集中豪雨による浸透流を考慮した斜面崩壊メカニズムの解明

長崎大学工学部　学生会員　○菊本　祐太郎　長崎大学大学院　学生会員　東　幸宏
長崎大学大学院　フェロー会員　棚橋　由彦　長崎大学工学部　正会員　蒋　宇静
長崎大学工学部　正会員　杉本　知史　日本地研（株）　正会員　佐藤　秀文

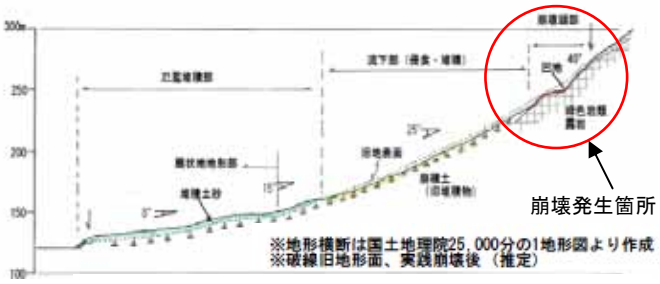
1. はじめに

近年、異常気象や梅雨期における集中豪雨が毎年のように発生している。平時安定している斜面であっても、豪雨による雨水浸透により崩壊が危惧される斜面は多数存在している。斜面が崩壊すると、人命に関わる事故になるだけではなく、社会的にも多大な影響を与える恐れがある。

本研究は、豪雨時における斜面の雨水浸透に起因する土中の地下水面形成や、間隙水圧の増大に起因する有効応力の減少により生じる崩壊の状況を再現する。その結果に基づき、浸透流による斜面崩壊のメカニズムを解明することを目的とする。

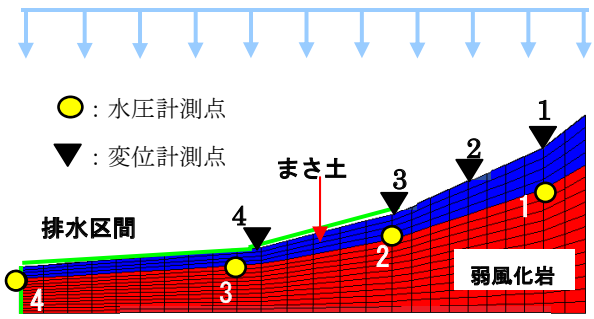
2. 現場概要

九州北部において平成 21 年 7 月に梅雨前線が活発化し、集中豪雨が発生した。この豪雨により、福岡県田川市田川郡福智町弁城で斜面崩壊が発生し大きな被害をもたらした。現場斜面の基盤岩は緑色岩類で、表層は赤褐色の緑色岩の風化土となっている。頭部の崩壊（発生源）は基盤岩の風化部が崩壊したものであるが、それより下流は旧崩積土を巻き込んで流下した崩壊と推定される。この現場を再現したモデルの構築を行い、大変形有限差分法により浸透流－応力変形連成解析を行う。



図－1　福智町斜面崩壊縦断図（推定）[1)]

図－2 は福智町斜面の解析モデルである。基盤は弱風化岩（弾性体）で上層部はまさ土（弾塑性体）である。降雨強度は気象台の記録データをもとに 100mm/h と設定した。なお、解析に用いる物性値は表－1 に示す。



図－2　福智町解析モデル

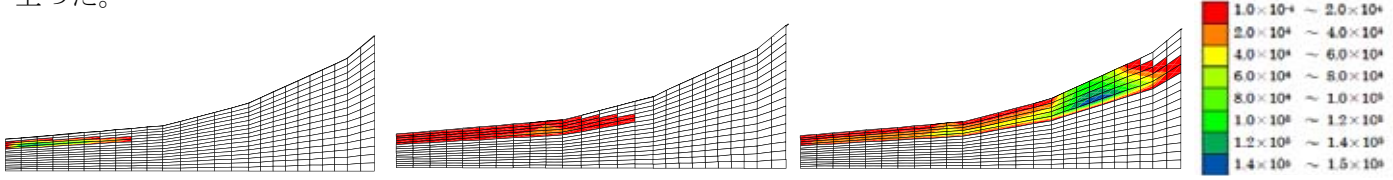
3. 解析結果

3.1　浸透流解析結果

連成解析を行う前に応力変形を考慮しない浸透流解析を実施した。図－3 は、経過時間別の間隙水圧の分布図である。降雨開始 6 時間後と 12 時間後を比較すると短時間に急激に間隙水圧の上昇がみられる。解析結果より、進行浸透面が不透水層に達して跳ね返り現象が生じた後、急激に間隙水圧が上昇したと考えられる。図－4 に間隙水圧の発生履歴を示す。図－4 のように、時間が経過すると間隙水圧はほとんど変化しなくなり定常状態に至った。

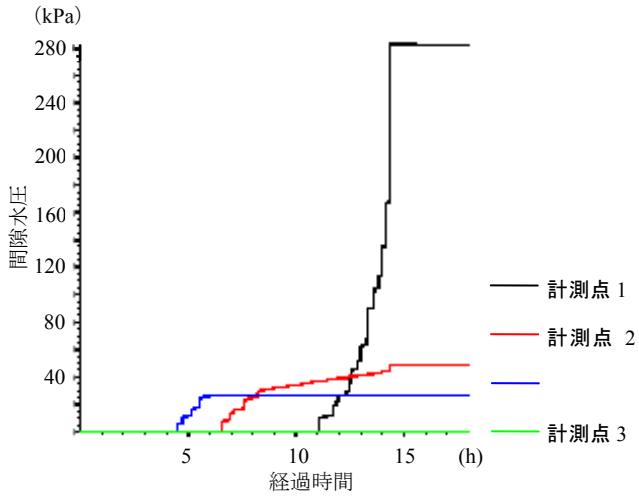
表－1　入力物性値

	まさ土	弱風化岩
透水係数 k_h	5.0×10^{-3}	5.0×10^{-5}
間隙率 n	0.2	0.2
変形係数 E (MPa)	200	300
ポアソン比 ν	0.3	0.13
密度 ρ (kg/m^3)	1700	2300
粘着力 c (MPa)	0.01	－
せん断抵抗角 ϕ	30	－

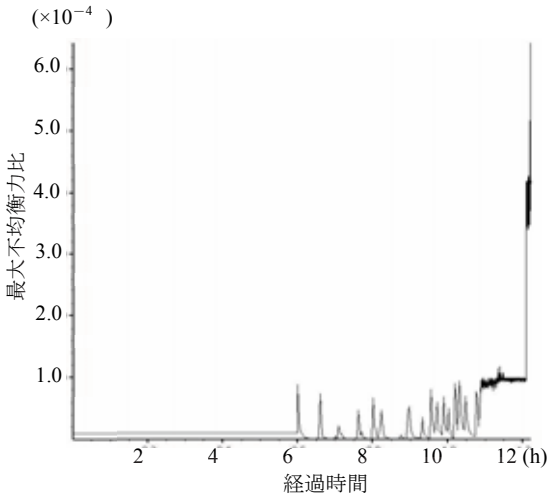


(a) 4 時間後　(b) 6 時間後　(c) 12 時間後　(Pa)

図－3　間隙水圧分布



図－4　間隙水圧の発生履歴



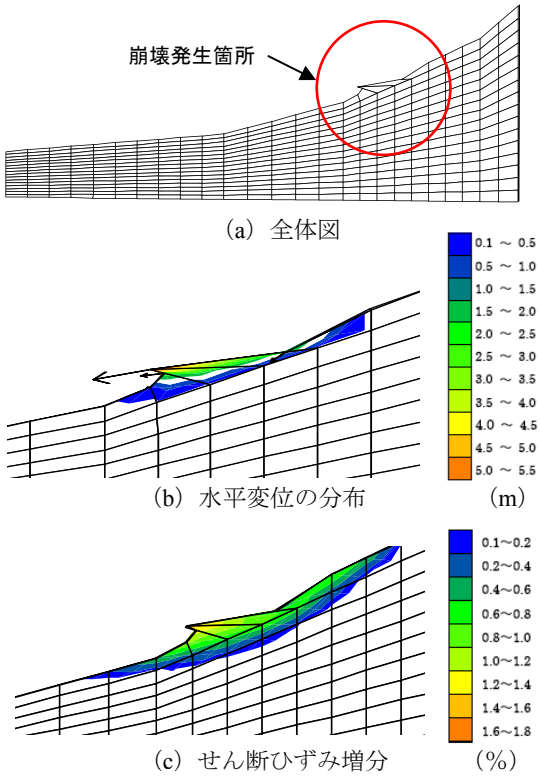
図－5　最大不均衡力比の時間変化

3.2　連成解析結果

図－4 において、斜面崩壊が予測される箇所に最も近い水圧計測点 2 の間隙水圧が、降雨開始約 6.5 時間後付近で発生した。よって、これより少し早い降雨開始 6 時間後から応力と浸透流の連成解析を開始した。

図－5 に降雨開始後の最大不均衡力比の時間変化を示す。降雨開始 12 時間後付近で急激に増大していることから、降雨開始 12 時間後付近で斜面が崩壊したと考えられる。それ以前の降雨開始 10 時間後より連成解析を大変形モードにて実施し、斜面の変形・崩壊の様子を確認する。

図－6 に大変形解析（12 時間後）の結果を示す。（a）は全体図であり、（b）は水平変位の分布、（c）はせん断ひずみ増分の分布図である。降雨開始 12 時間後は崩壊直後と考えられ、メッシュの変形が確認できる。また、図中のベクトルは変位の方向を示している。図－6（b）および（c）から、斜面表層部において表層崩壊が生じていると推測できる。なお、降雨開始 12.5 時間後でメッシュが潰れてしまい、それ以降は解析不能となった。



図－6　大変形解析結果（12 時間後）

4. おわりに

浸透流解析を行うことにより、雨水浸透により斜面に過剰な間隙水圧が発生し、これが斜面崩壊の原因のひとつになっていることが判明した。この発生間隙水圧について特徴的なことは、崩壊面近傍では異常に高い間隙水圧が生じていることである。この過剰間隙水圧は有効上載圧を減少させることになり、斜面の安定上問題になる。

斜面における雨水浸透時の斜面安定解析を行う場合、締固め土や不かく乱土の力学特性や境界条件、物性値などの把握が重要になってくると考えられる。今回は、現場の物性値の測定が行われていなかったので、基盤の弱風化岩、上部層のまさ土ともに、主に一般的な値を基準にして物性値を定めた。今後様々な条件に対し解析を行えば、雨水浸透時の斜面危険度の判断が行える。しかし、実際の自然斜面においては地盤が不均一で複雑であるので、地盤の強度定数の設定や不均一性を考慮した解析方法などを考える必要がある。

【参考文献】

1) (社)地盤工学会九州北部土砂災害調査団：平成 21 年 7 月九州北部豪雨による土砂災害状況の緊急報告,報告会資料,p.15,2009.

2) 八木則男,矢田部龍一,山本浩司：雨水浸透による斜面崩壊,土木学会論文報告集,No.330,pp.107～114,1983.