

埼玉大学工学部 正員 芥川真知
 埼玉大学工学部 正員 風間秀彦
 鹿島建設(株) 正員 ○中島健一

1. さえがき 集中豪雨に伴う表層滑落型の崩壊によって多くの被害をもたらされ、崩壊の予知・予測手法の開発は緊急の研究課題となっている。これまで主に砂質斜面を対象に、飽和度上昇に伴うせん断強度低下¹⁾、潜在崩壊面の形成機構²⁾、降雨の浸透特性に実験及び理論的な検討を加え、これらの結果を考慮した斜面の安定解析において、降雨に伴う斜面の不安定化挙動をある程度説明し得ることを報告した。そこで、本報告は成田層の砂質斜面を対象に、多くの降雨パターンに対する浸透解析を行い、浸透を考慮した安定解析から安全率の経時変化を求め、さらにこれらの降雨特性と斜面崩壊の関係から崩壊に対する指標を得ることを目的とした。

2. 安定解析 砂質土の表層崩壊の典型的な例として、千葉県下に分布する成田層を対象とした。単純せん断試験の結果から、たとえば間隙比1.0のとき飽和度が40%から95%に増加すると、粘着力 C_d は1.0から 0.5 kg/m^2 に、内部摩擦角 ϕ は 35° から 30° 程度に減少するように飽和度の上昇に伴いせん断強度が低下し、斜面の安定性に大きく影響すること、また、鉛直浸透・斜面モデル実験との対応から降雨の浸透に対して有限要素法による飽和・不飽和浸透解析が有効であることを示した。そこで、降雨に伴うせん断強度の低下と浸透解析から求めた飽和度、地下水面、浸透力を考慮した斜面の安定解析を行った。千葉県千代田市の斜面の現地調査をもとに図-1に示すように、比高24m、深さ約2mの表層をもつモデル化した斜面を用いた。成田層の斜面では高さの違いはあっても、表層構成は同様なものが多い。安定解析では安全率の経時的変化を求める必要があること、また、無数の円弧について計算すると時間が増大になることから円弧を図-1のように仮定した。計算の結果、最大の円弧が最小安全率に近いことから、以降の説明ではこの円弧の結果を示す。地盤条件は現地調査から表層の間隙比を1.0、初期飽和度を50%と一定にし、透水試験から透水係数を $6 \sim 9 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ とした。

実際に崩壊した八日市場市の降雨例(図-2(a))を用いた安全率の時間的変化は図-2(b)である。24時間程度の少量の降雨によって安全率は徐々に低下し、その後強い降雨によって F_s が1.0に達するのは28~30.8時間後であり、図-2(a)の累積雨量曲線上 $\leftrightarrow$ 印で示した実際の崩壊時間とはほぼ対応している。計算と実際の間には透水係数、斜面形状の相違、植生の有無などにより多少のずれはあっても、斜面の不安定化挙動を説明できるといえる。一方、現実的ではないが、透水係数を $9 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ とし、一定な降雨が継続した場合の安全率の経時変化を示したのが図-3である。透水係数が同じならば、降雨強度が小さいほど F_s の低下は遅い。しかし、 40 mm/h と 80 mm/h の差は小さい。

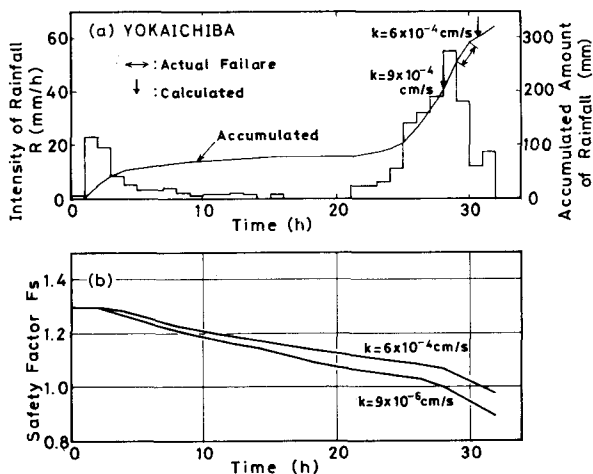
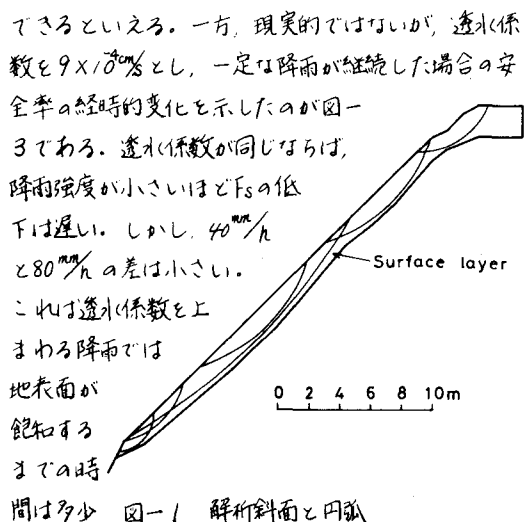


図-2 八日市場市の降雨と安全率の経時変化

異なるが、飽和後の降雨の浸透は差がなくなるためである。

3. 斜面崩壊と降雨特性 一定降雨による解析から崩壊時間と降雨強度の関係を透水係数ごとに示したのが図-4である。ひとつの曲線に対して右上側が $F_s < 1$ の崩壊域である。これは、降雨が有効に流入する量より大きい降雨強度では崩壊時間はあまり変らず、逆に、小さくても長時間継続すると崩壊に到ることを示している。

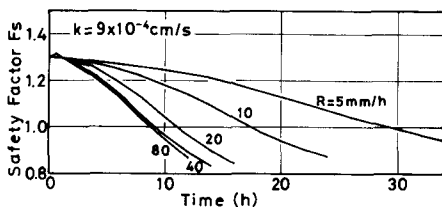


図-3 一定降雨の場合の安全率変化

崩壊までの累積雨量を継続時間で割った平均降雨強度 R_m と時間の関係に崩壊、未崩壊に分けて示したのが図-5であり、図中の曲線は図-4の透水係数が $9 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ の場合であり、一定降雨の結果を境に崩壊と未崩壊が区別できる。したがって、これが崩壊予測の一つの指標になると思われる。ただし、透水係数がパラメータであるために限定されたものになるので、平均降雨強度 $R_m (\text{mm/h})$ と $R_m (\text{cm/s})$ に換算し、降雨が斜面に流入する割合を示す R_m/k で表わす。一定降雨の場合の R_m/k と崩壊までの累積雨量の関係は図-6のようにユニークな曲線で表わされ、曲線の右下側は崩壊領域を示す。 R_m/k が1以上では曲線が緩やかになるのは地表面が飽和後、土中に浸透する量より降雨量が多いためである。したがって、降雨が有効に浸透する量は透水係数に支配されることを意味している。この図に図-5の調査、解析結果をプロットしたものが図-7であり、この曲線によって崩壊と未崩壊をほぼ区別できる。当然のことながら、崩壊に到る過程は曲線の左上側の領域から降雨量に依って時間的に変化し、そしてこの曲線を切って崩壊域に達することになる。この関係から斜面の平均的な透水係数、累積雨量、降雨の継続時間を知ることによって、崩壊の予測がある程度可能になるといえる。しかし、斜面のモデルに仮定、植生が浸透に及ぼす影響、フラック等の存在による透水性の評価、土の種類による強度の低下や浸透特性等をより正確に把握すると同時に、本手法の他の土の適用性を検討することが今後の課題である。

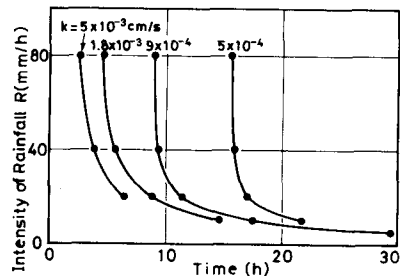


図-4 一定降雨による崩壊時間

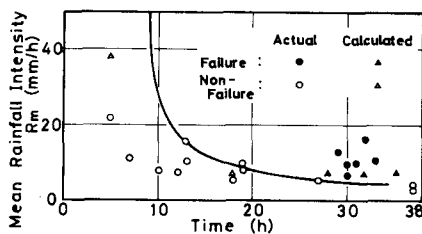


図-5 崩壊時間と平均降雨強度の関係

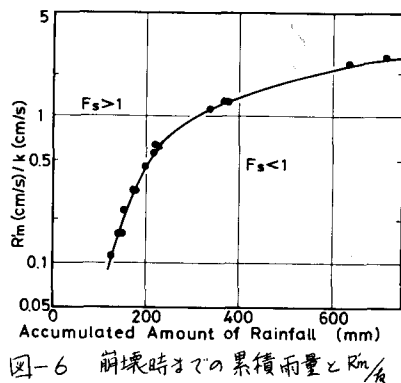


図-6 崩壊時までの累積雨量と R_m/k

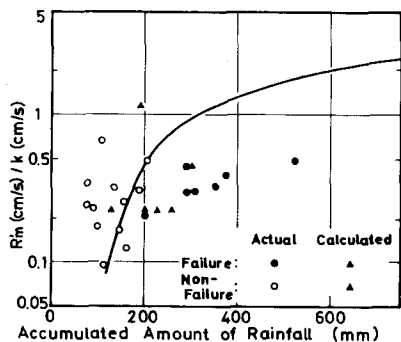


図-7 崩壊時までの累積雨量と R_m/k

4. まとめ 以上の結果をまとめるつぎのとおりである。①表層滑落型の斜面をモデル化し、降雨の浸透解析と強度低下を考慮した安定解析の結果、実際の崩壊時間とはほぼ一致し、降雨に伴う斜面の不安定化挙動を、ある程度説明することができた。②一定降雨の安定解析結果から崩壊と未崩壊を区別する降雨特性が見出され、特に降雨が流入する割合を示す R_m/k と崩壊までの累積雨量の関係が砂質斜面の崩壊予測のひとつの指標になり得ることが判明した。なお、本研究は昭和57年度科研費補助金（自然災害、代表者芥川）を使用した。

参考文献 1) 岡田他：第15回土工学会研究発表会，PP. 1097~1100, 1980. 2) 芥川他：第14回自然災害科学総合シンポジウム論文集，PP. 305~308, 1977. 3) 芥川他：第18回土工学会研究発表会，1983. 4) Neuman, S. P.: Saturated-Unsaturated Seepage by Finite Elements, ASCE, Vol. 99, HY12, PP. 2233~2250, 1973