

降雨による斜面表層の崩壊危険度を知る

布川 修

防災技術研究部
(地盤防災 主任研究員)

杉山 友康

同
(部長)

太田 直之

同
(地盤防災 主任研究員)



ぬのかわ おさむ



すぎやま ともやす



おおた なおゆき

はじめに

鉄道沿線では、図1に示すように降雨により自然斜面や切土斜面(以下、斜面といいます)の表面部分(以下、表層といいます)が崩壊することがあります。こうした斜面表層の崩壊を未然に防ぎ、列車の安全を確保するためには、鉄道沿線において斜面表層の崩壊危険度を知り、崩壊の危険性が高い箇所をあらかじめ把握しておくことが重要となります。

一方、斜面表層の崩壊には、降雨時の水の流れによって生じる斜面表層内の地下水位の変動が大きな影響を及ぼします。このため、鉄道沿線のどの箇所で崩壊する恐れが高いのか、すなわち、崩壊危険度を評価するためには、図2に示すように降雨時の水の流れを考慮することが必要となります。降雨時における斜面表層の地下水位および崩壊危険度を評価する代表的な方法として、3次元の浸透流解析とこの結果をもとにした安定解析があげられます。しかし、これらを利用するためには詳細な現地調査が必要で、かつ、解析を実行するために必要な数値(パラメータ)の設定が難しい場合が多く、実務ではあまり利用されていません。

そこで、3次元の浸透流解析などの方法で必要な調査よりも容易な現地調査で得られるデータを用いて、降雨時の水の流れと地下水位の変動を考慮して崩壊危険度を計算する解析モデルを作成したので、これを紹介します。

解析モデルの概要

降雨時に発生する斜面表層の崩壊危険度を評価する手法には、沖村¹⁾らが提案したものがあります。今回開発した解析モデルはこの手法を基本として、新しい知見や手法を加えて構築しました。

降雨時における雨水は、当然のことですが、標高の高いところから低い方へと流れます。すなわち、雨水の流動は斜面の地形条件に依存します。このため、本解析モデルでは、図3に示すように斜面表層の雨水流動をモデル化しています。

具体的には、まず、図の(a)に示すように、地形図などをもとに対象斜面の地形を格子状に3次元座標でデジタル化し、地形を分割(以下、分割した四角形部分をメッシュといいます)します。そして、標高データから各メッシュの斜面勾配を求めることで、水が流れる向きを設定します。また、



図1 斜面表層の崩壊事例

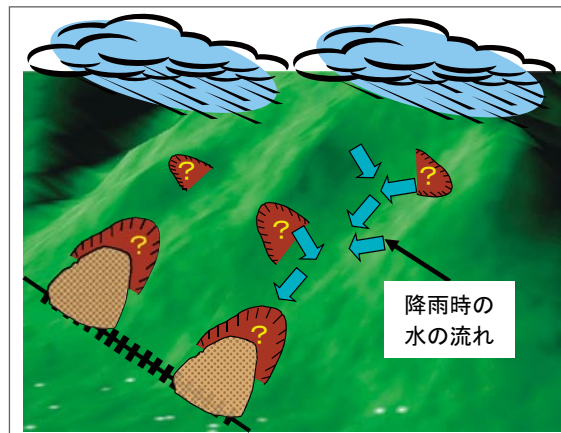


図2 斜面表層の崩壊に影響を及ぼす降雨時の水の流れのイメージ

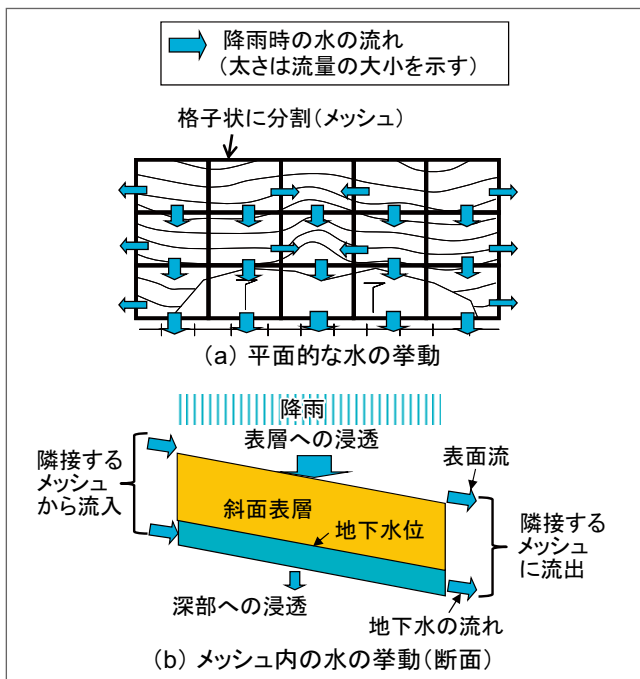


図3 解析モデルにおける水の挙動の概念図



図5 解析対象斜面の様子

図の(b)に示すように、メッシュごとにある厚さの土塊を持つ斜面表層を設定します。斜面表層において雨水は表面部分の流れたり、形成された地下水水位により表層内部の流れたりします。このような雨水流動を考慮して、降雨時に時々刻々と変化する斜面表層の地下水水位を計算します。

本解析モデルの計算フローを図4に示します。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、土質強度などを時間的に変化しないデータとしたうえで、前述したとおり①地形条件から水が流れる向きなどを設定します。つぎに、②設定した降雨を入力することで、③メッシュごとの水の流入量、流出量からメッシュの飽和度(土中に存在する水の割合)を求め、④これから地下水水位を計算します。さらに、⑤求めた地下水水位からメッシュの崩壊危険度を計算します。なお、斜面表層の安定性を簡便的に求める方法としてよく利用されている無限長斜面の安定解析手法により、崩壊危険度は安全率(崩

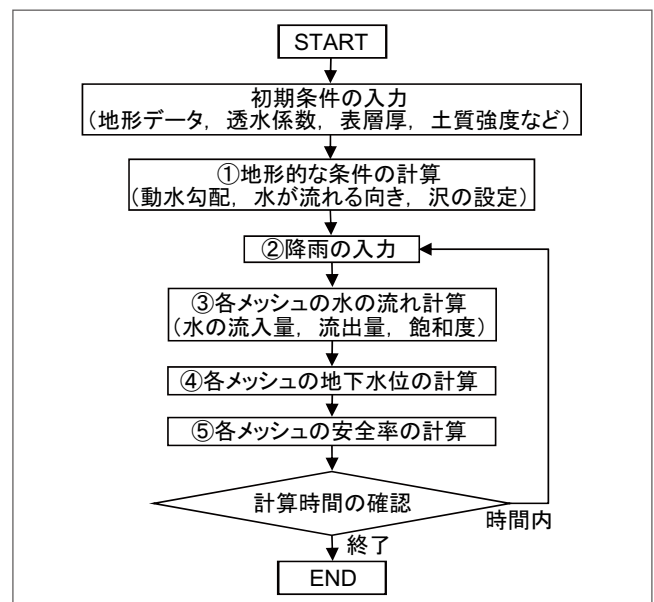


図4 解析モデルの計算フロー

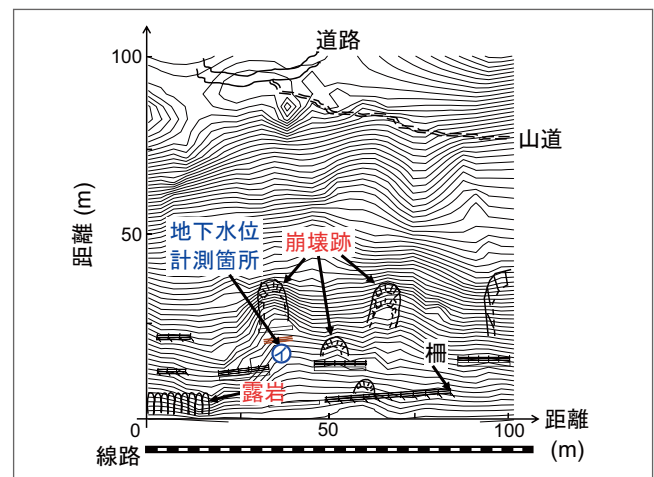


図6 解析対象斜面の地形と状況

壊に抵抗する力を崩壊に作用する力で割った値で、数値が小さいほど崩壊危険度が高い)として求めます。上記②から⑤をある一定の時間間隔で設定計算時間まで繰り返し行うことで、対象範囲全域における斜面表層の安全率が経時的に計算できます。

解析モデルにおける具体的な計算方法などの詳細につきましては、文献2)、文献3)を参照して下さい。

解析事例

ここでは、現地斜面において地下水水位を計測した箇所を対象として実施した解析事例について説明します。解析対象斜面の様子を図5に、地形および状況を図6に示します。当該箇所は崩壊跡が多数存在する高さ約70m、平均勾配約40°の斜面で、地下水水位の計測は沢状の地形となっている地点④で実施しました。

解析では、図6に示した等高線図をもとに5mの格子間

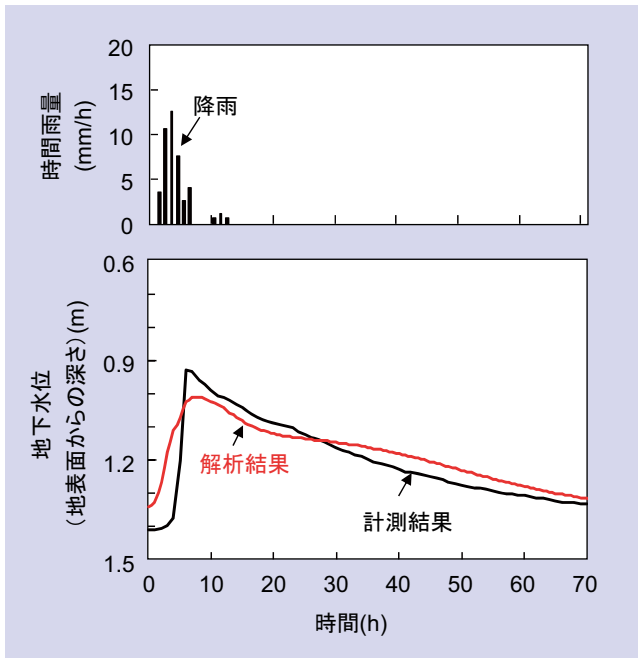


図7 計測点における地下水位の経時変化の例

隔で作成した数値地形データを利用しました。また、透水係数や表層厚さなどの初期条件は、当該箇所や採取した土試料を用いて実施した各種試験結果から、全てのメッシュで同じ値と仮定して設定しました。

計測点における地下水位の経時変化について、計測結果と解析結果とを比較した結果を図7に示します。この図は、対象斜面に最も近いアメダス地点で地下水位の計測期間中において降雨量が大きかった期間の結果です。解析では図に示した降雨量を入力しました。この図より、解析結果は計測結果とほぼ同じ傾向を示していることから、この対象斜面については本解析モデルにより地下水位の変動を再現できることがわかりました。

つぎに、対象斜面から崩壊の危険性が高い箇所を抽出するために実施した解析の結果を示します。なお、地下水位の計測期間中に斜面の安全率が小さくなるような降雨が観測されなかったため、ここでは、10mm/hの時間雨量が

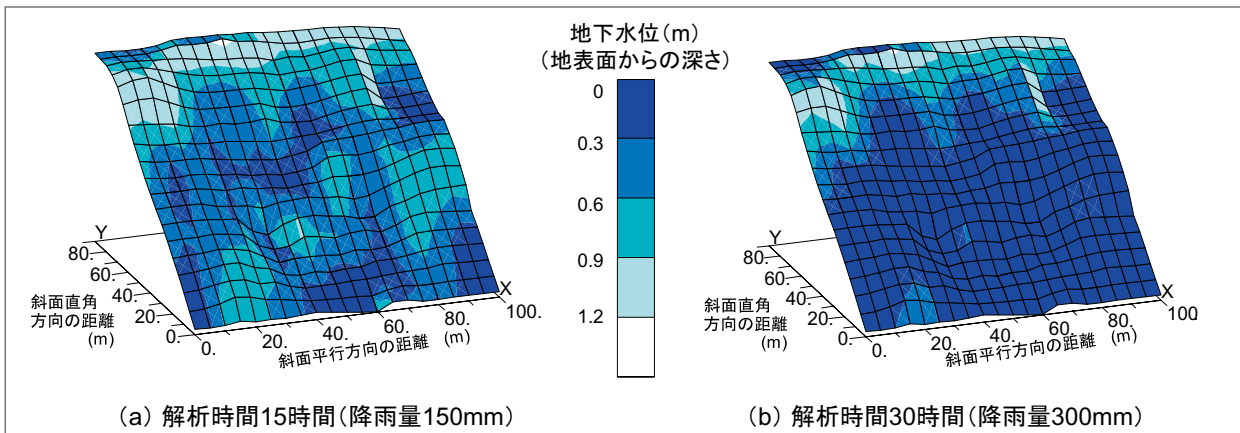


図8 地下水位の面的な分布

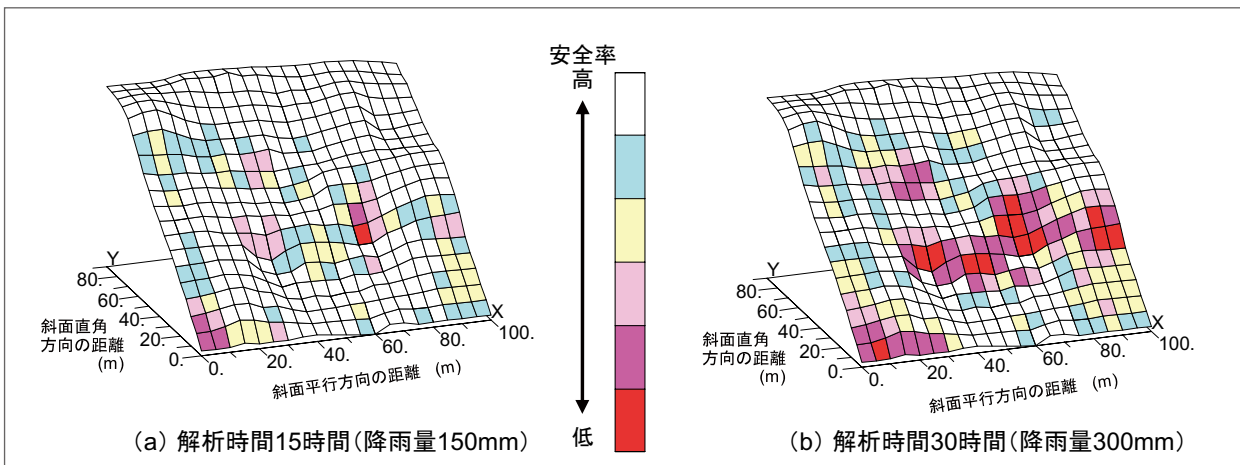


図9 安全率の面的な分布

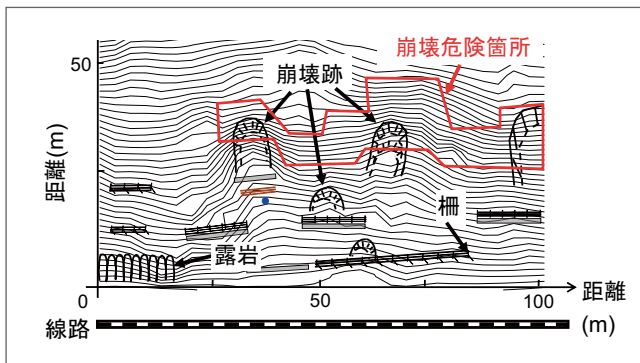


図10 解析により崩壊危険箇所と抽出された位置

30時間継続する降雨(総降雨量300mm)を豪雨として仮定し、この降雨を与える解析を実施しました。

解析結果として、解析時間15時間(降雨量150mm)および30時間(降雨量300mm)における地下水位の面的な分布を図8に、安全率の面的な分布を図9に示します。図8より、降雨をより多く与えることにより地下水位が地表面付近まで高まる範囲が広くなり、これに伴い図9に示すとおり安全率が小さくなる範囲も広がっていくことがわかります。

図9の(b)において安全率が小さい、すなわち解析により崩壊危険箇所と抽出された位置を、図6をもとに赤線で囲うことで図10に示します。崩壊危険箇所として、崩壊跡、あるいはその周辺が抽出されていることがわかります。これらの箇所は一般的に崩壊が懸念される箇所であり、現地調査の結果でも同様の判断であったことから、解析モデルによる解析結果は妥当であるといえます。

解析結果の利用方法

本解析モデルを用いた斜面表層の安全率の評価結果は、(1)崩壊危険箇所を抽出すること、(2)降雨時における運転規制方法の検討を支援すること、に利用できると考えています。上記(1)については、図9(b)に示したように、豪雨と想定される降雨を与える解析結果を利用することで、対象斜面から崩壊危険箇所を抽出することができます。

上記(2)では、上記(1)により安全率が小さくなるメッシュなど着目すべき箇所における安全率の経時的な変化を利用します。安全率の経時変化のイメージを図11に示し、これをもとに説明します。この図に示すように、このメッシュの安全率は降雨を与えることにより低下し、降り止み後に時間が経過することによって回復する傾向を示します。ここで、基準となる安全率を設定し、この基準値をメッシュ

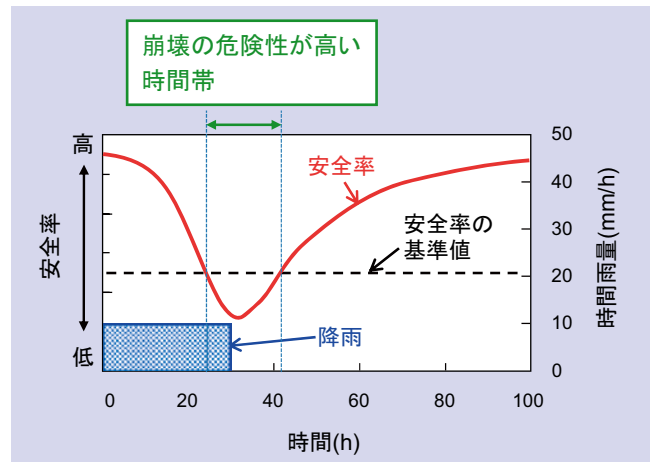


図11 メッシュの安全率の経時変化から得られる崩壊の危険性が高い時間帯のイメージ

の安全率が下回っているときに、崩壊の危険性が高いと判断できます。この結果を踏まえて、①崩壊の危険性が高いと判断される時間帯までに与えた降雨量、②降り止み後から崩壊の危険性が高いと判断される時間帯が終了するまでの経過時間などを求めることで、降雨時の運転規制方法を検討する際の参考値を求めることができます。このような検討を様々な降雨条件を設定した解析結果をもとに行うことで、降雨時における運転規制方法の検討を支援することができますと考えています。

おわりに

ここでは、降雨による斜面表層の崩壊危険度を安全率として計算する方法とこの利用方法について述べました。降雨時には斜面表層の崩壊の他にも盛土の崩壊や土石流などが発生します。今後は、この方法をもとに、これらの崩壊危険度を評価する方法について検討していく予定です。

RRR

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
- 2) 布川修, 杉山友康, 太田直之: 地形を考慮した斜面表層部の地下水変動予測モデル, 鉄道総研報告, Vol.22, No.1, pp.23-28, 2008
- 3) 布川修, 杉山友康, 太田直之: 地形を考慮した斜面表層部の地下水変動予測と安定性評価, 鉄道総研報告, Vol.24, No.5, 2010