

盛土のり面の植生保護工に関する研究(XVIII)

石手川堤防のり面での現地試験結果

江崎 次夫*

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

On the experimental results at
banking slope on the levee of the
Ishite River

Tsugio EZAKI

Summary : In order to investigate the actual conditions of surface erosion and the turfing work on the banking slope in more detail, the author observed the growth of vegetation, the rainfall, the surface runoff depth and the sediment yield on the actual banking slope during the period from the end of July in 1981 to the end of February in 1982. This research has been carrying out with the experiment settled on the levee of Ishite River of Ehime prefecture. Each plot has a length of 1.60 ~ 6.10 meters, a width of 2.00 meters and an inclination angle of 30 degrees. The materials used in this actual experiment were Tifgreen (*Tifton 328*, *Cynodon Pers.*) as the species of vegetation, and granite decomposed into coarse grains (Popular name Onmasado) as the type of soil. The soil hardness on the banking slope of levee was about 15~25 millimeters of hardness index with the Yamanaka's soil hardness tester. The vegetation were arranged on 5 centimeters width at an interval 20 centimeters on the banking slope of the levee.

The results may be summarized as follow :

- 1 . The correlation between the soil hardness and the growth height of vegetation was significant.
- 2 . On vegetation plots, the strong relation was found between the sediment yield and the maximum 10 minute rainfall intensity.
- 3 . Some relationship was observed between the soil hardness, the sediment yield and the surface runoff depth.
- 4 . The following empirical equation of the sediment yield holds accurately presumptive formula of the sediment yield of erosion on the general bare slope and the protection effects of the vegetation on the turfing work for the protection of the general slope.

* 附属演習林 University Forest

$$\frac{E}{\gamma \cdot d} = A \left(\frac{i^2}{g \cdot d} \right)^B - C$$

Where : E = sediment yield (gr/cm²)

γ = unit weight of sediment (gr/cm³)

d = grain-size of sediment (cm)

i = maximum 10 minute rainfall intensity (cm/sec)

g = acceleration of gravity (cm/sec²)

A , B and C = constant ; the experimental values were

$A = 10^{-0.37} \sim 10^{4.26}$, $B = 0.41 \sim 0.79$ and $C = 0.5 \times 10^{-5} \sim 1.0 \times 10^{-5}$ respectively.

要 旨 実際の盛土のり面に植生保護工を施工した場合の保護効果の実態を解明するため、愛媛県松山市内を北東から南西に流下する石手川に築堤された堤防のり面の植生保護工施工地を利用して、試験地を設定し、植生の生育量、土砂流出量および表面流下水量について実測した。昭和56年7月24日より昭和57年2月18日までの、約8ヶ月間の実測資料を基に、土砂流出量、表面流下水量および植生の保護効果について、検討した。実験結果を要約すると、次のとおりである。

- 1) 植生の生育量は、土壤の締め固め度合の影響を受けた。
- 2) 土砂流出量に、最も影響をおよぼした降雨因子は、10分間最大降雨量であった。
- 3) 土砂流出量および表面流下水量に、最も影響をおよぼしたのは、斜面長ならびに土壤の締め固め度合の相連の2要素中では、土壤の締め固め度合の相連であった。
- 4) 先に提案した下記の土砂流出量実験式は、実際の斜面長6m程度までの裸地斜面および植生保護工施工地での降雨による侵食土砂量ならびに植生の土砂流出抑止効果の推定式としての適用性が、立証された。

$$\frac{E}{\gamma \cdot d} = A \left(\frac{i^2}{g \cdot d} \right)^B - C$$

式中、 E は単位面積当りの土砂流出量(gr/cm²)、 γ は土の単位体積重量(gr/cm³)、 d は流出土砂の粒径(cm)、 g は重力の加速度(cm/sec²)、 i は10分間最大降雨量(cm/sec)、 A 、 B および C は定数である。これまでの測定結果から、 $A = 10^{-0.37} \sim 10^{4.26}$ 、 $B = 0.41 \sim 0.79$ および $C = 0.5 \times 10^{-5} \sim 1.0 \times 10^{-5}$ となった。

I はじめに

裸地斜面の表面侵食と植生保護工を施工した場合の植生による土砂流出抑止効果とを定量的に解析するため、昭和52年より昭和54年までは、九州大学粕屋地方演習林で、昭和53年以降は、愛媛大学米野々演習林で、それぞれ、一連の実験^{1,2,3,8,9)}をおこなってきている。

今回、建設省松山工事事務所ならびに建設省松山工事事務所重信川出張所のご厚意により、石手川堤防のり面の植生保護工施工地内に試験地を設定することができた。そこで、昭和56年7月より昭和57年2月までの、約8ヶ月間、実際の植生保護工施工地において、植生の生育状況、土砂流出量および表面流下水量について、詳細な測定を実施した。そして、実際の植生保護工施工地において、斜面長および土壤の締め固め度合の相連が、土砂流出量、表面流下水量ならびに植生の生育状況に、どのような影響をおよぼすかについて、検討し、また、すでに提案^{6,7)}した土砂流出量実験式が、実際の盛土のり面でも適用できることを示し、さらに、従来の実験結果¹⁻⁸⁾とも比較検討を試みたので、それらの検討結果について報告する。

本稿を草するにあたり、本現地実験の実行に際し、種々、ご協力および貴重な資料のご提供をいただいた建設省松山工事事務所ならびに建設省松山工事事務所重信川出張所の関係各位に、深く感謝の意を表す。また、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、研究全体について、ご指導、ご助言をいただいた愛媛大学農学部、伏見知教授、愛媛大学演習林長、小川 滋助教授、試験地設定、計測および実験に、ご協力していただいた愛媛大学農

学部、井上章二助手、愛媛大学演習林、山本正男、藤久正文、尾上清利、河野修一の各技官ならびに、森林工学専攻生、横山宏三君に、厚くお礼申し上げます。

なお、本報告の一部については、第93回日本林学会大会（神奈川県藤沢市）で発表した。

II 現地試験地および観測方法

現地試験地は、松山市内を北東から南西に流下する石手川に築堤された出合付近の右岸の余土堤防のり面と左岸の市坪堤防のり面とを利用し、それぞれ2箇所設定した。試験区の配置および従来の試験地との関連は、図-1に示すようである。これらの堤防

は、昭和56年2月より3月中旬まで、改修工事がおこなわれ、3月下旬頃、改修後の堤防のり面に、植生のり面保護工が施工されたものである。植生保護工は、右岸には、斜面長1.60~2.00mで、長さ700m、左岸には、斜面長6.00~6.10mで、長さ300mにわたって施工されている。表土の締め固め度合は、山中式土壌硬度計で、15~25mmである。築堤盛土の傾斜角は、30°であり、表土材料は、図-1に示すように、愛媛大学米野々演習林の愛媛大学試験地と、この石手川試験地との、ほぼ中間点付近に位置する松山市伊台からダンプトラックで運搬された花崗閃緑岩の風化した、いわゆる「マサ土」である。マサ土の土粒子比重は、2.55であり、粒径加積曲線は、図-2に示すようである。

植生工法は、筋芝工であり、5cm幅の養殖芝2号（ティフトン芝328）が、のり面に20cm間隔に張りつめられている。肥料は、施工当初、高度化成が100g/m²施されている。試験地の設定は、昭和56年7月24日である。試験区の幅は、すべて、2.00mとし、右岸の第1区の斜面長は、1.60m、第2区は、2.00m、左岸の第3区は、6.00mおよび第4区は、6.10mである。

土砂流出量および表面流下水量の測定は、一降雨ごとにおこなった。流出土砂は、炉乾燥重量測定後、日本工業規格「土の粒度試験法」に基づいて、粒径分布等を求めた。植生の生育状況の測定は、一ヶ月ごとにおこなった。なお、降雨資料は、試験地の下流、約1kmの地点に位置する松山市出合の建設省松山工事事務所重信川出張所で測定されたものである。

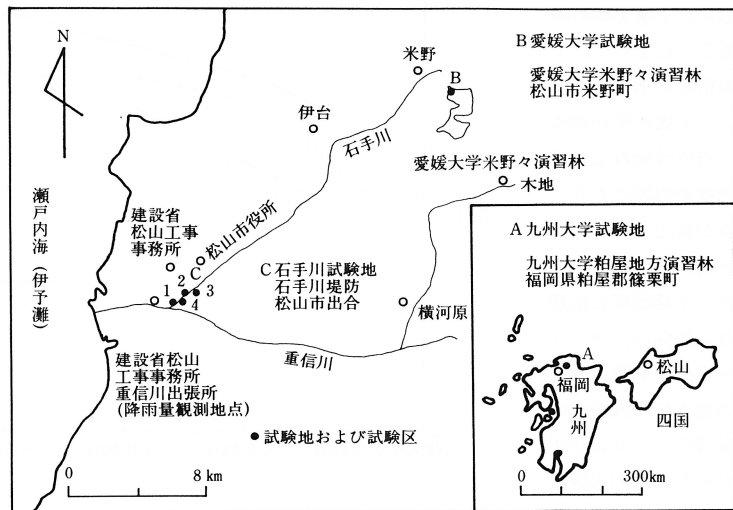


図-1 試験区の配置および従来の試験地

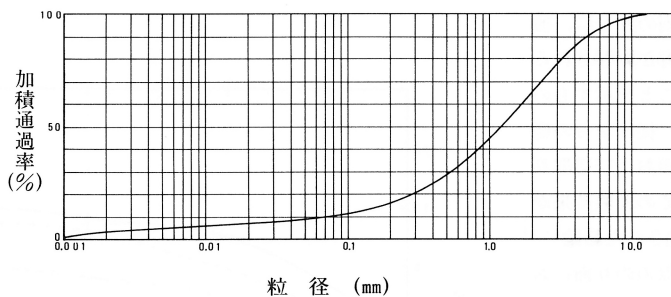


図-2 表土の粒径加積曲線

III 結果および考察

1. 植生の生育状況

昭和56年7月より12月までの植生の生育状況は、図-3に示すようである。草丈および草幅の生育は、土壤硬度の増大に伴って、明らかに劣ってくる。このように、植生の生育が土壤硬度に影響されるのは、一般に草本植物の根の伸長圧 $10\text{kg}/\text{cm}^2$ (硬度指数 23.3mm) 前後に対して、土壤硬度 15mm は、約 $3\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 20mm は、約 $6\text{kg}/\text{cm}^2$ 、そして、 25mm は、約 $14\text{kg}/\text{cm}^2$ となることから、根の伸長が制限されるとともに、土壤を締め固めることによって、土壤の密度が増大するために、土壤孔隙が減少し、根の呼吸および水分吸収が困難となり、生長が衰えるためだと考えられる。植生の生育が、土壤硬度に影響される傾向は、ライシメーターを利用した従来の盛土のり面での実験結果^{5,6,7)} および切取りのり面での実験結果^{9,10,11)}とも一致している。

以上のことは、土壤の締め固め度合に、植生の生育が影響されるということを示すものであり、従来からの盛土のり面および切取りのり面での実験結果から導き出された結論¹⁻¹¹⁾が、実際ののり面において実証されたことを示すものと考えられる。

2. 土砂流出量と降雨因子との関係

測定期間中、22回の降雨が認められた。22回の降雨資料は、表-1に示すようである。また、土砂流出量と降雨因子との関係は、表-

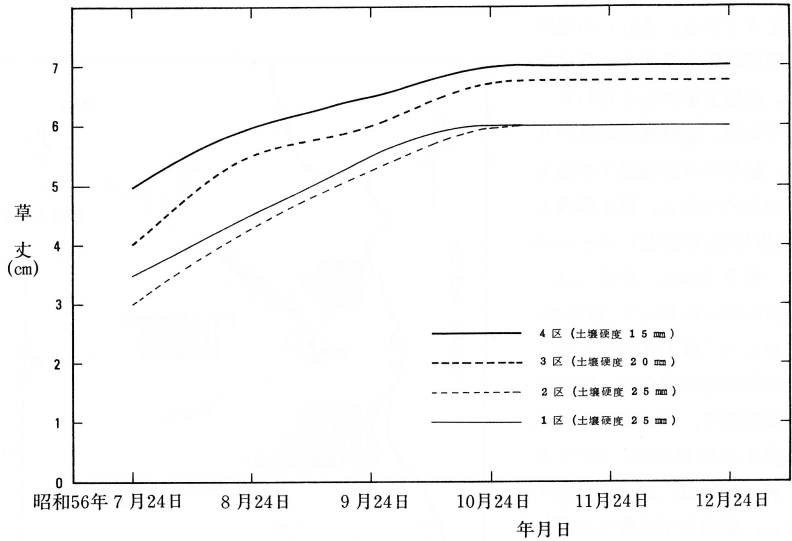


図-3-1 植生の生育状況 (草丈)

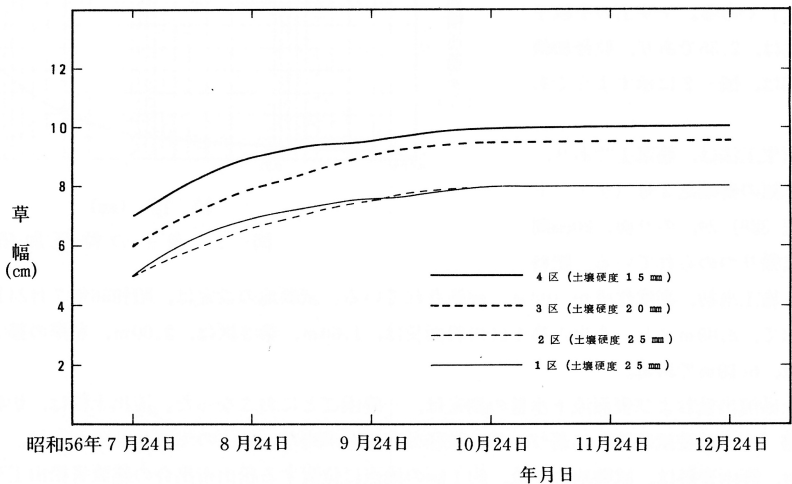


図-3-2 植生の生育状況 (草幅)

2に示すようである。従来^{5,6,8,9,10,11)}と同様、10分間最大降雨量および1時間最大降雨量との相関関係が高い。このことは、実際の盛土のり面においても、侵食が短時間の最大降雨量によって生起し、それに直接関与する降雨因子は雨滴衝撃力であるということを示しているものと考えられる。土砂流出量と10分間最大降雨量との関係は、図-4に示すようである。土砂流出量と10分間最大降雨量および1時間最大降雨量との相関関係は、前回までの実験結果では、10分間最大降雨量との関係が高かった。しかし、今回の場合、両者の相関係数には、あまり相違が認められない。これは、今回の10分間最大降雨量の上限值が5mm/10minであることから、1時間最大降雨量との間に、あまり相違が認められないものと考えられる。前回までの実験結果でも、10分間最大降雨量が5mm以下の場合には、1時間最大降雨量との間に、あまり相違は認められていないが、20mm以下の範囲内では、10分間最大降雨量との相関関係が高かった。したがって、10分間最大降雨量が増大すれば、前回までの実験結果と同様、10分間最大降雨量との相関係数が高くなるものと考えられる。この点については、さらに、現地実測資料を集積し、詳しく検討を試みたい。

以上のことは、実際ののり面においても、侵食は、短時間の最大降雨量で生起し、それに直接関与する降雨因子は、雨滴衝撃力であるということを実証しているものと考えられる。

表-1 降 雨 資 料

降雨 No.	降 雨 年 月 日	降 雨 量 mm	10分間最大 降雨量 mm	1 時間最大 降雨量 mm	降雨時間 分
	昭和56年				
1	8月4日	22.5	3.5	13.0	600
2	8月8日	6.0	0.5	1.5	720
3	8月11日	28.9	4.0	17.0	420
4	8月27日	15.0	3.0	9.0	480
5	8月28日	17.5	3.5	9.0	480
6	9月3~4日	8.0	3.0	4.5	430
7	9月9日	3.0	0.5	2.0	300
8	9月18~19日	41.5	2.5	5.0	1560
9	9月24~25日	4.5	1.5	2.0	180
10	9月25日	15.5	1.5	4.0	480
11	10月5日	7.0	0.5	1.0	360
12	10月7~9日	90.5	5.0	11.0	2830
13	10月13日	21.5	2.0	3.5	480
14	10月22日	5.0	0.5	0.5	300
15	10月24日	12.0	1.5	4.5	180
16	11月2日	33.5	1.5	9.5	480
17	11月5~6日	5.0	0.5	0.5	240
18	11月20日	2.5	0.5	1.5	180
19	11月26~27日	26.9	1.0	3.0	340
20	12月18~19日	19.5	1.0	4.0	720
	昭和57年				
21	2月4日	16.0	1.0	2.5	540
22	2月17~18日	6.0	0.5	1.5	720
計		419.8			

表-2 土砂流出量と降雨因子との関係

試験区 降雨因子	1 区	2 区	3 区	4 区
降 雨 量	0.542*	0.634**	0.606*	0.561*
10分間最大降雨量	0.869***	0.780***	0.869***	0.797***
1時間最大降雨量	0.840***	0.786***	0.840***	0.818***
降 雨 時 間	0.325	0.331	0.367	0.303
表 面 流 下 水 量	0.727***	0.558*	0.734**	0.632*

*5.0%レベル **1.0%レベル ***0.1%レベル

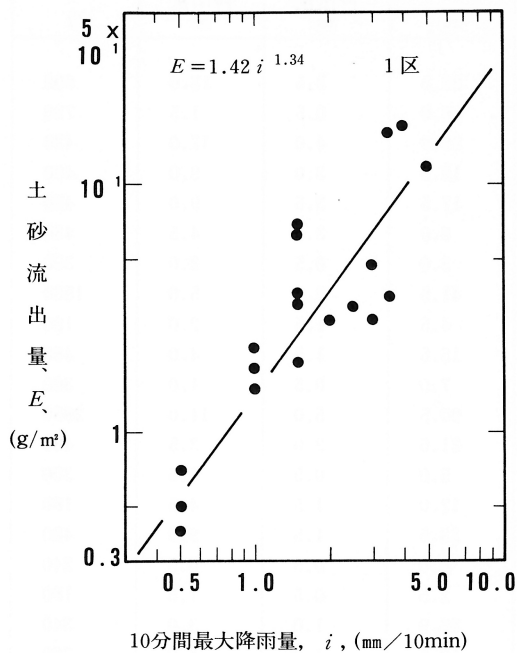


図-4-1 土砂流出量と10分間最大降雨量との関係

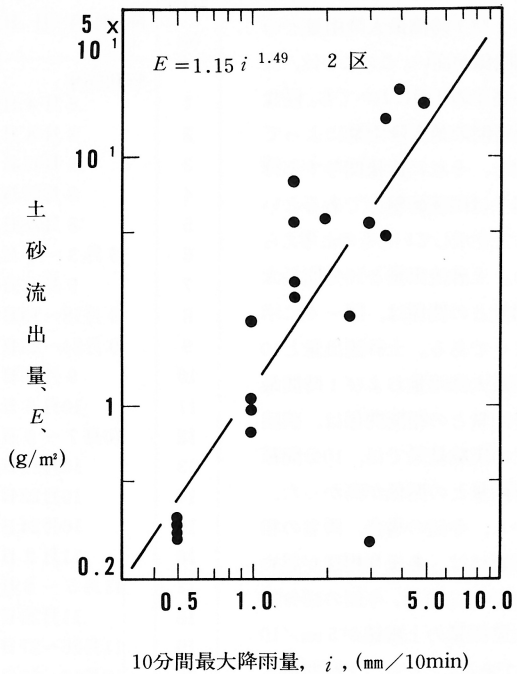


図-4-2 土砂流出量と10分間最大降雨量との関係

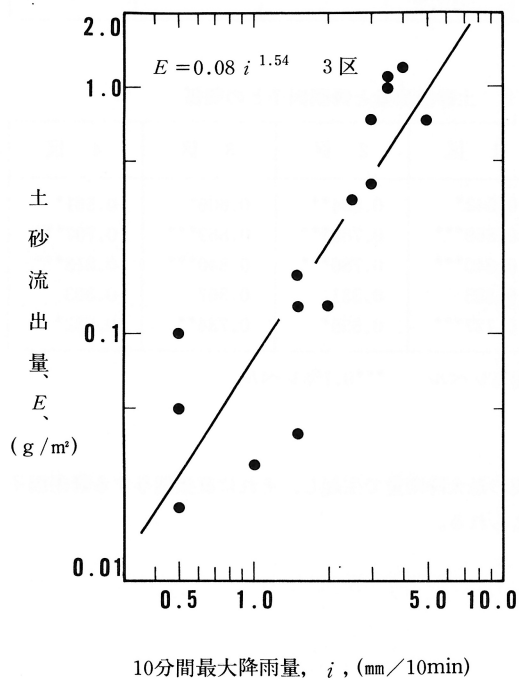


図-4-3 土砂流出量と10分間最大降雨量との関係

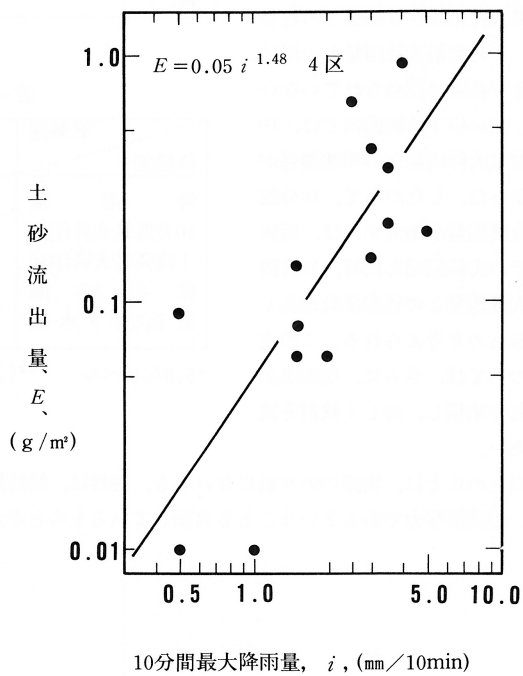


図-4-4 土砂流出量と10分間最大降雨量との関係

3. 表面流下水量と降雨因子との関係

表面流下水量と降雨因子との関係は、表-3に示すようである。土砂流出量と降雨因子との関係に比較し、相対的に、相関係数は、低いようである。この理由は、次のような表面流下水の流出形態に起因しているものと考えられる。すなわち、実験期間中、のり面上を流下するような表面流下水は、確認されず、長期にわたる観測の結果、表面流下水は、土粒子と土粒子との間から、にじみ出てくるような量であり、のり面下流端での水深も、ほとんど0に近かったためだと考えられる。したがって、この表面流下水の流出形態から考えて、この表面流下水に伴う掃流力は、それほど大きなものになるとは考えられない。

以上のことは、従来¹²⁾同様、のり面上を流下するような流下水は、認められず、したがって、それに伴う掃流力は、非常に小さなものであるという従来からの推論に、より妥当性のある根拠を与えたものと考えられる。

表-3 表面流下水量と降雨因子との関係

試験区 降雨因子	1 区	2 区	3 区	4 区
降 雨 量	0.632**	0.704***	0.757***	0.713***
10分間最大降雨量	0.743***	0.658**	0.684***	0.534**
1時間最大降雨量	0.748***	0.745***	0.775***	0.726***
降 雨 時 間	0.303	0.369	0.526	0.497

*5.0%レベル **1.0%レベル ***0.1%レベル

4. 土砂流出量

土砂流出量と土壌硬度との関係は、図-5に示すようである。土砂流出量は、土壌硬度の増大に伴って、増加傾向を示している。これは、土壌の締め固め度合の増大に伴って、土壌の密度が増加するために、土壌孔隙率

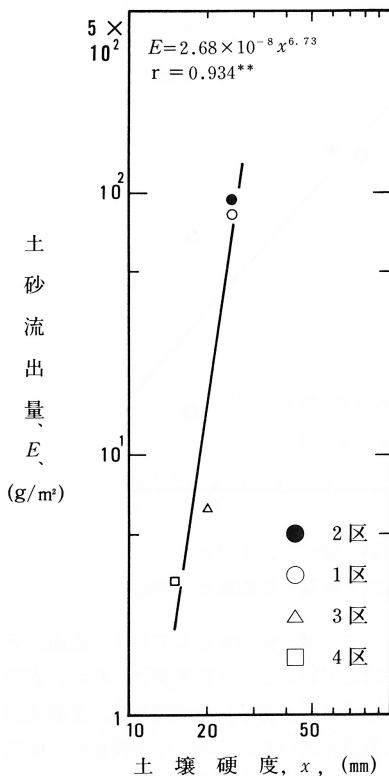


図-5 土砂流出量と土壌硬度との関係

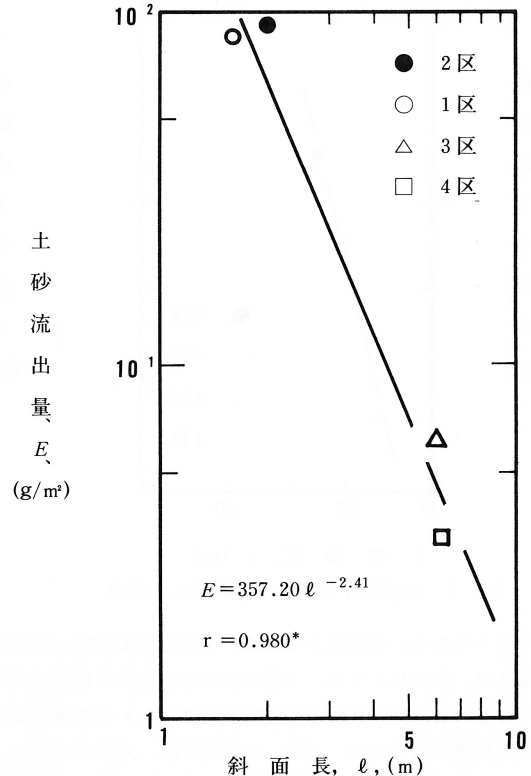


図-6 土砂流出量と斜面長との関係

が減少し、雨滴衝撃力緩和効果が小さくなる^{4,8)}のと、植生の生育が劣り、植生の保護効果が減少するためだと考える^{6,7)}。土砂流出量と斜面長との関係は、図-6に示すようである。土砂流出量は、斜面長の増大に伴って減少傾向を示しており、土砂流出量には、斜面長よりは、土壤の締め固め度合の相違が大きく影響をおよぼしているという結果が得られた。土砂流出量の比較のためにおこなった各区間のt分布検定結果は、表-4に示すようである。土砂流出量は、1区、2区と3区、4区との間に、1%レベルの有意差が認められる。このことは、土壤の締め固め度合の相違に基づくところの、雨滴衝撃力緩和効果ならびに植生の生育の相違に基づくところの植生の保護効果に、差異が認められるということを実証しているものと考えられる。

以上のことは、土砂流出量には、抵抗要因としては、土壤の締め固め度合の相違に基づくところの土壤孔隙率が強く関与しているという従来からの結論が、現地実測資料からも立証されたことを示すものと考えられる。

表-4 土砂流出量のt分布検定結果

	1区	2区	3区	4区
1区		1.03	3.83**	3.86**
2区			3.67**	3.68**
3区				2.41*
4区				

*5.0%レベル **1.0%レベル

5. 表面流下水量

表面流下水量と土壤硬度との関係は、図-7に示すようである。表面流下水量は、土砂流出量との関係同様、土壤硬度の増大に伴って、増加傾向を示している。これも、土壤の締め固め度合の増大に伴って、土壤の密度が増加するために、土壤孔隙率が減少するためだと考えられる^{6,7)}。表面流下水量と斜面長との関係は、図-8に

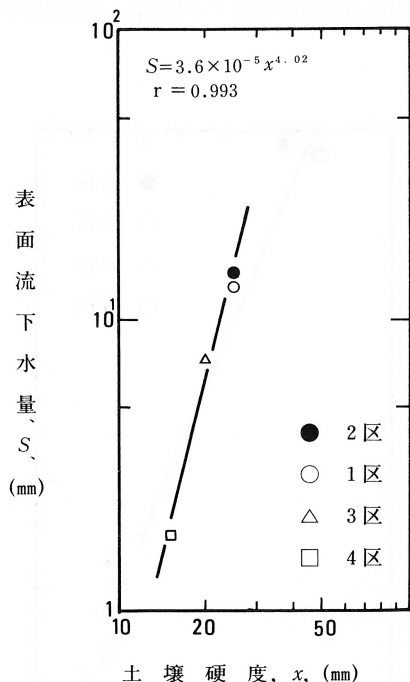


図-7 表面流下水量と土壤硬度との関係

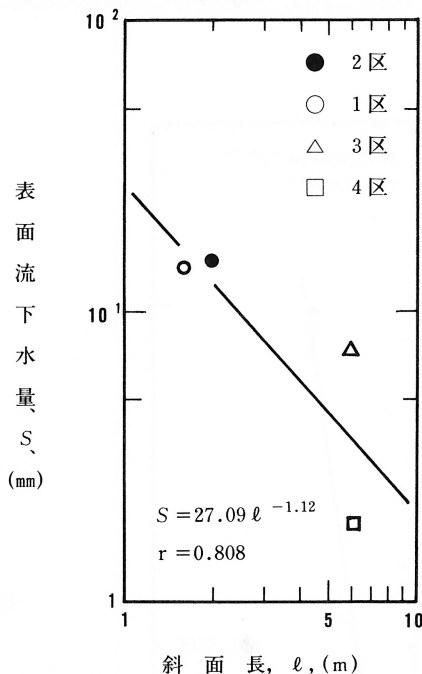


図-8 表面流下水量と斜面長との関係

示すようである。表面流下水量は、土砂流出量同様、斜面長の増大に伴って、減少傾向を示しており、表面流下水量には、斜面長よりは、土壤の締め固め度合の相違が大きく影響をおよぼしているという結果が得られた。表面流下水量の各区間の比較のためにおこなったt分布検定結果は、表-5に示すようである。その関係は、土砂流出量ほど顕著ではないが、1区、2区と3区、4区との間に、1%レベルの有意差が認められる。その関係が土砂流出量ほど顕著ではないのは、土壤の締め固め度合の相違の他に、前述したように、表面流下水が土粒子と土粒子との間からにじみ出てくるような流出形態のためであると考えられる。

以上のことは、6 m程度までの比較的短斜面での侵食機構には、表面流下水の掃流力よりも、雨滴衝撃力が強く関与しており、これに直接関係する抵抗因子は、土壌孔隙率、すなわち、土壌の締め固め度合であるという従来からの結論が、現地実測資料からも立証されたことを示すものと考えられる。

6. 土砂流出量実験式の適用性および植生の保護効果

著者ら^{6,7)}は、昭和53年にライシメーターを使用し、自然降雨を利用した実験結果から、斜面長および傾斜角が一定の場合、裸地区の土砂流出量ならびに植生の保護効果を定量的に表示することのできる実験式を提案した。すなわち、

$$\frac{E}{\gamma \cdot d} = A \left(\frac{i^2}{g \cdot d} \right)^B - C \dots\dots\dots(1)$$

式中、 E は単位面積当りの土砂流出量、 γ は土の単位体積重量、 g は重力の加速度、 d は流出土砂の粒径、 i は10分間最大降雨量、 A 、 B および C は定数である。

(1)式の適用性については、すでに、種々^{1,5,6)} 検討を試みた。今回、現地実測資料を基に、(1)式の適用性について、再度、検討を試みた。すなわち、

$$2 \text{ 区 } \frac{E}{\gamma \cdot d_{50}} = 10^{4.26} \left(\frac{i^2}{g \cdot d_{50}} \right)^{0.79} - 1.0 \times 10^{-5} \dots\dots\dots(2)$$

($r = 0.909^{***}$)

$$1 \text{ 区 } \frac{E}{\gamma \cdot d_{50}} = 10^{3.02} \left(\frac{i^2}{g \cdot d_{50}} \right)^{0.65} - 1.0 \times 10^{-5} \dots\dots\dots(3)$$

($r = 0.875^{***}$)

$$3 \text{ 区 } \frac{E}{\gamma \cdot d_{50}} = 10^{1.63} \left(\frac{i^2}{g \cdot d_{50}} \right)^{0.61} - 0.5 \times 10^{-5} \dots\dots\dots(4)$$

($r = 0.875^{***}$)

$$4 \text{ 区 } \frac{E}{\gamma \cdot d_{50}} = 10^{-0.37} \left(\frac{i^2}{g \cdot d_{50}} \right)^{0.41} - 0.5 \times 10^{-5} \dots\dots\dots(5)$$

($r = 0.700^{**}$)

(2), (3), (4), (5)式の関係を図示すれば、図-9に示すようである。1区、2区および3区においては、有意水準0.1%、4区においては、有意水準1.0%であり、一定の関係が十分成立しているものとみなされる。したがって、(1)式の関係は、現地実測資料でも、その適用性が立証されたものと考えられる。なお、図中の一点鎖線は、前回までの斜面長2.20m、傾斜角30°の盛土のり面裸地区における実験結果(資料数168)を示したものである。また、定数 A 、 B および C の値は、表-6に示すようである。定数 A 、 B の値の大きさの順位は、8ヶ月間の総土砂流出量とも一致しており、従来⁵⁾と同様、裸地区の定数と植生工区の定数との差が、植生の保護効果指標だと考えられる。しかし、今回の場合、裸地区を設定していないので、この点については、今後、さらに検討することが必要である。さらに、今回の場合、斜面長は、1区1.60m、2区2.00m、3区6.00mおよび4区6.10mと各試験区ごとに異なるにもかかわらず、定数 A 、 B の値の大きさの順位は、表-6に示すように、8ヶ月間の総流出量の順位とも一致している。さらには、前述したとおり、6 m程度までの斜面長であれば、土砂流出量は、土壌の締め固め度合に影響されることと、植生の保護効果は、前述の、のり面の植生工区における実験結果(資料数110)の範囲内で表示することもできる。したがって、6 m程度までの斜面長であれば、(1)式の関係は、斜面長に関係なく、適用可能であると考えられる。このことは、一般ののり面においては、犬走り等を設け、一つの斜面長としては、5~6 m程度以下としてあることから、(1)式の関係が、普通の盛土のり面での土砂流出量および植生の保護効果の推定式としても、十分利用できることを意味しているものと考えられる。

以上のことは、ライシメーターを使用し、自然降雨を利用しておこなった実験結果あるいはモデル斜面を使用しておこなった実験結果より、導き出された従来からの結論の妥当性、6 m程度と比較的短斜面での侵食機構の解明な

表-5 表面流下水量のt分布検定結果

	1 区	2 区	3 区	4 区
1 区		0.20	3.07**	2.47*
2 区			2.26*	2.16*
3 区				1.73
4 区				

*5.0%レベル **1.0%レベル

らびに提案した土砂流出量実験式の適用性が、現地実測資料からも立証されたことを示すものと考えられる。

IV おわりに

昭和57年度以降は、新しく裸地区をはじめ、同一斜面長で土壌の締め固め度合の異なる試験区等をも設定し、継続して現地実験をおこない、詳細な資料を収集して、ライシメーターを使用した実験結果あるいはモデル斜面での実験結果との比較検討を試みたい。

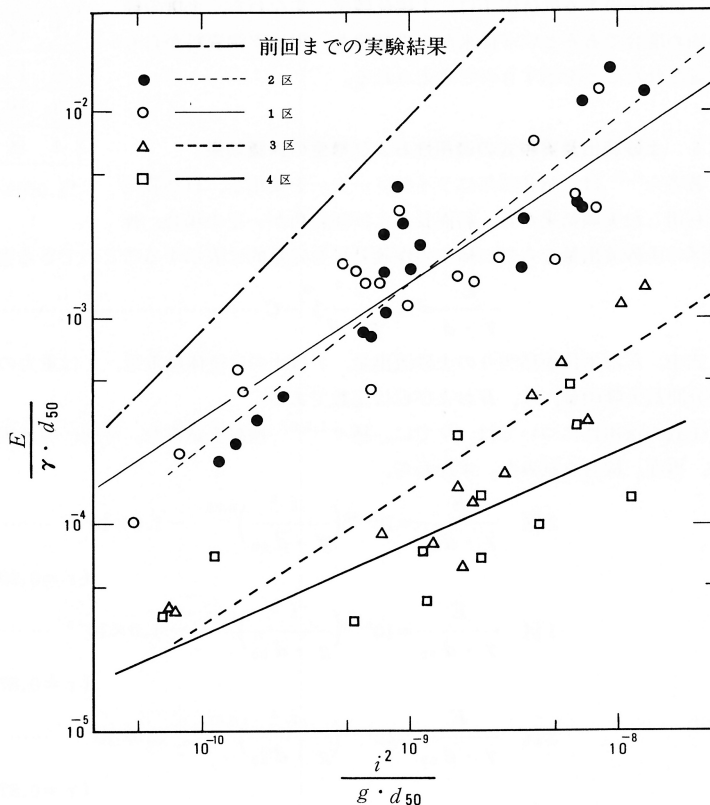


図-9 土砂流出量の無次元表示

表-6 定数の比較

試験区	A	B	C	相関係数	資料数
2	$10^{4.26}$	0.79	1.0×10^{-5}	0.909***	20
1	$10^{3.02}$	0.65	1.0×10^{-5}	0.875***	19
3	$10^{1.63}$	0.61	0.5×10^{-5}	0.869***	13
4	$10^{-0.37}$	0.41	0.5×10^{-5}	0.700**	12

1.0%レベル *0.1%レベル

引用文献

- 1) 江崎次夫：盛土のり面の植生保護工に関する研究 (XV). 愛媛大演報18：115～123, 1981
- 2) 江崎次夫：盛土のり面の植生保護工に関する研究 (XII). 92回日林論, 419～420, 1981
- 3) 江崎次夫：盛土のり面の植生保護工に関する研究 (XIV). 日林九支論35：291～292, 1982
- 4) 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
- 5) 江崎次夫・津田 修・藤久正文：盛土のり面の植生保護工に関する研究 (X). 91回日林論, 427～428, 1980
- 6) 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

- 7) 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
- 8) 江崎次夫・津田 修：降雨による表面侵食に関する実験的研究（I）.92回日林論，417～418
- 9) 江崎次夫：切取りのり面の植生保護工に関する研究（I）.日林九支論34：297～298，1981
- 10) 江崎次夫：切取りのり面の植生保護工に関する研究（II）.92回日林論，421～422，1981
- 11) 江崎次夫：切取りのり面の植生保護工に関する研究（III）.愛媛大演報18：125～141，1981
- 12) 江崎次夫：盛土のり面の植生保護工に関する研究（XI）.愛媛大演報17：69～76，1980

(1982年8月31日受理)