

琉球大学学術リポジトリ

沖縄における農地保全の基礎的研究 III : 人工降雨による土壌侵食試験(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: 翁長, 謙良 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/4431

沖縄における農地保全の基礎的研究 III

人工降雨による土壌侵食試験

翁 長 謙 良*

Kenryo ONAGA: Fundamental studies on farm land conservation in Okinawa, III.
Experimental study on soil erosion by simulated rainfall

I 緒 言

筆者は第II報(7)において沖縄の国頭マーヅ土壌の土層厚さ別による侵食試験を人工降雨により行なったが、今回は土層厚さを同じくした3種の異なる土壌(国頭マーヅ土壌, ジャーガル土壌, ニービ土壌)について、同様な侵食試験を行なった。実験装置は改善すべき点があるが、予報的にその結果を報告する。

II 実 験 装 置

高さ6mの亜鉛管を長方形(2.7m×3.4m)の4すみと長辺の中央に各1本ずつ、約50cm地中に埋め、コンクリートで固定してある。本実験はその装置の半分を利用した。亜鉛管2本の上端に散水用のじょうろ(面積:176cm², 噴射口径:0.6mm~0.2mm個, 密度:4/1cm²)を、5m下方の土槽箱(3個)に雨滴が落下するよう設置した。図1はコンクリート製の実験土槽箱と流去水の捕水用バケツである。

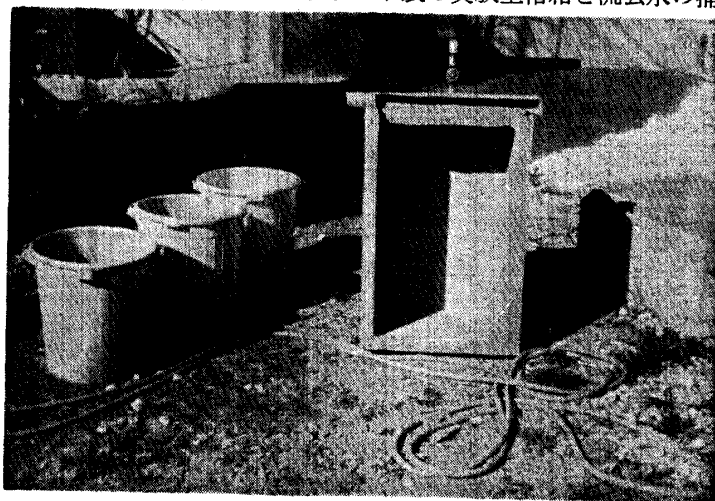


Fig. 1. Testing soil box

図1. 実験土槽

土槽箱(W=45cm, L=75cm, D=40cm)は3個とも低位部が地上30cmで7度に設置し、底から順に小砂利層3cm, 砂層3cmを敷いた後、各土槽箱にそれぞれ、国頭マーヅ土壌(plot 1), ジャーガル土壌

* 琉球大学農学部農業工学科

琉球大学農学部学術報告 20: 159~167 (1973)

(plot 2), ニービ土壤 (plot 3) を詰めた。また土槽箱の底の低位部に浸透水の排水口を設け、侵出水が測れるようにした。そして土槽箱や流去水受けのトイ等は雨滴の飛散などによる余分の水が入り込まないよう工夫した。

III 実 験 方 法

供試土の下層は2年前に詰め込んであるので、表面下5cmの土を取りかえ実験を行なった。人工雨を降らす直前に各供試土の含水比を測定し、表面下10cmまで耕起し、団粒化した後実験をはじめた。降雨時間は10分間とし、実験の都度降雨量を変えるようにした。流去水は捕水用バケツで受け、土粒子とともに測定し、流亡土は上澄み液を排除した後乾燥秤量した。各供試土の機械的組成はつぎのとおりである。

	砂	シルト	粘土
plot 1 (国頭マーヅ)	38.0	34.0	28.0
plot 2 (ジャーガル)	13.5	53.5	33.0
plot 3 (ニービ)	50.2	29.3	10.5

Table 1. Runoff and soil loss of each 10 min. rainfall

表 1. 10分間降雨量に対する流出水量, 流亡土量

plot	No.	Rainfall mm/10min	Surface runoff (ℓ)	Soil loss (g)	Base runoff (ℓ)	Moisture ratio (%)
1	1	28	4.29	69.05	0.01	27.82
	2	20	0.13	0.85	4.37	22.98
	3	39	1.12	7.45	2.51	20.15
	4	21	0.34	3.30	0.95	21.07
	5	46	2.07	29.80	2.74	24.57
	6	28	3.07	43.80	14.28	28.09
	7	12	1.60	12.30	7.69	22.23
	8	38	4.37	94.80	21.72	17.36
	9	38	2.77	61.30	22.13	26.03
	10	27	5.38	70.30	13.07	25.91
	11	61	10.87	83.00	3.37	26.78
	12	9	1.73	7.20	0.77	28.98
	13	10	2.74	10.10	0.97	24.83
	14	6	0.35	2.80		20.54
	15	12	3.39	28.80		31.76
	16	16	3.46	30.40	0.00	24.76
	17	12	1.19	0.80		16.15
2	1	16	0.42	2.25	3.61	37.41
	2	20	0.03	0.25	4.76	34.61
	3	43	3.49	28.96	9.74	35.49
	4	37	2.12	10.25	6.91	34.54
	5	47	5.07	26.46		31.71
	6	51	5.36	29.46	7.97	41.71
	7	49	7.40	35.46	5.51	36.14
	8	14	2.15	8.25	2.07	34.60
	9	11	1.17	2.25		42.60
	10	43	9.17	78.75	5.16	31.54
	11	37	1.64	6.05		37.22
	12	31	2.72	16.85	7.51	31.62
	13	44	6.89	22.95	9.40	39.23
	14	10	0.74	5.65	3.58	35.28
	15	7	0.35	0.80	2.07	37.52
	16	6	0.14	1.45		30.25
	17	12	1.54	7.90	4.27	40.16
	18	17	3.00	12.55	3.50	37.43
	19	14	0.73	3.35		25.98

3	1	31	6.27	774.85	0.00	24.15
	2	44	13.68	1425.77	1.42	27.94
	3	37	8.12	412.36	1.40	24.51
	4	47	7.74	408.75	0.88	24.94
	5	51	9.44	517.75	0.81	27.86
	6	49	13.46	593.25	0.13	27.94
	7	13	3.76	63.85	0.01	26.65
	8	11	1.15	14.85		23.86
	9	48	11.38	190.65	0.01	28.03
	10	35	6.04	34.05	1.56	25.67
	11	36	6.63	211.25	1.22	26.27
	12	28	4.98	124.05	3.28	26.51
	13	11	1.49	21.85	0.56	24.60
	14	4	0.46	4.20	0.22	25.46
	15	6	0.43	7.80		24.92
	16	13	3.24	29.63	1.03	25.32
	17	18	3.73	25.80	0.74	26.34
	18	15	1.81	23.50		23.68

IV 雨 滴 の 検 定

表2, 表3はそれぞれ自然降雨, 人工降雨の雨滴径の分布である。自然降雨の雨滴は過去14回の採取結果から1月23日のものをえらび, 人工降雨の雨滴は適宜強度を変えながら採取したものである。雨滴の採取方法, 実直径への補正, 降雨強度の算出方法は塩月氏ら(8)の方法を用いた。それによると, 降雨強度 R (mm/hr) の値は次式で計算される。すなわち, 雨滴の実直径を D (mm), 個数を N , ろ紙の読み取り面積を S , 10×10 (cm^2), ろ紙の露出時間を t とすると R は

$$R = 0.1885 \frac{\sum N D^3}{t} \quad (mm/hr)$$

により求められる。

Table 2. Drop-size distribution per $100cm^2$ of natural rainfall
Shuri, Okinawa 1973, Jan. 24

表2. 自然降雨による雨滴径の分布

Hour	17:43	17:45	17:47	17:49	17:51	17:54	17:56	17:58	18:00	18:36	18:40
Time of exposure (sec)											
Drop-size (mm)	2.0	2.6	2.6	2.2	1.1	1.4	1.1	2.2	1.0	7.0	14.0
① 0.15—0.50	30	134	193	74	96	132	137	179	161	129	184
② 0.51—1.00	5	8	6	8	4	3	11	14	4	23	31
③ 1.01—1.50	11	22	8	7	8	5	5	10	2	23	3
④ 1.51—2.00	14	15	4	6	8	10	4	6	4		
⑤ 2.01—2.50	13	5	4	2	9	4	1	7	3		
⑥ 2.51—3.00	5	7	2	4	3	4	7		6		
⑦ 3.01—3.50	1		3	4	1		2		5		
⑧ 3.51—4.00		1	1			2	1				
⑨ Total of Drops	79	192	221	105	129	160	168	216	185	175	218
⑩ $\frac{①}{⑨} \times 100$	38.0	69.8	87.3	70.5	74.4	82.5	81.6	82.9	87.0	73.7	84.4
⑪ Rainfall Intensity (mm/hr)	※36.3	25.8	17.5	18.8	47.9	40.2	58.5	16.2	59.2	1.3	0.4

※ 測定開始時刻17:43からろ紙を2秒間雨に露出して得られた雨滴径の分布をもとに時間雨量に換算した値

Table 3. Drop-Size distribution per 100cm² of simulated rainfall

表3. 人工降雨による雨滴径の分布

Drop-size (mm)	Test No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9
① 0.15—0.50	65	56	31	33	24	18	40	19	31
② 0.51—1.00		9	1	2	1	16	3		
③ 1.01—1.50	2	20	24	9	9	27	4	5	2
④ 1.51—2.00	14	12	30	7	37	10	7	16	29
⑤ 2.01—2.50	3	8	2	2	7		1	7	8
⑥ 2.51—3.00	1	3		5	11		4		5
⑦ 3.01—3.50		1		2					1
⑧ 3.51—4.00		1		2					
⑨ Total of Drops	85	110	89	62	89	71	59	47	76
⑩ $\frac{\text{①}}{\text{⑨}} \times 100$	76.5	50.9	34.8	53.0	27.0	25.4	67.8	40.4	40.8
⑪ Rainfall intensity (mm/hr)	141	139	84	133	66	11	55	35	38

さて、自然降雨の雨滴径の分布を表2でみると、小さい粒径程多く存在し、とりわけ0.5mm以下の雨滴数は採取時間を問わず殆んどが全雨滴数の70パーセント以上を占めている。そしてより大きい雨滴の個数が降雨強度を支配していることがわかる。それに対し、人工降雨の場合は、降雨強度は高いが、0.5mm以下の雨滴数の割合は前者に比し低く、1~2mm径の雨滴数の割合が高くなっている。

また最大雨滴径と降雨強度との関係を図2でみると、自然降雨※は強度が低くても大きい雨滴が存在

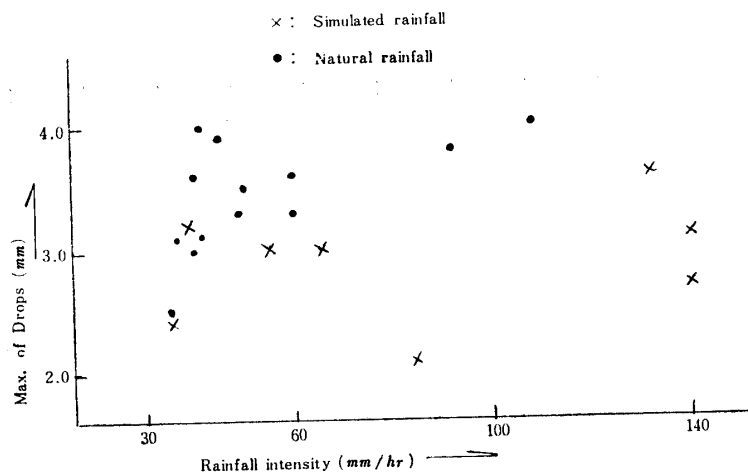


Fig. 2. Rainfall intensity and max. of drop size by natural rainfall and simulated rainfall

図2. 人工降雨、自然降雨による降雨強度と最大雨滴

※ 1972年4月から1973年1月までの14の降雨についてまとめたもの

するが、人工降雨の場合は強度を高めてもそれに比例して大きい雨滴が形成されない。このことは藤川氏ら(2)の研究でも指摘されており、雨滴形成の方法は、本実験の今後の課題である。

つぎに問題にすべきは、実験における雨滴が終速度に達していたか否かである。雨滴の終速度はその粒径によって異なるが、ある落下距離以上になると一定になる。すなわち、粒径 1.25mm の雨滴は落下距離 15フィートで終速度に達し、 2.0mm 以上の粒径の雨滴が終速度に達するには、30フィート以上の落下距離が必要であるといわれている(3,5)。本実験における雨滴の落下距離は 5m であり、雨滴数の約40パーセントが終速度に達していないのでこのことも今後の課題である。

V 実験結果および考察

以上の条件で前後17~19回の実験結果を表1にまとめ、log-logグラフにプロットした。

図3から図5までは10分間降雨量と流亡土量との関係、図6から図8までが10分間降雨量と流去水との関係である。それぞれについて実験式 $E = aI^b$ を適用し、定数 a 、指数 b 、相関係数 r を求め結果を表4の中欄に、また流去水量と10分間降雨量との関係を $R_u = aI^b$ を適用し a 、 b および r の値を表4の右欄に示した。

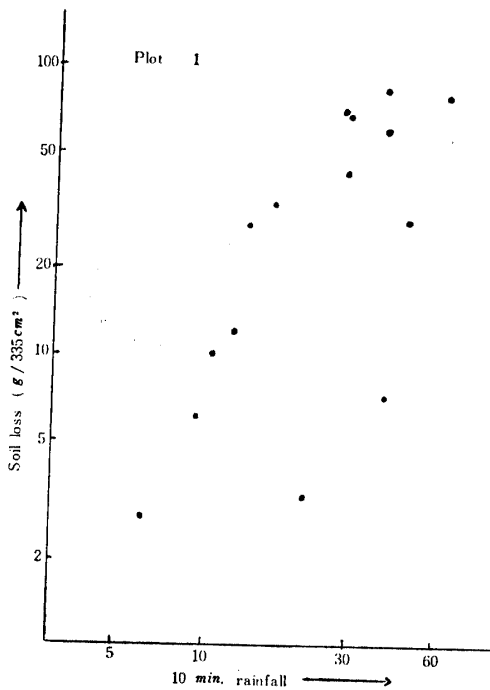


Fig. 3. Soil loss by 10 min. rainfall

図3. 10分間降雨量と流亡土量

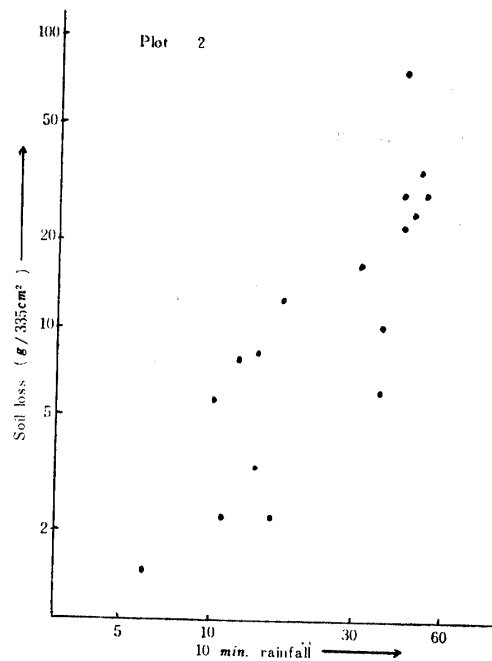


Fig. 4. Soil loss by 10 min. rainfall

図4. 10分間雨量と流亡土量

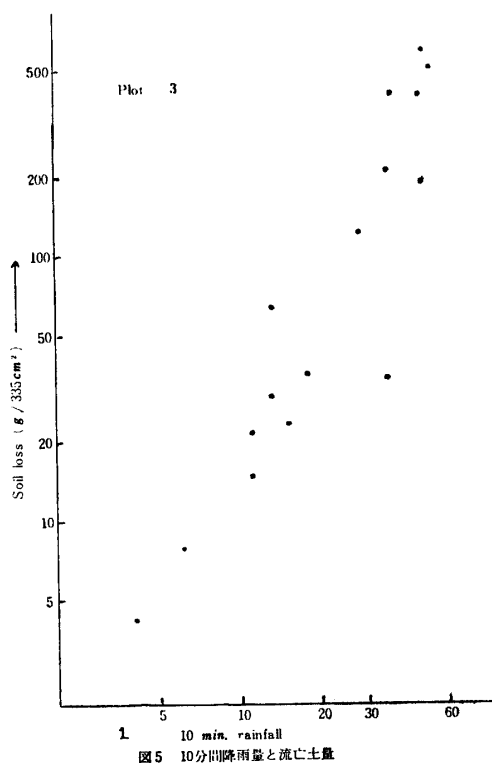


Fig. 5. Soil loss by 10 min. rainfall

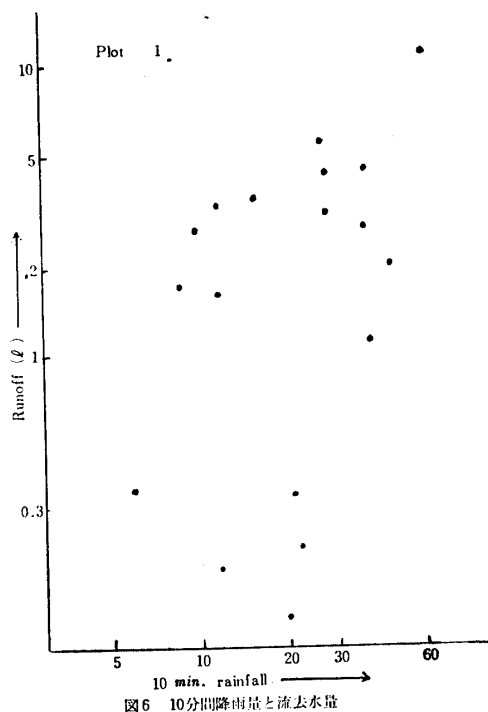


Fig. 6. Runoff by 10 min. rainfall

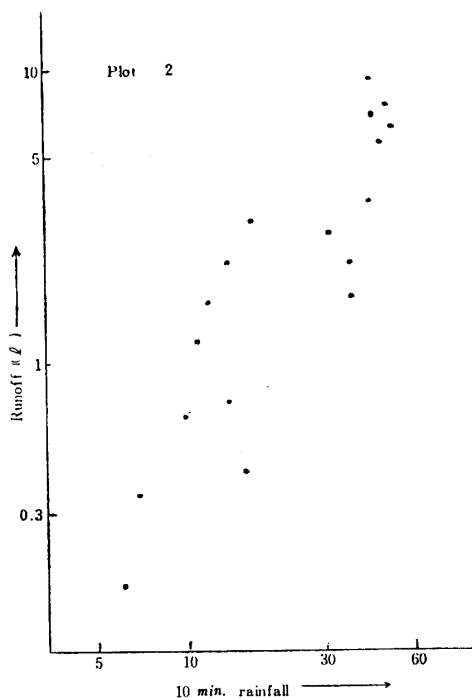


Fig. 7. Runoff by 10 min. rainfall
図7 10分間降雨量と流去水量

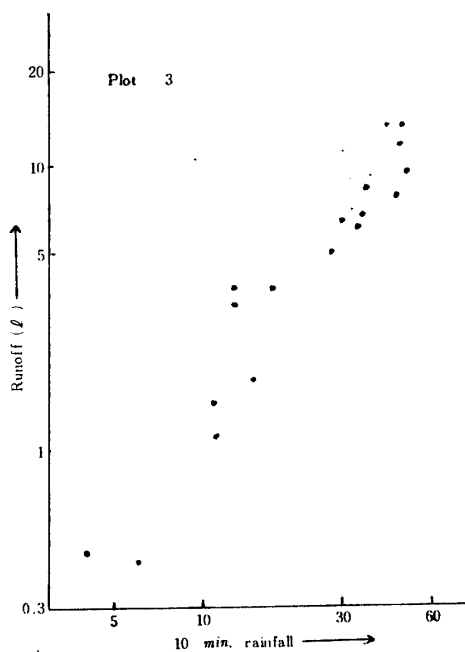


Fig. 8. Runoff by 10 min. rainfall
図8 10分間降雨量と流去水量

**Table 4. The value of a, b of the equation : $E=aI^b$ and standard error between E and 1. where: $E=soil\ g/335\ cm^2$
 $I=rainfall\ intensity\ mm/10min$, middle column. And the value of a,b of the equation $R^u = aI^b$, standard error between R^u and 1. where : $R=run-off$, Right column**

表 4. 実験式 $E=aI^b$, $R^u = aI^b$ における a, b の値と相関係数 r の値

	a	b	r	a	b	r
Plot 1 (Maji soil)	0.254	1.352	0.571	0.128	0.847	0.445
Plot 2 (Jagaru soil)	0.073	1.504	0.728	0.019	1.415	0.682
Plot 3 (Niibi soil)	0.196	1.988	0.894	0.067	1.318	0.950

1. 10分間降雨量と流亡土量との関係

降雨の性質と流亡土量との関係は降雨量との関係より深いといわれている (4,11)。そして両者の関係について Neal 氏(6)は, $E=KI^b$ の実験式を提案し, 種田氏(9)は現場試験の結果から一般的に

$$E = a + b I_5 + C I_5^2$$

(ここに a, b, c は定数, I_5 は 5 分間降雨強度) なる式を導いている。

本実験では, 各試験区とも, 降雨量(強度)が増すにつれ, 流亡土量は増しているが, 両者の関係はニービ土壌が最も深く, 国頭マージ土壌がもっとも薄い。Ellison 氏(1)は, 降雨による土壌侵食過程は, 侵食因子による土壌の分散と運搬である。そして細砂, ローム, 粘土の分散性はその順に高く, 運搬性はその順に低いと述べている。また王新伝氏ら(10)は土壌の団粒安定度と粘土含有量との関係を一次式で表わし, その相関係数は 0.86 であると述べている。本実験に供した土壌の粘土含有量はジャーガル土壌が最大でニービ土壌が最小である。同一強度の降雨に対する流亡土量を比較すると, ジャーガル土壌が最小で, ニービ土壌が最大である。耕起によって団粒化した供試土の雨滴に対する分散の抵抗性は, ジャーガル, 国頭マージ, ニービの順に高いことが実験中の観察で確認された。土の分散性を決定するものに分散率があるが, 藤川氏ら(2)は Puri の分散率と Middleton の分散率を黒ボク, シラス, イモゴの三種の土壌に対して求め, 粘土含有の少ない土でも, 遠心含水当量, 液性限界が粘土に近い性質であるか否かによって分散率は異なってくると述べている。

2. 10分間降雨量と流去水量との関係

山崎(11), 吉良氏(4)らによると, 流去水量は降雨強度に関係が薄く, 降雨量に比例して増加する。また藤川氏ら(2)は降雨量 P (一定降雨強度にて一定時間降らしている) と流去水量 R_t との関係を示す指数式 $R_t = CP^m$ (C は定数, m は指数) で表わしている。本実験の場合も降雨強度と降雨量とは本質的に等しいといえるが, 実験の結果, 表 1, 図 6 ~ 図 8 にみるように, ニービ土壌, ジャーガル土壌は両者の関係が深いといえるが, 国頭マージ土壌は殆んど関係がないといえる。浸出水量の測定結果を比較すると, ジャーガル, 国頭マージ, ニービ土壌の順に少ない。

国頭マージ土壌について降雨量(強度)と流去水量との間に相関関係がないことは前報(7)の試験区 III (土層厚さ 27cm, 相関係数 $r=0.58$) とやや似ており, 供試土の土層厚さ, 初期含水比等に起因するの

ではないかと思われる。今後は供試土のその他の物理定数や、降雨因子との関連で両者の関係を究めていきたい。

VI 要 約

本実験は、落下距離5 mの高さから、人工降雨を降らし、沖縄の代表的な3種の異なる土壌について、それぞれの侵食性を調べるために行なった。人工降雨による雨滴径の分布、終速度は自然降雨との間にいくらかの差異はあったが、ある程度初期の目的に達したと思われる。降雨装置、雨滴径の形成方法などを改善し、今後も引き続き研究を重ねていきたい。主な結果を要約すると、つぎのとおりである。

- (1) 各供試土の雨滴に対する分散性は、ニービ土壌、国頭マージ土壌、ジャーガル土壌の順に高い。
- (2) ニービ土壌においては、10分間降雨量と、流亡土量、流去水量との相関関係は極めて高く、国頭マージ土壌はいずれも関係が薄いと見える。
- (3) ニービ土壌とジャーガル土壌について10分間降雨量 (I_{10}) と流亡土量 (E)、および流去水量 (Ru) との関係は、指数式

$$E = aI_{10}^b$$

$$Ru = aI_{10}^b$$

が適用されよう。

参 考 文 献

1. Ellison, W. D. 1947 Soil erosion studies—part 1, *Agricultural Engineering*, **28**: 145~146
2. 藤川武信, 加来研, 内田勝利 1969 土質理工学研究報告, 第14号, 福岡市, 九州大学農学部農業土木第三研究室
3. Gunn, R. and Kinzer, G. D. 1949 Terminal velocity of water droplets in stagnant air, *J. Met.*, **6**: 243~248 [Meyer L. D. 1965 Simulation of rainfall for soil erosion research, *Transaction of the ASAE*: 64]
4. 吉良八郎 1957 果樹園の土壌保全に関する研究 (第VI報), *農業土木研究*, **24**(2): 94~98
5. Laws, J. O. 1941 Measurements of fall velocity of water droplets and raindrops, *Trans. Am. Geophys. Un.*, **22**: 709~721 [Meyer, L. D. 1965 Simulation of rainfall for soil erosion research, *Transaction of the ASAE*, **8**(1): 64]
6. Neal, J. H. 1938 Effect of degree of slope and rainfall characteristics on runoff and soil erosion, *Agricultural Engineering*, **19**: 213~217 [2]
7. 翁長謙良 1969 沖縄における農地保全の基礎的研究 (第II報), *琉球大学農学部学術報告*, **16**: 188~195
8. 塩月善晴, 藤原輝男, 清野裕, 早川誠而 1971 レーダー雨量に関する研究 (第1報), 山口大学工学部研究報告, **22**(1): 27~36
9. 種田行男 1950 降雨の性質と土壌侵食との関係, *農業土木研究*, **18**(2): 21~27 [2]
10. 王新伝, 林登鴻 1970 台湾坡地主要土壌之沖蝕性, *台湾水土保持試験研究報告彙刊*, 第2

輯： 1～9

11. 山崎不二夫, 椎名乾治 1951 傾斜耕地の保全に関する研究, 農業土木研究, 19(1) : 1～8

Summary

A study on soil erosion was made by means of simulated rainfall. Three different types of soil, all of which were distributed in OKINAWA district, were used as the test soil. They were called KUNIGAMI MAJI-soil (plot 1), JAGARU-soil (plot 2), NIIBI-soil (plot 3) respectively, and the soil grading was as follows:

Test soil	Sand	Silt	Clay
plot 1	38.0	34.0	28.0
plot 2	13.5	53.5	33.0
plot 3	50.2	29.3	10.5

The plots which were 0.335 square meters were set with a slope of 7 degrees. The simulated rain was dropped from a place 5 meters high above the surface of test soil for 10 minutes. Although the drop size distribution and terminal velocity of simulated rain were different from those of natural rain and the amount of rainfall was larger than that of natural rainfall, it may be of some clue to know the relation between soil loss and rainfall intensity on the natural farmland.

The results of this experiment are shown as follows :

1. The detachability of test soil is high in the order of NIIBI-soil, KUNIGAMI MAJI-soil, and JAGARU-soil.
2. The soil loss quantity by rainfall for NIIBI-soil and JAGARU-soil increases with the increase of rainfall intensity. But the soil loss quantity of KUNIGAMI MAJI-soil seems not to be affected much by rainfall intensity.
3. The relation between the soil loss quantity and the rainfall intensity for JAGARU-soil and NIIBI-soil will be expressed by an equation $E=ai^b$ when they were plotted on a log-log graph.

The value of a,b and the correlation coefficient between E and I are as following :

plot 2	$E=0.073 I^{1.504}$	$r=0.728$
plot 3	$E=0.196 I^{1.188}$	$r=0.894$

where E : Soil loss $g/0.335m^2$

I : Rainfall intensity $mm/10 min.$

r : correlation coefficient.

4. The relation between the quantity of runoff and the rainfall intensity for the test soil will be the same as 3 above.