

浸透水圧を考慮した豪雨時の斜面の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

岡山大学 正会員 西垣 誠

岡山大学 正会員 西山 哲

1. 目的

毎年のように各地で集中豪雨による斜面崩壊が発生しており、広域斜面を対象とした安定性評価手法の確立が喫緊の課題となっている。こうした中、降雨時のすべりに対する斜面安定性評価に係る解析技術は、実験を含む多くの既往研究成果とコンピュータの目覚ましい発展とが相まって大きな進展を遂げた。これにより、大きなモデルによるFEM解析や3次元解析が可能となったが、実務への適用性に着目した研究事例はあまりない。

本論文では、極限平衡法と浸透一応力連成解析による斜面安定性評価を行い、浸透水圧が斜面の安定性に及ぼす影響と広域斜面・実務への適用性に関する検討を行う。

2. 飽和・不飽和浸透流解析

平成11年6月の広島豪雨災害における自然斜面の崩壊実績¹⁾を踏まえ、2次元解析モデルは図-1に示す表層厚さ2m、斜面勾配30°の一様斜面を仮定した。また、3次元解析モデルは、図-1に谷地形の横断面形状を組み合わせた図-2を仮定した。

解析条件は、前記災害における1崩壊斜面の試験値²⁾を参考とし、一般的な不飽和特性³⁾と斜面内に地下水位面のない無降雨時の初期水位、10mm/hrの一定降雨を浸透能100%として考慮した。この降雨は、浸透能を30%と仮定すると約33mm/hrに相当する。

解析の結果、飽和域は法尻から上流側へ向けて進展し、2次元では図-3に示すとおり、降雨開始8時間後、すなわち総雨量80mmで法尻から約5mまで地表面が飽和に至っている。また、同時間の3次元による解析結果は、図-4に示すとおり、上流側と側方からの地下水流入のある谷部において、法尻から約15mまで地表面が飽和に至っている。

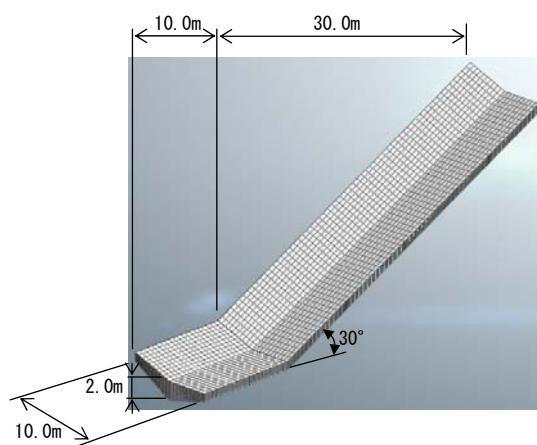


図-2 3次元浸透流解析モデル

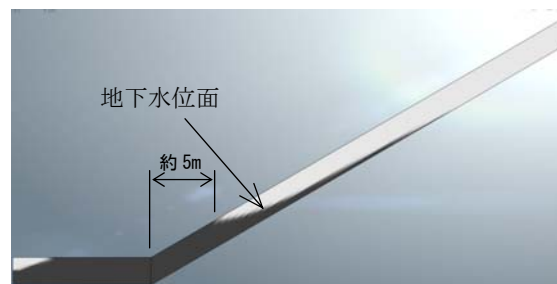
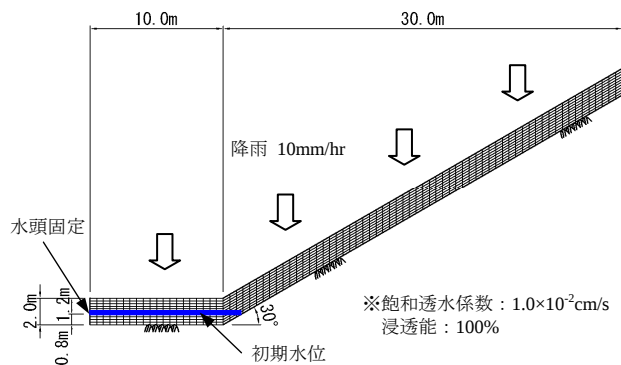
図-3 2次元浸透流解析結果
(降雨開始8時間後)

図-1 2次元浸透流解析モデルおよび境界条件

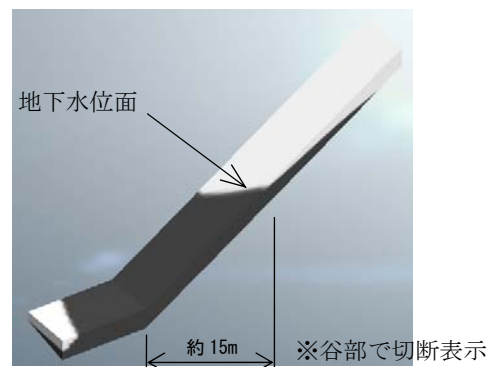


図-4 3次元浸透流解析結果 (降雨開始8時間後)

キーワード 斜面安定, 降雨浸透, 浸透水圧, 浸透応力連成

連絡先 〒734-8510 広島市南区出汐2丁目3番30号 TEL 082-256-3416

3. 斜面安定性評価

谷部の斜面の安定性は、3次元に比べて2次元の方が安全側の評価になること、本論文が実務への適用性に着目していることから、以降2次元による安定性評価に限定する。

斜面安定性評価は、前章の2次元浸透流解析結果を基に、極限平衡法（修正フェレニウス法）と浸透－応力連成の弾塑性FEM解析によるせん断強度低減法⁴⁾によるすべり安全率の比較を行う。なお、せん断強度低減法では、浸透流解析で得られる水圧を応力解析に持ち込むことで、せん断力の増加を考慮できる。解析用物性値は、前記災害における1崩壊斜面の試験値²⁾を参考とした表-1の値を用いる。

両手法のすべり安全率を図-5に、すべり安全率が1.0を下回る降雨開始8時間後のすべり線を図-6、図-7に示す。

極限平衡法によるすべり安全率は、降雨開始4時間から6時間後にかけて急激に低下する。これは、法尻から上流側へ向けた飽和域の進展によるものである。一方、せん断強度低減法によるすべり安全率は、飽和域の進展とは無関係に直線的に低下しており、極限平衡法と比べて降雨開始4時間後の安全率に相違（浸透水圧の影響）が認められる。

また、降雨開始8時間後のすべり線は、両手法とも斜面法尻付近に抜けるすべり線形状となっている。

4. まとめ

- (1) 今回の浸透流解析結果は、集水地形の場合には2次元に比べて3次元の方が、法尻から上流側へ向けて飽和域が大きく進展し、極限平衡法およびせん断強度低減法のすべり線と比較すると、すべり線内はほぼ飽和状態になっている。
- (2) また、降雨開始4時間後のすべり安全率は、浸透水圧の影響によりせん断強度低減法の方が10%程度小さくなる。

5. 今後の課題

- (1) 斜面の傾斜角・土層厚、透水性の違いによる影響検討を行い、実務上浸透流解析は行わず、保守的に斜面内が完全飽和した状態を仮定することが妥当であるか検討を要する。
- (2) 計画安全率の割り増しの考慮等で、実務上極限平衡法の採用が可能となるよう、浸透水圧の影響検討を要する。

6. 参考文献

- 1) 地盤工学会緊急調査団：平成11年6月29日豪雨による広島県の斜面災害に関する緊急調査報告，土と基礎，Vol.47，No.10，pp.40-46，1999.
- 2) 古川智，笹井友司：降雨浸透を考慮した斜面崩壊の3次元評価，第36回地盤工学研究発表会講演集，pp.2437-2438，2001.
- 3) (財)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.
- 4) 蔡飛，鵜飼恵三：飽和・不飽和浸透流による降雨時斜面崩壊の予測可能性に関する考察，地盤工学会中国支部豪雨時の斜面崩壊のメカニズムと予測に関する論文集，pp.23-26，2001.

表-1 解析用物性値

単位体積重量	湿潤	18kN/m ³
	飽和	20kN/m ³
強度特性	内部摩擦角	28°
	粘着力	3kN/m ²
変形特性	弾性係数	50,000kN/m ²
	ポアソン比	0.333

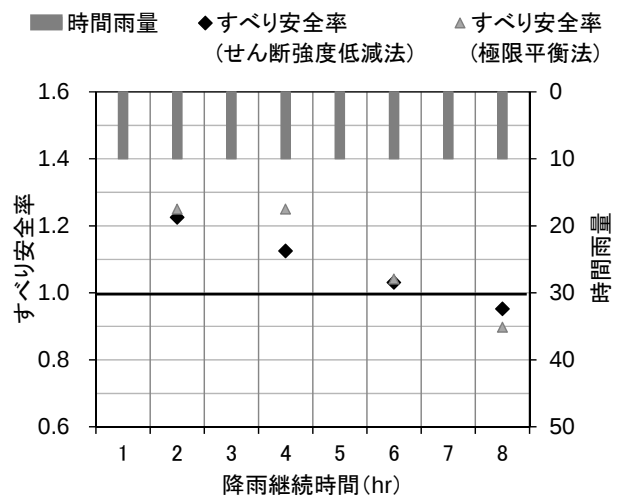


図-5 すべり安全率の比較

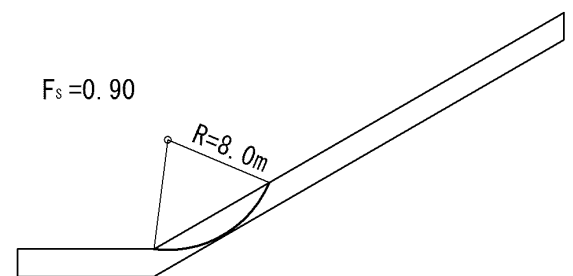


図-6 極限平衡法によるすべり線と安全率

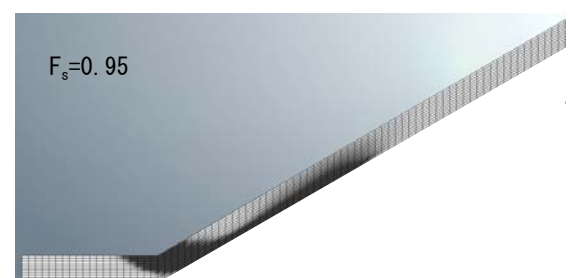


図-7 せん断強度低減法による
臨界すべり線と安全率