

埼玉大学工学部 正員 風間秀彦

埼玉大学大学院 学員 ○滝沢太朗

日 特 建 設(株)

稲川浩一

1. まえがき 豪雨に伴う斜面崩壊は毎年多く発生しており、崩壊の予知・予測手法の確立、崩壊の防止対策は緊急の課題となっている。筆者らは表層滑落型の斜面崩壊を対象に、飽和度上昇に伴う強度低下、降雨浸透による地盤状態の変化や斜面の不安定化挙動、崩壊に対する降雨条件などに関して報告^{1, 2, 3, 4)}してきた。そこで本報告では先行降雨量やその継続及び中断時間が斜面の不安定化にどのように影響するかについて解析的に明らかにし、崩壊の降雨条件を求める際の先行降雨量と時間との関係を適切に評価することを目的とした。また、タンクモデルのパラメーターの合理的決定方法についても検討した。

2. 解析方法 解析対象は千葉県北部の成田層の砂質斜面とし、現地調査の結果を考慮して高さ24 m、傾斜角45°、平均表層厚約2mの代表的な斜面を選定した。降雨に伴う斜面の状態変化は図-1示すタンクを4段重ねたタンクモデルを主にして解析し、また飽和・不飽和浸透解析も併用した⁵⁾。解析に用いた降雨はこの

$$A_i = a \cdot k_i$$

$$B_i = b \cdot k_i$$

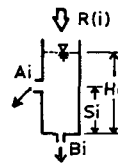


図-1 タンクモデル

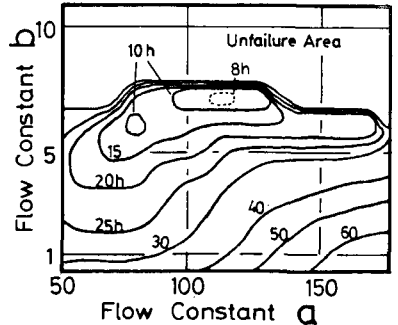


図-2 タンクの流出係数の決定

地域のここ10数年の降雨量が比較的多いもの、実際に崩壊したときのもの、及び2~60mm/hの一定降雨などである。この解析結果による飽和度変化と深さ方向の間隙比変化に対応する強度定数を用いて各種の円弧について安定計算を行い、斜面の不安定化挙動を求めた。なお、安定解析では表層土と弱風化層との不連続面に接する最大の円弧の安全率がほとんどの場合最小になることから、以下ではこの円弧の結果について述べる。

3. パラメーターの決定 浸透解析ではパラメーターの決定方法が解析結果を支配するといっても過言でない。とりわけタンクモデルのパラメーターは従来土質定数との関係が不明確であった。そこで、深さ方向の間隙比の変化を考慮した4段のタンクの流出係数

A_i 、 B_i は透水係数に比例すると仮定した(図-1)。この比例定数 a 、 b を種々に変化させて約500の組み合わせについて実際に崩壊したときの3つの降雨データを用いて崩壊時間を計算した。そして、実際の崩壊時間との差の絶対値を3つの降雨に対して重ね合わせると図-2のような時間差の合計のコンターが得られた。図から a 、 b の最適値として $a=110$ 、 $b=7$ になり、この値を他の崩壊例に適用した解析結果が図-3である。実際と解析の崩壊時間はほぼ一致し、また崩壊例、未崩壊例とも飽和・不飽和浸透解析の結果との対応は良好である。以上のことからタンクモデルのパラメーターをある程度客観的に決定することができた。

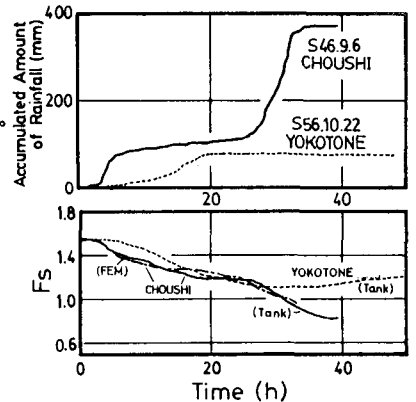


図-3 実際の降雨による安全率変化

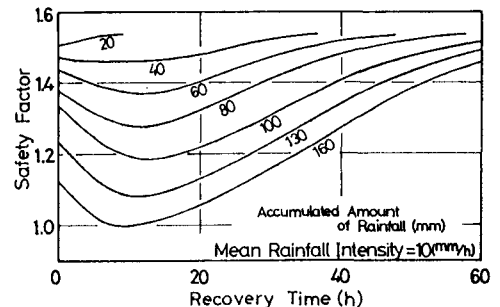


図-4 降雨終了からの安全率の経時変化

4. 先行降雨の評価 降雨が斜面に浸透するには当然時間的遅れが生じ、そのために降雨が止んでも安全率が徐々に低下することが予想される。図-4は平均降雨 10 mm/h のときの、降雨終了からの安全率回復の経時変化を示したものである。したがって先行降雨による回復時間を考える際には、降雨終了時を起点にする必要がある。また崩壊しない場合、降雨が止んでから安全率が最小になるまでの時間と降雨継続時間との関係を示したのが図-5であり、図

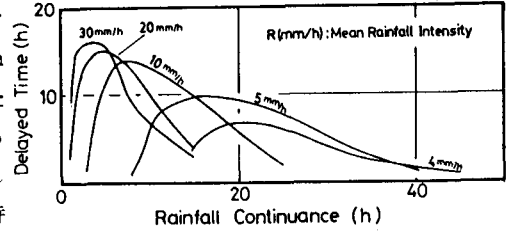


図-5 降雨終了から最小安全率になる時間

中の数値は平均降雨強度である。降雨強度が大きく、継続時間が少ないほど時間的遅れが大きくなっている。図-6は、降雨継続時間の違いによる平均降雨強度と回復時間の関係を示したものである。降雨継続時間が短いと降雨強度違いによる回復時間の差は顕著でないが、長くなるにつれてわずかな降雨強度の差でも回復時間が大きく異なることがわかる。ところで先行降雨や累積雨量についてはいろいろな考え方があり、例えば先行降雨を実効雨量で評価する方法や、累積雨量を連続雨量として扱う方法などがある。しかし、降雨強度、総雨量、中断時間、さらに降雨パターンなどにかかわらず、これらを一律に扱うことには無理がある。というのは平均降雨強度や継続時間、累積雨量などが斜面の不安定化挙動に大きく影響する

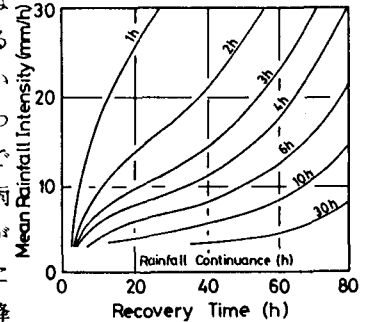


図-6 降雨強度と回復時間

ためである。したがって、崩壊に対する降雨条件を求めるには先行降雨の影響範囲を明確にしておく必要がある。図-7は、累積雨量と平均降雨強度から安全率が完全に回復するまでの時間の関係を示した。つまり、累積雨量としてカウントできる有効時間範囲を示したものである。図の曲線は各種の一定降雨によるものであるが、実際に未崩壊の場合の降雨を用いた解析結果も一定降雨の結果とほぼ対応し、実際の降雨の場合にもこの結果は適用可能と言える。しかし、図-7は安全率が完全に回復するまでの時間であり、回復途中で降雨が再開した場合は中断期間に応じて低減率などを考慮する必要がある。累積雨量を連続雨量として算定した場合、すでに提案した降雨条件⁵⁾を満たし得ない一例を示したのが図-8の○印であり、図-7の結果から先行雨量を考慮すると●印になり、解析結果及び実際の降雨の資料から求めた崩壊・未崩壊を区別する降雨条件を満足することになる。したがって、累積雨量を連続雨量(降雨中断は6時間まで)とする方法は必ずしも適切でなく、先行降雨量や継続時間などに応じて累積雨量を算定する必要があるとともに、先行降雨の質的な評価も重要である。

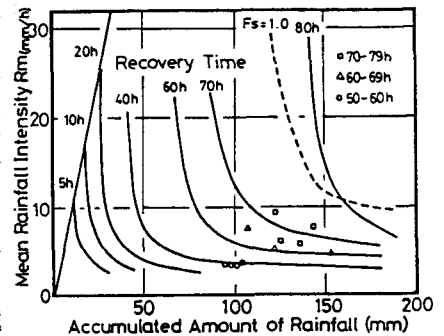


図-7 安全率回復に要する時間

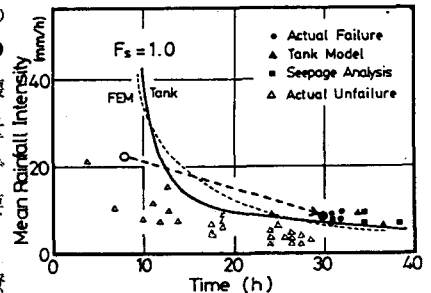


図-8 崩壊に対する降雨条件

5. まとめ 以上の結果から、先行降雨による回復時間を明瞭

にすることができ、累積雨量の算定に平均降雨強度、降雨継続時間、などに応じた方法を示した。しかし、長期間の断続的な降雨に対する評価は未解明であり、今後低減率が一律でない実効雨量的な扱いを究明し、その観点からの崩壊に対する降雨条件を明らかにする予定である。

参考文献 1) 風間他: 第17回自然災害シンポジウム, pp.423-456, 1980 2) 芥川他: 応用地質, Vol.25, No.3 pp.32-40, 1984 3) 芥川他: 第18回土質工学研究発表会, pp.1277-1280, 1983 4) 風間他: 第21回自然科学総合シンポジウム, pp.459-462, 1984 5) 芥川他: 第20回土質工学研究発表会, p.1397, 1985