

西沖の山埋立地盤の動的強度

山口大学工学部 正 会 員 山本 哲朗
 宇部工業高等専門学校 正 会 員 大原 資生
 山口大学大学院 学生会員 ○堀淵 幸司

1. まえがき 宇部市西沖の山地区の埋立地盤はシルトあるいはシルト質砂から成り、地下水位は深さ1m内外のところにある。この地盤のN値は最大6であり、自然含水比は液性限界よりかなり高く軟弱である。1991年10月28日には当地区の近傍に震源をもち、その地域に起こる地震としては規模が大きい 周防灘地震 (M=5.9) が発生し、震源近くの軟弱地盤にはかなり大きい地震動が発生して地割れが生じたことが確認されている¹⁾。今後、M=6級の地震が発生した際には当埋立地盤に液状化あるいはそれに似た破壊が発生することが懸念されたので、本文ではとくに埋立シルト質砂地盤の繰返しせん断強さを求め、その結果についてのべる。

2. シルト質砂の性質 ボーリングコアとして採取された深さ6.4m～10.8m間のシルト質砂を炉乾燥した後、網目2mmのふるい通過分を実験試料として用いた。その諸性質は表-1に示す。表に示すように、このシルト質砂の粘土分含有率 F_{clay} は13.5%であり、著者らが先の研究²⁾で明らかにした砂の液状化破壊が発生しない限界である $F_{clay}=15\%$ にきわめて近いことがこの土の特徴である。またシルト質砂には微粒子の石炭ガラが多量に含まれているので土粒子の比重が2.186であって通常のシルト質砂に比べてかなり小さい。

3. 実験方法 実験には復働式エアシリンダーを用いた応力制御型の繰返し三軸試験機³⁾が用いられた。

実験は次のようにして行った。2時間ほど湯煎煮沸した試料を水中落下法によってゴムスリーブ内に詰めて飽和供試体を作製した。その直径は5cm、高さは約12cmで、相対密度 D_r は平均で74.1%である。

次に供試体に側圧 $\sigma'_{30}=98\text{kPa}$ を作用させて非排水状態で繰返しせん断実験を行った。繰返し軸差応力 σ_a は振幅は一定とし、周期は2秒とした。供試体が液状化に似た破壊を生じた後、圧密排水を行った供試体に対して最初と同じ軸差応力を用いてもう一度非排水繰返しせん断実験を行った。圧密時間は30分から1日まで数とおりに変えることで圧密時間が一度破壊した後の供試体の繰返しせん断強さに与える影響を調べてみた。

4. 実験結果および考察 図-1はそれぞれ初回および二回目の繰返しせん断破壊を生じるまでの繰返し回数 $(n_L)_1$ 、 $(n_L)_2$ と応力比 $\sigma_a/2\sigma'_{30}$ の関係を示す。初回の結果は○印で、二回目は●印で示す。同図には豊浦砂の結果も示す。ゆるい砂と違ってシルト質砂ではせん断時には軸ひずみ、間隙水圧は徐々に増加して、ある繰返し回数の時にひずみが急増することはない、また破壊後も間隙水圧は決して側圧に等しくなることはない。これはシルト質砂には粘土分が13.5%含まれているので、間隙水圧がかなり大きくなっても砂の場合のように土粒子がバラバラとなって水中に浮遊することがないためである。このようにシルト質砂は砂の液状化に似た破壊が生じるが、ここでは軸ひずみ両振幅 ε_{10} が5%に達した時をもって破壊が生じたと見做した。初回の破壊時の間隙水圧比は0.95～0.97の範囲にあった。

図-2(a)、(b)はそれぞれ初回の破壊後の圧密排水によって生じた供試体の体積ひずみ v_v 、圧密排水後の相対密度 D_r と圧密時間 t の関係を示す。両図からわ

表-1 試料の性質

Gs	2.186
Uc	51.7
D ₅₀ (mm)	0.089
D _{max} (mm)	2.00
WL (%)	38.9
Wp (%)	NP
I _f	9.9
e _{max}	1.538
e _{min}	0.836
F _{clay} (%)	13.5
FC (%)	40.5
C _{cu} (kPa)	32.3
ϕ_{cu} (°)	34.8

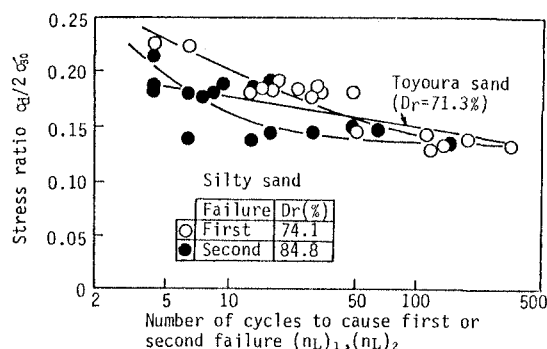


図-1 応力比と破壊までの繰返し回数の関係

かるように v および D_r は実験範囲の応力比および圧密時間には影響を受けず、 v は3.2～4.1%の範囲に、 D_r は82～87%の範囲にある。

図-1、図-2(b)から初回の破壊後に供試体の密度が増加しても二回目の破壊を生じる応力比は初回よりも小さいことがわかる。たとえば $(n_L)_1=(n_L)_2=20$ の場合には初回の破壊を生じる応力比は0.18であり、二回目のそれは0.15である。このように初回に比べて二回目の繰返し強さが小さくなるのは初回の破壊時に供試体に生じた破壊面がその後の圧密排水によって完全に消失せずに、その部分が弱くなり、二回目の破壊が容易に生じると考えられる。これに対して砂の場合には初回の液状化後の排水による密度増によって二回目は液状化が生じ難いという結果が得られている⁴⁾。また図-1から $(n_L)_1 \leq 50$ の場合にはシルト質砂の応力比は豊浦砂よりもやや大きい、 $(n_L)_1 > 50$ 回では両者の関係は逆であり、シルト質砂の繰返しせん断強さは砂の場合とそれほど差異はないといえる。

以上のべたように、二回目の破壊は初回よりも早く生じるが、その度合を表す指標 $(n_L)_2/(n_L)_1$ を用い、これと初回の破壊後の圧密排水後に供試体に生じた残留軸ひずみ ε_{1r} の関係を調べた結果が図-3に示されている。この図にみられるように、いずれの結果も $(n_L)_2/(n_L)_1 < 1.0$ であり、二回目の破壊のポテンシャルは初回よりかなり大きいことがわかる。また ε_{1r} が圧縮側あるいは引張り側のいずれであっても、 ε_{1r} が大きいほど二回目の破壊のポテンシャルは増加することがわかる。なお、二回目の繰返しせん断時には残留ひずみが残った側と反対側に変形が生じ、ひずみ振幅の中心は最終的には残留ひずみがゼロの状態に漸近するようである。砂の場合には初回の液状化後に残留ひずみが生じた時には再液状化ポテンシャルは初回に比べてかなり大きく、一方残留ひずみが生じない時には再液状化ポテンシャルは小さいという報告がある⁵⁾。

5. まとめ 西沖の山埋立地盤を構成するシルト質砂の繰返しせん断強さを実験的に求めてみた。その結果、シルト質砂の繰返しせん断強さは豊浦砂とほぼ同じであること、および一度破壊した後の圧密排水で密度が増加するにもかかわらず、シルト質砂の二度目の破壊は初回よりも容易に生じることがわかった。

参考文献 1) 山本ら：1991年周防灘地震(M=5.9)について、地盤と建設、Vol.9、No.1、1992 2) 大原ら：粘土を含む砂の液化について、山口大学工学部研究報告、Vol.24、No.3、1974 3) S. Ōhara and T. Yamamoto: A Practical Method for Obtaining Correction Factor of Liquefaction Resistance for Membrane Penetration, Soils and Foundations, Vol.31, No.2, 1991 4) 大原・山本：振動台による飽和砂の再液状化特性に関する実験的研究、土質工学会論文報告集、Vol.22、No.2、1982 5) 松岡ら：粒子構造の変化に注目した再液状化現象の解析、第20回土質工学研究発表会講演集、Vol.1、1985

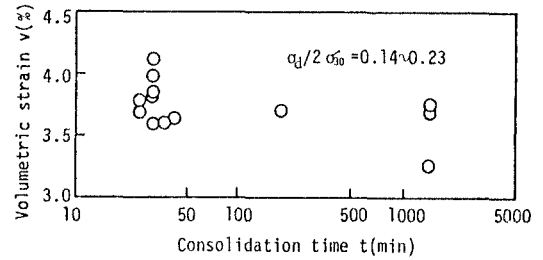


図-2(a) 初回の破壊後の体積ひずみと圧密時間の関係

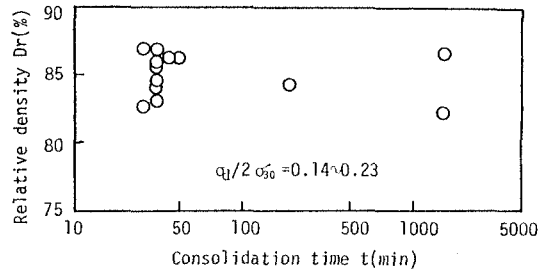


図-2(b) 初回の破壊後の相対密度と圧密時間の関係

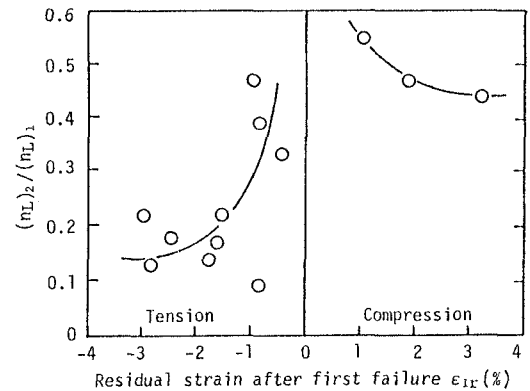


図-3 $(n_L)_2/(n_L)_1$ と ε_{1r} の関係