

盛土斜面の降雨に対する安定性照査法に関する一考察

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
中電技術コンサルタント(株)	非会員	松井	章弘

1. 目的

設計実務において、盛土斜面の法尻や小段へ碎石等を用いた透水性の良い排水層を敷設する場合の降雨に対する斜面の安定性照査は、地形・盛土形状から地下水位を簡易設定し、二次元極限平衡法によるすべり安全率が許容安全率 1.2 を上回るかどうかで行われている。本研究では、盛土斜面の簡易モデルを用いて、まず経年による排水層の目詰まり(例えば¹⁾)を考慮しない場合と考慮した場合の二次元飽和-不飽和浸透流を行い、簡易設定法による地下水位との比較を行った。次に、二次元極限平衡法とせん断強度低減法を用いた二次元浸透-応力連成解析によるすべり安全率の比較により、極限平衡法の適用性検証を試みた。

2. 二次元飽和 - 不飽和浸透流解析と簡易設定法による地下水位の比較

解析モデルは、図-1 に示す盛土高 10m、のり面勾配 1:1.8 で、図-2 に基づき法尻と小段へ水平排水層を敷設した標準的な盛土斜面²⁾とした。解析手法は、有限要素法による飽和 - 不飽和浸透流解析³⁾とし、初期水位は盛土と岩盤の境界を仮定した。また、図-1 の飽和透水係数 k と境界条件により、西日本豪雨災害が発生した平成 30 年 7 月 6 日までの広島地方気象台における 2 ヶ月間の時間平均雨量 0.44mm/hr (30 年平均 0.17mm/hr の約 2.6 倍)⁴⁾を降雨条件とし、図-3 の不飽和特性⁵⁾を仮定した。なお、排水層の目詰まりは、飽和透水係数を 2 オーダー下げ、盛土と同一物性にする事で考慮した。

図-4、図-5 に示す排水層の目詰まりを考慮しない場合と考慮した場合の浸透流解析による 2 ヶ月後の地下水位分布より、前者は簡易設定法による水位と大きな差異はないが、後者は水位が大きく上昇し法尻が飽和に至っている。

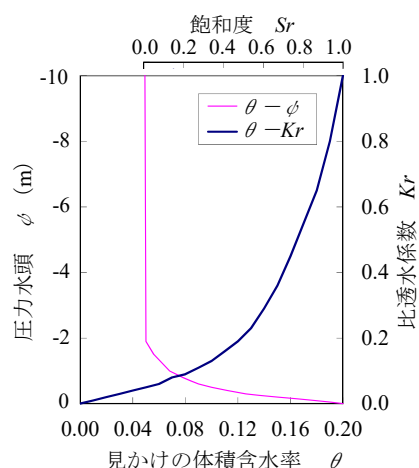
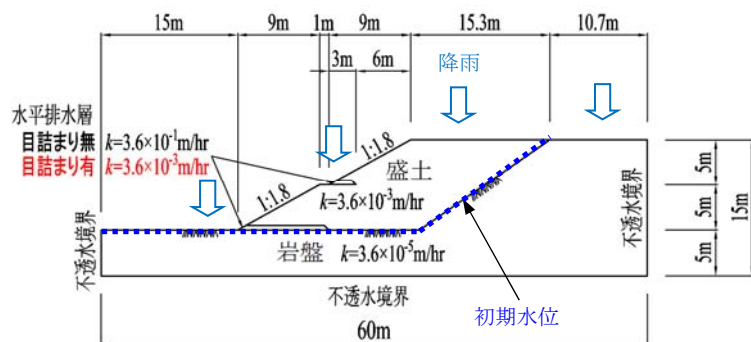
図-3 不飽和特性⁵⁾

図-1 解析モデル、飽和透水係数および境界条件

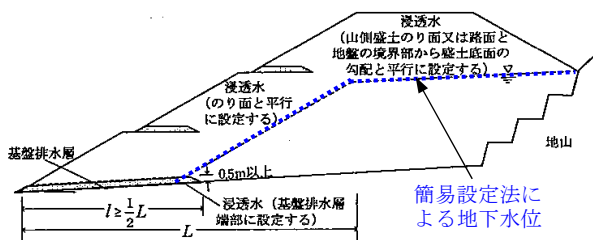
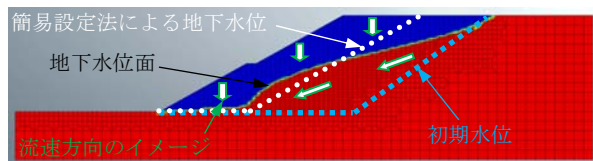
図-2 簡易的な地下水位設定法²⁾

図-4 地下水位分布 (2 ヶ月後、排水層の目詰まり無)

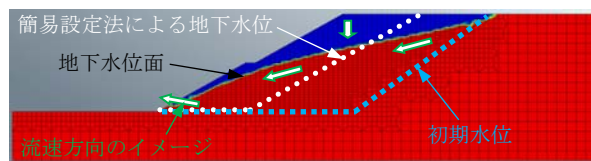


図-5 地下水位分布 (2 ヶ月後、排水層の目詰まり有)

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. 極限平衡法と二次元浸透一応力連成解析とのすべり安全率の比較による極限平衡法の適用性検証

前章の浸透流解析結果をもとに、式(1)に示す極限平衡法²⁾と式(2)に示すせん断強度低減法⁹⁾を用いた浸透一応力連成解析によるすべり安全率の比較を行う。なお、せん断強度低減法は、式(2)の低減係数 F を徐々に増加させて粘着力 c' と内部摩擦角 ϕ' による強度 $\tan \phi'$ を c'_F と $\tan \phi'_F$ に低減し、塑性域を進展させてすべり面を検索する弾塑性有限要素法である。この手法では、崩壊直前の低減係数 F をすべり安全率と定義しており、浸透流解析による水圧ベクトルを考慮することで安全率が増加もしくは低下する。

$$F = \frac{\sum \{c' \cdot l + (W - U' \cdot b) \cdot \cos \alpha \cdot \tan \phi'\}}{\sum W \cdot \sin \alpha} \quad \dots (1)$$

ここで、 F は安全率、 c' は粘着力、 ϕ' は内部摩擦角、 l はすべり線長、 W は土塊重量、 U' は間隙水圧、 b は分割幅、 α は円弧中心とすべり線を結ぶ線の鉛直角

$$c'_F = \frac{c'}{F}, \quad \tan \phi'_F = \frac{\tan \phi'}{F} \quad \dots (2)$$

応力解析、安全率の算定に用いた解析用物性値^{例えば 2)}は表-1に示すとおりであり、水平排水層の目詰まりを考慮しない場合と考慮した場合のすべり安全率の比較を図-6に示す。

排水層の目詰まりを考慮しないケースでは、盛土内の地下水位上昇量が少ないため、極限平衡法、せん断強度低減法ともにすべり安全率の低下は認められない。また、せん断強度低減法では、図-4のように地表面から盛土内への下向きへの降雨浸透力を考慮することで、徐々に安全率が増加している。一方、排水層の目詰まりを考慮したケースでは、盛土内の地下水位上昇に伴い、極限平衡法、せん断強度低減法ともにすべり安全率が徐々に低下し、2ヶ月後には概ね 1.0 まで低下する。また、極限平衡法とせん断強度低減法の安全率を比較すると、浸透流解析による降雨浸透力が考慮されているせん断強度低減法の方が平均で約 2% 安全率が小さくあり、極限平衡法は若干危険側の評価となっている。以上のとおり、排水層の目詰まり等によって盛土内の地下水位上昇が生じる場合、極限平衡法は盛土斜面の安定性照査への適用性が低い場合があることが判った。

4. まとめ

水平排水層の目詰まりによって、降雨浸透に伴う盛土斜面の安定性は大きく低下することを示した。このため、排水層の材料としては、洗浄等により経年的な目詰まりを抑制できる排水管等の採用が望まれる。また、従来から実務で多用されてきた極限平衡法のすべり安全率は、一般的に有限要素法に比べて小さいとされているが、この保守性が浸透流解析による降雨浸透力を考慮することで失われる場合があることを示した。今後、降雨条件、盛土の形状・透水性・強度特性が異なる場合について、簡易法による設定地下水位や極限平衡法の適用性検証を要する。

参考文献

- 1) 伊藤克彦, 大北康治, 松澤宏: 砕石ドレーンにおける目詰まり防止に関する研究, 土木学会論文集, 第 439 号, III-17, pp.53-62, 1991.
- 2) 社団法人日本道路協会: 道路土工 盛土工指針 (平成 22 年度版), pp.101-119, p.173, 2010.
- 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) 気象庁 web: <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (入手日 2019.3.15)
- 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) Griffiths, D. V., and Lane, P. A.: Slope stability analysis by finite elements, *Geotechnique*, Vol.49, No.3, pp.387-403, 1999.

表-1 解析用物性値^{例えば 2)}

物性値名	盛土	水平排水層	岩盤
単位体積重量 γ (kN/m ³)	20	19	24
粘着力 c' (kN/m ²)	0	5	100
内部摩擦角 ϕ' (°)	30	40	40
弾性係数 E (kN/m ²)	5.0×10^4	1.0×10^5	1.0×10^7
ポアソン比 ν	0.333	0.333	0.200

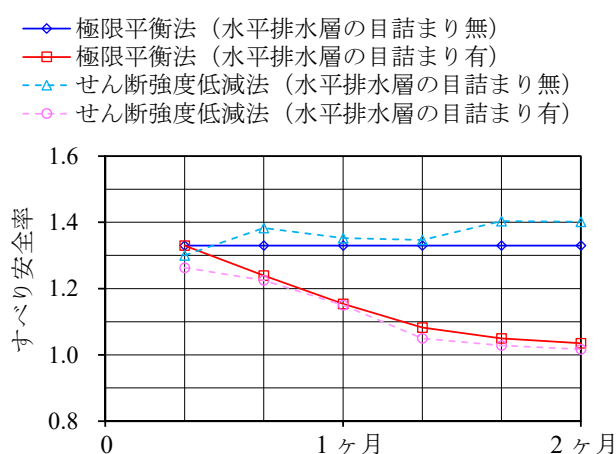


図-6 すべり安全率の比較