

1. まえがき 砂あるいは粒状土といわれるもののせん断特性については、多くの研究発表が行なわれており、またその動的なせん断特性についてもいくつかの実験的研究がなされている。Whitman<sup>1)</sup>は、粒度のよいある砂について、軸差応力と間ゲキ水圧に対するヒズミ速度の影響を調べ、Seedら<sup>2)</sup>は、軸差応力に対し間ゲキ比と試料の細粗をパラメーターにして、高速荷重と静的荷重の差違を調べ、またWhitmanら<sup>3)</sup>は、密度の緩やかなものと密なものとの2種の飽和砂について、軸差応力・軸ヒズミ曲線に対する高速荷重と低速荷重の影響を調べている。」本文は、それらの報告と異なり、とくに粒子の形と表面の粗滑の差違に着目し、したがってまた荷重下における粒子のインターロッキングとダイレイタンスに着目して、動的荷重のもとでせん断特性が静荷重下におけるものとどのように変わるかについて考察したもので、実験に使用した試料は表-1に示すとおりである。これら試料のうちシラスは、粒子の形と表面の粗滑の影響を論ずるのにもっとも適応し、また現場の問題と関連して研究する必要も多い。

2. 静的荷重下の砂のせん断特性 種類の異なる飽和粒状材(ケイ砂, 九大砂, メッキ鋼球, 腐食鋼球)に対する静的な、排水および圧密排水の三軸圧縮試験の結果<sup>4)</sup>によれば、i) 粒子の形はインターロッキングに関係し、粒子が角張っているものでは見かけの粘着力を大きくする。ii) 粒子の表面が粗なものほどダイレイタンスは大きく、滑らかなものに比べてせん断抵抗角は大きくなる。その他のせん断特性の比較結果は表-2に示すとおりであった。

3. 高速ヒズミ荷重下の砂のせん断特性 この試験<sup>5)</sup>は、数種類の飽和粒状材(ケイ砂, 九大砂, メッキ鋼球, 腐食鋼球)に対して、前節と同じような2種の三軸圧縮試験を、1%/minの普通の静的ヒズミ速度と、4,800~14,400%/min. (600~1,800 cm/min.)の高速ヒズミ速度で行なったものである。その結果によれば、密な試料ではせん断特性の差はほとんど現われない。しかしケイ砂の場合には、間ゲキ水圧は静的ヒズミの場合に比べピーク値が大きいばかりでなく、その消散も遅い。そのため強度は著しく減少する。このことは、角張った粒子の集りでは2.で述べたように静的なせん断抵抗は大きいのが、高速荷重のもとでは粒子の表面の滑らかさに起因して、容易に体積が収縮して密な状態になる傾向を持ち、その結果高い間ゲキ水圧が発生すると説明できる。

4. 繰返し的高速荷重下の砂の挙動 この実験<sup>6)</sup>は、載荷・除荷時間比1:1で1サイクル6秒の台形荷重を軸方向に繰返し加える特別の三軸圧縮試験装置を用い、飽和状態でシラスと九大砂について、

表-1 試料の粒子の性質

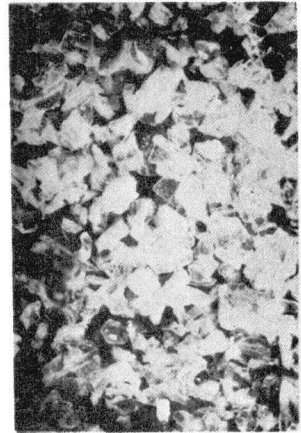
試料	形	表面	粒径	比重	摘要
シラス	角張っている	比較的滑らか	< 4.76 mm	2.40	元江の地震、十勝沖地震の予積火山灰土、新潟地震の砂に近い。
九大砂	丸味を帯びる	粗い	< 2.0 mm	2.62	
ケイ砂	角張っている	滑らか	< 2.0 mm	2.66	}
鋼球(メッキ)	球状	ごく滑らか	1.56 mm	2.74	
鋼球(腐食)	球状	粗い			

載荷回数・縦ヒズミ・間ゲキ水圧の相互関係を調べたもので、その結果、九大砂では密な場合に、またシラスでは密度が最大であっても、骨組が崩壊して間ゲキ水圧が累積増大し、容易に除荷時側圧に達して供試体が流動化することが見出された(図-2,3)。したがってまた、流動化は拘束圧(側圧)が小さいほど起きやすい。」 2.~4.で述べた実験結果などを、試料の種類に対して取りまとめると表-2に示すようになる。せん断特性値にはその最下行に付記してあるように、粒度(均等係数, 最大粒径)の影響があるが、粒子の形と表面の粗滑の差の影響の比較の記述はほぼ同じ粒度条件に対するものを示してある。

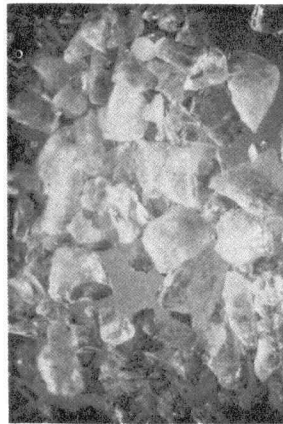
5. 三軸試験結果と現場における現象との関係 (1) 三軸試験結果の要約

種々の砂のうちでも、シラスは角張った粒子形状と比較的滑らかな表面を持つものである。シラスの比重が少し小さいことのほかは、この粒子の性質はケイ砂に近い。前述のような静的から繰返しの高速荷重にいたる3種の三軸圧縮試験の結果を要約すると、シラスやケイ砂のような砂では、静荷重のもとでは粒子のインターロッキングにより飽和状態でもかなりの強度を持つが、高速荷重のもとでは骨組の崩壊によりそれを減じ、さらに繰返しの高速荷重のもとではこの作用が累積して容易に流動化するにいたる。このように砂と称されるものでも、粒子の形と表面の粗滑の差違は静的と動的とで顕著な強度の差違を示すことがわかった。」 (2) 現場の現象

現場の問題として、南九州や東北、北海道地方のシラス、あるいは類似の火山灰土のチュー積飽和層の強度は、動的荷重のもとで著しく小さくなる。次の事実は実験室の結果から説明できる。」 (a) えびの地震<sup>2)</sup>において、普通砂を含む数層から成る地盤から、とくにシラスだけが噴出した。また十勝沖地震のさい、八戸市などにおいて、シラス類似の火山灰土が噴出するとともに、一帯が流動化したところがある(筆者の現地調査)。」 (b) シラスのチュー積地帯の地盤調査<sup>3)</sup>では、標準貫入試験によるN値の数回のまま、数10m



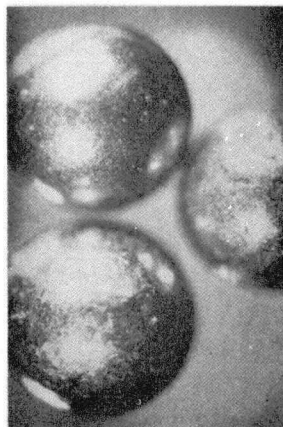
(a) シラス(径0.074~0.42mm)



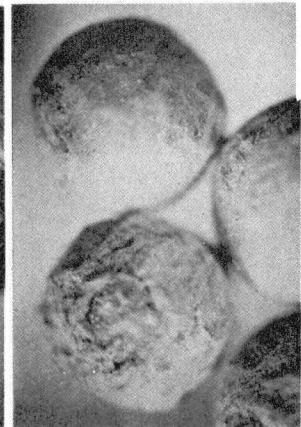
(b) ケイ砂(径0.074~0.42mm)



(c) 九大砂(径0.074~0.42mm)



(d) 表面マツキ鋼球(径1.56mm)



(e) 表面腐食鋼球(径1.56mm)

写真-1 試料の顕微鏡写真

の深さにわたって異状に深く続くのが普通である。しかしプレシオメーターあるいは深層載荷試験による方法では、支持力は $N$ 値の小さい割合にかなり大きいことが分っている。このことは繰返しの衝撃荷重によって試験した結果である $N$ 値が、ちょうど4. で述べたような作用のもとで得られたものであるからと説明できる。したがって $N$ 値を、そのまま静的支持力の推定に使用することは正しくないといえる。」 上記のような現場での特異性は、シラスの地盤では、土被り圧が小さく、4. で示したように、拘束圧(側圧)が小さい状態であることも流動化を起しやすくしている。なお現場のシラスは普通の三軸試験では取扱えない程度の、軽石から成る多くの粗粒ないし巨粒を含んでいるが、本文ではその影響はまだ取扱っていない。

6. 結び 粒子の性質のうち、形と表面の粗滑の差違に着目し、静的荷重、高速ヒズミ荷重および繰返しの高速荷重下の三軸圧縮試験にわたって行なった試験結果から、静的と動的のせん断特性を検討するとともに、その考察に基づいて現場におけるシラスの地震時の挙動と標準貫入試験から得られる $N$ 値の性質を説明した。」 本文はとくにシラスを取りあげて論じたが、今後はさらに、その他の砂についても静的および動的のせん断特性の関係を詳しく究明したい。

そのためには、動的三軸試験に関する測定技術の高度の開発が必要である。それによって間ゲキ水圧の発生および上昇と関連した動的インターロッキングや動的ダイレイタンスを調べ、砂の静的と動的のせん断特性の関係をさらに明らかにす

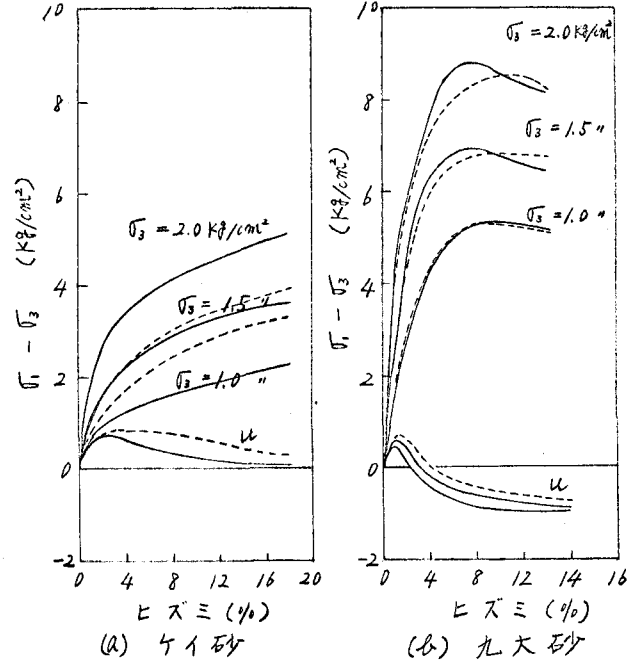


図-1 高速ヒズミ荷重試験によるヒズミと軸差応力の関係

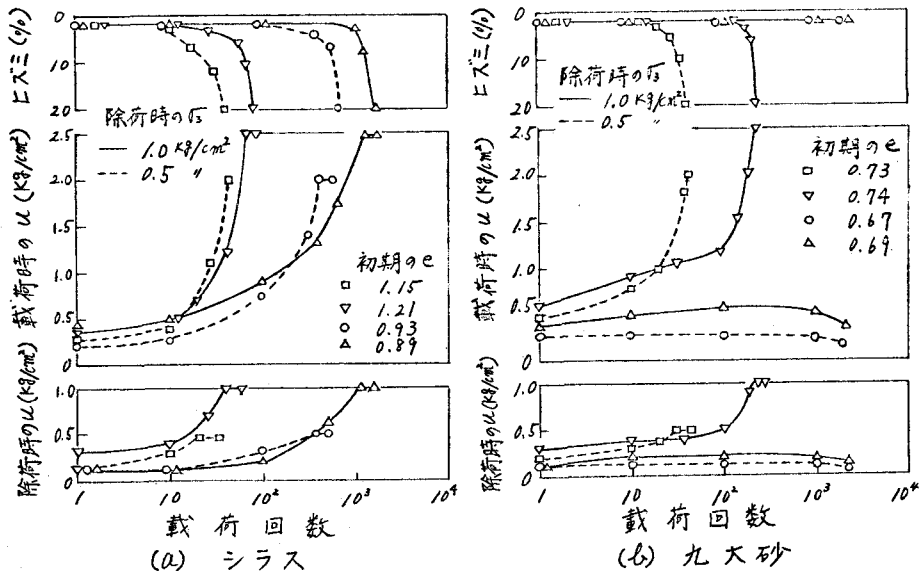


図-2 繰返しの高速荷重試験における繰返し荷重、ヒズミ、間ゲキ水圧の関係

表-2 粒子の種類による三軸圧縮せん断特性の相対的な比較

試験 試料		静的荷重試験								動的荷重 試験
		排水試験				圧密排水試験				
		D.F.	$C_d$	$C_{DR}$	$\phi_d$	$\phi_{DR}$	$u$	$c'$	$\phi'$	
形	丸い	差小さい*	小	0	大		差ない	小	差ない	小
	角張っている*		大		小			大		大
表面	粗い	大	差ない	0	大		差ない	大	大	小
	滑らか*	小			小			小		小
粒 度	均等性 ( $C_u$ )	貧(小)	小	-	差小さい		-	差小さい	差ない	大
		よい(大)*	大		大			大		小
最大径	小	差小さい	大	差ない	大		差小さい	大	差小さい	-
	大		小		小			小		

\* シラスに該当する性質。D.F.: ダイレクشنシーファクター。  $C_{DR}, \phi_{DR}$ : Rowe によるダイレクشنシー補正を行なった値。

ることができると考える。

引用文献

- 1) Whitman, R.V.: The Behavior of Soils under Transient Loadings, Proc. 4th Int. Conf. SMFE, 1, 1957.
- 2) Seed, H.B. & R. Lundgren: Investigation of the Effect of Transient Loading on the Strength and Deformation Characteristics of Saturated Sands, Proc. ASTM, Vol. 54, 1954.
- 3) Whitman, R.V. & K.A. Healy: Shear Strength of Sands during Rapid Loading, Proc. ASCE, Vol. 88, SM 2, 1962.
- 4) 山内・春山: 砂のせん断強さに対する粒子形状の影響について, 九大工学集報, Vol. 40, No. 4, 昭. 42. 7.
- 5) 山内・豊田: 砂石と粒状体の静的および高速せん断抵抗について, 九大工学集報, Vol. 41, No. 3, 昭. 43. 7.
- 6) 山内・豊田・若合・村田: 繰返し荷重を受けるシラスのような砂の間ゲキ水圧について, 第22回土木学会年次学術講演会講演概要, Ⅲ, 昭. 42. 5.
- 7) 山内・村田・能戸: えびの地震におけるシラスの問題点について, 第3回土質工学研究発表会講演集, 昭. 43. 6.
- 8) 鹿児島県住宅供給公社, 鹿児島開発事業団, 建設省鹿児島国道工事事務所などの調査報告書による。