

豪雨時における斜面安全率の算定に関する検討

長崎大学工学部 学生員 ○林 康裕
 長崎大学大学院 非会員 中村次郎
 長崎大学工学部 正会員 川池健司
 長崎大学工学部 フェロー 野口正人

1. はじめに

近年の水害における人的被害では、土砂によるものが大きな割合を占めている。そのため、数値モデルによって斜面の崩壊危険性を予測し、住民の危険意識を高める事は極めて重要である。そこで、本研究では、中間流・表面流統合型KWモデルに基づいて斜面安全率を求める¹⁾数値モデルを構築する。また、このモデルを、1982年の長崎大水害において比較的人的被害の大きかった川平地区と芒塚地区(図-1)の二つの流域に適用し、長崎大水害当時の崩壊箇所との比較を行う。



図-1 長崎市の地図

2. 流出解析モデルの概要

中間流・表面流統合型KWモデル²⁾はA層(極めて透水性の高い表土層)中を流れる中間流を考慮した流出解析モデルであり、下の式(1)、(2)で表される。

連続式
$$\frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial t} = r \tag{1}$$

運動量式
$$q = \begin{cases} ah & (h \leq d) \\ \alpha(h-d)^m + ah & (h > d) \end{cases} \tag{2}$$

ここに、 $a = k \sin \theta / \gamma$ 、 q : 斜面単位幅流量、 h : 実質水深、 r : 降雨強度、 d : 実質A層厚($= \gamma D$ 、 γ は有効空隙率、 D は見かけのA層厚)、 k : 透水係数、 θ : 斜面勾配である。なお、 α 、 m は定数であり、Manning則を用いると $m = 5/3$ 、 $\alpha = \sin^{1/2} \theta / n$ (n はManningの粗度係数)である。(1)式および(2)式を流出解析でよく用いられる落水線に適用して各斜面素片の流量 q と実質水深 h を求め、実質水深 h を用いて斜面素片の安全率を求める。

3. 斜面安全率算定方法の概要

斜面素片における斜面安全率の算定には、表層土を崩壊させようと基底面に働くせん断応力 τ と、それに抵抗するせん断抵抗力 τ_r を用いる。実質水深と実質A層厚を考慮に入れると τ と τ_r はそれぞれ下の式で表される。

$$\tau = \begin{cases} [\gamma_{sat} \cdot h / \gamma + \gamma_w \cdot (D - h / \gamma)] \cdot \sin \theta & (h \leq d) \\ [\gamma_{sat} \cdot D + \gamma_w \cdot (h - d)] \cdot \sin \theta & (h > d) \end{cases} \tag{3}$$

$$\tau_r = \begin{cases} [c + h / \gamma \cdot (\gamma_{sat} - \gamma_w) + \gamma_w \cdot (D - h / \gamma)] \cdot \cos \theta \cdot \tan \phi & (h \leq d) \\ [c + D \cdot (\gamma_{sat} - \gamma_w) - \gamma_w \cdot (h - d)] \cdot \cos \theta \cdot \tan \phi & (h > d) \end{cases} \tag{4}$$

ここに、 c : 土の粘着力、 ϕ : 土の内部摩擦角、 γ_{sat} : 土の飽和単位体積重量、 γ_w : 水の単位体積重量、 γ_c : 土の湿润単位体積重量である。なお、安全率SFは、 $SF = \tau_r / \tau$ で定義することができ、 $SF < 1$ であればその部分を崩壊危険箇所として指摘する。

4. 結果と考察

図-2は計算に使用した長崎大水害当時の時間降雨量である。グラフに示されているように、7月23日19

時から 23 時にかけて 4 時間で 376mm の激しい降雨があったので、特にその時刻の斜面安全率の変化に着目する。

図-3、図-5 は川平、芒塚両地区の落水線図を、図-4、図-6 は両地区で斜面崩壊が起こった時刻の斜面安全率を示しており、□で囲んだ部分は当時の崩壊箇所である。

図-4 の川平地区においては、一部分で崩壊箇所と解析による危険メッシュとの一致が見られる。

一方、図-6 の芒塚地区では、崩壊箇所と一致するメッシュは存在せず、崩壊箇所のメッシュはすべて安全率が 1 を上回っている。

この原因としては、川平地区では 12.5m×12.5m のメッシュで地盤高データを作成したのに対して、芒塚地区では 25m×25m のメッシュを用いたため、本来であれば急勾配であるはずのメッシュが平均化されて多少緩やかになったことが考えられる。

両地区の解析結果をみると、崩壊が予想される $SF < 1$ のメッシュがいくつか分布しているが、これらのメッシュの多くは当時の崩壊箇所とは一致していない。したがって、 $SF < 1$ であるからといって、その部分が必ずしも崩壊するとは限らない。

また、逆に $SF > 1$ のメッシュも崩壊箇所に含まれていることから崩壊を発生させる他の要因、例えば、表層土の被覆状況などが存在すると考えられる。

5. おわりに

今回の研究では、地盤高とそこから得る事ができる勾配のみを考慮して数値シミュレーションを行ったが、部分的であるにせよ当時の崩壊箇所との一致が見られた。しかし、さらにモデルの精度を上げるには、地形だけではなく、植生、表層土の種類、土地の被覆状況等を考慮に入れる必要があるだろう。

また、本研究は土石流の発生過程である生産→輸送のうち、生産のみに的を絞っている。豪雨時においては、崩壊により発生した土砂が土石流となって流れ下り、広範囲に被害をもたらすことがある。従って、土砂の輸送による被害シミュレーションをすることが必要であり、今後の課題だと考えている。

参考文献 1) 佐藤康弘：山地流域での水・土砂動態モデルに関する基礎的研究，京都大学修士論文，1999。
2) 高棹琢馬・椎葉充晴：KinematicWave 法への集水効果の導入，京都大学防災研究所年報，第 24 号，B-2，3pp. 159-170，1981。

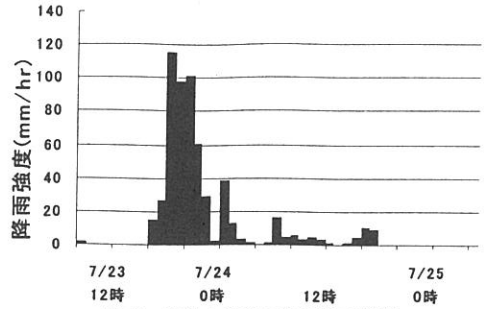


図-2 長崎大水害の時間降雨強度

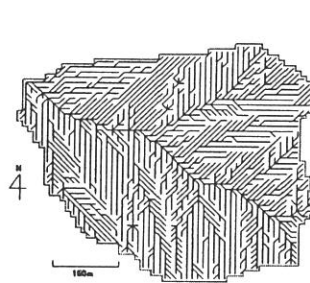


図-3 川平地区の落水線図

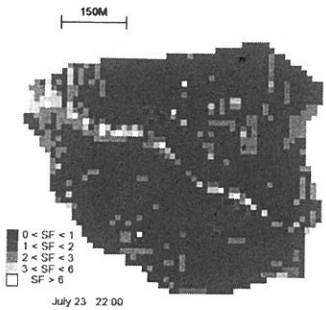


図-4 川平地区の斜面安全率

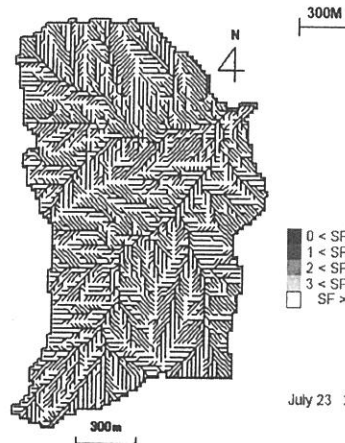


図-5 芒塚地区の落水線図

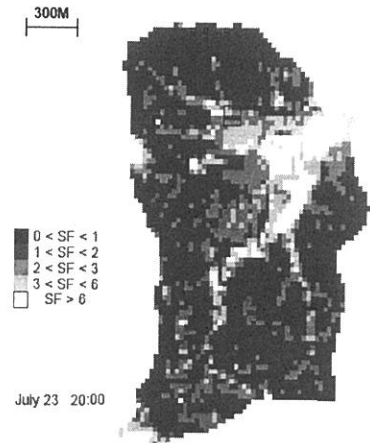


図-6 芒塚地区の斜面安全率