

国道沿い斜面を対象とした数値解析と実効雨量を組み合わせた雨量通行規制基準の提案

○関西大学 正会員 小山倫史 立命館大学 正会員 藤本将光 神戸大学 学生会員 渡邊義裕
 日本工営 非会員 徳永博 正会員 倉岡千郎 建設技術研究所 非会員 小林猛嗣
 アーステック東洋 非会員 丸木義文 正会員 中井卓巳 計測技研 正会員 安藤貴志

1. はじめに

近年、集中豪雨や局所的大雨（ゲリラ豪雨）による斜面崩壊が、国道沿いなどで数多く発生している。現在、降雨時の通行規制は降雨開始からの累積降雨量（対象斜面では160mm）の情報をもとに発令されている。しかし、この基準は個々の斜面の地盤物性、地質構造、降雨の特性等を考慮しておらず、降雨中における斜面の状態を正確に把握できているとは限らない。そこで本研究では、対象斜面の物性・地形・降雨特性を考慮した通行規制基準を提案することを目的とし、過去10年間に当該地域で発生した降雨を用いて有限要素法による2次元飽和・不飽和浸透流解析および斜面安定解析を行った。そして、算出された安全率の経時変化と降雨データから計算される実効雨量の相関性に着目し、新たな雨量通行規制の発令・解除の基準を提案した。

2. 飽和・不飽和浸透流解析の基礎理論

飽和・不飽和浸透流解析の支配方程式は次式を用いた。

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(K_r(\theta) K_{ij}^s \frac{\partial \psi}{\partial x_j} \right) - q = (\alpha S_s + \beta c(\psi)) \frac{\partial \psi}{\partial t} \quad (1)$$

ここに、 K^s : 飽和透水係数、 K_r : 比透水係数、 ψ : 圧力水頭、 q : 体積内の単位体積当たりのシンク/ソース流量（排水時、 $q>0$ ）、 S_s : 比貯留係数、 α : 飽和領域=1 不飽和領域=0、 $c(\psi)$: 比水分容量、 β : 飽和領域=0 不飽和領域=1 である。

3. 対象斜面のモデル

本研究で対象とした斜面は、国道28号線の雨量通行規制区間内（兵庫県洲本市中川原町～洲本市炬口）の自然斜面である。表層部はまさ状風化花崗岩、それ以深は花崗岩が分布している。解析モデルを図-1に示す。境界条件は表土層の部分に降雨浸透境界、岩盤露出部及びモデルの右端は不透水境界、モデル下端は地下水面を基準とした圧力水頭境界、モデルの右端は浸出面境界とした。表層の物性値については、保水性試験、飽和度を変化させた一面せん断試験など各種室内試験を実施し、その結果をもとに設定した。なお、飽和度の上昇に伴う強度低下についても考慮している。岩盤層の物性値はN値から推定した（表-1参照）。不

飽和特性に関しては、表層については実験結果を用い、岩盤層については簡易的に推定した（図-2参照）。斜面の安定解析に関しては、表層と下部の岩盤の境界面での円弧すべりを想定し、すべり面を図-1のように仮定した。

4. 解析結果

解析の初期状態に関しては、定常解析を行った後、当該地域の降雨日における平均日降雨量15mmを4日に1日のペース（年平均総降雨量: 1489mm, 1mm以上の降雨日数: 97日）で与え、表層の飽和度が定常状態となるまで繰り返す、初期状態を設定した。解析は、2004年1月1日～20013年12月31日の10年間に当該地域で発生した降雨（アメダス観測雨量）を降雨外力として与え、降雨による安全率の経時変化を算出した（図-3）。本図より、最近10年間で安全率が1.0を下回る降雨は5回発生していることが分かる。

5. 実効雨量による危険度評価

5.1. 実効雨量

実効雨量とは、先行して降った雨や現在降っている雨が地中にどの程度残存しているかを便宜的に示したもので以下の計算式を用いて算出される。

$$R_G = R_0 + \alpha^1 R_1 + \alpha^2 R_2 + \dots + \alpha^n R_n \quad (2)$$

ここに、 R_G : 実効雨量(mm)、 R_n : n 時間前の雨量(mm)、 α : 減少係数($0<\alpha<1$)= $(0.5)^{1/T}$ 、 T : 半減期(hour)である。

5.2. 基準雨量の設定

斜面安定解析により得られる安全率と、降雨データから算出される実効雨量の相関について調べ、安全率と実効雨量が1対1に対応しかつ最も相関係数が大きくなるように半減期を決定した。図-4に安全率および半減期の異なる実効雨量の関係をそれぞれ示す。なお、本図では安全率が1.0付近の斜面崩壊の危険性の高い場合について議論をするため、安全率が1.2以下のプロットのみを示している。本図より、半減期は106時間で相関係数が最大となることが分かる。そこで半減期106時間の実効雨量を用いて、斜面危険度評価の基準雨量を安全率が1.0の時の最も少ない雨量である290mmとし、安全側の基準とした。

キーワード: 雨量通行規制 斜面 実効雨量

連絡先: 〒569-1098 大阪府高槻市白梅町7-1 TEL: 072-684-4126 FAX: 072-684-4188

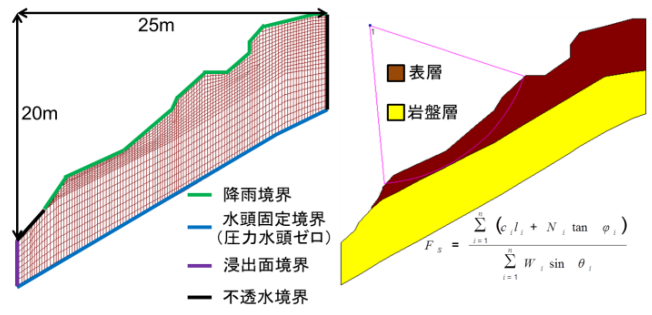


図-1. 境界条件及び想定すべり面の位置

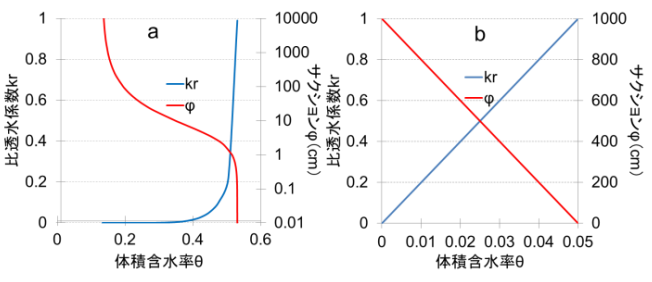


図-2. 不飽和特性 (a: 表層, b: 岩盤)

表-1. 各層の物性値

	γ' (kN/m ³)	c (kN/m ²)	ϕ (°)	k (cm/sec)
表層	14.5	3.37	40	3.8×10^{-3}
岩盤層	26	100	30	1.0×10^{-8}

5.3. 斜面の危険度評価

設定した基準を用いて、2004～2014年の降雨に対して当該斜面の危険度評価を行った。図-5は2014年8月9日～12日の降雨である。本図より、解析上安全率が1.0を下回る時間は35時間、提案手法および現行基準による規制発令時間はそれぞれ38時間、および5時間となった。よって提案基準は解析上安全率が1.0を下回っている時間を概ねカバーできている。なお、2004年～2014年の間に、安全率が1.0下回るような降雨は5回発生しているが、いずれの降雨についても同様の評価ができ、降雨データより計算した実効雨量と安全率がほぼ対応していると言える。

また、発令回数に関して、この10年間に現行基準では11回発令しているのに対し、提案した基準では5回に留まっており、発令回数を大幅に減少させることが可能である。このことから、提案基準では、雨量通行規制の空振り率を大きく改善できると考えられる。

6. まとめおよび今後の課題

対象斜面における降雨時の雨量通行規制発令・解除の基準を提案することを目的とし、過去の降雨データを用いて解析を行い、安全率を算出した。また、降雨データを用いて実効雨量を計算し、安全率との相関を調べた。結果として、安全率と相関の高い半減期を有する実効雨量を用いて、通行規制の発令・解除を行うことで、降雨データのみで斜

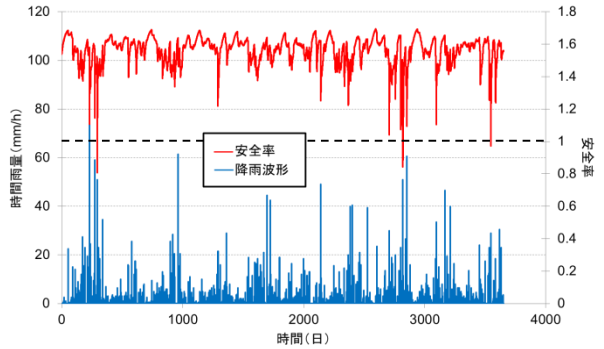


図-3. 降雨波形と安全率

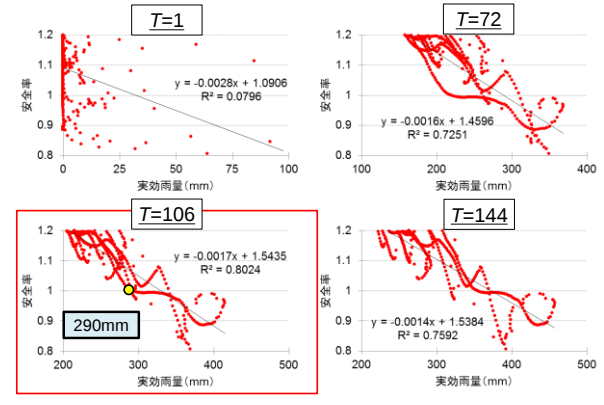


図-4. 安全率と実効雨量の関係

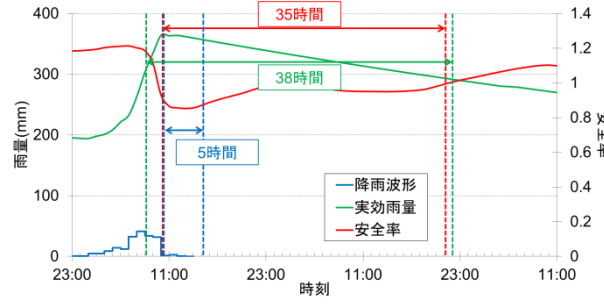


図-5. 2014年8月9日～8月12日の降雨

面崩壊の危険性を概ね評価することが可能となった。また、通行規制の発令回数は、現行の基準よりも大幅に減少させることができ、通行規制の空振り率の改善にも有効であることがわかった。今後の課題として、まず、本手法は個別の斜面を対象としているため、事前に崩壊の危険性の高い斜面を選定する手法の確立が必要である。また、集水地形や表層厚の分布などを考慮するためには3次元解析を行う必要がある。

謝辞

本研究は国土交通省近畿地方整備局新都市社会技術創造融合研究会「降雨特性に応じた道路通行規制のあり方に関する研究」において実施したものである。関係各位には多大なる協力を得た。ここに感謝の意を表する。

参考文献

1) 杉山友康・外狩麻子・奈良利孝・山崎慎介：降雨による盛土の安定性変化と雨量指標，鉄道総研報告，Vol.12，No.12，pp.29～34，1998