

琉球大学学術リポジトリ

代表的沖縄本島土壌の乾燥過程とスレーキングの関係(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: 宜保, 清一 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/4339

代表的沖縄本島土壌の乾燥過程と スレーキングの関係*

宜 保 清 一**

Seichi GIBO : The relations between slaking and drying
process of major soils in Okinawa Island

I 緒 言

ホ場や裸地斜面において表層は温度や水分含量の著しい変動を受けやすく、湿潤・乾燥の繰返しの度数も多い。このような種々の前歴によって土壌表層が土粒子-水系に変化を生じ、特異な工学的挙動を表わすものと考え。一般に土壌と水の関係において土壌塊の水食は雨滴の衝撃作用および流去水の洗掘作用による破壊(外的)と水中崩壊(内的)に分けられるが(10)、これらにおよぼす乾燥前歴の影響について量的に把握することは重要である。本報は、受食性の国頭礫層土壌(3)を主に沖縄特有の2,3の土壌を試料とし、水中崩壊(スレーキング)と乾燥過程との関係を膨張・収縮特性および理化学的性質と関連させながら実験的に解明しようとしたものである。

II 供試土と乾燥処理

試料として水食による表面流亡の盛んな国頭礫層土壌(金武村浜田にて採取)、地スベリ・斜面崩壊性の島尻泥灰岩風化土壌(豊見城村豊見城)、石灰岩風化土壌(糸満市米須)の代表的な3種の本島土壌を用いた。その粒度試験と物理試験結果をそれぞれ Fig. 1と Table 1(1,5)に示す。各試料を長期湿潤状態で保存した後 Soil Mixer と液性限界測定器を用い、落下回数18回の含水状態にしてから、さらによく練り合わせ気泡を含まないで詰め込めるほどのペーストを作り、それを100cm³の試料円筒(径5cm,高さ5cm)に収縮常数試験方法によって均一に詰めた。なお試料円筒にはワセリンを薄く塗布して脱水による供試体の収縮を容易ならしめた。各土壌水分状態にたいして2~4コのわりで供試体を作成し、水中に放置して飽和させた後、下記の諸方法(2,10)によって乾燥処理を行なった。Fig. 2に土壌水分特性曲線を示す。

- イ) 吸引法 : PF (1.5, 2.0)
- ロ) 遠心法 : PF (2.5, 3.5)
- ハ) 蒸気圧法 : PF (4.5, 5.0, 5.5, 6.0, 6.5)
- ニ) 炉乾燥 : PF (7.0)

* 支部講演会にて発表(昭和49年10月,別府市)
第44回農業土木学会九州支部講演集163~166

** 琉球大学農学部農業工学科
琉球大学農学部学術報告 22:279~287(1975)

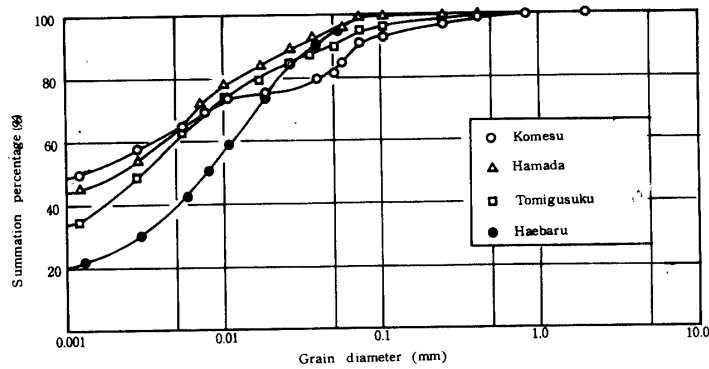


Fig. 1. Grain-size distribution curve

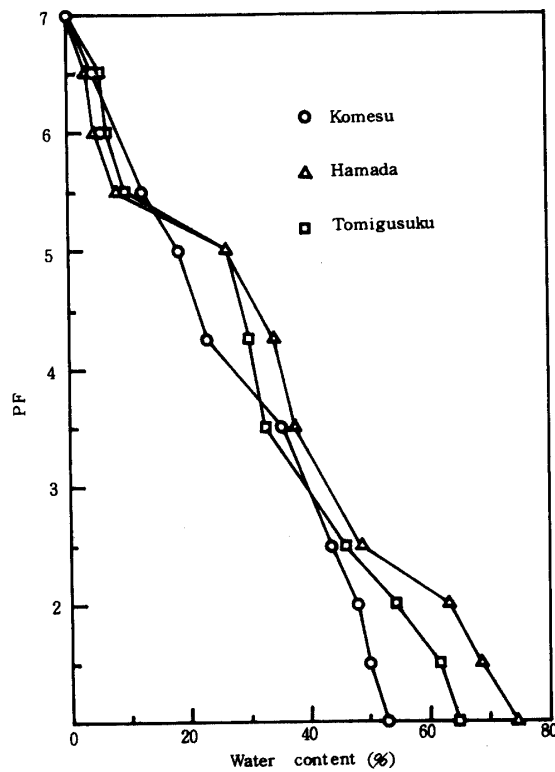


Fig. 2. PF-water content curve

III 実 験

1 乾燥過程とスレーキング

(1) 実験方法 前処理を行なった後の供試体を5mm(7)の金網(130cm×15cmの金網板)上に据え、静水中に静かに浸漬させた。スレーキング現象におよぼす試験前後の操作・取扱いおよび水温等の影響を除去するため、12コの供試土を同時に試験できる水槽(300cm×25cm×25cm、アクリル製の片側透明板)

を利用した。なお供試土の浸漬時間は予備実験の結果から5時間とした。終了後、金網上の残留物分の炉乾燥重量 W_{SR} と浸漬前の供試体乾燥重量 W_s （計算重量）より、崩落部分の乾燥重量 $W_{sp}(=W_s-W_{SR})$ を求めた。そして W_s にたいする W_{sp} の積算重量百分率を計算し、供試土の水中崩壊率とした。

(2) 結果と考察 Fig.3は試験終了時（5時間）における崩壊率を乾燥過程（PF）にたいしてプロットしたものである。PF 1.5の状態は土壌の変形の力学的転移点で液性限界にあたり、試料円筒から抜き出された供試体は自立できるが、その後の変形によって幾分側方肥大をおこす。これら高含水状態（PF 1.5～PF 2.5）から半結合水の土壌水分状態（PF 3.0～PF 4.5）(1)までの乾燥過程を受けた供試体の場合には、乾燥が進むほど土粒子は互に接近し、やがて吸着水膜のみを介して接触するようになるため土粒子同志の吸引力が増大し、スレーキングはほとんどない。さらに乾燥が進んで吸着水におよぶほどの状態になると崩壊率は急激に増大する。

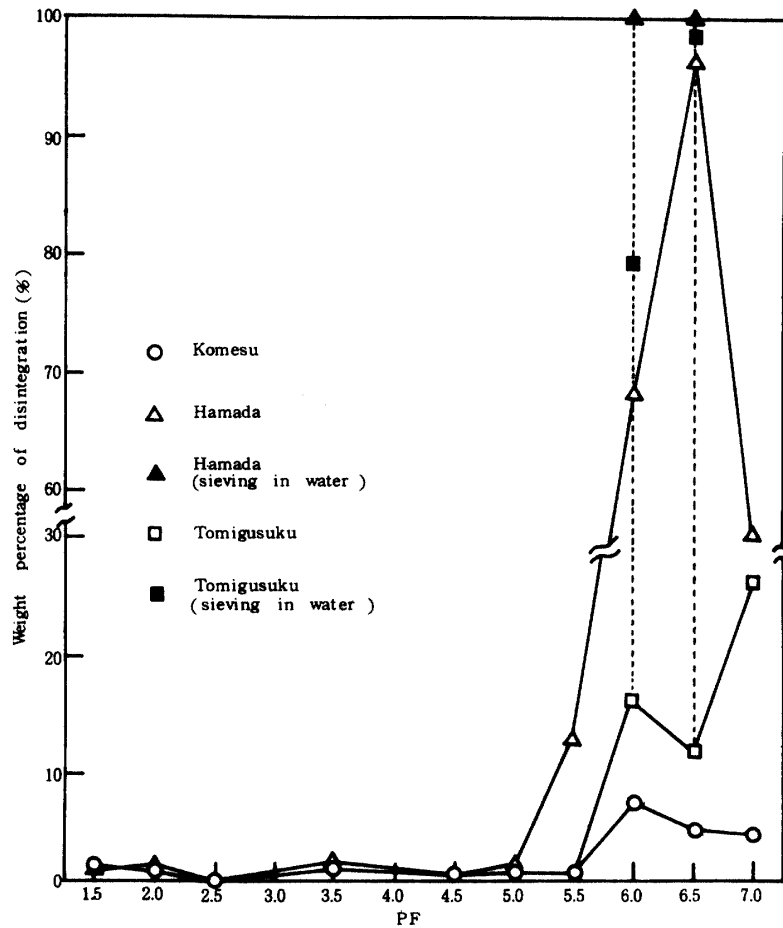


Fig. 3. Relationship between weight percentage of disintegration and PF

しかし、炉乾燥状態になると再び低下する。試料別にみると、浜田試料がPF 6.0～PF 6.5でおよそ70～90%、豊見城がPF 6.0～PF 7.0で15～25%、米須がPF 6.0～PF 6.5で5～7%の崩壊率を示す。このように、浜田試料では他試料に比べて乾燥前歴の影響が著しく大きく、逆に米須では小さい。島尻泥灰岩風化土壌の豊見城試料は両者の中間値を示しているが、水浸すると吸水膨張して激しい崩壊を伴なう。そして平板状ブロックになって崩落するため薄片が徐々に網目を被い、その後の崩壊部分の残積現象が目立つ。そのため、PF 6.0とPF 6.5における静水中崩壊残留部についてさらに水フルイ試験を行

なった結果、豊見城試料でも80~95%の値に達した(図中、黒印)。これは多少の機械的作用が加味されているものの、5時間後ではかなりの程度まで崩壊が進行していたことを示している。崩壊の形態から言えば、豊見城の場合を内部からの弾性的蓄積エネルギーを主因とした土・水系の破断(吸水膨張による土塊の崩壊)とすれば、洪積世土壌である浜田の場合は外部から侵入した水の自由エネルギー(10)による侵食的な分散破壊と言える。このように、両者はその鉱物組成と理化学的性質(5)を反映し、崩壊現象を著しく異にする。

2 スレーキングの経時変化

(1) 実験方法 供試土のスレーキングを経時的に測定するため、Fig.4に示すような装置を用いた。金網直下の崩落土受けザラを直示テンビンの下部に吊り下げ、微少土量の崩落に応答できるようにした。ただし、供試土本体から受けザラ(その間5cm)に降下する崩壊土粒子や細片の沈降速度が時間毎の読み取り値に影響しているけれども、それによるタイムラグを無視した。また豊見城試料のように平板状フロックになって崩壊する場合には、薄片が徐々に網目を被い、その後の崩壊現象の量的把握を不正確なものにするため、ここでは崩落細片の大部分を通過させるのに十分な網目15mmのフルイを使用した。なお浸漬時間は予備実験の結果より3時間とした。各時間毎の水中崩落土積算重量 W_{sub} を測定した後、フルイ上に残留した未崩壊部分を受けザラに落とし、供試土の全水中重量 W_{sub} を測定し、それを炉乾燥させて乾燥重量 W_s とした。経時的な崩落土乾燥重量 $W'_s (= W_{sub} \cdot W_s / W_{sub})$ を求め、 W_s にたいする百分率で表わし、崩壊率とした。

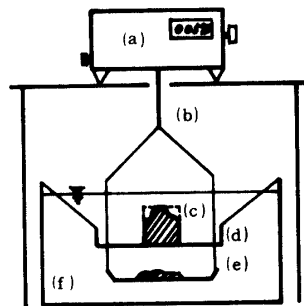


Fig. 4. Experimental apparatus for slaking

(a) precision balances (b) hanging line (c) specimen
(d) wire mesh(15mm) (e) reciever (f) water tank

(2) 結果と考察 Fig.5は3試料の崩壊率の経時変化をPF 5.5とPF 6.5について図示したものである。浜田試料はPF 5.5では供試土を水中に浸漬させると同時に分散的な細粒塊の崩壊がおこり、直線的な経時変化で上昇を続け、9分後には完全に崩壊する。豊見城はそれより2~3分遅れて始まり、吸水膨張の進展と共に平板状の薄片が供試土本体から遊離し、15分間で100%に達する。PF 6.5では両試料において同様な変化があり、13分でおおよそ90%に達するが、崩壊の形態が著しく異なることについては前述したとおりである。またPF 5.5とPF 6.5の段階では乾燥が進むほど供試土周面に形成される外皮様薄層が発達し(7)、水の侵入を困難にするため、分散性崩壊(浜田)が遅れるにたいして吸水膨張性の豊見城にはほとんどその影響が認められない。米須試料は、崩壊がおこるまでに5~10分を要し、15分間で5~7%、70分の浸漬時間でおおよそ80%の崩壊率になるが、その後の崩壊現象はみられない。崩壊の経時変化にも各試料の鉱物組成や理化学的性質が反映されている。

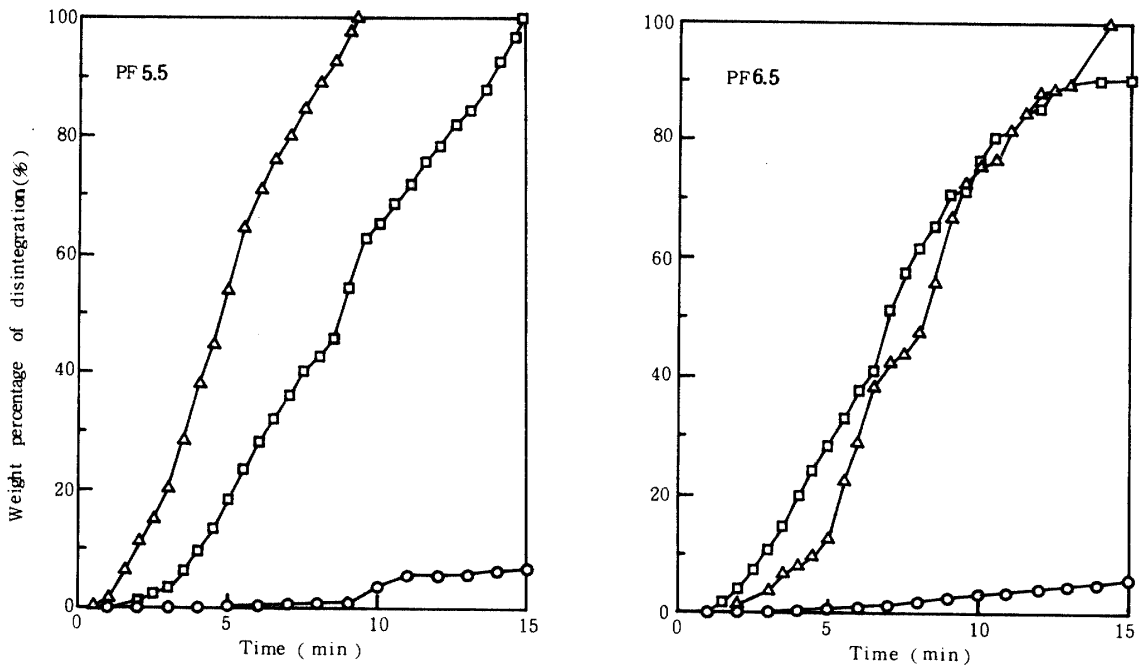


Fig. 5. Slaking characteristics of the specimen in PF 5.5 and PF 6.5

3. 吸水膨張について

(1) 実験方法 前記試料に泥灰岩風化土の新しい堆積土(南風原試料)を加えた4試料について、水中崩壊試験と同様、調整したペーストをガラスザラ(径12cm, 高さ3cm)に収縮常数試験法にしたがって詰めた後、急激な乾燥によって供試体にキ裂が生じないように恒温室で徐々に空気乾燥させた。水分変化が小さくなった時点で炉に移して得られた各炉乾燥試料からそれぞれ2コの供試体(径5cm, 高さ2cm)を作成した。そしてそれらの供試体を標準圧密試験機の圧密箱にセットし、水中で膨張させ、一次元的な体積変化を測定した。供試体上面には加圧板を載せ、膨張の際の土の碎屑化による微細粒子や薄片の離脱および供試体上面の不均一化を防止した。

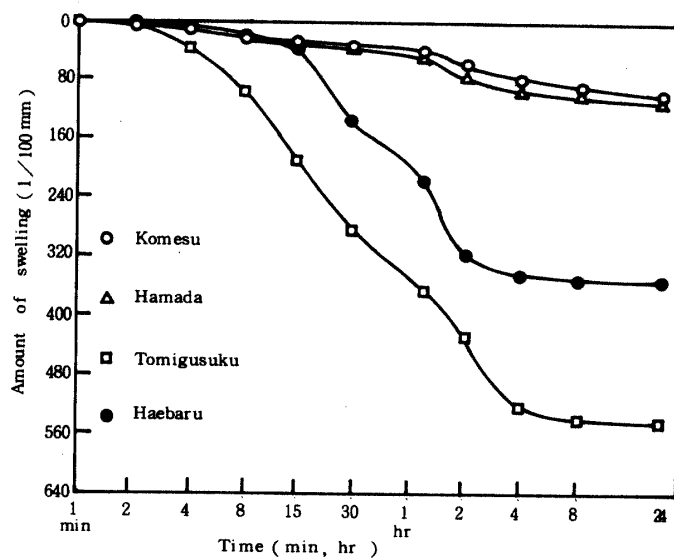


Fig. 6. Change with time of swelling

(2) 結果と考察 Fig. 6は $\sigma = 7.72 \text{ g/cm}^2$ の垂直荷重(加圧板の単位面積重量)の下でのPF 7.0の乾燥過程を受けた供試体が吸水膨張した場合の膨張の経時変化を示す。この垂直荷重は湿潤密度が $\rho_t = 1.3 \text{ g/cm}^3$ とした場合の土壌表面下6cm深部の土塊が実際に受ける土カブリ圧に相当する。泥灰岩土壌の豊見城・南風原試料の膨張が大きいのにたいし、浜田や米須は非膨張性土壌である。膨張率は、米須を1とした場合、浜田、南風原、豊見城の順に1.04, 3.26, 5.02となるが、供試体作成の都合上“ペースト→炉乾燥→成形→吸水膨張”としており、各試料の初期条件は幾分異なる。したがって、これらの膨張率を乾燥密度 $\rho_d = 1 \text{ g/cm}^3$ にたいする値に換算しなおすと、それぞれ1, 1.23, 3.80, 5.13を得る。土壌の膨張特性にその主要粘土鉱物組成が反映されていることがわかる。

4. 収縮変形について

(1) 実験方法 収縮常数試験方法にしたがって収縮ザラに詰めた各試料のペーストを恒温室で空気乾燥させながら収縮挙動を究明した。測定は測微計測装置と実体顕微鏡を用いて経時的に行ない、同時に重量をはかって含水比の変化も調べた。供試体の体積は次式によって計算された。

$$V = 0.065 (12 \ell^2 a - 6 \ell^2 h - 8 h^3)$$

上式は収縮過程における供試体の形状を円筒と球面の組み合わせられたものと仮定して導びかれる。ここにV: 供試土の体積, ℓ : 直径, a : 周縁の底面からの高さ, h : 供試土凹上面の中心と周縁の高低差。

(2) 結果と考察 Fig. 7に各試料のペーストの乾燥収縮過程を示す。水分の蒸発が進むにつれ、毛管張力の発達と共に収縮力が大きくなり、供試土の体積は減少する。一般に液性限界より水分の多い高含水状態では、土の変形にたいする抵抗がきわめて小さいので、変形量と脱水量は全く一致する。これはNormal shrinkageの段階に相当する。ついで塑性状態まで水分量が低下するようになると、土の強度がしだいに増大して変形量が脱水量を下回るようになる。この段階がResidual shrinkageと呼ばれるものである(10)。図から明らかなように、収縮挙動は試料によって異なる。浜田試料の場合はNormal shrinkageの段階が長く、豊見城の場合には収縮限界状態の含水比に達した後も体積減少がみられる。供試体成形時の含水比を w_1 として計算した体積変化Cを各試料にたいして示す(Table 1)。

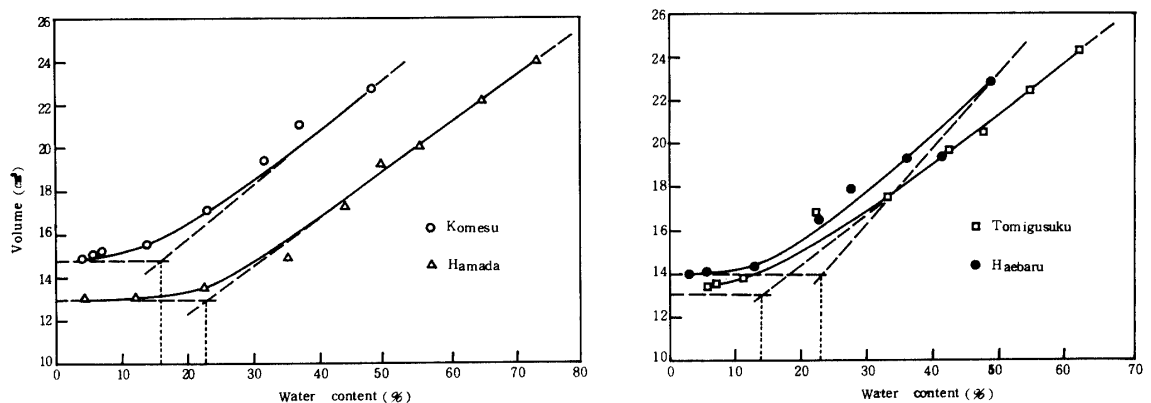


Fig. 7. Process of shrinkage for the paste

Table 1. Clay minerals and physical and chemical properties of major soils in Okinawa Island and several test results

Soil series	Itosu Mabuni	Gushiken	Nakagawa Ada	Inamine Iju	
Parent rock	Ryukyu limestone	Clay-slate Phyllite	Kunigami gravels	Shimajiri mudstone	
Name (common)	Shimajiri maaji	Kunigami maaji		Jaagaru	
Clay mineral	Kaolin Vermicullite Illite	Illite Kaolin	Vermicullite Illite	Montmorillonite Vermicullite Illite	
Free Fe ₂ O ₃	43.0	15.1	8.7	1.9	
Test result	Soil sample used	Komesu, Itoman-city	Hamada, Kin-son	Tomigusuku, Tomigusuku-son	
	Gs	2.736	2.782	2.759	
	LL (%)	47	69	62	
	PL (%)	29	34	28	
	PI (%)	18	35	34	
	Clay frac. (%)	64	64	60	
	PF	5.5	6.5	5.5	6.5
		by Slaking**		67	96
		4	6	100	100
	by Artificial Rain (4)		2	1	74
Percentage of swelling (%)	5.5		5.7	27.6	
Shrinkage limit (%)	16		23	14	
Volume change (%)	60		70	90	
Erosive	Low	High	High	Medium	

* Weight percentage of disintegration

 ** Upper column : mesh size of 5 mm
 Lower column : mesh size of 15 mm

IV 粘土鉱物と理化学的性質について

各試料のスレーキング特性と吸水膨張・収縮特性との関係、粘土鉱物組成やFree Fe₂O₃の含有量との関係をTable 1に示す。浜田試料の属する国頭礫層土壌は多量のパーミキュライトとカオリン鉱物を、豊見城試料の属する島尻泥灰岩土壌は多量のモンモリロナイトを、そして米須試料の属する石灰岩土壌はカオリンとイライトを含む。これらの粘土鉱物の性質から豊見城は吸水膨張性で、他の2試料は非膨張性と言え、膨張試験結果と一致する。一般に乾燥過程(PF 6.5まで)やコロイド含量の影響と同様、膨張や収縮の挙動においても、それが大きいものほどスレーキング現象が顕著になることは言うまでもないが、浜田試料の特異な崩壊現象はFree Fe₂O₃の存在によって説明できる。すなわち国頭礫層土壌は、多量に存在するFree Fe₂O₃によって土粒子の一部が被覆される(9)ために吸水膨張に乏しいだけでなく、水を媒体とした粒子間結合力が弱く、団粒構造の発達が期待できない。その結果、外水によって容易に分散する、いわゆる分散型の崩壊現象を示す。このことは同様な鉱物組成と理化学的性質を有する受食性の粘板岩土壌にたいしても言えることと思われる。

V 結 論

(1) 国頭礫層土壌と泥灰岩土壌のスレーキングは乾燥過程によって著しく影響され、PF 5.5~PF 6.5の水分状態で高い崩壊率を示し、その経時変化も顕著である。石灰岩土壌は耐水性であり乾燥過程の影響もほとんど受けない。

(2) 高含水領域からPF 4.5まではスレーキング現象がほとんどみられない。

(3) PF 6.5~PF 7.0では外皮様薄層が形成されるため崩壊に幾分時間的遅れがあり、量的にもやや少ない。

(4) 3試料は、その主要粘土鉱物組成や理化学的性質を反映し、スレーキングの形態を異にする。

(5) 島尻泥灰岩土壌は、母岩(泥岩)の工学的性質(6, 8)を反映し、他2試料に比して膨張・収縮挙動が顕著である。

以上のように、スレーキング試験は、雨滴の衝撃作用による供試土崩壊試験(4)の場合と比較して、低PFと高PF領域において量的に多少異なるものの、ほぼ同様な崩壊現象を示した。また国頭礫層土壌は、スレーキングの結果からも高い受食性土壌であることが明らかになった。

なお本研究は昭和49年度文部省科学研究費の補助を受けたものの一部である。終りに、実験にあたって終始協力して下さった専攻生の上運天英夫(現沖縄県土地調査局勤務)と又吉盛正(現沖縄県農林水産部勤務)の両氏に謝意を表したい。

参 考 文 献

1. 鎮西忠茂, 大屋一弘, 古謝瑞幸 1967 琉球の土壌と土地利用 48~76 那覇, 琉球大学農学部農芸化学科
2. 土壌物理性測定法委員会編 1972 土壌物理性測定法 134~159, 東京, 養賢堂
3. 藤川武信, 翁長謙良 1974 沖縄北部におけるパインアップル園の土壌侵食, 第11回災害科学総合シンポジウム講演会論文集 239~240
4. 藤川武信, 宜保清一 1975 乾燥前歴と雨滴の衝撃作用による供試土崩壊, 昭和50年度農業土木学会大会講演会要旨 250~251
5. 松坂泰明, 音羽道三, 山田裕, 浜崎忠雄 1971 沖縄本島・久米島の土壌の分類について, 農業技術

術研究所報告 305～404

6. 仲野良紀 1966 第三紀層地すべり母岩(泥岩)の軟弱化と物性について, 農業土木試験場報告 4: 143～169
7. 佐藤晃一 1969 粘質土壌の乾燥前歴と収縮ならびにスレーキング特性について, 農業土木論文集 28: 12～16
8. 新城俊也 1971 沖縄における泥灰岩の工学的特性(1), 乾燥と水浸の影響について, 琉球大学農学部学術報告 18: 127～136
9. 種田行男 1973 農地保全工学 38～41, 東京, 農業技術出版社
10. 山崎不二夫 1971 土壌物理, 順に 316～317, 90～97, 81～83, 183, 179, 東京, 養賢堂

Summary

This paper deals with the effect of drying upon slaking and the swelling and shrinking properties of the erosive soil from Kunigami gravels (sample : Hamada, Kin-son), the soil from Shimajiri mudstone (sample : Tomigusuku, Tomigusuku-son) and the soil from Ryukyu limestone (sample : Komesu, Itoman-city)

The experimental results are summarized as follows :

1. Hamada and Tomigusuku undergo to the influence of drying and show marked phenomena of slaking by drying in PF5.5-PF6.5 of the soil moisture. Komesu is the Water-stable soil, and the amount of its slaking is a little.
2. The three samples have their own phenomena of slaking according to the clay minerals and chemical composition of soil.
3. The behaviour of swelling and shrinkage of Tomigusuku is remarkable as compared with those of the other samples and seems to reflect the engineering properties of parent rock, Shimajiri mudstone.