流出解析に基づく斜面安全率の算定に関する研究

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

１．はじめに

1982 年 7 月 23 日に発生した長崎大水害では，長崎県内で 299 名もの死者･行方不明者が発生した(**図-1**)．このうち土石流や地すべりなどの土砂災害による割合は 7 割を超えており，これまでにさまざまな土砂災害対策が講じられてきた．例えば，長崎県では web 上で急傾斜地，土石流，地すべりそれぞれの危険区域を表示するシステムを構築している．これらの危険区域は，斜面の傾斜角や家屋数に基づいて指定されたものである．これに対して，本研究では，豪雨時の流出解析に基づいて，斜面の安全率という指標によって数値解析的に危険箇所を指摘することを試みる．

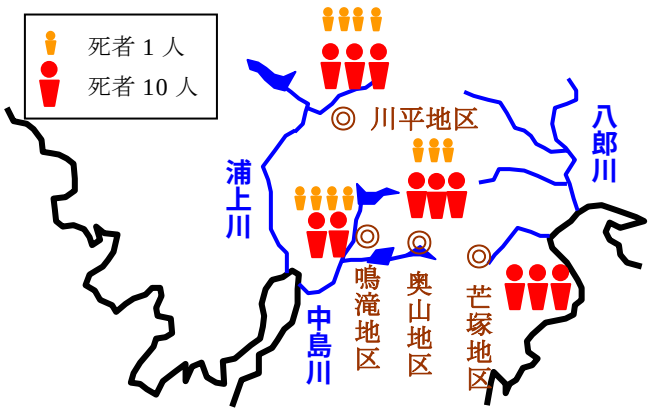

図-1　長崎大水害時の主要な被災箇所

２．解析モデルの概要

本研究では，市川ら[1)]の手法に基づき，中間流・表面流統合型 kinematic wave モデルで得られる地下水位を用いて，斜面の安全率を算出する．中間流・表面流統合型 kinematic wave モデルは，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．

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

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

ここに，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），θ: 斜面勾配である．なお，a およびα, m は定数であり，それぞれ Darcy 則および Manning 則を用いると，$a=k\sin\theta/\gamma$および $m=5/3$，$\alpha=\sin^{1/2}\theta/n$（$k$：透水係数，$n$：Manning の粗度係数）である．(1)式および(2)式を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．

斜面素片における安全率の算定には，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（**図-2**）．τ と τ_r はそれぞれ下の式で表される．

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

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

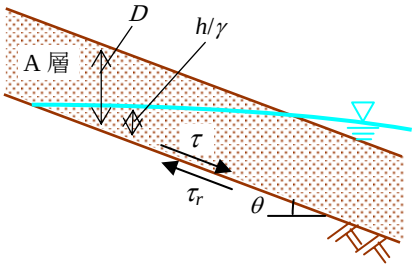

図-2　斜面の概念図

キーワード　安全率，流出解析，斜面崩壊，長崎大水害
連絡先　〒852-8521　長崎市文教町 1-14　長崎大学工学部社会開発工学科　TEL.095-819-2623

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_t：土の湿潤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．

３．結果と考察

上記のモデルを，**図-1** の川平地区および芒塚（すすきづか）地区に適用し，**図-3** に示す長崎大水害当時の時間雨量（長崎海洋気象台）を全域に一様に与えた解析を行う．川平地区と芒塚地区では，水害当時それぞれ 7 月 23 日の 22 時頃，20 時頃に崩壊が発生した．

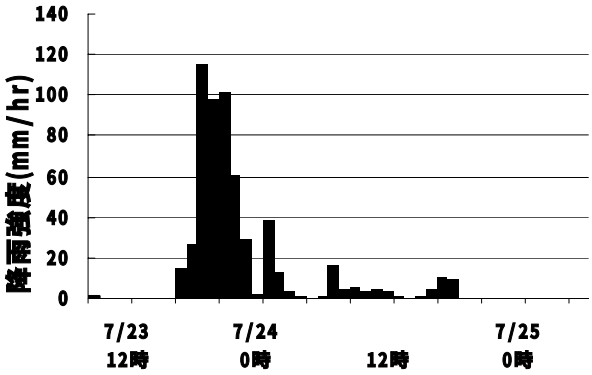

図-3　長崎大水害時の時間雨量

図-4，**図-6** は，それぞれ川平を 12.5m，芒塚地区を 25m メッシュで分割して得られた落水線である．**図-5**，**図-7** は，両地区で長崎大水害当時に斜面崩壊が起こった時刻の解析結果（斜面安全率）を示している．なお，図中の□で囲んだ部分は当時の崩壊箇所である．川平地区では，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みられたが，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 を上回っていた．この原因としては，メッシュサイズの違いにより，芒塚地区では微地形が適切に表現されていなか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．

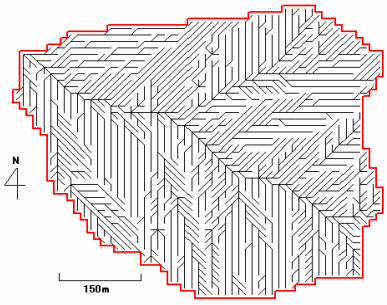

図-4　川平地区の落水線

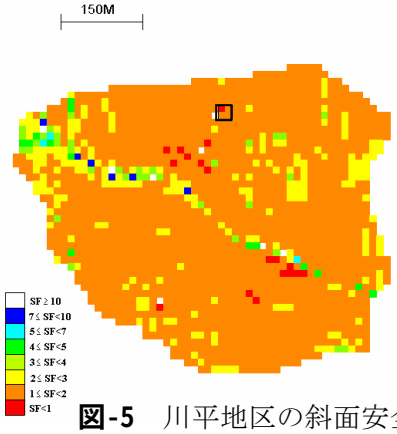

図-5　川平地区の斜面安全率

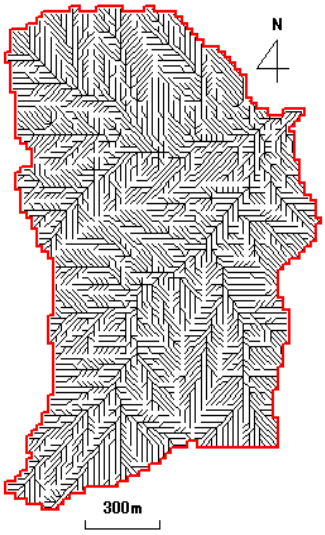

図-6　芒塚地区の落水線

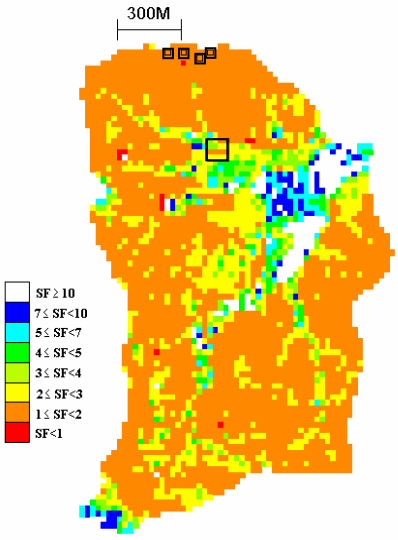

図-7　芒塚地区の斜面安全率

４．おわりに

本研究では，地盤高とそれから得られる勾配のみを考慮して数値シミュレーションを行い，部分的であるにせよ当時の崩壊箇所との一致がみられた．しかし，さらに解析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たモデルの構築が必要であろう．

参考文献　1) 市川　温・佐藤康弘・椎葉充晴・立川康人・寶　馨：山地流域における水・土砂動態モデルの構築，京都大学防災研究所年報，第 42 号 B-2，pp.211-224，1999.