

水文技術コンサルタント株式会社 正会員 ○高橋健二
 京都大学大学院工学研究科 正会員 大津宏康
 京都大学大学院工学研究科 正会員 大西有三
 京都大学大学院工学研究科 学会員 Sirisin Janrungrautai

1. はじめに

筆者ら^{1),2)}は、これまでに道路に隣接する斜面の補強対策を対象として、地震に起因する斜面崩壊により発生する社会経済学的損失の評価に基づく、リスク評価手法について研究を進めてきた。本研究は、これまでの筆者らの研究の知見に基づき、新たに自然災害のハザード要因として、降雨を対象とした斜面崩壊により発生する社会経済学的損失の評価に基づく、リスク評価手法について提案するものである。本研究のタンクモデル法は、検討対象とする地域での既往の地下水観測結果に基づき、多数の斜面毎の地下水変動評価に適用するものとする。

2. 降雨時の斜面崩壊とタンクモデル法の適用

降雨時の斜面崩壊は、斜面内の地下水挙動と有限斜面の安定問題として評価されることが多く、斜面の破壊判定の性能関数は、円弧すべりのような性能関数も設定できるが、本研究における降雨による斜面崩壊では、崩壊土塊の厚さが薄い表層崩壊が多いことから式①に示す表層すべりの性能関数を用いる。

$$Q = \left(1 - \frac{\gamma_w H_w}{\gamma H} \right) \cdot \frac{\tan \phi_d}{\tan \alpha} + \frac{c_d}{\gamma H} \cdot \frac{1}{\sin \alpha \cos \alpha} - 1 \quad \text{式①}$$

ここに、 γ_w は水の単位体積重量、 γ は土の単位体積重量、 ϕ_d は内部摩擦角、 c_d は粘着力、また α は無限斜面の傾斜角、 H は表層土の層厚、 H_w は表層土中の水深である。ここで提案する3連1次元タンクモデルは、斜面内の降雨～浸透～流動～最湧出する地下水流動経路や降雨を基にする斜面内水収支の再現が可能など、降雨波形や降雨地下水応答の遅延効果が表現できること、及び斜面内の地下水貯留水量に伴う不圧地下水位を再現できることなどが特徴である。具体的なタンク構造は、Fig.1に示す様に2段タンクよりなる1次元タンクモデルが斜面の上部、中間部、下部に連結した3連1次元タンクモデルであり、各部分の1次元タンクモデルにおける表面流、及び地下水浸透量は、タンクモデル係数やタンク内水位から求められる。

斜面上を流下する地表水量（ホートン地表流）は、下式②より導出される。

$$q_{\alpha 11} = (\theta_{11} - \beta_{11})(h_{10} - H_A)e^{-\theta_{11}t} \quad \text{式②}$$

斜面内部に浸透する地下水量は、下式③から導出される。

$$q_{\alpha 12} + q_{\alpha 13} = \theta_{12} \left\{ (h_{20} - R_{12}) + \frac{\beta_{11}(h_{10} - R_{11})}{\theta_{11} - \theta_{12}} \right\} e^{-\theta_{12}t} - \theta_{12} \frac{\beta_{11}(h_{10} - R_{11})}{\theta_{11} - \theta_{12}} e^{-\theta_{11}t} \quad \text{式③}$$

この1次元タンクモデルを斜面の上部、中間部、下部に連結させ、上部1次元タンクの上段タンク流出 $q_{\alpha 11}$ は、中間部の上段タンクに $(P-E)+q_{\alpha 11}$ として流入する。また、上部1次元タンクの下段タンクの地下水量は、中間部の上段タンクの β_{21} 孔からの浸透量に加えて下段タンクに流入する。各下段タンクは、不圧地下水位を取り扱うタンク構造としているため、式④により有効間隙率を考慮した水位計算を行う。

$$q_{\alpha} = q_{\alpha 12} + q_{\alpha 13} \quad \lambda : \text{有効間隙率} \quad \text{式④}$$

$$h_{20} = q_{\alpha} / \lambda$$

同様に斜面中間部タンクについても、上段タンクの $q_{\alpha 21}$ は、上段タンクの地表流と降雨の合計 $(P-E)+q_{\alpha 21}$ として上段タンクに流入する。このような水収支計算を、斜面上部～下部の順番で3箇所1次元タンクモ

デルから計算される地表水量，及び地下水量が加算させながら，斜面下流へ流下する計算式を適用させる．

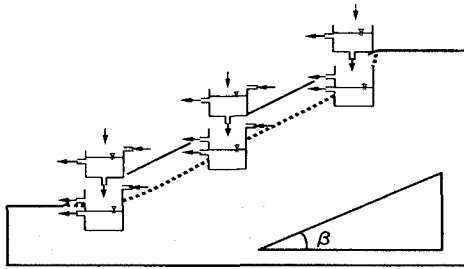


Fig.1 3連1次元タンクモデルの構造

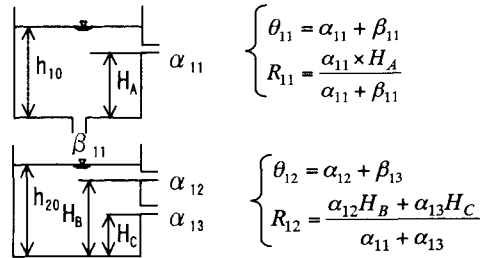


Fig.2 1次元タンクモデル

3. 降雨時の斜面破壊確率

3連1次元タンクモデルにより，降雨波形に応じた斜面内の水位上昇量(Hw)を求める．Fig.3～Fig.4には，超過確率降雨に伴う2箇所の斜面における降雨特性と地下水位上昇量を示し，更に，水位変化に伴う条件付き破壊確率の経時変化を合わせて示している．両斜面とも地下水位の上昇に伴って破壊確率が高くなる．確率降雨 $W=1/500$ の場合，最大水位上昇時間より6～7時間前に破壊確率 $pf(x)=1.00$ に到達する．

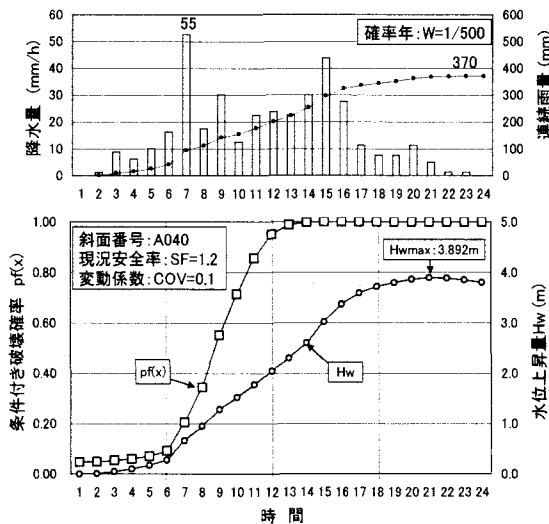


Fig.3 A 斜面における降雨確率と破壊確率

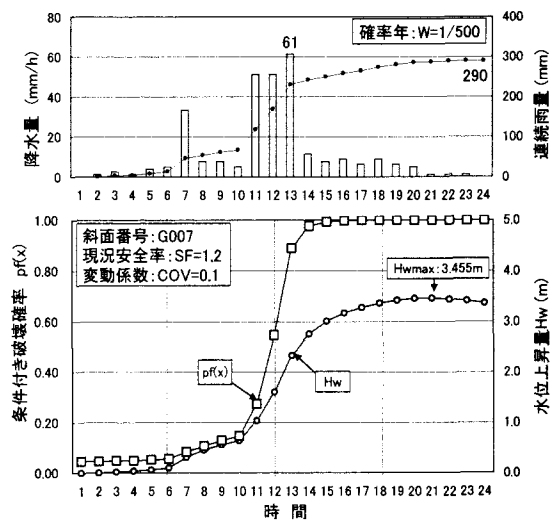


Fig.3 B 斜面における降雨確率と破壊確率

4. まとめ

本研究では，降雨に起因する斜面破壊リスク評価方法として，浸透流解析等の数値解析法に比べて，比較的簡便に斜面内の地下水挙動を3連1次元タンクモデルで予測し，降雨と斜面毎の地下水変動を条件とする崩壊確率を算定した．従来の雨量指標を基にしたリスク評価に比べて，個々の斜面における降雨時の地下水位応答を考慮した条件付リスクの評価ができたことで，斜面補強の優先順位付けが可能となるだけでなく，既往降雨に基づく降雨ハザード発生確率を算定することで地震等のハザードとの比較検討も可能である．

参考文献

- 1)大津宏康，大西有三，水谷守：高速道路に近接する斜面を対象とした自然災害に対するリクマネジメント手法に関する提案，土木学会論文報告集，土木学会論文集，No.658/VI-48，pp.245-254，2000.
- 2)大津宏康，大西有三，西山哲，竹山雄一郎：岩盤崩落による社会経済的損失を考慮したリスク評価に関する研究，土木学会論文集，No.707/VI-55，pp.207-218，2002.