

九州大学工学部	正 員	山内豊隆
同	学生員	豊田孝節
同	同	落合英彦
同	同	村田秀一

1. まえがき

この実験的研究は、飽和したシラスのようないりめな土の動的繰返し荷重を受ける場合の挙動、とくに側圧水圧の変化を明らかにするもので、これによって一般の飽和土の動的性質を説明しようとするばかりでなく、とくに土のようないりめな土の挙動の問題の解決に資する。その目的として行つたものである。

(a) シラス土質に対する土のようないりめな土の動的繰返し荷重を受ける場合、新島地震におけるような液化現象が起きるのかどうか。あるいは普通の砂土に比べて起きやすいのか、または起きにくいのか。

(b) 一般の動的繰返し荷重試験とある標準的な試験による土の挙動、普通の砂土に比べてかなり低いのは何故に起るのか。また土質が硬い場合、シラス土のようないりめな土の挙動と異なるのか。

この実験は供試体に対して特別の繰返し軸載荷試験装置を用いて行つた。だが、この装置は軸圧荷重のさいに自動的に側圧が同時に増加されるものと從來に付いた土の挙動と持てこたへる。

1. ミニ軸受
2. 供試体
3. プル・ヒ・アリア
4. シヤルゲン
5. 軸方向加圧シリンダ
6. 圧力ポンプ
7. ソレノイドバルブ
8. 圧力計
9. 調圧弁
10. 側圧供給槽
11. 恒圧装置
12. 自動各種液体測定機
13. 貯水槽
14. 電圧リレー
15. 零位指示器
16. 静的自動圧力測定機
17. 水銀マノメータ
18. 動的側圧水圧用圧力計
19. ストレイメータ
20. 消油機
21. 圧力指示器

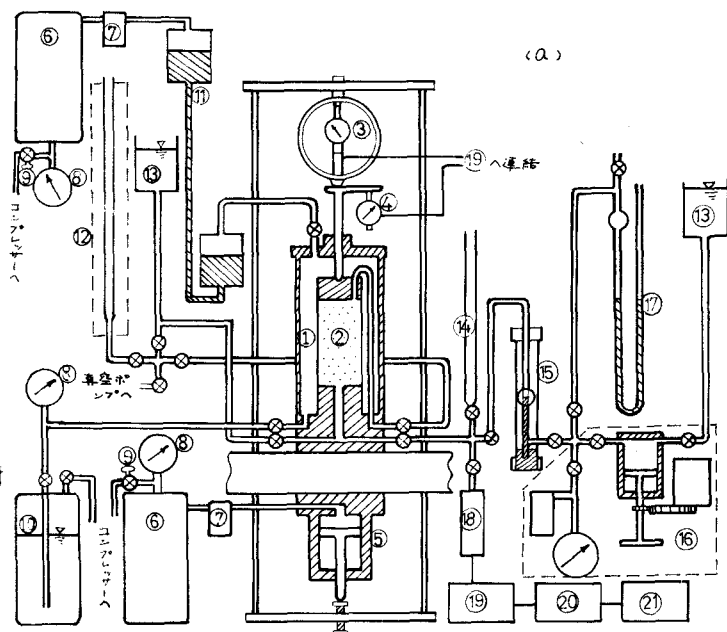
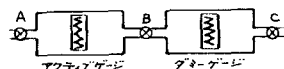


図-1 繰返し軸圧縮試験装置系統図

2. 繰返し三軸圧縮試験装置

本機は圧縮空気を圧力源として三軸室内の供試体に仕込む同期で調節可能な軸荷重及び側圧を動的に繰返し載荷試験を行ひ、供試体のヒズミ及び間ゲキ水圧を測定するものである(図-1(a))。本機は動的な排水条件、静的排水及び非排水試験と全て自動的に測定できるものである。繰返し載荷試験において拘束圧は恒圧装置⑪により除荷時拘束圧が保持され、繰返しの拘束圧はこの上部水銀槽に接続するシリンドーに空気圧を加えることにより与えられる。軸荷重は三軸室下部の圧力シリンドー⑤によって荷重をくも通して試料に加えられる。圧力シリンドーへの空気圧の送入、両枚は調節弁⑨を備えた蓄圧槽⑥に貯えられた一定圧力をソレノイドバルブの両用で制御することによって行はる。

間ゲキ水圧の測定は図-1(b)に示す圧力計⑬により測定される。また弁⑤、⑨と内い弁⑧を両枚し、供試体へ連絡する。間ゲキ水圧の発生によるチューブA、Bの膨張をアクティブゲージで検り出さる。ゲージは温度変化によるストレインゲージの補正を行はるものである。この本機は九大式全自動繰返し圧縮試験装置と仮称する(丸東製作所製)。

3. 試料及び実験方法

底見島産のミラス及び九州大学構内砂の物理的性質を表-1に示す通りであるが、ミラスは4.8 mmフルイ通過分、砂は2.0 mmフルイ通過分の試料を実験に用いた。

表-1

試料	形状	比重	有効径(mm)	均等係数	e_{max}	e_{min}	透水係数(cm/sec)
ミラス	針状	2.41	0.03	14.4	1.54	0.86	7.5×10^{-4} ($e=0.94$)
九大砂	まるい	2.66	0.15	3.3	0.84	0.56	1.2×10^{-2} ($e=0.77$)

供試体の大きさは直径50mm高さ12.5cmであり、成型後飽和し、除荷時拘束圧を圧縮後、非排水状態で軸差圧力のみならず側圧をも同時に繰返し荷重増加を行ひ、載荷時及び除荷時のヒズミ及び間ゲキ水圧を自記装置により記録した(図-2)。図-2において除荷時拘束圧 σ_{u1} は 0.5 kg/cm^2 と 1.0 kg/cm^2 、繰返し側圧 $\sigma_2 = 1.5 \text{ kg/cm}^2$ 、繰返し軸差圧($\sigma_1 - \sigma_2$)はミラスでは 1.0 kg/cm^2 、砂では 0.5 kg/cm^2 (この 1.0 と 0.5 kg/cm^2 は $\sigma_2 = 0.5 \text{ kg/cm}^2$ の時の静的強度の30%にあたる)であり、繰返し周期は6秒(載荷除荷時間比=3:3)とした。

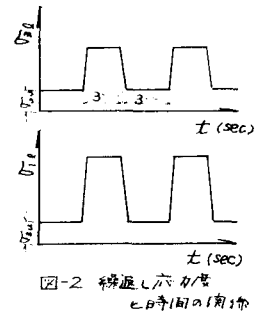


図-2 繰返し圧力と時間との関係

4. 試験結果とその考察

除荷時拘束圧 0.5 kg/cm^2 、 1.0 kg/cm^2 で行はる試験結果からとりまとめた繰返し載荷回数(対数目盛)と載荷時、除荷時の間ゲキ水圧の関係(図-3(a), (b))によると、ヒズミの増はは約5%付近までごく緩やかであるが、その後は急激に増大し破壊に至る。この5%付近のヒズミに達する以前から除荷時及び載荷時の間ゲキ水圧は漸次増大し、ヒズミ5%付近で除荷時の間ゲキ水圧はちょうど除荷時拘束圧に等しくなる。しかし載荷時の間ゲキ水圧はさうに急激に上昇をとり、それにより供試体はほぼ瞬時的に液化状態となる。

除荷時の間ゲキ水圧が除荷時拘束圧 σ_{u1} に等しくなつた時は破壊点とし、その時の繰返し載荷回数と強度の相対強度との関係をとりとめたのが図-4である。

(1) 液状化との関係

図-4によるとミラス、九大砂ともに相対密度の増加に伴い、破壊するまでの繰返し載荷回数は増加するが、砂においては相対密度50~60%の中位の密度状態においては、繰返し載荷回数が增大してもヒズミはほとんど進行せず、側ゲキ水圧は載荷時、除荷時ともにいちどわずかに上昇するが、その後減少しようとする傾向を示し安定した状態になる(図-3(b))。一方、ミラスにおいては相対密度80~100%の非常に密な状態でも、普通の砂のような安定した状態になることなく側ゲキ水圧はつねに上昇し、液状化に至る。このことは普通の砂とはある相対密度以上に締め固めると液状化に対しては安全であるが、ミラスでは非常に大きな相対密度まで締め固めても液状化するものであることを示す。すなわちミラスは砂に比べて液状化に対しては危険性が多いといえる。

静的試験においては拘束圧力が大きくなると限界側ゲキ比が小さくなり、同じ側ゲキ比であれば拘束圧力の大きい方が側ゲキ水圧が発生しやすく、繰返し荷重に対しても液状化しやすいように考えられるが、本実験のような動的実験から明らかにようにミラス、九大砂ともに同じ側

ゲキ比であれば拘束圧力の大きい方が破壊するまでの繰返し載荷回数ははるかに増大している。これは拘束圧力の大きい方が液状化しにくいことを示している。

(2) 標準貫入試験のN値との関係

鹿児島市内のチュウ積ミラス層における標準貫入試験とプレシオメーター及び梁層載荷試験の結果をみると、そのような静的試験より求めた先端支持力は深さとともに一般に増加しているのに対し、一種の動的試験の結果であるN値はほとんど増加していない。本実験は乱したミラスを取ったものであり、その結果はやはりチュウ積ミラス層へ適用できるであろうと考える。ミラス粒子の形状は針状あるいはガラス質の薄片状であること及びミラスの持つその他の特性のため、最も密な状態でも側

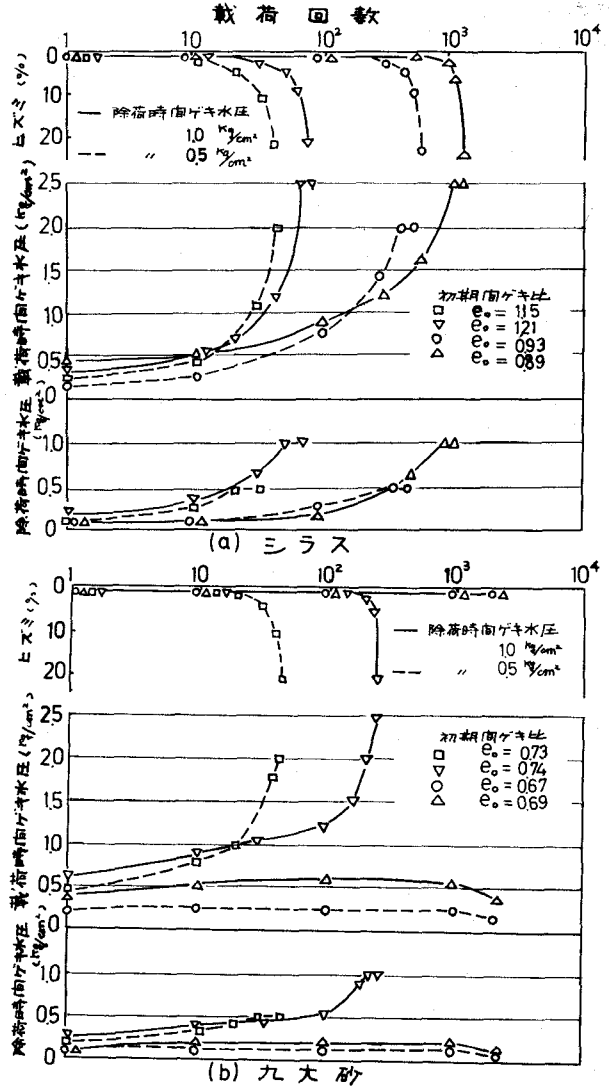


図-3 繰返し載荷回数とヒズミ及び側ゲキ水圧の関係

キ比0.85程度にとどまり、それ以下の間ゲキ比に締の固めることは困難であることもミラスの大きな特徴である。

図-3(a)よりミラスにおいてはいかなる間ゲキ比のもとでも間ゲキ水圧がほとんど降荷時拘束圧に等しい大きさにまで上昇している。このことは普通の砂に比較してミラスは間ゲキ水圧を発生させやすいといえる。その最大の要素は間ゲキ比に比べて異常に小さい透水係数であると考えられる(表-1)。このため最も間ゲキ比の状態においても容易に破壊している。このことはミラスが静的条件下に有する大きな適合せ効果は、急速降圧

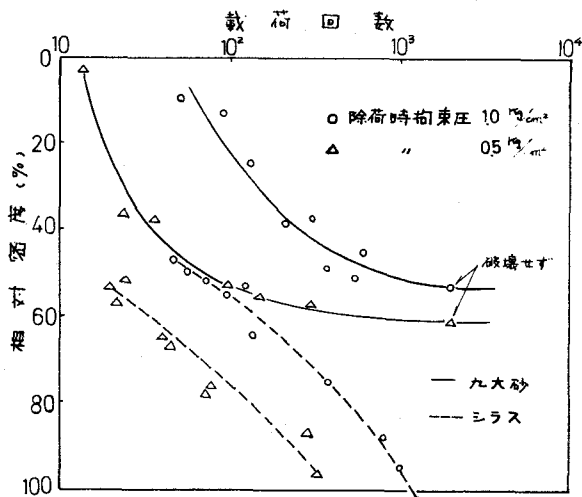


図-4 破壊に至る載荷回数と相対密度の関係

し荷重を受ける場合には間ゲキ水圧の容易な累積上昇により液状状態になり、普通の砂に比べてかなり早く失われる。しかしN値が低くても前述のように静的支持力は期待できる。

5. 結論

以上の実験結果から暫定的につぎのような結論がえられる。

(a) ミラスは普通の砂に比べて動的降圧し荷重のもとで比較的容易に液化する。このことはフェウ積ミラス層の地震時支持力について重要な示唆を与えるばかりでなく、標準貫入試験のような動的な方法による地盤調査の結果の解釈の仕方についても注意があらわされる。すなわち飽和されたフェウ積ミラス地盤は静的には支持力は比較的大きいが、動的降圧し荷重のもとでは液化しやすく、容易に支持力が失われやすい。このことはミラスのみならず、他の砂質火山灰土のフェウ積地盤あるいはその埋立地盤についても同様であろう。

(b) ミラス、普通砂ともに、相対密度が高くなると液化は起きにくく、とくに普通砂では、ある程度以上の相対密度では液化は非常に起きにくく、普通砂ではどの程度の締の固めが可能であるが、ミラスでは不可能である。この結論は間ゲキ比が大きほど液化が容易だといふ Seed (1965 Proc. A.S.C.E.) のものと類似することになる。

(c) ミラス、普通砂とも拘束圧が大きくなるほど液化は起きにくく。このことは Seed の結論と同じである。

附記 本実験は助手三浦哲彦氏の協力に負うところが大きい。