

まさ土の繰返しせん断特性におよぼす細粒分の影響

山口大学大学院 学生会員○金佑泰

山口大学大学院 正会員 兵動正幸

山口大学工学部 正会員 中田幸男、吉本憲正

東急建設 正会員 長井健作

1. はじめに

砂質土地盤において液状化現象が確認されてから、粒子の形状が滑らかで粒子自体が比較的堅固な砂を対象とした液状化に関する基礎的研究が精力的に行われ、そのメカニズムがほぼ明らかになりつつある。また、その研究成果をふまえ液状化予測手法や対策工法、設計基準などが提案されてきた。そして、近年の地震では粒子が脆弱で細粒分を多く含むまさ土地盤においても兵庫県南部地震などで液状化し構造物に多大な被害を与えた。まさ土は粒子が脆弱で破碎し易い材料であることから破碎性土と呼ばれ、かつ花崗岩が風化することで形成された残積土であるため地域によって一次性質である風化度、鉱物組成などが大きく異なる。しかし、その力学特性などを一義的に把握することが重要である。本研究では一次性質の異なるまさ土を用い、2 次性質である細粒分含有率、拘束圧などを変化させ、繰返しせん断特性に及ぼす影響について検討を行った。

表-1 試料の物理的性質

Sample	Fc(%)	ρ_s (g/cm ³)	e_{max}	e_{min}	d_{50} (mm)	Uc	Li	Rc	Ar
P.I.masado	13	2.624	0.967	0.493	0.575	20.81	0.932	1.218	0.514
	0	2.618	0.967	0.512	0.654	4.67	0.716	1.248	1.507
Shimonoseki Masado	10	2.664	1.144	0.583	0.561	9.91	2.097	1.500	1.647
	0	2.649	1.263	0.722	0.641	3.69	1.762	1.335	1.517
Toyoura	0	2.640	0.973	0.635	0.200	1.33	0.327	1.203	1.454
Aio sand	0	2.633	0.985	0.582	0.400	2.74		1.274	1.557

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 P.I.Masado、山口県下関市で採取した Shimonoseki Masado(以下 Shimonoseki)の 2 種類のまさ土を用いて繰返し三軸実験を行った。両試料は、2mm ふるいを通過したもので、水ふるいによって 0.075mm 以下を除去したものを用いた。三軸供試体は、空中落下漏斗法によりモールド内に試料を入れ、側方を打撃する事で所定の初期相対密度 D_{ri} になるように作製した。その後、炭酸ガス、脱気水を通し飽和させ、所定の拘束圧にて圧密後、非排水条件で繰返し三軸試験を行った。表-1 と図-1 に用いた試料の物理的性質と粒経加積曲線を示す。P.I.Masado は 13%、Shimonoseki は 10%と細粒分を多く含んでいる。細粒分を含む Masado は、均等係数も大きく粒度が良いことがわかる。風化度を示す強熱減量は、Shimonoseki が P.I.Masado の約 2 倍となり風化が進んでいることがわかる。粒子の形状を表すパラメータの真円度 R_c と縦横比 Ar は、Shimonoseki が最も大きく粒子の形状角張り、扁平であることがわかる。

3. 排水繰返しせん断特性

ここでは、P.I.Masado、Shimonoseki について細粒分含有率、密度、拘束圧を変化させ非排水繰返しせん断試験を行い、それぞれの影響を調べた。図-2 に P.I.Masado($F_c=13\%$)の $\sigma'_c=100\text{kPa}$ の密度比較の液状化強度曲線を示す。図中に石英質の堅固な Toyoura sand($D_{ri}=50\%$)の強度を示す。 $D_{ri}=50, 70\%$ と密度増加しても強度の増加はほとんどなく、 $D_{ri}=90\%$ でも若干

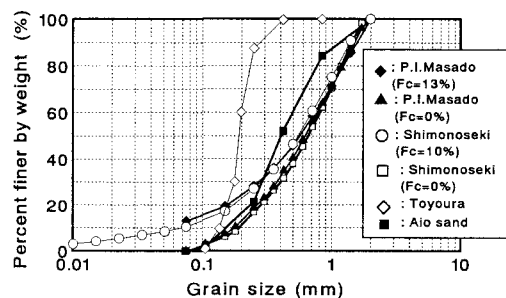
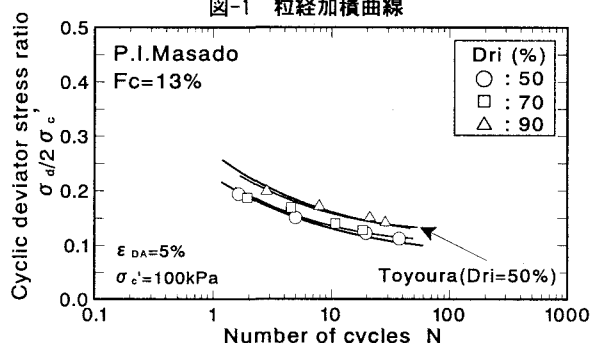


図-1 粒経加積曲線

図-2 P.I. Masado 液状化強度(密度比較, $F_c=13\%$)

の強度増加しか発揮されなかった。圧密後の相対密度はそれぞれ $D_{rc}=80, 90, 100\%$ 後であったが、90%で Toyoura の強度より少し高くなった程度で P.I.Masado の密度増加の効果は非常に小さいことがわかった。Shimonoseki については、P.I.Masado より高い強度を示すが、Shimonoseki も密度増加による強度の増加はほとんどなかった。次に図-3 に P.I.Masado の $F_c=0\%$ の初期相対密度の違いによる液状化強度を示す。細粒分を除去する事で密度の増加による強度は、著しく増加した。相対密度を 50 から 90% に増加させる事で、繰返し回数 20 回時の強度は、約 2 倍となった。図-4 に P.I.Masado、 $F_c=0\%$ の $D_{ri}=70\%$ の拘束圧による液状化強度の比較を示す。 $\sigma'_c=50\text{kPa}$ の強度が最も高い強度を示した。そして、拘束圧の増加に伴い強度は低下し、20 回時の強度で比べると $\sigma'_c=300\text{kPa}$ は $\sigma'_c=50\text{kPa}$ の 7 割程度の強さに低下している。これは、拘束圧の増加に伴い粒子の角張りなどが破碎される事で粒子の噛み合いが減少し、高い拘束圧でのせん断応力に抵抗する力が減少し強度が低下したと考えられる。また、P.I.Masado の繰返しせん断後の相対破碎量 Br を図-5 に示す。各細粒分含有率でみると拘束圧の増加に伴いどの相対密度とも相対破碎量が増加している。破碎量の増加に伴い大きな応力でのせん断に抵抗できる力が減少する事で拘束圧の増加に伴う強度の低下が促されたと考えられる。図-6 に繰返し回数 20 回時の液状化応力比 $(\sigma_d/2\sigma'_c)_{N=20}$ と排水せん断試験より得られた圧密後の間隙比 e_c と限界間隙比 e_{cr} の差 (e_c-e_{cr}) の関係を示す。 (e_c-e_{cr}) の値が正の場合、その土は限界間隙比より緩い状態にあり排水せん断試験では収縮傾向、もしくはダイレイタンスの小さいもので、負の場合は密な状態にあり排水せん断試験ではダイレイタンスが顕著に現れ明確なピークが現れるものとなる。 (e_c-e_{cr}) が正の値となるものは、その値が大きくなっても液状化強度はほぼ一定の値を示し、その試料の液状化強度の下限値となる。しかし、負の値となり (e_c-e_{cr}) がより小さいもの、つまりダイレイタンスがより顕著に現れるものは高い液状化強度を発揮する。以上より $(e_c-e_{cr})=0$ を境界に一義的な関係が得られた。

4. まとめ

1. P.I.Masado は、細粒土を除去する事で強度の増加が顕著に現れた。しかし、拘束圧の増加に伴って粒子破碎が大きくなることで強度は低下する傾向が現れた。
2. 非排水繰返し試験後の相対破碎量は Shimonoseki の方が大きくなった。これは、風化度の指標である強熱減量が下関の方が大きかったためである。
3. 圧密後の間隙比 e_c と限界間隙比 e_{cr} の差 (e_c-e_{cr}) 液状化強度の間に興味深い関係が認められた。

【参考文献】

- 1) 兵動正幸, 荒牧憲隆, 徳原裕輝ら: 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/III-41, pp87-98, 1997.12
- 2) 風間基樹, 加賀谷俊和, 柳澤栄司: まさ土の液状化抵抗の特殊性, 土木学会論文集, No. 645/III-50, pp153-166, 2000.3

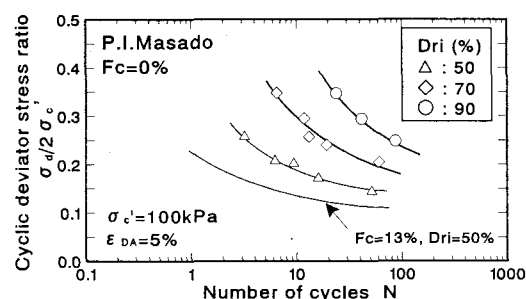


図-3 P.I. Masado 液状化強度 (密度比較, $F_c=0\%$)

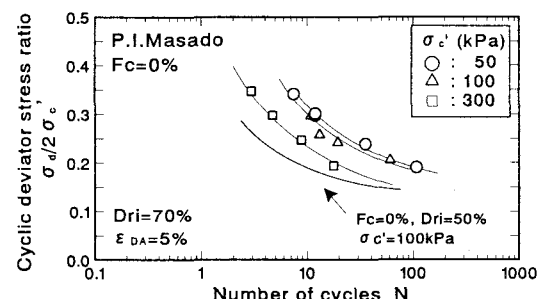


図-4 P.I. Masado 液状化強度 (拘束圧比較, $F_c=0\%$)

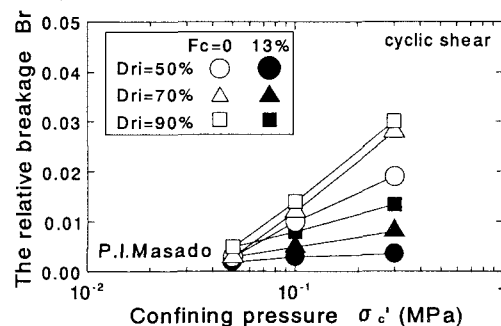


図-5 繰返しせん断後の相対破碎量

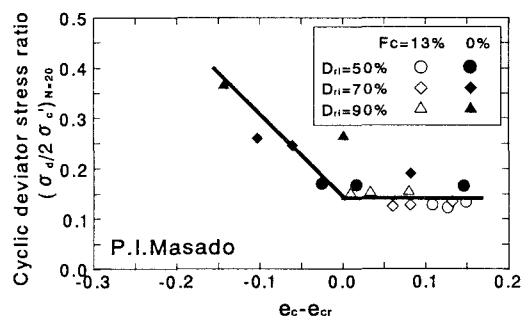


図-6 繰返し回数 20 回時の液状化強度と (e_c-e_{cr}) の関係