

盛土のり面の植生保護工に関する研究(XI)

盛土実験斜面における雨滴による飛散と土砂流出について

江崎次夫*

Studies on the Turfing Work for the Protection of Banking Slope (XI)

On the splash yield by the raindrops and the sediment yield
on the experimental banking slope

Tsugio EZAKI

Summary : In order to investigate the mechanism of surface erosion on the banking slope, the author observed the splash yield by the raindrops and the sediment yield on the experimental banking slope during the period from the end of October to the end of November in 1979. This research has been carry out with the lysimeter settled in the Komenono University Forest of Ehime University. Each plot has a length of 1.70 m, a width of 1.00 m, and an inclination angle of 30°. The soil used in this experiment was the decomposed granite of rough grains. The soil hardness based on compaction was divided into three degrees, ① : 15mm of hardness index, ② : 20mm of hardness index, ③ : 25mm of hardness index with the Yamanaka's soil hardness tester. The results may be summarized as follows :

1. High correlation between the splash yield by the raindrops, or the sediment yield and the maximum 10-minutes rainfall intensity was recognized.
2. The maximum 10-minutes rainfall intensity was considered as the factor that indicated the rain-drop impact.
3. There was significant relation between the splash yield by the raindrops, or the sediment yield and the soil hardness based on compaction.
4. The close relationship was observed between the splash yield by the raindrops and the sediment yield.
5. The raindrop impact and the soil hardness based on compaction play an inportant function in the mechanism of erosion on the general bare slope.

要 旨 のり面の土砂流出機構の実態を解明するため、ライシメーターを利用した盛土実験斜面を造成し、雨滴

* 附属演習林 University Forest

衝撃力によるのり面土壌の飛散状態、飛散量および土砂流出量について、測定をおこなった。1979年10月～11月の2ヶ月間の、実験結果を要約すると、次のとおりである。

- 1) 飛散量および土砂流出量と10分間最大降雨量との間には、高い相関関係が認められた。
- 2) 雨滴衝撃力を表示する因子として、10分間最大降雨量の利用が考えられた。
- 3) 飛散量および土砂流出量は、土壌の締め固め度合の増大に伴い、増加傾向を示した。
- 4) 飛散量は土砂流出量の43%～64%であり、飛散量と土砂流出量との間には、密接な関係が認められた。
- 5) 実際ののり面の侵食機構には、雨滴衝撃および土壌の締め固めの変化に伴う、土壌孔隙率が強く関与しているという従来からの推論の妥当性が立証された。

I はじめに

本研究の目的は、裸地斜面の表面侵食に対し、定量的な解析を試み、さらに、植生保護工を施工した場合の保護効果を、簡単に測定することのできる因子を基にして、定量的に表示することにある。

この目的のために、昭和52年以来、一連の実験^{1) 2) 3) 4) 5) 6) 7)}をおこなってきている。斜面長が5 m程度と比較的短い場合、土砂流出量は、降雨因子中、10分間最大降雨量の約2乗に比例して、増加する傾向が確認^{1) 3) 5)}された。また、土砂流出量は、土壌の締め固め度合の増大に伴って増加傾向を示した。このことから、土砂流出機構に直接関与する因子は、雨滴衝撃であり、これに、附随する因子として、土壌孔隙率が考えられるのではないかと推論^{2) 3) 5)}した。この推論は、室内の一水滴による侵食実験⁷⁾では、その妥当性が立証されている。

今回、この推論の、実際ののり面における一検証方法として、ライシメーターを利用した盛土のり面に、飛散量測定装置をセットし、雨滴衝撃によるのり面土壌の飛散状態、飛散量および土砂流出量を測定し、侵食機構について、若干の考察を試みた。

本研究実施にあたり、ご指導、ご助言、ご協力をいただいた九州大学農学部、末 勝海教授はじめ、砂防工学研究室の方々に、深く感謝の意を表す。さらに、研究全体にわたり、ご指導、ご助言をいただいた愛媛大学農学部、伏見知道教授、小川 滋助教授に、試験地設定および実験に、ご協力していただいた愛媛大学米野々演習林技官各位、ならびに森林工学専攻生諸君、特に、大学院生津田 修君に、厚くお礼申し上げる。

なお、本報告の一部については、すでに、第91回日本林学会大会（茨城県桜村）で発表した。

II 材料および実験方法

供試土壌は、愛媛大学米野々演習林で採取したメンマサ土⁴⁾を使用した。メンマサ土の粒径加積曲線は、Fig. 1

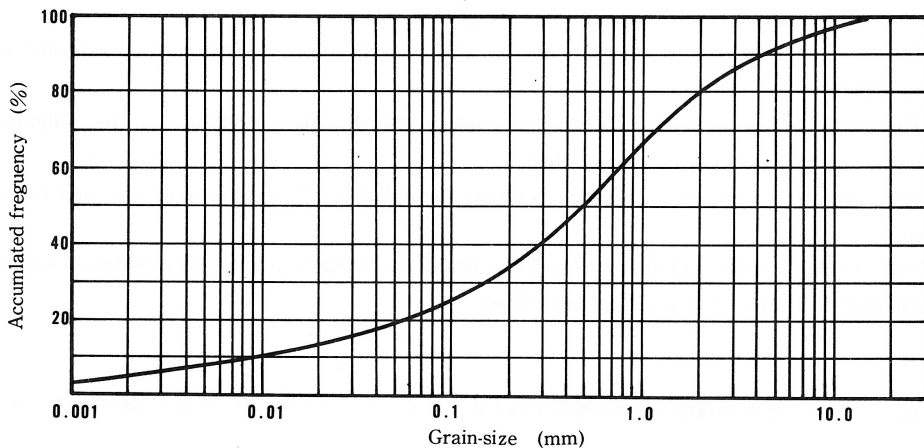


Fig. 1 The grain-size accumulation curve of used soils

に示すようである。盛土実験斜面は、愛媛大学米野々演習林に設置されている斜面ライシメーター⁸⁾を利用して、造成した。造成斜面は、幅2.0m、斜面長2.2m傾斜角30°(水平長1.91m)であり、この造成斜面の、上部、両側部および下部に、Fig. 2に示すような飛散量測定装置を、亜鉛メッキ平板で製作し、セットした。実験には、その中央部の幅1.0m、斜面長1.7mの部分を利用した。土壌の締め固め程度計測には、山中式土壌硬度計を用いて、硬度指数①15mm、②20mmおよび③25mmの3段階に分けた。試験区の配置は、Fig. 3に示すようである。

本実験で、飛散量とは、雨滴の衝撃力によって飛散し、飛散量測定装置内に入った土砂量とし、土砂流出量とは、表面を流下し、下部飛散量測定装置の下側にある土砂受箱に入った土砂量とする。飛散量および土砂流出量の測定は、昭和54年10月19日より11月29日までの間、一降雨ごとについておこない、絶乾重量測定後、日本工業規格「土の粒度試験法」に基づいて、粒径分布を求めた。

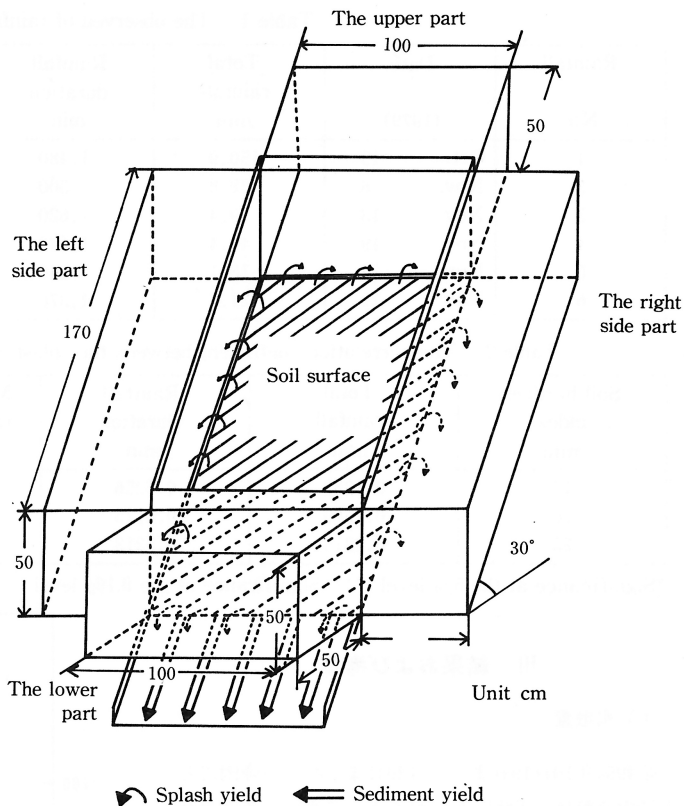


Fig. 2 The structure of the experimental apparatus

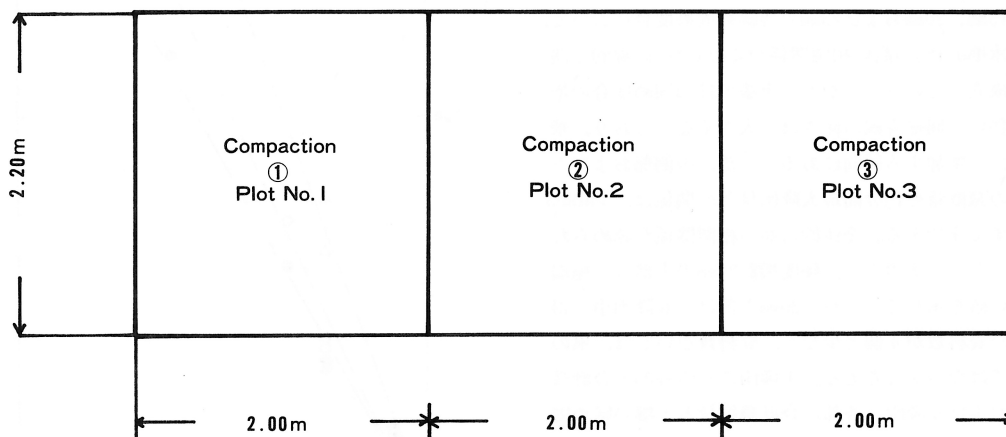


Fig. 3 Arrangement of experiment plots

Table 1 The observed of rainfall

Rainfall No.	Date (1979)	Total rainfall mm	Rainfall duration min.	Max.10-minutes rainfall intensity mm/10min.	Max. 1-hour rainfall intensity mm/hour
1	Oct. 19	150.9	1,480	4.1	15.0
2	Nov. 6	22.8	300	7.5	12.0
3	Nov. 13	69.4	1,620	3.0	8.5
4	Nov. 19	49.4	1,440	3.0	7.4
5	Nov. 24	18.1	840	1.0	2.4
6	Nov. 29	21.7	1,370	1.0	3.0

Table 2 The correlation coefficient between the splash yield and the rainfall factors

Soil hardness index mm	Total rainfall mm	Rainfall duration min.	Max. 10-minutes rainfall intensity mm/10min.	Max. 1-hour rainfall intensity mm/hour
15	0.1382	0.6256	0.9901***	0.7637
20	0.1565	0.6125	0.9927***	0.7768
25	0.2313	0.5213	0.9958***	0.8260*

*Significance at the 5% level *** Significance at the 0.1% level

III 結果および考察

1) 飛散量

昭和54年10月19日より11月29日までの、一降雨ごとの降雨資料は、Table 1 に示すようである。各部の合計飛散量と降雨因子との関係は、Table 2 に示すようである。飛散量は、前回までの土砂流出量と降雨因子との関係同様^{3) 4)}、10分間最大降雨量との間に、最も高い相関関係が認められる。Fig. 4 は、合計飛散量と10分間最大降雨量との関係を示したものである。硬度指数15mm、20mmおよび25mmの各締め固め度合において、有意水準0.1%の高い相関関係が認められ、直線的な関係が成立している。しかも、土壌の締め固め度合の増大に伴い、回帰直線の傾きは、大きくなっており、飛散量は、増加する傾向にある。上部、両側部および下部への飛散量と10分間最大降雨量との関係は、Table 3 に示すようである。全体的に高い相関関係が認められる。しかし、その内で、硬度指数20mmの上部は、極端に低い値を示しているが、20mm上部は、6降雨中、得られた資料数が4個と少なく、資料数ないしは、風の影響ではないかと考える。1降雨ごとの各部の合計飛散量および6降雨の各部の合計飛散量と土壌の締め固めとの関係は、Fig. 5 ならびにFig. 6 に示すようである。飛散量は、土壌の締め固め度合の増大に伴って、増加傾向を示している。

硬度指数15mm、20mmおよび25mmの各締め固め度合における飛散平均中央粒径と10分間最大降雨量との関係

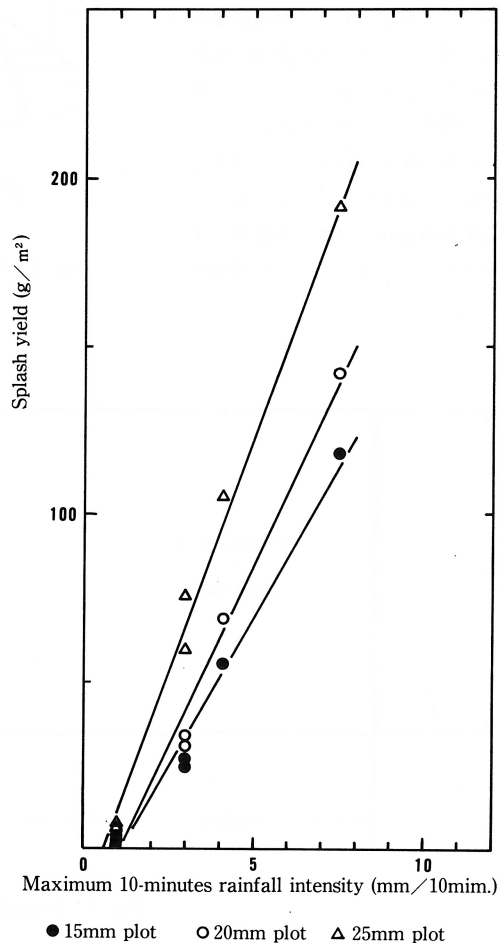
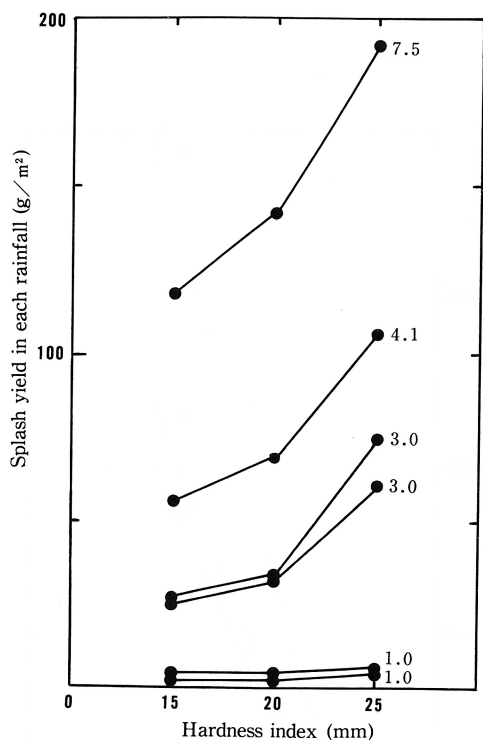


Fig. 4 The relation between the splash yield and the maximum 10-minutes rainfall intensity

Table 3 The correlation coefficient between the splash yield in each part and the maximum 10-minutes rainfall intensity

Soil hardness index mm	Upper part	Left side Part	Right side Part	Lower Part
15	0.9095	0.9423**	0.9792***	0.9640**
20	0.3903	0.8743*	0.9777***	0.9526**
25	0.8701	0.9750**	0.8659*	0.9178**

*Significance at the 5% level **Significance at the 1% level ***Significance at the 0.1% level



Number : Max.10-minutes rainfall intensity

Fig. 5 The relation between the splash yield each rainfall and the soil hardness based on compaction

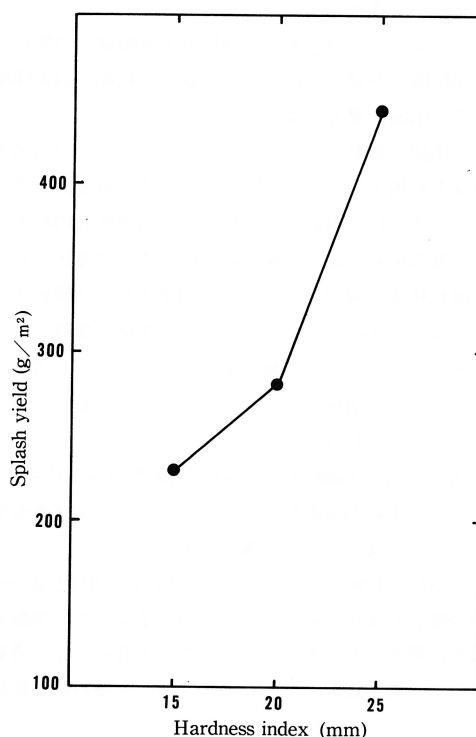


Fig. 6 The relation between the splash yield and the soil hardness based on compaction

Table 4 The correlation coefficient between the mean of median diameter in the splash yield and the maximum 10-minutes rainfall intensity

Soil hardness index	15mm	28mm	25mm
Correlation coefficient	0.4732	0.6816	0.8460*
Number of data	6	6	6

* Significance at the 5% level

は、Table 4 に示すようである。土壌の締め固め度合の増大に伴い、相関係数は高くなっている。これは、土壌の締め固め度合の増大に伴い、一定の範囲内の、土壌の粒径分布に基づくところの、各粒径の密度が増加するため

Table 5 The correlation coefficient between the sediment yield the maximum 10-minutes rainfall intensity

Soil hardness index	15mm	20mm	25mm
Correlation coefficient	0.9597**	0.9539**	0.9566**
Number of data	6	6	6

**Significance at the 1% level

はないかと考えられる。

このように、飛散量と10分間最大降雨量との間に、高い相関関係が認められるのは、飛散が短時間の最大降雨量に伴う雨滴衝撃力によって生起しているということであり、雨滴の衝撃力を表示する因子として、10分間最大降雨量を利用することの妥当性を示しているものと考えられる。さらに、飛散量が土壌の締め固め度合の増大に伴って増加するのは、土壌の締め固め度合の変化に伴い、土壌孔隙率が減少するために、雨滴衝撃力を緩和する作用が低下、逆に、反発力すなわち、土壌を飛散させる力が大きくなるために、飛散量が増加するものと考えられる。今、この関係を示せば、次のようである。

$$E = A + B$$

式中、 E は雨滴衝撃力、 A は雨滴衝撃力緩和作用力(土壌の雨滴衝撃力を吸収する力)、 B は雨滴衝撃力に反発する力(飛散力)

E は雨滴衝撃力で一定であり、 A および B は土壌の締め固め度合の変化に応じて変化する因子なので、飛散量を最小に押さえるためには、のり面の土質の安定を考慮しながら、硬度指数が低くなるように、土壌の締め固めをおこなうことが必要である。

2) 土砂流出量

土砂流出量と降雨因子との関係では、従来同様^{3) 4)}、10分間最大降雨量との間に最も高い相関関係が認められる。その関係は、Table 5 およびFig. 7 に示すようである。前回までの実験結果^{3) 4)}では、土砂流出量と10分間最大降雨量との間には、べき乗的な関係が成立していたのに対し、今回、直線的な関係が成立しているのは、10分間最大降雨量の上限值が7.5mm/10min.であるためだと考えられる。前回までの実験結果でも、10分間最大降雨量が8.0mm/10min.以下の場合には、直線関係が成立しており、10分間最大降雨強度が増大すれば、前回までの実験結果同様、べき乗関係が成立するものと考えられるが、詳しくは、次報で検討を試みたい。

一降雨ごとの土砂流出量と土壌の締め固めとの関係は、

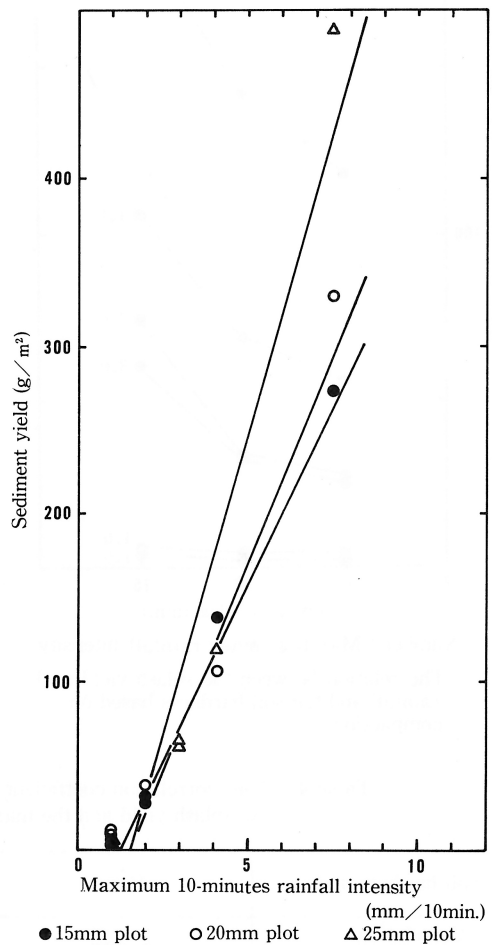
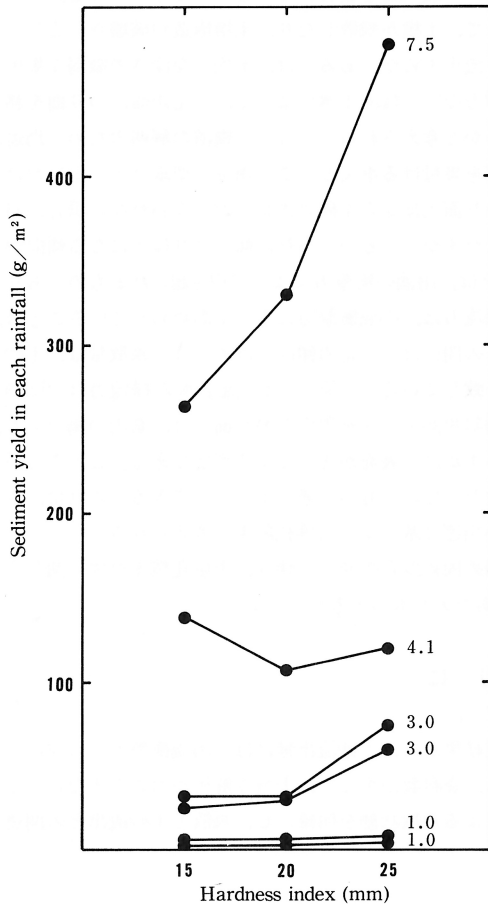


Fig. 7 The relation between the sediment yield and the maximum 10-minutes rainfall intensity

Fig. 8 に示すようである。No. 1 の降雨の際、硬度指数15mmで土砂流出量が最も多く、20mm, 25mmおよび15mmの順に土砂流出量が増加している以外、土砂流出量は、土壌の締め固め度合の増大に伴って、増加傾向を示している。総土砂流出量と土壌の締め固めとの関係は、Fig. 9 に示すようである。土砂流出量は、土壌の締め固め度合の増大



Number : Max. 10-minutes rainfall intensity

Fig. 8 The relation between the sediment yield in each rainfall and the soil hardness based on compaction

に伴って、増加傾向を示しており、従来までの実験結果と一致^{1) 2) 3) 4) 5) 6)}している。

このように、土砂流出量が飛散量の場合と、同一の降雨因子と密接な関連を示し、同様な傾向を示すのは、のり面の侵食機構の中で、飛散と土砂流出とは、一連の動きであり、互いに密接な関係があるためだと考えられるが、詳しくは、次項で検討を試みたい。

3) 飛散量と土砂流出量

合計飛散量と土砂流出量との関係は、Fig. 10 に示すようである。合計飛散量と土砂流出量との間には、一定の傾向が十

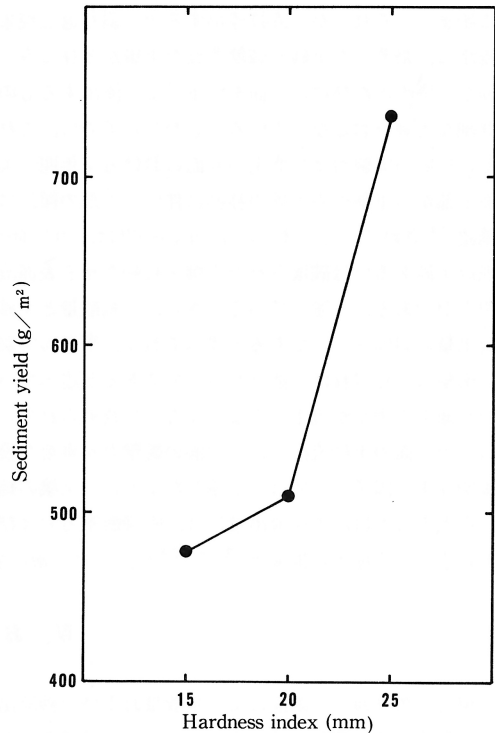


Fig. 9 The relation between the sediment yield and the soil hardness based on compaction

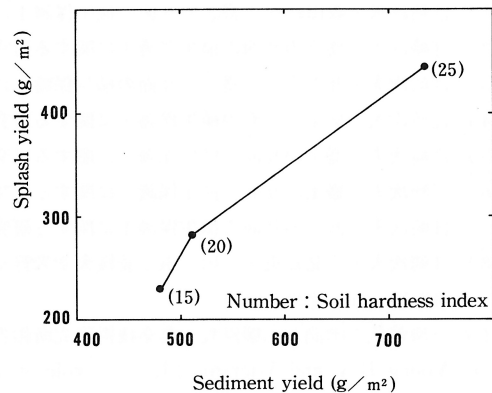


Fig. 10 The relation between the splash yield and the sediment yield

分成立しているものとみなされる。硬度指数15mm, 20mmおよび25mmのそれぞれの締め固め度合における合計飛散量は、土砂流出量の49%~60%である。

このように、合計飛散量と土砂流出量との間に、一定の関係が認められるということは、のり面の侵食は、まず、雨滴衝撃によって、土壌が破壊されることに始まるという従来の一般理論を裏付けているものと考えられる。すなわち、のり面の土砂流出の機構は、まず、雨滴の衝撃力によって、土壌が飛散したり、土壌構造が破壊されることに始まり、それらが、直接流出するか、繰り返し現象によって流出するか、あるいは、不均一な深さの微弱な集中流路に、飛散した土砂や破壊された土壌がとびこみ、雨滴衝撃力ないしは流下水によって、一定距離、のり面を移動し、降雨のたびにのり面を流下して、流出するものではないかと考えられる。これらの機構の解明のため、別途、詳細な実験をおこなっている。しかし、すでに、これらの推察を裏付ける事実として、過去、切取りのり面における12年間の実験および盛土のり面における4年間の実験で、のり面上部から土砂の供給がおこなわれない場合、斜面上部から下部への土砂の移動に伴い、下部の傾斜は、非常にわずかであるが、当初の傾斜より緩かになる傾向が確認³⁾されている。また、Youngら¹⁰⁾は、のり面の土砂流出は、雨滴の衝撃力によって引き起されるものであり、飛散土砂あるいは破壊された土壌を移動させる表面流下水の掃流力は、雨滴衝撃力によって高められていることは、明らかである、と述べている。さらに、飛散量と土砂流出量との間には、一定の傾向が認められ、飛散量は、土砂流出量の43%~64%であると述べており、筆者の実験結果と一致している。三原⁹⁾は、流下水の掃流力は、雨滴の衝撃力に比べれば、微々たるものであると述べているし、傾斜角30°で5m程度ののり面では、豪雨の場合でも、のり面上を雨水が流下するようなことは認められていない。わずかに、表面が光ってくる程度である。このことから、のり面の土砂流出には、雨滴の衝撃力が重要な役割りを果たしているものと考えられる。これに、直接関与する因子としては、上述したように、土壌の締め固めの相違に基づく、土壌孔隙率が考えられる。

以上のことは、土砂流出量には、雨滴衝撃力および土壌の締め固め度合の変化に伴う、土壌孔隙率が強く関与しているという従来の推論^{2) 3) 4) 7)}に、より一層の妥当性をあたえたものと考えられる。

IV お わ り に

現実ののり面で、雨滴による飛散量および土砂流出量の測定結果から、土砂流出量には、雨滴衝撃力ならびに土壌孔隙率が強く関与しているということが確認された。しかし、資料数が少なく、十分な解析がおこなえなかった。今後は、継続して実験をおこない、多くの資料を得て、雨滴による飛散状態を明確にし、飛散と土砂流出との関連を、理論的ないし物理的に解明していきたい。

引 用 文 献

- 1) 江崎次夫・森田絃一：盛土のり面の植生保護工に関する研究 (I) 日林九支論31：301~302, 1978
- 2) 江崎次夫：盛土のり面の植生保護工に関する研究 (II) 89回日林論, 323~325, 1978
- 3) 江崎次夫・井上章二：盛土のり面の植生保護工に関する研究 (III) 愛媛大演報15：109~126, 1978
- 4) 江崎次夫：盛土のり面の植生保護工に関する研究 (VI) 愛媛大演報16：127~138, 1979
- 5) 江崎次夫：盛土のり面の植生保護工に関する研究 (VII) 愛媛大演報16：139~148, 1979
- 6) 江崎次夫：盛土のり面の植生保護工に関する研究 (IV) 90回日林論, 441~442, 1979
- 7) 江崎次夫：盛土のり面の植生保護工に関する研究 (VIII) 日林九支論33：295~296, 1980
- 8) 江崎次夫・伏見知道・小川 滋：愛媛大学米野々演習林におけるライシメーターの自力築設について、愛媛大演報16：215~222, 1979
- 9) 三原義秋：雨滴と土壌侵食、農業技術研究所報告 A 1：1~59, 1951
- 10) Young B.A. and Wiersma J.L.：The role of rainfall impact in soil detachment and transport. Water resources research, 9 (6) 1629~1636, 1973

(1980年8月30日受理)