

舞鶴工業高等学校 正 田中祐一郎

1. はしがき

昨年の年請において筆者は標記の問題に関する理論的考察を中心とした発表を行なった。¹⁾ 本報告はその中で十分検討されていらない崩壊に関する雑草類の影響と、崩壊深度Dについて若干の検討を行ない、その計算精度の向上をほかった。

2. 崩壊に及ぼす植生の影響

昨年の長崎災害

では林内斜面において多くの崩壊の発生が見られる。²⁾ 斜面崩壊に及ぼす植生の影響の程度を表わす係数 C_p に関し、筆者は図-1に示すモデルを用いて次式を提案した。¹⁾

$$C_p = Q / \pi j^2 C \quad (1)$$

$$Q = (P+W) \cos \theta + F \quad (2)$$

$$j \equiv d \text{ と仮定すると,}$$

$$W = V \cdot \gamma \quad (3)$$

$$F = (S+S')C \quad (4)$$

$$J = j(1 + \tan \phi) \quad (5)$$

$$S = \pi j^2 \sec \theta (2 + \tan \phi) \quad (6) \quad \text{図-1. 樹根の引抜きモデル}$$

$$S' = \pi j^2 \dots (7) \quad V = \frac{\pi}{3} j^3 (4 + 3 \tan \phi) \quad (8)$$

(2)~(8)を(1)に代入すると C_p は次式のようになる。

$$C_p = \frac{\cos \theta}{(1 + \tan \phi)} \left[\frac{P}{\pi j^2 C} + \frac{\gamma}{3C} (4 + 3 \tan \phi) + \sec \theta (1 + \sec \theta (2 + \tan \phi)) \right] \quad (9)$$

図-2は上式による C_p

の計算値を示す。図-1のモデルは樹根を想定したものであるが、法面保護法として芝張り工が用いられるように、草類の影響も考える必要がある。そこでススキ等の雑草の引抜き試験を行な

てみた。個々の草の抜け穴の形状はその条件を反映して様々なが、モデルのような円錐台状とはならず、引き抜き力 Q は(2)式で計算される値とは一致しない。しかし穴の面積で Q を除いた(1)式の定義による C_p の実験値の平均値は図-2のように2.2 γ となり、計算値と一致する。こ

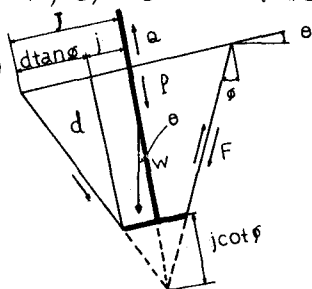


図-1. 樹根の引抜きモデル

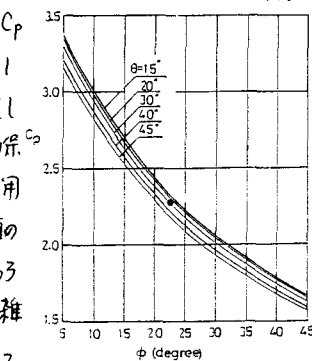


図-2. C_p の計算値

の C_p を用いると植生のある斜面での土の粘着力 C' は裸地の値 C に比べて、 $C' = C(1 + C_p)$ (10)と増大することは前報で示した。¹⁾

3. 崩壊深度

崩壊深度とは風化土層の厚さと考えられる。岩石の風化を進行させる原因としては物理的作用と化学的作用等種々のものが考えられる。数種の岩石について凍結、融解実験を行なった結果、岩石の種類によって異なるが、千枚岩質粘板岩のような初期から多くのキレフを有する石は40~60日程度で完全に破壊した。そこで以下では凍結、融解作用に重点を置いて考えて行くことにする。すなわち地層を均一な熱伝導体と考え、 $\partial u / \partial t = K^2 \partial^2 u / \partial z^2$ (11)なる熱伝導方程式を解いて、とくに冬期での地中の温度分布とその変化をコンピュータにてシミュレーションしてみた。熱伝導方程式の解法には各種のものがあるが、ここでは古典的な平井の方法⁴⁾を用いることにした。すなわち境界条件としての地表面温度を(12)とすると、

$$(u)_{z=0} = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i \cos i \pi t \quad (12)$$

これを満足させる(11)式の解は次のように与えられる。

$$u = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i \exp\left(-\frac{z}{K} \sqrt{\frac{i \pi}{2}}\right) \cos\left(i \pi t - \frac{z}{K} \sqrt{\frac{i \pi}{2}}\right) \quad (13)$$

a_0 は地中恒温としての地下水温の実測値を用い、 a_i としては日変化(a_1 :夏季の地表面温度の実測値)、低気圧の移動に伴う週間変化(a_2)および四季変化(a_3)の3つを考えた。ここで熱伝導率 K の値が問題である。

熱伝導率を α 、土の比熱を β 、土の密度を γ とすると、

$$K^2 = \alpha / \beta \gamma \quad (14)$$

で定義され、 K^2 は土の種類、乾燥密度、含水比等によって変化する。³⁾ いま計算

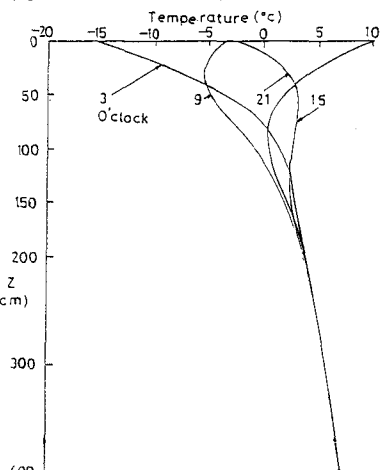


図-3. 冬期の地中温度分布

にはある種の土の状態を想定して(14)式から求められる $\gamma^2 = 0.0917$ の値を用いることにした。図-3は計算された冬期での地中の温度分布の状況を示す。年間における計算値は実測値⁵⁾と比較して大筋においてある程度一致を確認した。図-5は1年間に0℃以下の温度が

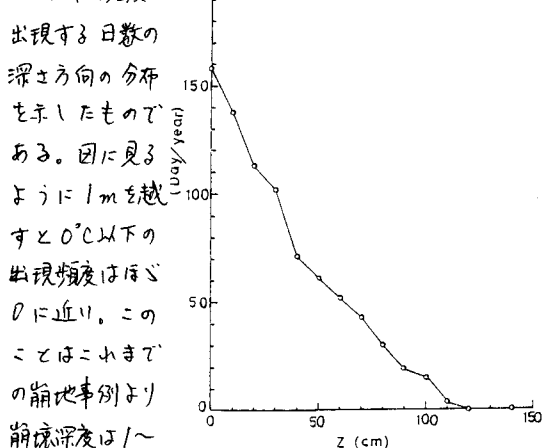


図-4. 0℃以下の温度出現の深さ分布
 出現する日数の深さ方向の分布を示したものである。図に見るように1mを越すと0℃以下の出現頻度はほぼ0に近し、このことはこれまでの崩壊事例より崩壊深度は1~2m程度と報告

されていることと併せ考えると興味深い。さらに多くの場合について検討する必要があるが、以上のよう
 な考察の方法は崩壊深度を考えると有効なものと思われる。

4. 崩壊土砂量 筆者は降雨は全て地中へ浸透すると仮定して、降雨による地下水位の変化を考慮した斜面上の土の力学的な釣り合い条件式より、斜面崩壊が発生するための降雨条件式を次のように導いた。¹⁾

$$r_p \{ R_p + R_s / (1 + 4.61 / \eta_e) \} \geq \frac{C(1 + C_p) \sec^2 \theta - \delta \gamma (\tan \theta - \tan \phi)}{(\gamma_t - \gamma) \tan \theta + (\gamma - \gamma') \tan \phi} \cdot \frac{\eta_e^2 k}{L} \tan \theta \quad (15)$$

ここに r_p : 崩壊時の降雨強度, R_p : 崩壊時の累加雨量, R_s : 先行降雨量, η_e : 土の有効空降率, C : 土の粘着

力, θ : 斜面角度, ϕ : 土の内部摩擦角, γ_t : 飽和土の単位重量, γ : 乾燥土の単位重量, γ' : 土の水中単位重量, k : 土の透水性係数, L : 斜面長, C_p : 植物影響係数である。(15)式をLについて解き直すと,

$$L \geq \frac{C(1 + C_p) \sec^2 \theta - \delta \gamma (\tan \theta - \tan \phi)}{(\gamma_t - \gamma) \tan \theta + (\gamma - \gamma') \tan \phi} \cdot \frac{\eta_e^2 \cdot k \cdot \tan \theta}{r_p \{ R_p + R_s / (1 + 4.61 / \eta_e) \}} \quad (16)$$

を得る。流域内での斜面長の分布は図-5に示すよう

に対数正規分布をなしている。(16)式と右図より、ある r_p, R_p なる降雨における崩壊発生確率は右図の超過確率 $P(L)$ で与えられることが理解できる。この $P(L)$ を用いると、一連の降雨期間内に斜面崩壊と云う型式によって生ぜられる土砂量 V_s は流域面積を A とすると次のように求められる。

図-5. 流域内の斜面長分布

$$V_s = \int_{\tau} D \cdot A \cdot P(L) \, d\tau \quad (17)$$

(16)式の計算には土質定数についての多くの値を用いる必要がある。これまでの崩壊事例について、降雨量、斜面角度、斜面面積、崩壊土砂量等の土砂水理学的調査資料と土質調査資料の両者が完備しているものは極めて少ない。図-6

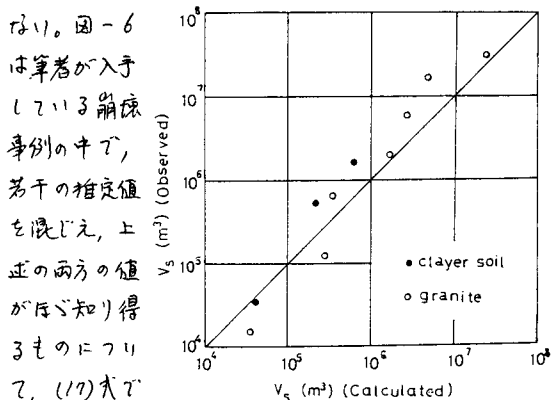


図-6. 崩壊土砂量の計算値と実測値の比較
 は筆者が入手している崩壊事例の中で、若干の相定値を混じえ、上述の両方の値がほぼ知り得るものについて、(17)式での計算値と実測値との対応を調べてみた結果である。実測値と云っても多くの問題を含んでおり、その精度は必ずしも十分でないことを考えると、図-6は本計算法は崩壊土砂量のオーダーを相定する意味からほぼ満足すべきものであることを意味しているものと思われる。

5. おわりに 以上本研究は崩壊に及ぼす植生の影響と崩壊深度について考察し、これをを用いた崩壊土砂量の算定を行った。今後は正確なデータの蓄積が要望される。最後に実験に協力頂いた清水、丹羽の両君に謝意を表す次第である。

1) 田中, 才37回年報, 2) 長崎大学, 557-7長崎大学調査報告書, 3) 木下, 凍土の物理学, 鹿北, 4) 小平, 物理数値, 第2巻, 文獻社, 5) 田中, 萩原, 才27回水理講演会論文集,