

IV-1

繰返し荷重を受けるシラスの性状について

九州工学部 正員 山内豊隆
同 入学院 主員 O村田秀一

1. まえがき

シラスは自然状態においては、垂直に近い斜面を安定しており、半固結と砂質の岩相を示している。また、乱したものは単なる砂質の粒状体である。その強さ成分は、乱さない状態では地質的固結効果、粒子間の内部摩擦およびシラス粒子の形状の特異性によるインターロッキング効果が、その主なものであり、乱したものは構造が乱され、固結効果や粒子の方向性などによる強さ成分を失うために両状態における工学的性質を異にすると考えられる。シラスを工学的に分類すると (a) 乱したシラス (二次シラス) (b) 乱さないシラス (一次シラス) (c) 軽石 (軽石流) で、おのおの性質がかなり異なるものもある。強度は (a), (b), (c) の順に強くなり、軽石においてはほとんど岩盤に似た挙動を示す。昭和43年2~3月のえびの地震で、繰返しの地震動を受けたため、自然シラス層のガケの崩壊が大規模に起った。このようにシラス層の耐震問題；また九州縦貫道路が南九州のシラス地帯に建設されることになり、道路の基盤の乱したシラス、乱さないシラスの挙動が問題になる。このような問題の究明を行うのが本実験的研究の目的で、あわせてこれらの動的特性、強度特性を明らかにしようとしたものである。第一報として (a) 乱したシラス (b) 乱さないシラスについて報告する。

2. 試料、供試体および実験方法

実験に用いたシラスは鹿児島県国分市において採取したもので、平均落結した密度の高いものであった。その粒度組成はレキ分2%、砂分71%、シルト分23%および粘土分4%である。粒子の形状は破璃(けり)状で、粗粒部分では角が鈍くなっている。表-1 試料の指数的性質
が、細粒になるにしたがって角張った扁平のものとなる。試料の指数的性質も表-1に示してある。

a) 乱した供試体、乱さないシラスで三軸繰返し試験をした後、含水比を自然状態のそれと同じ21%に調整し、径3.5 cm、高さ8.5 cmで、間ゲキ比が0.700になるように三層に空固めて作成する。(これは乱した状態で最も密な状態である。)

b) 乱さない供試体、現位置において、内径3.5 cm、高さ12.0 cmの真鍮製のサンフラーをシラス層に垂直に静かに打ち込み採取する。自然状態での間ゲキ比は約0.600で、含水比21%である。(表-1参照) この間ゲキ比は乱したものの最小値より更に小さい値である。これを乱すことには注意深く、試料抜き取り器でとり出し径3.5 cm、高さ9 cmの供試体を作成する。

乱したシラス、乱さないシラスにそれぞれ、側圧(拘束圧) σ_3 を0.5, 1.0, 1.5 kg/cm^2 の3段階にとり軸差応力 σ_1 をそれぞれ変えて、繰返し載期2秒、載荷除荷時間比1:1として、三軸の連続繰返し載

	乱さないシラス	乱したシラス
土粒子の比重	2.475	
土粒子の均等係数	1.5.5	
見かけの密度	1.83 g/cm^3	1.75 g/cm^3
乾燥密度	1.48 "	1.40 "
含水比	21.0 %	21.0 %
飽和度	86.6 %	76.4 %
最適含水比	23.8 %	
最大乾燥密度	1.40 g/cm^3	
間ゲキ比	0.600	max 1.120 min 0.580

荷試験を行った。

3. 試験結果および考察

図-1 (a), (b) は乱したシラス, 乱さないシラスに側圧 $\sigma_3 = 1.5 \text{ kg/cm}^2$ で繰返し載荷試験を行い, 繰返し応力に対する繰返し載荷回数と全ヒズミ・残留ヒズミとの関係の代表的なものである。図-2 は $\sigma_3 = 0.5 \text{ kg/cm}^2$ のときの同じ結果で, 乱したシラス, 乱さないシラスと対比して示してある。

a) 乱したシラス. 図-1 (a) からわかるように, 載荷回数の進行とともに漸次泥下が進んでいる。また試験後の供試体には全くセシ断面がみられず, 繰返し応力の入るい場合に, 供試体中央付近にふくらみができた程度であった。供試体は人工的に最も密に締固めてはいるが, 繰返し載荷によってさらに硬化現象が起り, 高密度化される。その後, 続けて繰返し載荷を受けると塑性領域に達し, ヒズミの速さ $de/dN \rightarrow \text{const.}$ になる。この点は実験中, 供試体を観察していると明白になる。このように塑性領域に達したと思われる供試体をスケッチしたのが図-1 (a) に示してある。この状態では供試体内部にすべりが発生し載荷回数とともにそれが拡大してゆくためであって, いわゆる塑性流動の状態が生じていて, 耐荷の極限とみなせるので, 乱したシラスの破壊点とする。このようなことから, 乱したシラスの破壊は分離破壊, あるいは塑性流動破壊に属するといえよう。

b) 乱さないシラス. 乱さないシラスではある載荷回数まで変形はほぼ弾性的であるが, 急にセシ断面が現われるか, クラックを生じて破壊する。このように弾性的挙動から, 急に変形の速さ $de/dN \rightarrow \infty$ になる点を破壊点とみなす。そのときの供試体のスケッチを図-1 (b) に示した。したがって乱さないシラスの破壊は脆性破壊であると思われる。

c) 載荷応力-載荷回数曲線. 図-3 (a), (b) に乱したシラスと乱さないシラスの種々のヒズミ量に対する繰返し載荷回数と載荷応力との関係を示した。また図-4 には乱したシラスと乱さないシラスの破

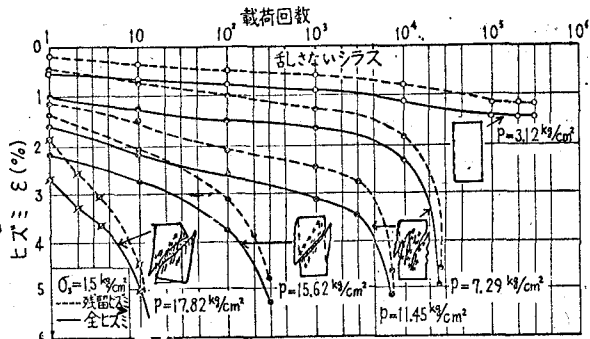
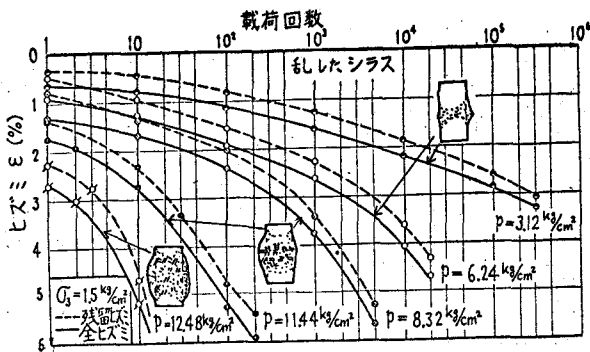


図-1 乱したシラスと乱さないシラスの種々の荷重強さに対する繰返し回数と全ヒズミ・残留ヒズミの関係

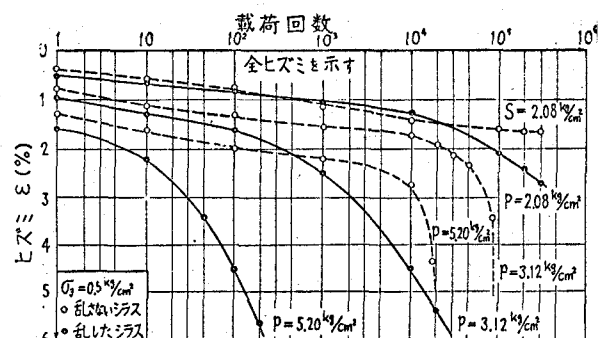


図-2 乱したシラス・乱さないシラスのE-N曲線

壊変に対する繰返し载荷回数と载荷応力との関係を示してある。図-4からわかるように乱さないシラスには疲労限が現われている。また図-3(b)の $\varepsilon=2\%$ の曲線と破壊点付近と思われる $\varepsilon=4\%$ の曲線の曲率が逆になっている。この傾向が $(\sigma/\sigma_s)=7\sim 15\text{ kg/cm}^2$ ($\sigma_s=1.5\text{ kg/cm}^2$)の範囲で着しい。つまりヒズミ量2%から破壊点に至るまで更に十数回载荷回数が必要であることから乱さないシラスは乱したシラスより倍かに耐力があり、乱したシラスより強度を増大する因子があることがわかる。载荷応力 σ が 5 kg/cm^2 以下においてはシラス特有の固結効果が十分に働いていて安全で、かえって土の変形に対する抵抗は増大するとみてよからう。载荷応力 15 kg/cm^2 以上ではもはや固結効果による抵抗は1回目の载荷で失い、载荷回数10~100回程度で完全に破壊する。図-3(a)の乱したシラスの一連の曲線は(b)の乱さないシラスのそれよりかなり平行であることから、このような繰返し载荷に対しては有効に抵抗し得るような固結効果(インターロッキング効果)は働かないと思われる。また破壊点(図-4)は図-3(a)の一連のヒズミ量の曲線のこう配より右下がりの直線になっている。つまり高い载荷応力のもとではヒズミ量が3%以上で、また、低い応力のもとではヒズミ量が2%以下において破壊している。

d) 側圧(拘束圧の影響)の影響。一軸強

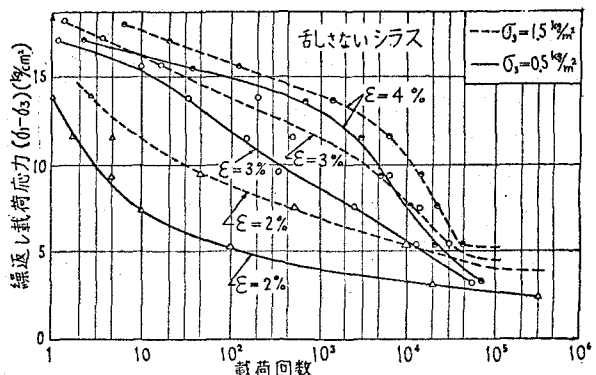
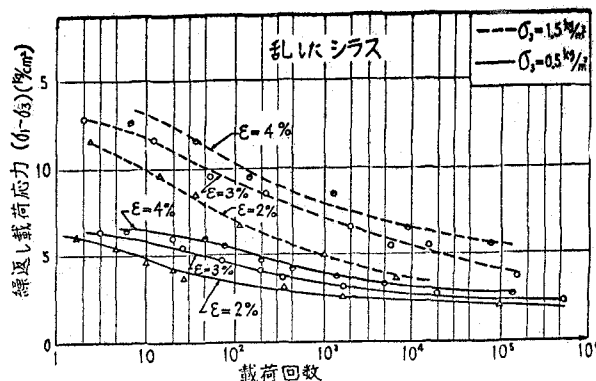


図-3 乱したシラスと乱さないシラスの種々の全ヒズミ量に対する繰返し応力と载荷回数との関係

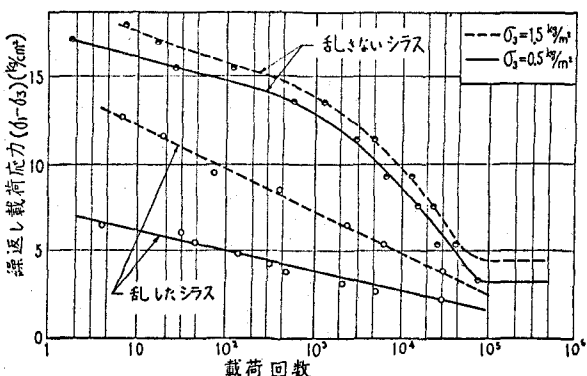


図-4 乱したシラス・乱さないシラスの破壊点に対する繰返し応力と载荷回数との関係

度は乱したシラスで 5.6 kg/cm^2 、乱さないシラスで 10.0 kg/cm^2 であるから図-4を利用すれば、破壊するときの繰返し载荷応力は载荷回数10回において拘束圧 $\sigma_s=1.5\text{ kg/cm}^2$ のとき、乱したシラスでは一軸強度の4.8倍(12.2 kg/cm^2)、乱さないシラスで1.7倍(17.7 kg/cm^2)、 $\sigma_s=0.5\text{ kg/cm}^2$ では乱したシラスは2.4倍(6.0 kg/cm^2)、乱さないシラスで1.6倍(16.0 kg/cm^2)となる。以下载荷回数100回程度までこの傾向は続く。しかし载荷回数100回においては、 $\sigma_s=1.5\text{ kg/cm}^2$ のとき乱したシラスで2倍(4.8 kg/cm^2)、乱さないシラスで1倍(

2.6 kg/cm²), $\sigma_3 = 0.5$ kg/cm² では、乱したシラスで1倍 (2.6 kg/cm²), 乱さないシラスで0.9倍 (8.6 kg/cm²) となる。したがって、乱したシラスは拘束圧の影響を著しく受けるので、拘束圧を上げることにより乱したシラスの繰返し載荷に対する耐荷力の増大が期待出来る。しかし乱さないシラスは破壊点付近では拘束圧に余り影響がない。従って乱さないシラスの拘束圧による影響を究明するには、従来の三軸試験機より、高圧をかける装置を具備したものでなければならぬ。

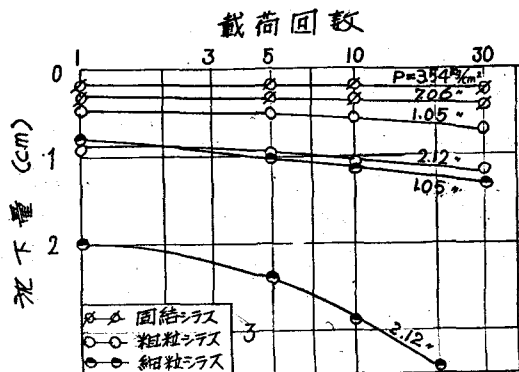


図-5 現位置によるシラスの繰返し試験による荷重強さに対する載荷回数と沈下量の関係

e) 現位置試験との比較

現位置 (鹿児島県肝属郡志布志町) における繰返し載荷試験結果を図-5に示す。試験方法は固結シラスと二次シラスの二箇所ピットを掘り径60 cmの載荷盤を両面に於て、水キオ向にジャッキをかける方法である。載荷要領は固結シラスにおいては第一サイクル 0-(15sec)→3.5 kg/cm² (30sec)-(10sec)→0 (30sec)-(15sec)-3.5 kg/cm² (60sec)→で30回繰返しした後第二サイクル 0-(15sec)→7.00 kg/cm² (30sec)-(10sec)→0 (30sec)-(15sec)-7.00 kg/cm² (60sec)→で再び30回繰返した結果である。粗粒シラス、細粒シラスにおいては第一サイクルで荷重強さ1.05 kg/cm², 第二サイクル2.12 kg/cm²で他は固結シラスと同じである。

4. まとめ

- 1) 乱したシラスは繰返し載荷により、塑性流動的破壊を示し、変形の速さ $de/dN \rightarrow \text{const.}$ なる突と耐荷の種限とみられ得る。
- 2) 乱さないシラスは繰返し載荷により、ゼイ性破壊を示し、変形の速さ $de/dN \rightarrow \infty$ なる突を破壊点とみられ得る。
- 3) 繰返し載荷荷重-載荷応力曲線において、乱したシラス、乱さないシラスの破壊曲線の曲率が逆になっている。また乱さないシラスの $\epsilon = 2\%$ の線から破壊曲線に至るにはかなりの載荷回数が必要である。このように繰返し載荷試験によって乱したシラスと乱さないシラスの性質の差異がはっきりと強調される。
- 4) 乱したシラスは拘束圧の影響を著しく受けて、拘束圧が大きければ強度も増大する。乱さないシラスは拘束圧 $\sigma_3 = 0.5 \sim 1.5$ kg/cm² の範囲においては、拘束圧には余り影響を受けはしない。
- 5) 図-4は乱したシラスおよび乱さないシラスの繰返し荷重に対する設計強度の決定に利用できる。

謝辞 この実験については、建設省久留米技術事務所および鹿児島国道工事事務所の援助を受けたほか、鹿児島工業高等専門学校・土木工学科に多くの便宜を計っていただいた。併せて深甚の謝意を表するものである。

文献 1) 土質工学会シラス研究委員会：えびの地震と地震災害、土と基礎 1968 No.542 2) 山内、村田、能戸；えびの地震におけるシラス問題について 土質工学会第3回研究発表会講演集、昭. 43. 5. 3) 能戸；現場におけるシラスの繰返し載荷試験について 第8回土質工学会シラス研究委員会講演