

報 文

沖縄島北部赤黄色土の土壤侵食の評価と対策

翁 長 謙 良*・呉 屋 昭*・松 村 輝 久**

Soil Erosion and Conservation Measure in Northern Part of Okinawa Island

Kenryo ONAGA, Akira GOYA, and Teruhisa MATSUMURA

*College of Agriculture, University of the Ryukyus,

**Japan Road Construction Public Corporation

1. はじめに

沖縄地方は、湿潤亜熱帯のアジアモンスーン地域に位置し、降雨は平年値的には2,000~2,300 mmと多く、我が国でも多雨地域である。また、土壤は受食性の高い国頭マージと呼ばれる赤色土、黄色土が多く分布しており、農地の造成方法、形態とも相まってこれらの土壤の分布地域では、降雨による土壤侵食の危険性が極めて高い。すなわち、造成工法は改良山成畑工で畑面勾配は3%~5%が一般的であり、比較的緩傾斜に仕上げられているが、造成農地からの土壤流亡は避けられない現状にある。このため保全対策に特段の配慮が必要となっている。このことが、造成の基本である圃場面勾配や、事業費に大きな影響を及ぼすことから、土壤侵食対策は造成計画に、大きな課題となっている。本稿は、沖縄の主要土壤である国頭マージの農地開発地区の圃場における侵食流亡土量を降雨との関係で調査解析し、土砂流亡抑止対策に資することを目的とするものである。

2. 沖縄の降雨特性

気候要因のなかで、水食に最も深く関与するものは降雨である。降雨による土壤侵食の要因は、その営力の形態から、降雨、浸潤水、流去水に分類される。その中で降雨要因は、侵食を蒙る土壤に関する諸条件に無関係な指標として取り扱うことができる。即ち、浸潤水や流去水の侵食性 (Erosivity) は土壤条件に左右されるのに対し、降雨のそれは風、湿度等他の気象条件の影響を受けるが、降雨それ自体の特性によるところが大である。そして降雨のもつ特性の中で量、強度、時間的分布が土壤に対する分散性、流出水の量と速度、そして侵食による土壤流亡を決定する主な要因といわれている¹⁾。沖縄に関するこれらの降雨要因については、すでに筆者が検討を

加えた成果²⁾があるので、ここではその中から土壤侵食に深く関与する降雨要因との関連で降雨強度と降雨エネルギーをとりあげてみる。

1) 降雨強度

降雨強度は水食に関与する降雨要因の中で最も重要な意味をもつものとされている³⁾。また、Barnett ら⁴⁾は降雨強度の中でも最大60分間強度が土壤侵食に最も密接な関係にあると指摘している。

降雨エネルギーを降雨強度の関数として数式により求める方法は、Wischmeier, Smith⁵⁾が提唱したものが、計算基礎としての基準降雨強度や基準降雨量をいくらにするかは、その地域の侵食要因の特性によって異なるものと思われる。Hudson⁶⁾は、アフリカでの実験結果から、時間雨量25 mm以上の降雨強度による降雨の運動エネルギーが、他のどの降雨強度要因によるよりも土壤流亡との関係が深いとしている。我が国の場合は、後述のエネルギー計算の基礎としての基準値は、4の(1)、①に示すとおりである。これらの基準値と(2)式とにより、降雨エネルギーを求め降雨量と対比させると表-1のようになる。また、日降水量10 mm以上、30 mm以上の月別日数を示すと表-2のとおりである。それぞれにおいて那覇の降雨量、降雨日数は高知、宮崎より下回っている。それにもかかわらず降雨エネルギーが相対的に高くなっているのは、基準値の指標となる降雨強度が那覇では高いことを意味している。

2) 降雨エネルギー

Wischmeier ら⁵⁾は、降雨量、降雨強度、降雨エネルギーおよびこれらの組み合わせによる要因のなかで、一雨の降雨エネルギーと30分間降雨強度の積が、流亡土量との間に最も高い相関があることを提唱した。そして、Laws ら (Lenard らによりヨーロッパで実測された雨滴データと、彼ら自身がワシントン D.C で採取したものをもとにした) の雨滴分布に関しての研究の成果をもとに単位降雨量 (1 inch)、単位面積 (1 acre) 当りの降雨エネルギー KE (foot·tons/acre·inch) と降雨強度 I (inch/

* 琉球大学農学部

** 日本道路公団

hr)の間に次式の関係があったとした²⁾。

$$KE = 916 + 331 \log_{10} I \quad \dots\dots (1)$$

これより単位面積当りの一雨の降雨エネルギーは、 $\sum |KE \cdot I \Delta t|$ で与えられ、これと、 I_{30} (一降雨の最大30分間強度)との積をUSLEの降雨係数Rとした。ここに Δt は強度Iの降雨時間である。(1)式をメートル単位で表すと

$$KE = 210 + 89 \log_{10} I \quad \dots\dots (2)$$

筆者が沖縄の雨についてウォーターブルー紙により採取した雨滴(12万6千余滴)の粒度分布特性をもとに降雨エネルギーK(J/m²・mm)と降雨強度I(mm/hr)との関係を求めると次式を得た²⁾。

$$KE = 9.81 + 10.6 \log_{10} I \quad \dots\dots (3)$$

また、(1)式を(2)式と同じ単位で表すと

$$KE = 11.9 + 8.7 \log_{10} I \quad \dots\dots (4)$$

(3)、(4)式から沖縄の降雨エネルギーはワシントンD.Cのそれよりも降雨強度の影響が強いといえる。

3. 沖縄の主要土壌

沖縄の主な土壌は、沖縄方言で古くから親しまれている呼称で大まかにマージ、ジャーガルに分類される。マージの呼称は土色や分布地域を反映した沖縄島の方言名で、赤黄色系、暗赤色系の土壌は、それぞれ国頭地方、島尻地方に分布するので、国頭マージ(千枚岩や国頭レキ層などに由来する酸性土壌)、島尻マージ(琉球石灰岩に由来する弱酸性-弱アルカリ性土壌)と呼ばれている。また、灰色系の土壌は中南部に広く分布し、ジャーガル(新第三紀層の泥岩に由来するアルカリ性土壌)と呼ばれている。

表-1 降雨特性の比較

Table 1 Comparison of rainfall characteristics

Station	Item Annual rainfall (mm) (1951-1980)	指数* Index	Rainfall factor, R (m ² ・tf/ha・hr) (1955-1974)	指数* Index
Naha	2,123	80	897.3	99
Miyazaki	2,490	93	782.3	87
Kôchi	2,666	100	903.0	100

*Kôchiの降雨量、降雨エネルギーを100とした場合のNaha、Miyazakiのそれぞれの割合

表-2 日降水量10mm以上、30mm以上の月別日数の平均値(1951~1980)
(上段10mm以上、下段30mm以上)

Table 2 Frequency of daily rainfall over 10mm(upper Column) and over 30mm(lower Column). Mean value of 1951~1980

地点 Location	Month												計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
高知 Kôchi	2.4	2.9	4.6	7.1	7.2	9.0	6.7	6.8	6.9	5.4	3.0	1.7	63.7
	0.4	0.6	1.3	3.5	3.5	4.6	3.1	3.2	3.6	1.7	1.2	0.5	27.2
宮崎 Miyazaki	2.3	2.9	4.5	6.6	7.3	9.7	7.1	6.3	6.3	4.5	2.7	2.0	62.2
	0.4	0.5	1.0	2.7	3.5	4.9	3.1	2.6	3.0	1.9	1.4	0.4	25.4
那覇 Naha	3.6	3.7	4.3	4.6	6.0	6.9	3.9	5.7	3.7	4.5	3.2	3.5	53.6
	0.9	0.6	1.0	1.9	2.8	3.5	1.9	2.3	1.6	1.9	1.2	0.8	20.4

しかし、このような呼称では、これら土壌の諸性質が特定されないで、地力保全調査の分類基準によって分類され、表-3に示すように全国共通の名称が付されている。また、岩佐⁸⁾は、沖縄の赤黄色土は本土のそれより粘土鉱物の組成からみても、より風化が進んでいるという意味から、ラテライト性赤黄色土の呼称を提唱している。国際的に通用する USDA 方式の分類とも併せて今後の検討課題であろう。

しかしながら、本研究では、ローカリティを反映した呼び方にする。表-3によると国頭マージの畑土壌はそれぞれ2土壌群、7土壌統群、13土壌統に分類されている。

近年の土地造成、道路建設等の山地、丘陵部の開発に伴う赤土流出が顕著にみられる地域は赤黄色土壌、すなわち国頭マージ地帯である。この国頭マージは、沖縄本島では西側は読谷村、東側は具志川市以北の北部地域に広く分布しており、その他、石垣島、西表島、久米島、伊平屋島、伊是名島、慶良間諸島などに分布している。島尻マージは沖縄本島中南部、北部の本部半島、伊江島、宮古島、石垣島の南部に分布し、ジャーガルは沖縄島中南部に卓越している。沖縄島におけるそれぞれの土壌の分布を図-1に示す。なお、我が国の赤・黄色土は北海道から沖縄まで分布し、暗赤色土を含めた合計面積はわが国全農耕地のほぼ8% (41万 ha) を占めているといわ

れる⁹⁾。国頭マージ地帯は、地形的な制約のため、比較的近年まで開発(農地造成など)が抑制されてきた。これらの森林土壌や山成畑の土壌は、自然の風化や堆積によって生成されたものであり、層位を攪乱するような急激な変化がない限り、土壌の理化学性の変化は極めて緩慢であり、比較的安定したものと考えられる。しかし、機械力によって地形を大きく改変するような改良山成畑

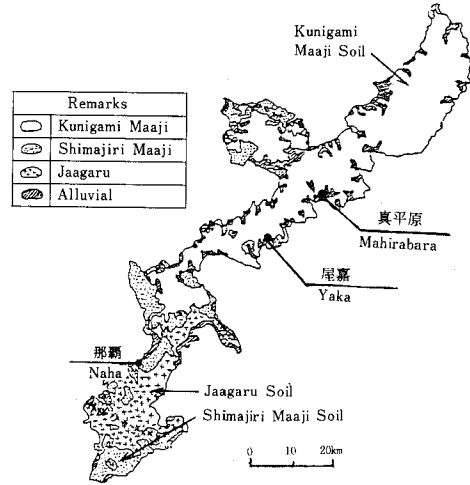


図-1 沖縄島の土壌分布図

Fig.1 Soil map of Okinawa island

表-3 国頭マージ(畑地)の分類*

Table 3 Classification of Kunigami Maaji soil (upland)

大分布 (土壌郡) Soil group	中分布 (土壌統群) Soil series group	小分布 (土壌統) Soil series
赤色土 Red soils	細粒赤色土 Fine-textured red soils	2
	中細粒赤色土 Medium and coarse-textured red soils	1
	礫質赤色土 Gravelly yellow soils	1
黄色土 Yellow soils	細粒黄色土 Fine-textured yellow soils	4
	中粗粒黄色土 Medium and coarse-textured yellow soils	2
	礫質黄色土 Grayelly yellow soils	2
	細粒黄色土、斑紋あり Fine-textured yellow soils with mottling	1

*地力保全基本調査総合成績書 沖縄県(47年)より作成

工による造成畑土壌は、本来の層位と土壤構造が破壊され、土壌の理化学性を变化させ降雨侵食に対してもろくなるおそれがある。

Bennett⁹⁾は、受食性に関する主な特性として、1) 土の粒度組成、2) 土壤構造一分散性、団粒化度、間隙率、透水性、3) 有機質含量、4) 化学的性質などをあげている。これらの特性は、前述した土壤の被分散性、被運搬性のほかに、雨水の浸透能に関係する土壤の物理性に関与するものである。本稿では、調査地区の主としてUSLEの土壤係数要因と関連して、上記1)、2)の物理性について後述する。

4. 土壤侵食の要因と USLE

降雨によって起こる水食は、雨滴の分散作用と地表流去水の分散・運搬作用とによるもので、これらは主として、i) 降雨、ii) 地形、iii) 土質と土層、iv) 地表および植生の状態、によって規定される¹⁰⁾。

以上のように、土壤侵食量を決定する要因はさまざまである。そこで、これを統一的に理解するために、米国で例えば Wischmeier, Smith¹¹⁾が中心となって侵食流亡土量予測式、すなわち、USLE (Universal Soil Loss Equation) を提案した¹¹⁾。

これは(5)式に示す右辺の各因子を数値化し、それらの積により侵食流亡土量を算出するものである。すなわち、

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad \dots\dots (5)$$

ここに、*A* : 侵食流亡土量
R : 降雨係数
K : 土壤係数
LS : 傾斜・斜面長係数
C : 作物管理係数
P : 保全係数、である。

USLE では、1年間に流亡した土壤の総量をもって1個のデータとし、それ等の値の20~30年間の平均値が解析の基準として用いられている。これは次の2つの理由

による¹²⁾。

1) *K* は、暖期・寒期別又は四季別に違った値を示すが、年間を通しての平均的な *K* の値はあまり変わらない。したがって、長年の試験によって得られた *K* はその土壤の年間の平均値であり、年間の侵食量を予測する場合に、USLE に用いることができる。

2) 一降雨ごとの侵食量データを採取するのは、実際上かなり困難であり、また測定値が得られたとしても、土壤条件(含有量、地温、その他土壤の理化学性)が異なるために一降雨ごとの解析は簡単ではない。

(1) 各因子の数値化

① 降雨係数 *R*

前述したように降雨係数 *R* の計算には(1)式を(2)式のようにメートル単位法のものに変換したものが用いられる。

$$KE = 210 + 89 \log_{10} I \quad \dots\dots (2)$$

(2)式に *I*₃₀ (一連降雨中の最大30分間雨量の1時間強度の換算値)を掛けた値 *EI*₃₀ の合計が *R* (m²ton/ha・hr) である。ここで一連降雨とは、その総雨量が0.5 inch (12.7 mm) 以上であり、その間無降雨期間は6時間以内のものである。ただし、降雨強度が15分間に0.25 inch (6.4 mm) 以上なら一降雨とみなす。我が国では、*R* の計算において最大60分間降雨強度を採用している。表-1は我が国の多雨地帯を代表する高知、宮崎と那覇の降雨エネルギーを降水量との対比で比較したものである。表-4は、那覇の月別 *EI* 値を表したものである。那覇は周年的に降雨エネルギーが高いといえる。

② 土壤因子 *K*

K は土の種類によって大きささまざまな値となり、土壤の受食性の程度を示す。また、同一土壤でも土の物理・化学的变化、例えば温度・水分含量などによっても微妙に変化する。しかし、年間または暖・寒期別、四季別の平均値はある一定値を示すものと考えられる。

③ 地形因子 *LS*

USLE では、斜面長・傾斜度を組み合わせた *LS* を地形因子とし、斜面長72.6 feet (22.1m)、傾斜度9%

表-4 那覇の月別 *EI* 値*
 Table 4 Monthly *EI* value of Naha, Okinawa

Month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	計
<i>EI</i> value m ² ·tf/ha·hr	18.2	29.6	70.7	30.8	106.5	121.5	98.3	137.8	52.1	98.5	86.0	47.3	897.3

*日本農業土木総合研究所 改良山成工調査総括報告書(第2次案)平成3年2月より引用

(5.1°) を標準傾斜とし、この場合、 $LS = 1$ とする。米国では、斜面長 l (m)、傾斜度 θ の場合次式を用いて任意の斜面の LS 係数を算定している。

$$LS = (l/22.1)^m \times (65.41 \cdot \sin^2 \theta + 4.56 \cdot \sin \theta + 0.065) \dots \dots (6)$$

ただし、 m は傾斜による指数で

- 5%以上: 0.5,
- 3.5%~4.5%: 0.4,
- 1.0%~3.0%: 0.3,
- 1%以下: 0.2,

④ 植生因子 C

USLE において C は、裸地の場合を 1 として植生による侵食流亡土量の軽減割合を示すものである。 C は作物の栽培期間中の平均的な値を用いることになるが、実際には栽培ステージごとに変動する。したがって、同一作物について長期の試験によって有意な平均値を求めることが必要である。

⑤ 保全工因子 P

横畝栽培・等高線帯状栽培・芝生帯設定・敷草などの水食防止農法と、承水路・排水路・階段造成などの水食防止工法によって土壌侵食を人為的に減少させることができる。

USLE において P は、圃場表面を上下方向に耕しし表面がひどく固くなったりして作物の生長を防げることがない程度の状態を 1 とし、保全工による侵食量の軽減割合を示すことになる。

(2) 許容侵食量

土壌保全は土壌侵食を抑制し土地の生産力を維持増進することである。土地が傾斜している場合、土壌侵食量を 0 にすることは不可能である。したがって、土壌侵食防止の目標は侵食量を完全に 0 にすることではなく、ある許容量以上に侵食を生じさせないことにある。

Bennett によれば、耕作をし施肥を行なっている土壌の場合、年間約 15 t/ha、土層厚にして年間約 1 mm の新しい培養土が生成されるという¹²⁾。したがって、農地においてはこの範囲内の土壌流亡であれば農業生産性の水準を維持できるとし、米国では年間 2.5 t~12.5 t/ha、土層厚にして年間 0.2 mm~1 mm を許容侵食量としている¹³⁾。培養土の生成速度は土壌の種類によっても異なるが、我が国においても許容侵食量を土層厚にして年間 1 mm 程度とするのが適当とされている¹⁴⁾。

5. 調査地区における USLE 要因の解析

4 で述べたようにアメリカにおける USLE 要因の数

値は、20~30年間の観測データから導き出されているが、我が国では、まだ 5~6年のデータ蓄積にとどまっている。長年月の調査資料による数値化はより高い精度を期待できるが、USLE の我が国への適用を検討するとともに、我が国独自の流亡土量予測手法の確立が早急に望まれている。沖縄でもデータの蓄積は少ないが、亜熱帯の赤黄色土の侵食防止方法を確立するうえで、今後の観測データをより効率的に解析するための手はじめとして USLE 要因の解析を試みた。解析に用いた流亡土量のデータは、昭和52~54年にかけて金武町屋嘉の侵食試験区からの流亡土量と、昭和62年4月~12月(途中7月~9月欠測)の約6ヶ月間、県営総合農地開発事業真平原地区圃場の侵食流亡土量である。降雨資料はそれぞれの近傍の観測点および那覇の資料を用いた。

1) 屋嘉地区

データは、斜面長 20 m、幅 2 m、傾斜度 3°、5°、8°及び 10°の試験区において得られたものである。10°区は裸地区とパイン区、他の3区は全て裸地区である。

侵食流亡土量は、各試験区の流末端に設置されている土砂留マスに溜まった土の容積とサンプリングした土の乾土重より算出したものである。降雨資料は、200 m 程度離れた小学校に設置されている有線ロケット気象計によるものである。それぞれの試験区における観測結果を表-5 および表-6 に示す。

① 土壌特性

3°、5°、8°区はレキ混じりシルト質で粘土分の少ない土壌(A土壌)と粘土分の多い土壌(B土壌)とに別れており、10°区は裸地、パイン両区とも粘土分の多い土壌である。3°、5°、8°区の土壌の比重と粒度組成は表-7、10°区の土壌の物理性と粒度組成は表-8及び表-9のとおりである。

② R の算出

前述の有線ロケット気象計の自記紙より4の(1)、①で述べたように、一雨の降雨量 I (mm/hr) とその最大60分間降雨強度 (I_{60}) を読みとり(2)式より KE を求めその値に I_{60} を乗じたものが EI_{60} である。観測期間中の EI_{60} 値の合計は表-5、表-6より次のようになる。

3°区 (A)	809.9	(B)	359.1
5°区 (A)	797.7	(B)	359.1
8°区 (A)	797.7	(B)	359.1
10°区 (裸)	818.2	(ハ)	818.2

(単位: $m^2 \cdot tonf/ha \cdot hr$)

(A): A土壌, (B): B土壌
(裸): 裸地区, (ハ): パイン区

10°区の値は2ヶ年分の平均値であるが、他の3区の

値はこれに表-4から欠測月の月のEI値を次式によって計算し年間のR値とする必要がある。

$$R \text{ 値} = \text{観測期間の EI 値} + \frac{\text{欠測月の EI 値の和}}{\text{那覇の年間の EI 値 (R 値)}} \times \text{観測期間の EI 値} \dots\dots\dots (7)$$

A 土壤において3°区と5°区、8°区の欠測月は、それぞれ1, 5, 10月と1, 5, 10, 11月の各月であり、B 土壤では、各区とも1, 2, 3, 4, 12月の各月であった。よって年間の値は次のようになる。

- 3°区 (A) 1011.4 (B) 437.8
 - 5°区 (A) 1072.6 (B) 437.8
 - 8°区 (A) 1072.6 (B) 437.8
 - 10°区 (裸) 818.2 (ハ°) 818.2
- (単位：m²・tonf/ha・hr)

③ A の算出

観測期間中の侵食流亡土量の合計値は、表-5、表-6より次のようになる。

- 3°区 (A) 207.22 (B) 35.15
- 5°区 (A) 331.74 (B) 99.22
- 8°区 (A) 456.47 (B) 126.08
- 10°区 (裸) 612.45 (ハ°) 342.10

(単位：t/ha)

3°, 5°, 8°区の値は1年間の侵食流亡土量に換算する必要がある。換算の方法を次式により行うと年間の侵食流亡土量は次のようになる。

$$\text{年間の侵食流亡土量 (A)} = \text{観測期間中の流亡土量} \times \frac{\text{換算した年間の EI 値}}{\text{観測期間中の EI 値}} \dots\dots\dots (8)$$

表-5 EI 値と流亡土量 (屋嘉)
Table 5 EI value vs. soil loss at each plot

No. of obs.	Rainfall (mm)	EI value ① m ² ·tf/ha·hr	Soil loss ② (t/ha)			②/①		
			8°区	5°区	3°区	8°区	5°区	3°区
1	71	111.2	62.68	44.26	12.21	0.564	0.398	0.110
2	36	27.5	13.28	9.08	4.66	0.483	0.330	0.169
3	84	46.9	33.10	20.78	11.87	0.706	0.443	0.253
4	59	9.2	17.19	10.43	3.61	1.868	1.134	0.392
* 5	183	189.7	110.65	83.61	68.89	0.583	0.441	0.363
A 6	86	167.3	73.53	60.21	27.73	0.440	0.360	0.166
7	33	12.2	—	—	6.45	—	—	0.529
8	34	11.2	111.69	7.26	4.14	1.044	0.648	0.370
9	59	18.4	15.87	16.10	9.26	0.863	0.875	0.503
10	104	120.4	58.66	33.74	26.80	0.487	0.280	0.223
11	59	45.9	12.74	11.56	9.06	0.278	0.252	0.197
12	50	16.3	6.33	6.86	5.93	0.388	0.421	0.364
13	96	33.7	40.75	27.85	16.61	1.209	0.826	0.493
1	73	10.2	7.11	2.94	1.29	0.697	0.228	0.126
2	94	17.3	4.09	2.30	0.41	0.236	0.133	0.024
3	104	8.2	1.66	1.28	0.07	0.202	0.156	0.009
* 4	88	19.4	9.06	6.33	0.54	0.467	0.326	0.028
B 5	101	28.6	20.14	18.03	4.08	0.704	0.634	0.143
6	61	4.1	6.16	5.03	1.32	1.502	1.405	0.322
7	40	9.2	25.37	17.13	4.51	2.758	1.862	0.490
8	106	84.7	21.83	16.73	9.60	0.258	0.198	0.113
9	101	12.2	4.12	3.92	1.54	0.338	0.321	0.126
10	275	165.2	26.54	24.80	11.79	0.161	0.150	0.071

*注) A 土壤：レキ混じりシルト質で粘土分が少ない土壤, B 土壤：粘土分が多い土壤
*Soil A: Silty soil with gravel, Soil B: Clayey soil

3°区 (A) 258.78 (B) 42.85
 5°区 (A) 446.06 (B) 120.96
 8°区 (A) 613.78 (B) 153.71
 10°区 (裸) 612.45 (ハ°) 342.10
 (単位: t/ha·year)

④ K の算出

土壤係数 K は、裸地区の場合は、C=1, P=1 とし
 て、次式によって K を求めることができる。

$$K = A / (R \cdot LS) \quad \dots\dots (9)$$

ここで LS を式 (6) により求めると、3°区が0.46、
 5°区が0.91、8°区が1.87、10°区が2.69となる。

よって、K は次のようになる。

3°区 (A) 0.56 (B) 0.21
 5°区 (A) 0.46 (B) 0.30
 8°区 (A) 0.31 (B) 0.19
 10°区 (裸) 0.28

(単位: ton·hr/m²·tonf)

10°区のパイン区の K を求めるためには、パインの C
 の値を求める必要がある。10°区の裸地区とパイン区は、

表-6 EI 値と流亡土量 (屋嘉10°区)
 Table 6 EI value vs. soil loss of 10° plot (Yaka)

No. of obs.	Rainfall (mm)	EI value ① m ² ·tf/ha·hr	Soil loss ② (ton/ha)		①/②	
			Pineapple plot	Bare plot	Pineapple plot	Bare plot
1	106	18.3	8.10	9.58	0.443	0.523
2	138	133.0	98.45	77.85	0.740	0.585
3	58	45.0	14.63	10.52	0.325	0.234
4	50	16.5	44.61	35.40	2.704	2.145
5	215	156.2	88.76	97.82	0.568	0.626
6	17	3.9	3.19	4.16	0.818	1.067
7	64	26.6	40.53	59.97	1.524	2.255
8	254	98.8	115.81	173.00	1.172	1.751
9	165	104.4	64.70	132.70	0.620	1.271
10	135	168.5	18.38	65.05	0.109	0.386
11	99	90.4	2.17	12.43	0.024	0.138
12	81	40.3	20.42	57.28	0.507	1.421
13	54	29.4	4.34	11.77	0.148	0.400
14	157	80.3	27.42	58.78	0.341	0.732
15	70	65.2	18.45	41.13	0.283	0.631
16	184	81.0	6.37	28.02	0.079	0.346
17	45	17.3	3.06	27.92	0.177	1.614
18	243	58.9	4.30	41.10	0.073	0.698
19	58	11.6	7.50	30.10	0.647	2.595
20	73	9.7	1.50	12.80	0.155	1.320
21	94	17.2	0.40	6.50	0.023	0.378
22	104	8.3	3.60	15.70	0.434	1.892
23	88	18.4	4.40	40.40	0.239	2.196
24	101	27.8	9.30	36.00	0.335	1.295
25	61	4.1	3.20	4.10	0.780	1.000
26	40	8.9	16.00	32.50	1.798	3.652
27	106	83.2	47.20	46.50	0.567	0.559
28	47	9.9	—	5.26	—	0.531
29	101	11.6	1.59	2.10	0.137	0.181
30	141	26.0	1.85	11.57	0.071	0.445
31	275	162.4	3.74	35.43	0.023	0.218
32	95	3.2	0.22	1.45	0.069	0.453

表-7 比重と粒度組成 (%) (屋嘉)
Table 7 S.G. and soil grading (%) (Yaka)

土 壤 Soil*	比 重 S.G	レ キ Gravel	粗 砂 Coarse sand	細 砂 Fine sand	シルト Silt	粘 土 Clay	コロイド Coloid
A	2.68	29.7	11.4	17.6	17.4	23.9	12.0
B	2.78	6.0	7.2	16.8	10.4	59.6	40.0

*注) A土壤：レキ混じりシルト質で粘土分が少ない土壤，B土壤：粘土分が多い土壤
*Soil A: Silty soil with gravel, Soil B: Clayey soil

表-8 土壤の物理性 (屋嘉10°区)
Table 8 Physical properties of Yaka plot soil

比 重 S.G	間隙率 Porosity	透水係数 Permeability coefficient	分散率 Dispersion ratio	侵食率 Erosion ratio
2.70	54.0%	5.2×10^{-3} cm/sec	42.0%	61.8%

表-9 粒度組成 (%) (屋嘉10°区)
Table 9 Soil grading of Yaka plot (%)

レ キ Gravel	粗 砂 Coarse sand	細 砂 Fine sand	シルト Silt	粘 土 Clay	コロイド Coloid
5.0	9.0	24.0	16.0	46.0	34.0

植生因子以外は全て同一条件であるので、パイン区の侵食量と裸地区の侵食量との比をもってパインのCの値とすることができる。したがって、

$$C = 342.10/612.45 = 0.56$$

となる。また、Pは表-10を参考に横畝栽培の0.90を採用すると、Kは(2)式より次のようになる。

$$K = 342.10/(818.2 \times 2.69 \times 0.56 \times 0.90) = 0.31$$

2) 真平原地区

この地区は、改良山成工法で造成された農地で大区画緩傾斜圃場に仕上げられている。調査対象圃場が、200m×200mで5つの耕区から成り、1耕区は長辺200m、短辺40mである。圃場面勾配は、長辺、短辺いずれの方向も1.4°(2.5%)である。なお、圃場の地被状態は裸地およびパインの植付初期(1~2ヶ月)であった。

侵食流亡土量は、耕区末端に設置されている土砂溜マスに流入、堆積した量を測定した。土砂溜マスの堆積状況をもとに影響降雨との関連で4個の土砂溜マスの土砂流亡量の平均を求めると表-11のようになる。

① 土 壤 特 性

土壤の比重と粒度組成は表-12のとおりである。粘土分が多く細粒質土壤である。

透水係数を表-13、浸透能を図-2に示す。透水性が非常に小さく、地表流出が生じ易いといえる。また、三相分布は図-3のとおりで気相率が低く密化している。

保水性の増進や耐水性団粒の形成に関係の深い有機物含有量は、1.7%程度で極めて少ない。一般に有機物含有量の乏しい土壤は比較的侵食を受けやすいとされており、この点からも受食性土壤といえる。

② R の 算 出

降雨データは、現地近くに設置されている自記雨量計のものを用いた。自記紙から一連降雨の総雨量13mm以

表-10 各種保全法に対する P 値
Table 10 P values for contouring and contour strip cropping

傾 斜 Slope degree	横畝栽培 Contouring	等高線帯状 Contour strip cropping
1°~4°	0.55	0.27
4°~7°	0.60	0.30
7°~10°	0.80	0.40
10°~15°	0.90	0.45
15°<	1.00	0.50

上のものを読みとり、USLEのメートル単位法による降雨エネルギーの式(3)を用い、最大60分間降雨強度 I_{60} (mm/hr) を乗じた $E \cdot I_{60}$ の年間合計値を USLE の降雨係数 R ($m^2 \cdot tonf/ha \cdot hr$) とした。ただし、欠測月ものは表-4 の那覇の月別 EI 値を採用した屋嘉地区の場合と同様(7)式により求めると、1,401を得た。

③ A の算出

乾燥密度 $\rho_d = 1.42$ として、滞砂量 V (m^3) を重量 (t) に換算する。さらに、圃場の流域面積 (0.8 ha) で除し、

単位面積当りの土量 (t/ha) とする。これを R と同じく那覇の月別 EI 値を用いて、その比によって1年間の侵食流亡土量 A ($ton \cdot ha \cdot year$) に換算した。その計算式を示す。

年間の侵食流亡土量

$$A = 73.27 \times (1401/877) \\ = 117.05 \text{ (ton/ha} \cdot \text{year)}$$

④ K の算出

USLE 式(5)より、土壌係数 K は次の式によって求

表-13 飽和透水係数(真平原)

Table 13 Coefficient of saturated permeability (cm/sec)(Mahirabaru)

Upper layer (0~10 cm)	8.87×10^{-5}
Middle layer (10~20 cm)	1.03×10^{-5}
Lower layer (20~30 cm)	7.59×10^{-6}

表-11 降雨エネルギー (EI 値) と流亡土量 (真平原, 1987)

Table 11 EI value vs. soil loss at Mahirabaru (1987)

No. of oba.	Rainfall (mm)	EI value ($m^2 \cdot tf/ha \cdot hr$)	Soil loss (t/ha)	影響降雨 (mm) と降雨月日 Effective rainfall and its date (parenthesis)
1	334	258	21.19	40 (5/6) 24 (5/13) 64 (5/16) 89 (5/17) 96 (5/17~18) 21 (5/18)
2	416	524	21.67	73 (6/17~18) 68 (6/18~19) 275 (6/21~22)
3	243	81	18.64	18 (11/23) 77 (11/28) 28 (11/28~29) 74 (11/29~12/1) 46 (12/5~6)
4	54	6	3.99	54 (12/9~11)
5	38	15	7.78	17 (12/15) 21 (12/21)
Total	1,085	877	73.27	

表-12 比重と粒度組成 (真平原)

Table 12 Specific gravity and soil grading (%) (Mahirabaru)

比 重 S. G	粗 砂 Coarse sand	細 砂 Fine sand	シルト Silt	粘 土 Clay	コロイド Colloid
2.691	15.9	23.3	19.8	41.0	29.0

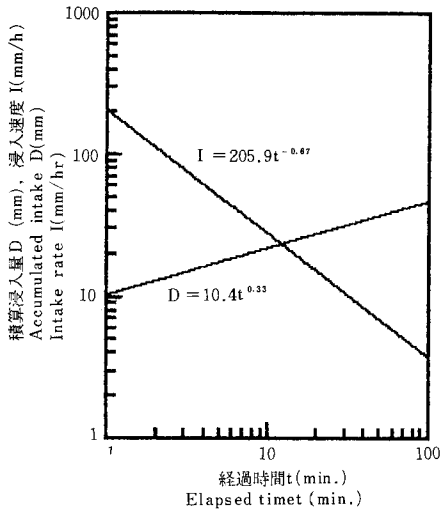


図-2 浸入能 (真平原)
Fig. 2 Infiltration capacity of Kunigami Maaji soil (Mahirabaru)

められる。

$$K = A / (R \cdot LS \cdot C \cdot P) \quad \dots\dots (10)$$

LS は式 (4) により、傾斜度 2.5% ($\theta = 1.4^\circ$)、傾斜長 $l = 200$ m として算出すると $LS = 0.43$ となる。C は、

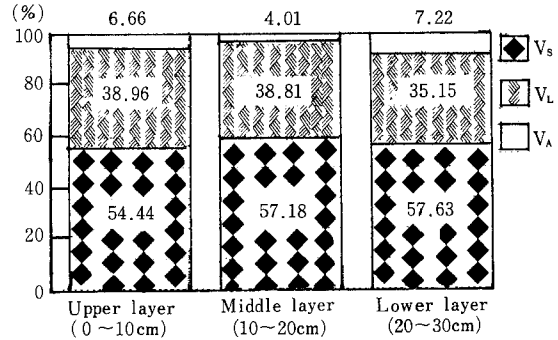


図-3 三相分布 (真平原)
Fig. 3 Three phases of Kunigami Maaji soil (Mahirabaru)

表-14 傾斜土と侵食流亡土量および土壤係数

Table 14 Relationship among slope degree, soil loss and soil factor of USLE

試験地 Testing site	傾斜度 Slope degree	土壌 Soil	流亡土量 Soil loss (A) (t/ha·year)	降雨係数 R factor ($m^2 \cdot tf/ha \cdot hr$)	傾斜斜面長 係数 LS factor	土壤係数 K factor ($t \cdot hr/m^2 \cdot tf$)	備考 Remarks
金武町 屋嘉 Yaka Kin-cho	10° (17.6%)	B	612.45	818.2	2.69	0.28	裸地 Bare soil C=1, P=1
			342.10			0.31	パイナップル Pineapple C=0.56, P=0.90
	8° (14.1%)	A*	613.78	1,072.6	1.87	0.31	裸地 Bare soil C=1, P=1
		B*	153.71	437.8		0.19	
	5° (8.7%)	A	446.06	1,072.6	0.91	0.46	裸地 Bare soil C=1, P=1
		B	120.96	437.8		0.30	
	3° (5.2%)	A	258.78	1,011.4	0.46	0.56	裸地 Bare soil C=1, P=1
		B	42.85	437.8		0.21	
宜野座村 真平原 Mahirabaru Ginoza	1.4° (2.5%)	B	117.05	1,401	0.43	0.63	パイナップル Pineapple C=0.56 P=0.55 斜面長=200 m Slope length: 200 m

*注) A土壌：レキ混じりシルト質で粘土分が少ない土壌、B土壌：粘土分が多い土壌

*Soil A: Silty soil with gravell, Soil B: Clayey soil

パイナップルの0.56を用いた。この値は屋嘉のデータから得られたもので、その算出方法については後に述べる。Pは、表-10を参考に横畝栽培の0.55を採用した。②および③のそれぞれにおいて求めたR値およびA値とこれらの値を用いてKを算出すると次のようになる。

$$K = 117.05 / (1,401 \times 0.43 \times 0.56 \times 0.55) \\ = 0.63$$

以上の解析結果をまとめると表-14のとおりとなる。

6. 結果と考察

1) 土壌係数 K

Kに関しては、9個の事例についての値が得られた。真平原のものについては、観測データ数が少なく信頼性はあまり高いものとはいえない。屋嘉のものについては、レキ混じりシルト質で粘土分の少ないA土壌が粘土分の多いB土壌よりも3°、5°、8°区いずれにおいてもKの値が大きくなっている。したがって、レキ混じりシルト質で粘土分が少ない土壌の方が侵食流亡土量が多くなるものと予測される。

2) 降雨係数 R

Rの値は437.8~1,072.6 (m²·ton·f/ha·hr)と年によってかなり差がある。平均すると920~930程度となり、表-4の那覇の897.3よりも大きくなる。したがって、沖縄本島北部等のRも一般化する必要があると思われる。

3) 作物管理係数 C

Cに関しては、屋嘉の10°区からパインの0.56が得られた。しかし、この値は2年間のトータルのもので、実際は値付けから生育段階によって変動する。

一般に、パインは植付け後1年は被覆効果や根の土壌

保定作用が低い。そこで、値付け後半年間、半年~1年、1年~2年と3段階に分けてCの値を求めると表-15のようになる。

値付け後半年間は被覆効果がほとんどないことがわかる。しかし、2年目にはCの値はかなり小さくなっており、被覆効果や根の発育による土壌保定作用により侵食流亡土量が減少することがうかがえる。

4) 侵食流亡土量 A

流亡土量は、当然のことながら、3°、5°、8°、10°と傾斜度の高い方が多くなっている。その侵食量の比は、B土壌の場合およそ1:2.8:3.6:7.5となる。ただし、10°区の場合は他の3区とRの値が異なるのでRの比によって換算した。

また、流亡土量を土層厚に換算すると表-16のようになり、緩斜面でも許容侵食量とされる約1mm/yearを大幅に上回る大量の流失となっている。

したがって、造成工費が見合えば圃場面の勾配をできるだけ緩やかにする必要がある。

7. 水食防止対策

先に述べた侵食要因の中で侵食を助長する要因の強度を下げるのが土砂流出抑止対策の糸口となる。これまでの調査結果を踏まえUSLEを基本とした対策を検討してみる。

造成段階におけるUSLEの適用については、今後の課題として検討する必要があるもので、ここでは耕地組織と営農の面からの対応を考えてみる。

1) 耕地組織からの検討

畑の耕地組織とは圃区の大きさ、形状、排水路や農道の位置関係等耕地が農作業に適するように有効に機能す

表-15 試験区別の流亡土量とパインのC値(屋嘉10°区)
Table 15 C values of pineapple calculated by soil loss from the plot

植付け後の期間 Time elapsed after planted	流亡土量 (t/ha) Soil loss		C
	裸地区 Bare plot	パイン区 Pineapple plot	
半年 6 months	328.29	325.54	0.99
半年~1年 6 months-1 year	552.14	271.69	0.49
1年~2年 1 year-2 years	391.45	124.13	0.32

表-16 土層厚に換算した流亡土量
Table 16 Soil loss converted into soil layer thickness (mm/year)

調査区 Plots		土層厚 Soil layer thickness (mm/year)	仮比重 Bulk density
10°	Bare soil	47.1	1.30
	Pineapple	26.3	
8°	A soil	46.7	
	B Soil	14.1	
5°	A soil	34.0	
	B soil	11.1	
3°	A soil	19.2	
	B soil	3.9	
1.4°	Pineapple	7.8	1.42

る団地をいうが、農地保全上からは圃区の構成単位となる耕区の形態、承水路、排水路の配置、砂防施設の構造、規模等が重要な意味をもつ。

(1) 区画の形態

圃区の形状、大きさは作物、作業体系、経営条件などの観点から検討する必要がある。耕区の形状を決めるさい、長辺（等高線方向）の長さは作業体系、灌漑方法、農地保全、農地所有形態によって制約を受ける。また、短辺（傾斜方向）の長さは主として、農機の作業性、農地保全上の観点から決定される。この場合、畑面の勾配が重要な要素となる。これについては大略「畑面勾配の最大傾斜は栽培管理機械の利用と、農地保全を重視した

観点からは緩傾斜ほど有利であるが、土工費の節約等経済性のバランスをとる必要から5°(8.7%)以内を計画する」との指針¹⁵があるが、表-14が示すように、1.4°(2.5%)でもかなりの土砂流亡が観測されている。

しかし、現在は造成勾配が殆ど3°(1.7°)程度に仕上げる傾向にあり、勾配の問題は解決されつつある。さて侵食抑制上から耕区の短辺の長さを検討する場合は農地保全と機械の作業性を考慮する必要がある。保全上は短いほどよいが、作業効率の点からは20~25mの整数倍がよいとされている¹⁶。このようにみえてくると、圃場（耕区）の短辺長（傾斜方向）と短辺の勾配を組み合わせたUSLEのLS要因の数値を考慮にいれた形状の検討が必要となる。例えば表-17で $\theta = 30^\circ$, $\theta = 2^\circ$ と、 $\theta = 60^\circ$, $\theta = 2^\circ$ のLSを比較すると、それぞれ、0.342, 0.452となり、他の要因が同じであれば土砂流亡量は76%増となる。

(2) 排水路、承水路の配置

耕区の短辺を上記のようにしただけでは侵食問題は解決しない。圃区全体からの見直しが必要になってくる。圃区短辺の長さの制限は侵食防止上必要条件だが十分条件たり得ないのである。侵食要因が予期せぬ働きをする場合が往々にしてあるものである。耕区界の承水路が等高線方向への排水機能を発揮できない場合は、決壊し、傾斜方向へ水みちを作って流れ出す。水みちが縦道路に沿って形成されると、次々に承水路が決壊し圃区末端の横道路にも被害をおよぼす。また、圃場の傾斜方向いかによっては縦道路に沿った集水路へ流入し、または、集水路の取り付け部が洗掘される。このようなことから耕地組織が侵食抑止対策に果たす役割は大きいものと考えられる。これまでの調査結果からみると、圃場からの土砂流亡の顕著なところは圃区の形態に問題がある。圃区の

表-17 圃場面形態別のLSの値
Table 17 Values of the LS factors for combination of slope length and steepness

[L: 圃場の短辺長(傾斜方向) θ : 傾斜度]

θ \ L	L					
	20m	30m	40m	50m	60m	100m
3度 (5.2%)	0.456	0.558	0.644	0.720	0.789	1.019
2度 (3.5%)	0.291	0.342	0.384	0.420	0.452	0.554
1度 (1.7%)	0.178	0.201	0.219	0.234	0.247	0.288

短辺長と畑面勾配の両者が大きい程侵食の相乗効果が高まる。したがって土砂流亡の軽減が図れる圃区、耕区形態にすることが肝要である。

そのためには①2～3の耕区単位ごとの承水路を耕作道に代える。②耕区および耕区の下流端に貯水機能をもたせる沈砂池を設ける。③急傾斜地での造成形態は畑面に1～2%程度の傾斜をもたせた一時湛水区画とする。①は耕作道に承水路と縦方向への流亡土砂の砂防機能をもたせ、②は沈砂池に堆砂と貯水の機能をもたせることにより、かんがい水として利用できる。③は水田のもつ貯水と洪水調節、地下水函養の機能が直接土砂流出防止に役立つことを期待するものである。

(3) 砂防施設

侵食抑止的な対策は、圃区や耕区の形態にその機能をもたせる前述の方法で対応できるが、圃区から流出する土砂の耕区外、圃区外あるいは農区外への流出抑止をはかるには、それぞれの流域末端に土砂留マス、沈砂池等を設置し土粒子の沈澱、滞砂をはかる方策がとられている。これらの土砂流出防止効果はその構造、規模によって異なるが、一般に施設内の流速に左右されるが流出水が溢水すると微細粒子の流出阻止は困難な現状にある。

従って微細粒子の流出阻止をはかるには、①流域内の表流水を収容できる大規模な沈砂池を設置するか、②土粒子の沈澱を速やかにする構造で対応するか、または、③濁水の浄化機能をはかるための物理的、化学的処理をするかである。これまでの調査結果をもとに経済性、合理性から判断すると前記②および③の併用が望ましいと考えられる。②は沈砂池等の形態別の水理現象を把握することにより、③は化学資剤による急速沈澱、真水排水により抑止効果はかされる。ただし、③の場合の化学処理は生態系への影響がないという前提が必要である。

2) 農法的対策

前述の(1)、(2)、(3)は主として土木的対策で、USLEの保全係数 P に対応するものだが、それぞれの要因の数値の適用は正常な営農条件下でなされるものとされており、前述の P は数値化は困難である。したがって、 R 要因以外は農法的対策の要因となる。但し、 LS は前述したように土木的対策の要因とした。

表-18は過去の観測データをもとに、 R 要因と K 要因を変化させた場合の A の値である。平均的な R (900)、 K (0.3)による土砂流亡は年間194 t/haで、土壌の仮比重を1.35とした場合、土層厚に換算すると14 mmとなり

表-18 土壌係数、降雨係数の変動に伴う A の値(t/ha·year)

Table 18 Values of the A for variation of K and R factors
 $LS = 0.72$ (斜面長 50m, 傾斜 3度) $C = 1$, $P = 1$

R \ K	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
	500	72.0* (5.5mm)	108.0	144.0	180.0
600	86.4	129.6	172.8	216.0	259.2
700	100.8	151.2	201.6	252.0	302.4
800	115.2	172.8	230.4	288.0	345.6
900	129.6	194.1* (14 mm)	259.2	324.0	388.8
1,000	144.0	216.0	288.0	360.0	432.0
1,100	158.4	237.6	316.8	396.0	475.2
1,200	172.8	259.2	345.6	432.0	518.4
1,300	187.2	280.8	374.4	468.0	561.6* (42 mm)

* () 内の数値は土壌の仮比重を1.35とした場合の土層厚

*Parentheses indicate the thickness of soil layer for 1.35 bulk density.

表-19 C の変化に伴う土砂流出量 A の値 (t/ha・year)
 Table 19 Values of the A for variation of R and C factors
 (LS=0.72, K=0.3, C=1, P=1 の場合)

R \ C	0.005	0.010	0.100	0.200	0.300	0.400	0.500
500	0.54	1.08	10.8	21.6	32.4	43.2	54.0
600	0.65	1.30	13.0	26.0	39.0	52.0	65.0
700	0.76	1.51	15.1	30.2	45.3	60.4	75.5
800	0.86	1.73	17.3	35.2	51.9	69.2	86.5
900	0.97	1.94	19.4	38.9	58.3	77.8	97.2
1,000	1.08	2.16	21.6	43.2	64.8	86.4	108.0
1,100	1.19	3.38	23.8	47.5	71.3	95.0	118.8
1,200	1.30	2.59	25.9	51.8	77.8	103.7	129.6
1,300	1.40	2.81	28.1	56.2	84.2	112.3	140.4

表-20 各種作物の作物係数 C
 Table 20 Values of the C factors of each crop

作物	作物係数 C	作物	作物係数 C
牧草 Grass	0.02	砂糖キビ Sugar cane	0.2
ワラ, 乾燥マルチ Straw, mulch	0.1	ダイコン Radish	0.3
パイナップル Pineapple	0.5	ナス Eggplant	0.4
キャベツ Cabbage	0.3	ピーマン Pimiento	0.4
カボチャ Pumpkin	0.3	インゲン Bean	0.5
カンショ Sweet potato	0.3	タバコ Tobacco	0.6

極めて大きい値となり、営農上許容できないものとなる。両要因が最も小さい場合でも 5.5 mm の土層厚となる。R の値は変化させることができないので K による土砂流出量の許容値達成は不可能である。それ故他の要因の係数低下をはかる必要がある。表-19 は表-18 の K 要因を 0.3 として、R と C を変化させた場合の A の値である。R = 900 として 1.4 mm 以下に土砂流出量 (土層厚) を抑制するには C = 0.1 以下にしなければならない。そのためには表-20 により、ワラ、乾燥マルチが必要となる。更に土砂流出量を軽減させるためには、牧草等の導入が

不可欠となる。種々の営農形態を考えねばならないので、P 要因の低減化も併せて検討されねばならない。

以上のことから水食防止対策としてつぎのことがあげられる。

- ① 排水を考慮した圃場面勾配を有する一時湛水可能な区画の採用
- ② 牧草の導入
- ③ 敷草、敷わらなどのマルチ栽培
- ④ 堆肥など有機物の施用による土壌物理性の改善
- ⑤ 承水路、排水路などの排水路網の合理的配置

⑥ 適切な規模や配置の土砂溜や砂防施設の設置

8. おわりに

今回は若干の観測データと、既往のデータや土壌の物理性の測定結果をもとに、USLEの要因の数値化を試みたが、今後の課題として次のようなものが残されている。

1) 長期にわたる観測により、より平均的で信頼できる値を求める必要がある。特に土壌関数に関して R 値と流亡土量の更なる観測が必要である。

2) 各土壌に適応した諸係数を数値化し、独自の土壌流亡予測式を確立する必要がある。また沖縄の場合、諸係数の数値化のためつぎのような研究が急がれる。

- ① 国頭マージの広く分布する本島北部や石垣島等の R 値を一般化すること。
- ② 国頭マージの K を数値化すること。
- ③ 主要作物であるサトウキビやパイナップルの C 及び P を数値化することなどである。

今回の調査は主として真平原地区の1ブロックを対象にしたが、計測器機の不備や土砂溜マスの滞水による観測の困難もあり、十分な観測結果が得られなかった。また、サトウキビ更新による圃場の裸地化と、土壌管理の不備による土砂災害のため、観測施設(三角ゼキ・水位計)の機能のマヒなどもあって観測体制が十分でないことを痛感した。なお、USLEの我が国への適用については、改良山成工調査委員会(構造改善局資源課委託)で鋭意検討中であるのでその成果をまって沖縄でのUSLEの諸要因を更に検討したい。

謝 辞

本稿をまとめるにあたって御助言をいただいた宮崎大学農学部細山田健三教授に深謝します。

引用文献

- 1) Baver, L. D. : Soil physics. John Wiley & Sons, Inc, New York · London · Sydney. 432 (1966)
- 2) 翁長謙良: 沖縄島北部地方における土壌侵食の実証的

研究, 琉大農学報33, 111-209 (1986)

- 3) Neal, J. H. : Effect of degree of slope and rainfall characteristics on runoff and soil erosion. *Agri. Engin.* 213-217 (May, 1938)
- 4) Barnett, A. P. and J. S. Rogers : Soil Physical properties related to runoff and erosion from artificial rainfall, *Trans. ASAE.*, 123-128 (1966)
- 5) Wischmeier, W. H. and D. D. Smith : Rainfall energy and its relationship to soil loss, *Trans. Amer. Geophys. Union.* Vol. 39, No. 2 April, 285-290 (1958)
- 6) Hudson, N. : Soil conservation, Cornell University Press, 69-70, Ithaca, New York (1981)
- 7) 藤原輝男・望月善晴・南信弘・小椋正澄: 降雨エネルギーの算定式に関する研究, *農土論集*, 114, 7-13 (1984)
- 8) 岩佐安: 赤・黄色土の分類と粘土鉱物組成の分布, *農地工学へのエンジニアリング・ペドロロジーの適用*, 昭和61年度化学研究費補助金研究成果報告書, 14-21 (1987)
- 9) Bennett, H. H. : Soil conservation, McGraw-Hill Book Company Inc, 169-178 New York and London
- 10) 山崎不二夫: 農地工学(下), 東京大学出版会, 471 (1987)
- 11) 細山田健三・藤原輝男: 侵食流亡土量の予測に関するUSLEの適用について(1)-USLE適用の背景および降雨係数-*農土誌*, 52, 4, 315-321 (1984)
- 12) 勸日本農業土木総合研究所, 昭和61年度改良山成工調査報告書, 50 (1987)
- 13) Wischmeier, W. H. and Smith D. D. : Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning. U. S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537, 2-3 (1958)
- 14) 農林省構造改善局: 土地改良事業計画設計基準, 計画, 農地開発, 22 (1977)
- 15) 沖縄県総合事務局, 土地改良事業計画指針畑地整備, 25 (1986)
- 16) 山崎不二夫: 農地工学(下) 東大出版会, 524 (1981)

Summary

Okinawa prefecture is located in the monsoon region of Asia and has a humid subtropical climate. Therefore the properties of the soil in this district reflect the climatic factors. One particular kind of soil, called Kunigami Maji because of the locality and the local dialect, is distributed mainly in the northern parts of Okinawa island, Ishigaki island, and Iriomote island. Kunigami Maji soil is red-yellow in color and is regarded as a problem soil from the point of view of erosion.

This study was made in order to estimate and to establish controlling soil erosion on reclaimed fields in the northern parts of Okinawa island. The relations among the factors of USLE (Universal Soil Loss Equation) were analyzed on the basis of rainfall energy and soil loss from the fields.

The method of analysis adopted in the current study is indicated with reference cited. The results obtained from the investigation are summarized as follows:

- 1) According to 9 samples obtained from the field plots tested, K value of USLE factors is higher in silty soil than in clayey soil in each plot of inclination of $3^{\circ}5'8''$
- 2) R value changes from 438 ($\text{m}^2\text{tonf}/\text{ha} \cdot \text{hr.}$) to 1073 ($\text{m}^2\text{tonf}/\text{ha} \cdot \text{hr.}$) by the year test was conducted.
- 3) C value of pineapple was estimated at 0.56
- 4) Countermeasures against soil erosion and areas for further study were proposed as follows:
 - (1) The field lot like puddy is recommended to protect soil loss from reclaimed area.
 - (2) Mulching with layers of grass or leaves to decrease rainfall energy and runoff.
 - (3) Stabilization of soil particle by using compost or humus.
 - (4) Reasonable layout of terrace and drainage channel.
 - (5) Decreasing muddiness of runoff to minimize river and ocean contamination.

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 63, 19-34, 1991)