

地面浸食による裸地斜面の終局的粒度分布について

土 屋 義 人

FINAL SIZE DISTRIBUTION OF SANDS ON LAND SURFACES ERODED BY RAIN WATER FLOW

by Yoshito TSUCHIYA

Synopsis

It is generally difficult to analyze hydraulically the mechanism of water erosion of land surfaces because of the greatly complicated phenomena. With the development of erosion process, characters of sands on the land surface change and especially the median diameters of sands become large. It is necessary for the considerations on the conservation of land surface to disclose the erosion process and the final stage of land surfaces.

In this paper, changes of size distribution of sands, especially the final size distribution, and resistance law of thin sheet flow on land surfaces, which are both significant problems in solving the phenomena of water erosion, are considered experimentally. The author proposes a rough treatment to estimate the final size distributions, based on the study of critical tractive forces. It is assumed in the treatment that all of fine sand grains less than the critical size calculated by applying the relation of critical tractive force to the rain water flow, will be transported downstream if sufficient years is taken in the erosion process. The treatment is applied to the both experimental and field data, and it is cleared that the calculated size distributions for final stage agree well with the observed data and, conclusively speaking, results obtained in the study of critical tractive forces can approximately be used to such problems for practical use.

1. 結 言

雨水流による地面浸食の現象は一般に流水の作用によつて土砂が剥離し、これが下流に流送されることによつて進行する¹⁾。その過程は洪水や高潮のように急激なものではないが、それに対して何らかの制御を考慮しないと、現象は次第に進行し、遂には大きな災害の原因となる。この地面浸食の現象は流水と土砂との間にもたらされる極めて複雑な関係に基づくので、その水理学的な取扱い、とくに現象に対する普遍性のある考察は一般に困難といわねばならない。このことから、一方こうした問題についての研究は、その水工学上の現実的な要求の範囲内においては、どんな典型的な現象をとりあげて論じても、それらの成果が一応普遍性を欠かないものであれば、今後の研究の基礎として十分役立つものと考えてよいであろう。

一般に地面浸食の進行にともなつて、前述したように地面を構成している土砂は剥離し下流へと流送されていくが、その過程において土砂の特性と雨水流の剥離作用力および輸送能力との関連から、地表面を構成している土砂の特性は変遷し、通常その代表的な大きさは漸次大きくなっていく。この過程についての考察は、山腹斜面の保全とかあるいは農地とくに傾斜地の保全上、その浸食土砂防止の対策とともに極めて重要なことはいうまでもなく、またその過程の終局的状態に対する考察は以上の保全についての考察の基礎資料

や一つの保全対策をあたえるであろう。

以上のような理由から、この研究においては地面浸食にともなう裸地斜面の特性の変遷について、主として実験的な考察を進め、裸地斜面上を流れる薄層流の抵抗法則および斜面の表面を構成している土砂の特性の変遷、とくにその終局的状態について考察した結果について述べる。その終局的状態の推定にあたっては、限界掃流力に関する研究²⁾のこうした問題への一つの応用として考察することにし、一樣流れによる場合および実在の裸地斜面における実測結果の両者にこの考えを適用し実証的に検討を進めて、こうした地面浸食の一つの現象を説明し、限界掃流力の応用の一つとしたいと思う。

2. 一樣流れによる裸地斜面の終局的粒度分布

緒言において述べたように、地面浸食の進行にともなう裸地斜面の特性の変遷について考察するために実施した実験の結果について述べる。

(1) 実験装置および実験方法

実験水桶は幅 13cm、深さ 11cm で長さ 3m であり、その中流部にさきに発表した研究³⁾の場合と同様に、流速測定用のピックアップがとり付けられている。この水桶に多治見市田子山の等高線壕工法に関する試験地⁴⁾における第7斜面から採取した山腹表土をできるだけ一樣につめ、十分長期間放置したのち実験を行なった。その表土の粒度分布は Fig. 1 に示すとおりである。

流量を後述する第7斜面における最大流出量に合わせて通水し、実験を開始してから各時間ごとに摩擦抵抗係数、流出土砂量とその特性および表面を構成する土砂の特性などの変遷について、いままでの研究と同様な方法によって実験を行なった。ただし、表面の土砂の特性の測定にあたっては、地面浸食の進行にともなう、その浸食が及

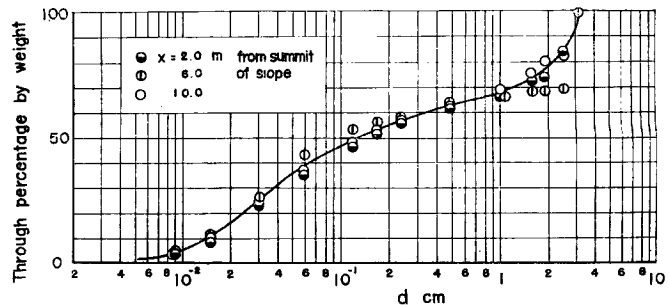


Fig. 1 Sieve analysis curve of used sandy soil

んでいる境界をあらゆる浸食面が明確に形成されたので、いつたん流水を止めて若干乾燥させてから、その表面にあるもののみを水桶の上、中および下流部の三つに分けて採取し、そのフルイ分け測定を行なったのち、それぞれもとの位置になるべく一樣に敷きならべたのである。以上のような実験を実験開始後通水 102 日まで続けた結果について述べる。

(2) 実験結果とその考察

(i) 抵抗法則の変遷：摩擦抵抗係数と Reynolds 数との関係は、水深が極めて小さいこのような流れに対しては、近似的に

$$A = \beta / R_e \dots\dots\dots (1)$$

によつてあらわされる⁵⁾。ここに、 A は摩擦抵抗係数であり、 R_e は平均流速と水深によつてつくられる Reynolds 数をあらわし、また β は土砂面の状態をあらわす無次元の定数である。上記の実験においても、同様な傾向を示すことがわかつたので、各時間における β の値は(1)式によつて求めたが、まずこの β の値の変遷について考察する。Fig. 2 は以上の方法によつて測定した β の変遷を示したものである。この結果から、地面浸食の進行にともなう、 β の値が最初かなり急速に増加し、極めて実験値はちらばつていますが、ある終局的な値に近づくものと考えられる。また後述する表面構成土砂の中央粒径の変遷に関する実験結果と比較して、その終局値に近づく傾向は β の方が極めて急速であることがわかる。これは水深が極め

て小さい水流であるために、浸食面上にある程度比較的大きい砂礫が露出してしまうと、それ以後増加する大きい砂礫の効果は流れの抵抗法則としてはほとんど作用しないためであろう。こうした β の変遷の過程を表面の土砂の特性と関連させて推定することは、 β に対して一般的な結果が得られない限り極めて困難といわねばならないであろう²⁾。

なお、Fig. 3 は 76 および 102 日現在における摩擦抵抗係数と Reynolds 数との関係を示したものである。この結果によれば、 $\beta=152$ 程度であることがわかるので、Fig. 2 に $\beta=152$ に相当する直線を示しておいた。

(ii) 表面土砂の特性の変遷：表面土砂の特性がどのように変遷し、終局的にいかなる粒度分布を示すかを考察するにあたり、まず流出土砂の二、三の特性に関する実験結果について述べる。

Fig. 4 は流出土砂の最大粒径を代表するものとして、そのフルイ分け曲線において 95% に対応した粒径 d_{95} を採用し、その時間的変化を示したものである。図中に示した $d_c=0.504$ cm の直線は、Fig. 2 において終局的状態と考えられる β の値として $\beta=152$ を用いた場合の流水の掃流力によつて移動しうる限界の砂礫の大きさを、限界掃流力に関する岩垣公式²⁾によつて求めた結果である。こうして求めた砂礫の大きさは実験値に較べて平均的にはかなり大きくあらわれており、一方実験値は非常に散乱している。流出土砂の大きさに関する詳細な考察を行なうためには、流出土砂を採取する時間の長さが問題となり、とくに現象が極めて緩慢であることから、一般に十分長時間の測定を必要とするわけであるが、Fig. 4 に示した結果は以上の点については十分とはいふことができず、したがつてこうした問題に対する適格な議論を行なうことはむずかしいといわねばならない。このことから、この研究においては緒論でも述べたように、限界掃流力に関する研究のこうした問題への応用を考察するわけであるが、その場合流出した砂礫の特性をもとにして直接検討する代りに、砂礫が流出して最後に形成される浸食面上の砂礫の特性を対象として、その応用の妥当性を考察することによ

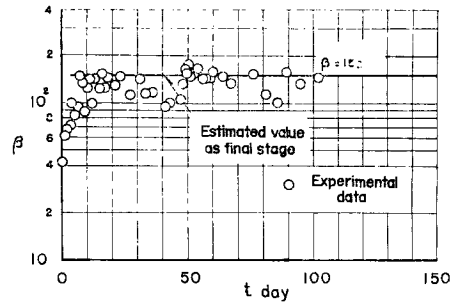


Fig. 2 Hourly variation of β

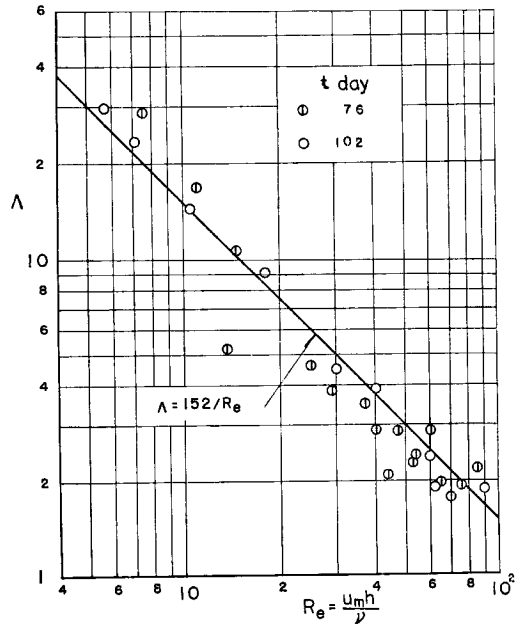


Fig. 3 Relation between λ and R_e in 76 and 102 days

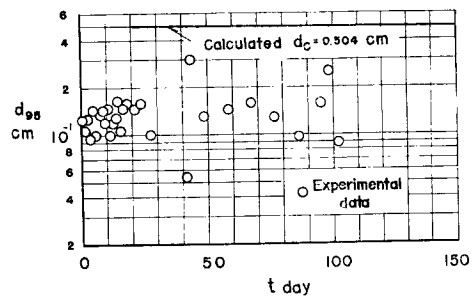


Fig. 4 Hourly variation of a maximum size, expressed by d_{95} , of sand grains transported downstream

る。

一方流出土砂量は通水直後において最大を示し、時間の経過とともにかなり急速に減少していくことが見出されたが、これは抵抗法則の変遷とともに、土砂の剥離の過程に基づくことはいうまでもない。しかしそうした現象に対する詳しい考察はここでは直接関係がないので省略する。

つぎに、表面土砂の特性の一つである中央粒径の変遷について考察すれば Fig. 5 が得られる。一般に斜面の上、中および下流部のそれぞれにおいて中央粒径の大きさは相違し、上流ほど同一時刻においては大きい値を示すが、図中の実験値はこれら三つの平均値をあらわしている。この結果によれば、中央粒径は地面浸食の進行にともなつてかなり急速に増大していくことがわかる。

いま、図中に示した終局的な粒度分布における中央粒径の推定について述べれば、つぎのようである。まず原土の土砂の粒度分布をあらわすのに、その最大および最小の粒径をそれぞれ d_{min} および d_{max} とした連続分布関数 $f(d)$ を考える。さて十分長い間水を通して地面浸食が進行し、浸食面上の土砂面を構成する砂礫の粒度分布が時間的に変わらなくなつた場合を考えよう。そうした状態において、流水の掃流力によつて移動しうる砂礫の大きさは一定であると考えことにすれば、十分長い浸食過程によつて形成される浸食面上の砂礫の分布関数は規格化のための比例定数を a として $af(d-d_e)$ によつてあらわされるであろう。ここに、 d_e はその移動限界にある砂礫の大きさをあらわす。したがつて、その粒度加積曲線を $F(d)$ とすれば、

$$F(d) = \left\{ \int_{d_e}^d f(d-d_e) dd \right\} / \left\{ \int_{d_e}^{d_{max}} f(d-d_e) dd \right\} \dots \dots \dots (2)$$

によつてあらわされる。

一樣流れによる地面浸食の場合には、その終局的状態において(2)式中の d_e の大きさは一定であると考えられるから、任意の粒度分布に対して d_e さえ何らかの方法によつて推定すれば、容易に(2)式を計算して $F(d)$ を求めることができる。この場合粒度分布が不連続であれば、(2)式中の積分を和の記号にかえて計算すればよいことはいうまでもない。

さて、ここで問題となるのは移動限界にある砂礫の大きさ d_e の推定法であるが、著者はそうした現象の機構が極めて複雑であることから、簡単につぎのように考えることにした。地面浸食にともない水深の小さい流水によつて砂礫が流送される過程はすでに述べたように、極めて複雑であるといわねばならないが、実際十分に長い時間ののち、その掃流力で移動しうる砂礫が次第に流送されてしまうであろうことを考えると、それは、限界掃流力に関する実験結果と深い関連をもつことはいうまでもない。流出土砂の大きさに関する実験値からこうした関係を適格に検討することは、前述したように一般にむずかしいので、ある仮定に基づいて移動限界にある砂礫の大きさを推定し、その結果を(2)式に適用して終局的粒度分布を求めて、実験結果と比較するという方法をとるのが实际的であろう。Fig. 5 に示した直線は以上の考えに基づいて、限界掃流力に関する岩垣公式を用いて d_e の値を求め、(2)式を計算して $F(d)=0.5$ となる d の値すなわち d_{50} を求めた結果である。この場合、終局的状態における流れの抵抗法則としては、Fig. 4 における d_e の計算において用いたのと同じく $\beta=152$ を適用した。さらに Fig. 6 はこのようにして求めた $F(d)$ の曲線と通水102日現在における粒度分布と比較した結果である。Fig. 5 および 6 から明らかなよう

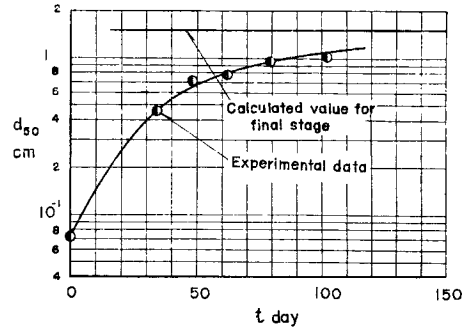


Fig. 5 Hourly variation of median diameter of sandy soils constituting eroded land surfaces

に、102 日現在においては、以上のようにして推定した理論曲線と実験値とはかなり離れているようであるが、その傾向は一致している。さらに明確に実証するためにはより長時間の浸食実験を続ける必要があるわけであるが、後述する実在斜面への適用に対し一つの基礎資料となりうるものと考えられる。

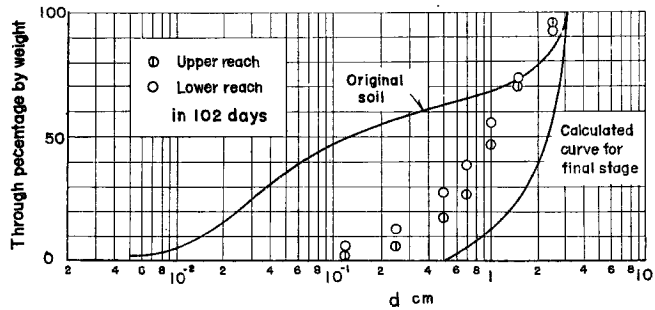


Fig. 6 Comparison between theoretical accumulation curve for final stage and experimental sieve analysis curve in 102 days

3. 雨水流による裸地斜面の終局的粒度分布

前述したように、地面浸食にともなつて裸地斜面の表面を構成する土砂が次第にその平均的な大きさを増して、ある終局的状態に近づくであろうことがわかったが、その場合そうした終局的粒度分布に対する一つの推定法を提案したので、ここではその推定法を多治見市の団子山の裸地斜面に適用した結果について述べる。この山腹斜面は建設省によつて昭和29年8月等高線壕工法に関する調査試験地として施工されて以来、その調査に関連して雨水流および地面浸食の問題について調査してきたもので、その概要はすでに発表したとおりである³⁾。

(1) 支配降雨強度の推定

ある裸地斜面が与えられたとき、その地面浸食に最も支配的な影響を及ぼすと考えられる降雨強度を推定することは極めてむずかしい問題であるが、一般的に裸地斜面の終局的粒度分布を論ずる場合には欠くことができない。そのために、ここでは一応つぎのような考えのもとに支配降雨強度を推定することにした。

まず地面浸食に対して最も支配的な降雨強度をいかに定義するかということは非常に問題の多い点であるが、いま地面浸食の主過程がもつぱら土砂の剥離にあるものとすれば、剥離量が最大になることがいまでもなく地面浸食の進行を最大にしたと考えてよいわけであるから、ある降雨強度による剥離量にその降雨強度の頻度をかけたものが問題となるであろう。しかし便宜上ここにいう頻度は一連の降雨を単位降雨の集合と考えた場合のその個数分布から求められるものをとることにする。このような頻度 N をもつ降雨強度 i の降雨による剥離土砂量を qr とすれば、上述の考えに基づいて支配降雨強度を決定するための基準量 T_0 はつぎのようにあらわされる。

$$T_0 = Nqr(i) \dots \dots \dots (3)$$

上式において、一般に N および qr は降雨強度の関数である。すなわち、 N は通常 Fig. 7 に示すように一般に指数分布を示すが、一方 qr はたとえば著者がすでに多治見市の団子山山腹について検討して明らかにしたように³⁾、

$$\frac{qr}{\bar{u}^* d_{50}} = f \left\{ \frac{\bar{u}^{*2}}{(\sigma/\rho - 1)gd_{50}} \right\} \dots \dots \dots (4)$$

によつてあらわされ、 $qr/\bar{u}^* d_{50}$ は $\bar{u}^{*2}/(\sigma/\rho - 1)gd_{50}$ の単調増加関数である。ここに、 \bar{u}^* はその斜面上を流れる雨水流の斜面に沿う平均の摩擦速度をあらわし、 σ/ρ および d_{50} はそれぞれ流出土砂の平均比重およびその中央粒径であり、また g は重力の加速度である。したがつて、一般に (4) 式において \bar{u}^* および d_{50} は降雨強度 i の関数と考えられ、とくに \bar{u}^* は i の単調増加関数となるので、多くの場合 qr は i

の単調増加関数によつて近似的にあらわされるであろう。以上のことから、 N および q_x の積によつて定義される T_c は、一般には降雨強度 i に対して少なくとも一個の極大値をもつ可能性が考えられる。すなわち、 $\partial T_c / \partial i = \partial N q_x / \partial i = 0$ を満足する i をもつて、一つの支配降雨と定義したいのである。当然不連続分布として取り扱う実際上の場合においては、図上で適当にそうした極大値を生ずる i の値を見出せば十分であろう。

つぎに、以上述べた方法によつて実際に計算した結果について述べよう。まず(3)式における N の求

め方であるが、すでにその実用上の結論的な方法については前述したけれども、この点について考察すればつぎのようである。一つの降雨についての平均値をもつてその代表の降雨強度をあらわすことは、地面浸食の問題においては一般に不都合な点が多いので³⁾、理想的にはこの現象が斜面の上流から下流端にまで達する時間以上であつて、かつ實際上降雨強度が変化しないような時間間隔が適当であると考えられるが、その現象の伝播する時間を求めることは不可能といわねばならない。したがつて、著者が雨水流による土砂の剥離の過程を(4)式によつて検討したときと同様に、ここでも一応1時間を降雨計測の単位時間とすることにしよう。

以上のような考えに基づいて、団子山の山腹における降雨を取り扱うにあつて、昭和33年8月までに測定された約4年間の降雨資料を対象として検討する。上述の支配降雨の決定には降雨資料の採取年数が短かすぎるわけであるが、この山腹のように局所豪雨のはげしいところにおいては、たとえば多治見市内の他の降雨記録を利用することは、調査試験地の面積が極めて小さいこととあいまつて、ほとんど不適當であると考えられる。Fig. 7にはこうして求めた降雨強度の頻度を示したが、この場合 $i=10\text{mm/hr}$ 以下の小さい降雨強度のものは、損失雨量その他に直接深い関係ができて問題点が多くなること、およびこのような降雨は一般に支配降雨とはならないと考えられるので、図中には省略した。

降雨強度と剥離土砂量との関係に対して考察しなければならぬが、前述したように剥離土砂量はその裸地斜面の粒度組成の変遷とともに、一般にかなり急速に減少していくわけであるから、終局的粒度分布の推定にあつては、こうした時間的変化をも考慮する必要があるはずである。しかしながら、剥離土砂量の時間的変化を推定することは、少なくとも現状においてはほとんど不可能であるといつてよい³⁾。このことから、著者は剥離土砂量をあらわす関係として、多治見市の団子上の山腹に対して(4)式に基づいて検討した結果を適用することにする。この結果によれば、剥離土砂量は前述した摩擦速度 \bar{u}_* に対して $q_x \propto \bar{u}_*^3$ であらわされ、また剥離土砂量の平均的な大きさは降雨強度によつてほとんど変化しないことなどが明らかにされているので、ここでは便宜上(3)式を $T_c \propto N \bar{u}_*^3$ であらわして、砂礫の比重その他の係数はすべて一定であると仮定することにしよう。降雨強度 i と表面流出量 q_1 との関係および摩擦速度 \bar{u}_* の求め方はさきに発表した論文³⁾ の場合と同一の関係を用い、さらに Fig. 7 に示した N の値とから $N \bar{u}_*^3$ を降雨強度 i の関数として求めた結果を Fig. 7 に示した。

この図から明らかなように、 $N \bar{u}_*^3$ の値が極大となる降雨強度が存在するようであり、いまその値を求め

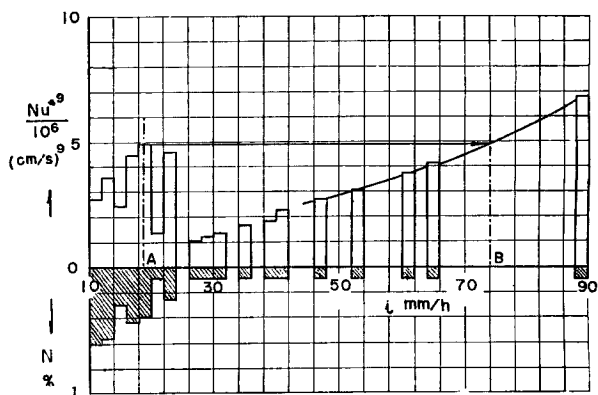


Fig. 7 Frequency distribution of rainfall intensity and variation of value proportional to T_c with rainfall intensity

ると点Aで示した $i=19\text{mm/hr}$ が得られる。一方、理論上この降雨強度と同じ効果を及ぼすと考えられるものとして、点Bであらわした $i=74\text{mm/hr}$ を見出すことができるが、これより大きい降雨強度のものはたとえ1回でも約1時間継続して降つたとすれば、より支配的な降雨となつてしまうわけである。さらに、この調査試験地においては、試験地設置後間もない昭和29年8月に $i=97\text{mm/hr}$ なる降雨が約1時間続いたことがある。これらの点を考慮して、ここでは以下終局的粒度分布の推定においては、 $i=19$ および 74mm/hr とさらに既応最大の 97mm/hr の三つの降雨強度を対象として考察を進める。

(2) 表面土砂の粒度組成の変遷とその終局的粒度分布の推定

まず終局的粒度分布を推定した結果と実測値とを比較することによつて、表面土砂の粒度組成の変遷について考察することにしよう。

雨水流の場合は斜面上における摩擦速度は斜面の上流端からの距離 x とともに増加するので、当然斜面の上流から下流にいくに従つて、その終局的粒度組成は場所的に変化する。前述した理由によつて終局的状態における流れの抵抗法則を推定することは困難なので、ここでも Fig. 2 に示した $\beta=152$ によつてあらわされる関係を斜面の全長に対して適用することにする。さきの考察³⁾ の場合と同様にして斜面に沿う摩擦速度の分布を求めよう。

いま微小項を省略して近似的にあらわせば、摩擦速度 u^* はつぎのようになる。

$$u^{*2} = \frac{(76\nu q_1)^{1/3} (g \sin \theta)^{2/3}}{\rho^{1/3}} x^{1/3} \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 ν は動粘性係数、 l および θ はそれぞれ斜面の全長および傾斜角であり、また x は斜面の最上流端からの距離である。

上式に実際上の数値として、 $\sin \theta = 0.316$ 、 $l = 9.8\text{m}$ 、 $g = 980\text{cm/s}^2$ および $\nu = 0.01\text{cm}^2/\text{s}$ を代入し、 $i = 17$ 、 74 および 97mm/hr に対応する q_1 の値を用いて摩擦速度 u^* を距離 x の関数としてあらわし、さらにこの u^* の値に対応した移動限界にある砂礫の大きさを前述の場合と同様に岩垣公式によつて計算した結果が Fig. 8 である。すなわち、この結果によれば、計算上斜面の下流端においては、 $i = 17\text{mm/hr}$ の場合 0.34cm の砂粒が移動しうることになるが、 $i = 97\text{mm/hr}$ の場合には 0.62cm にも及ぶ砂礫が動きうることになる。Fig. 8 によつて移動限界にある砂礫の大きさ d_c が与えられるので、 i のそれぞれの値に対して $d_c = d_c(x)$ として求めるから、Fig. 1 に示した加積曲線に相当した粒度分布関数を $f(d)$ として、(2) 式を

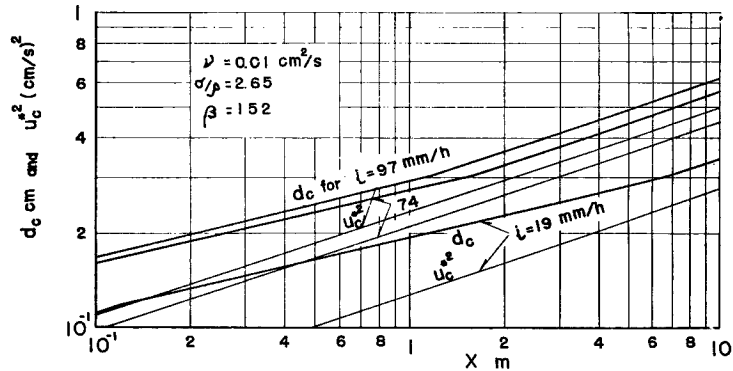


Fig. 8 Variations of friction velocity and critical size of sand grains with distance from summit of slope

離 x の関数としてあらわし、さらにこの u^* の値に対応した移動限界にある砂礫の大きさを前述の場合と同様に岩垣公式によつて計算した結果が Fig. 8 である。すなわち、この結果によれば、計算上斜面の下流端においては、 $i = 17\text{mm/hr}$ の場合 0.34cm の砂粒が移動しうることになるが、 $i = 97\text{mm/hr}$ の場合には 0.62cm にも及ぶ砂礫が動きうることになる。Fig. 8 によつて移動限界にある砂礫の大きさ d_c が与えられるので、 i のそれぞれの値に対して $d_c = d_c(x)$ として求めるから、Fig. 1 に示した加積曲線に相当した粒度分布関数を $f(d)$ として、(2) 式を

$$F(d, x) = \left[\int_{d_c(x)}^d df \{d - d_c(x)\} dd \right] / \left[\int_{d_c(x)}^d f \{d - d_c(x)\} dd \right] \dots\dots\dots (6)$$

によつてあらわせば、距離 x における終局的粒度分布に対する加積曲線を容易に求めることができる。

Fig. 9 は (6) 式において $F(d, x) = 0.5$ となる d の値 d_{50} を距離 x の関数として計算し、実測値と

比較した結果であり、図中には裸地斜面の粒度分布の変遷を明らかにするために、調査が開始されてからの二、三の実測値もあわせて図示してある。この結果によれば、実測値は非常に散乱しているが、地面浸食の進行にともなつて、かなり急速に中央粒径が大きくなっていくことがわかると同時に、斜面の下流部ほど次第に中央粒径が上流部に較べて大きくなっていく傾向を示していることが見出されるであろう。降雨強度 $i=19, 74$ および 97 mm/hr のそれぞれに対する終局的粒度分布の計算値はあまり変化していないようであるが、これは Fig. 1 に示した原土の粒度分布の特性に基づくのであらうと考えられる。調査開始後約4年を経過した現在においては、まだ理論曲線には一致していないが、かなり近くなつていくことがわかる。調査期間中一、二回対象とした第2および第7斜面に上流より越流させたことのあるという事実は、上記の浸食過程をより促進せしめたことであらう。

Fig. 10 は粒度分布の一つの特性値である標準偏差について検討するために考察した結果であつて、図中 $(d_{84}/d_{16})^{1/2}$ は任意の場所における粒度分布がそれぞれ相違する分布形をなす場合が少なくなかつたので、近似的に標準偏差に相当した量として採用したものである。ここに d_{16} および d_{84} はフルイ分け曲線においてそれぞれ16および84%に対応した粒径である。この結果においては、実測値が非常にばらついたので、その範囲とともに平均値によつ

てあらわした。実測値は $i=74$ および 97 mm/hr に対する理論曲線に平均的にははかかなり近づいているようであり、距離 x とともに $(d_{84}/d_{16})^{1/2}$ の値が減少していく傾向は極めてよく一致しているといえよう。

さらに、Fig. 11 は斜面の上流端からの距離 x の二、三の値における終局的粒度分布と昭和33年6月現在

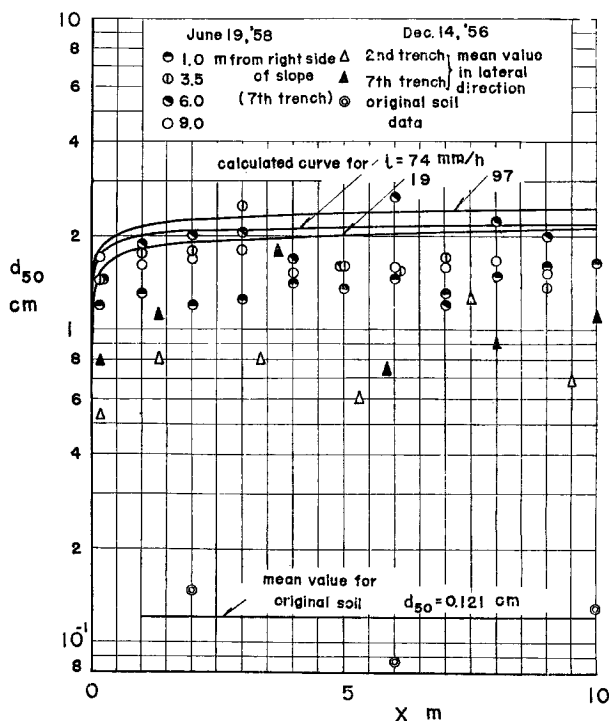


Fig. 9 Comparisons between calculated curves of median diameter for final stage and observed data, and hourly variation of median diameter

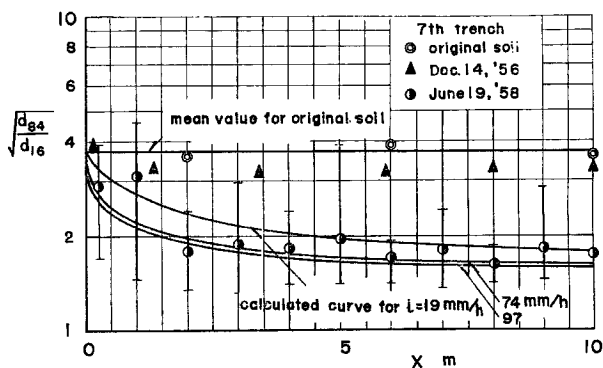


Fig. 10 Comparisons between calculated curves of standard deviation for final stage and observed data, and hourly variation of standard deviation

における実測値と比較したものの数例であり、図中には比較のために原土の粒度加積曲線を示した。これらの結果から、地面浸食の進行にともなう粒度組成の変遷が明らかにされるであろう。また実測値の方が一般に小さい粒径の砂粒を多く含んでいることが見出されるが、これは(6)式において以 d_0 下の砂礫がすべて流出してしまうという仮定が、実際には若干問題となること、および実測のとき浸食面と剥離した土砂との境界における細粒の砂粒が実測値に介入するためと考えられる。

以上終局的状態における粒

度分布に対して理論的に推定した結果を実測値と比較することによって、地面浸食の進

行にともなう裸地斜面の粒度組成が変遷し、ある終局的状態に近づく様子やまたその終局的粒度分布に対して両者がかなり一致することがわかったが、これらの結果をもとにしてこの裸地斜面にはどのような降雨が結果的にみて支配的であるかという点について考察する必要がある。

すでに示した Fig. 9, 10 および 11 から明らかのように、支配降雨強度 $i=19\text{mm/hr}$ に対する理論曲線は現状において、とくに $(d_{84}/d_{10})^{1/2}$ に対する実測値との比較においてみられるように、ほとんど実測値に一致するかあるいは実測値を説明するには若干降雨強度が小さすぎると考えられる。一方、理論上 $i=19\text{mm/hr}$ の降雨と同じ効果を及ぼすと考えられる $i=74\text{mm/hr}$ に対しては既応最大の 97mm/hr に対する理論曲線とあまり相違しないので、この両者において支配降雨としての良否を判断することはむずかしい。しかしながら、Fig. 7 に示したように、実際には $i=74\text{mm/hr}$ 付近のものとして 61 および 65mm/hr の二つの降雨強度の降雨がそれぞれ一回ずつあつたわけであるから、既応最大の 97mm/hr のそれによる効果とあいまつて、 $74\sim 97\text{mm/hr}$ 付近の降雨が支配的となるのであろう。詳しい議論は前述したように、原土の粒度分布の特性からそれら両者に対して実測値との比較における明確な相違が見出されえなかつたので適格に結論することはできないが、一応前述した支配降雨の推定に基づく降雨強度と既応最大のものを対象として論ずることによって、かなりまで実際の現象を説明しうるものと考えられる。

4. 結 語

以上地面浸食にともなう裸地斜面の粒度組成の変遷とくにその終局的状態における粒度分布に関する一つの考察を、限界掃流力に関する研究のこうした問題への適用として述べたが、ここで提案した方法は極めて粗雑な仮定に基づいているにもかかわらず、実用的にはかなり実際の現象を説明しえたようである。

地面浸食の現象が極めて複雑であることから、たとえば地面浸食の進行にともなう浸食土砂量を推定することは一般に困難といわねばならないが、以上述べた研究はその将来の研究の発展に対して、また地面浸食

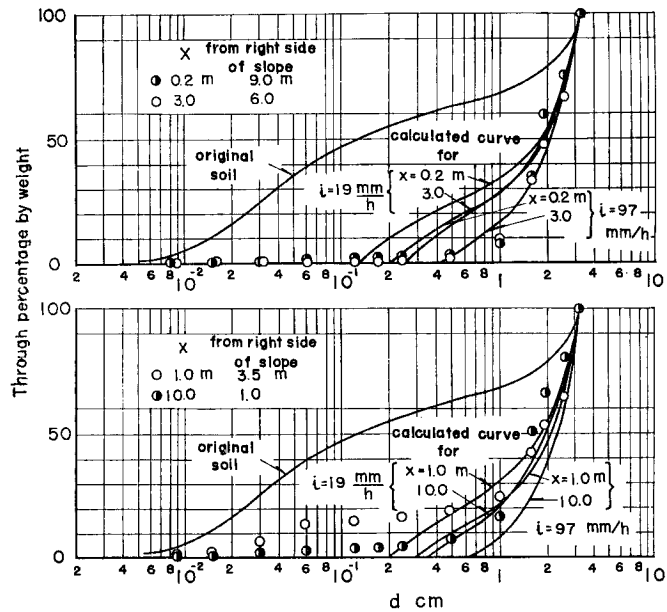


Fig. 11 Comparisons between calculated accumulation curves for final stage and data observed in 1958

に対する地面の保全を考察する際の一つの基礎資料となりうるであろう。

最後にこの研究を行なうにあたって、終始御指導を賜わった石原藤次郎教授および岩垣雄一教授に深く感謝するとともに、実験ならびに計算に熱心に助力していただいた山崎義彦氏に謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 岩垣雄一，土屋義人：雨水流による土砂の剥離と輸送について，土木学会論文集，第51号，昭.32.12，pp. 34-40.
- 2) 岩垣雄一，土屋義人：限界掃流力に関する基礎的研究，土木学会論文集，第41号，昭.31.12，pp.1-38.
- 3) 土屋義人：地面浸食に関する二，三の水理学的考察，土木学会論文集，第59号，昭.33.11，pp.32-38.