

III-A 105

破碎性土としてのまさ土の液状化ポテンシャル

山口大学大学院 学生員○荒牧憲隆

山口大学工学部 正員 兵動正幸 村田秀一 中田幸男

山口大学大学院 学生員 松下純子

1. まえがき

1995年兵庫県南部地震において、破碎性材料であるまさ土により埋立てられたポートアイランド、六甲アイランドの人工島を初め多くの埋立て地盤が液状化をきたし、護岸構造物など港湾施設に壊滅的被害を与えた。まさ土は、西日本を中心に広く分布する風化残積土であり、これまで良質な盛土材、埋立材として活用されてきただけに、多方面に大きな衝撃を与えた。都市近郊には埋立て地が多く、まさ土など風化した破碎性の粒子からなる土により埋立てられている場合も多いことから、今後の地震により同様な被害を蒙ることも危惧される<sup>1)2)</sup>。本研究は、これら破碎性土の粒子破碎を伴う圧縮特性に着目し、拘束圧をパラメータとして、それらの静的非排水せん断特性<sup>3)</sup>および液状化特性を調べ、静的および動的せん断特性の統一的評価<sup>4)</sup>についての検討を行ったものである。

2. 試料の物理特性および実験方法

本研究で用いた3種類のまさ土は、阪神大震災後の六甲アイランド、山口県宇部市および広島県東広島市より採取したもの（以後それぞれ六甲まさ土、宇部まさ土、広島まさ土と呼ぶ）である。六甲まさ土は六甲山系より搬入されたもの、宇部・広島まさ土は広島型まさ土と称されるものである。これらの試料および豊浦砂の粒度分布を図-1に示す。それぞれのまさ土は豊浦砂に比べ均等係数が高く粒度分布がよいことが観察される。表-1にはそれらのまさ土および豊浦砂の物理的性質を掲げた。これらのまさ土は豊浦砂に比べ、比重Gs、最小間隙比 $e_{min}$ はほとんど変わらないものの最大間隙比 $e_{max}$ および均等係数 $U_c$ が非常に大きいことが特徴的である。またこれらのまさ土の風化度を表すパラメータとして強熱減量試験を実施し、その強熱減量 $L_i$ も表-1に併記した。この結果から、六甲、宇部、広島まさ土の順で強熱減量が大きく現れ、広島まさ土が他の二つに比べ風化が進んでいるものと判断される。本研究では、初期相対密度を六甲・宇部まさ土で $D_{ri}=50\%$ 、広島まさ土で $D_{ri}=60\%$ とした。これらの初期相対密度に対し、初期拘束圧 $\sigma'_c$ は、六甲・広島まさ土で $\sigma'_c=50, 100\text{kPa}$ 、宇部まさ土で $\sigma'_c=50, 100, 200\text{kPa}$ に設定し、非排水単調載荷試験および非排水繰返し三軸試験を行った。供試体は空中落下法により作成し、用いた試験機は、ひずみ制御式三軸試験機（ひずみ速度 $0.1\%/\text{min}$ ）、空圧制御式繰返し三軸試験機（周波数 $f=0.1\text{Hz}$ ）である。

3. 実験結果および考察

図-2に三軸等方圧縮試験より得られた結果を示す。本研究で

表-1 試料の物理的性質

	$G_s$	$e_{max}$	$e_{min}$	$U_c$	$L_i$ (%)
Rokko Masa	2.648	1.248	0.565	12.000	2.380
Ube Masa	2.615	1.243	0.728	4.772	2.690
Hiroshima Masa	2.610	1.394	0.784	5.819	3.731
Toyoura sand	2.643	0.973	0.635	1.200	—

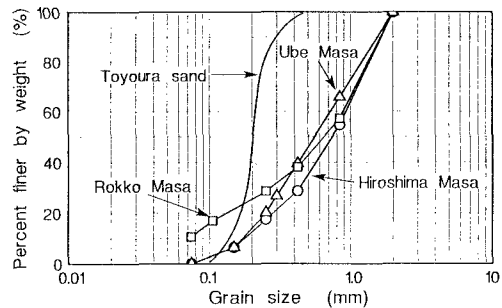


図-1 粒度分布

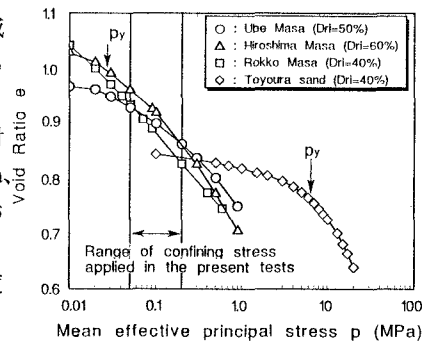


図-2 等方圧縮試験結果

用いたまさ土は、高圧域に降伏点が存在する豊浦砂とは異なり、常圧域から急激に間隙比 $e$ が減少しており、本研究で用いた拘束圧域以下にそれぞれのまさ土の降伏点が存在するが分かる。この圧縮性に富んだそれぞれのまさ土に対し、非排水繰返し三軸試験より得られた液状化強度曲線を図-3に掲げた。広島、宇部、六甲まさ土の順で液状化強度は高くなっていき、風化度（強熱減量 $L_i$ ）の増加に伴い、液状化強度も増していることが観察される。また、これらのまさ土は拘束圧の影響を受けず、ほぼ一義的な曲線関係にあることが分かる。次に、非排水単調および繰返しせん断挙動の関係を調べるために、単調および繰返しせん断試験による有効応力経路を重ねて描いてみた。図-4は、初期相対密度繰返しせん断強度 $\sigma_d / 2\sigma'_c$ を $Dr_i=50\%$ の六甲まさ土について初期有効拘束圧 $\sigma'_c=100\text{kPa}$ の非排水単調および繰返しせん断試験から得られた代表的な有効応力経路である。この図から、単調試験の伸張側の変相線に繰返し試験の有効応力経路が達した後に一様な定常ループを描きながら液状化に至っており、繰返しせん断破壊は、伸張単調せん断により得られる変相応力に依存していることが推察される。そこで、単調せん断の有効応力経路における伸張側の変相点での軸差応力を $q_{PT}$ とし、これで繰返しせん断応力比 $\sigma_d / 2\sigma'_c$ を正規化することを試みた。図-5は、繰返しせん断破壊時の応力比 $\sigma_d / 2\sigma'_c$ を静的な変相点応力比 $q_{PT} / 2\sigma'_c$ で除した値を縦軸にとり、繰返し回数関係 $N$ との関係で表したものである。図には、各まさ土の各初期拘束圧の結果が示されているが、図のように若干のばらつきはあるものの、風化度、初期相対密度、初期有効拘束圧によらず、両者にはほぼ一義的な関係が存在することが明らかである。これにより、繰返しせん断強度は、伸張側の単調載荷の有効応力経路上の静的な変相点でのせん断応力 $q_{PT}$ が既知であれば繰返しせん断試験をしなくても推定できることが示唆される。

#### 4. あとがき

以上、得られた知見をまとめると、1)各まさ土とも、常圧域から間隙比が急激に減少していく、2)各まさ土の液状化強度は、拘束圧の影響を受けず、ほぼ一義的な曲線関係にある、3)単調せん断の伸張側の変相点での軸差応力 $q_{PT}$ で繰返しせん断応力比 $\sigma_d / 2\sigma'_c$ を正規化し繰返し回数関係 $N$ との関係で表すと、試験条件によらない一義的な関係が存在することが分かった。

【参考文献】1)兵動・安福・村田・山本・丸山:まさ土の液状化特性に及ぼす拘束圧の影響,第26回土質工学研究発表会講演集, Vol.1, pp.841-842,1991. 2)兵動・中田・村田・松下・荒牧・徳原・菊池:六甲アイランド埋立てまさ土の動的強度特性に及ぼす初期せん断応力の影響, 第31回地盤工学研究発表会(投稿中) 3)兵動・村田・中田・荒牧・松下・楢根:風化度の異なるまさ土の非排水単調および繰返しせん断特性, 第48回土木学会中国支部研究発表会(投稿中) 4)Hyodo,M.,et.al., : Undrained cyclic and monotonic triaxial behavior of saturated loose sand, *Soils and Foundations*, Vol.34, No.1, pp.19-32,1994.

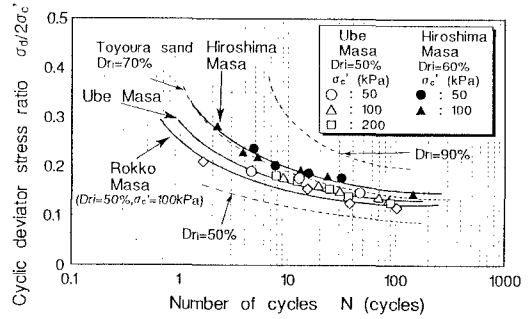


図-3 液状化強度曲線

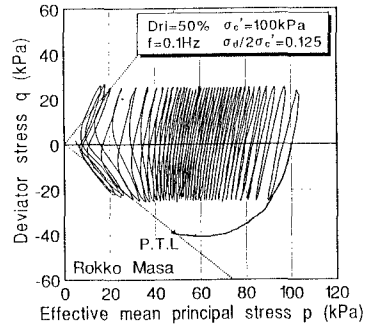


図-4 単調および繰返しせん断による有効応力経路

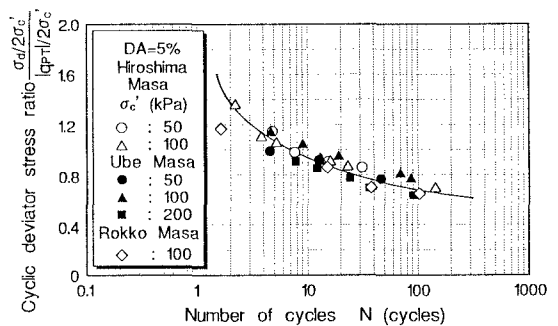


図-5 正規化された液状化強度曲線