

切り取りのり面の植生保護工に関する研究(Ⅲ)

侵食機構と植生の保護効果について

江崎次夫*

Studies on the Turfing Work for the Protection of Cutting Slope (III)

On the mechanism of surface erosion and
the protection effects by vegetation

Tsugio EZAKI

Summary: The purpose of this serial study is to investigate the actual conditions of the surface erosion and the turfing work on the cutting slope in more detail. Also, the final purpose of this study is to investigate the actual differences of the surface erosion and the turfing work between on the cutting slope and the banking slope. In order to attain the purpose of this study, the author observed the rainfall runoff, the vegetation growth, the sediment yield and the surface runoff depth on the experimental cutting slope during the period from the end of June to the beginning of December in 1980. This observation has been carrying out with the cutting slope on the forest road opened in the Komenono University Forest of Ehime University. The soil of experimental site is granite into decomposed coarse grains and the soil class belongs to the sandy loam. The experimental site on cutting slope were divided into two kinds with divisions by the difference of soil hardness index. Each plot has a length of 2.20 meters, a width of 2.00 meters and an inclination angle of 30 degrees. The materials used in this experiment were Yomogi and Kentucky 31 fescue (K-31-F) as the species of vegetation. The soil hardnesses of experimental site were divided into two degrees, about 15 millimeters of hardness index and about 25 millimeters of hardness index with the Yamanaka's soil hardness tester. Number of expectation of grasses per square meter of each vegetation plot was five thousand. The seeds of vegetation were sowed in grooves of 3 centimeters depth and 20 centimeters width at an interval of 50 centimeters on the cutting slope.

The results may be summarized as follows:

1. The vegetation growth was considerably influenced of the soil hardness.
2. The sediment yield of the control plots increased proportionally to the approximate square of the maximum 10-minute rainfall intensity.

* 附属演習林 University Forest

3. The difference of the soil hardness had direct effects upon the sediment yield.
4. The vegetation work showed fairly to have the effects on controlling the sediment yield and the surface flow.
5. The K-31-F plots showed the highest rate of control of the sediment yield by the vegetation among all vegetation plots.
6. The correlation between the rate of control of the sediment yield by the vegetation and the growth index of vegetation was significant.
7. The following empirical equation of the sediment yield holds accurately presumptive formula of the sediment yield of erosion on the general bare slope the protection effects of the vegetation on the turfing work for the protection of the general slope.

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

Where : E = sediment yield (gr/cm²)

σ = density 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

$A = 10^{7.00} \sim 10^{2.49}$, $B = 1.01 \sim 0.61$ and $C = 3.0 \times 10^{-4} \sim 4.0 \times 10^{-4}$ respectively.

要 旨 本研究の目的は、切取りのり面の侵食機構と植生による保護工を施工した場合の保護効果を解明し、最終的には、切取りのり面と盛土のり面との侵食機構ならびに植生の保護効果の相違を定量的に究明することにある。この目的のために、昭和55年6月に、切取りのり面試験地を造成し、植生の生育状況、土砂流出量および表面流下水量を測定した。その後、半年間の実験結果を要約すると、次のとおりである。

- 1) 土壌硬度の相違は、植生の生育に影響を及ぼした。
- 2) 裸地区の1降雨ごとの土砂流出量は、10分間最大降雨量の約2乗に比例していた。
- 3) 土砂流出量は、土壌硬度の増大に伴って、減少傾向を示した。また、土砂流出量に、最も影響を及ぼしたのは、土壌硬度の相違であった。
- 4) 植生工区の土砂流出抑止効果および表面流下水抑止効果は、顕著であった。
- 5) 植生による土砂流出抑止効果率は、K-31-F区が最も高く、裸地区に対して、81.6%~86.5%の抑止効果率を示した。
- 6) 植生による土砂流出抑止効果率と植生の生育指数との間には、一定の傾向が認められた。
- 7) 先に、盛土のり面における侵食土量および植生の土砂流出抑止効果の推定式として、有効と考えられた下記の実験式は、切取りのり面においても、侵食土量ならびに植生の土砂流出抑止効果の推定式として、有効と考えられた。

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

式中、 E は単位面積当りの土砂流出量 (gr/cm²)、 σ は土の密度 (gr/cm³)、 d は流出土砂の中央粒径 (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、 $A = 10^{7.00} \sim 10^{2.49}$ 、 $B = 1.01 \sim 0.61$ および $C = 5.0 \times 10^{-4} \sim 4.0 \times 10^{-4}$ となった。

I は じ め に

盛土のり面については、昭和52年よりライシメーターを利用して、一連の実験^{1, 5, 6, 8, 9)}をおこない、すでに、

侵食機構および植生の保護効果について、種々、検討を試みた^{1)~11)}。本研究では、切取りのり面についても、同様な検討を試み、最終的には、切取りのり面と盛土のり面との侵食機構および植生の保護効果の相違の実態を、定量的に解明することに、主眼をおいた。

今回、切取りのり面を、盛土のり面と同一の規格¹⁾で、実験斜面に造成し、昭和55年6月より実験を開始した。本論文では、昭和55年12月までの約6ヶ月間、植生の生育状況、土砂流出量および表面流下水量を測定した結果に基づき、盛土のり面での侵食機構^{2, 3, 5, 8, 9)}と比較検討しながら、若干の考察をおこなった。また、筆者等が提案した盛土のり面における土砂流出量式³⁾が適用できることを示し、さらに、植生の保護効果等についても、検討をおこなった。

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、伏見知道教授、小川 滋助教授、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、藤久正文、尾上清利、河野修一の各位、ならびに、森林工学専攻生諸君、特に、野中 康君に、厚くお礼申し上げる。

なお、本論文の一部については、すでに、第36回日本林学会九州支部大会（福岡）および第92回日本林学会大会（名古屋）で発表した。また、本論文における計算には、愛媛大学計算機 FACOM 230-28 を使用した。

II 試験地の概要

試験地は、愛媛大学米野々演習林2林班を小班内の、ミズキ、クリ、ミズナラ、ケヤキ、シラキ、カエデ等の30年生広葉樹林を、幅60m、斜面長50mにわたって、伐採し、造成した。斜面の平均傾斜は30°、基岩は花崗閃緑岩^{18,19)}土性は砂壤土で、土粒子比重は2.55である。実験斜面は、南東に面しており、南東側に支障となるものはない。試験地付近の標高は、約690m、年平均気温は、10.4°C、最高気温は、7月で30°C前後、最低気温は、2月で-15°C前後であり、年降水量は、1,600mm内外である。

III 材料および実験方法

実験には、供試植生として、ヨモギとケンタッキー-31フェスク（K-31-F）とを使用した。ヨモギは、昭和54年の秋に、演習林内で採取した種子であり、K-31-Fは、昭和55年の春に購入した種子である。それぞれの植生の純量率および発芽率等は、Table 1に示すようである。

Table 1 The conditions of seeds for seedings and the germination rate of the seeds

| Species | Rate of germination % | Rate of purity % | Number of seed grains per one gram | Number of expectation of grasses per one rank(per m ²) | Seed quantity gram per one rank(per m ²) | Realizable number per one rank | Rate of realization % |
|---------|-----------------------|------------------|------------------------------------|--|--|--------------------------------|-----------------------|
| Yomogi | 28.4 | 84.3 | 11,120 | 2,000 (5,000) | 0.75 (1.88) | 210~400 | 10.5~20.0 |
| K-31-F | 92.5 | 90.7 | 365 | 2,000 (5,000) | 6.53 (16.33) | 250~460 | 12.5~23.0 |

実験のり面は、広葉樹林を伐採後、表層斜面を50~80cm削り取り、造成した。造成した実験のり面は、土壤硬度の相違によって、第1および第2試験地とに区分した。第1試験地の土壤硬度は、山中式土壤硬度計で約25mmであり、第2試験地の土壤硬度は、約15mmである。試験地および試験区は、Fig. 1に示すように配置した。植生工区の成立密度は、5,000本/m²とし、斜面に、20cm幅で、30cm間隔に、深さ3cmの植溝を設けて播種し、その後、肥料をNの純量で10g/m²施した。

試験区の構造および測定装置は、Fig. 2に示すようである。各試験区の大きさは、幅2.0m、斜面長2.20m（水平長1.91m）である。各区の下方に受板（トタン）を取り付け、200ℓのポリ容器に導き、流出土砂および表面流下水を収集した。また、試験区外からの雨水が受水装置内に入りこまぬよう厚手のビニールで覆いをした。

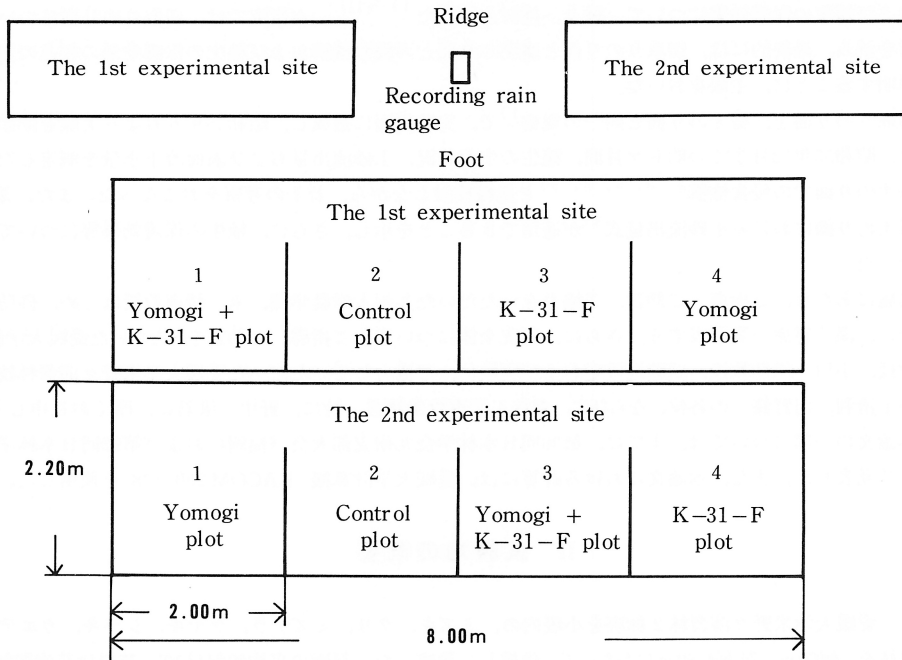


Fig. 1 The arrangement of experimental site and the arrangement of experimental plots

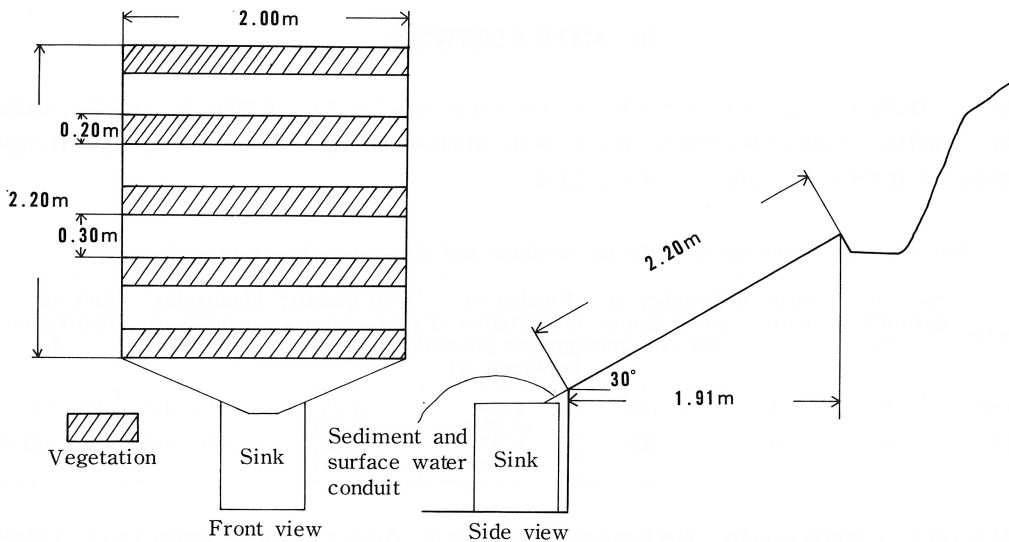


Fig. 2 The structure of the experimental apparatus

降雨量の測定は、Fig. 1 に示すように、第1試験地と第2試験地との中間に、自記雨量計を設置しておこなった。

土砂流出量および表面流下水量の測定は、1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、粒径分布を求めた。

植生の発芽・生育状況および成立密度の測定は、1ヶ月ごとにおこなった。

IV 結果および考察

1) 植生の生育

昭和55年6月10日より11月10日までの植生の生育状況は、Fig. 3およびFig. 4に示すようである。11月10日の調査時点で、第2試験地の草丈が、第1試験地の草丈より、ヨモギ区で10cm、ヨモギ+K-31-F区で8cm、また

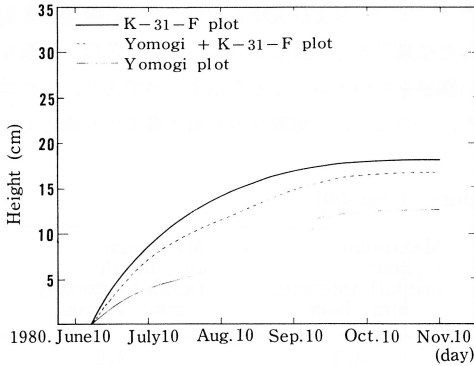


Fig. 3-1 The curve of growth height of each grass at the 1st experimental site

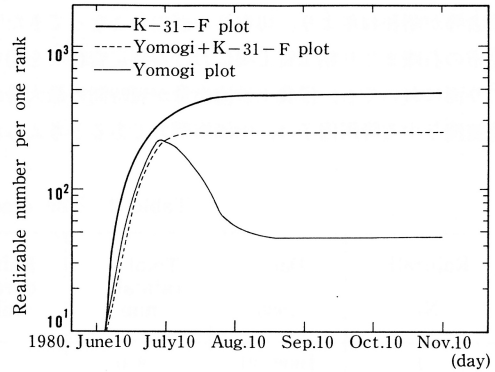


Fig. 3-2 The curve of realizable number of each grass at the 1st experimental site

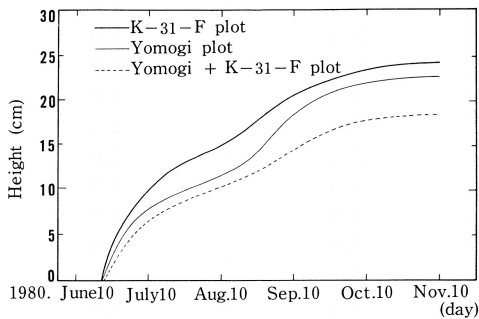


Fig. 4-1 The curve of growth height of each grass at the 2nd experimental site

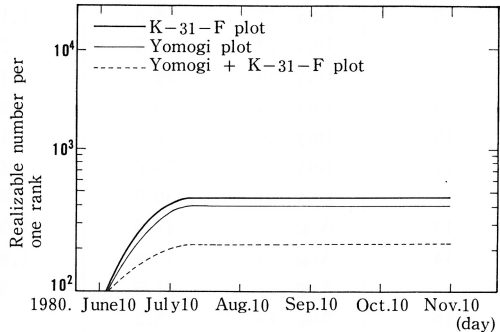


Fig. 4-2 The curve of realizable number of each grass at the 2nd experimental site

K-31-F区で6cm高かった。成立本数は、第1試験地のヨモギ区で、夏の日照りの影響を受けて、7月10日頃より、立枯れが目立ち始めた。7月10日の調査時点で、成立本数は、210本/列であり、第2試験地と比較し、あまり差が認められなかったものが、8月10日の調査時点では、50本/列と、約20%に減少していた。しかし、それ以外の区は、試験地の相違によって、成立本数に、大差は認められない。このように、成立本数については、試験地間にあまり相違が認められないのに、草丈に相違が認められるのは、次の理由によるものと考えられる。すなわち、第1試験地の土壌硬度は、25mmであるのに対し、第2試験地の土壌硬度は、15mmであるために、前者では、播種されたヨモギおよびK-31-Fの種子は、発芽はするが、根の伸長が土壌硬度によって制限されることと、土壌孔隙が減少し、根の呼吸ならびに水分吸収が困難となり、上生長が劣ったためであろう。また、花崗閃緑岩地帯の切取りのり面では、特に、深層になるにしたがい、土壌硬度は、高くなるのが、一般的であるので、この影響も強く受けたものと考えられる。なお、草本植物の根の伸長圧は、一般に、 $10\text{kg}/\text{cm}^2$ (硬度指数23.3mm) 前後とされており、硬度指数25mmは、約 $14\text{kg}/\text{cm}^2$ となる¹²⁾ことから土壌硬度の影響が考えられる。植生の生育が土壌硬度に影

響される傾向は、盛土のり面での実験結果^{2, 3, 10)}と一致している。

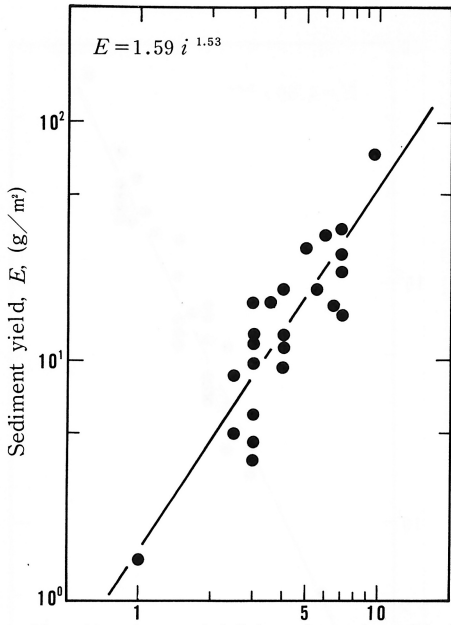
以上のことは、切取りのり面における植生の生育には、盛土のり面同様、土壌硬度が強く影響を及ぼしていることを立証しているものと考えられる。

2) 土砂流出量

測定期間中、38回の降雨があり、第1試験地で27回、また第2試験地で31回の土砂流出が認められた。降雨資料は、Table 2に示すようである。土砂流出量と降雨因子との関係分析によると、Fig. 5およびTable 3に示すように、土砂流出量は、10分間最大降雨量と深い関係を持つ。すなわち、裸地区の土砂流出量は、両対数座標上で、10分間最大降雨量の約2乗に比例して、増加している。これは、従来からの盛土のり面での実験結果^{2, 3, 4, 5, 7, 8, 9)}、筆者等が昭和44年より、切取りの面でおこなってきた実験結果^{13, 14, 15, 16)}および大味らがおこなった愛知県多治見市の石礫まじり粘土質土壌における測定資料¹⁷⁾を用いて計算した結果¹⁶⁾とも一致している。このことは、切取りのり面においても、侵食土砂流出量が短時間の最大降雨量と深い関係をもつということを示すものであり、これに直接関与する降雨因子は、雨滴衝撃力であると考えられる。また、このことは、切取りのり面と盛土のり面とで、

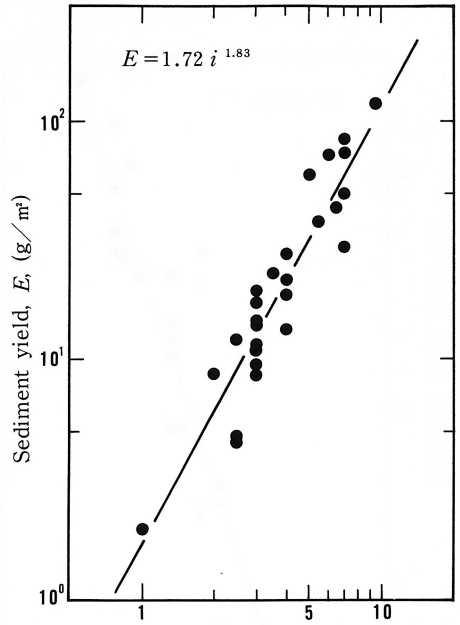
Table 2 The observed values of rainfall

| Rainfall No. | Date 1980 | Total rainfall mm | Rainfall duration min. | Maximum 1-hour rainfall intensity mm/hour | Maximum 10-minute rainfall intensity mm/10min. |
|--------------|-----------|-------------------|------------------------|---|--|
| 1 | June 21 | 8.0 | 720 | 3.5 | 2.0 |
| 2 | June 30 | 27.0 | 230 | 20.0 | 7.0 |
| 3 | July 1 | 23.0 | 800 | 8.0 | 4.0 |
| 4 | July 2 | 44.0 | 900 | 7.0 | 3.0 |
| 5 | July 9 | 72.5 | 1,240 | 16.5 | 6.0 |
| 6 | July 11 | 68.0 | 1,170 | 32.5 | 9.5 |
| 7 | July 12 | 24.5 | 720 | 16.5 | 3.0 |
| 8 | July 19 | 22.5 | 190 | 13.5 | 7.0 |
| 9 | July 24 | 13.0 | 240 | 8.0 | 4.0 |
| 10 | July 26 | 9.0 | 120 | 5.0 | 2.5 |
| 11 | July 29 | 35.0 | 480 | 17.5 | 7.0 |
| 12 | July 31 | 30.0 | 890 | 5.0 | 4.0 |
| 13 | Aug. 5 | 47.0 | 1,380 | 4.0 | 2.5 |
| 14 | Aug. 8 | 16.0 | 1,660 | 8.0 | 3.5 |
| 15 | Aug. 12 | 21.0 | 340 | 8.0 | 3.0 |
| 16 | Aug. 13 | 8.5 | 20 | 8.5 | 6.5 |
| 17 | Aug. 15 | 8.5 | 90 | 5.5 | 3.0 |
| 18 | Aug. 19 | 21.5 | 1,000 | 6.5 | 5.5 |
| 19 | Aug. 20 | 19.5 | 220 | 9.5 | 2.5 |
| 20 | Aug. 21 | 22.5 | 540 | 9.5 | 4.0 |
| 21 | Aug. 22 | 14.0 | 490 | 6.0 | 3.0 |
| 22 | Aug. 23 | 10.5 | 170 | 6.5 | 3.0 |
| 23 | Aug. 27 | 47.5 | 630 | 23.5 | 7.0 |
| 24 | Aug. 29 | 23.0 | 900 | 6.0 | 3.0 |
| 25 | Oct. 16 | 93.0 | 1,680 | 10.5 | 4.0 |
| 26 | Oct. 21 | 17.0 | 1,000 | 5.5 | 2.0 |
| 27 | Oct. 25 | 5.5 | 860 | 3.0 | 2.5 |
| 28 | Oct. 30 | 3.5 | 390 | 3.5 | 3.5 |
| 29 | Nov. 25 | 25.0 | 640 | 5.0 | 5.0 |
| 30 | Dec. 1 | 2.0 | 610 | 1.0 | 1.0 |
| 31 | Dec. 3 | 10.0 | 420 | 2.5 | 2.5 |



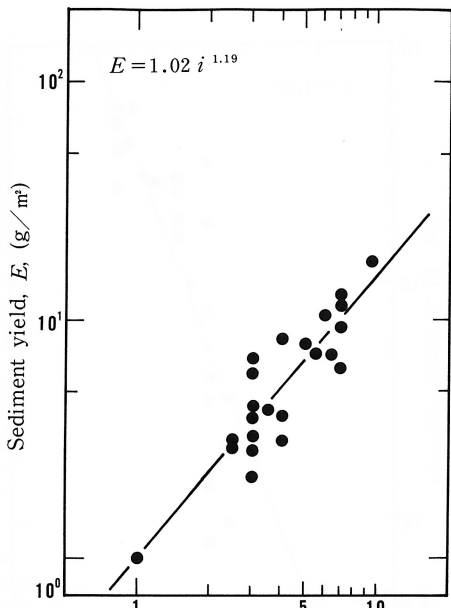
Max. 10-minute rainfall intensity, i , (mm/10min.)

Fig. 5-1-1 The relation between the sediment yield and the max. 10-minute rainfall intensity at the 1st experimental plot (vegetation plot)



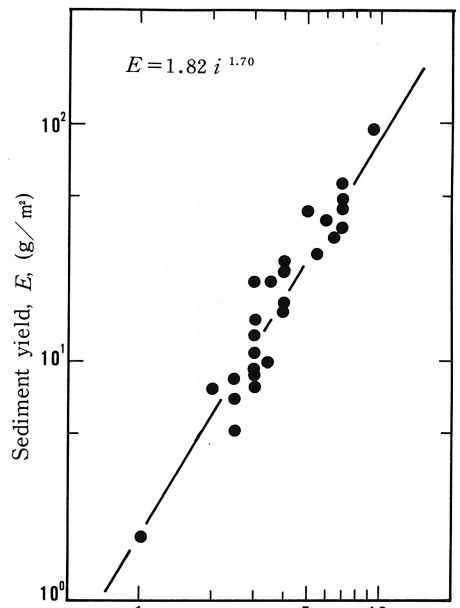
Max. 10-minute rainfall intensity, i , (mm/10min.)

Fig. 5-1-2 The relation between the sediment yield and the max. 10-minute rainfall intensity at the 1st experimental plot (control plot)



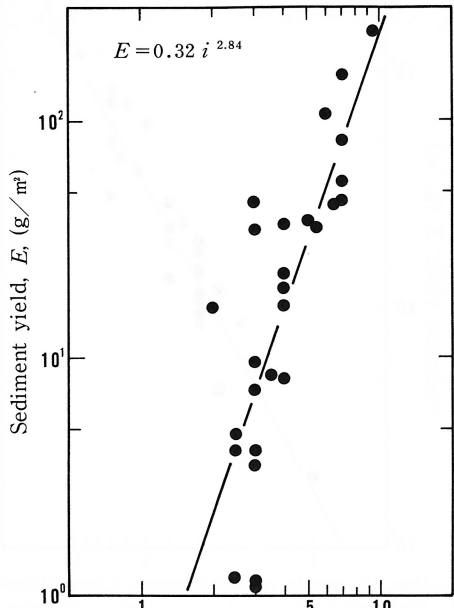
Max. 10-minute rainfall intensity, i , (mm/10min.)

Fig. 5-1-3 The relation between the sediment yield and the max. 10-minute rainfall intensity at the 1st experimental plot (vegetation plot)



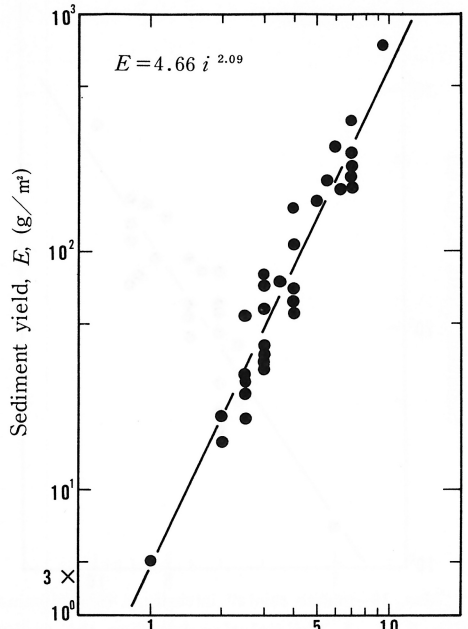
Max. 10-minute rainfall intensity, i , (mm/10min.)

Fig. 5-1-4 The relation between the sediment yield and the max. 10-minute rainfall intensity at the 1st experimental plot (vegetation plot)



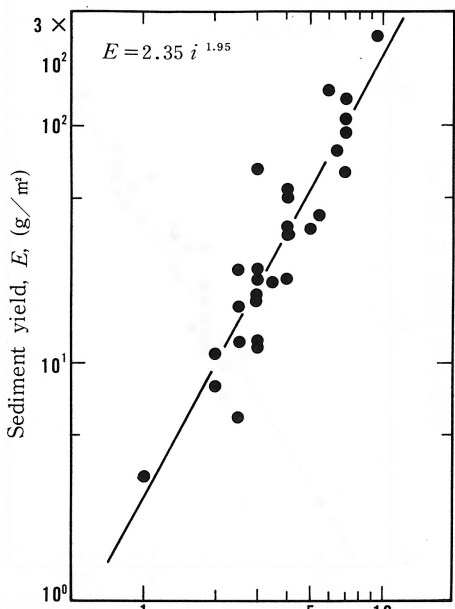
Max. 10-minute rainfall intensity, i , (mm/10min.)

Fig. 5-2-1 The relation between the sediment yield and the max. 10-minute rainfall intensity at the 2nd experimental plot (vegetation plot)



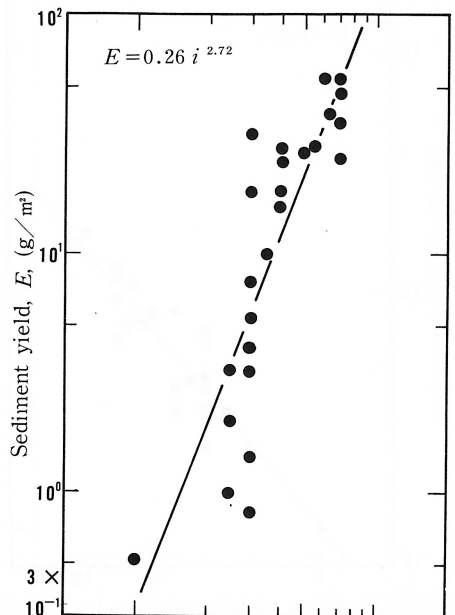
Max. 10-minute rainfall intensity, i , (mm/10min.)

Fig. 5-2-2 The relation between the sediment yield and the max. 10-minute rainfall intensity at the 2nd experimental plot (control plot)



Max. 10-minute rainfall intensity, i , (mm/10min.)

Fig. 5-2-3 The relation between the sediment yield and the max. 10-minute rainfall intensity at the 2nd experimental plot (vegetation plot)



Max. 10-minute rainfall intensity, i , (mm/10min.)

Fig. 5-2-4 The relation between the sediment yield and the max. 10-minute rainfall intensity at the 2nd experimental plot (vegetation plot)

侵食土砂流出量に關する降雨因子は、同一の10分間最大降雨量に關与しているということを立証していることになる。植生工区における1降雨ごとの土砂流出量と降雨因子との關係では、常に10分間最大降雨量との相關關係が顯著ではあるが、相對的に裸地区ほど顯著ではない。これは、植生の生育に伴い、1降雨ごとに、土砂流出量に対する10分間最大降雨量の影響が変化するため、全期間内の資料で検討すると、裸地区よりは、低い相關關係を示すものと考えられる。

土砂流出量と土壤硬度との關係は、Fig. 6に示すようである。土砂流出量は、土壤硬度の増大に伴って減少傾向を示し、盛土のり面での実験結果^{2, 3, 7, 8, 9, 10})とは、まったく逆の傾向を示している。土壤硬度25mmの第1試験地の基岩は、花崗閃緑岩であるが、風化は、あまり進行していないのに対し、土壤硬度15mmの第2試験地の基岩は、花崗閃緑岩の風化したマサ土である。そのために、第1試験地の風化があまり進行していない土壤は、雨滴衝擊力に対し、強い抵抗力を示し、その抵抗力が第2試験地よりまさったために、土砂流出量が少なくなったものではないかと考えられる。なお、両試験地ともに、測定期間中、表面流下水量は、ほとんどなかったことから、切り取り面の浸透能は、高いものと考えられる。

次に、切り取りのり面における裸地区の土砂流出量と同土質および同土壤硬度の盛土のり面における裸地区の土砂流出量との關係を比較検討する。ここで、盛土のり面の土砂流出量の推定には、前報¹⁰)に発表した次式に示す土砂流出量と10分間最大降雨量との關係を利用し、昭和55年6月より12月までの降雨資料を用いて、1降雨ごとに算定した。すなわち、

$$\text{土壤硬度 } 15\text{mm区 } E=5.61i^{2.09}\dots\dots(1)$$

$$\text{土壤硬度 } 20\text{mm区 } E=7.33i^{2.06}\dots\dots(2)$$

$$\text{土壤硬度 } 25\text{mm区 } E=8.03i^{2.09}\dots\dots(3)$$

式中、 E は、単位面積当りの土砂流出量 (g/m^2)、 i は、10分間最大降雨量 ($\text{mm}/10\text{min.}$)である。

結果は、Fig. 6に示すようである。切り取りのり面の土砂流出量は、各土壤硬度において、盛土のり面の土砂流出量より少なく、全体的傾向は、まったく逆の關係を示している。切り取りのり面は、土壤構造がほとんど乱されていないのに対し、盛土のり面は、それが乱されており、土質および土

Table 3-1 The correlation coefficient between the sediment yield and the maximum 10-minute rainfall intensity at the 1st experimental site

| Plot No. | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Correlation coefficient | 0.879*** | 0.924*** | 0.885*** | 0.952*** |
| Number of data | 24 | 27 | 23 | 27 |

*** Significance at the 0.1% level

Table 3-2 The correlation coefficient between the sediment yield and the maximum 10-minute rainfall intensity at the 2nd experimental site

| Plot No. | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Correlation coefficient | 0.737*** | 0.950*** | 0.883*** | 0.756*** |
| Number of data | 18 | 31 | 23 | 16 |

** Significance at the 1% level

*** Significance at the 0.1% level

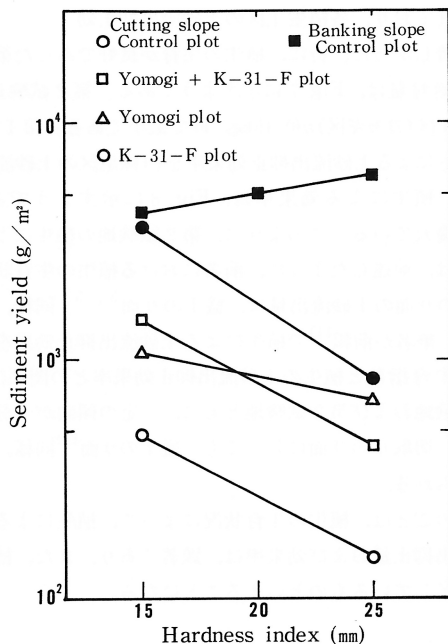


Fig. 6 The relation between the sediment yield and the soil hardness index

壤硬度は同じでも、間隙率、含水比、飽和度、容気度、浸透能および団粒の安定性等の物理的性質は、当然異ってくる筈である。したがって、切取りのり面の土砂流出量が盛土のり面のそれと比較し、少なくても、しかも、逆の傾向を示すのは、これらの相違が侵食抵抗の差となるためではないかと考えられる。

次に、6ヶ月間の各区間の土砂流出量の比較のためにおこなった分散分析結果は、Table 4 および Table 5 に示すようである。第1試験地の4区を除くすべての植生工区が裸地区に対して、有意差を示している。各植生工区では、大幅な土砂流出量の減少傾向が認められた。特に、植生の生育が良好であった第2試験地の土砂流出量の減少傾向が顕著であった。

以上のことは、切取りのり面の侵食機構には、雨滴衝撃力が強く関与しており、また、植生による土砂流出抑止量は、著しいことを示しているものと考えられる。

3) 植生の保護効果

Table 4 および Table 5 に示したように、第1試験地のヨモギ区と裸地区との間に有意差が認められない以外、すべての植生工区と裸地区との間には、1.0%~0.1%レベルの有意差が認められており、各植生工区の土砂流出抑止効果は、著しかった。特に、植生の生育が良好であった第2試験地の抑止効果は、顕著であった。植生による土砂流出量の絶対量は、Fig. 7 に示すようである。第2試験地の4区 (K-31-F) が3.12kg/m²で最大であり、第1試験地の4区(ヨモギ区)が0.15kg/m²で最小である。第1試験地の抑止量は、第2試験地の5.9%~21.3%である。また、植生による土砂流出抑止効果率を{(裸地区の土砂流出量-植生工区の土砂流出量)/裸地区の土砂流出量}で与えると、植生による効果率は、Fig. 8 に示すようである。効果率も当然のことながら、第2試験地が第1試験地よりも優れている。このように、第2試験地の植生による土砂流出抑止量および効果率が第1試験地よりも優れているのは、前述したように、前者における植生の生育状況が後者より優れていたためだと考えられる。したがって、切取りのり面の土砂流出量は、盛土のり面^{3, 5)}同様、植生の生育状況に影響されるということになる。

次に、筆者が前報¹¹⁾で植生による土砂流出抑止効果を表す植生因子を、簡便に測定する一方法として提案した、植生の生育指数と植生の土砂流出抑止効果率との関係は、Fig. 9 に示すようである。資料数は、3個と少ないが、第1試験地および第2試験地ともに、一定の傾向が十分成立しているものとみなされる。したがって、植生の生育指数は、切取りのり面においても、盛土のり面¹¹⁾同様、植生の被覆度に代る因子として、利用できるのではないかと考えられる。

以上のことは、植生の生育状況によって、植生による土砂流出抑止効果に相違は認められるものの、植生による土砂流出抑止量および効果率は、顕著であり、また、植生の生育指数は、切取りのり面においても利用可能であることを示しているものといえることになる。

Table 4 Analysis of variance of the sediment yield in each plot at the 1st experimental site

| Plot No. | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---------------------------------------|---|----------|----------|----------|
| 1 | | 14.06*** | 10.47 | 8.56 |
| | 2 | | 24.63*** | 5.60 |
| ** Significance at the 1% level | | 3 | | 19.03*** |
| *** Significance at the 0.1% level | | | 4 | |

Table 5 Analysis of variance of the sediment yield in each plot at the 2nd experimental site

| Plot No. | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---------------------------------------|---|---------|----------|-----------|
| 1 | | 82.46** | 12.76 | 18.70 |
| | 2 | | 69.70*** | 100.80*** |
| ** Significance at the 1% level | | 3 | | |
| *** Significance at the 0.1% level | | | 4 | |

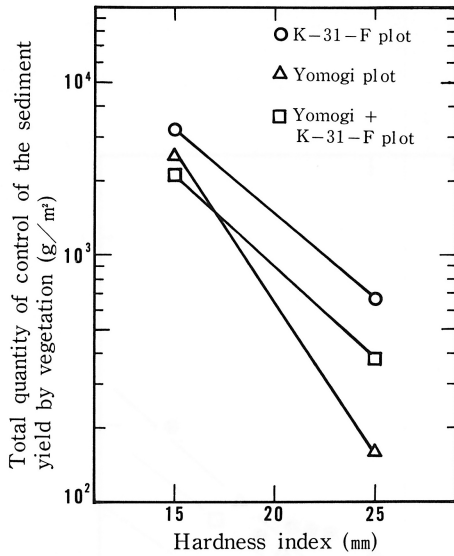


Fig. 7 The relation between the total quantity of control of the sediment yield by vegetation and the soil hardness index

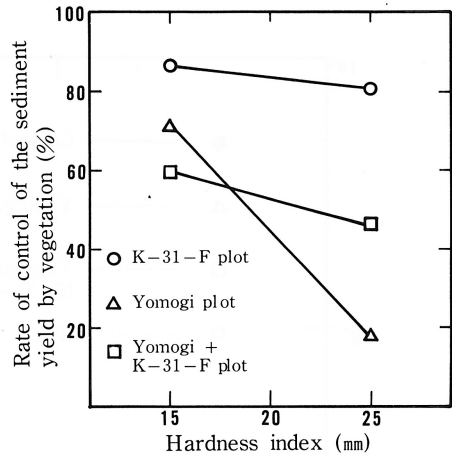


Fig. 8 The relation between the rate of control of the sediment yield by vegetation and the soil hardness index

4) 土砂流出量実験式の適用

本項では、切取りのり面における土砂流出量と降雨因子との関係を、先に、筆者等が提案した盛土のり面における土砂流出量式³⁾を適用して、定量的に検討する。この式は、斜面長および勾配が一定の場合、単位面積当りの土砂流出量 E が、土の密度 σ 、流出土砂の粒径 d 、重力の加速度 g ならびに10分間最大降雨量 i の2乗の関数で表わされる実験式である。すなわち、

$$\frac{E}{\sigma \cdot d} = A \left(\frac{i^2}{g \cdot d} \right)^B - C \dots \dots \dots (4)$$

式中、 A 、 B および C は、定数である。

(4)式において、 d は中央粒径(d_{50})を用い、これまでの第1試験地の結果を整理して、定数 A 、 B および C を求めると、次のようである。

2区(裸地区) $\frac{E}{\sigma \cdot d_{50}} = 10^{5.29} \left(\frac{i^2}{g \cdot d_{50}} \right)^{0.88} - 2.0 \times 10^{-4} \dots \dots \dots (5)$

また、植生工区にも、(1)式の関係を利用して、定数 A 、 B および C を求めると、次のようである。

4区(ヨモギ区) $\frac{E}{\sigma \cdot d_{50}} = 10^{4.74} \left(\frac{i^2}{g \cdot d_{50}} \right)^{0.82} - 4.0 \times 10^{-4} \dots \dots \dots (6)$

1区(ヨモギ+K-31-F区) $\frac{E}{\sigma \cdot d_{50}} = 10^{3.60} \left(\frac{i^2}{g \cdot d_{50}} \right)^{0.70} - 4.0 \times 10^{-4} \dots \dots \dots (7)$

3区(K-31-F区) $\frac{E}{\sigma \cdot d_{50}} = 10^{2.49} \left(\frac{i^2}{g \cdot d_{50}} \right)^{0.61} - 4.0 \times 10^{-4} \dots \dots \dots (8)$

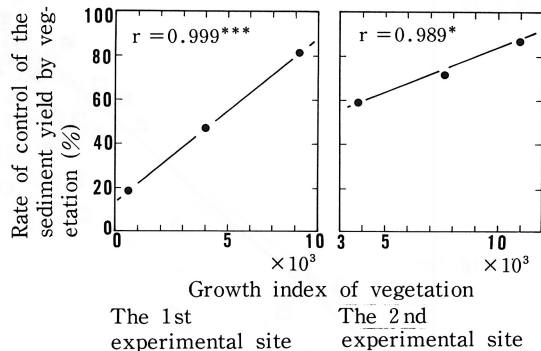


Fig. 9 The relation between the rate of control of the sediment yield by vegetation and the growth index of vegetation

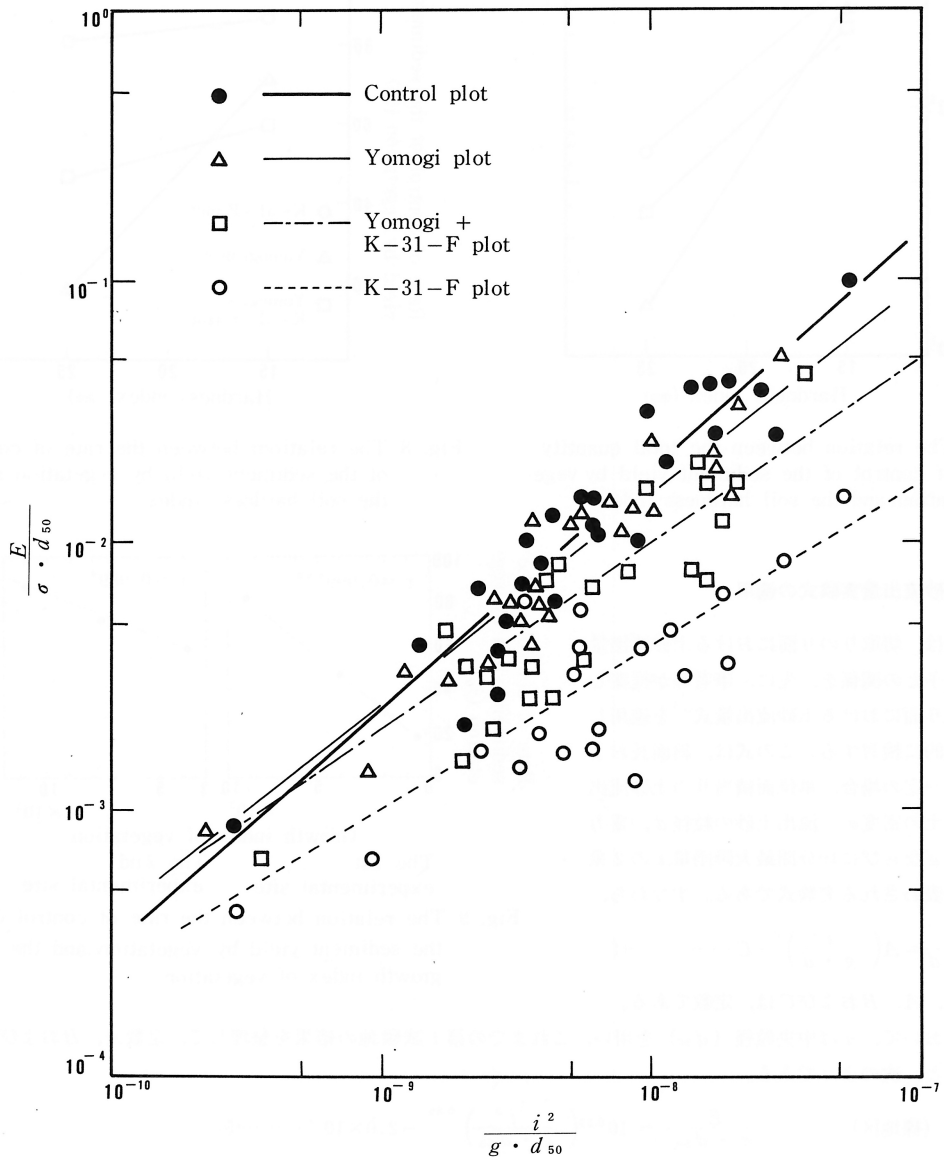


Fig. 10 The non-dimensional expressions of the sediment yield at the 1st experimental site

Table 6 The values of fixed number A, B and C , and the correlation coefficient between the $\frac{E}{\sigma \cdot d_{50}}$ and the $\frac{i^2}{g \cdot d_{50}}$

| Plot No. | Fixed number | | | Correlation coefficient | Number of data |
|-----------|--------------|------|----------------------|-------------------------|----------------|
| | A | B | C | | |
| 2 control | $10^{5.29}$ | 0.88 | 2.0×10^{-4} | 0.937*** | 27 |
| 4 | $10^{4.74}$ | 0.82 | 4.0×10^{-4} | 0.957*** | 27 |
| 1 | $10^{3.60}$ | 0.70 | 4.0×10^{-4} | 0.867*** | 24 |
| 3 | $10^{2.49}$ | 0.61 | 4.0×10^{-4} | 0.905*** | 23 |

*** Significance at the 0.1% level

(5), (6), (7), (8)式の関係を図示したが、Fig. 10で、定数を取りまとめた結果は、Table 6に示すようである。すべての試験区において、(4)式の関係は、有意水準0.1%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。さらに、(4)式の関係をも第2試験地の結果にも適用して、定数 A 、 B および C を求めると、次のようである。

$$2 \text{ 区 (裸 地 区)} \quad \frac{E}{\sigma \cdot d_{50}} = 10^{7.00} \left(\frac{i^2}{g \cdot d_{50}} \right)^{1.01} - 4.0 \times 10^{-4} \dots\dots(9)$$

$$3 \text{ 区 (ヨモギ+ K-31-F区)} \quad \frac{E}{\sigma \cdot d_{50}} = 10^{5.68} \left(\frac{i^2}{g \cdot d_{50}} \right)^{0.90} - 5.0 \times 10^{-4} \dots\dots(10)$$

$$1 \text{ 区 (ヨモギ区)} \quad \frac{E}{\sigma \cdot d_{50}} = 10^{5.36} \left(\frac{i^2}{g \cdot d_{50}} \right)^{1.00} - 2.3 \times 10^{-4} \dots\dots(11)$$

$$4 \text{ 区 (K-31-F区)} \quad \frac{E}{\sigma \cdot d_{50}} = 10^{5.78} \left(\frac{i^2}{g \cdot d_{50}} \right)^{0.95} - 5.0 \times 10^{-4} \dots\dots(12)$$

Table 7 The values of fixed number A, B and C , and the correlation coefficient between the $\frac{E}{\sigma \cdot d_{50}}$ and the $\frac{i^2}{g \cdot d_{50}}$

| Plot No. | Fixed number | | | Correlation coefficient | Number of data |
|-----------|--------------|------|----------------------|-------------------------|----------------|
| | A | B | C | | |
| 2 control | $10^{7.00}$ | 1.02 | 4.0×10^{-4} | 0.953*** | 31 |
| 3 | $10^{5.68}$ | 0.90 | 5.0×10^{-4} | 0.930*** | 29 |
| 1 | $10^{6.37}$ | 1.00 | 2.3×10^{-3} | 0.857*** | 26 |
| 4 | $10^{5.78}$ | 0.96 | 5.0×10^{-4} | 0.874*** | 25 |

*** Significance at the 0.1% level

(9), (10), (11), (12)式の関係を図示したのが、Fig. 11で、定数を取りまとめた結果は、Table 7に示すようである。第1試験地同様、すべての試験区において、(4)式の関係は、有意水準0.1%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。

また、第1試験地と第2試験地とにおける裸地区の資料を整理し、(4)式の関係を利用して、定数 A 、 B および C を求めると、次のようである。

$$\frac{E}{\sigma \cdot d_{50}} = 10^{6.31} \left(\frac{i^2}{g \cdot d_{50}} \right)^{0.92} - 2.0 \times 10^{-4} \dots\dots(13)$$

($r = 0.799$ *** $n = 58$)

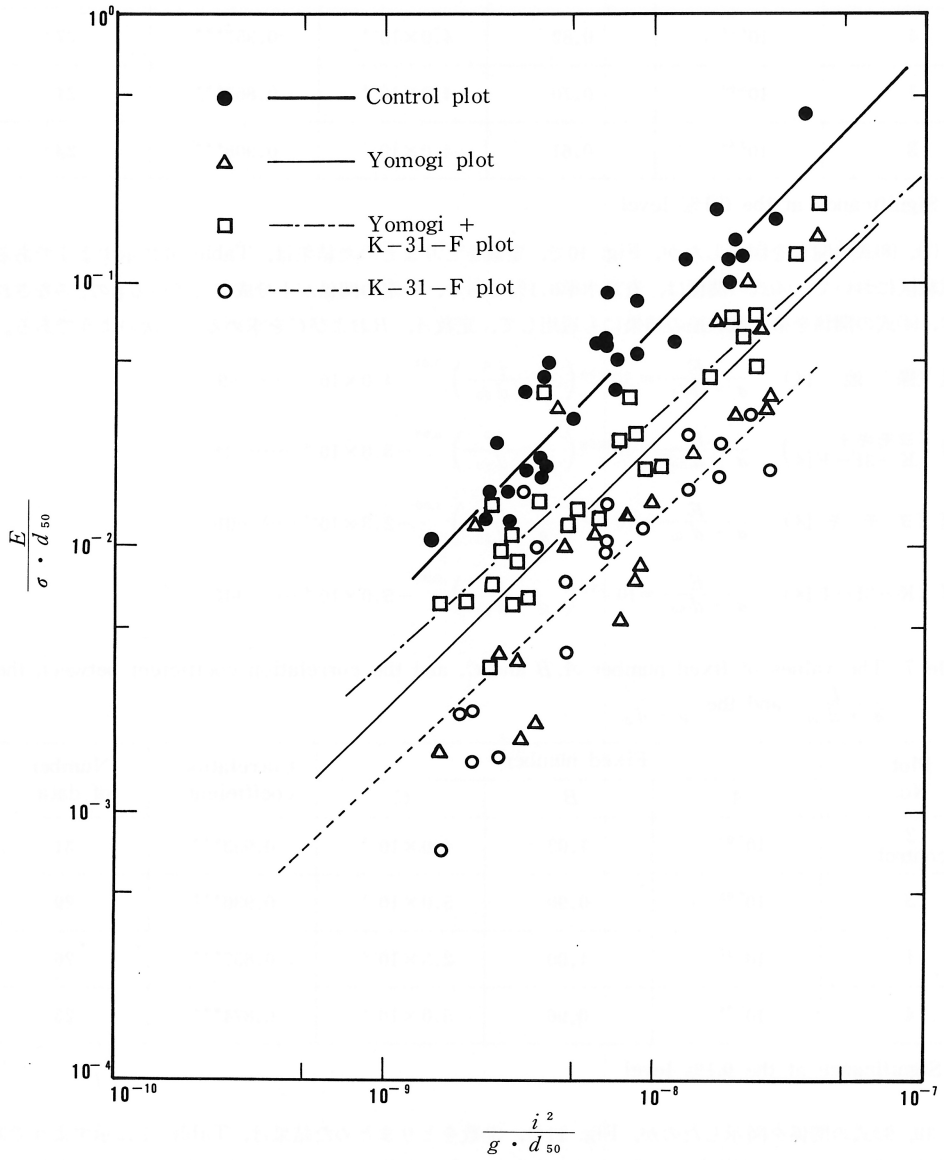


Fig. 11 The non-dimensional expressions of the sediment yield at the 2nd experimental site

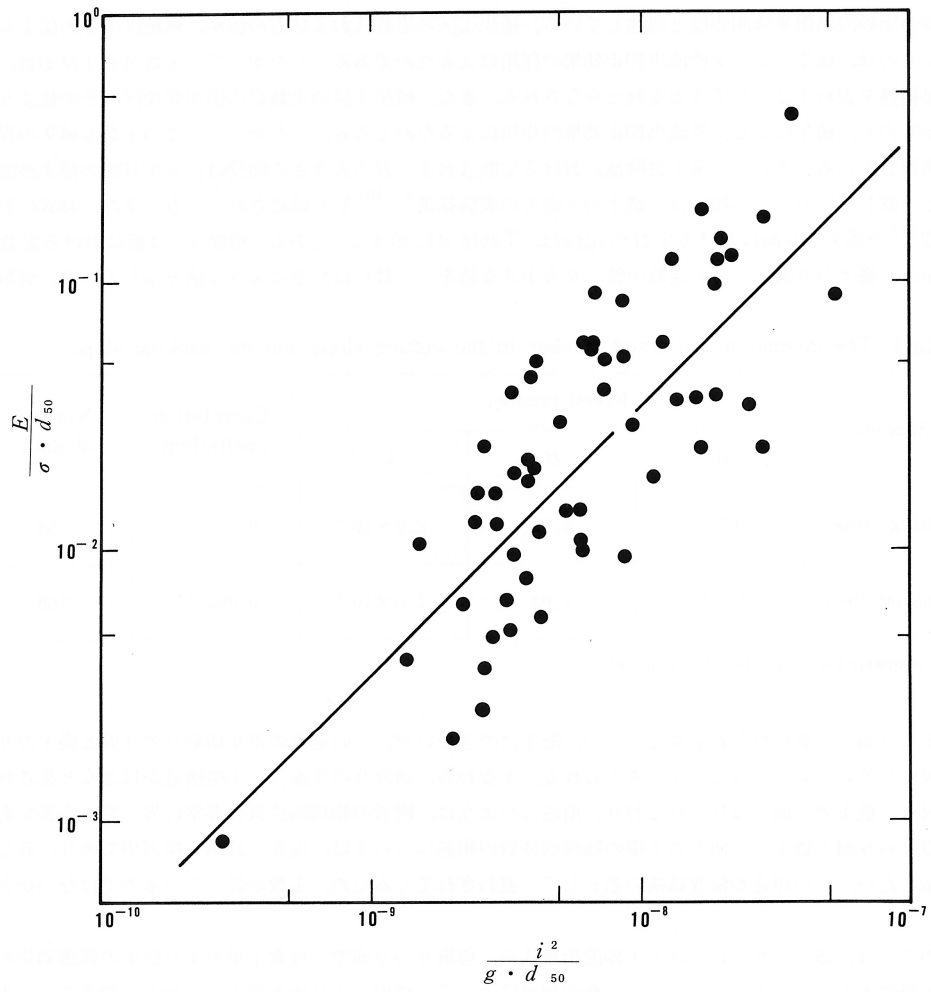


Fig. 12 The non-dimensional expressions of the sediment yield of the control plots at the 1st and 2nd experimental site

(13)式の関係を図示したのが、Fig.12である。(4)式の関係は、有意水準0.1%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。このことは、(4)式の関係は切り取りのり面においても、土壌硬度の相違に関係なく、土砂流出量を降雨強度との関連で、定量的に表示できるということを実証しているものと考えられる。

次に、それぞれの実験式の定数について、検討を試みる。定数Aは、両対数座標上における土砂流出量に関する無次元量と10分間最大降雨量に関する無次元量との直線関係において、 $i^2/g \cdot d_{50} = 1$ の時の値を示し、定数Bは、直線の勾配を表示している。定数Cは、相関係数が最も高くなるように、計算上求めたものであり、 $E = 0$ とおいた時の土砂流出限界降雨強度と関連している。植生工区の定数AおよびBの値が、裸地区のその値よりも小さな値を示すのは、植生による土砂流出抑止効果の作用によるためである。したがって、定数AおよびBは、植生の保護効果指標を表わすことができる定数とみなされる。また、植生工区の定数Cの値が裸地区のその値よりも大きな値を示すのも、植生による土砂流出抑止効果の作用によるためである。したがって、この定数も植生の保護効果指標と関連している。さらに、第1試験地における定数AおよびBの大きさの順位は、6ヶ月間の総土砂流出量の順位とも一致している。この傾向は、盛土のり面での実験結果^{8, 10)}でも確認されている。また、(13)式における定数と前報¹⁰⁾の盛土のり面における定数の比較は、Table 8に示すようである。切り取りのり面における定数AおよびBの値は、盛土のり面における定数の値よりも小さな値を、定数Cは、逆に大きな値を示している。切り取りのり

Table 8 The comparison of fixed number in the cutting slope and the banking slope

| Species | Fixed number | | | Correlation coefficient | Number of data |
|---------------|--------------|------|----------------------|-------------------------|----------------|
| | A | B | C | | |
| Cutting slope | $10^{6.31}$ | 0.97 | 2.0×10^{-4} | 0.799*** | 58 |
| Banking slope | $10^{7.24}$ | 1.03 | 1.0×10^{-5} | 0.895*** | 168 |

*** Significance at the 0.1% level

面と盛土のり面との資料数が若干異なるので、断定はできないが、この定数の差が切り取りのり面と盛土のり面との相違を表示しているものではないかと考えられる。すなわち、切り取りのり面は、土壌構造がほとんど乱されていないのに対し、盛土のり面では乱されており、前述したように、両者の物理的性質は非常に異っている筈である。なお、切り取りのり面と盛土のり面との土壌の物理的性質の相違については、現在、詳細に検討中であり、詳しくは、次報に示したい。この相違が侵食抵抗の差として、表わされてくるため、定数が異っているのではないかと考えられる。

以上のことは、盛土のり面における土砂流出量式が、切り取りのり面での侵食土量および植生の保護効果の推定式として有効であることを示し、さらに、定数の相違によって、切り取りのり面と盛土のり面との相違をも、表示できることを示すものと考えられる。

V おわりに

今後は、継続して実験をおこない、多くの資料を得て、切り取りのり面と盛土のり面における定数の相違を、それぞれのり面の特質を考慮しながら、モデル実験結果等をも加味し、理論的ないし物理的に究明していきたい。

引用文献

- 1) 江崎次夫・森田紘一：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・津田 修：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
- 5) 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
- 6) 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, 1979
- 7) 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 (IX) . 91回日林論, 425~426, 1980
- 8) 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
- 9) 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
- 10) 江崎次夫：盛土のり面の植生保護工に関する研究 (XII) . 愛媛大演報17 : 77~91, 1980
- 11) 江崎次夫：盛土のり面の植生保護工に関する研究 (XIII) . 92回日林論, 419~420, 1981
- 12) 林業土木施設研究所編：林道の構造物とのり面安定法, 374 pp, 農林出版, 東京, 1972
- 13) 伏見知道・渡部 桂・江崎次夫：米野々演習林林道のり面の保護工 (II) . 愛媛大演報 8 : 57~66, 1971
- 14) 伏見知道・渡部 桂・江崎次夫：米野々演習林林道のり面の保護工 (III) . 愛媛大演報10 : 61~70, 1973
- 15) 江崎次夫・伏見知道：日本産雑草類ののり面保護工に対する利用方法に関する研究 (II) . 愛媛大演報13 : 161~174, 1976
- 16) 江崎次夫：日本産雑草類ののり面保護工に対する利用方法に関する研究 (IV) . 日林九支論31 : 299~300, 1978
- 17) 大味新学・綱本皓二：山腹工法面の侵食に関する研究. 日林誌49(7) : 286~292, 1967
- 18) 愛媛地学会：愛媛県地質図 (20万の1) . トモエヤ, 1980
- 19) 松山地学会：松山市付近の地質図 (5万の1) . トモエヤ, 1980

(1981年 8月31日受理)