

1.はじめに 斜面侵食の計算式としては、これまでに多くの式が提案されているが、土砂水理学的観点から研究された式は非常に少なく、ほとんどの式が実験データや観測データの回帰分析によるものである。ここでは、流砂に関する運動方程式と連続式、降雨を伴う雨水流の運動方程式と連続式、及び降雨を伴う雨水流の境界せん断応力の式から解析的に求めた式¹⁾を説明し、さらに粘土やコロイドを多量に含む粘性土斜面についても適用できるように侵食性係数の推定法¹¹⁾と新しく求めたので報告する。

2.斜面侵食の計算式 解析的に得られた式は、

$$E_v = \frac{476 C_A C_E}{d} g_*^{1/8} L^{3/8} S_o^{3/2} \quad (1)$$

ここに、 E_v :単位時間単位面積当りの容積侵食量($m^3/sec/m^2$)、 C_A :裸地面積率(裸地部分の面積/全面積)、 C_E :侵食性係数、 g_* :斜面上への降雨流入量、 L :斜面長(m)、 d :平均粒径(mm)、 S_o :斜面勾配、である。 g_* は降雨強度を i (mm/hr)、裸地斜面の流出係数を f とすると、次式で与えることができる。

$$g_* = 2.778 f i \times 10^{-7} (m^3/sec/m^2) \quad (2)$$

侵食された土の単位重量を W_s (kgf/m^3)とし、式(1)に式(2)を代入すると、侵食量

$$E_i (kgf/hr/m^2) \text{は} \quad E_i = \frac{8.73 \times 10^{-7} C_A C_E W_s}{d} (f i)^{1/8} L^{3/8} S_o^{3/2} \quad (3)$$

この式を実際斜面に適用するとき、特に問題となるのは、侵食性係数 C_E の与え方である。ここでは、 C_E が次式の関数であるとする。 $C_E = \text{Func}(C_M, C_{CR}, C_{RD}) \quad (4)$ ここに、 C_M :土の締固め係数(盛土斜面で締固めしないとき、及び付斜地の畑などでは、 $C_M = 1.5$ 、締固めしたときは $C_M = 1.0$ 、切土斜面のときは $C_M = 0.5$ とする)、 C_{CR} :粘土比(CR)と分散比(DR)によって決定される係数、 C_{RD} :リル密度によって決定される係数、である。比例係数を C_1 として、 $C_E = C_1 C_M C_{CR} C_{RD} \quad (5)$ によって表わす。リル密度(R_d)は次式で定義する。 $R_d = n B_r / B \quad (6)$ ここに、 B :斜面幅、 B_r :リル流路一本の平均幅、 n :斜面幅 B 中のリル流路の本数である。傾斜裸地斜面の侵食性は、例えば CR や DR のようなその斜面の土壌固有の特性に依存している。Middleton²⁾の提案した分散比は、 $DR = \text{Suspension}(\%) / [\text{Silt}(\%) + \text{Clay}(\%)] \quad (7)$ である。粘土比は次式で定義する。 $CR = \text{Clay}(\%) / [\text{Sand}(\%) + \text{Silt}(\%)] \quad (8)$ 式(5)の式形を決定するために多くのデータ^{3)~10)}を使用した。最初に、 E_i , C_A , W_s , d , f , i , L , S_o の実測データを式(3)に与えて C_E を求める。次に、各実験・実測データに対応する斜面の表層土の締固め状況から C_M の値を与え、さらに $C_1 = 2.0$ として式(5)から C_{CR} を決定した。なお、その際 $R_d = 0$ のデータを使用した。侵食性を表わす指標として CR/DR を新しく取り上げ、¹¹⁾前述のデータの C_{CR} と CR/DR との関係を図-1にプロットした。近似的に

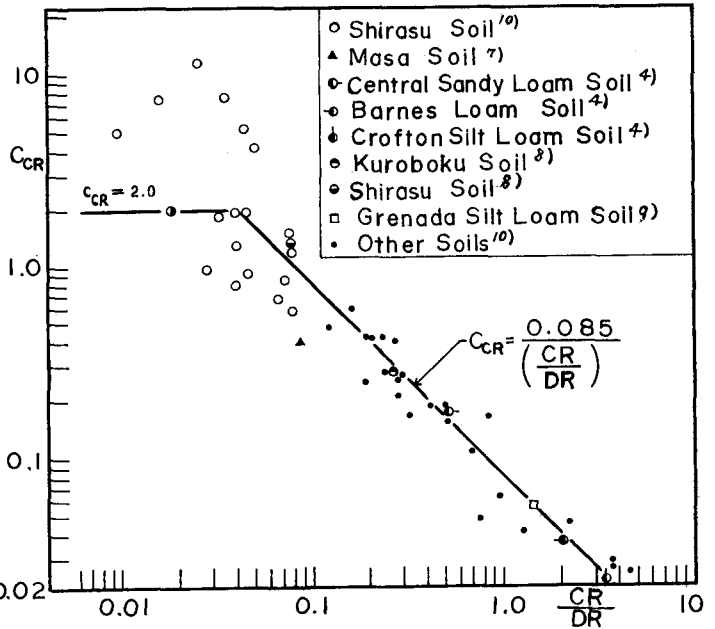


図-1 C_{CR} と CR/DR との関係

求めた式は, $C_{CR} = \frac{0.085}{(CR/DR)} : \frac{CR}{DR} > 0.0425 \text{ --- (9a)}$

$C_{CR} = 2.0 : \frac{CR}{DR} \leq 0.0425 \text{ --- (9b)}$

リル密度に関する係数 CRD については, CRD の式形を決定するために, リル侵食のデータ^{3), 4)} を使用した。 CRD と R_d との関係は図-2 のようであり, 近似的に求めた式は,

$$CRD = 1 + 3.67 R_d \text{ --- (10)}$$

式(9)と(10)を式(5)に代入し, $C_i = 2.0$ を使用すると C_E の式は,

$$C_E = 0.17 C_M \frac{(1 + 3.67 R_d)}{(CR/DR)} \text{ --- (11a)}$$

: $CR/DR > 0.0425$

$$C_E = 4 C_M (1 + 3.67 R_d) \text{ --- (11b)}$$

: $CR/DR \leq 0.0425$

実験データ^{3)~4)} について, 式(3)と式(11)を使用して計算した侵食土砂量と実測侵食土砂量を示すと図-3 のようである。

3. 自然降雨の降雨強度 降雨継続時間 t (hr) の間に R (mm) の総降雨量がある場合, 図-4 のように降雨を中央集中型降雨と考え, r_p をピーク時の降雨強度と考えると, $R = \frac{1}{2} r_p t$ --- (12)

この r_p の降雨が T 時間継続するものと考えて, 斜面侵食の計算に使用する降雨強度 i (mm/hr) を次式で与える。

$$i = r_p = R/t = R/(t/2) \text{ --- (13)}$$

4. 斜面侵食量の推定法

A) 連続降雨毎の降雨量とそれらの継続時間が与えられている場合 ①各降雨毎の i を式(13)で計算, ② i を推定, ③斜面の土の CR , DR , d , W_s を測定あるいは推定, ④斜面の状況から R_d , C_A , C_M を推定, ⑤斜面の L と S_0 を実測値から決定, ⑥ C_E を式(11)で計算, ⑦各降雨に対する降雨継続時間 t_{ij} (hr) について E_i は式(3)で計算, ⑧全侵食量 E_t (kgf) は, 次式によって与える。 $E_t = A \sum_{j=1}^n E_i(t_{ij}/2) \text{ --- (14)}$, ここに A : 斜面の全面積, $j = 1, 2, 3, \dots, n$ 。一年間に n 回の降雨があったとすると, 年侵食量は式(14)で計算できる。

B) 年総降雨量と総降雨継続時間が与えられている場合 ①年総降雨量 R (mm) と総降雨継続時間 t を与え, 式(13)によって年平均降雨強度を計算, ②~⑥はA)と同様, ⑦ E_i を式(3)で計算, ⑧年侵食量 E_{iy} は $E_{iy} = A E_i(t/2)$ によって計算する。この研究は, 科学研究費(自然災害特別研究(1)) No. 4020/2 による研究成果の一部である。宮崎大学農学部の中田教授より実験斜面のデータ, 及び文献¹⁰⁾を提供して頂いた, ここに感謝の意を表す。

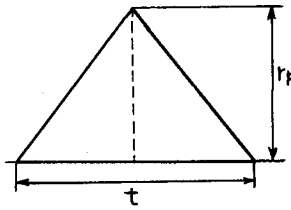


図-4 定義図

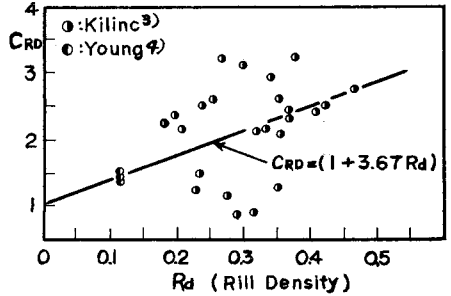


図-2 CRD と R_d との関係

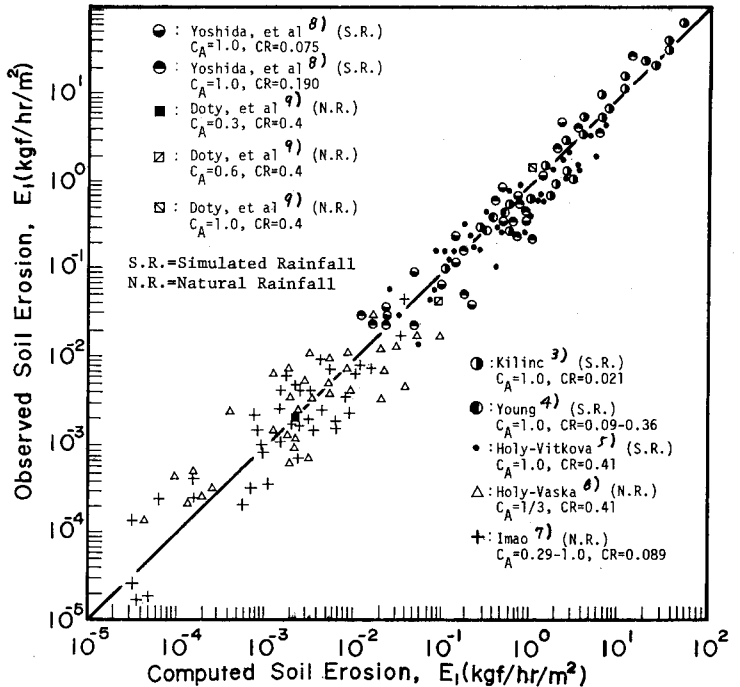


図-3 計算侵食量と実測侵食量との関係

参考文献 1) Komura, S., Proc. ASCE, HY10, 1976. 2) Middleton, H. E., USDA Tech. Bull., No. 178, 1930. 3) Kilinc, M. Y., Ph.D Thesis, Colo. State Univ., 1973. 4) Young, R. A., Ph.D Thesis, South Dakota State Univ., 1972. 5) Holy, M. & Vitkova, H., Proc. Intl. Water Erosion Symp., Vol. II, 1970. 6) Holy, M. & Vaska, J., Proc. Intl. Water Erosion Symp., Vol. I, 1970. 7) 今尾, 科学研究費報告書(自然災害)印刷中, 8) 吉田, 他, 自然災害特別研究成果報告, No. A-49-1, 1974. 9) Doty, C. W. & Carter, C. E., Trans. ASAE, Vol. 8, No. 3, 1965. 10) 大隅区域防浸技術調査報告書, 農用地開発公団九州事務所, 1978. 11) Komura, S., Proc. 3rd Congress of APD of IAHR, Bandung, Indonesia, 1982.