

まさ土の非排水繰返しせん断挙動に及ぼす密度の影響

山口大学大学院 学生会員 ○野田翔兵

山口大学大学院 正会員 兵動正幸

韓国海洋研究院 正会員 金佑泰

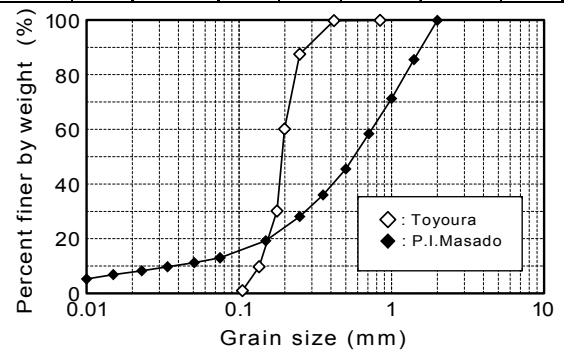
山口大学大学院 正会員 中田幸男 吉本憲正

1. はじめに まさ土は、礫分からシルト分に至る広範囲の粒径から構成されており、適度な破碎性で有することから締固めやすく、地盤材料として多用されてきた。一方で、1995 年の兵庫県南部地震では、六甲山系のまさ土で埋立てられたポートアイランドや六甲アイランドなどの人工島において液状化が発生し、港湾岸壁や水際の構造物が地盤の液状化に伴う大変形により壊滅的被害を受けたという事例もある。本研究では、埋立て地盤等で想定される相対密度において、まさ土の非排水繰返しせん断試験を行い、動的強度の評価を行うこととする。また、初期せん断応力を作用させた非排水繰返しせん断試験も行い同様に評価を行う。

2. 実験概要 実験には、兵庫県神戸市のポートアイランドより採取したまさ土(P.I.Masado)を使用した。表—1 に本実験で使用了試料及び比較のため豊浦砂の物理的性質を示す。JIS により定められている最大・最小密度試験は、細粒分が5%以上含まれている場合には適用外とされているが、定まった規格がなく、まさ土が非粘性であるため、便宜上 JIS 法により求めた相対密度を用いている。図—1は試料の粒径加積曲線である。試料の粒径は、供試体寸法が直径 5cm、高さ 10cm のため 2mm ふるいを通したものをを用いた。供試体作成方法は、埋立て地盤を想定し水中落下法で行い、モールドの側面に木槌で打撃を与えることで密度を調整した。また、上部に 2.4kg の錘を載せ打撃を与える水中落下法において、さらに高い相対密度の供試体を作成した。これらの方法により作成した供試体に、0.1Hz の正弦波を与え、有効拘束圧 $\sigma'_c=100\text{kPa}$ の条件で初期せん断応力を作用させた繰返しせん断試験を行った。

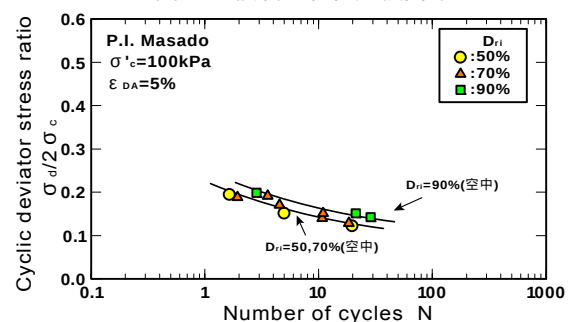
表—1 試料の物理的性質

Sample	Fc(%)	$\rho_s(\text{g/cm}^3)$	e_{max}	e_{min}	e	$d_{50}(\text{mm})$	Uc
P.I.Masado	13	2.624	0.967	0.491	0.476	0.575	20.81
Toyoura	0	2.64	0.973	0.635	0.338	0.200	1.33

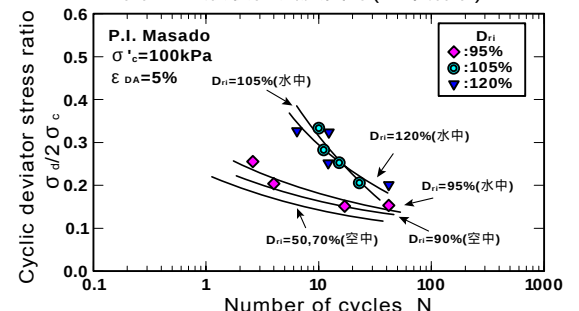


図—1 試料の粒径加積曲線

3. 非排水繰返しせん断試験 図—2に Kimら(2008)によって得られた、空中落下法により作成した P.I.Masado の液状化強度曲線を示す¹⁾。空中落下法で作成した初期相対密度 $D_{ri}=50, 70\%$ においては、ほとんど強度の違いがなく、 $D_{ri}=90\%$ に至ってもわずかな強度増加しか認められない。図—3は、水中落下法により作成した P.I.Masado の液状化強度曲線である。水中落下法においては、一番緩いものでも初期相対密度が $D_{ri}=95\%$ 程度であり、錘を載せた供試体作成法では 120%もの初期相対密度が得られている。強度については、水中落下法の初期相対密度 95%のものに関しては空中落下法のものと比較すると若干の増加傾向があるが、相対密度が 95%から 105%に増加すると強度が大きく増加している。これより、相対密度が 100%を超えると強度が著しく増加するものと考えられる。しかし、相対密度 105%、120%を比較すると、大きな強度の変化がないため、それ以上の強度の増加は少ないことが見て取れる。



図—2 液状化強度曲線(空中落下)



図—3 液状化強度曲線(水中落下・錘)

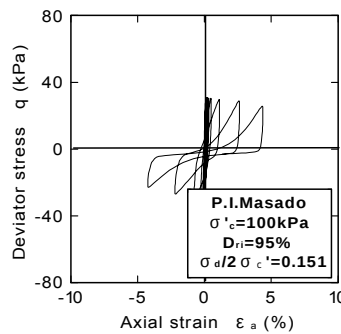
4. 初期せん断応力下の非排水せん断試験 次に、初期せん断応力を作用させ繰返しせん断を行った結果を示す。まず、図—4に初

期相対密度 $D_{ri}=95\%$ における初期せん断応力比 $\sigma_s/2\sigma_c'=0, 0.3$ を作用させたときの代表的な軸差応力・軸ひずみ関係を示す。図—4(a)に示す初期せん断応力比 $\sigma_s/2\sigma_c'=0$ の等方圧密状態では、伸張側と圧縮側の両側に大きなひずみが生じており、異方性のないひずみの発達が見られる。一方、図—4(b)に示す初期せん断応力比 $\sigma_s/2\sigma_c'=0.3$ の大きな初期せん断応力比を作用させたものについては、圧縮側にひずみが漸増して行き、最終的に大きな残留ひずみを蓄積して破壊に至っている。また、有効応力経路についても、初期せん断応力比 $\sigma_s/2\sigma_c'=0$ では比較的少ない回数で有効応力が 0 となる完全液状化に至っているが、 $\sigma_s/2\sigma_c'=0.3$ については過剰間隙水圧の発生により有効応力は減少しているものの、完全液状化には至っていない。以上のように、初期せん断応力下での繰返しせん断による破壊は必ずしも完全液状化には至らず、ひずみも初期せん断応力の作用する方向に残留する形で発達していく。そこで、初期せん断応力下での繰返しせん断による破壊をピーク軸ひずみが $\varepsilon_p=5\%$ に至ったときと定義した。この定義を基に、図—5に繰返し応力比 $\sigma_d/2\sigma_c'$ と繰返し回数 N の関係を相対密度および初期せん断応力比毎に示す。繰返しせん断強度は、初期せん断応力の増加に伴い大きく上昇している様子が認められる。また、相対密度の増加によっても強度が増加する傾向にあることが分かる。図—6は、繰返しせん断強度に及ぼす初期せん断応力の影響を見るため、繰返し回数 20 回における繰返しせん断応力比 $\sigma_d/2\sigma_c'$ と初期せん断応力比 $\sigma_s/2\sigma_c'$ の関係でまとめたものである。緩いまさ土については若干の強度上昇があるが、応力反転のない領域では強度が大きく減少しているのが見て取れる。水中落下により作成したものは、初期せん断応力比 0.3 を作用させても強度の低下は見られなかった。

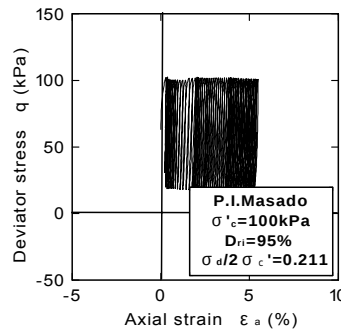
5. まとめ 初期せん断応力を作用させないまさ土については、同じ水中落下法においても初期相対密度が 95%と 105%とで強度に大きな違いが生じることが認められ、埋立て地盤等においては、サンドコンパクションパイル工法等により密度の増加を図ることで、液状化強度の大きな増加が見込めることが分かった。初期せん断応力を作用させたまさ土については、水中落下法で作成すると初期せん断応力の増加に伴い動的強度も増加し、緩いまさ土にみられるような強度の低下は見られなかった。

参考文献 1)Kim Wootae, 金和寛, 兵動正幸, 中田幸男, 吉本憲正: まさ土の相対密度と非排水繰返しせん断強度に及ぼす細粒分の影響, 地盤工学研究発表会平成 20 年度発表講演集, 2008。

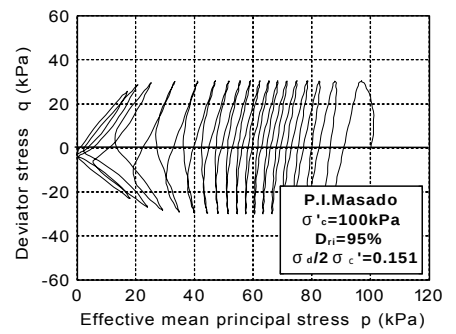
2)兵動正幸, 荒牧憲隆, 徳原裕輝, 菊池慎二, 中田幸男, 村田秀一: 六甲アイランド埋立てまさ土の非排水繰返しせん断特性, 土木学会論文集, No.582/ -41, pp.87-97, 1997。



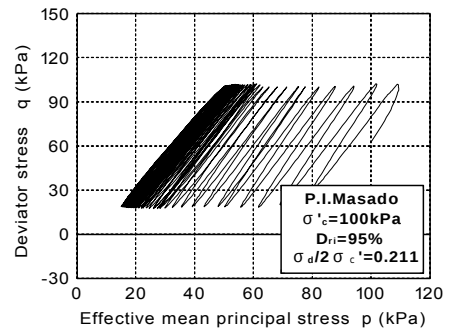
(a) $\sigma_s/2\sigma_c'=0$



(b) $\sigma_s/2\sigma_c'=0.3$

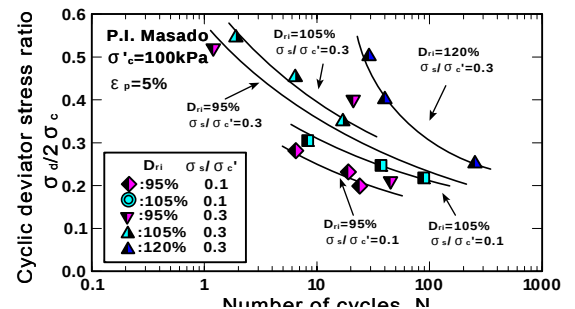


(a) $\sigma_s/2\sigma_c'=0$

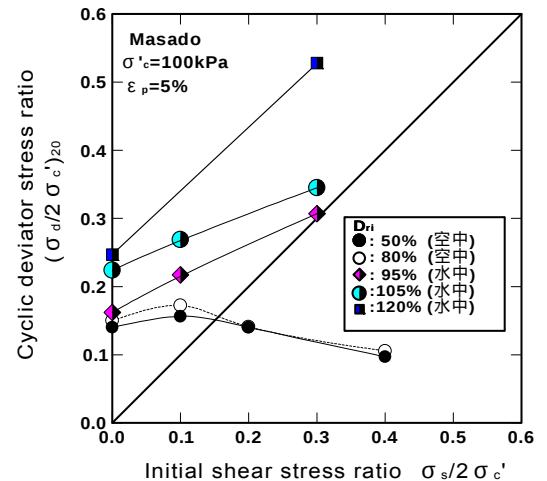


(b) $\sigma_s/2\sigma_c'=0.3$

図—4 代表的な軸差応力・軸ひずみ関係 図—5 代表的な有効応力経路



図—5 繰返し応力比と繰返し回数関係



図—6 繰返しせん断応力比 $(\sigma_d/2\sigma_c')_{20}$ —初期せん断応力比 $\sigma_s/2\sigma_c'$ 関係