防災研究所 正員 柴田 徹
京都大学防災研究所 正員 行友 浩

目的と方法

土の動力学的性質に関する基礎的研究の一環として、乾燥砂の振動三軸圧縮試験を行ない、強度および変形特性の面から実験的に調べたものである。¹⁾

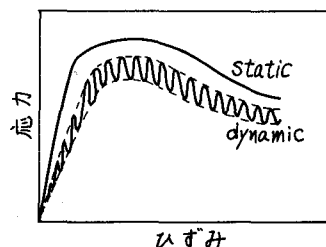
さて三軸圧縮試験機は地盤内の微小要素に作用する応力状態を室内で再現することができるので、土の力学的挙動を調べるために一般に広く使用されている。土の動的挙動を調べる場合にも同様であるが、従来の動的な三軸試験では軸方向圧力と側圧をそれぞれ単独に変化せしめる方法がとられてきた。その結果、応力-ひずみ曲線は[図-1]に示すようにある巾をもったものとなり、強度の決定が極めてあいまいなものになるおそれがある。

この状態を排水試験の場合についてモール応力円を用いて説明すると、[図-2]となる。[図-2(a), (b)]は従来の試験法によるもので、(a)は側圧のみを振動させながら主応力差を増加してせん断破壊を生じさせる場合のモール応力円を示し、合成振動応力の方向は横軸に平行である。(b)は側圧を一定に保ち、軸方向圧力のみを振動させながら主応力差を増加して破壊させる場合で、合成振動応力の方向は横軸に対して常に 45° の角度をなしている。图中、矢印は合成振動応力の大きさと方向を示すもので、横軸と θ の角をなし原直を通る実線はせん断の進行とともに破壊線に近づく。

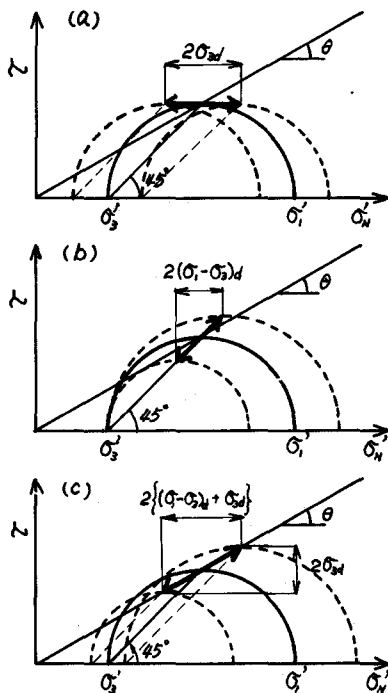
本研究は、三軸試験機を用いた動的なせん断試験においてその強度を明確に把握するために、[図-2(c)]のような振動応力状態で実験を行なった。すなわち、軸方向圧力および側圧を同時に振動させ、両方の振動圧力振中を制御してせん断中の合成振動応力の傾きをモビライズされる内部摩擦角 φ'_0 と一致させる。なお[図-2(c)]を得るための実験操作としては、

$$\frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{\sigma_3} = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)_d}{\sigma_{3d}}$$

なる関係を満足すればよいので、一定側圧 σ_3 および一定側圧振中 σ_{3d} のもとで、定変位方式によって主応力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ を増加すると同時に主応力差振中 $(\sigma_1 - \sigma_3)_d$ を増加する。なお加える変位の速さは 0.96 mm/min である。



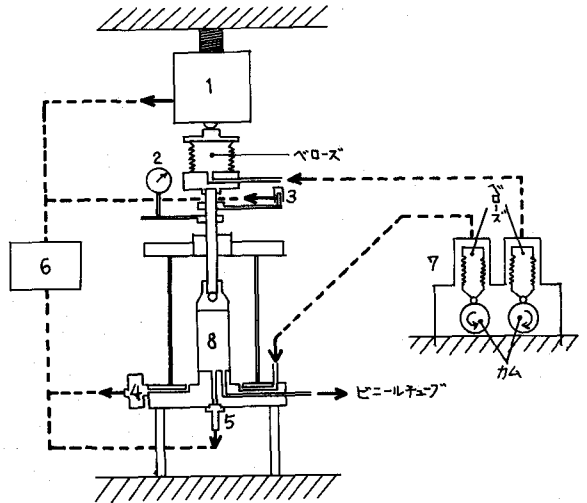
【図-1】



【図-2】

実験装置、試料

装置は新しく試作された振動三軸圧縮試験機である。¹⁾ 普通のひずみ制御式三軸圧縮試験機の機構に振動圧力発生装置を付属させたものであるが、鉛直振動圧力と側方振動圧力とを独立に加えることができるので、地盤内微小要素の受ける振動応力状態をかなりの範囲にわたってシミュレートできる。装置の概略は【図-3】に示すようであって、カムによる機械的な上下運動をそれに接するベローズを介して水圧に変換し、静的な軸方向圧力と側圧に対して振動圧力を独立に加えることができる。【図-3】に



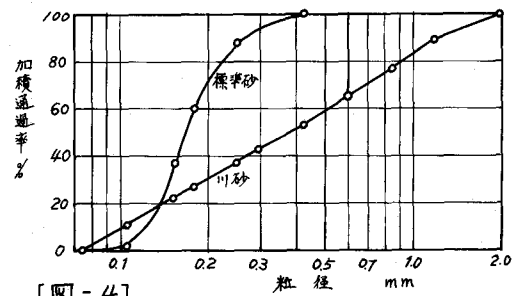
おける各部の名称は、1；ロードセル（軸方向圧力および軸方向圧力振中用）、2；ダイヤルゲージ、3；差動変位計、4；圧力計（側圧および側圧振中用）、5；圧力計（間引き空気圧振中用）、6；動ひずみ計・電磁オシログラフ、7；振動圧力発生装置、8；供試体を示している。振動圧力振中および振動数はかなりの範囲にわたって連続的に増減でき、振動軸圧と振動側圧の位相差を変えることもできる。振動圧力波形は正弦波に近いたロコイド波であり、せん断試験中に加える圧力振中の大きさは電磁オシログラフを見ながら制御する。供試体軸方向変位量の平均値はダイヤルゲージにより読みとるが、軸方向変位振中および間引き空気圧振中は差動変位計および高感度圧力計を介して電磁オシログラフに記録する。また刻々に進行する供試体の体積変化量の平均値は、排水孔に細い硬質の透明ビニールチューブを接続し、チューブ内の標滴差色水の移動量を読みとることによって求めた。

試料は豊浦の乾燥標準砂と乾燥川砂で、これをかなり密に突き固めて直径35mm、高さ80mmの内柱形供試体とした。各試料の粒径加積曲線は【図-4】に示す。標準砂および川砂の比重はそれぞれ2.64、2.66で、供試体の相対密度は約92%、87%である。

実験結果

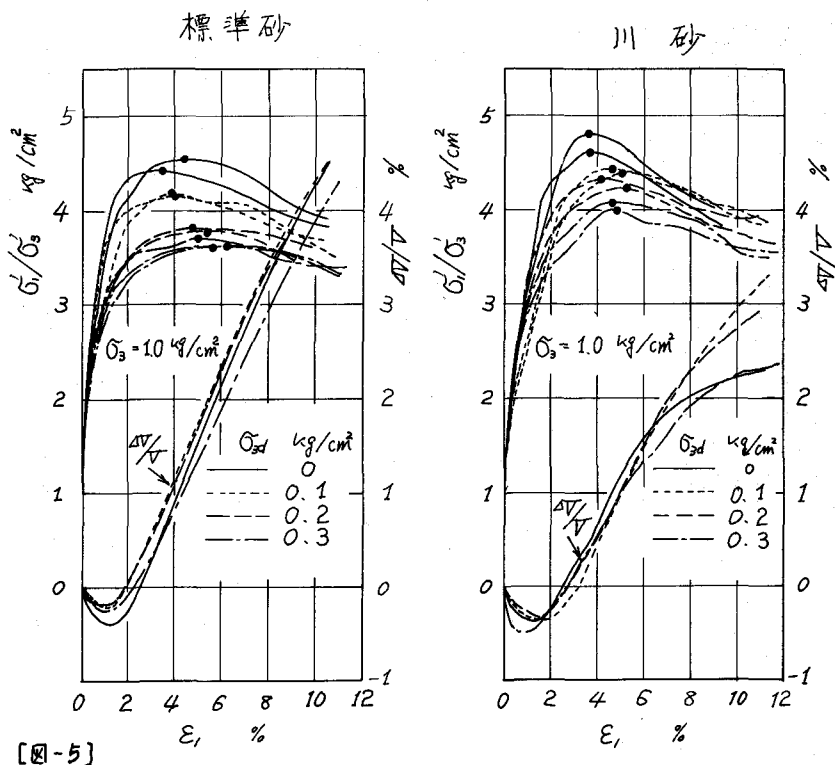
ここでは2種類の乾燥砂に対する実験結果を紹介する

るが、全試験に対して試験中の側圧 σ_3 は 1.0 kg/cm^2 、振動数は5cpsである。圧力振中の大きさが動態時の砂の強度に与える影響を調べるために、側方圧力振中 σ_3^d を0、0.1、0.2、0.3 kg/cm^2 に変化せしめた。前述したように、この研究ではせん断中に合成振動応力の作用方向が土のモビライズされる内部摩擦角 ϕ_{mo}' に等しくなるように振動圧を制御するので、応力-ひずみ図における応力を有効主応力比 (σ_1'/σ_3') を用いて描けば、動態時にも【図-5】に示すように静態時（実線）と同様に巾をもたない一本の曲線で表示できることになる。この図によれば、側圧振中が増大するにつれて最大有効主応力比 $(\sigma_1'/\sigma_3')_{max}$ の低下する状態がみられるが、体積変化量 $\Delta V/V$ -軸ひずみ ϵ 曲線には圧



【図-4】

力振中の大小による差はみられない。また最大有効主応力比を生じる軸ひずみの値は、振動圧力振中の増加とともに大きくなることもわかる。



〔図-5〕

〔図-6〕の実線は各試料の最大有効主応力比 $(\sigma_1'/\sigma_3')_{max}$ の平均値を側圧振中 σ_{3d} に対してプロットし、 σ_{3d} による土の強度低下を示したものである。また図中の破線は Bishop 法を適用してダイレタンシーの影響をとりのぞいた最大有効主応力比の平均値を示す。図の実線と破線がほぼ平行であることは、振動圧力の変化によるダイレタンシー量の変化はみられないことを示している。

むすび

新しく試作された振動三軸圧縮試験機を用いて乾燥砂の破壊試験を行ない、振動時の砂の強度低下に関する実験結果を報告するとともに、若干の考察を加えた。

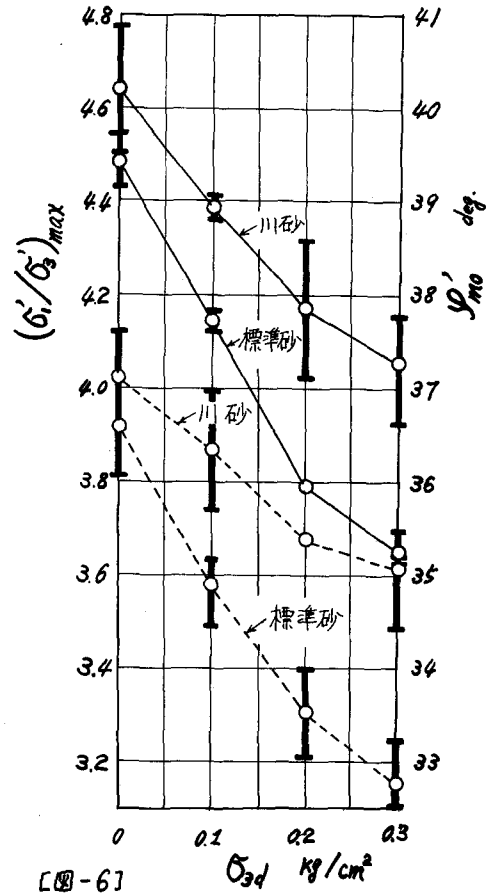
従来行なわれていたように、三軸試験の軸方向圧力と側圧をそれぞれ単独に振動的に変化させる方法では、すべり面に作用する振動応力を考えたとき、 T_d/σ_{nd}' (ただし、 T_d すべり面上の動的せん断応力、 σ_{nd}' 動的垂直応力) の値がその時の内部摩擦角 $\tan \varphi'$ に等しくならなかった。すなわち死荷重と活荷重の例えで説明すると、せん断面に作用する死荷重による合力の方向と、活荷重による合力の方向とが異なっていたことになる。このような場合には、破壊発生の決定がかなりあいまいにならざるをえない。この研究では、せん断中に側圧の振中 σ_{3d} は一定に保ち、軸方向圧力の振中 $(\sigma_1 - \sigma_3)_d$ を調節することによって $T_d/\sigma_{nd}' = \tan \varphi'$ の条件を常に満足せしめた。ゆえに破壊を生じていないせん断過程では、 φ_{mo}' をモビライズされた内部摩擦角とすれば、 $T_d/\sigma_{nd}' = \tan \varphi_{mo}'$ が成立していることになる。試験結果の解析法としては、有効主応力比 (σ_1'/σ_3') と軸ひずみの関係を調べ、

$(\sigma'_1/\sigma'_3)_{max}$ 値を動的強度とすればよい。この試験は乾燥砂の試験であるから、 $(\sigma'_1/\sigma'_3)_{max}$ は主応力差の最大値に一致する。

動的強度に影響する因子は多く考えられるが、ここでは側圧振中 σ_{3d} に注目してみた。その結果、 σ_{3d} の増加とともに内部摩擦角の低下がみられる。例えば、 $\sigma_3 = 1.0 \text{ kg/cm}^2$ 、 $\sigma_{3d} = 0.3 \text{ kg/cm}^2$ に対して標準砂では 39.5° から 34.8° に、また川砂では 40.2° から 37.2° に約 $5^\circ \sim 3^\circ$ の静態時の ϕ' に対する強度の低下がみられた。

参考文献

- 1) 柴田 徹・行友 浩, 「振動時における飽和砂の強度特性」京都大学防災研究所年報, 第12号B, 昭和44年3月, 頁89~96



[図-6]