

琉球大学学術リポジトリ

沖縄島に分布する畑地土壌の耐水性団粒について

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): 沖縄島, 畑地土壌, 耐水性団粒, 団粒化度, 分散率, 風乾率 キーワード (En): Okinawa island, Upland field soil, Water-stable aggregate, Degree of aggregation, Dispersion ratio, Air dry ratio 作成者: 小宮, 康明, 宮城, 調勝, Komiya, Yasuaki, Miyagi, Norikatsu メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/3647

沖縄島に分布する畑地土壌の耐水性団粒について

小宮康明*・宮城調勝*

Yasuaki KOMIYA, Norikatsu MIYAGI: On the water-stable aggregate of upland field soil in Okinawa island

キーワード : 沖縄島、畑地土壌、耐水性団粒、団粒化度、分散率、風乾率

Key words : Okinawa island, Upland field soil, Water-stable aggregate, Degree of aggregation, Dispersion ratio, Air dry ratio

Summary

In this paper, the water-stable aggregates were examined for the 3 kinds of upland field soil and a weathered Neogene mudstone which are distributed in the Okinawa island. Out lines of the result obtained are as follows.

1. The upland field soils aggregate in order of Jaagaru > Shimajiri -maaji > Kunigami-maaji. However, the tendency is weak, and the aggregate distribution is rich in the change in the soil of the equal type.
2. There are many small aggregate (<0.25mm) and middle aggregate (0.25~2mm) but big aggregate (>2mm) is little.
3. Though the clay fraction contributes to the formation of the minute aggregate, it does not seem to contribute in the formation of the bulky aggregate.
4. The soil aggregate of Kunigami-maaji is the lowest stability and durability in the 3 kinds of soil.

緒 言

沖縄県に分布する畑地土壌は島尻マージ、国頭マージ、ジャーガル、沖積土壌に大別されている¹⁾。普通畑の地力保全基本調査によれば²⁾、土壌的にみて、ほとんど制限因子あるいは阻害因子がなく、土壌悪化の危険性もない良好な畑とみられる土地(1等級)は皆無であり、若干の制限因子あるいは阻害因子があり、土壌悪化の危険性が多少存在する土地(2等級)は全普通畑面積の0.8%である。残りの99.2%はかなり大きな制限因子あるいは阻害因子があり、土壌悪化の危険性がかなり大きい土地(3等級)と極めて大きな制限因子あるいは阻害因子があり、土壌悪化の危険性が極めて大きく、畑として利用するのは極めて困難と認められる土地(4等級)に分類されている。すなわち、沖縄県内の畑地土壌は土壌の種類にかかわらず、ほとんどが不良土壌と評価されている。この理由として有効土層が薄いこと、耕耘し難いこと、透水性や保水性の関係で干ばつの危険性が大きいこと、土壌侵食が起こりやすいこと等が挙げられている²⁾。

さらに、沖縄県ではいろいろな場所から流出した土砂による周辺海域の汚染が進み、水産業や観光産業に多

* 琉球大学農学部生産環境学科

大な被害が現れたため、平成7年10月から「沖縄県赤土等流出防止条例」を施行し、各種建設現場に対して土砂の流出防止対策を義務づけ、流出土砂量の規制を行っている³⁾。その結果、建設現場を発生源とする流出土砂量は着実に減少しつつあるが⁴⁾、別の発生源である既存の畑地、造成地、土取り場等からは依然として相当量の土砂が流出している⁵⁾。また、これまでは赤色土あるいは黄色土に分類される国頭マージの土壤侵食に対してのみ多くの注意が払われてきたが、最近、ジャーガルの母岩であるクチャ（新第三紀から更新世の前期にかけて堆積した島尻層群に属する風化しやすい軟質泥岩で、工学的には島尻層泥岩と呼ばれている。）が混入しているジャーガル畑やクチャを客入した島尻マージ畑からの土壤侵食量も極めて多いことが判明している⁶⁾。

このように沖縄県内の畑地は生産力が低く、土砂流出の発生源となっているため、土壤侵食の防止に努めながら地力増進を図ることが求められている。その1つの手法として土壤構造を団粒構造に変えて耐水性団粒を増加することが考えられる。そのためには土壤団粒の実態を正しく把握しておくことが必要である。沖縄島の畑地土壤の耐水性団粒については登川ら⁷⁾、翁長ら⁸⁾によって測定されているが、クチャについての事例は見あたらない。また、団粒の安定性や耐久性についてはあまり検討されていない。そこで、本研究では沖縄島に分布する国頭マージ畑、島尻マージ畑、ジャーガル畑から採取した土壤とクチャの耐水性団粒分布を調べ、団粒の諸特性について検討した。

土壤団粒に関する指標

土壤団粒に関しては様々な指標⁹⁾があるが、本研究では耐水性団粒分布を定量的に表す指標として団粒指数と団粒化度を用い、団粒の性質を表す指標として分散率と風乾率を用いる。

(1) 団粒指数：土壤を一次粒子に分散する前と後のそれぞれの平均質量直径の差で示される指標で、団粒の平均質量直径を表す。この値が大きいほど団粒化が進んでいることになる。平均質量直径は累積度数曲線を描き、その曲線の上方の面積を測定して求められる。本研究では、累積度数曲線 $f(x)$ を直線の組み合わせとみなして、最大粒径が8 mm の場合に対して (1) 式を誘導し、平均質量直径は計算により近似的に求めている。

$$\text{平均質量直径} = (500 - 3.5f(2) - 0.75f(1) - 0.375f(0.5) - 0.2f(0.25) - 0.125f(0.1)) / 100 \dots (1)$$

ここに $f(2)$ 、 $f(1)$ 、 $f(0.5)$ 、 $f(0.25)$ 、 $f(0.1)$ は粒径 x が 2mm、1mm、0.5mm、0.25mm、0.1mm のときの累積度数であり、 x には使用したふるい目の大きさを採用している。

(2) 団粒化度：ある基準粒径以下の一次粒子の何%が結合して基準粒径以上の二次粒子すなわち団粒状態で存在するかを表す指標で、(2) 式で示される。

$$\text{団粒化度} (\%) = \frac{\text{ある粒径以上の団粒の質量}}{\text{ある粒径以下の土粒子の質量}} \times 100 \dots (2)$$

(3) 分散率：団粒の水に対する安定性を示すもので、(3) 式で示される。この値が大きい程、侵食性は大きいとされている。

$$\text{分散率} (\%) = \frac{\text{浄水のみ分散後の0.05mm以下の粒子含有量}}{\text{完全分散後の0.05mm以下の粒子含有量}} \times 100 \dots (3)$$

(4) 風乾率：試料を毛管吸水した後の耐水性団粒の量と試料を風乾して水浸した後の耐水性団粒の量の比率であり、(4)式で示される。この値が大きい程、侵食性は小さいとされている。

$$\text{風乾率 (\%)} = \frac{\text{風乾土の水浸後の耐水性団粒の量}}{\text{毛管飽水土による耐水性団粒の量}} \times 100 \quad \dots \dots \dots (4)$$

実験方法

1. 試料

実験に供した試料は国頭マージ13種類、島尻マージ6種類、ジャーガル5種類、クチャ6種類の計30種類である。試料は表1に示すように広い範囲の地点から、3土壌はサトウキビ、パイナップル、野菜等の畑地の表層土を、クチャは切土斜面表層の風化部分をそれぞれ採取した。

2. 試験方法

(1) 土粒子の密度試験、粒度試験

土粒子の密度試験はJISに準拠して行った。粒度試験もJISに準拠して行うが、試料によってはJISの分散方法では分散が不十分なことがあるため、すべての試料に超音波分散法¹⁰⁾を適用して試験を行った。

(2) 団粒分析試験

団粒分析試験は8 mm 以下に解した風乾土について二通りの方法で実施した。絶乾土約25gに相当する試料を4個計り取り、2個の試料はそれぞれシャーレに薄く広げて蒸留水を注いで水浸し、約1日静置した。もう2個の試料は毛管水を吸水させるため、それぞれ濾紙で作成した紙箱に薄く広げ、その箱を水位が表面下5 cmにある砂層の上に置き、2日間静置した。それから各試料を2mm、1mm、0.5mm、0.25mm、0.1mmの組ふるいの最上部に移し、振幅2cmで毎分30回上下に往復させ、60分水中ふるい分けを行った。各ふるいの残留土はそれぞれ炉乾燥して計量した。また、計量後の各残留土はトリポリリン酸ナトリウム1gを加えて蒸留水に浸し、煮沸によって団粒を分散させた後にふるい分けし、各ふるいに残留する一次粒子質量を求めた。なお、上記の実験手順は風乾率を求める原法⁹⁾とは若干異なっているが、その影響は小さいと考え、風乾率を算出した。

(3) 分散率試験

絶乾土約15gに相当する8 mm ふるい通過風乾土をシャーレに計り取り、1日水浸した後、JISの粒度試験用円筒に移し、蒸留水を加えて1リットルにした後、上下に20回振とうし、その懸濁液を市販の45μmふるいに移して水中ふるい分けし、残留土の炉乾燥質量を求めた。計量後の残留土は前記の方法によって分散させ、一次粒子質量を求めた。なお、Middletonの原法⁹⁾ではピペット法によって50μm以下の粒子含有量を求めるが、ここでは試験の迅速化をはかるため、ふるい分けによって測定している。また、原法では試料の最大粒径や水浸時間を規定していないが、これらは測定値に大きく影響するため¹¹⁾、ここでは団粒分析試験と同様に最大粒径8mm、水浸時間を1日として試験を行った。

(4) 乾湿繰り返し試験

絶乾土約10gに相当する8mmふるい通過風乾土を4mm、2mm、1mm、0.5mm、0.25mm、0.1mmの組ふるいに置き、45℃に設定した送風式乾燥炉に24時間入れた後に各ふるいの質量をはかり、各ふるいの残留土量を求める。それから組ふるいを24時間水浸した後に水中で上下2 cmの振幅でゆつくり30回往復させ、再び組ふるいを乾燥炉に移し、24時間後に各ふるいの質量をはかる。このような乾燥と水浸の操作を所要の回数だけ繰り返した後、各ふるいの残留土をまとめて前記の煮沸法によって団粒を分散させ、各ふるいに残留する一次粒子質量を求めた。このような乾湿繰り返しによる団粒の消長を調べることから、団粒の耐久性を検討した。なお、乾燥温度45℃は琉球大学農学部付属農場の島尻マージ畑で9月の晴天日に実測した日最高地温43℃(気温29℃)を参考にして設定した。

結果と考察

1. 粒度組成

表1に粒度組成 (JIS の分類に準拠) を示す。図1は土壤を構成している一次粒子を2mm 以上、2~0.25 mm、0.25mm 以下に分けて、各含有量を三角座標で示したものである。これらの図表から分かるように国頭マージは母材が千枚岩、砂岩、礫層などの風化残積土であるため、粘土質のものから砂礫質のものまで幅広い粒度組成を示している。島尻マージは土壌学的には多数の土壌統に分類されており、実験に供した試料は摩文仁統と多良間統に属するものである。全試料とも粘土分が多く、3土壌の中で最も細粒質となっている。これは琉球石灰岩上に分布する土壌統に属する島尻マージの特徴である。ジャーガルはクチャの風化残積土であるため細粒質であるが、周辺から混入した琉球石灰岩の砂礫を含んでいるものもみられ、国頭マージと島尻マージの中間的粒度を示している。粒度に変化が乏しいのは母岩であるクチャの粒度範囲が比較的狭いからである。

2. 耐水性団粒分布

各風乾試料を毛管吸水させた後の毛管飽水土と水浸させた後の水浸土の粒度分布状態をそれぞれ図2と図3に示す。

毛管飽水土の場合、土壤の種類にかかわらず、2 mm 以上の粗粒分を約30%以上含み、0.25mm 以下の細粒分を30%以下しか含んでおらず、図1との比較から、耐水性団粒が多く存在していることが分かる。一方、水浸土の場合には毛管飽水土より粗粒分が少なく、細粒分が多くなっている。これは水浸に伴って団粒がスレーキング現象を示し、細粒化したことを示唆している。

このようなスレーキング現象は土壤の含水状態や吸水条件によって異なり²⁰⁾、一般に土壤が風乾状態のときに最も激しく生じ、飽和水分状態では発生しない。また、スレーキングは水浸等によって急速に吸水するときには最も激しく、徐々に吸水するときには小さくあるいは発生しない。

したがって、畑地の表層土の耐水性団粒分布は気象の変化によって絶えず変動していると考えられる。本研究では土壤侵食と関わりが深い水浸土の耐水性団粒分布について検討することにする。

表1に水浸土の団粒百分率と団粒指数および団粒化度を示す。団粒は一般に粒径によって0.25mm 以下

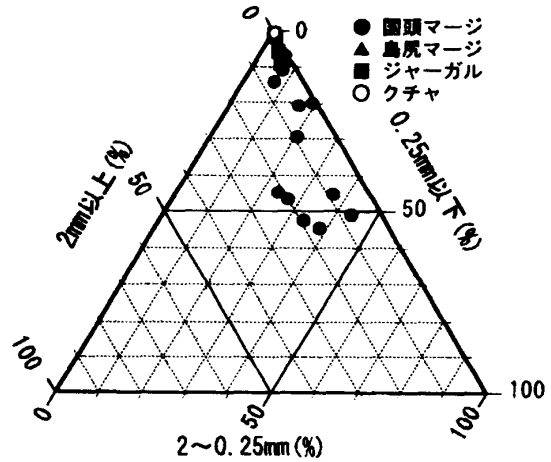


図1. 畑地土壤の一次粒子の粒度組成

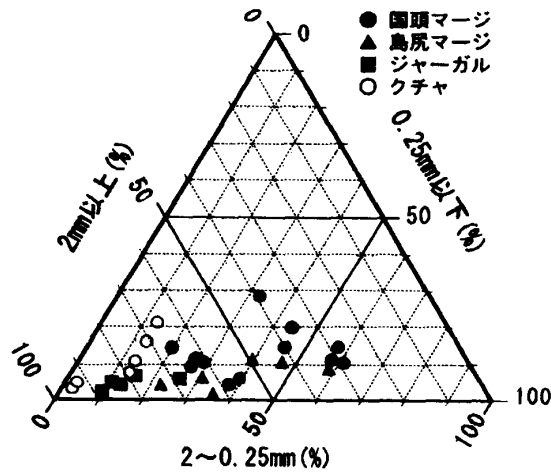


図2. 毛管飽水土の粒度分布

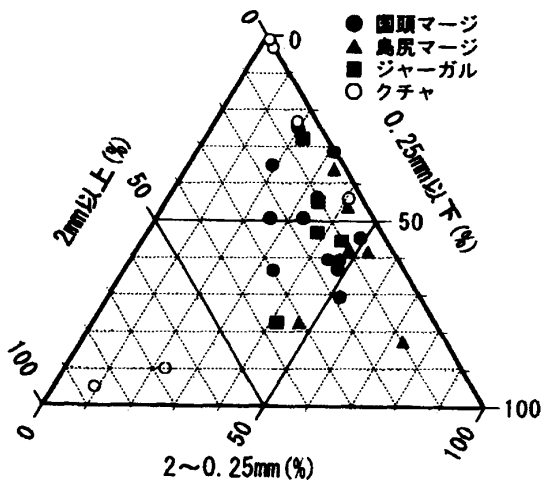


図3. 水浸土の粒度分布

表1. 沖縄島に分布する畑地土壌の耐水性団粒

試料名	採取地	粒度組成 (%)				団粒百分率 (%)			団粒 指数	団粒化 度 (%)	風乾率 (%)	分散率 (%)
		礫分	砂分	シルト分	粘土分	>2mm	2~0.25mm	<0.25mm				
国頭マーヅ	国頭村字嘉	16.3	52.2	13.5	18.0	5.8	3.4	90.8	0.30	18.5	32.5	50.4
	東村伊是名	0.4	13.4	21.5	64.7	18.2	47.6	34.2	1.30	69.1	81.3	8.8
	名護市数久田A	19.0	43.2	20.0	17.8	2.8	11.2	86.0	0.19	27.5	34.2	31.8
	名護市数久田B	21.0	35.3	18.7	25.0	2.9	4.8	92.3	0.23	13.1	25.1	61.8
	名護市許田A	19.7	39.2	17.7	23.4	2.5	7.1	90.4	0.19	15.9	24.9	49.2
	名護市許田B	3.2	32.2	14.7	49.9	1.5	11.3	87.2	0.19	14.6	15.7	37.6
	名護市辺野古	1.2	14.4	15.3	69.1	5.3	22.2	72.4	0.30	30.4	36.5	23.2
	名護市久志	7.2	55.0	8.8	29.0	2.6	4.8	92.6	0.19	15.8	20.3	51.0
	宜野座村真平原	0.8	31.0	18.0	50.2	0.5	19.4	80.1	0.16	22.5	26.0	26.4
	恩納村恩納	9.0	31.2	22.8	37.0	7.1	10.0	82.9	0.43	23.2	27.6	54.1
	恩納村谷茶	8.6	49.0	21.5	20.9	3.7	11.8	84.5	0.27	28.3	31.3	27.9
	恩納村真栄田	4.4	25.2	34.0	36.4	5.5	19.0	75.5	0.41	30.3	34.2	37.4
読谷村親志	0.0	11.8	27.4	60.8	5.7	42.9	51.4	0.58	51.6	54.5	8.0	
島尻マーヅ	読谷村字座	1.8	10.0	11.5	76.7	1.4	29.0	69.6	0.27	32.2	36.5	12.0
	知念村知念A	1.2	5.7	19.7	73.4	7.6	43.7	48.7	0.74	54.6	60.8	10.5
	知念村知念B	0.0	0.3	4.7	95.0	9.9	72.5	17.6	1.14	82.4	88.0	2.2
	佐敷町佐敷	0.5	10.7	9.5	79.3	27.4	38.5	34.1	1.70	74.5	76.9	6.7
	具志頭村仲座	0.2	2.5	22.7	74.6	4.4	40.9	54.8	0.50	45.5	51.6	9.3
	糸満市喜屋武	0.3	1.9	20.4	77.4	5.9	51.7	42.5	0.70	57.9	60.6	10.8
ジャーガル	豊見城村長堂	0.1	1.5	31.9	66.5	14.7	37.6	47.8	1.02	52.6	55.3	19.7
	豊見城村翁長	0.1	11.3	26.5	62.1	10.4	43.7	45.9	0.87	54.7	57.4	18.2
	大里村平良	1.4	7.3	43.6	47.7	3.3	18.2	78.5	0.30	23.0	24.4	34.5
	玉城村船越	0.2	1.2	32.0	66.6	35.4	40.7	23.9	2.13	77.2	80.6	16.3
	玉城村百名	2.8	9.0	36.4	51.8	7.7	27.5	64.7	0.60	39.0	41.1	23.5
クチャ	西原町上原	0.0	3.5	41.8	54.7	67.4	22.2	10.4	3.54	90.0	92.5	5.7
	豊見城村保栄茂	0.0	13.6	32.5	53.9	3.1	40.3	56.7	0.44	43.5	47.2	21.2
	東風平町宜次	0.0	0.7	41.2	58.1	4.4	18.5	77.1	0.36	23.0	23.9	50.9
	大里村目取真A	0.0	3.7	41.1	55.2	86.0	8.5	5.6	4.33	94.9	99.7	6.3
	大里村目取真B	0.0	0.7	42.8	56.5	0.0	2.5	97.5	0.02	2.6	2.9	78.3
	玉城村志堅原	0.0	0.6	38.6	60.8	0.1	0.8	99.1	0.01	0.9	1.2	84.1

注：団粒百分率、団粒指数、団粒化度は水浸土に対する値であり、団粒化度と風乾率の基準粒径は0.25mmである。

のものを微細団粒、0.25mm以上を粗大団粒に区分しているが、表1には団粒を大団粒(2mm以上)、中団粒(0.25~2mm)、小団粒(0.25mm以下)に区分して団粒百分率を示している。ただし、小団粒量には0.25mm以下の一次粒子も含めて表示している。

大団粒量は、国頭マーヅでは0.5~18.2%の範囲にあって、平均値は5%である。島尻マーヅでは1.4~27.4%の範囲にあって、平均値は9%である。ジャーガルは3.3~35.4%の範囲にあって、平均値は14%である。平均的にみれば大団粒量は少なく、土壌の種類による差異はあまりみられない。しかし、同種土壌内では大団粒の含有

量は変化に富んでいる。

中団粒量をみると、国頭マージは3.4~47.6%の範囲にあって、平均値は17%である。島尻マージは29.0~72.5%の範囲にあって、平均値は46%である。ジャーガルは18.2~43.7%の範囲にあって、平均値は34%である。中団粒量はおおよそ島尻マージ>ジャーガル>国頭マージの順となる。しかし、このような土壌の種類による差異よりは同種土壌内での違いの方が大きい。

団粒指数をみると、国頭マージは伊是名試料が1.30mmと大きな値を示しているが、その他の試料は0.16~0.58mmの範囲にあって、全体の平均値は0.4mmである。島尻マージは0.27~1.70mmの範囲にあって、平均値は0.8mmである。ジャーガルは0.30~2.13mmの範囲にあって、平均値は1.0mmである。これより全体的には、ジャーガル≧島尻マージ>国頭マージの順に団粒化が進行している傾向がみられる。次に、クチャの団粒指数をみると、0.01~4.33mmの範囲に分布している。この値は全試料の中で最小と最大であり、ジャーガルとは大きく異なる傾向を示している。これは風化したクチャはまだ土壌化していないため、堆積岩の性質を強く保持しているためと考えられる。

以上のことから島尻マージとジャーガルは同程度の団粒分布状態にあって、これらの土壌に比べ国頭マージは団粒化が低い状態にあると言える。しかし、団粒分布はそのような土壌の種類の違いは小さく、同種土壌内での方が変化に富んでいる。このことは畑地土壌の耐水性団粒分布は土壌の基本的性質のみならず営農活動によって大きく変化していることを示唆している。

3. 団粒の諸性質

各基準粒径 (2, 1, 0.5, 0.25, 0.1mm) に対する団粒化度と粘土分含有量の関係について検討すると、基準粒径2mmでは両者の相関性は低いが、基準粒径が小さくなるにつれ相関性が高くなる傾向がみられる。基準粒径0.1mmの場合には、図4に示すように国頭マージ、島尻マージ、ジャーガルに対しては0.85の相関係数をもつ近似直線が得られる。これより3土壌においては粘土分は粗大団粒の形成にはあまり関与せず、微細団粒の形成に寄与していることが示唆される。国頭マージにおいて、島尻マージやジャーガルに比べ、団粒化が小さい傾向がみられるのは粘土分含有量が少ないことが一因であると言える。しかしながら、クチャにはそのような関係は認められない。

図5は分散率と粘土分含有量との関係を示したものである。分散率は風乾土を水浸した後に振とうして求めるため、団粒の水に対する抵抗性をより評価することができる。クチャを除く3土壌に対しては近似直線が得られ、相関係数は0.83とかなり高い。分散率の大きさにはおおよそ国頭マージ>ジャーガル>島尻マージの傾向がみられる。国頭マージが島尻マージやジャーガルに比べ、分散しやすいのは粘土分が少なく45μm以上の団粒を形成する力が弱いためと考えられる。しかし、この直線関係はクチャには適応できず、分散率は5.7~84の幅広い変化を示している。比嘉ら⁹⁾は3土壌に比べてクチャの土砂流出量が多いことを明らかにしているが、このような大きい分散性を示すクチャが流出

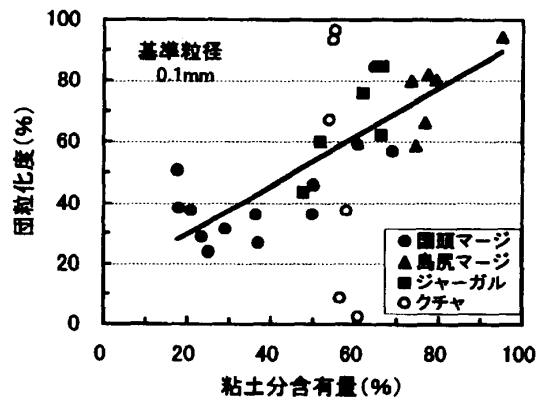


図4. 団粒化度 (基準粒径: 0.1mm) と粘土分含有量の関係

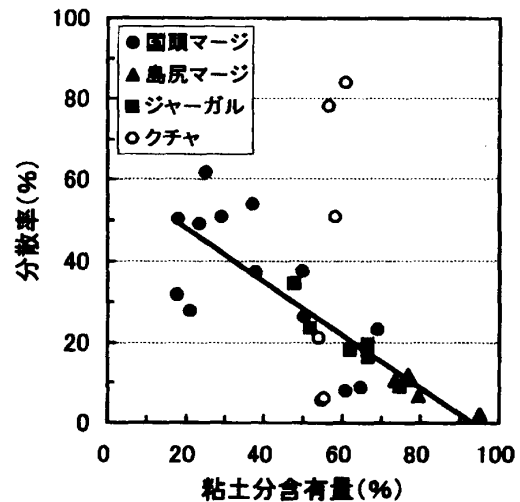


図5. 分散率と粘土分含有量の関係

している可能性が高い。

図6は基準粒径を0.25mmとした風乾率と水浸土の団粒指数の対数値との関係を示したものである。風乾率と団粒指数は試料の種類に関わらず、直線関係を示している。風乾率は定義より毛管飽水土の耐水性団粒の何%が風乾-水浸処理後に耐水性団粒として存在しているかを示すものである。したがって、風乾率は侵食性の指標としてのみならず、スレーキング作用に対する耐水性団粒の安定性を評価する指標としても利用できる。この直線関係より、風乾率の大きい土壌ほど団粒は安定で、水浸土の団粒指数は大きくなるのが分かる。風乾率の大きい団粒を造ることが耐水性団粒の増加につながると言えよう。

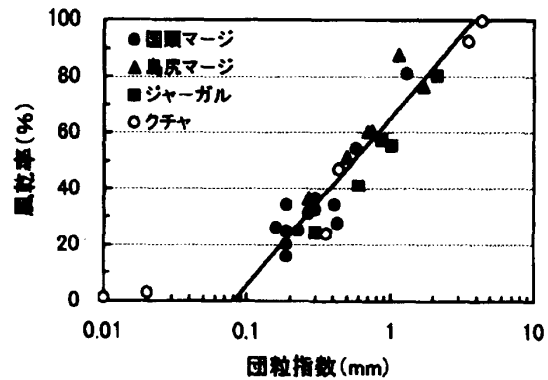


図6. 風乾率（基準粒径：0.25mm）と団粒指数の関係

図7は国頭マージ、島尻マージ、ジャーガルの3土壌について、乾湿の繰返しに伴う団粒化度（基準粒径は0.25mm）の変化を示したものである。試料によって団粒化度の減少傾向は大きく異なっているが、全体的にみれば、島尻マージやジャーガルに比べて国頭マージは団粒化度の減少速度が早い。このことは国頭マージの団粒は島尻マージやジャーガルに比べ、耐久性が小さいことを意味している。

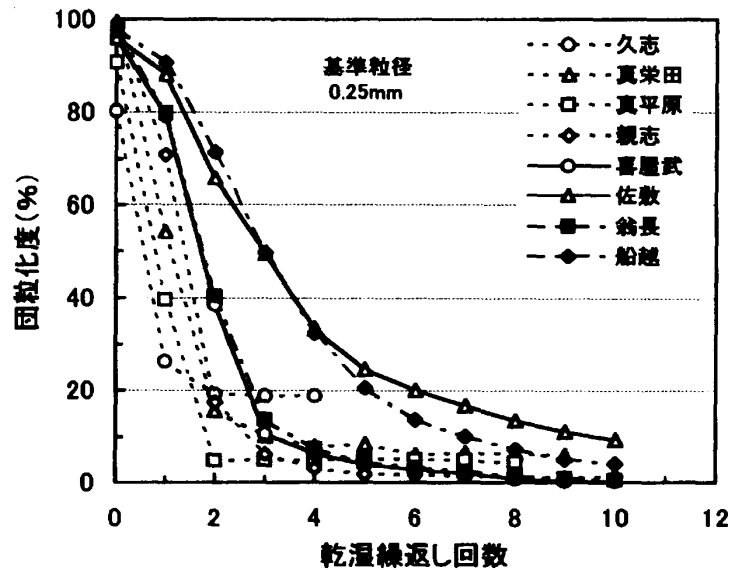


図7. 乾湿の繰返しに伴う団粒化度の低下

図8は図7に示される初期部分を直線で近似し、その直線勾配を団粒の細粒化速度と定義して、団粒の細粒化速度と風乾率の関係を示したものである。団粒の細粒化速度と風乾率は直線関係にあつて、風乾率が大きいほど団粒の細粒化速度は小さいことが分かる。これより風乾率は団粒の安定性のみならず、耐久性を表す指標として有効であることを示している。

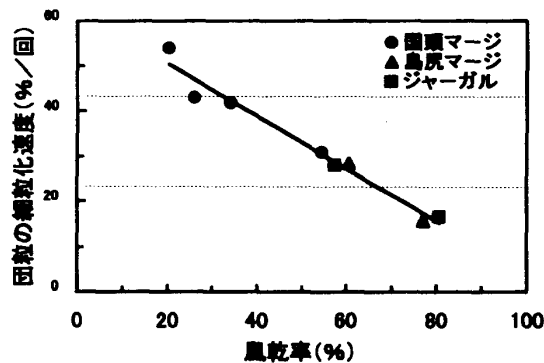


図8. 団粒の細粒化速度と風乾率の関係

摘 要

沖縄島に分布する畑地土壌の耐水性団粒について検討した。得られた主な結果は次のとおりである。

- 1) 畑地土壌はジャーガル>島尻マージ>国頭マージの順に団粒化している。しかし、この傾向は弱く、団粒分布は同種土壌内の方が変化に富んでいる。
- 2) 畑地土壌には小団粒 (<0.25mm) や中団粒 (0.25~2mm) に比べ、大団粒 (>2mm) が少ない。
- 3) 粘土分は微細団粒の形成に寄与しているが、粗大団粒の形成にはあまり寄与していない。
- 4) 国頭マージの土壌団粒が最も安定性と耐久性が低い。
- 5) 風乾率は団粒の安定性のみならず耐久性を表す指標として有効である。

引用文献

1. 沖縄県農林水産部 1994：沖縄県の農業農村整備、pp. 3~6、沖縄県
2. 土壌保全調査事業全国協議会編 1991：日本の耕地土壌の実態と対策、pp. 47~53、博友社、東京
3. 沖縄県農林水産部 1995：土地改良事業等における赤土等流出防止対策設計指針、pp. 77~84、沖縄県
4. 満本裕彰、大見謝辰男、比嘉榮三郎、仲宗根一哉 1999：開発事業における赤土等流出防止対策の現状について (1998年度)、沖縄県衛生環境研究所報、Vol. 33、pp. 83~91
5. 比嘉榮三郎、満本裕彰、仲宗根一哉、大見謝辰男 1998：県内各種土壌等の侵食特性について、沖縄県衛生環境研究所報、Vol. 32、pp. 83~95
6. 比嘉榮三郎、満本裕彰、仲宗根一哉、大見謝辰男 1998：農地での土壌流出防止対策とその効果、沖縄県衛生環境研究所報、Vol. 32、pp. 73~82
7. 登川伸、寺沢四郎 1982：沖縄本島の主要土壌の物理性について、土壌の物理性、No. 45、pp. 2~11
8. 翁長謙良、吉永安俊 1987：沖縄の畑地土壌の物理性、土壌の物理性、No. 58、pp. 17~29
9. 土壌物理性測定法委員会編 1976：土壌物理性測定法、養賢堂、東京
10. 小宮康明、新城俊也、島袋弘 1987：島尻層泥岩の粒度試験における超音波処理の有効性、農業土木学会誌、Vol. 58、No. 9、pp. 43~47
11. 小川和夫 1981：土壌団粒の安定性 (崩落率・分散率) の測定法および安定性と土壌型との関連、土壌の物理性、No. 43、pp. 14~20
12. 小宮康明・新城俊也 1997：泥岩におけるスレーキングの発生機構、平成9年度農業土木学会大会講演要旨集、pp. 616~617