

# まさ土の相対密度と液状化抵抗に及ぼす細粒分の影響

Key Words-まさ土、非排水繰返しせん断強度、相対密度

山口大学大学院

学生会員 Kim Wootae、金和寛

山口大学大学院

正会員 兵動正幸、中田幸男、吉本憲正

表 1 試料の物理的性質

Sample	Fc(%)	$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	$e_{max}$	$e_{min}$	$d_{50}$ (mm)	Uc	Li
P.I. Masado	13	2.624	0.967	0.491	0.575	20.81	0.932
	0	2.618	0.967	0.512	0.654	4.67	0.716
Iwakuni Masado	11	2.673	1.042	0.616	0.328	6.68	1.63
	0	2.632	0.935	0.510	0.312	2.71	2.257
Toyoura	0	2.640	0.973	0.635	0.200	1.33	0.327

**1.まえかき** 1995年兵庫県南部地震においては、まさ土による埋立て地が液状化を起こした。まさ土は、礫分からシルト分に至る広範囲の粒度で構成されており、破碎しやすい脆弱な粒子からなる。まさ土は細粒分を含むにも関わらず非粘性であるため、便宜上砂の最大・最小密度試験で相対密度が評価されている。まさ土は水中ではコラプスを起し、比較的高い密度となるが、最大・最小密度試験では乾燥状態の試料が用いられていることから、相対密度を過小評価している現状にある。その結果、過小の液状化強度を与えたり、サンドコンパクション等による締固め効果を過小に評価していることが懸念される<sup>1)</sup>。本研究では、まさ土に対して水浸状態で最大・最小密度試験を行う方法を開発した。その結果、まさ土の液状化強度と相対密度の関係が、豊浦砂とほぼ同様の傾向を示すことが明らかとなった。

**2.試料および試験方法** 本研究では兵庫県神戸市の人工島ポートアイランドで採取したまさ土(P.I.Masado)と山口県岩国市愛宕山で採取したまさ土(Iwakuni Masado)の2種類の試料を用いて実験を行った。表1に用いた試料の物理的性質を示す。三軸供試体は空中落下漏斗法と水中堆積法の2通りの方法により供試体を作製した。空中落下漏斗法においては、気乾状態の試料をできるだけ低い位置から落下させ、所定の打撃回数を与え供試体を作製した。供試体作製後、間隙中の空気を二酸化炭素で置換し、脱気水で飽和させた。水中堆積法では、モールド内に1cmほど水を張り、十分に脱気した試料をスプーンでゆっくり投入し飽和供試体を作製する方法によった。これらの試料に対し、一連の非排水繰返し三軸試験を周波数0.1Hzの正弦波を与えることにより行った。

**3.非排水繰返しせん断特性** 図2に水中堆積法で打撃により相対密度を

変化させた液状化強度曲線を示す。水中堆積法で錘をのせて供試体を作製することで、初期相対密度100%を越えた供試体を作製できた。図中 Iwakuni Masado (Fc=11%)は  $D_{ri}=50\sim 80\%$ までは強度の差異は認められないが、 $D_{ri}=90\%$ を超えたあたりから強度の急増が認められる。図3に P.I.Masado (Fc=13%)の  $\sigma'_c=100\text{kPa}$ の相対密度比較の液状化強度曲線を示す。 $D_{ri}=50\%, 70\%$ と密度増加しても強度の増加はほとんどなく、 $D_{ri}=90\%$ でもわずかの強度の増加しかなかった。しかし、水中堆積法で作製した試料は  $D_{ri}=100\%$ を越え、強度も著しく増加している。P.I.Masado (Fc=13%)も Iwakuni Masado (Fc=11%)と同様に  $D_{ri}=50\sim 90\%$ までは強度に差異はあまりないが  $D_{ri}=90\%$ を超えた付近から強度が急増している。図4に  $D_{ri}=50, 70\%, \sigma'_c=100\text{kPa}$ における Iwakuni Masado (Fc=11%)と P.I.Masado (Fc=13%)液状化強度曲線を示す。図より、P.I.Masadoの方が、高い強度を示しているが、これはP.I.Masadoの方が圧密後の乾燥密度が高かったためであると考えられる。図5  $D_{ri}=50, 70\%, \sigma'_c=100\text{kPa}$ における Iwakuni

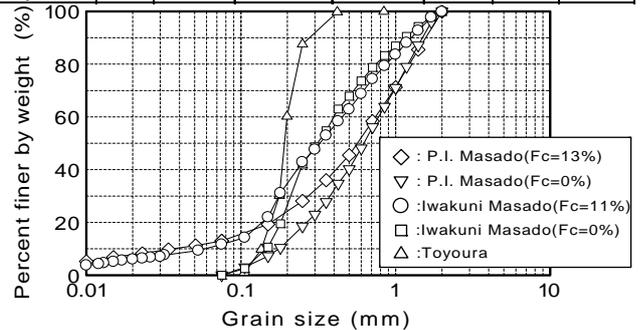


図 1 粒径加積曲線

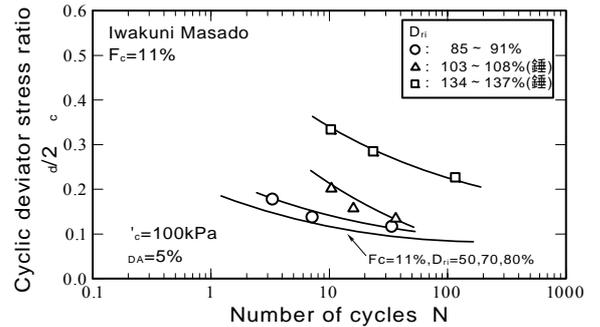


図 2 Iwakuni Masado 液状化強度

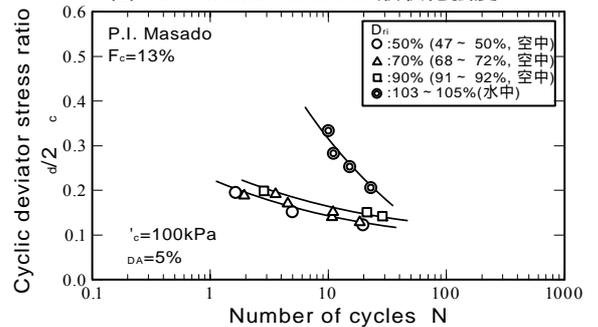


図 3 P.I.Masado 液状化強度

Masado (Fc=0%) と P.I.Masado (Fc=0%) の繰返しせん断強度の比較を行った結果を示す。両まさ土から細粒分を除去した試料については液状化強度に違いはさほど見られない。これは両者の圧密後の乾燥密度がほとんど等しかったためと考えられる。

#### 4. 細粒分含有率 5%以上のまさ土の新しい最大・最小密度試験の提案

相対密度を決定する上での最大・最小密度試験は JIS によって定められている。しかし細粒分 5%以上の砂の最大・最小密度は測定方法に定まった規格がない。実際、従来の砂の規定では、P.I.Masado (Fc=13%) と Iwakuni Masado (Fc=11%) の両者とも初期相対密度が 100% を越えた供試体も存在している。細粒分を含むまさ土は浸水によるコラプス沈下が起きるので乾燥状態での最大・最小密度で相対密度を定義するのではなく、湿潤状態での最大・最小密度で相対密度を定義する必要があると思われる。今回 JIS 法で得られた最大・最小密度と比較するために乾燥試料で内径 10cm、高さ 12.8cm の中型モールドを用いた方法 (ASTM 法<sup>3)</sup> と略称)、湿潤試料で内径 10cm、高さ 12.8cm の中型モールドを用いた方法 (中型モールド法と略称)、湿潤試料で内径 5cm、高さ 10cm の三軸モールドを用いた方法 (提案法と略称) の 3 種類の方法で最大・最小密度試験を行った。はじめに、最小密度試験について述べる。提案法では 10 等分した試料を層ごとにモールドの側面を 40 回打撃して締固める。使用した錘は 2.3kg であり、錘の重さは ASTM 法との体積の比で決定した。図 6 に Iwakuni Masado (Fc=11%)、P.I.Masado (Fc=13%) の繰返し回数 20 回時の強度比  $R_{20}$  と初期相対密度  $D_{ri}$  の関係を示す。Toyoura では約  $D_{ri}=60\%$  から急激に液状化強度が増加しているのに対し、Iwakuni Masado は約  $D_{ri}=100\%$  を超えると液状化強度が増加し、P.I.Masado は約  $D_{ri}=80\%$  を超えると液状化強度が増加している。ここでは乾燥状態での最大・最小密度を用いて相対密度を定義している。図 7 は提案法で得られた最大・最小間隙比をまさ土に適用し、新しい相対密度  $D_{ri}^*$  で定義した繰返し回数 20 回時の強度比  $R_{20}$  と初期相対密度  $D_{ri}^*$  の関係を示すものである。図のように、2 種類のまさ土、Toyoura とともに、繰返しせん断強度が相対密度  $D_{ri}^*$  と一定な方向の関係として示されることが明らかとなった。図中、初期相対密度約  $D_{ri}^*=0\sim40\%$  ではほとんど強度に変化はなく、初期相対密度約  $D_{ri}^*=40\%$  を超えると液状化強度が増加する傾向にあることが認められる。

**5. まとめ** 1. 細粒分を含んだまさ土は水浸により、鉛直および直径方向に体積収縮が確認された。また Iwakuni Masado のほうが P.I.Masado よりコラプス沈下量が大きく密度増加が大きかった。2. 細粒分含有率 5%以上のまさ土の最大・最小密度試験について新しい方法を提案した。3. 細粒分を含んだまさ土も  $D_{ri}^*$  で定義することで、他の材料も含めて液状化強度と相対密度の関係に一義の関係が認められた。

**参考文献** 1) 金佑泰, 兵動正幸, 中田幸男: まさ土の繰返しせん断特性に及ぼす細粒分の影響, 第 57 回土木学会中国支部研究発表会, -33, pp261-262, 2005.5.

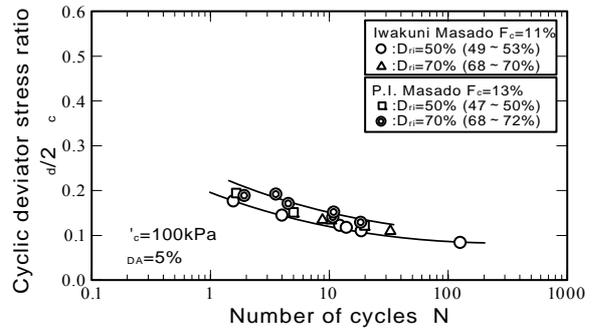


図 4 Iwakuni Masado, P.I.Masado 液状化強度

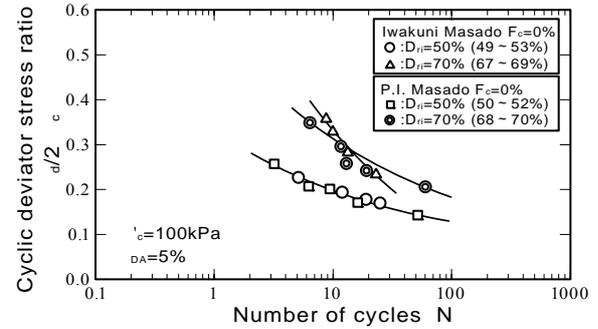


図 5 Iwakuni Masado, P.I.Masado 液状化強度

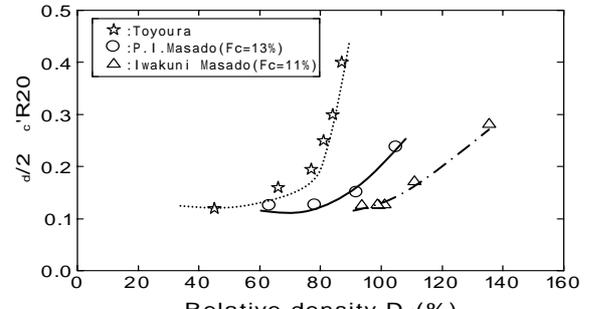


図 6 繰返し回数 20 回時の強度比  $R_{20}$  と初期相対密度  $D_{ri}$  の関係 (JIS 法)

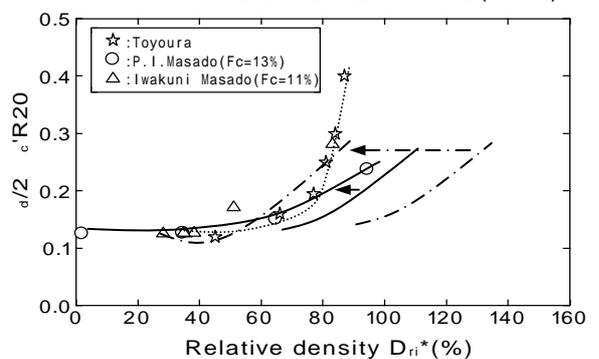


図 7 繰返し回数 20 回時の強度比  $R_{20}$  と初期相対密度  $D_{ri}^*$  の関係 (提案法)