

鹿児島大学農学部 正 員 春 山 元 寿

1. はじめに

筆者はさきに乱さないシラスの排水セシ断特性の第1報として鹿児島市唐湊産シラスの試験結果について報告した¹⁾。その後場所の異なるシラスについて乱さない供試体を採取し、飽和状態と自然含水状態において排水試験を行なった。本文では、まずその試験結果の概略について述べ、ついでシラスの強さの成分について述べる。

2. 試料, 供試体, および試験方法

試験に用いたシラスは鹿児島市谷山池田地区で採取したもので、地質上は前報¹⁾と同じく入戸軽石流の非溶結部と考えられる。試料の採取は内径5.0 cm, 高さ12.5 cmの薄肉円筒をジャッキで徐々にシラス層に押し込んで行なった。試料の粒度組成は図-1のとおりであり、土粒子の比重(粒径4.75 mm以下)は2.35である。また自然状態において平均間ゲキ比1.06, 見かけの密度 1.37 g/cm^3 , 乾燥密度 1.14 g/cm^3 , 含水比20.0%, および飽和度44.3%であった。このシラスの密度は前報¹⁾のそれよりかなり大きい。供試体の大きさは直径5.0 cm, 高さ12.5 cmである。

拘束圧は $0.5 \sim 3.0 \text{ kg/cm}^2$ の範囲にとり、拘束圧による圧密の終了後、圧縮速さを供試体の高さの $0.8 \text{ \% / min}$ とし、定圧・定ヒズミ法で排水試験を行なった。圧縮中は変形に伴う軸差応力, 体積変化, および軸ヒズミを測定した。

3. 変形について

破壊後の供試体は写真-1に示されるように、最大主応力面にある傾き α をもった破壊面を形成している。このような破壊面のできかたは応力条件によって影響される²⁾。拘束圧 σ_3 (最小主応力) が0である一軸圧縮では、へき開破壊が生じ、破壊面は軸圧 σ_1 (最大主応力) の方向にほぼ平行に形成され、拘束圧のある範囲内では、本試験のようにセシ断破壊面が形成される。このコウ配 α はセシ断抵抗角 ϕ と $\alpha = 45^\circ + (\phi / 2)$ なる関係があり、 α を測定して ϕ を算出することがあるが、 α の正

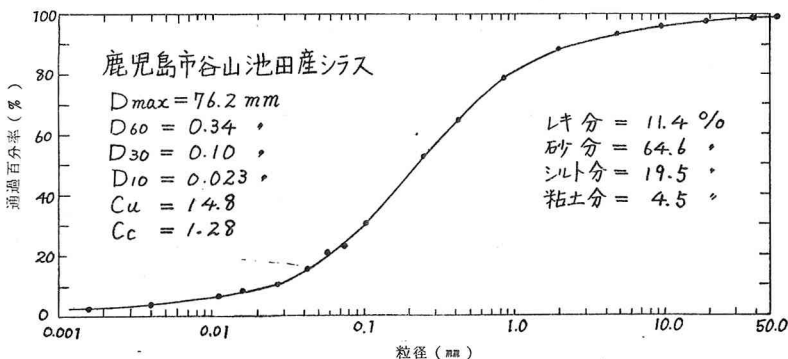


図-1 試料の粒度曲線

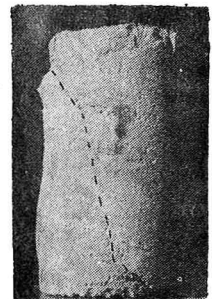


写真-1

供試体の破壊状況

確な測定は困難であり、さらにさきに述べたように破壊面のできかたが応力条件の影響を受けるので α から ϕ を算出する方法は好ましくないようである。

つぎに、セン断中の体積変化・軸ヒズミ曲線から破壊時の膨張指数 $(dv/de)f$ を求め、拘束圧に対してプロットすると図-2 のようになる。この図によれば不飽和状態のダイレイタンシーは飽和状態のそれよりかなり大きいことがわかる。このことは筆者³⁾がさきに指摘したようにシラスのような砂質土の限界間ゲキ比は飽和に近くなるにしたがって小さくなり、その結果飽和すれば流動化が起りやすいことを意味している。

4 セン断強さおよびそのmobilization について

軸差応力・軸ヒズミ・体積変化の関係から求めた諸性質を表-1 に示す。飽和状態と自然含水状態の破壊時の強さを比較すると、軸差応力 $(\sigma_1 - \sigma_3)f$ は自然含水状態のほうが、セン断抵抗角 ϕ_d は飽和状態のほうが、また見かけの粘着力 c_d は自然含水状態のほうがそれぞれ大きい。

表-1 で注目したいことは、(1)飽和状態における見かけの粘着力は自然含水状態におけるその2分の1以下の値であること、(2)破壊時の軸差応力に対して Rowe の応力・ダイレイタンシー式⁴⁾を適用して補正を行なえば、飽和および自然含水状態ともに見かけの粘着力 c_d

は無視されるほどの値になることである。これらの事実は、筆者が従来述べてきたように³⁾、シラスのような砂質土の粘着力成分はインターロッキングによるものであり、セン断強さに対するインターロッキングの寄与は水分の増加とともに減少するということを裏付けるものである。

以上応力・ヒズミ曲線がピークを示すときの強さについて述べた。ところでピークにいたるまでにセン断抵抗はどのように動員されるかは破壊時の応力条件より以上に重要である。これを解明するためには、まず試験方法や破壊規準の問題が解決されなければならないが、破壊規準などに関する既往の諸研究を参考にすれば、軸対称の圧縮試験においてはモール・クーロンの規準を用いても定性的に

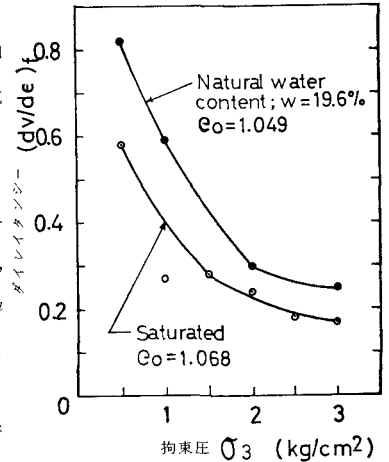


図-2 ダイレイタンシーと拘束圧の関係

表-1 乱さないシラスの試験結果
(鹿兒島市谷山池田産)

供試体	e_0	σ_3 Kg/cm ²	wf %	e_f	ϵ_f %	$(\frac{dv}{de})f$ %	$\sigma_1(\frac{dv}{de})f$ Kg/cm ²	$(\sigma_1 - \sigma_3)f$ Kg/cm ²	$(\sigma_1 - \sigma_3)rf$ Kg/cm ²	$(\sigma_1 - \sigma_3)R$ Kg/cm ²	$(\sigma_1 - \sigma_3)u$ Kg/cm ²
飽和	1111	05	44	1038	36	058	029	278	249	158	188
	1072	10	41	0983	64	027	027	474	447	352	316
	1117	15	40	0959	56	028	042	701	659	515	465
	1089	20	42	0997	64	024	048	899	851	686	593
	1008	25	37	0883	64	018	045	1092	1047	887	757
	1012	30	33	0791	80	017	051	1282	1231	1052	897
平均	1068							0179	0129	-0038	0093
								42°00'	41°35'	39°52'	36°02'
自然含水比	1070	05	192	0997	40	082	041	354	313	172	195
	1008	10	196	0992	40	059	059	565	506	318	389
	1088	20	194	1015	72	030	060	927	867	667	643
	1030	30	203	0947	72	025	075	1296	1221	977	893
	平均							0409	0321	0010	0224
	1049							40°39'	40°06'	38°17'	35°15'

e_0 初期間ゲキ比, σ_3 拘束圧, wf 破壊時含水比, e_f 破壊時間ゲキ比,
 ϵ_f 破壊時ヒズミ, $(dv/de)f$ 破壊時膨張指数, $(\sigma_1 - \sigma_3)f$ 破壊時軸差応力,
 $(\sigma_1 - \sigma_3)rf$ 表面エネルギーの補正を行なった軸差応力, $(\sigma_1 - \sigma_3)R$ 応力・ダイレイ
タンシー式 (Rowe) で補正を行なった軸差応力, $(\sigma_1 - \sigma_3)u$ 終局セン断時の軸差
応力

は問題はないようである。したがって、ここでは普通の排水三軸圧縮試験結果について考察する。もとより土の安定問題はせん断強さの粘着力成分と摩擦力成分とから決定されるので、ある変形段階におけるせん断抵抗の成分はどのようなものであるかについて述べる。

いま飽和供試体のある軸ヒズミにおいて動員されている軸差応力を拘束圧に対してプロットすると図-3のようになる。これによれば、粘着力成分は小さいヒズミにおいて、摩擦力成分は大きいヒズミにおいてそれぞれの最大値まで動員されている。自然含水比の供試体についても同様の傾向が得られた。この傾向を模式的に示すと図-4のようにあらわされるであろう。すなわち粘着力成分はせん断の初期にピークとなり、定常状態ではほとんど0となる。一方摩擦力成分は比較的大きいヒズミでピークに達し、定常状態では一定となる。このようにせん断抵抗の粘着力成分と摩擦力成分はせん断に従ってそれぞれ独立に動員され、この性質は土の安定問題に重要な示唆を与える。粘着力成分が最大に動員されたヒズミにおける強さ定数(c , ϕ)を求めて、直立シラス斜面の限界安定高さを算出したところ、その高さは現場の直立に近いシラス斜面の高さよりかなり高くなり、現場の状態をよく説明できた。これについては別の機会に報告したい。

5. 強さの成分について

シラスのような砂質土のせん断強さ τ は粒子間の摩擦による強さ τ_{fr} と構造による強さ τ_{st} から成り、 $\tau = \tau_{fr} + \tau_{st}$ で表わされる³⁾。構造強さが意味する内容は、粒子の集まりにおけるその配列の様式、粒子の界面化学的性質、セメンテーション、あるいは溶結などのせん断強さに対する寄与を含んでいる。粒子の配列様式はインターロッキングに関係し、その結果としてせん断中ダイレイタンスーが起る。せん断強さに対するインターロッキングの寄与をインターロッキング効果、ダイレイタンスーによって供試体が拘束圧に対してなす仕事を表面エネルギー効果と呼ぶ。

乱したシラスの構造強さはインターロッキング効果と表面エネルギー効果によるものであり、乱さないシラスのそれは、これら両効果のほかにセメンテーションあるいは溶結の効果などを含んでおりシラスの固結の程度によって溶結効果がほとんどないものから、かなりあるものまでさまざまである。

いま、乱さないシラスの自然含水状態における破壊時の軸差応力の成分を図-5に示す。飽和状態においても同じ傾向がみられた。

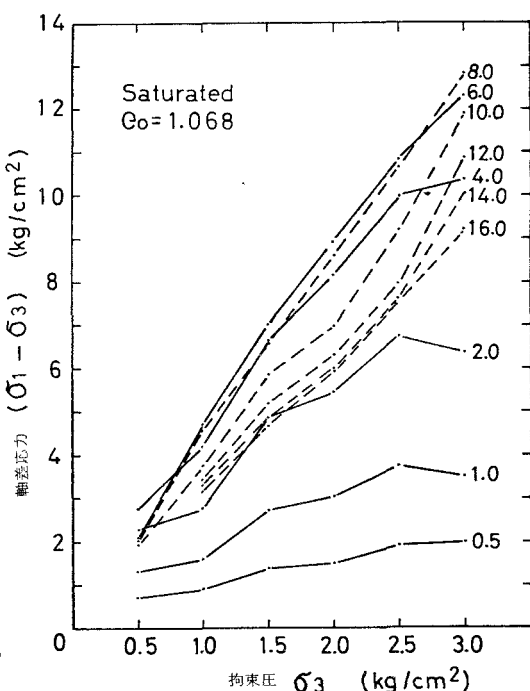


図-3 軸差応力のモビライゼーション(図中の数字は軸ヒズミ(%)を表わす)

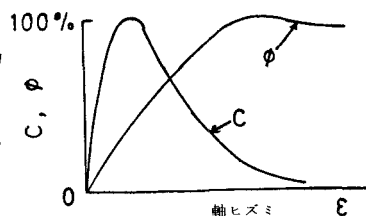


図-4 粘着力成分および摩擦力成分のモビライゼーション

このシラスの供試体は圧密中に構造変化を起すので、破壊時の軸差応力は溶結効果を含んでいない。したがって、 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ と $(\sigma_1 - \sigma_3)_{rf}$ の差および $(\sigma_1 - \sigma_3)_{rf}$ と $(\sigma_1 - \sigma_3)_u$ の差はそれぞれ表面エネルギー効果およびインターロッキング効果を示していると考えられる³⁾。圧密によって構造変化を起さない程度に溶結したシラスにおいては、山内ら⁵⁾の実験に示されているようにせん断強さに対する溶結効果の寄与があらわれる。しかし一般にシラスと呼ばれているものの乱さない状態における固結度は、 0.5 kg/cm 程度の拘束圧のもとで構造変化を起す程度のものが最も多い。またシラスは大小さまざまな大きさの軽石を含んでおり、この軽石はインターロッキングに寄与してシラスのせん断強さを増加させる⁶⁾。

6 結 論

乱さないシラスの三軸排水せん断試験を行なった結果をまとめるとつぎのような結論が得られ、その定性的傾向は前報¹⁾に一致する。

1) 試験の拘束圧の範囲内での供試体の破壊様式はせん断破壊である。不飽和シラスのダイレイタシーは飽和シラスのそれより大きい。従って飽和状態における限界間ゲキ比は不飽和状態のそれより小さい。

2) 飽和シラスのせん断抵抗角は不飽和シラスのそれより約 1.5° 大きい。前者の見かけの粘着力は後者のその 2 分の 1 以下である。見かけの粘着力はインターロッキングによるものである。

3) セン断抵抗の粘着力成分はせん断初期の小さいヒズミでピークとなり、ヒズミが大きくなるとほとんど 0 となる。摩擦成分は比較的大きいヒズミでピークに達し、定常せん断時にほぼ一定となる。このように動員されるせん断抵抗の物理的内容はヒズミによって異なり、粘着力成分と摩擦成分はそれぞれ独立に発揮される。

4) 乱さないシラスの強さは粒子間摩擦による部分と構造による部分とからなり、構造による部分は、表面エネルギー効果、インターロッキング効果、および溶結の効果などからなる。溶結効果はシラスの固結度によって異なり、全くないものから、かなりあるものまである。構造強さはシラスが見かけの粘着力を示す原因となる。

付 記 この試験を行なうにあたって下川悦郎君（現九大農学部大学院）の手伝を受けた。ここに記して謝意を表する。

- 参考文献 1) 山内元寿，土木学会西部支部昭和43年度研究発表会講演集，昭442，261～264 2) 赤井浩一，森寛昭，土木学会論文集，No 147，昭4211，11～24 3) 春山元寿，Soils and Foundations，Vol. 9，No 3，1969，35～57 4) Rowe, P.W., Proc. Royal Soc., London, A, 269, 500～527 5) 山内豊昭・村田秀一，土木学会第24回年次学術講演会講演集，3，昭449，145～148 6) 春山元寿，第4回土質工学研究発表会講演集，昭446，487～492

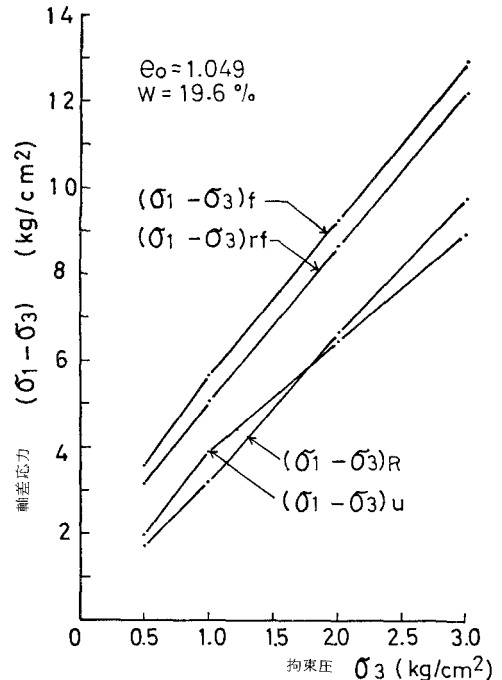


図-5 自然含水状態における乱さないシラスの破壊時差応力の成分