

引張り亀裂を考慮した豪雨時の斜面安定性評価に関する一考察

中電技術コンサルタント(株) 正会員 ○笹井 友司
 中電技術コンサルタント(株) 非会員 松井 章弘
 統合物性モデル技術研究組合 名誉会員 西垣 誠

1. 目的

斜面崩壊は、表層崩壊、深層崩壊、地すべり性崩壊に大別され、斜面崩壊全体の約75%以上が傾斜30度以上の表層崩壊とされている¹⁾。また、土砂災害防止法に基づく急傾斜地崩壊危険箇所の定義も、傾斜30度以上である。こうした中、2018年7月の西日本豪雨では、土砂災害ハザードマップで崩壊危険箇所に指定されていない傾斜30度未満の斜面でも崩壊が発生しており、井上ら²⁾は斜面勾配の変わる地形変化点がその素因となった可能性を示唆している。

本論文では、降雨時における地形変化点付近の引張り亀裂発生の有無を浸透一応力連成解析により確認するとともに、引張り亀裂の有無が斜面の安定性評価に及ぼす影響を極限平衡法により検討する。

2. 浸透一応力連成解析

土砂災害警戒区域等(急傾斜地)に指定されていなかった岡山大北側の地表面傾斜24~29度の斜面での2018年7月豪雨による崩壊実績²⁾を踏まえ、浸透一応力連成解析^{3),4)}のモデルは、図-1に示す表層厚2m、地表面傾斜11~30度で変化する単純な二次元モデルを仮定した。

解析条件は、前記崩壊地での土質試験等に基づく表-1の物性値²⁾、図-2の一般的な不飽和特性⁵⁾、図-3⁶⁾による3.7mm/hr×90hrの一定降雨を考慮した。

この結果、図-4のとおり、降雨開始50hr後から地形変化点近傍の表土内に、表層から深部に向けた引張応力の発生が認められた。

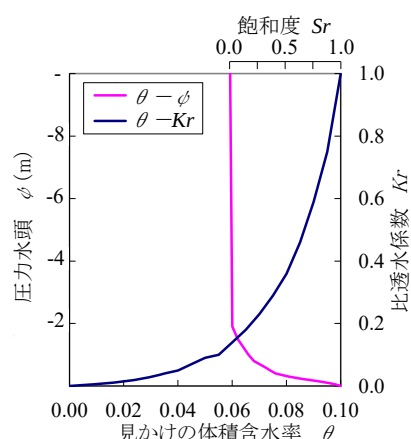
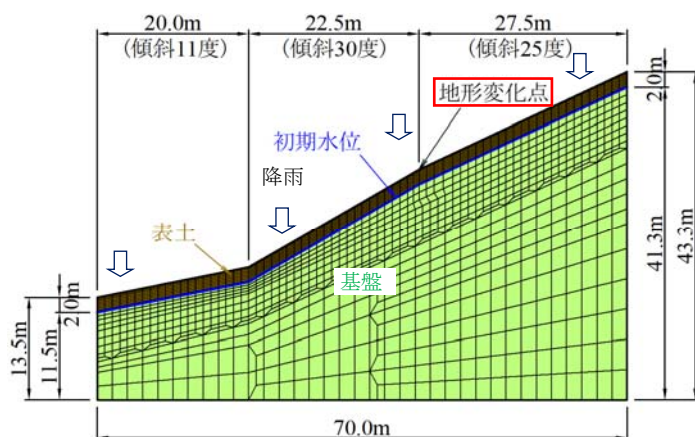
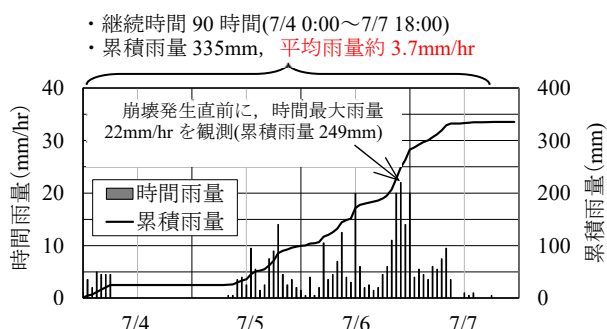
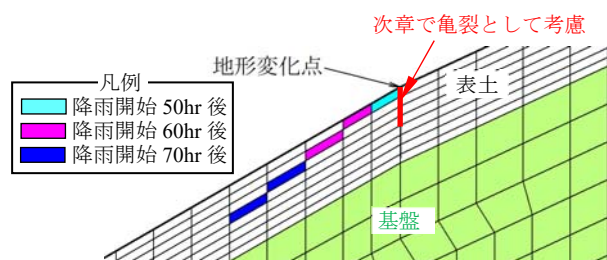
図-2 不飽和特性(粘性土)⁵⁾

図-1 解析モデル

図-3 岡山地方気象台の雨量記録(2018年)⁶⁾表-1 解析用物性値²⁾

解析用物性値	表土	基盤
飽和透水係数	$1.0 \times 10^{-7} \text{m/s}$	$1.0 \times 10^{-9} \text{m/s}$
単位体積重量	17.3kN/m ³	24.0kN/m ³
強度特性	19.6kN/m ³	25.0kN/m ³
内部摩擦角	31°	45°
粘着力	1kN/m ²	100kN/m ²
変形特性	弾性係数 50,000kN/m ²	1,000,000kN/m ²
ポアソン比	0.3	0.2

図-4 浸透一応力連成解析結果
(引張応力発生要素に着色)

キーワード 斜面安定, 降雨浸透, 安全率, 浸透応力連成, 引張り亀裂

連絡先 〒734-8510 広島県広島市南区出汐2丁目3番30号 TEL082-256-3416

3. 引張り亀裂を考慮した飽和・不飽和浸透流解析

前章の浸透-応力連成解析結果より、図-4に示す表層から4要素（厚さ1m）へ引張り亀裂の発生を仮定した二次元飽和・不飽和浸透流解析を行う。本検討では、引張り亀裂幅を1cm、飽和透水係数を表-1に示す表土の 10^7 倍である1.0m/sを仮定した。その他解析用物性値、不飽和特性、降雨条件等は、前章と同様である。

図-5に解析最終時刻である降雨開始90hr後の圧力水頭分布を示す。圧力水頭が正となる飽和域は、引張り亀裂を考慮した場合の方が、地形変化点から斜面下方に向けて広がっている。

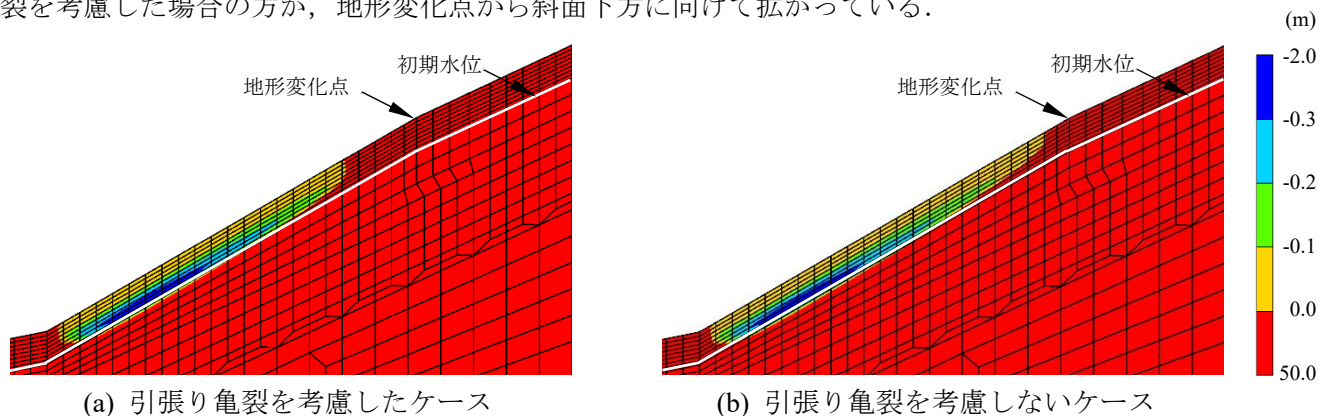


図-5 二次元浸透流解析結果（圧力水頭分布，降雨開始90hr後）

4. 極限平衡法による斜面安定性評価

前章に示す二次元浸透流解析結果を基にした極限平衡法（修正フェレニウス法）⁷⁾による安定性評価結果を、図-6、図-7に示す。

引張り亀裂を考慮した場合には、降雨開始40hr以降から安全率が大きく低下しており、考慮しない場合に比べて早い。これにより、両者の安全率の差異は、降雨開始80hr後に最大の約15%となる。また、両者の降雨開始90hr後のすべり線形状は概ね一致しており、いずれも地形変化点を始点に斜面中腹へ抜けている。

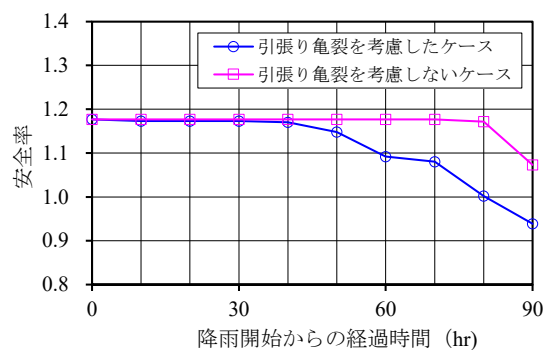


図-6 斜面安定性評価結果

5. まとめ

今回の検討により、地形変化点付近へ引張応力の発生が確認されるとともに、これが斜面の安定性評価、すなわち崩壊の発生に大きく影響する可能性を示唆した。今後、引張応力の発生による亀裂（剥離）の進展を考慮できる解析手法を採用が望まれる。

また、斜面の傾斜や物性値の違いによる本検討手法の適用性検討や、引張り亀裂の幅・深さが斜面の安定性評価へ及ぼす影響把握を要する。

6. 参考文献

- 1) 建設省河川局砂防部傾斜地保全課ほか：がけ崩れ対策の実施，土木研究所資料，第3651号，pp.81-84，1999.
- 2) 井上真，西垣誠，鈴木茂之，木村隆行，笹井友司：2018年7月豪雨により崩壊した傾斜30度未満の崩壊斜面の機構解明，建設と地盤，地盤工学会中国支部，Vol.38，pp.39-50，2020.
- 3) 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，土木学会論文報告集，第264号，pp.87-96，1977.
- 4) Griffiths, D.V. and Lane, P. A. : Slope stability analysis by finite elements, *Geotechnique*, Vol.49, No.3, pp.387-403, 1999.
- 5) 一般財団法人国土技術研究センター：河川堤防の構造検討の手引き（改訂版），pp.42-68，2012.
- 6) 気象庁ホームページ：<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>（入手日2020.3.15）.
- 7) 社団法人日本道路協会，道路土工 切土工・斜面安定工指針（平成21年度版），pp.398-399，2009.

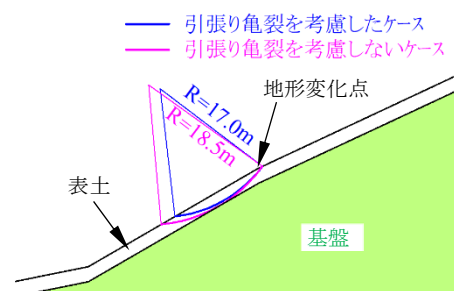


図-7 すべり線（降雨開始90hr後）