

数値解析による国道沿いの斜面を対象とした雨量通行規制発令・解除の提案

京都大学大学院 学生会員 ○鶴澤 祐人 正会員 小山 倫史 学生会員 中村 秀樹
 (株)建設技術研究所 大阪本社 正会員 李 圭太
 国土交通省近畿地方整備局福知山河川国道事務所 非会員 山田 雅義, 福山 直紀

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, 国道における降雨時の通行規制は降雨開始からの連続降雨量(本研究の対象斜面では200mm)で発令されている. また, 通行規制解除に関しては降雨終了からの無降雨時間(本研究の対象斜面では3時間)で判断されている. しかし, これらの判断基準は降雨量の情報のみで個々の斜面の地盤物性, 地質構造, 降雨特性などを考慮しておらず, 降雨中の斜面の状態を必ずしも正確に把握できているとは限らない. そこで本研究では, 数値解析を用いて対象斜面の地盤物性・地形を考慮した豪雨時の通行規制発令・解除の基準を提案することを試みた. 発令に関しては, 一定の降雨強度を用いて有限要素法(FEM)による2次元飽和・不飽和浸透流解析および円弧すべり解析を行い, 降雨強度と斜面崩壊までの累積降雨量の関係を明らかにし, 降雨時の通行規制基準線を作成した. そして作成した基準線を用いて過去に発生した降雨に対するスネークカーブを描き, 危険度評価を行った. また, 解除に関しては, 降雨終了後の解析を行い, 斜面内の水分量の把握及び安全率の変化を考察した.

2. 飽和・不飽和浸透流解析¹⁾

飽和・不飽和浸透流解析の支配方程式は, 質量保存則による連続式とダルシー則から導出される式を, 不飽和領域まで拡張した式である.

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ K_r(\theta) \left(K_{ij}^s \frac{\partial \psi}{\partial x_j} + K_{i2}^s \right) \right\} - q = \{ \alpha S_s + \beta c(\psi) \} \frac{\partial \psi}{\partial t} \quad (1)$$

$$i, j=1, 2, (1:x, 2:y)$$

ここに, K_{ij}^s : 飽和透水係数テンソル, 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. 斜面の解析モデル

対象とした斜面は, 京都府福知山市夜久野町日置地区の国道9号線沿いの斜面で幅20m, 高さ40m, 深度10mの部分をモデル化した. 雨水浸透を詳細に把握するため地表面付近の要素を細かく分割した. 境界条件は, 地表面は降雨境界, 道路面および擁壁は不透水境界, モデル上下流側面に水頭固定境界を設定した. また, 地層区分は既往の報告書²⁾をもとに設定した(図1). 表層の物性値については既往の地質調査結果をもとに設定した. 岩盤層の物性値については代表N値から推定した(表1参照). 不飽和特性については詳細な調査が行われていないため, 図2に示すように簡易的に設定した. また, 斜面の安定解析に関しては円弧すべりを想定したフェレニウス法を用い, 法尻付近の表層土の崩壊を考え図3に示す滑り面を想定した.

4. 通行規制の発令基準

一定の降雨強度を用いて斜面の雨水浸透流解析および円弧滑り解析を行い, 降雨強度と安全率が1を下回るまでの累積雨量の関係を調べた. 降雨強度は6~120mm/hの20通りを検討した. 解析結果を図4に示す(以下, 通行規制基準線と呼ぶ). 通行規制基準を用いて, 2009年8月9日および2004年10月20日の降雨に対して危険度評価を実施した. スネークカーブは累

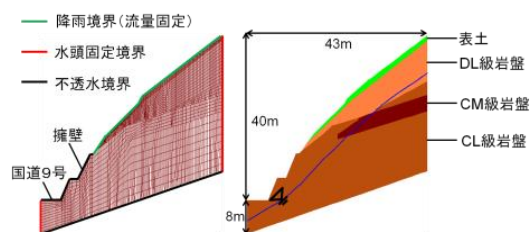


図1. 境界条件図および地層区分

表1. 解析に用いた各層の物性値

	$\gamma(\text{kN/m}^3)$	$c(\text{kN/m}^2)$	$\varphi(^{\circ})$	$K(\text{cm/sec})$
表土	18	2	33.72	9.62×10^{-3}
DL 級岩盤	20	100	30	1.0×10^{-5}
CM 級岩盤	25	1000	40	5.0×10^{-6}
CL 級岩盤	22	500	40	1.0×10^{-6}

キーワード 斜面, 雨水浸透流解析, 円弧すべり解析, 雨量通行規制, スネークカーブ

連絡先〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 京都大学大学院工学研究科ジオフロントシステム工学講座 TEL 075-383-3306

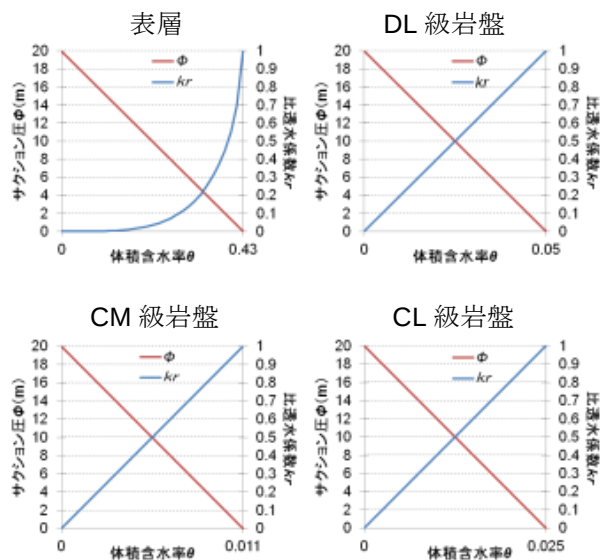


図 2. 各層の不飽和特性

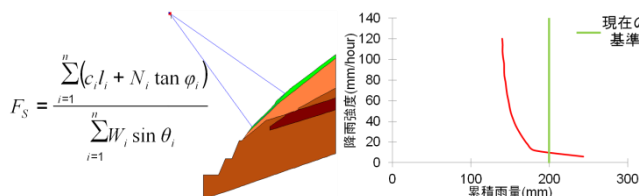


図 3. 想定すべり面

図 4. 通行規制基準線

積雨量の増加に伴い通行規制基準線に近付き、通行規制基準線とスネークカーブが交わる時点で危険と判断する。これらの降雨を図 4 で示す通行規制基準線とあわせてスネークカーブを描いたものを図 5 に示す。これらの結果から、現行の規制累積雨量 200mm よりも、提案した通行規制基準線による危険度評価の方が少ない累積雨量で崩壊の危険が高まると判断できる。また、2 種類の降雨は、安全率が 1 を下回るまでの累積雨量には違いがみられる。これは、各降雨の特性を反映しているためであり、現行の累積雨量のみの判断では、危険度予測を正確に行えない可能性があることを示唆している。

5. 通行規制の解除基準の提案

前節で用いた 2 種類の過去の降雨データを用いて降雨終了後の解析を行い、斜面内の水分量の変化に伴う安全率の回復の様子を考察した。図 6 に示した安全率の経時変化のグラフより、2004 年 10 月 20 日の降雨については、降雨が完全に終了するまでに安全率が 1 に回復しているが、2009 年 8 月 9 日の降雨については、降雨終了後約 90 分で安全率が 1 に回復していることが分かる。これは現行の降雨終了後からの無降雨時間 3 時間での規制解除よりも短い時間で通行規制が解除できる可能性があることを示唆している。しかし、解析

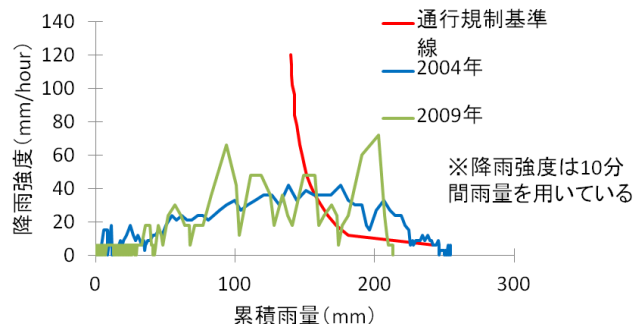


図 5. スネークカーブ

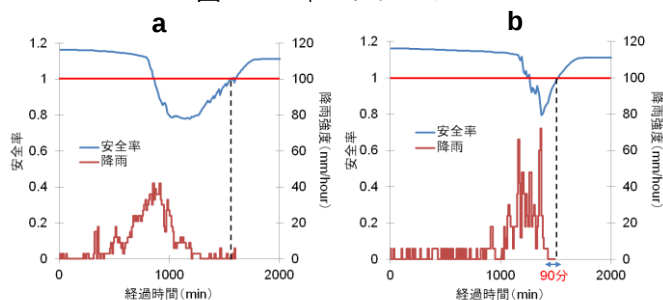


図 6. 安全率の経時変化 (a : 2004 年, b : 2009 年)

の結果は地盤物性に大きく左右されるため、今後より詳細な地盤物性の把握が必要である。

6. まとめ

対象斜面における降雨時の通行規制発令・解除の基準を提案することを目的とし、雨水浸透流解析および円弧すべり解析を行い、通行規制基準線を作成した。この基準線を用いて危険度評価を行った結果、現行の累積雨量 200mm による評価よりも厳しい結果となり、一律の累積雨量のみの判断では、危険度を必ずしも正確に把握できない可能性があることが分かった。また、崩壊の危険が高まっていると判断されるまでの累積雨量は、降雨によって違いがみられ、降雨の特性を考慮することが重要であると言える。解除基準に関しては、現行の基準よりも短い時間で通行規制を解除できる可能性があることを示した。また、この危険度予測の方法は個別の斜面を対象とするため、通行規制基準を適用する斜面を抽出する手法の確立が必要である。また、解析モデルの高精度化が必要であり、現地の詳細な地質調査や、3 次元でのモデル化を行う必要がある。

参考文献

- 1) 赤井浩一, 大西有三, 西垣誠: 有限要素法による飽和-不飽和浸透流の解析, 土木学会論文集, 264 号, pp.87-96, 1977
- 2) 国土交通省近畿地方整備局: 国道 9 号日置地区緊急法面他調査設計報告書, 100p, 2011