

琉球大学学術リポジトリ

乾湿繰返しによる島尻層泥岩における 2,3 の物理的性質の変化(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: 小宮, 康明, 新城, 俊也, Komiya, Yasuaki, Shinjo, Toshiya メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/4205

乾湿繰返しによる島尻層泥岩における 2, 3 の物理的性質の変化*

小宮 康明**・新城 俊也**

Yasuaki KOMIYA and Toshiya SHINJO : Variations in some
physical properties of Shimajiri mudstone due to
alternate drying and wetting

I はじめに

沖縄本島中南部では基盤整備や土地造成などに伴う島尻層泥岩地山の切土が盛んに行われている。その大半の切土ノリ面は大気にさらされたまま放置され、降雨時に切土ノリ面の侵食、表層スベリ、崩壊などが発生している。これらの現象の誘因の一つに風化作用⁴⁾による泥岩の物性変化があげられる。風化作用には物理的作用、化学的作用など種々あげられるが、泥岩に最も大きな影響を及ぼすのは乾湿繰返し作用と考えられており^{9,12)}、乾湿繰返しによる泥岩の物性変化の特性を知ることは切土ノリ面の設計や保護対策を実施する上で重要と思われる。

本研究では、乾湿繰返しによる泥岩の物性変化を明らかにする目的から、未風化島尻層泥岩に室内乾燥湿潤サイクルを与え、各サイクル毎に耐水性団粒、沈定容積、液性限界、塑性限界、水浸含水比を測定し、現場で風化を受けた泥岩と比較しながら乾湿繰返しによる2, 3の物理的性質の変化を検討する。

II 実 験

1. 予 備 実 験

島尻層泥岩の構造は板状の粘土粒子が凝集したシルト径大の団粒の集合により構成されている¹¹⁾。また、島尻層泥岩は結合物質である炭酸カルシウムをかなりな量含み¹⁰⁾、かつ続成作用を受けていると考えられ¹¹⁾、団粒および団粒間は強く結合されていると推察される。このような泥岩を完全に一次粒子状態まで物理的に分散させるのは非常に難しいと予想される。

予備実験はカクハン時間を数段階変えて粒度試験を行い、島尻層泥岩の粒度組成とカクハン時間の関係を知り、次の本実験で行う5分カクハンの効果をおよそ把握しておくために行われた。未風化泥岩にカクハン作用を与える前に泥岩を乾湿1サイクルで崩壊させた後、6%の過酸化水素水を100 ml 加えて有機物を分解した。分散剤は1規定のヘキサメタリン酸ナトリウムを20 ml 用いた。

実験結果をFig. 1, Fig. 2に示す。Fig. 1は粒径加積曲線で、Fig. 2はFig. 1をもとにカクハン時間と砂分、シルト分、粘土分の関係を示したものである。これらより島尻層泥岩の粒度組成はカク

* この論文の一部は、第48回農業土木学会九州支部会(昭和51年11月)、および土質工学会第12回土質工学研究発表会(昭和52年5月)において発表した。

** 琉球大学農学部農業工学科

ハン時間の影響を強く受け、カクハン時間の増加に伴い団粒の分散が進み、粘土分が増加するが、固結した団粒を完全に一次粒子状態にまで分散させるには240分以上のカクハン時間が必要であることがわかる。したがって、5分カクハンはある一定エネルギーで団粒をある程度まで分散させるための分散方法であると理解される。

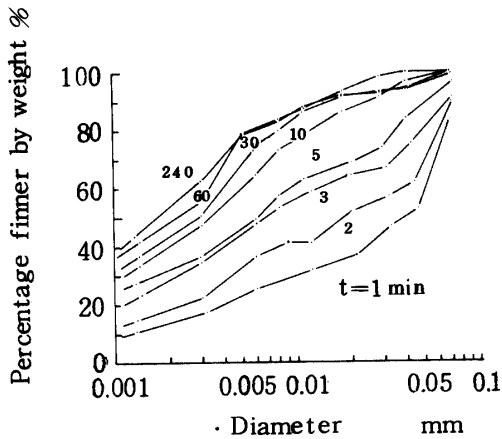


Fig. 1. Effect of time of stirring on grain-size distribution curve (t denotes time of stirring)

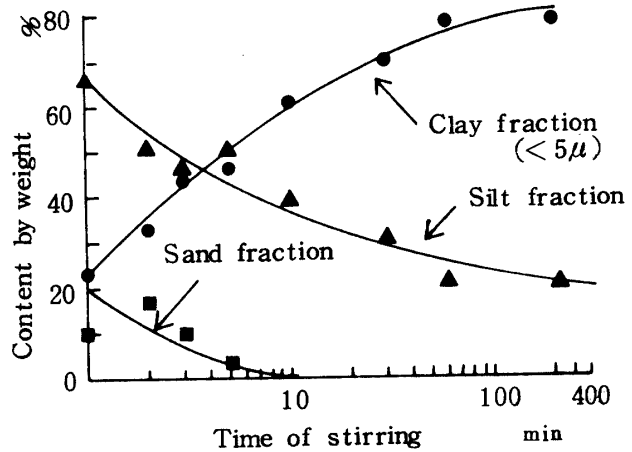


Fig. 2. Variations in clay, silt, and sand fractions with time of stirring

2. 試料

実験に用いた試料は豊見城村でブロックサンプルされた青灰色のクラックを有しない未風化泥岩である。その物理的性質をまとめてTable 1に示した。粒度試験は分散剤にトリポリリン酸ナトリウムを1g用い、1分カクハンと充分な煮沸を行って得た値で、予備実験の240分カクハンの粒度組成にはほぼ相当する。他の諸値はJISに準拠して求めた値である。

Table 1. Physical properties of the sample

Water content %	Unit weight g/cm ³	Void ratio	Saturation %	Specific gravity
27.3	2.00	0.75	99.8	2.75
Liquid limit %	Plastic limit %	Sand	Grain-size Silt	Clay
75.4	30.2	1	24	75

3. 実験方法

1) 供試土の準備

ブロックサンプルされた試料から板状の泥岩塊(20cm×15cm×3cm)を数個切り出し、Fig. 3.に示されるような操作を繰り返して乾湿サイクル数の異なる供試土を準備した。スレーキングは供試土の乾燥程度や水浸条件に左右されるが、本実験では次の条件で行った。供試土の乾燥は室内気乾燥で、1回の乾燥時間を4～7日に限定した。その結果、各供試土の平均気乾含水比は5.1%であった。また、供試土はほとんど自由に吸水膨張できる条件で容器の下部の小孔から3枚の口紙を介して数分間で水浸を完了され、2日間水浸状態に置かれた。

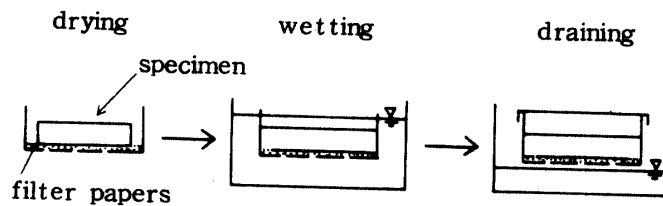


Fig. 3. Sketch of process of dry-wet cycle

2) 耐水性団粒分析

気乾重量で約50gの供試土を蒸留水に24時間水浸した後、孔径2, 1, 0.5, 0.25, 0.1cmの組フルイに移して組フルイを振幅3cm, 振動数20回/分で60分間水中上下振動させてシ別する。各フルイ上に残った分離物は110°Cで炉乾し秤量される。この分離物は団粒以外に同粒径の一次粒子を含むので各秤量後の分離物は6%過酸化水素水100mlと5分カクハンで一次粒子に分散してから同じくシ別秤量される。試験はこの試験の精度を考慮して各供試土で2回行う。

3) 沈定容積試験

絶乾重量50gに相当する供試土を蒸留水中に24時間水浸した後、約1気圧で吸引脱気してからフタ付試験管(断面積5cm², 容量115cc)に入れる。それから150秒間ゆっくり振とうし、内側に付着した土を洗い流し全量を100ccにして静置した後、上澄み液と沈定土の分離面から容器の底までの高さを測定し、沈定容積を計算によって求める。

4) 液性限界および塑性限界試験

気乾重量で約150gの供試土を粉碎シ別することなく、塑性限界付近まで蒸留水を加えて練返し、約24時間ビニール袋に入れて密封放置した後、JISに準じて試験を行う。引続き、残りの供試土を5分カクハンで団粒を分散処理してから同じく試験する。

5) 水浸含水比測定

2日間水浸された供試土を24時間蒸発を防ぎながら排水させた後、含水比を測定する。測定は各供試土で3回行う。

III 結果と考察

1. 乾湿繰り返しによる泥岩の細粒化

自然含水比状態の泥岩は水浸しても徐々にしか物性の変化を生じないが、乾燥を受けた泥岩は水浸するとスレーキングにより容易に崩壊する。このスレーキングについては多くの研究成果⁷⁾があるが、ス

レーキングの繰返しに伴う泥岩の細粒化過程について言及したものは少ない^{5,9)}。そこで、乾湿サイクル数の異なる供試土の耐水性団粒分析と沈定容積試験を行い、泥岩の細粒化過程を調べる。

まず、耐水性団粒分析結果を Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6 に示し、0.1mm以上の耐水性団粒の消長から泥岩の細粒化を検討する。各プロットは2個の供試土の平均値である。Fig. 4 は各乾湿サイクル数の異なる供試土の粒径加積曲線である。これより乾湿サイクル数の増加に伴い泥岩の細粒化が進行するのがわかる。Fig. 5 は乾湿繰返しによる団粒の消長を団粒化度と乾湿サイクル数で示したものである。団粒化度は次式で表わされ、ある粒径以下の一次粒子の何%が団粒状態にあるかを示す。

$$N\text{mm以下の一次粒子の団粒化度}(\%) = \frac{N\text{mm以上の団粒の重量}}{N\text{mm以下の一次粒子の重量}} \times 100$$

未風化泥岩供試土は乾湿1サイクルで泥岩の層面に沿うクラックと玉ネギ状のクラックによって大きなレキに分解され、レキ大の団粒(粒径2mm以上)79%, およそ砂大の団粒(粒径が2mm未満, 0.1mm以上)16%, およそシルト大以下の団粒(粒径が0.1mm未満)5%に細粒化される。乾湿2サイクルを受けると、大きなレキ大の団粒は無数のクラックによって分解され、レキ大の団粒24%, 砂大の団粒67%, シルト大以下の団粒9%に細粒化される。こうした細粒化の傾向は乾湿8サイクルまで続き、乾湿8サイクルではレキ大の団粒は消失し、砂大の団粒が32%, シルト大以下の団粒が68%に達する。乾湿9サイクル以降ではレキ大の団粒の消失に反映されて砂大の団粒が徐々に細粒化するのが見られ、乾湿20サイクルでは砂大の団粒がまだ26%も存在している。この乾湿9サイクル以降の団粒の消長から判断すると、乾湿繰返しによって泥岩を完全に一次粒子状態まで分散することは難しいようである。また逆に、新たな0.1mm以上の団粒の形成もなさそうである。Fig. 6は6個の乾湿サイクル数の異なる供試土、約1年前に切土されたノリ面(試料採取場所)の風化残積土(A₁)とノリ面下の崩積土(A₂)、乳バチで粉碎し0.42mmフルイでうらごしされたJIS試料(JIS)の団粒化度と団粒径の関係を示している。A₁の団粒組成は乾湿6サイクルの供試土のそれとほぼ一致し、A₂の団粒組成は乾

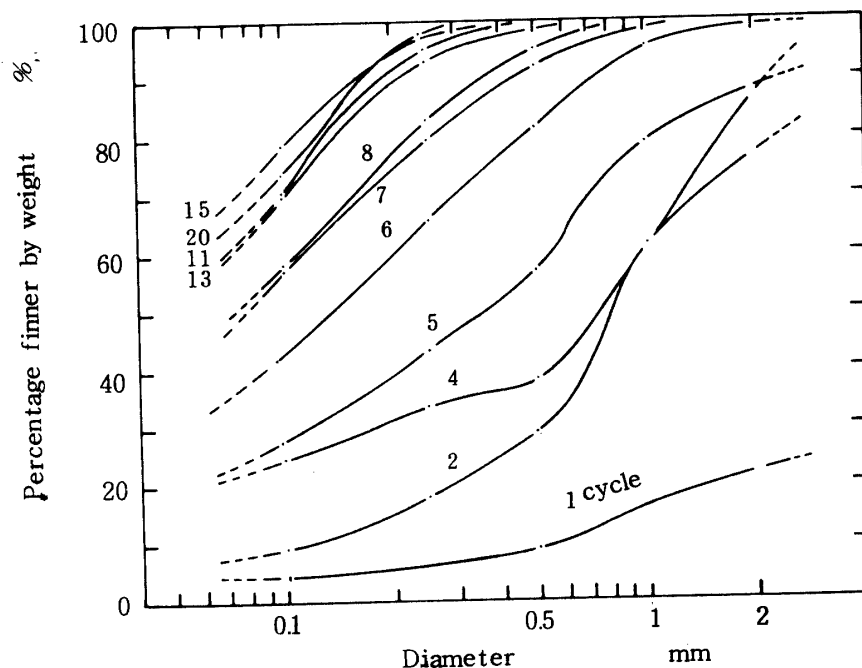


Fig. 4. Effect of alternate drying and wetting on grain-size distribution curve

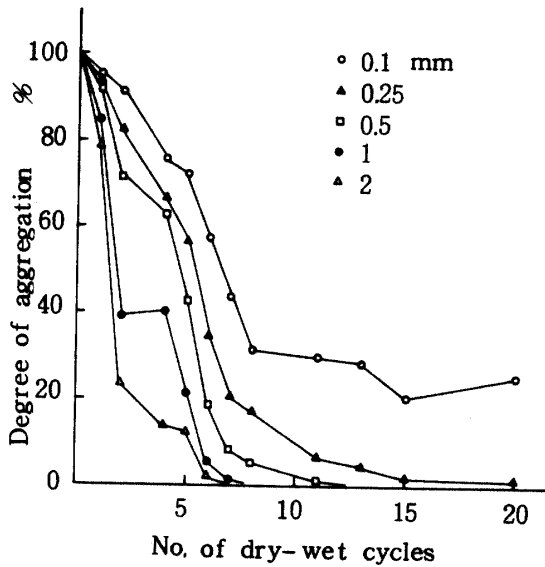


Fig. 5. Variations in degree of aggregation with a number of dry-wet cycles

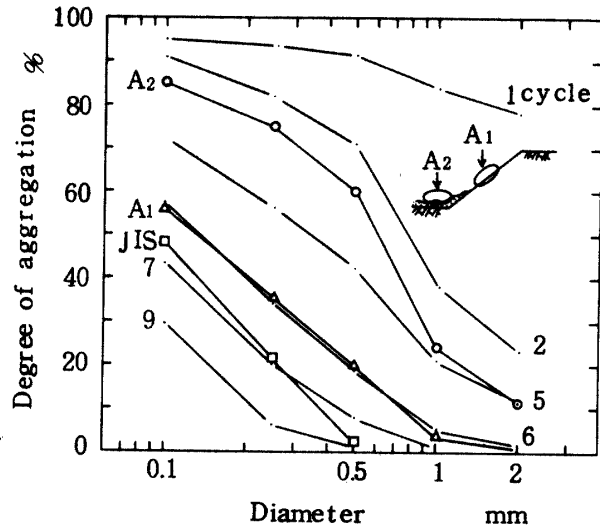


Fig. 6. Comparison of degree of aggregation between samples subjected to alternate drying and wetting and two weathered samples or samples applied to JIS A1201

湿2サイクルと5サイクルの間に、JISの団粒組成は乾湿6サイクルと9サイクルの間にプロットされている。これより室内乾湿繰返しによる泥岩の細粒化は風化によるそれとほぼ同じ過程で進行し、また、JIS試料以上に細粒化が進むことがわかる。

次に沈定容積試験結果より間接的に0.1mm以下の団粒の動向を調べる。なお、ここで比較試料として耐水性団粒分析に用いたA₁、A₂、JISに加え、乾湿1サイクル供試土の5分カクハン処理土が用いられる。一般に沈定容積は粘土の含有量と性質に左右され、粘土含有量が多いほど、粘土が親水性に富むほど沈定容積は大きくなる²⁾。Fig. 7は乾湿繰返しに伴う供試土の沈定容積とpHの変化を示している。各沈定溶液は振とう静置から24時間後には上澄み液と沈定土にはっきり分離していたが、それ以後も徐々に沈定土の高さ(体積)が減少したので、この図には24時間後の沈定容積と沈定土の体積変化が終了した時の最終沈定容積の両方がプロットされている。

いま、乾湿繰返し土の沈定容積に注目する。24時間後の沈定容積は乾湿7サイクルまで急増し、8サイクル以降では徐々に増大している。最終沈定容積は乾湿7サイクルまで24時間後の沈定容積と同じく増大しているが、乾湿8サイクル以降では次第に減少する傾向を示している。これは乾湿8サイクル付近から細粒化の質的变化が生じた結果と考えられる。一方、5分カクハン処理土の沈定容積は24時間後で約2.6 cc/gと乾湿繰返し土に比べて非常に大きく、24時間後の沈定容積と最終沈定容積の差も大きい。逆にJIS試料の24時間後の沈定容積は同程度の団粒化度を有する乾湿7~9サイクル供試土のそれとうまく対応しているにもかかわらず、最終沈定容積はそれらの沈定容積とかなり異なる。予備実験より5分カクハン処理土は約50%のシルト径大の団粒が板状の粘土粒子に分散されるが、JIS試料は粉碎によるため団粒の形状は球形に近いと考えられる。このような団粒の形状と粘土粒子含有量の異いが24時間以降の沈定土の体積変化を左右すると考えられ

る。

以上の考察から乾湿繰返しによる0.1mm以下の団粒の動向を推定すると、乾湿7サイクル付近までは未風化泥岩が本来有しているシルト径大の団粒の細粒化は顕著でないが、乾湿8サイクル付近からはそのシルト径大の団粒の細粒化(粘土化)が主に進行していると推察される。

さらに、乾湿繰返し土と風化泥岩土(A₁, A₂)の沈定容積を比較すると風化泥岩土は同程度の団粒化度を有する乾湿繰返し土より沈定容積が大きく、pHが低い。これより両者の団粒は質的にやや異なっていると思われる。

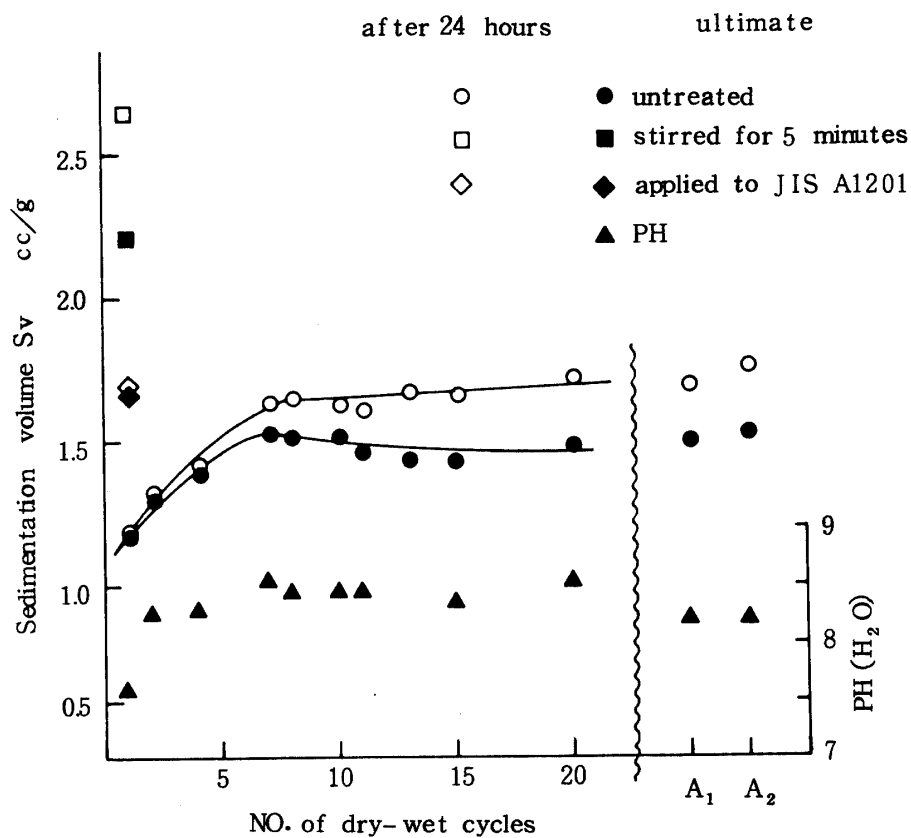


Fig. 7. Variations in sedimentation volume and pH value with a number of dry-wet cycles or weathering for 1 year

2. 乾湿繰返しによる泥岩のコンシステンシー変化

本節では細粒化に伴って泥岩はどのような含水領域でどのようなコンシステンシーを示すかを明らかにするため、乾湿繰返しによる液性限界、塑性限界、水浸含水比の挙動について調べる。ここでも比較試料として各供試土の5分カクハン処理土、JIS試料、風化泥岩土(A₁, A₂)を用いる。

Fig. 8は液性限界と乾湿サイクル数の関係を示している。乾湿1サイクルの供試土はレキの性質を示して液性限界を求めることができないが、乾湿2サイクルからは粘性土の挙動を示し液性限界を求めることができる。乾湿2サイクルから8サイクルまで液性限界は増大するが、乾湿9サイクル以降ではデータのバラツキがあるが、徐々に減少する傾向を示している。従って、乾湿8サイクルでピーク値が

得られる。ちなみにこの値はJIS試料の液性限界より5%大きい。一般に軟らかい粘性土では乾湿繰返しによって液性限界は減少し、硬質粘性土では増大するという報告^{1),14)}がある。この乾湿繰返しによる液性限界の挙動について考察を行う。

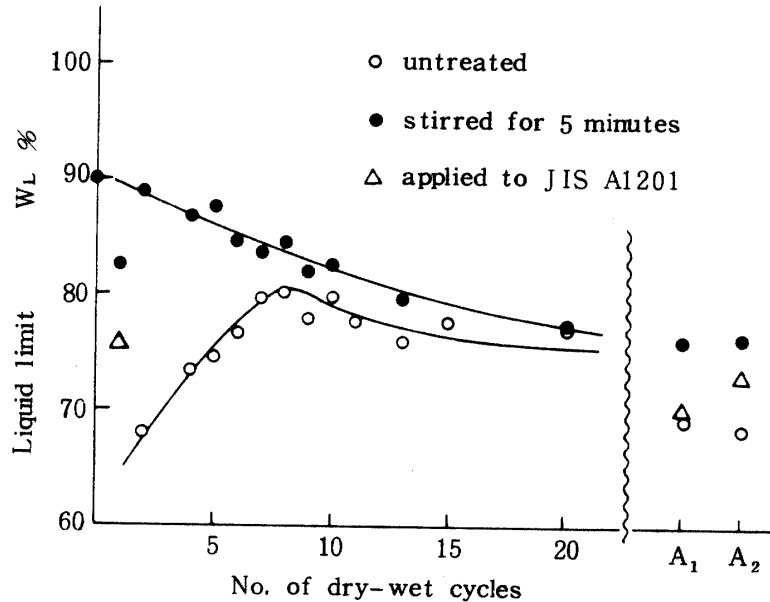


Fig. 8. Variations in liquid limit with a number of dry-wet cycles or weathering for 1 year

いま、5分カクハン処理土の液性限界に注目すると、5分カクハン処理土の液性限界はカクハンにより団粒が分散促進されて粘土含有量が増加されるため、乾湿繰返し土のそれより増加しているが、乾湿サイクル数が増加するにつれて徐々に減少の傾向を示している。このカクハンによる効果は乾湿8サイクルまで乾湿繰返しとともに減少し、乾湿9サイクル以降では液性限界にして約4%の微かな効果しか見られず、しかもほぼ一定である。細粒化が乾湿9サイクル以降も徐々に進行しているにもかかわらず、乾湿9サイクル以降ではカクハン効果がほぼ一定になるのはこの付近からシルト大団粒の顕著な粘土化が始まることから、試験に伴う繰返しによる団粒の分散効果⁸⁾が、乾湿繰返しによる団粒の粘土化より強く反映したためであろう。以上のことから乾湿繰返しによる液性限界の挙動は次のように説明されるであろう。乾湿繰返しにより泥岩は細粒化され水分保持力が高められるが、一方ではその構成土粒子は親水性から疎水性へ変化している。その結果、細粒化が顕著な乾湿8サイクル付近まで土粒子の疎水化より細粒化が強く影響して液性限界は増大するが、細粒化がほぼ終了した乾湿9サイクル以降では乾湿繰返しによる土粒子の疎水化が表面化して液性限界は減少する。なお、乾湿による土粒子の疎水化については次節で検討する。

次に風化泥岩土(A₁, A₂)の液性限界を見ると両者とも約70%を示し、その団粒化度が乾湿2~6サイクル供試土に近く、また、それぞれのJIS試料より小さいことから乾湿繰返し土の結果とうまく対応しているが、それぞれの5分カクハン処理土の液性限界は乾湿20サイクル供試土に近い値を示している。これより風化泥岩土では細粒化より疎水化が激しく進んだと推察される。

Fig. 9は乾湿繰返しによる塑性限界の変化を示している。塑性限界は乾湿サイクル数にかかわらずほぼ一定な値を示し、また、カクハンによる効果も見られない。これより塑性限界は乾湿繰返しによりほとんど変化しないと言えよう。

Fig. 10は乾湿繰返しに伴う供試土の水浸含水比、液性指数の変化を示している。水浸含水比は3個

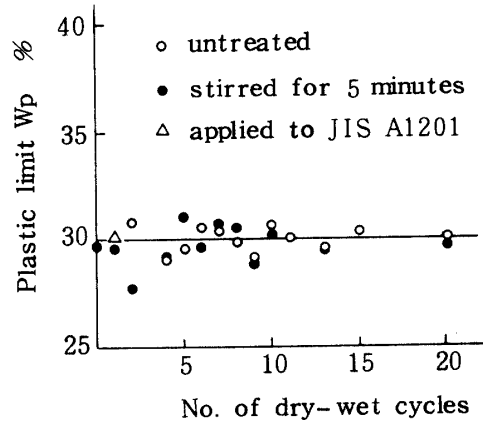


Fig. 9. Variations in plastic limit with a number of dry-wet cycles

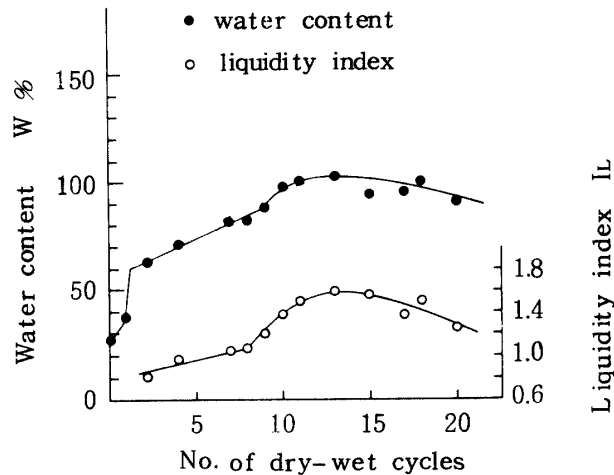


Fig. 10. Variations in water content and liquidity index after wetted with a number of dry-wet cycles

の測定値の平均値でプロットされ、液性限界、塑性限界が測定されていない供試土の液性指数はFig. 8, Fig. 9のグラフより内挿して得られたそれぞれの値を用いてプロットされている。乾湿1サイクルで供試土の水浸含水比は初期含水比より10%増大し、乾湿2~3サイクルで供試土の水浸含水比は急激に増大して63%になる。これは初期含水比の約2倍に相当する。その後、水浸含水比は乾湿9サイクルまで漸増し、10サイクルで急増して13サイクルでピークに達した後、徐々に減少する。これらの動向は細粒化のそれにはほぼ対応している。ピーク時の水浸含水比は約100%に達する。また、液性指数の変化も上記の水浸含水比の変化と同じである。水浸供試土が最も軟弱性を示すのは乾湿13サイクルで、その時の液性指数は1.6である。なお、Morgensternら⁵⁾の実験では液性指数の最大値を1付近に求めているが、この値はちょうどシルト大団粒が顕著に粘土化し始めると予想された乾湿8~9サイクルの液性指数に対応している。これはおそらく実験条件の相違によるものであろう。

3. 乾湿繰返しによる土粒子の疎水化

乾湿繰返しによる土粒子の疎水化の要因として、第一に乾燥による土粒子の集合化が考えられる^{3,13,15)} Fig.11は炉乾燥(110°C)による乾燥-湿潤の繰返しによって得られた液性限界、塑性限界と乾湿サイクル数の関係を示している。Fig. 8, Fig. 9と比べてわかるように、炉乾燥による塑性限界は気乾燥による場合と余り変化が見られないが、液性限界は気乾燥による値より全体的に低下している。また、乾湿繰返しによる変化を見ると乾湿1サイクルでやや異なるが、乾湿2サイクル以降ではほとんど63%程度の一定値を示す。ところが、この乾湿繰返し土の液性限界を5分カクハン処理した後で求めると、カクハンによる分散効果が現われてカクハン前より約13%も増大する。しかし、それらは気乾燥の5分カクハン処理土の液性限界の挙動と異なり、また、低い値である。これは炉乾燥によって土粒子が強く集合化したことを示している。こうした乾燥による集合化(再団粒化)が気乾燥においても微々生じることが十分考えられる。

第二に、大屋ら¹⁰⁾によって島尻層泥岩の水溶性成分は水浸中に溶出することが知られており、永田ら⁶⁾によれば風化段階で塩基の溶脱過程が異なることが明らかにされている。従って、水浸時に土粒子がリ-チングを受けて土粒子の疎水化が進行したと推察される。

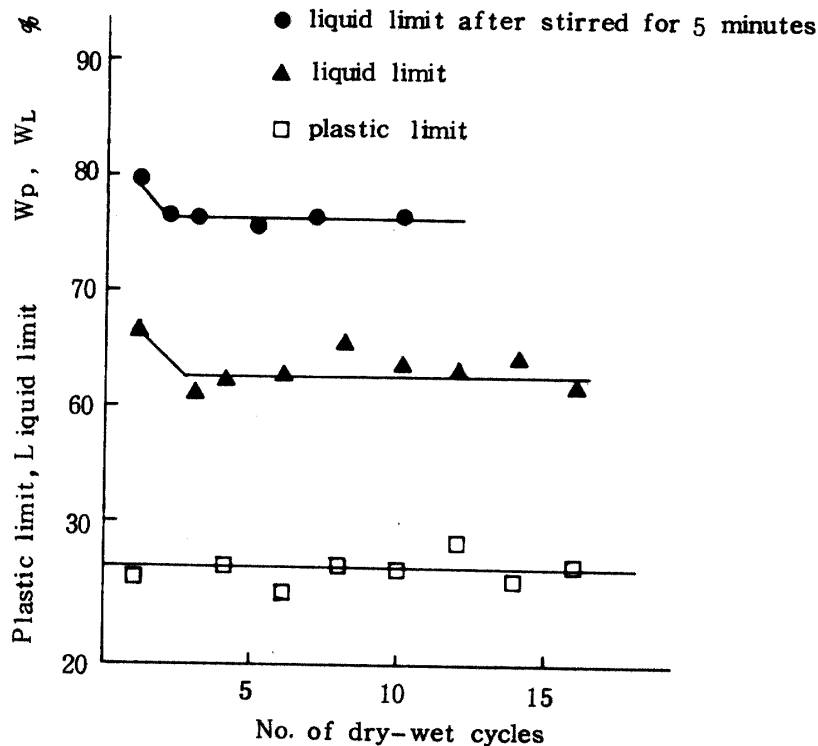


Fig. 11. Variations in liquid limit and plastic with oven dry-wet cycles

IV ま と め

乾湿繰返しによる泥岩の物性変化を明らかにするために、未風化島尻層泥岩に室内乾燥湿潤サイクルを与え、各サイクル毎に2, 3の物理的性質を調べ、次の結果を得た。

1. 未風化泥岩は乾湿繰返しにより顕著に細粒化する。
2. 細粒化過程はおよそ3段階に分けられる。第1段階では(乾湿1サイクル)泥岩は方向性を有するクラックにより主に大きなレキ大の団粒に分解される。第2段階では(乾湿2サイクルから8サイクル付近まで)レキ大の団粒, 砂大の団粒に無数のクラックが生じ, 主に砂大の団粒とシルト大の団粒が生じる。第3段階では(乾湿9サイクル付近以降)主にシルト大の団粒の粘土化が始まる。
3. 乾湿繰返しにより塑性限界はほとんど変化を示さないが, 液性限界は顕著に変化する。乾湿8サイクル付近まで液性限界は細粒化に反映されて増大するが, 乾湿9サイクル付近以降では土粒子の疎水化に反映されて減少する。
4. 乾湿繰返しを受けた泥岩の水浸含水比は乾湿13サイクル付近でピークを示し, その時の含水比は自然含水比のおよそ3.5倍で, 液性指数は1.6に増大する。
5. 乾湿繰返しにより泥岩構成土粒子は疎水化する。その要因は乾燥時の粘土粒子の再団粒化と水浸時のリーチング作用に求められそうである。

終りに実験に協力して頂いた専攻生の亀川雅裕君(現大城組株式会社勤務)に感謝の意を表します。

参 考 文 献

1. Bjerrum, L 1967 Progressive failure in slopes of overconsolidated plastic clay, Proc. ASCE, **93**(SM5):1~49
2. 土壤物理性測定法委員会編 1976 土壤物理性測定法, p59~65, p385~391, 東京, 養賢堂
3. Gidigas, M. D. 1976 Laterite soil engineering, p309~310, Elsevier scientific publishing company, Amsterdam
4. 松尾新一郎監訳 1971 風化—その理論と実態, p6~72, 東京, ラティス
5. Morgenstern, N. R. 1974 Classification of argillaceous soil and rocks, Proc. ASCE, **100**(GT10):1137~1155
6. 永田武雄, 鈴木健次郎 1969 置換基の種別に関する研究(第6報), 日本土壤肥科学雑誌, **40**(1):8~10
7. 例えば, 仲野良紀 1964 由比地すべり母岩(泥岩)の軟弱化と物性の変化について(その1), 土と基礎, **12**(11):27~33
8. Newill, D. 1961 A laboratory investigation of two red clays from Kenya, Geotechnique, **11**:302~318
9. 奥園誠之 1972 切土ノリ面の崩壊とノリコウ配, 土と基礎, **20**(2):33~39
10. 大屋一弘, 渡嘉敷義浩, 高江洲均, 多喜和彦, 西垣 晋 1976 ジャーガルとその母材に関する研究(第2報), 琉球大学農学部学術報告, **23**:165~176
11. 新城俊也 1976 島尻層泥岩のセン断特性 琉球大学農学部学術報告 **23**:237~254
12. ———, 小宮康明 1978 乾湿繰返しによる島尻層泥岩の強度低下, 琉球大学農学部学術報告, **25**:307~323
13. 相馬尅之, 前田 隆 1974 火山性ローム土の初期含水比が液性限界におよぼす影響, 農業土木学会論文集, **49**:27~34
14. 山崎不二夫, 竹中 肇 1965 風乾がアッタベルグ限界に及ぼす影響, 農業土木学会論文集, **14**:46~48
15. 吉田 力 1973 乾湿履歴が土に及ぼす影響, 昭和48年度農業土木学会大会講演要旨集, 204~205

Summary

This study is to know the variations in some physical properties due to alternate drying and wetting, that is a physical weathering process, on unweathering Shimajiri mudstone that outcrops the central and southern parts of Okinawa Island. The samples were alternately air-dried at room temperature during 4 days to 7 days and wetted under approximately free swell condition, and then some physical tests were carried out after each dry-wet cycle. The results are summarized as follows:

1. The unweathered mudstone is slaked and disintegrated due to dry-wet cycles. The process of disintegration may be distinguished approx. 3 stages as follows: (1) at 1 cycle, mudstone is mainly divided into some large gravel sized aggregates by laminal and oniony cracks. (2) from 2 cycles to 8 cycles, sand and silt sized aggregates are mainly produced by the breakdown of gravel sized aggregates. (3) after 9 cycles, the original silt sized aggregates may be dispersing.

2. The plastic limit values are scarcely affected due to dry-wet cycles however the liquid limit values are varied with a number of dry-wet cycles, that is, they gradually increase due to the breakdown of aggregates until 8 cycles and slowly decrease with decreasing affinity of soil particles to water after 9 cycles.

3. The water content and liquidity index values after wetted increase until approx. 13 cycles and decrease after 14 cycles. The maximum values of water content and liquidity index are approx. 100% and 1.6 respectively.

4. The decrease of affinity to water may be caused not only by the re-aggregating in the process of drying, but also by the leaching action in the process of wetting.