

琉球大学学術リポジトリ

島尻層新里粘土の力学特性(農業工学科)

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学農学部 公開日: 2008-02-14 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 新城, 俊也, 小宮, 康明, Shinjo, Toshiya, Komiya, Yasuaki メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/4207

島尻層新里粘土の力学特性*

新城俊也**・小宮康明**

Toshiya SHINJO and Yasuaki KOMIYA : Some mechanical properties of Shinzato clay

I はじめに

沖縄本島中南部の基礎地盤は主として島尻層群で構成されている。上位より新里層、与那原層、那覇層からなり、主に与那原層が露出しているが、Fig. 1 に示すように南部の知念半島から具志頭村にかけて与那原層の上に整合に重なって新里層が分布している。この新里層は帶緑灰色粘土岩を主とし、砂岩を従とする互層で上部に凝灰岩を挟み、その層厚は最大 250m で、部分的に第四系の琉球石灰岩に覆われている²⁾。

この新里層分布地域で佐敷村の新里地すべりに代表されるのを始めとして、これまで国道331号線沿

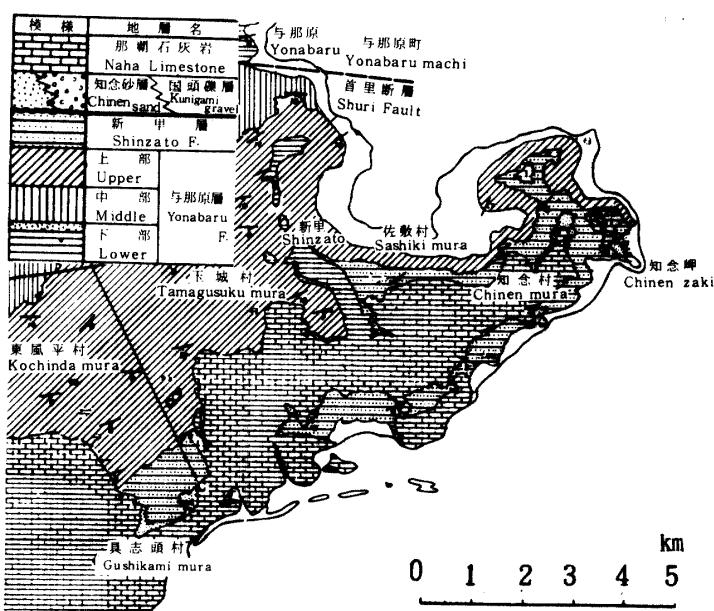


Fig. 1. Outcrop of Shinzato clay in the southern part of Okinawa Island²⁾

* この論文の一部は、土木学会第32回年次学術講演会（昭和52年10月）、および昭和53年度農業土木学会（昭和53年4月）において発表した。

** 琉球大学農学部農業工学科

琉球大学農学部学術報告 25: 325~337 (1978)

い、玉城村屋嘉部地内などで地すべり、斜面崩壊が発生した。

従来、土質工学的には新里層は新里地すべり露頭で見られるシルト質凝灰岩で代表され、主体をなしている軟質の粘土岩は与那原層泥岩の風化層に相当するものと見なされていたように思われる。新里層での地すべりや崩壊の防止対策工事立案のため地盤調査が行なわれているが、N値特性から見ると未風化層で $N = 20 \sim 30$ の値が一般的で、与那原層泥岩の 50 以上に比べてかなり軟質な粘土岩である。しかも与那原層泥岩に比べて塑性的であり、粘土岩としてよりも硬質粘土と見なせる類のものである。この新里粘土は与那原層泥岩に比べ堆積年代が若く、その力学挙動も異なると予想される。また、防災上のあるいは道路維持管理上、その対策工を実施する上からも新里粘土の力学特性の解明が急がれる。その対象として崩壊の生じている風化粘土の特性のみならず、防止杭などの構造物支持層としての未風化硬質粘土の特性をも明らかにする必要がある。

今回、玉城村屋嘉部地内の地すべり、および国道331号線沿いの地盤調査の際、ボーリングによる不搅乱試料入手する機会を得たので、その試料について物理試験、圧密試験、せん断試験を行なった。ここでは得られた結果を与那原層泥岩の力学特性と比較しながら新里粘土の風化層から未風化層にまたがる 2, 3 の力学特性を明らかにしたので報告する。

II 地盤特性と物理的性質

1. 地盤特性

玉城村屋嘉部地すべり地内と国道331号線沿で標準貫入試験を主体とした地盤調査が行なわれた^{5), 6)}。そのうち屋嘉部と志堅原のそれぞれの 1 調査孔で、物理試験と 2, 3 の化学試験を行なったので、その

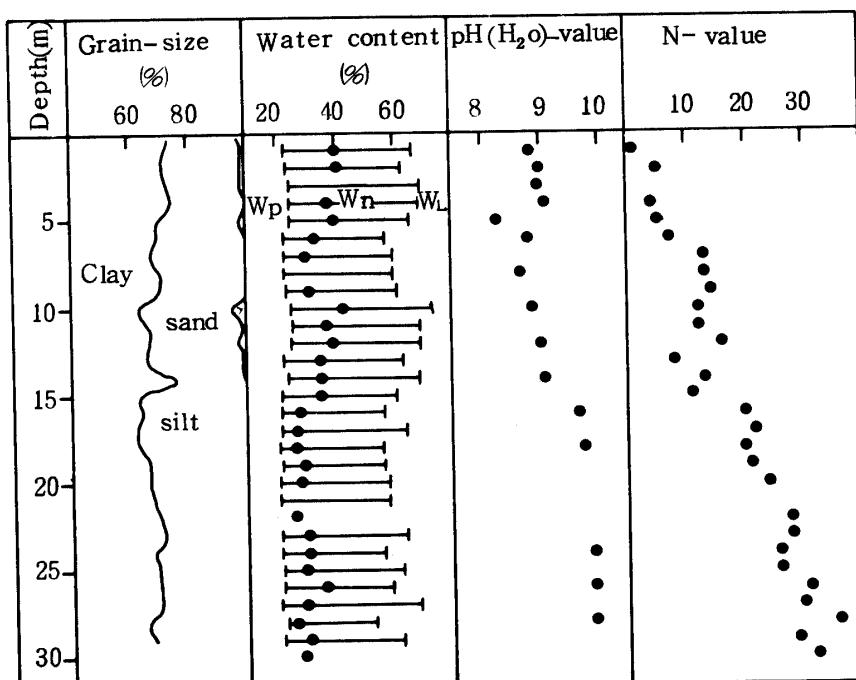


Fig. 2. Geotechnical profile of Shinzato clay at Yakabu, Tamagusuku (Wn denotes natural water content)

結果を併せて、N値の深度方向への変化を代表例としてFig. 2とFig. 3に示す。一般に島尻層での地盤は標準貫入試験によるN値とコアの観察でその特性を判断しているので、N値にもとづいて新里層と与那原層の特性を比較する。そのためには新里層の地盤構成（風化層、未風化層などの区別）を明らかにする必要がある。Fig. 2には屋嘉部地すべり地内での深度30mまでのN値と現場含水比が示されている。現場含水比は深度7～10m間の30%を除いて、深度15mまで35～43%を示している。深度12mで石灰岩のレキの混入が認められることから12mまでは同一粘土を起源とする崩積土と推定される。15mを境として含水比は急に減少して、15～30m間で25～30%の間を変動している。それに対応してN値は7mで12に達し、7～15mではほぼ一定値を示した後、15mを境として急に20に増加し、深度30mでのN=30まで徐々に増加している。N値と含水比特性からこの調査孔では12mまでは崩積土、12～15mまで残積風化土、15m以下を未風化土（完全未風化か比較的風化を受けていないかの判断は不明）と区分する。同一地内での他の4調査孔でも同様に未風化層ではN=20～30を示していたが、深度28～30mでN=40の場合が1箇所あった。Fig. 3は国道沿いの志堅原地区の例である。含水比は30～35%と一定で高めであるが、N値は深度4mで20に達する。国道沿いの他の7調査孔でも深度10mでN=20が限度で、久手堅地区の1箇所でN=30を示しただけである。以上のことから未風化新里粘土層のN値は現調査段階では40以下にある。一方、与那原層泥岩地盤に関しては多くのN値による調査がなされ、砂川⁹⁾らは那覇市の地盤特性をN値から明らかにしようとしている。N<30の土質地盤は現場の判別分類にもとづきCH（高塑性粘土）、N>30の土質は島尻固結粘土と分類されているが、N=30に達した地盤はそれ以深1～2mでN>50に達し打撃数50回の測定中止になる。Fig. 4は与那原層地盤の深度によるN値変化を示した例で、Aは建築基礎地盤（浦添市）、Bは自然斜面（西原村）である。ここにN>50では貫入量30未満の打撃数から比例関係で30cm貫入相当に換算した値を示してある。風化層でN<10の一定値にあるが、数mの範囲でN値は急激に増加し（この間の層を準風化層と見なしている）、未風化層ではほぼ一定値になる傾向にある。この未風化層でのN値はBの70、Aの180に代表されるように、比較的浅いところでN>50を示すのが特徴で、これに比較して未風化層の新里粘土のN値はかなり小さいことがわかる。この差は与那原層に比べて新里層の堆積年代が若いことに起因するもので、固結度の差に反映されていると考えられる。この固結度の差はN値特性のみならず、後述の力学特性にも影響を及ぼしている。

Depth cm	Grain-size (%)		Water content (%)		CaCO ₃ (%)	pH(H ₂ O) -value	Cu (kg/cm ²)			N-value				
	60	80	20	40	60	5	15	8	9	1	2	3	10	20
1	Sand		Wp	Wn	WL	●	●	●	●	●	●	●	●	●
2						●	●	●	●	●	●	●	●	●
3	Clay	Silt				●	●	●	●	●	●	●	●	●
4						●	●	●	●	●	●	●	●	●
5						●	●	●	●	●	●	●	●	●

Fig. 3. Geotechnical profile of Shinzato clay at Shikenbaru, Tamagusuku (Wn denotes natural water content)

2. 物理的性質

JIS土質試験法に準じて比重、粒度組成、液性限界および塑性限界を求めた。比重は深度による差は見られず、2.74～2.79であった。粒度試験は分散剤としてトリポリリン酸ナトリウム(1g/1000cc)を用い、煮沸後十分解きほぐして行なった。粒度組成、液性限界および塑性限界の深度による変化を先

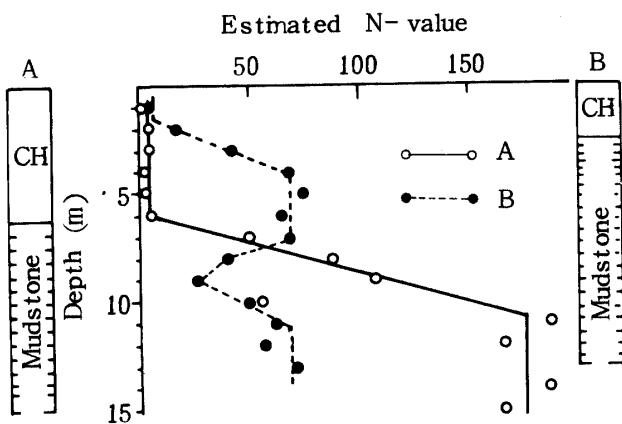


Fig. 4. Variation of N-value with depth for Shimajiri mudstone

のFig. 2とFig. 3に示してある。粘土含有量(5μ 以下)は深度による差は見られず、屋嘉部で65%~70%，志堅原で60~70%と両地点での差もわずかである。コンシステンシーはFig. 2の崩積土でわずかに大きな値を示しているが、 $W_P = 22 \sim 25\%$, $W_L = 55 \sim 70\%$, Fig. 3で $W_P = 25\%$, $W_L = 55 \sim 60\%$ で深度および場所による差はわずかである。いま、この結果を与那原層泥岩と塑性図で比較するとFig. 5となり、A線より上に位置し、両者の差は認められず、CH(高塑性無機質粘土)に分類される。また、活性度で比較するとFig. 6のようになり、新里粘土の活性度は0.7~1.0で、与那原層泥岩の範囲にあって、Skempton⁸⁾の分類に従えば普通の活性度を有する粘土に属する。以上のように固結度が異なっていても解きほぐした状態のコンシステンシー特性から見た物性は風化と未風化、また新里粘土と与那原層泥岩とに差がなく、ほぼ同一の特性を示すと言える。

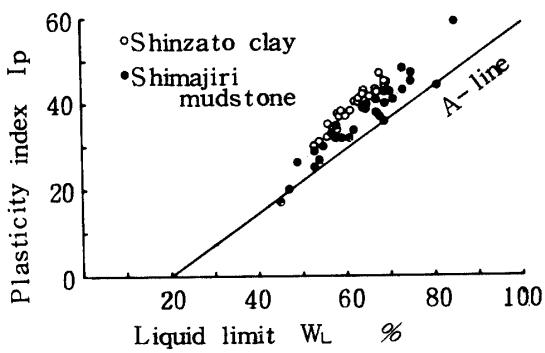


Fig. 5. Plasticity chart

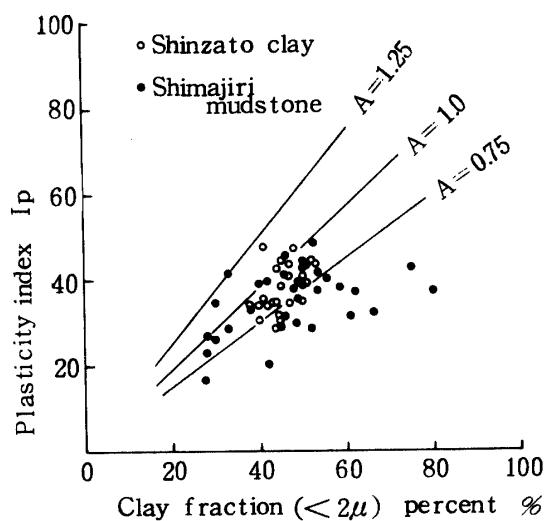


Fig. 6. Relationship between clay fraction($<2\mu$) and plasticity index (A denotes activity)

次に化学的性質をおよそ把握するため、蒸留水を用いたpHと炭酸カルシウム含有量を測定した。pHの測定は土質工学会基準に従い、また炭酸カルシウム含有量はシュレッター法⁴⁾により測定した。

与那原層泥岩の深度 50 m までぐらいいの pH は 7～8.5 で、それ以深で pH 9～10 の測定結果がある²⁾。新里粘土の pH は Fig. 2 と Fig. 3 に示したように、Fig. 2 では 15 m まで pH 8.5～9、15 m 以深で 9.5～10 が得られ、Fig. 3 では 5 m まで pH 8～8.5 である。すなわち、屋嘉部での深度方向への変化は与那原層泥岩と似た傾向にあって、地盤の上層で弱アルカリ性、下層で強アルカリ性である。個々の化学成分は測定していないが、一般に pH 8.0～8.5 の土はカルシウム、マグネシウムで塩基飽和され、pH 8.5～10 の土は交換性ナトリウムがかなりの量存在するとされている¹⁰⁾。

また、新里粘土の炭酸カルシウム含有量は志堅原の試料で測定され、Fig. 3 に示されている。表層付近で 6%，下層で 12% である。ごく表層で高い炭酸カルシウム含有量が測定されたが、石灰岩の破片の混入によるものであろう。一方、川島³⁾らの測定によると与那原層泥岩の炭酸カルシウム含有量は未風化層で 15.8%，風化土で 1.1% である。

以上の pH と炭酸カルシウム含有量からおおよその化学的性質を比較すると、新里粘土と与那原層泥岩で大差がなく、むしろ未風化層と化学的風化や地下水の変動を受けている風化層でその性質に差があると言える。

III 力学特性

1. 圧密特性

島尻層の未風化層から採取した試料を通常の圧密試験機で圧密試験を行なっても明瞭な降伏荷重が現われない。そこで Fig. 7 に示すような 200 kg/cm² まで耐えうる一次元圧密容器を試作した。圧密容器は固定リング型で、リングは内径 60 mm、外径 76 mm、の内厚 8 mm、高さ 20 mm のステンレス製である。加圧板は偏心を避けるためのペアリングを埋込んだ円筒でガイドされ、ポーラスストーンの代りにポーラステンレスを使用している。載荷装置は琉球大学土木工学科の大型高圧圧密試験機（直径 110 mm の供試体に 50 kg/cm² まで載荷可能）のフレームを利用した。ここで行なった圧密試験は荷重増分比 1 で載荷時間は各段階とも 24 時間である。

Fig. 8 は、志堅原、百名、屋嘉部での深度の異なる新里粘土のボーリング試料について 181 kg/cm² までの圧密試験を行ない、その結果を $e - \log p$ 関係で示したものである。この図には同一試料の練返し正規圧密試験の標準圧密と高圧圧密試験の結果も示してあるが、この試料の作成法は次のように行った。自然含水比の状態で十分解きほぐし、スラリ状で練返しと煮沸を行ない、0.42 mm フルイでうらごし、液性指数 2.5 程度のペースト状に調整した後、圧密容器（60 mm、高さ 100 mm）とペロフラムシ

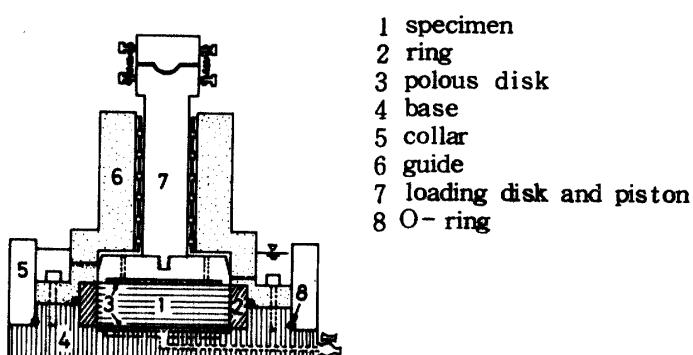


Fig. 7. High-pressure consolidometer

リンダーを利用して圧密荷重 0.8 kg/cm^2 (試料 SD 1, 4, 6) と 3.2 kg/cm^2 (SD 2) で 5 日間, 予圧密した。圧密試験結果はまとめて Table 1 に示してある。

風化の影響が小さいと予想される 2.5 m 以深の試料(SU 2~6)の $e - \log p$ 関係において, 圧密圧力が圧密降伏応力に達するまで, 変形に対する抵抗は非常に大きく, その間の間ゲキ比の変化はわずかで, しかも圧密降伏応力は練返し正規圧密試料の $e - \log p$ 関係より右側に現われる。圧密降伏応力を過ぎると変形に対する抵抗は急激に小さくなり, 大きな圧縮指数を示すゼイ性的特徴が見られ, さらに圧力が増加すると $e - \log p$ 関係は練返した正規圧密試料(SD)のそれに漸近する傾向を示す。しかし深度が浅くなるにつれ, ゼイ性的挙動は小さくなる。一方, 風化を強く受けた 1.6 m の試料(SU 1)は变形に対する抵抗が弱く, 圧密降伏応力も明瞭でなく, さらに圧縮指数は練返し正規圧密曲線の圧縮指数より小さく土構造の機械的な乱れがある。この試料を除いた各試料は現在の土かぶり圧よりはるかに大きな圧密降伏応力を示し, 現在, 過圧密状態にある。しかし, それぞれの圧密降伏応力の差は土かぶり圧の差と関係なく, 深度の深い試料ほど土かぶり圧の減少に比べて圧密降伏応力の減少は大きい。しかも隣接した位置で圧密降伏応力の差に相当する土かぶり厚さの差は考え難く, この新里層の粘土は単なる過圧密効果だけでなく堆積中の続成作用による粒子間結合力の影響を受けて変形に対する抵抗性が付加されていて¹⁾, この結合力が上載圧の除去による吸水膨張や風化作用によって一部破壊され, その破壊程度に応じて圧密降伏応力は減少するものと推察される。

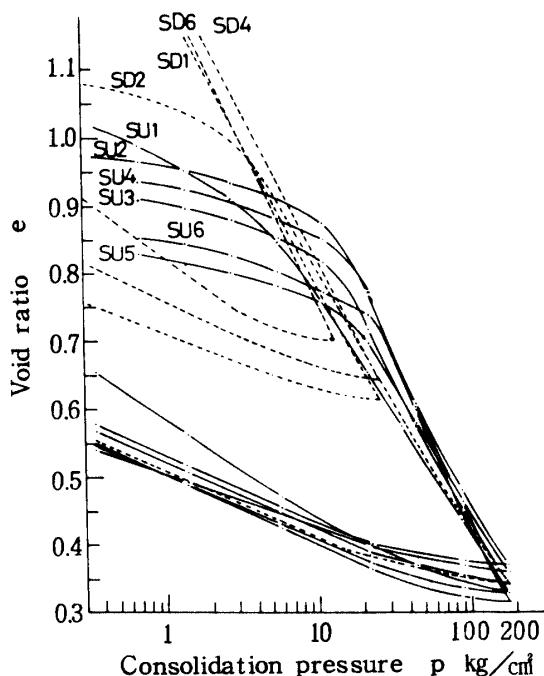


Fig. 8. Variation of $e - \log p$ curve with depth for Shinzato clay

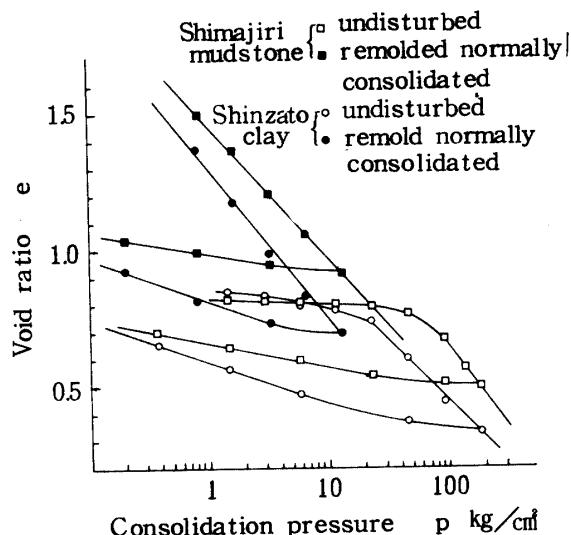


Fig. 9. Comparison of $e - \log p$ curve between Shinzato clay and Shimajiri mudstone

膨張特性を Table 1 に示した膨張指数で比較すると SU 6 を除いた他の試料の膨張指数はほぼ一致している。また, 各膨張指数は練返し正規圧密試料の値ともほとんど一致している。これは圧密降伏応力よりはるかに大きな圧力からの膨張曲線で求めたため, その状態では続成作用による結合力はほとんど失われていると考えられる。実験で確認していないが, 圧密降伏応力より小さい圧力で除荷すると結

合力の影響で膨張指数は練返し正規圧密試料より小さくなると推察される。なお、深度22mから採取した試料(SU 6)で膨張指数が大きいのはFig. 2に示したpH値から予想されるようにNaイオンの存在によるのかもしれない。

Table 1. Results of consoliation tests of Shinzato clay

Specimen No	Sampling site	Depth m	initial water content %	Compression index Cc	Expansive index Cs	Consolidation yield stress kg/cm ²
SU 1	Shikenbaru	1.6	34.7	0.36	0.10	5.4
SU 2		2.5	34.3	0.54	0.11	15.2
SU 3		3.6	33.1	0.48	0.11	16.0
SU 4		4.8	33.9	0.51	0.12	17.8
SU 5	Hyakuna	10.9	30.4	0.40	0.07	19.3
SU 6	Yakabu	22.0	28.7	0.53	0.16	24.9
SD 1	Shikenbaru	1.6	49.9	0.44	0.09	0.8
SD 2		2.5	40.0	0.39	0.09	3.2
SD 4		4.8	52.2	0.45	0.10	0.8
SD 6	Yakabu	22.0	60.5	0.51	0.16	0.8

次に新里粘土と与那原層泥岩の圧密特性を比較するため、南風原村でブロックサンプルとして採取した与那原層泥岩と先の新里粘土の中で最も風化を受けていない屋嘉部の22mの不攪乱試料のe-log p関係をFig. 9に示した。ここでも前述した通りの方法で作成した練返し試料の結果を同時に示してある。与那原層泥岩のe-log p関係はFig. 8で説明した未風化粘土の傾向をさらに強く示し、その圧密降伏応力は新里粘土の25kg/cm²に比べ70kg/cm²と大きい。したがって、両試料での圧密降伏応力の差は過去の土カブリ圧の差の他に堆積年代による続成作用による粒子間結合力の差が反映されている。

2. せん断特性

屋嘉部と志堅原、百名(国道沿)で採取した未風化と風化層の不攪乱試料について一軸、三軸UU, CU試験を、志堅原の風化層(茶カッ色)および未風化層(青灰色)を練返して成形した試料について一軸圧縮試験を行なった。また志堅原の未風化試料を自然含水比のまま解きほぐし、高含水比で練返して直径30cmの大型圧密容器で0.5kg/cm²の予圧密した試料についてCU-試験を行なった。供試体は直径50mm、高さ100mmの円柱形である。

未風化新里粘土は圧密試験結果から与那原層泥岩同様続成作用による結合力の影響を受けていることが推察された。この結合力の効果はせん断強度の増加と変形に対するゼイ性挙動に寄与することにある。このことは逆に風化を受けると結合力が破壊され、含水比の増加、強度低下、ゼイ性挙動から塑性的挙動への移行をもたらす。与那原層泥岩の一軸強度は20kg/cm²以上で、破壊ひずみは2%以内である場合が多い⁷⁾。

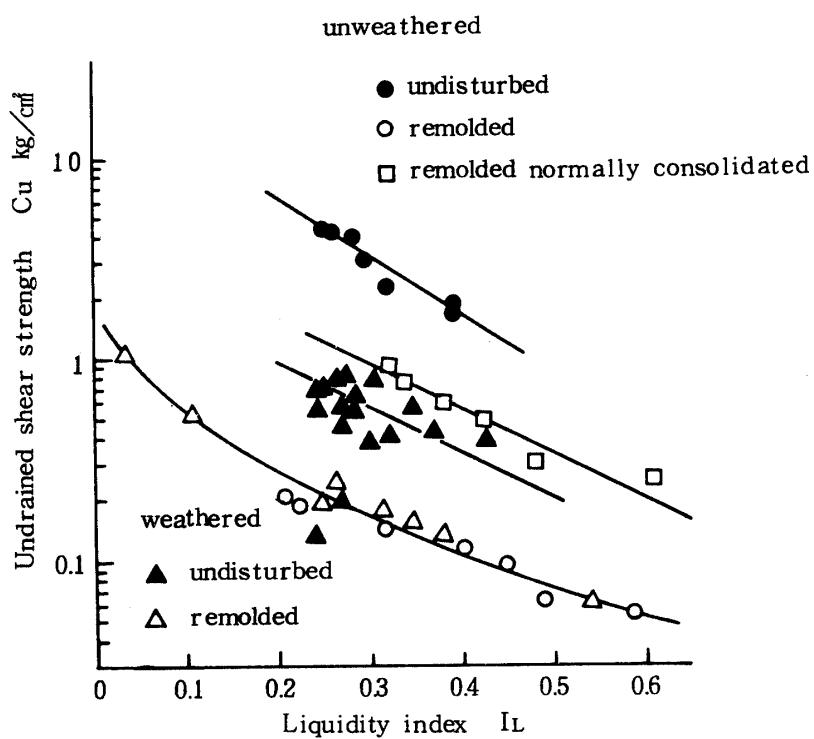


Fig. 10. Relationship between liquidity index and undrained shear strength for Shinzato clay

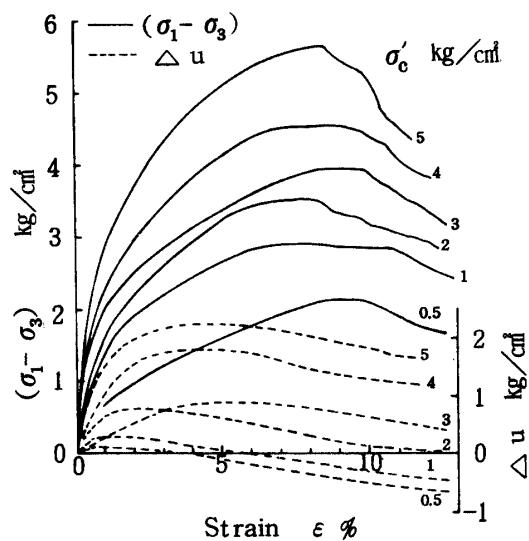


Fig. 11. Stress, induced pore pressure-strain curve for weathered Shinzato clay

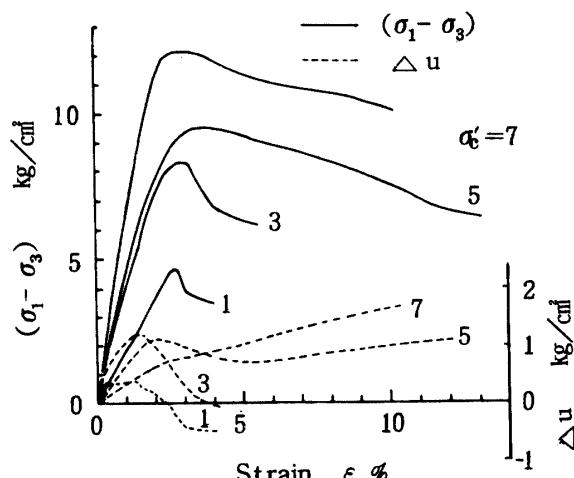


Fig. 12. Stress, induced pore pressure-strain curve for unweathered Shinzato clay

同一飽和粘土では非排水強度は含水比によって一義的に定まることが知られている。いまこの飽和含水比状態にある土の状態を液性指数 I_L で表わし、新里層の未風化と風化粘土についての一軸圧縮試験およびUU-試験から得られたせん断強度 C_u と I_L の関係を対数目盛で示すと Fig. 10 となる。この図には練返し試料と練返して正規正密した試料の結果も同時に示してある。ばらついているが、 $I_L = 0.2 \sim 0.5$ の間で未風化層、風化層、練返し試料および練返して正規圧密した試料はそれぞれ異なる $\log C_u \sim I_L$ 関係にあり、同一液性指数に対し未風化粘土、練返して正規圧密した試料、風化粘土、練返し試料の順に強度は小さくなっている。このように異なる強度にもかかわらず未風化粘土と風化粘土の液性指数がほぼ同じ範囲にあることは、風化による強度低下の主な要因がコンシステンシーなどの物性の変化ではなく土の構造的強さの減少にあることを示唆している。また、十分練返して正規圧密した試料の強度が風化粘土より大きいことに注目すると、土の構造的強さの減少は続成作用による結合力の喪失とともに機械的乱れにも原因していると推察できる。練返し粘土は機械的乱れによって未風化、風化に関わらず同じ程度に低下している。

CU-試験はバックプレッシャー $U_b = 3.0 \text{ kg/cm}^2$ のもとで圧密した後、せん断速度 $0.05\%/\text{min}$ で非排水せん断を行なった。供試体は、屋嘉部の風化層（崩積土も含む）と百名の比較的風化を受けていない深度 10 m ($N = 20$) から採取した不攪乱試料である。志堅原の未風化粘土を練返して正規圧密した試料のせん断はせん断速度 $0.1\%/\text{min}$ で行なった。

Fig. 11 は屋嘉部の風化粘土に対する応力、間隙水圧～ひずみ関係を、Fig. 12 は百名の未風化粘土に対する同様な関係を示したものである。両試料とも圧密によって強度が増加している。風化粘土の破壊ひずみは $8 \sim 10\%$ で塑性的挙動を示し、間隙水圧発生状況からわかるように通常の過圧密粘土に類似した挙動を示している。一方、未風化粘土の強度は風化粘土に比べて大きく、破壊ひずみは $2.5 \sim 3\%$ と小さくゼイ性破壊を示すが、間隙水圧に乱れがあるのはヒビワレ面を含んでいたことに原因していると考えられる。図では示していないが、練返して正規圧密した試料の応力、間隙水圧～ひずみ関係は通常の正規圧密粘土と同じである。

これらの有効応力経路を示すと Fig. 13 となり、風化粘土と未風化粘土は、練返して正規圧密した試料と比較すると過圧密の挙動を示していることがわかる。実験の応力範囲では Mohr-Coulomb の破壊規準が適用でき、それから求まる強度定数は、未風化粘土で $c' = 1.0 \text{ kg/cm}^2$, $\phi' = 25^\circ$ 、風化粘土で $c' = 0.25 \text{ kg/cm}^2$, $\phi' = 23^\circ$ 、練返して正規圧密した試料で $c' = 0$, $\phi' = 23^\circ$ である。これらの強度定数を比較すると、固結状態にある新里粘土が風化を経て練返して正規正密した状態まで軟弱化すると仮定すれば、その過程において c' は減少、消失するが、 ϕ' はほぼ一定値を示していることがわかる。いま、こ

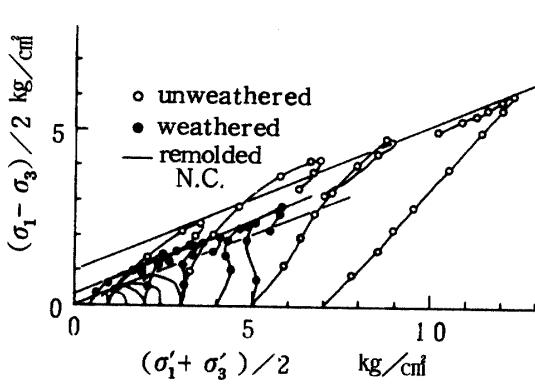


Fig. 13. Comparison of effective stress path

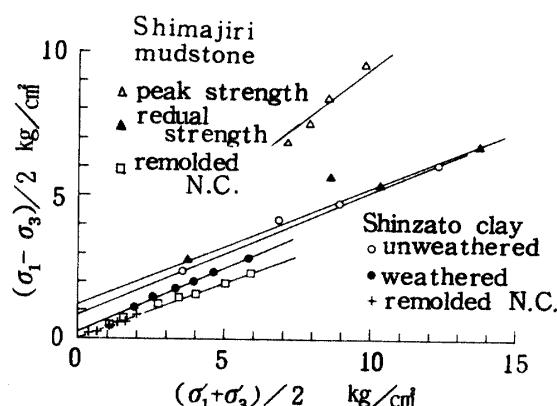


Fig. 14. Comparison of effective stress at failure

の結果を与那原層泥岩の結果と比較したのがFig. 14である。未風化新里粘土は未風化与那原層泥岩の排水せん断から求めた残留強度に近似し、また、両試料の練返して正規圧密した試料の結果は一致している。しかも、未風化与那原層泥岩のピーク時強度を除いて ϕ' は $23 \sim 25^\circ$ とほぼ一定値を示している。これは両試料のコンシスティンシーがほぼ一致していることによるものと考えられる。また、両試料とも結合力の破壊程度に応じて c' は減少するが、このことは有効応力にもとづく長期安定解析において c' の効果は期待できないことを示唆している。

3. 斜面安定解析への強度定数の適用

玉城村屋嘉部地内で発生したすべりの安定解析にせん断試験結果を適用する。

Fig. 15は地すべり地主測線の断面図である。この斜面には県道48号線が通っていて、公民館建設のためこの道路より右方斜面に盛土工事が行なわれた。盛土を終了し、鋼管杭打設工事中の昭和51年7月29日、豪雨中にすべりが発生した。調査によると図において、Aでテンションクラック、Cでクラックと湧水、Dで押出しが見られるが、Fig. 2に示したようにB点の深度12mと盛土地点ののり面での深度7m付近で石灰岩レキを含んだ高含水比の軟弱粘土層が確認されているので、ABCを通る円弧すべりが最初に発生し、それに付随してBDのすべりが生じたと推定される。すべりの要因として盛土と鋼管杭打設による地盤搅乱と考えられるが、盛土による上載荷重の増加を主要因とし、続いて豪雨時の地下水位上昇によるすべり面上方の土塊重量の増加と有効応力減少が付加され、起動モーメントの増加をもたらしたと想定される。したがって、この斜面の安定解析は全応力解析法($\phi = 0$ 法)が適用可能である。

安定解析は、すべり後測定された地下水位を参考に図に示した異常高水位とし、ABCの円弧すべり面を仮定して分割法(簡便法)によって行なった。

すべり面に沿ったせん断強度 C_u の分布が定かでないので、盛土前と盛土後の場合について安全率から平均的な C_u を逆算して安全率と C_u の関係を示すとFig. 16となる。いま、Fig. 10に示した風化土塊の C_u と I_L の関係を再びFig. 17に示すと、 $C_u = 2\text{ton}/\text{m}^2$ 以下の2点を除いて、 C_u と I_L の関係は風化の程度に応じて幅をもった $\log C_u \sim I_L$ の直線関係が成立する。ここで、すべり面は崩積土塊と残積風化層の境界にあって、過去にかなりの機械的搅乱を受けたと考えられるので $\log C_u \sim I_L$ は下限の直線関係をとる。ボーリング調査からすべり面付近の含水比は35~40%の間にあるが、Fig. 2の例を除いて液性限界、塑性限界は測定されていない。そこで平均値として $LL = 65\%$ 、 $PL = 25\%$ とすると $I_L = 0.25 \sim 0.37$ となり、 $C_u \sim I_L$ 関係の下限関係から $C_u = 2.7 \sim 4.3 \text{ ton}/\text{m}^2$ が求まる。このせん断強度で安全率を計算すると、盛土前で $1.08 \sim 1.72$ 、盛土後で $0.84 \sim 1.34$ となる。強度定数のとり方によって安全率に幅を生じているが、Fig. 2に示した深度11mで $w = 38.6\%$ 、 $I_L = 0.32$ から $C_u = 3.4 \text{ ton}/\text{m}^2$ と推定でき、安全率は盛土によって1.36から1.06に低下する。この安定解析にはテンションクラックを考慮していないこと、すべり面に沿って一様なせん断強度を用いたことを考慮すると、 $\phi = 0$ 法から得られた安全率はほぼ妥当な値と考えられる。

ちなみに、練返して正規圧密した試料の強度定数 $c' = 0$ 、 $\phi' = 23^\circ$ を用いて有効応力による安定計算を行なうと、安全率は盛土前で1.34、盛土後で1.16と過大な値となる。ここで、 $c' = 0$ 、 $\phi' = 23^\circ$ を用いたのはすべり面付近で土塊が過去の機械的搅乱によって結合力の効果を喪失していると考えたからである。

現在、この斜面は盛土部が取除かれて安定を保っているが、極限状態にあると仮定すれば、 $F.S = 1$ と $c' = 0$ から逆算される ϕ' は 17.6° となる。この値は $\phi' = 23^\circ$ より小さく、残留強度に相当するものと考えられる。今後この斜面が自然斜面として破壊することが予測されるなら、残留強度に支配される長期安定問題となる。

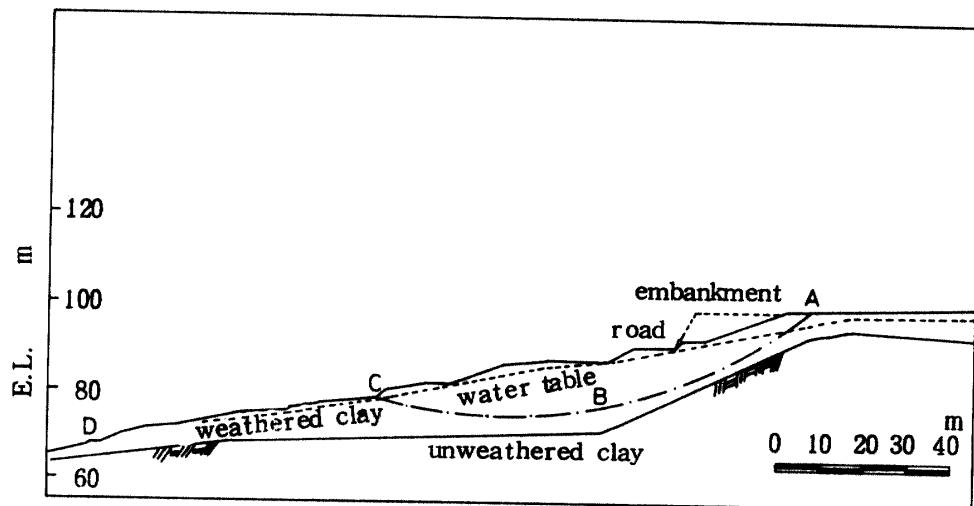


Fig. 15. Slip at Yakabu, Sept. 1976

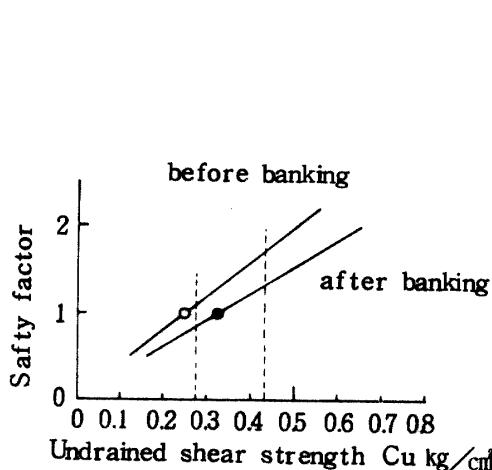


Fig. 16. Relationship between undrained shear strength and safety factor for slip at Yakabu

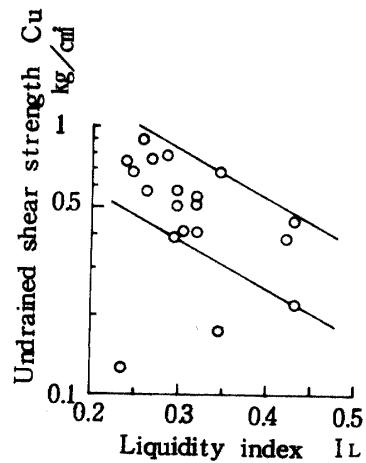


Fig. 17. Relationship between liquidity index and undrained shear strength for weathered Shinzato clay

IV 結 論

島尻層新里粘土の不攪乱試料について物理試験および力学試験を行ない、その結果を与那原層泥岩の特性と比較して次の結論を得た。

- 標準貫入試験によるN値は未風化与那原層泥岩で50以上であるのに比べ、新里粘土では20～40と軟質で塑性的である。
- コンシステンシーから見た物性は、与那原層泥岩と新里粘土、また、風化層と未風化層はその差がない。塑性図ではCHに、活性度では普通の活性度を有する粘土に属する。
- pHと炭酸カルシウム含有量から見た化学的性質は与那原層泥岩と新里粘土とでは差がなく、風化層と未風化層にその差が認められる。

4. 圧密圧力 181 kg/cm^2 までの高圧圧密試験を行なった結果、未風化新里粘土は過圧密効果の外に統成作用による結合力の影響を受けていることが推察された。風化による結合力の破壊程度に応じて圧密降伏応力の差は土かぶり圧の差よりかなり大きい。
5. また圧密降伏応力は未風化新里粘土で 25 kg/cm^2 、与那原層泥岩で 70 kg/cm^2 の例が測定されたが、両者の差は過圧密効果以外に堆積年代の差に反映されている。
6. 非排水強度 C_u と液性指数 I_L の関係が未風化粘土、風化粘土、練返し粘土のそれぞれに成立し、 $I_L = 0.2 \sim 0.5$ の間で、未風化粘土、風化粘土、練返し粘土の順に強度が小さくなることから、風化による強度低下の主な要因はコンシステンシーなどの物性の変化にあるのではなく、土の構造的強さの減少にある。
7. 新里粘土の有効応力による強度定数は、風化や機械的攪乱による軟弱化に伴って c' は減少、消失するが、 ϕ' はほぼ一定の値を示し、練返して正規圧密した試料の $c' = 0$ 、 $\phi' = 23^\circ$ まで減少する。
8. 玉城村屋嘉部地内の地すべりを全応力にもとづく $\phi = 0$ 一解析法で安定解析を行った。その際、風化土塊の $\log C_u \sim I_L$ 関係は風化に応じて幅をもった直線関係群と仮定し、強度の下限に関する直線関係とすべり面付近の含水比にもとづいた非排水強度 C_u を用いた。

終りに、新里粘土の不攪乱試料と調査資料の提供は小波藏政良氏(中央建設コンサルタント株式会社)の好意によるもので深く謝意を表する次第である。また琉球大学農学部卒業生、砂川恒夫(現沖縄県土地改良連合会)、嘉数健二(現ソイルアンドロックエンジニアリング株式会社)両君の協力があったことを付記しておく。

参考文献

1. Bjerrum, L. 1967 Progressive failure in slopes of overconsolidated plastic clay shales. Journal of the Soil Mechanics and Foundation. Proc. ASCE 93 (SM5) : 3 ~ 49
2. 福田理他 1970 第5次沖縄天然ガス資源調査研究概報、地質調査月報, 21(11) : 627 ~ 672
3. 川島禄郎他 1943 沖縄におけるジャーガルならびにマーデ土壌とその母岩について、土壤肥料雑誌, 17 : 451 ~ 454
4. 京都大学農学部農芸化学教室編 1975 新改版農芸化学実験書(第1巻) p301, 東京, 産業図書
5. 沖縄県 1977 県道48号線土質調査・解析設計委託業務、中央建設コンサルタント株式会社
6. 沖縄総合事務局 1977 一般国道331号測量設計業務報告書、中央建設コンサルタント株式会社
7. 新城俊也 1972 沖縄における泥灰岩の工学的特性(Ⅲ), 琉大農学報, 19 : 331 ~ 342
8. Skempton, A.W. 1953 The colloidal "Activity" of clays, Proc. of third ICSMFE, Vol. 1 p57 ~ 61
9. 砂川徹夫 上原方成 1973 那覇市の地盤について、琉球大学理工学部紀要工学編, 6 : 101 ~ 162
10. 和田秀徳他 1977 ペドロジー - 土壌学の基礎 - p85 ~ 87, 東京, 博友社

Summary

The purpose of this paper is to examine the mechanical properties of Shinzato clay that is obtained from Shinzato formation that deposited in Pliocene-Miocene Epoch of Tertiary Period and outcrops in the southern part of Okinawa Island. Then, some physical and chemical tests, consolidation tests and shearing tests carried out on the samples obtained from both weathered and unweathered zones in three sites.

The conclusions are as follows. Shinzato clay is heavily overconsolidated clay with diagenetic bonds, and the index and mechanical properties are varied with weathering, that is, the mechanical behavior varies gradually from brittle behavior to that of plastic overconsolidated clay according to weathering.