

I - 4

乱したシラスのせん断特性について

—主として見かけの粘着力の考え方について—

宮崎大学工学部

正員

○藤 本 廣

学生

香 月 正 直

・

宮 崎 明

・

大 塚 龍 亮

1. よ え が き

昨秋、土質工学会の“砂質土に関する土質力学上の諸問題”シンポジウムで、シラスのせん断強度特性に関する問題点について筆者の見解とその実験的検証の結果を¹⁾発表した。その要旨は、従来のシラスの土質工学的性質についての記述で、その指数的性質と力学的性質との間に矛盾をもったところというか統一的不相関性のある説明がなされないところに看過されていた問題、つまり、非排水条件の直接せん断試験や三軸圧縮試験で求められる見かけの粘着力 C_u が、ふつうの粘性土にせられる土粒子表面の界面現象に由来するいわゆる cohesion とは異なり、どちらかといえばむしろ物理的の原因、すなわち、(1)シラス層は一般的にその粒度に応じた限界空隙比以下の密な状態で堆積しているとの推定から、上記 C_u はせん断中におけるダイレイタンシー効果（この場合、正の体積変化）に起因する負の空隙圧（アブジョン）による部分と、(2)シラス独特の粒子の多稜角性や偏平性に起因するインターロッキングによる部分とからで殆んど構成されているのではないか、ということであった。当時、この仮説は(1)に主体をおき、その結果、シラスの破壊時のせん断強度 τ_f は、粒子のインターロッキングによる抵抗を含めたダイレイタンシーにもとづく有効応力 σ'_f の増加に起因する内部摩擦抵抗の増大、つまり

$$\tau_f = C_{uf} + \sigma'_f \tan \phi_{uf} = U_f \tan \phi_{uf} + \sigma'_f \tan \phi_{uf} = (U_f + \sigma'_f) \tan \phi_{uf} \quad (1)$$

が説明可能であるとしておいた。なお、シラスのせん断端さが、含水比が30~40%になると急に低下するといわれていることに對しては、自然空隙比からみてその含水比でちょうど飽和状態になるからアブジョンが低下することに由来するものであると説明した。これらの考察過程の合理性は一応実験的にも確かめておいたつもりだったが、(1)と(2)の要因のうち、いずれが真に主因となっているのかといった点については、明確な説明をつけうる定量的な資料を提示できる段階にまで到達していなかった。

一方、上記の考え方に対し、シンポジウムの席で、三笠教授から、 C_u の大きさからみてアブジョンよりもインターロッキングに主因と求めた方が合理的ではないかという示唆をあたえられ、また川上助教授からは、乱さばり自然成層試料と乱した試料との間の C_u の差異は、粘土のシラストロビーに相当するような構造上の変化を考慮する必要があるのではないか、という指摘もあった。¹⁾これらの諸点はすべてもっともなことであったので、その後、筆者は主三笠教授の示唆にもとづいてアブジョンとインターロッキングとの定量的な分離計測ということに主眼を置いて実験を継続してきた。川上助教授の指摘については、²⁾現地における自然試料のせん断試験結果との関連性もあり、また、春山氏ららに山内助教授が推論されておられるように地質学的な堆積過程における熱的あるいは化学的なセメン

キングの機構や程度をも考慮する必要があるが、この方面については現在まだ未検討のものがある。したがって本文では、主として上述のインターロッキングの定量的な表示と、セリ断時の供試体からの排水条件を変えて行なった三軸圧縮試験値の比較検討により試みようとした実験的考察について説明する。

2. 実験方法

この実験に使用したシラス試料ならびに他の砂質試料は、すべて、この講演概要集の筆者の別の論文“砂質土の三軸圧縮試験値の取扱ひ方について”に掲載されているものと同等であるので、その詳細はここでは省略する。

三軸圧縮試験は、(A)、排水試験(記号、Dテスト)、セリ断中の供試体の体積変化計測、(B)、非排水試験(記号、Uテスト)、セリ断中の間隙水圧計測、の2テストシリーズを何れも飽和試料について行なった。体積変化は供試体下部のポーラスストーンを通じてビュレット中の水位の変化により計測し、間隙水圧は底部のポーラスストーンを経てN.G.I.型間隙水圧計測装置で測定した。供試体は予定した乾燥密度と間隙比になるように予め計量した乾燥試料を、三軸室内にセットしたニツ割モールドを用いて水締めを要領で径5 cm、高さ12 cmにコンパクトしてつくった。セリ断中のセル圧力は何れも一定で、0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0 kg/cm²とした。圧縮速度は定みずみ式ですべて0.85%/分である。

3. 実験結果の考察

3-1. ガイレイタンシェーとインターロッキングについて

砂質土のセリ断強さにインターロッキングを含めたガイレイタンシェー効果が強く影響していることは現在常識的になっている。乱したシラスの場合も、これらの要因にそのセリ断強さが大きく左右されることは否定できないようである。しかし、インターロッキングとガイレイタンシェーとの相関性は、現在定性的にその相乗的な関係が説明されているのみで、両者を定量的に区別して考えるということも行なわれていない。例えば、赤井教授はガイレイタンシェーの定量的な表示として次式をあげておられるが、インターロッキングはる語はその際一語も交えていない。

$$(\sigma - \sigma_s)_f = (\sigma - \sigma_s)_{rf} + \left(\frac{d\Delta}{d\varepsilon} \right)_{\max} \varepsilon_f \quad (1)$$

ここに $(\sigma - \sigma_s)_f$ は供試体破壊時の軸差応力、 $(\sigma - \sigma_s)_{rf}$ は供試体の粘着力と内部摩擦抵抗とに打ちかつに要する軸差応力部分、 $(d\Delta/d\varepsilon)_{\max} \varepsilon_f = [d(\Delta V/V)/d\varepsilon]_{\max} \varepsilon_f$ はセル圧力に対してなされた体積変化 $(\Delta V/V)$ の外的仕事量の単位ヒズミにおける増分である。因みに赤井教授は、 $d\Delta/d\varepsilon$ を dilatancy index と称している。これに対し Rowe, P. W. は応力ヒズミ・ガイレイタンシェーの関係を、インターロッキングの影響を考慮して(2)式で表はしているが、その考慮の程度もまたインターロッキングの考え方をそのものもあつたものである。

$$\frac{\sigma}{\sigma_s} = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi_u}{2} \right) \left(1 + \frac{d \frac{\Delta V}{V}}{d\varepsilon} \right) \quad (2)$$

ここに ϕ_u は粒子間の洗淨の摩擦抵抗角と Rowe により定義されている。

しかも、これらの考え方に共通していることは、いずれも例の Coulomb のセリ断抵抗式

$$\tau = C_d + \sigma \tan \phi_d \quad (3)$$

との関連性について説明がなされていないことである。このよう傾向は Skempton, A. W.⁵⁾の体積変化に対する考え方においても同様にみられる。もっとも、ダイレイタシニー・インターロッキングの関係については、もし粒子表面の性状が全く同一で単に粒子形状が異なる場合と考えると、図1からわかるように、インターロッキングの程度が高いもの程ダイレイタシニー効果が大きいことは示えるわけであるが、しかし、その影響が Coulomb のせん断抵抗式(3)において、 C_d の項に現われるか ϕ_d の項に現われるかと云った点になると明確に断定できない。

たゞ、比較的には、有効応力即粒子間応力という概念規定にもとづけば、インターロッキングの影響は C_d の項に強く現われるのではないかと考えられる。

3-2. シラスの見かけの粘着力とインターロッキング

図2-a), b) はシラスと豊浦砂の U テストならびに D テストによる応力-ヒズミ-体積変化-間隙水圧の変動関係と例示したものである。両者とも、間隙水圧の変動状態と体積変化の変動状態とが比較的よく対応している。また、 $(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ と $(\sigma_1 / \sigma_3)_{max}$ とのヒズミも完全に一致しているので破壊角は何れで採っても別に不都合は生じない。これらの図から、シラスの破壊時における間隙水圧の減少程度は豊浦砂に比較してそれ程大きくないことがわかる。つまり、先に予測した程にはサクシオンが大きいということになる。

図3-a), b) および図4-a), b) は同試料の U テストによるモールの応力円と D テストによる同じく破壊時のモールの応力円とである。図3には有効応力表示によるモール円と交線を描いてある。図で豊浦砂の場合、全応力表示のモール円のエンビロープで求められる C_u とせん断抵抗角 ϕ_u はそれぞれ 0.260 kg/cm^2 と 44.0° であるが、有効応力表示によるエンビロープでは $C_u = 0$ 、 $\phi_u = 44.0 (= \phi_d)$ となり ϕ_u には変化がない。一般に、特に砂質土にあっては、D テストによって求めた ϕ_d と U テストの有効応力表示による ϕ_u とは殆んど一致すると考えられているのでこれらの実験結果に誤りは無いものとみてよからう。豊浦砂はシラスに比較

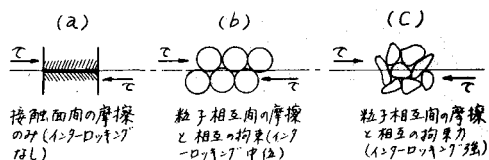
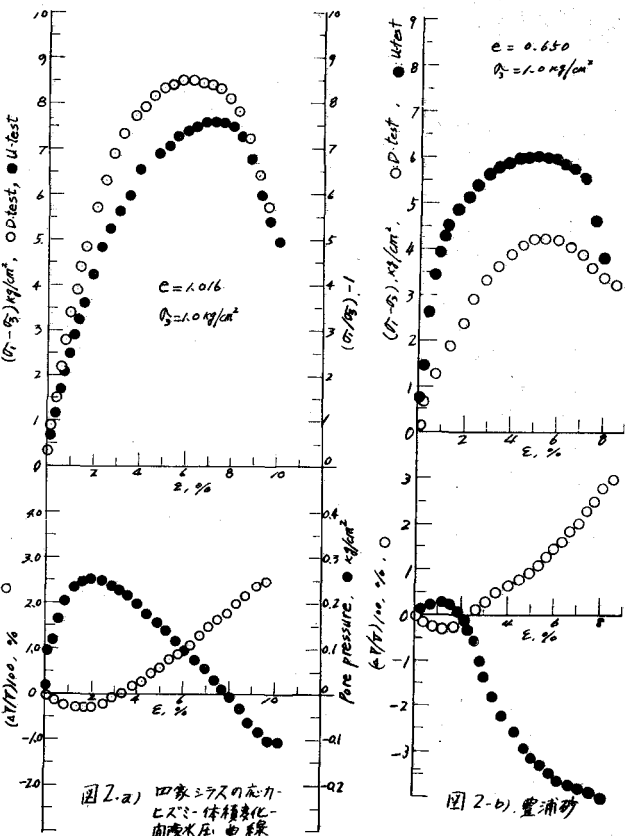
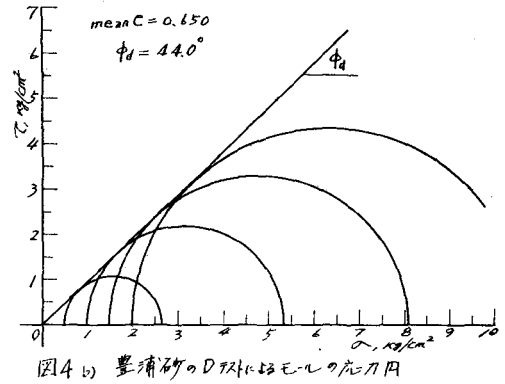
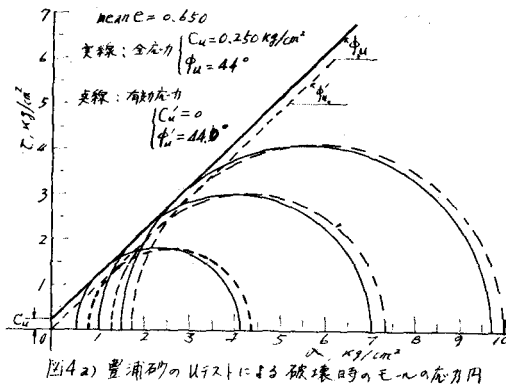
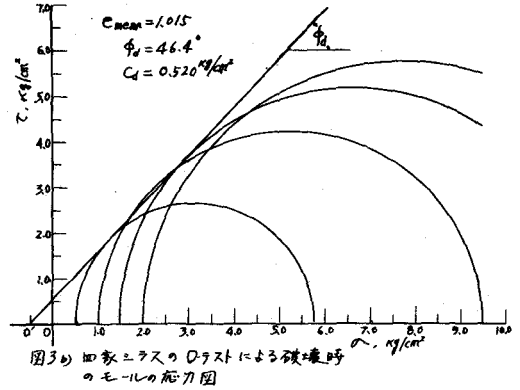
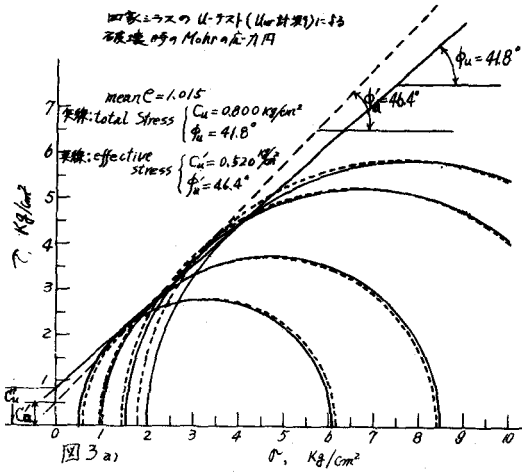


図1. 粒子間の摩擦とインターロッキングの程度





して粒形が球形に近く、図1-b)に相当するのインテローロッキングは小さく、しかも計算に1.向隣水圧はすべて負値となつてゐるので、図3の C_u はサグションに起因するものと考へてよからう。これに対し、シラスではUテストによる C_u' , ϕ_u' とDテストによる C_d , ϕ_d とが殆んど一致してゐるので上記のことを考慮すれば $C_u' = C_d$ はインテローロッキングに起因するものと考へねばならぬ。つまり、シラスの $C_u = 0.800 \text{ kg/cm}^2$ はサグションに起因する成分 $C_u - C_u' = 0.280 \text{ kg/cm}^2$ とインテローロッキングに起因する成分 $C_u' = C_d = 0.520 \text{ kg/cm}^2$ とから成るものと考えられるわけである。

4. まとめ

文献1)と筆者はシラスの強度特性としての見かけの粘着力がUテストによる場合はその大部分がサグションによる成分とインテローロッキングによる成分とから構成されるであらうとの予測に考察を進めたが、その後の実験で後者による成分が前者よりもかなり大きいものであることをほぼ確認することゝなつた。現在、この点に関する数式化を検討中である。

(文献)

- 1) 藤本 浩一: シラスのせん断特性, 理であることと付記して謝意を表する。
 2) 藤本 浩一: シラスのせん断特性, 理であることと付記して謝意を表する。
 3) 藤本 浩一: シラスのせん断特性, 理であることと付記して謝意を表する。
 4) Rowe, P.W.: Stress-Dilatancy, Earth Pressure, and Slopes, *Proc. ASCE*, vol. 27, No. 543, 1963.
 5) Skempton, A.W.: The Pore-Pressure Coefficient in Saturated Soil, *Geotechnique*, vol. 10, no. 4, 1960.