

降雨時の斜面崩壊に対する時間的・場所的安定性評価手法

防災技術研究部 地盤防災
主任研究員 布川 修

1. はじめに

降雨時に鉄道沿線で発生する切土や自然斜面（以下、斜面という）表層の崩壊に対する安定性を評価するためには、崩壊に直接大きな影響を及ぼす表層の地下水位変動を予測することが重要である。しかし、鉄道沿線の斜面数は膨大であることから、崩壊が懸念される全ての斜面の安定性を、詳細な調査や解析により地下水位変動を予測したうえで評価することは困難である。そこで、本研究では簡易な計算方法を用いて斜面表層の地下水位と、これをもとにした安定性を時間的・場所的に評価することを可能とする解析モデルを構築し、このモデルの検証、およびモデルによる計算結果の利用方法を検討した。

2. 解析モデルの概要

降雨時に発生する斜面表層の崩壊に対する安定性を簡易に評価する代表的な手法として、沖村ら¹⁾が提案した方法がある。本研究では、このモデルの基本的な考え方にもとづき、これに新しい知見や手法を加えてモデルを構築した。図1に解析モデルでの斜面表層における雨水流動に関する概念図を示す。図に示すとおり、対象斜面の地形をメッシュに分割したうえで各メッシュに一定の土層厚を持つ直方体の土塊を仮定し、分割したメッシュ間およびメッシュ内の雨水流動を計算することで、斜面の安定性を評価する。

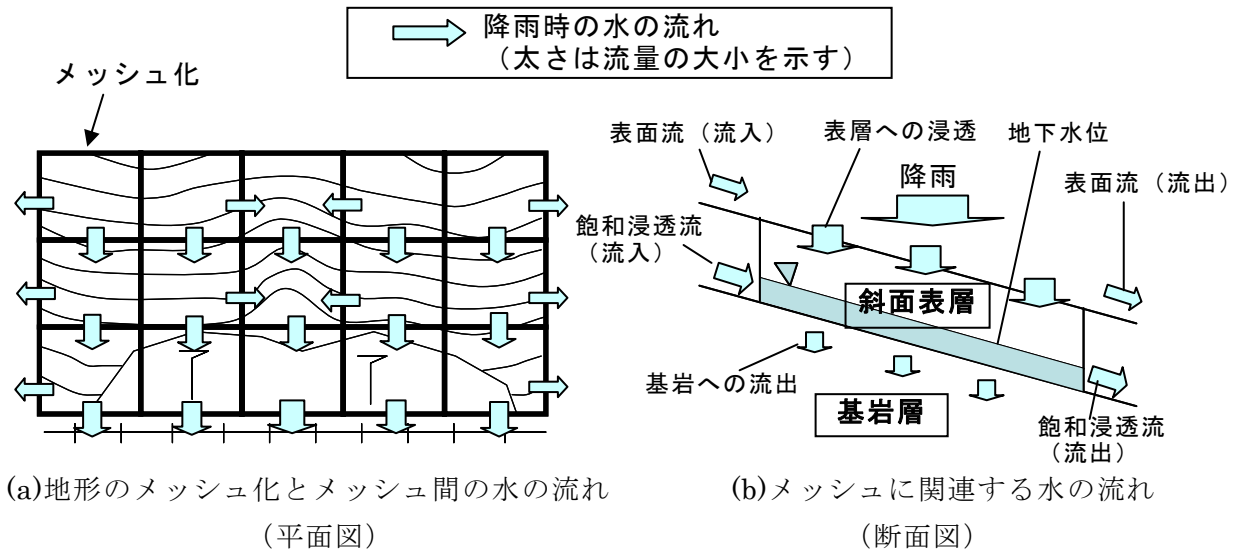


図1 解析モデルでの斜面表層における雨水流動に関する概念図

図2に解析モデルの計算フローを示す。まず、モデルの初期条件である数値地形データ、各メッシュの透水係数、表層厚さ、土質強度等を時間的に不変なデータとしたうえで、①地形条件からメッシュごとに水の流れる向きなどを設定する。つぎに、②降雨を入力することで、各メシ

メッシュの水の流入量、流出量からメッシュの飽和度を算出し、③これを用いて各メッシュの地下水位を計算する。さらに、④求めた地下水位から無限長斜面の安定計算理論に基づいて各メッシュの安定性を安全率として求める。このように、上記の②～④を Δt 時間間隔で必要計算時間まで繰り返し行うことで、時間的・空間的に変化する斜面表層の地下水位と崩壊に対する安定性を計算する。

本研究で構築した解析モデルと前述した沖村らの手法との違いは、斜面の地形的な凹地である沢に水が集中することにより斜面の水の流れに強く影響を及ぼすという考えから、地形的な条件として沢を設定した点である。また、地下水位の計算において、沖村らは有効降雨（降雨の内、斜面内に浸透する降雨）が直ちに基岩面に達して地下水位を形成するものとしているが、本モデルでは地下水位の形成は斜面表層の飽和度に依存すると考え、飽和度と地下水位との関係を定式化し、その結果を用いて地下水位を計算することとした点である。なお、飽和度と地下水位との関係は、実斜面における斜面表層の飽和度と地下水位の計測結果、および一様な勾配の斜面表層を対象とした2次元飽和・不飽和浸透流解析の結果を用いて定式化した。

3. 解析モデルの検証

3.1 地下水位計算結果の検証

解析モデルによる地下水位計算結果の検証として、地下水位計測を実施した実斜面に対して解析モデルを適用し、地下水位の計測結果と計算結果を比較した。図3に計測を実施した斜面の地形および状況図を示す。この図は、実斜面において実施した測量結果をもとに等高線図を作成し、その図上に崩壊跡などの現地の状況を示したものである。図に示すとおり、当該斜面は起伏に富み崩壊跡が多数見られる斜面である。なお、図に示した沢状の地形を呈する箇所地下水位について、計測結果と計算結果を比較した。

計算では、図3をもとに5mのメッシュで分割して作成した地形（5mメッシュ）と10mのメッシュで分割して作成した地形（10mメッシュ）を用いた。また、表層の透水係数や厚さなど、解析モデルに必要なパラメータについては、実斜面で採取した試料を用いて実施した各種土質試験や簡易動的コーン貫入試験などをもとに、全メッシュ一律の値と仮定して設定した。

図3に示した箇所における地下水位経時変化について、計測結果と計算結果を図4に示す。図より、5mメッシュ地形を用いた計算結果は計測結果とほぼ同じ傾向を示していることから、10mメッシュ地形の計算結果と比較して精度が高いことがわかる。これより、当該箇所については、解析モデルにより実斜面の地下水位挙動を再現できたと判断される。

上記で示した5mメッシュと10mメッシュとの計算結果の違いを明らかにするため、上記で示した解析より得られる解析時間8時間における地下水位の空間分布を図5に示す。これより、地

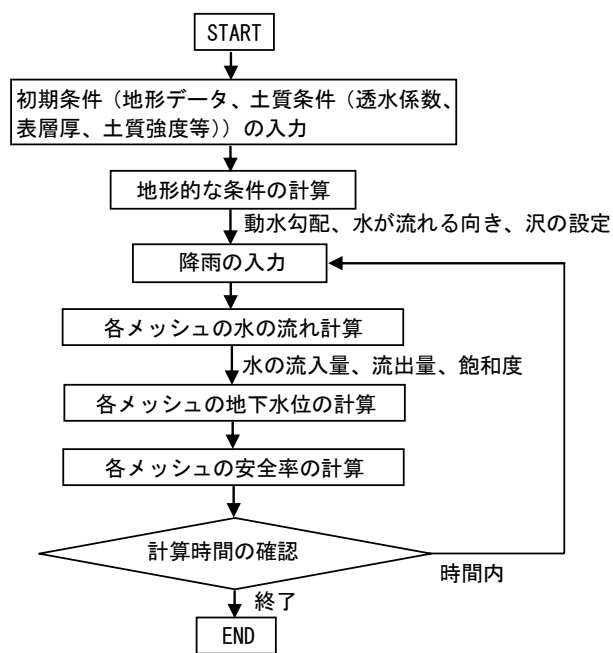


図2 解析モデルの計算フロー

下水位の高い箇所が 5m メッシュでは細かく分散する結果になるのに対し、10m メッシュでは計測箇所付近の一箇所に集中する結果になっていることがわかる。これは、10m メッシュでは起伏に富み崩壊跡が多数見られる対象斜面の地形の特徴を詳細に表現できず、明瞭な集水地形を呈する計測箇所付近一箇所に水が集中する結果になったためと考える。このことから、解析モデルで起伏に富んだ地形での地下水位変化を高精度に再現するためには、地形の特徴を表現できる適切なメッシュでの解析が必要であることがわかった。

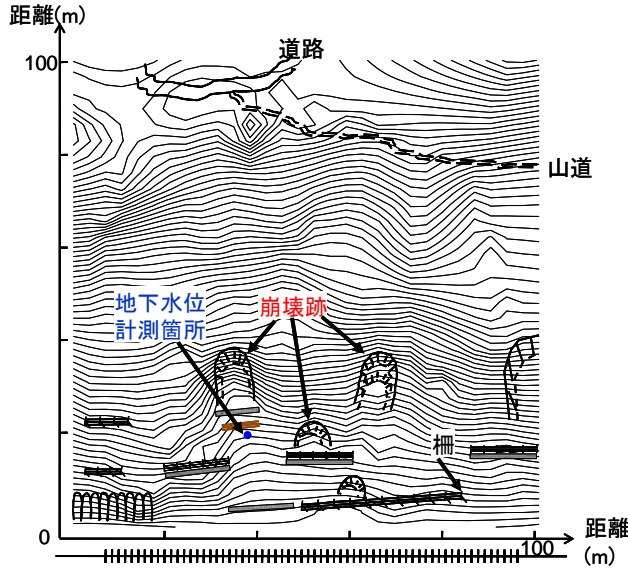


図3 計測実施斜面の地形と状況

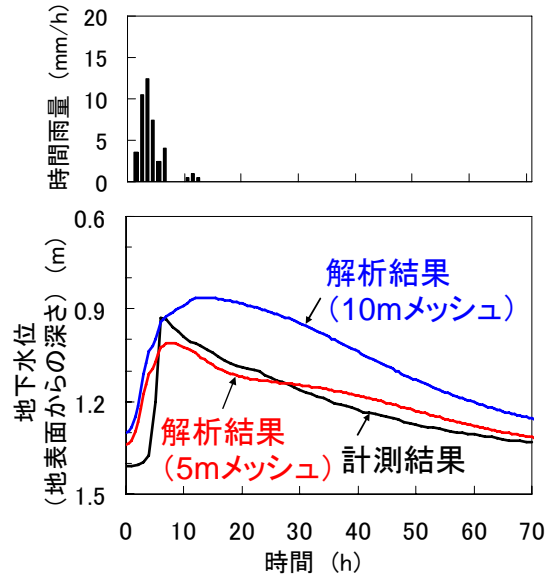


図4 地下水位経時変化

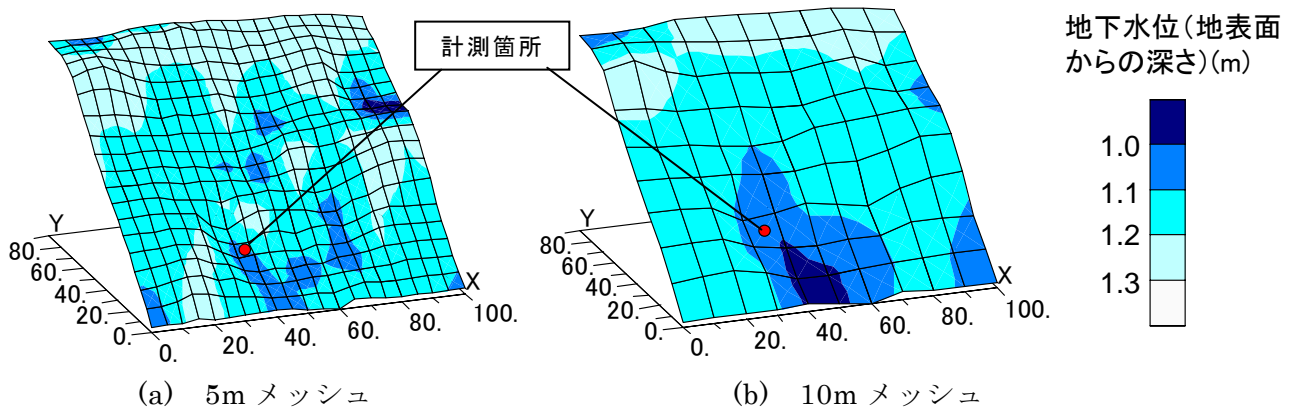


図5 地下水位の空間分布 (解析時間 8 時間)

3.2 安定性計算結果の検証

解析モデルによる安定性計算結果の検証として、3.1 節と同様に計測を実施した斜面に対して解析モデルを適用し、現地の状況から崩壊が懸念される箇所を計算により抽出可能かどうかを検討した。なお、計算における解析パラメータは 3.1 節と同様としたが、降雨条件については、計測期間中に斜面の安定性を低下させるような降雨が観測されなかったため、10mm/h の時間雨量を 30 時間与える降雨を仮定した。土の強度定数は、土の内部摩擦角 ϕ を 30° とし、計算の初期条件の時に最急勾配メッシュの安全率が 1.5 となるように土の粘着力を逆算することで設定した。

図 6 に解析時間 30 時間におけるメッシュごとの安全率の空間分布を示す。この図と図 3 を比較すると、5m メッシュ、10m メッシュとも一般的に崩壊が懸念される崩壊跡地やその周辺に相

当するメッシュの安全率が低下していることがわかる。したがって、当該箇所については、解析モデルによる安定性計算結果は妥当であると判断した。

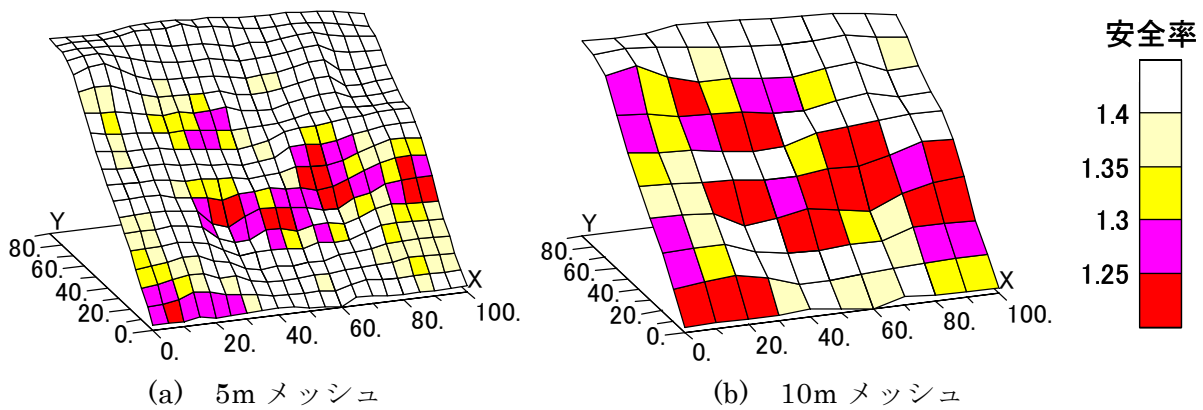


図6 安全率の空間分布 (解析時間 30 時間)

4. 計算結果の利用方法

解析モデルを用いた計算結果は、(1)崩壊危険箇所を抽出すること、(2)運転規制方法の検討を支援すること、に利用できる。(1)については、図6に示したように、斜面全域において、安全率が最も低下したと想定される解析時間における安全率の空間分布を求め、相対的に安全率が低いメッシュを抽出することなどが考えられる。

(2)については、図7に示すように、降雨と安全率の経時変化を用いることが考えられる。なお、利用する安全率としては、1)斜面全域における最小の安全率、2)上記(1)で抽出された崩壊危険箇所メッシュの安全率、などが挙げられる。具体的には、図7より、運転規制の基準とする安全率を定め、これを計算された安全率が下回るときまでの降雨量を求めることで、規制を発令する降雨量の参考にすることができる。また、降り止み後、規制を解除する時間については、①基準とした安全率を上回るまでの降雨終了からの経過時間、②安全率が明らかに回復する降雨終了からの経過時間、を求めることで、参考にすることができる。

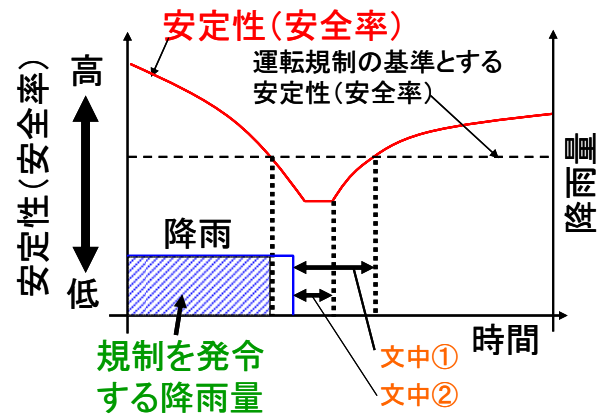


図7 安全率と降雨の経時変化を用いた運転規制方法の検討支援

5. おわりに

本稿では、斜面表層の崩壊に対する安定性を簡易な計算方法を用いて時間的・場所的に評価する解析モデルの概要と検証結果、および計算結果の利用方法について述べた。今後、今回対象とした斜面とは異なる斜面に対して本モデルを適用し、本モデルの適用性を検証するとともに計算結果の利用方法について深度化をはかっていく予定である。

【参考文献】

1) 沖村孝、市川龍平：数値地形モデルを用いた表層崩壊危険度の予測法、土木学会論文集、第358号/III-3、pp.69-75、1985。