

舞鶴工業高等専門学校・正・田中祐一朗

1. はしがき : 近年崩壊や流出土砂による災害が頻発し, 社会問題となっている。こうした災害の発生を予知し, 的確な避難対策を実施することは重要である。筆者は先に降雨による斜面崩壊の発生と, それによる生産土砂量について理論解析を行なった。本報はその結果の妥当性を検討することを目的として行なった若干の実験結果と, この方法による斜面崩壊発生予知の可能性について検討を行なったものである。

2. 理論的背景^{1),2)}: 基面に作用するせん断応力が土の粘着応力 C と基面に作用する垂直有効応力 σ_v によるせん断抵抗応力を越えたとき崩壊が発生すると言う Coulomb の条件式に, 降雨と地表面流および地下水流との間の質量保存則を代入することにより, 崩壊発生の降雨条件式は次のように与えられる。

$$i) \quad r_p < r_s, \quad \delta_s = 0 \text{ の場合, } \quad r_p \left(R_p + \frac{R_i}{5.61} \right) \geq A^2 \frac{k}{L} \tan \theta \quad \dots \dots (1)$$

$$ii) \quad r_p > r_s, \quad \delta_s \neq 0 \text{ の場合, } \quad r_p \left(R_p + \frac{R_i}{5.61} - \int_{t_{i2}}^{t_p} \frac{\delta_s}{L} dt \right) \geq A \left(A \frac{k}{L} \tan \theta + \frac{\delta_s}{L} \right) \quad \dots (2)$$

$$\text{ここに, } A = n \left\{ \frac{C' \sec^2 \theta - D \delta (\tan \theta - \tan \varphi)}{(\delta_t - \delta) \tan \theta + (\delta - \delta') \tan \varphi} \right\} \quad \dots (3) \quad C' = C (1 + C_p) \quad \dots (4)$$

$$C_p = \frac{\cos \theta}{(1 + \tan \varphi)^2} \left[\frac{P}{\pi j^2 C} + \frac{j \delta}{3 C} (4 + 3 \tan \varphi) + \sec \theta \{ 1 + \sec \varphi (2 + \tan \varphi) \} \right] \quad \dots (5)$$

であり, r : 降雨強度, R : 総雨量, R_i : 先行雨量, L : 斜面長, θ : 斜面角, δ_s : 単位巾当りの表面流量, D : 表層土の厚さ, k : 土の透水係数, ρ : 土の内部摩擦角, δ_c : 飽和土の単位重量, δ : 乾燥土の単位重量, δ' : 土の水中単位重量, P : 植物の重量, j : 根の影響半径, n : 土の空隙率である。また(1), (2)式と流域内の斜面長の分布は対数正規分布をなすという事実より, 崩壊発生確率 $P(L)$ を求めることができ, その計算結果を図-1に示す。この $P(L)$ を用い, 流域面積を S とすると, 流域内の崩壊による生産土砂量は次のように求められる。 $V_s = \int D \cdot S \cdot P(L) dt \dots (6)$

3. 実験 : 実験には(A)砂, (B)山土および(C)休耕田より採取した田土の3種を用い, 実験に先立ち土質試験により, 各土の土質常数を調べた。この土を図-2に示す鋼製の斜面に厚 $r_p \left(R_p + \frac{R_i}{5.61} \right)$ or $r_p \left(R_p + \frac{R_i}{5.61} - \int_{t_{i2}}^{t_p} \frac{q_s}{L} dt \right) (\text{mm}^2/\text{h})$ 5, 10 cm の2種に積み十分締め固めた後降雨を与えた。降雨は図-2のように, パイプでやぐらを組み, これに園芸用噴霧器のノズルを設置し, これに水道の圧力水を加えて人工降雨とした。降雨量はバルブとノズルの使用本数により調節した。降雨量は転倒マス型雨量計からのパルス信号をデジタル雨量計(試作した斜面崩壊警報器)にて, 総雨量, 10分間雨量および降雨強度と総雨量との積を自記させた。実験中, 崩壊の状況を写真撮影し, これを実験後スライド映写してデータを読み取った。行なった実験は各土ともに4種の計12種類である。

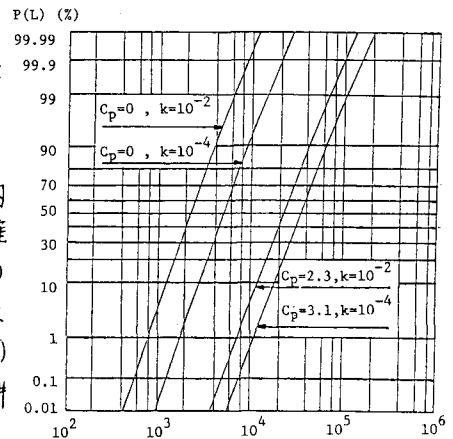
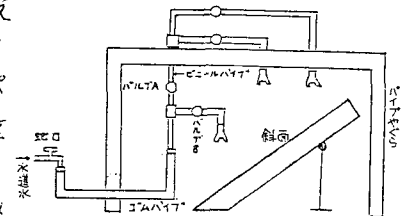
図-1 崩壊確率 $P(L)$ の計算値

図-2 実験装置模式図

4. 実験結果とその考察 : 図-3は降雨継続時間 T_E と崩壊開始時間 T_S との関係を示したもので

あり、定性的には次のことが言える。④ 田土、山土等粘土質が多くなると、崩壊が始まるまでに長い時間を必要とするが、一旦崩壊が始まると崩土の動きは速い。これに対し砂質土は崩壊開始時間は短い、崩土の動きは遅い。⑤ 降雨強土に関係なく、土の大きいものから早く崩壊が発生し、土の小さい粘土土は崩壊し難い。これは図-1の傾向と一致している。⑥ 一般にDが厚く、傾斜角が小さい程崩壊開始時間は長い。(1)、(2)式による崩壊発生降雨の限界値を算定した所、JISによる土質試験の値とくに一面せん断試験によることとの値に問題があるのではないと思われる結果となった。すなわち、一般の土質試験法による一面せん断は土と土との面のせん断であるのに対し、今の場合、土と基盤としての鋼面とのせん断を考慮する必要がある。そこで図-4に示すように、一面せん断試験器のせん断箱を改造し、箱の下部に鉄製のブロックを挿入して、この面と土とのせん断試験を行ない、C、 γ の値を再測定した所、土と土の場合とかなり相違していることが明らかとなった。この再測定値を用いて計算した限界降雨量と実測値とを比較したものが図-5である。図に見るようにその適合性は不十分であり、とくに所の差が大きい。各点は直線の下に全て集まっているが、これは崩壊終了の時刻の判断がやや早かったとも思われる。しかしそれよりも計算に使用する土質常数、とくにC、 γ は含水比によっても変化するもので、一般に斜面の基面における崩壊時の含水比やC、 γ の妥当な値の推定には土質工学的に十分な検討と配慮を行なう必要があるものと思われる。

次に図-1の崩壊発生確率 $P(L)$ を用い、(6)式によって計算した崩壊土砂量と実測値との比較を示す。図中の番号は表-1での過去の崩壊データのそれと示している。現地データでは降雨、崩壊土量、土質調査資料の全ての情報が完備しているものはほとんど無い。表-1のものはこれらのうちできるだけデータの完備している。表-1 使用した現地崩壊データ

番号	発生年	場所	流域面積(m ²)
1)	S28.7	有田川	1.97×10^8
2)	S33.8	磐野川	1.0×10^8
3)	S42.7	宇治川	1.44×10^8
4)	S44	黒部川	1.78×10^8
5)	S46.9	三ツ木川	2.7×10^8
6)	S47.7	明智川	2.1×10^7
7)	S47.7	小原村	6.1×10^7
8)	S49.7	横濱川	2.1×10^6
9)	S49.7	内海川	1.7×10^7
10)	S57.7	長瀬川	1.9×10^7

5. むすび : 以上、降雨による斜面崩壊とそれによる生産土砂量を予測する筆者の方法について、実験的にその妥当性の検討を行なった。計算に使用する土質常数の選定など、残された問題はいくつかない。しかし本方法はかなり有効なものと思われ、この方法をさらに改善することにより、斜面崩壊の予知とその警報システムの実用化が期待できるものと思われる。本研はその一部に文部省科学研究費(試験研究1)58850115)の補助を受けたことを付記して謝意を表わす。

参考文献 1) TANAKA Yuichiro, On the Slope Failure and Sediment Ebbels by Rainfall, Proc. 4th A.P.D.-I.A.H.R., 1984. 2) 田中, オノメ土木学会年講, 2, pp371~372, 1984.

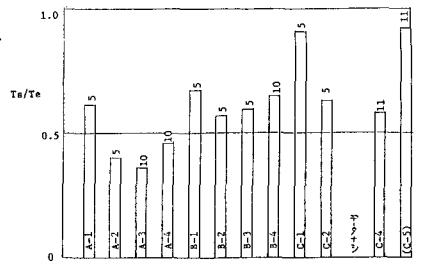


図-3 降雨継続時間と崩壊開始時間との関係

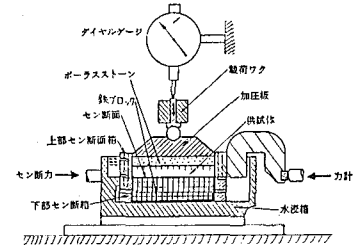


図-4 一面せん断試験器

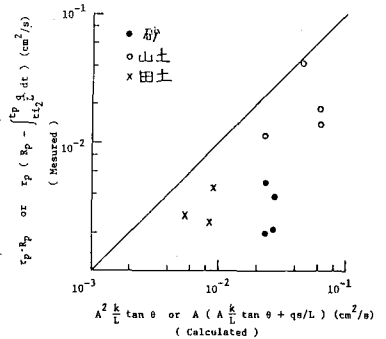


図-5 崩壊限界降雨の計算と実測の比較

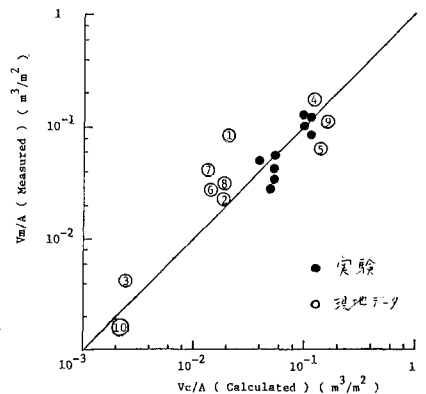


図-6 崩壊土量の計算値と実測値の比較