

## 盛土のり面の植生保護工に関する研究 (VII)

### 盛土実験斜面における土砂流出量実験式の 植生工区への適用について

江崎 次夫\*

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

On the utilization of empirical equation of the sediment yield to the  
vegetation work plots on the experimental banking slope

Tsugio EZAKI

**Summary :** Subsequently to the previous study (I), this study is concerned with the results of detailed research. The results may be summarized as follows:

1. The following formula also holds for the observed values at the vegetation plots.

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

where :  $E$  = sediment yield (gr/cm<sup>2</sup>)

$\sigma$  = density of sediment (gr/cm<sup>3</sup>)

$d$  = grain-size of sediment (cm)

$i$  = maximum 10-minutes rainfall intensity (cm/sec.)

$g$  = acceleration of gravity (cm/sec.<sup>2</sup>)

$A, B$  and  $C$  = constant

2. In Yomogi plots, the growth height has considerable influence on the fixed number  $A$  and  $B$ . On the other side, in K-31-F plots, the soil hardness has considerable influence on the fixed number  $A$  and  $B$ .

**要旨** のり面裸地区の土砂流出量を、10分間最大降雨量との関連で、無次元表示し、土砂流出量を定量的に表示することのできる土砂流出量実験式の、植生工区への適用性ならびに定数の持つ意味について、検討した。結果を要約すると、次のとおりである。

- 1) 提案した次式は、植生工区においても、定数 $A$ 、 $B$ および $C$ を変化させることによって、適用が可能である。

\* 附属演習林 University Forest

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

ここに、 $E$ は単位面積当りの土砂流出量 (gr/ cm<sup>2</sup>)、 $\sigma$ は土の密度 (gr/ cm<sup>3</sup>)、 $d$ は流出土砂の粒径 (cm)、 $g$ は重力の加速度 (cm/ sec<sup>2</sup>)、 $i$ は10分間最大降雨量 (cm/ sec.)、 $A$ 、 $B$ および $C$ は定数。

2) ヨモギ区の定数 $A$ および $B$ は、植生の生育量に影響されるが、K-31-F区の定数 $A$ および $B$ は、土壌の締め固めに影響される。

## I はじめに

本研究の目的は、盛土のり面に植生保護工を施工した場合の保護効果を定量的に表示することである。そのために、基礎となる裸地区の土砂流出量実験式を提案(1)し、その有効性についても、すでに検討を試みた(2)。次に重要となるのが、植生保護工に利用されるヨモギ、クズ、ススキ、ノシバ、フジ等の日本産雑草類やK-31-F、W-L-G、バミュダグラス等の外国産イネ科草本類の、植生の効果を、定量的に表示する具体的方法である。そこで、本報告では、九州大学粕屋地方演習林に設置されている斜面ライシメーターを利用した盛土のり面の植生工区の資料を基に、提案した土砂流出量実験式が、植生工区においても、定数を変化させることによって、適用が可能であるかどうかの、検討を試み、さらに、その定数の持つ意味について、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ならびに九州大学粕屋地方演習林の方々に、深謝の意を表す。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、伏見知教授、小川 滋助教授に、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90回日本林学会大会(東京)で発表した。

## II 資 料

解析には、九州大学粕屋地方演習林に、昭和52年5月～6月に設定されたコンクリート製のライシメーターを利用した盛土実験斜面における昭和52年6月より12月までの、約6ヶ月間の測定資料を用いた。

ライシメーターには、一試験区幅2m、斜面長2.2m、傾斜角30°、水平長1.91mの盛土実験斜面を、12区配置している。土壌の締め固め程度計測には、山中式土壌硬度計を用い、①硬度指数15mm前後、②20mm前後および③25mm前後の3種類に区分し、供試土壌は、赤土とマサ土とを用い、植生は、ヨモギとK-31-Fとを用いている。試験区の配置、植生および土壌の種類と土壌の締め固めとの関係は、Fig. 1に示すようである。なお、試験地の概況および実験方法の詳細は、前報(1)に掲載しているので省略する。

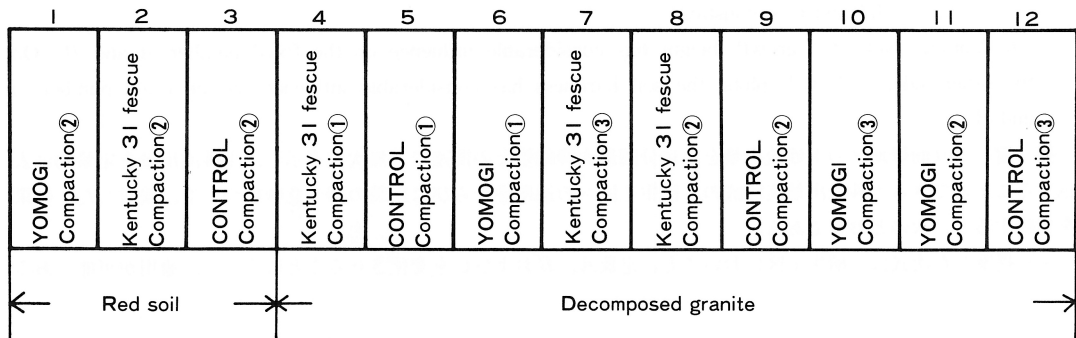


Fig.1 Arrangement of experimental plots

### III 結果および考察

#### 1) 土砂流出量実験式の植生工区への適用について

前報( I )において、斜面長および勾配が一定の場合、単位面積あたり、裸地区の土砂流出量 $E$ は、土の密度 $\sigma$ 、重力の加速度 $g$ 、流出量砂の粒径 $d$ および10分間最大降雨量 $i$ の関数で表示できると考えた。すなわち

$$E = f(\sigma \cdot g \cdot d \cdot i) \dots\dots\dots(1)$$

(1)式の関係を次元解析により、無次元表示し、次のように表わした。

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

式中 $A, B, C$ は定数

(2)式の間を裸地区の土砂流出量実験式として、提案し、その有効性については、すでに検討を試みた( 2 )。

今回、各植生の効果を定量的に表示するため、裸地区の土砂流出量実験式が植生工区においても、適用が可能であるかどうかについて検討を試みる。

(2)式において、 $d$ は $d_{50}$  (中央粒径)を用いて、各植生工区の結果を整理して、定数 $A, B$ および $C$ を求めると、次のようである。

$$1 \text{ 区 } \quad \frac{E}{\sigma \cdot d_{50}} = 10^{6.12} \left( \frac{i^2}{g \cdot d_{50}} \right)^{0.97} - 4.0 \times 10^{-2} \dots\dots\dots(3)$$

$$2 \text{ 区 } \quad \frac{E}{\sigma \cdot d_{50}} = 10^{5.71} \left( \frac{i^2}{g \cdot d_{50}} \right)^{0.91} - 5.0 \times 10^{-3} \dots\dots\dots(4)$$

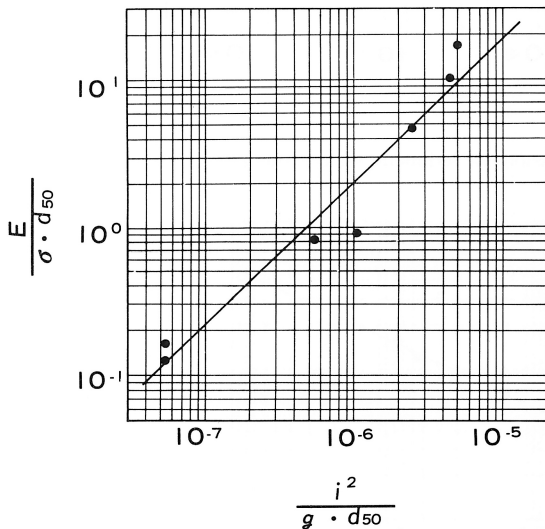


Fig.2-1 Non-dimensional expressions of sediment yield in No.1-plot

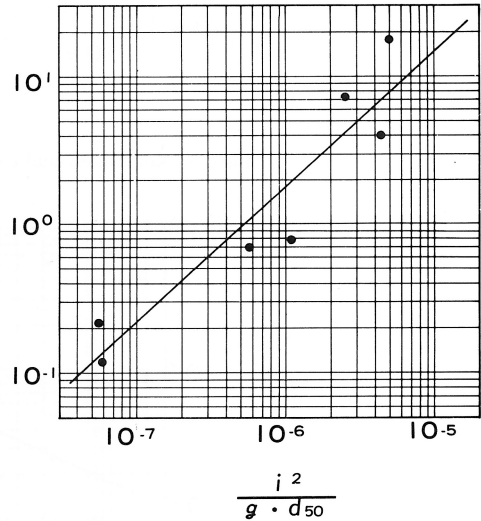


Fig.2-2 Non-dimensional expressions of sediment yield in No.2-plot

$$4 \text{ 区} \quad \frac{E}{\sigma \cdot d_{50}} = 10^{0.28} \left( \frac{i^2}{g \cdot d_{50}} \right)^{0.31} - 1.0 \times 10^{-3} \dots\dots(5)$$

$$6 \text{ 区} \quad \frac{E}{\sigma \cdot d_{50}} = 10^{2.13} \left( \frac{i^2}{g \cdot d_{50}} \right)^{0.46} - 3.0 \times 10^{-3} \dots\dots(6)$$

$$7 \text{ 区} \quad \frac{E}{\sigma \cdot d_{50}} = 10^{2.42} \left( \frac{i^2}{g \cdot d_{50}} \right)^{0.51} - 1.0 \times 10^{-4} \dots\dots(7)$$

$$8 \text{ 区} \quad \frac{E}{\sigma \cdot d_{50}} = 10^{0.13} \left( \frac{i^2}{g \cdot d_{50}} \right)^{0.22} - 9.0 \times 10^{-3} \dots\dots(8)$$

$$10 \text{ 区} \quad \frac{E}{\sigma \cdot d_{50}} = 10^{-0.47} \left( \frac{i^2}{g \cdot d_{50}} \right)^{0.13} - 1.5 \times 10^{-2} \dots\dots(9)$$

$$11 \text{ 区} \quad \frac{E}{\sigma \cdot d_{50}} = 10^{0.49} \left( \frac{i^2}{g \cdot d_{50}} \right)^{0.30} - 2.0 \times 10^{-4} \dots\dots(10)$$

(3)式から(10)式までの関係を図示したのが、Fig. 2である。なお、比較のために、裸地区の関係を示せば、次のようである。

$$\frac{E}{\sigma \cdot d_{50}} = 10^{6.59} \left( \frac{i^2}{g \cdot d_{50}} \right) - 4.3 \times 10^{-2} \dots\dots(11)$$

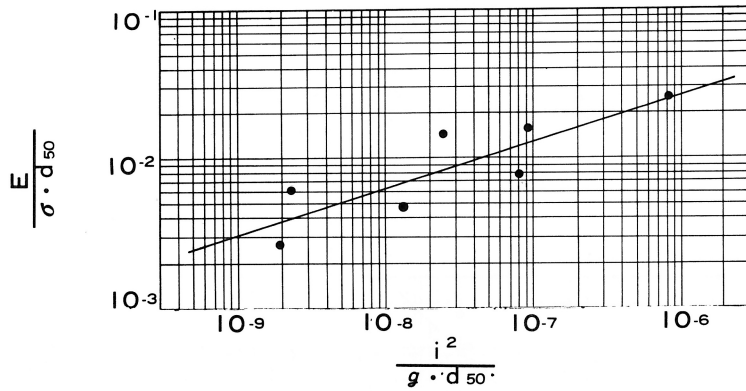


Fig.2-3 Non-dimensional expressions of sediment yield in No.4-plot

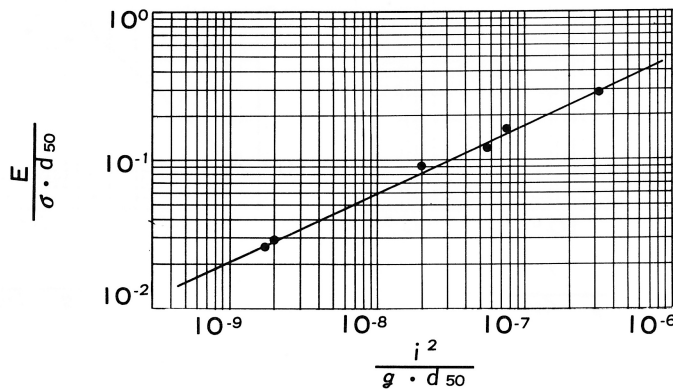


Fig.2-4 Non-dimensional expressions of sediment yield in No.6-plot



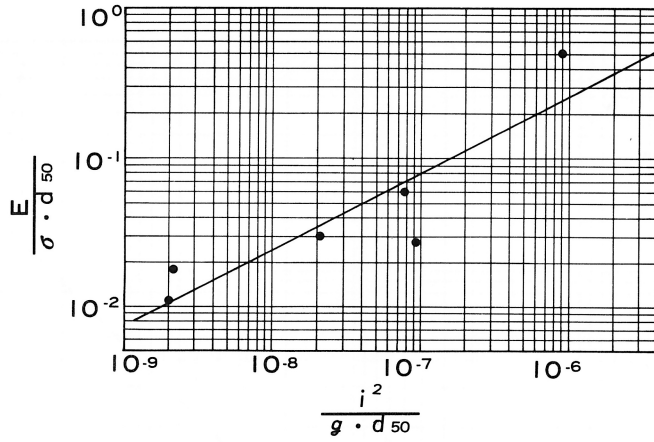


Fig.2-5 Non-dimensional expressions of sediment yield in No.7-plot

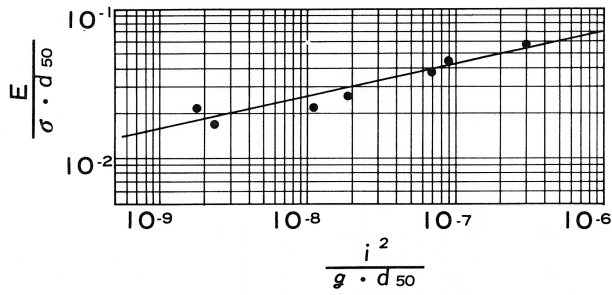


Fig.2-6 Non-dimensional expressions of sediment yield in No.8-plot

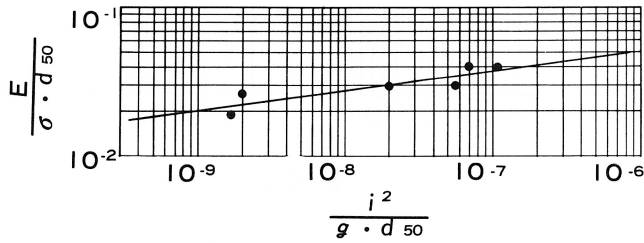


Fig.2-7 Non-dimensional expressions of sediment yield in No. 10-plot

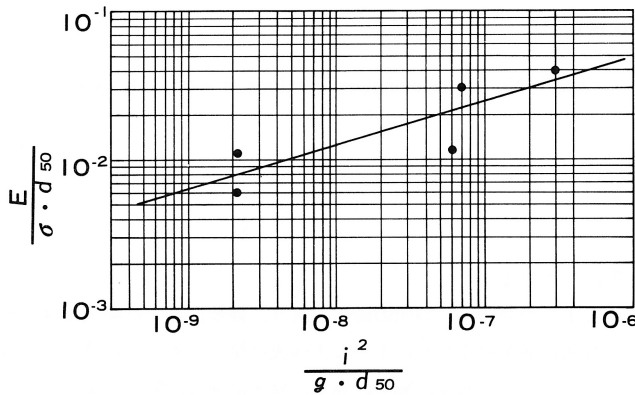
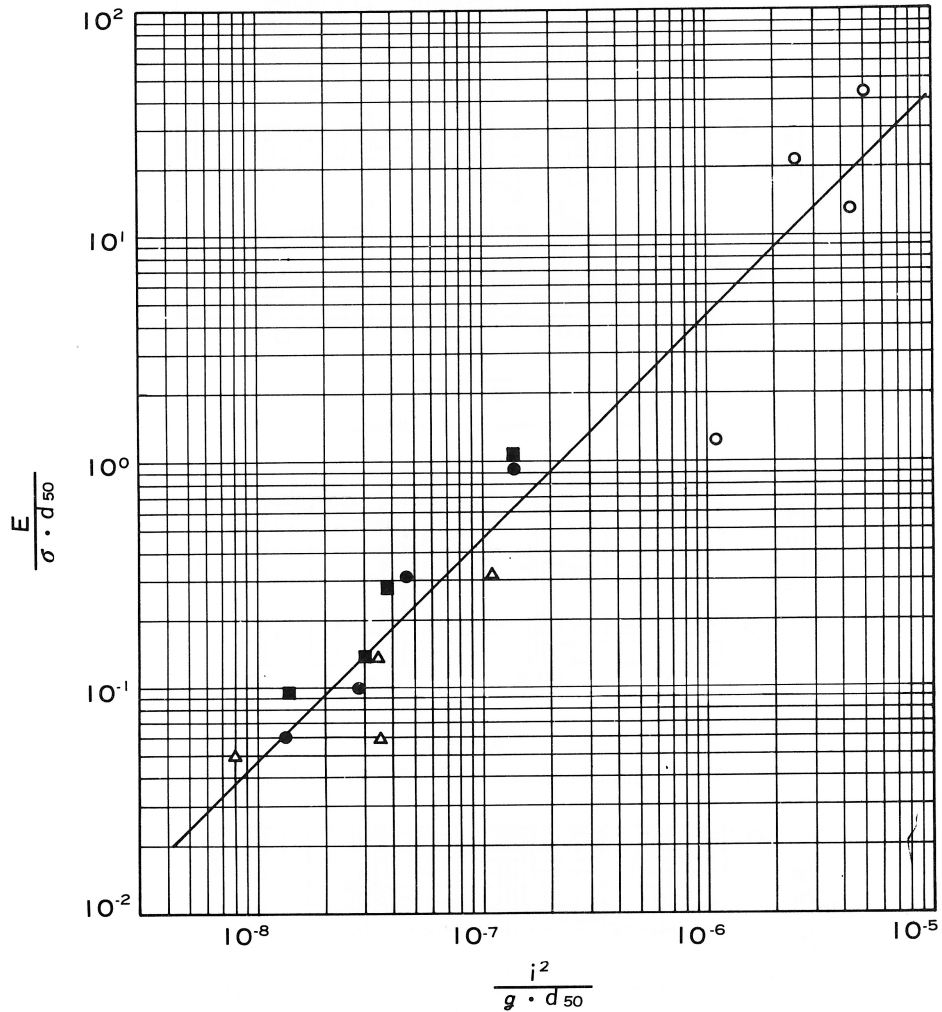


Fig.2-8 Non-dimensional expressions of sediment yield in No. 11-plot



Decomposed granite                      Red soil  
 Δ No.5 plot    ■ No.12 plot                      ○ No.3 plot  
 ● No.9 plot

Fig.3 Non-dimensional expressions of sediment yield

(11)式の関係を図示したのが、Fig. 3である。

昭和52年6月12日より12月1日までの期間に、33回の降雨があり、裸地区および植生工区とも、18回の土砂流出が認められた( $I$ )。その内、粒度試験をおこなうに十分な土砂流出量が認められた降雨は、各植生工区によって相違し、1区、2区および8区については、No.4、No.5、No.6、No.8、No.10、No.11およびNo.17の7降雨であり、6区、7区および10区については、No.4、No.5、No.6、No.8、No.11およびNo.17の6降雨であり、11区については、No.5、

Table 1 The coefficient of correlation of vegetation plots

| Plot No.                   | 1         | 2         | 4        | 6         | 7        | 8         | 10       | 11       |
|----------------------------|-----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|----------|
| Coefficient of correlation | 0.9687 ** | 0.9378 ** | 0.8479 * | 0.9968 ** | 0.8896 * | 0.9406 ** | 0.8878 * | 0.8457 * |
| Number of data             | 7         | 7         | 7        | 6         | 6        | 7         | 6        | 5        |

\*Significance at the 5% level

\*\*Significance at the 1% level

No.6, No.8, No.11およびNo.17の5降雨であった。各植生工区の相関係数は、Table 1に示すようである。資料数は少ないが、全ての植生工区で、非常に高い相関関係が認められた。すなわち、1区、2区、6区および8区で有意水準1%、4区、7区、10区および11区で5%であって、一定の傾向が十分成立しているものとみなされる。このことは、裸地区の土砂流出量実験式である(1)式は、植生工区においても、その定数A、BおよびCを変化させることによって、十分適用が可能であるということを裏付けているものと考えられる。

## 2) 定数A、BおよびCについて

各植生工区の定数A、BおよびCと諸要素との関係は、Table 2に示すようである。定数AおよびBの大きさの

Table 2 The relation between the fixed number A, B or C and the each factor

| Plot No.                 | Soil               | Vegetation | Soil hardness<br>mm | Fixed number |      |                      |
|--------------------------|--------------------|------------|---------------------|--------------|------|----------------------|
|                          |                    |            |                     | A            | B    | C                    |
| 1                        | Red soil           | Yomogi     | 20                  | $10^{6.12}$  | 0.97 | $4.0 \times 10^{-2}$ |
| 2                        | Red soil           | K-31-F     | 20                  | $10^{5.71}$  | 0.91 | $5.0 \times 10^{-4}$ |
| 4                        | Decomposed granite | K-31-F     | 15                  | $10^{0.28}$  | 0.31 | $1.0 \times 10^{-3}$ |
| 6                        | Decomposed granite | Yomogi     | 15                  | $10^{2.13}$  | 0.46 | $3.0 \times 10^{-3}$ |
| 7                        | Decomposed granite | K-31-F     | 25                  | $10^{2.42}$  | 0.51 | $1.0 \times 10^{-4}$ |
| 8                        | Decomposed granite | K-31-F     | 20                  | $10^{0.13}$  | 0.22 | $9.0 \times 10^{-3}$ |
| 10                       | Decomposed granite | Yomogi     | 25                  | $10^{-0.47}$ | 0.13 | $1.5 \times 10^{-2}$ |
| 11                       | Decomposed granite | Yomogi     | 20                  | $10^{0.49}$  | 0.30 | $2.0 \times 10^{-4}$ |
| 3, 5, 9, 12<br>(control) | Red soil           |            |                     |              |      |                      |
|                          | Decomposed granite |            | 15.22, 25           | $10^{6.59}$  | 1.00 | $4.3 \times 10^{-2}$ |

順位は、6月12日より、12月1日までの、約6ヶ月間の総土砂流出量の大きさの順位とほとんど同じである。定数AおよびBと土壤の締め固めとの関係は、Fig. 4に示すようである。ヨモギ区においては、土砂流出量が増大するにつれ、定数AおよびBの値は、減少しており、この傾向は、総土砂流出量と土壤の締め固めとの関係を示した、Fig. 5におけるヨモギ区の傾向と同一である。しかし、K-31-F区では、一度減少し、再び増大している。これは、資料が少ないためか、あるいは資料のバラツキのためではないかと考えられるが、さらに検討してみる必要がある。総土砂流出量と土壤の締め固めとの関係を示したFig. 5におけるK-31-Fおよびヨモギの傾向ならびに、Fig. 4とFig. 5におけるヨモギの関係から推察して、資料数が多くなれば、Fig. 4における定数AおよびBと土壤の締め固めとの関係は、土壤の締め固めの増大に伴い、増加傾向を示すものではないかと考える。つまり、定数AおよびBと土壤の締め固めとの関係と、定数AおよびBと総土砂流出量との関係は、まったく逆の傾向を示すものではないかと考える。

Fig. 5に示すように、マサ土面におけるヨモギ区の土砂流出量は、土壤の締め固め度合が増すにつれ、減少傾向を示し、裸地区やK-31-Fとは、まったく逆の傾向を示している。これは、マサ土面のヨモギ区の場合、土壤の

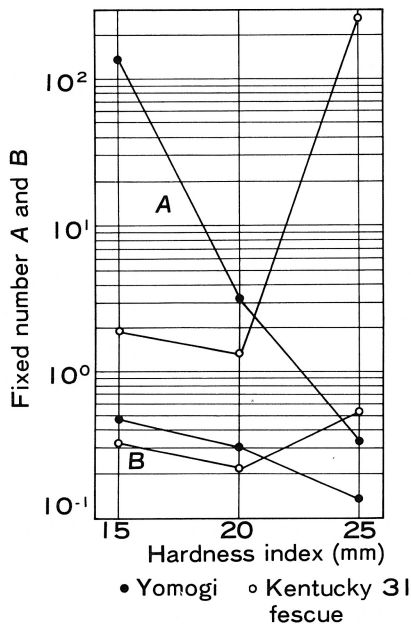


Fig.4 The relation between the fixed number A or B and the soil hardness on compaction in the decomposed granite plots

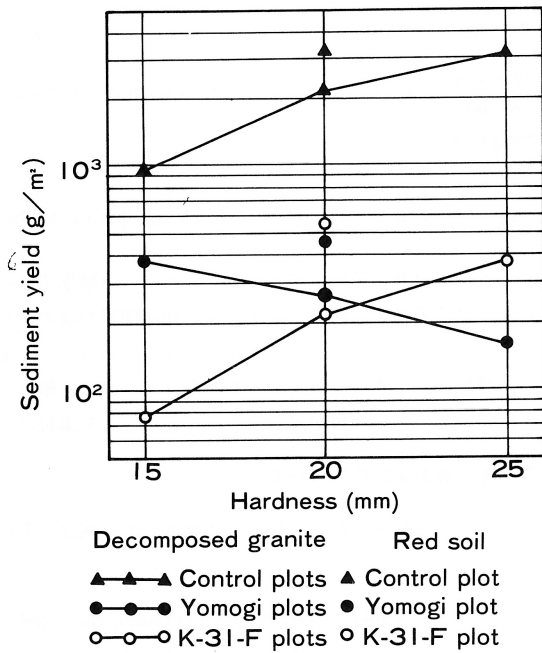


Fig.5 The relation between the sediment yield and the soil hardness based on compaction

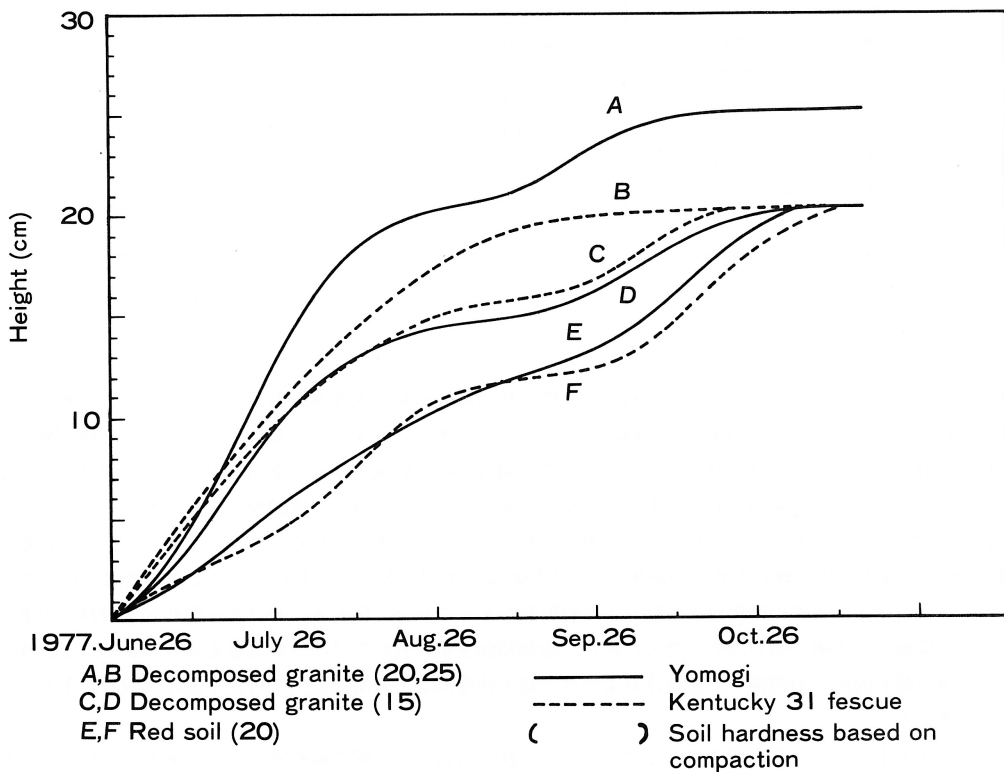


Fig.6 The growth curve of each grass

締め固め度合が増すにつれて、Fig. 6 に示すように、植生の生育が良好になり、植生による土砂流出抑止効果が顕著になったため、裸地区やK-31-Fとは、まったく逆の傾向を示したものと考えられる。なお、Fig. 6 では、草丈の平均値で示しているために、硬度指数20mm区と25mm区とでは、生長曲線は同じであるが、実際には、25mm区に草丈のバラツキが認められる。それゆえ、バラツキしている区は、比較的均一な区に比べ、雨滴の乱される度合が大きくなって、従来同様(1)、かなりの抑止効果を示し、Fig. 5 に示すように、25mm区の土砂流出量が少なかったものと考えられる。つまり、ヨモギ区の場合、土壤の締め固めの相違による影響よりも、いかに植生の効果の影響が大きいかどうかかえる。このことおよび、Table 2 ならびにFig. 3 から、ヨモギ区において、土砂流出量に最も大きな影響を及ぼす要素は、植生の生育量であると考えられる。すなわち、ヨモギ区の定数AおよびBの変化は、ヨモギの生育量の変化によるものと考えられる。

これに対し、K-31-Fの場合、土砂流出量は、土壤の締め固め度合が増すにつれて、増加傾向を示し、この傾向は、裸地区の場合とまったく同様である。各区の土壤の締め固めの相違によるK-31-Fの生育量は、Fig. 6 に示すように、あまり相違が認められないため、植生の効果の相違が、あらわれず、定数A、Bの値は、各締め固め度合において、同じような数値となり、結局、土壤の締め固めの相違のみによる変化があらわれたものと考えられる。

次に、Table 2 に示すように、マサ土面のヨモギ区およびK-31-Fの硬度指数20mm区の定数AならびにBと、赤土面の硬度指数20mm区のその定数とでは、AおよびBともに、著しい差が認められる。このことは、赤土面でのヨモギおよびK-31-Fの生育は、マサ土面に比べ、相対的に劣ることを意味するものであろう。実際、このことは、Fig. 6 の生長曲線から立証されている。赤土面でのヨモギおよびK-31-Fの生育が、マサ土面に比べて劣る傾向は、愛媛大学米野々演習林試験地でも認められており(3)、この原因は、赤土には、マサ土に比べ、粘土分が多いために、根が入りにくいと、土壤孔隙が少ないために、根の呼吸および水分吸収が妨げられ、生育が抑制されたためだと考えられる。さらに、Table 1 に示すように、マサ土面の硬度指数15mm区および20mm区においては、いずれも、K-31-F区の定数AおよびBの値が、ヨモギ区のその定数値よりも小さくなっている。しかし、硬度指数25mm区では、逆に、ヨモギ区の定数AおよびBの値の方が小さくなっている。つまり、硬度指数20mmまでの土壤の締め固め度合であれば、土砂流出抑制効果程度そのものは、相対的にK-31-F区がすぐれているが、それを越えると、逆に、ヨモギ区の効果程度が相対的にすぐれていることを意味するものと考えられる。このことは、Fig. 5 に示すように、実際の現象を正しく表現している。つまり、今後、植生保護工を施工する場合、使用植生の特徴を十分認識し、それに応じた土壤の締め固めを考える必要性を示唆しているものと考えられる。赤土面で、K-31-Fの定数AおよびBの値は、ヨモギ区のその値よりも小さい。すなわち、定数AおよびBを比較するかぎりでは、赤土面で、K-31-Fの土砂流出抑制効果量がわずかに、すぐれていると考えられるが、実際には、その逆で、わずかに、ヨモギ区の方がすぐれている。これは、最初に述べた通り、資料数が少ないためか、あるいは資料のバラツキの影響ではないかと考える。

定数Cと土壤の締め固めとの関係は、Fig. 7 に示すようである。ヨモギ区とK-31-Fとでは、まったく逆の傾

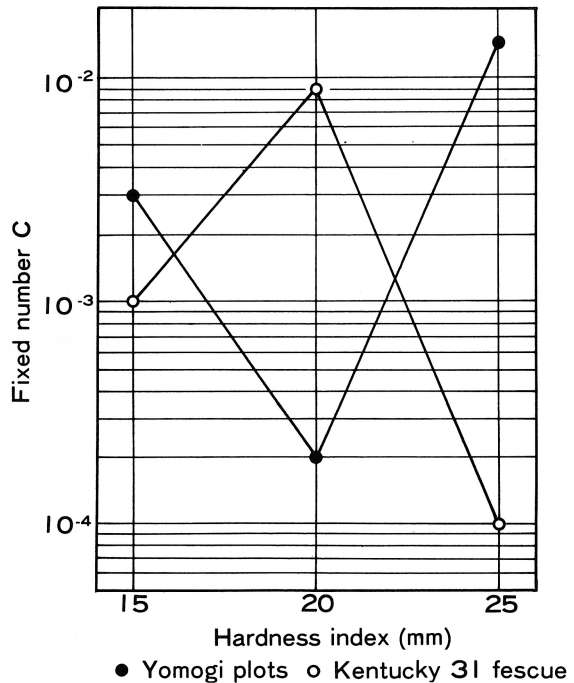


Fig.7 The relation between the fixed number C and the soil hardness on compaction in the decomposed granite plots

向を示している。この因子は、各植生の形態的特質（イネ科・キク科等）か、あるいは、土壌の性質と関連した因子ではないかと推測されるが、現時点では、資料が少なくなんともいえない。

#### IV お わ り に

裸地区の資料を基にした土砂流出量実験式が、植生工区においても適用できるかどうかを検討した。その結果、1年目においては、十分適用可能であると考えられた。さらに、定数 $A$ 、 $B$ および $C$ は、植生、土壌の種類および土壌の締め固めの相違によって、変化することが確認された。今後は、各植生の特質を明確にすることにより、定数 $A$ 、 $B$ および $C$ との関連について究明し、各植生の定量的な表示法を確立したい。

#### 引 用 文 献

- (1) 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
- (2) 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
- (3) 江崎次夫：盛土のり面の植生保護工に関する研究（Ⅺ）．（未発表）

(1979年8月31日受理)