

斜面对策の意思決定に供する斜面評価方法

Slope stability assessment for the decision-making landslide prevention measures

太田英将(太田ジオリサーチ)*, 高馬太一(西日本旅客鉄道), 金山幸司(大鉄工業)

熊本 清(レールテック), 杉山友康(京都大学)

Hidemasa OHTA (Ohta Geo Research Co.,LTD), Taichi Kouma(West Japan Railway Company),

Kouji Kaneyama(Daitetsu Kogyo Co.,LTD), Kiyoshi Kumamoto(Railtec Co.,LTD), Tomoyasu Sugiyama(Kyoto Univ.)

キーワード: 斜面安定, 演繹法, 崩壊確率, 意思決定

Keywords: Slope stability, Deductive method, Probability of Failure, Decision-making

1. はじめに

戦後の急速な復興需要に伴い、ダム・鉄道・道路などの社会インフラを素早く造る必要があった。また、造ったインフラが壊れたら素早く直す必要があった。

斜面崩壊や地すべりは土のせん断破壊現象なので、十分な期間の観測と、土質工学的な解析が原則である。しかし、当時は時間を掛けている余裕はなく、次々と工事の進捗を挙げていく必要に迫られていた。

そのような中で、盛土・切土斜面の築造方法として、「標準勾配」が用いられた。地すべり対策方法としては、地すべり地形を呈する箇所に「現状安全率+逆算法+計画安全率」の概念が用いられた。これらは、実際に施工された現場経験から、変動・非変動の境界を実例に基づいて安全基準化した統計的・確率的手法である。

また、壊れた斜面を素早く直すためには、壊れる直前の状態をギリギリの安定条件(安全率 ≈ 1.0)と想定し、地盤条件を逆算する手法(逆算法)が用いられた。そして、計画安全率まで安定度を向上させることで、対策工設計を簡略化させることに成功した。

素早く造る、あるいは素早く直す、ということに関するこれらの方法は、土のせん断破壊現象というややこしい問題に正面から挑まなくてもよく、迅速な対策を行うための優れた帰納的手法であった。

時代は高度経済成長期から半世紀ほど経過し、社会インフラが老朽化し、対策が必要かどうかを判断し、対策を施すべきかどうかを意思決定する必要がある。しかし、まだ壊れていない斜面や土構造物に対しては、これまでの経験的方法では解決不能であり、演繹的手法を用いた土質工学的評価を避けて通ることはできない。

2. 標準勾配と演繹的安定計算

礫質土という「良質土」と、それに対応する標準的土質定数($\gamma=20\text{kN/m}^3$, $\phi=40$ 度, $c=0\text{kN/m}^2$), および仕様規定としての標準盛土勾配 1:1.8($H=5\text{m} \times 2$ 段)を用いて円弧滑りの安定計算を行うと、次

のような結果が得られる。

地下水無し条件 安全率 $F_s \approx 1.7$

地表まで満水条件 安全率 $F_s \approx 0.7$

これは、常時は安定であっても、地表近くまで地下水位が上昇するような豪雨の場合には安全率が 1 を下回るという意味で、実態を反映しているとは言い難い。

このように、帰納的に定められた標準盛土勾配は、演繹的な土質力学的手法とはリンクしていない。

このため、各種基準では、安定計算を行い安定性を評価する場合には、「原則として土質試験により求めること」と規定されている。既存斜面の安定度評価を行うためには、実測土質強度を活用し、演繹的な土質力学的评价をすることになる。

3. 維持管理における安定性評価の試行

社会インフラの老朽化が問題視され、効果的・効率的に構造物の劣化・損傷等を点検・診断し余寿命を予測する技術やインフラを補修・更新する技術、インフラの構造材料の耐久性を向上させる技術等の開発が重要とされている。

盛土・切土等の土構造物や、自然斜面は、数量・延長ともに莫大であることから、維持管理業務のためにボーリング調査を行い、砂質土の不攪乱試料を採取し、土質試験を行うことは、よほどの重要箇所以外ではコスト的に非現実的と考えられる。また、土は不均質で、物性の違いがあるため、土質強度(特に $c \cdot \phi$) のばらつきの把握も重要である。さらに、地下水水位が、目標とする降雨量条件で、どの程度まで上昇するかを知るためには、地盤の透水性(透水係数 K) の把握も重要である。

筆者らは、太田(2013)で提案された次の4つの斜面の調査評価方法を試験的に実施した。高さ 3m 程度の両盛土、区間延長 $L \approx 50\text{m}$ である。(1)~(3)までは、調査員 3 人で 2 日間の作業、(4)は室内で半日の作業であり、時間的・コスト的に維持管理業務において実施可能なレベルと考えられる。

(1) 土層構成: 高精度表面波探査 (V_s , 換算 N 値)

(2) 地盤強度計測: 土層強度検査棒 ($c \cdot \phi$)

- (3) 透水性計測：原位置透水試験 (K)
- (4) 安定解析：浸透流解析 (地下水位) と安定解析 (平均安全率 F_s , 崩壊確率 PF)

4. 評価結果

安定計算は Bishop 法の順計算で実施した (図 1 参照)。実測値は、透水係数 K, 地盤強度 $c \cdot \phi$ およびそれらの標準偏差である。実測 K を用いた降雨の浸透流解析では、100mm/日の浸透が地表面からある場合を想定した。浸透流解析しない場合には、豪雨時に地表面近くまで地下水位が上昇するとした。実測値の活用の違いでケース 1 ~ 3 の組み合わせをつくり、実測値を全く使わないケース 4 と合わせて評価結果を比較する (表 1 参照)。

対象盛土は、昭和 20 年代に築造された盛土である。現在も存在し、顕著な変状が発生していないので、 $F_s < 1.0$ の評価となるケース 3, 4 は、正しい評価とは言えない。ケース 2 は、崩壊確率 PF=69% (<100%) なので、斜面が崩壊せず存在し続けていることと必ずしも矛盾はしないが、地下水位の上昇を過大に評価している。ケース 1 は、豪雨時平均安全率 $F_s=1.26$, 崩壊確率 PF=13% となり、半世紀以上豪雨に耐え、存在し続けた盛土法面の評価として、最も妥当と考えられる。

5. 結論

既存斜面の安定度を評価するためには、順算法に

よる演繹的な評価でなければならず、現地での実測透水係数 K, 実測強度及び統計値を活用した評価方法が適切である。ケース 1 のような結果が得られれば、その崩壊確率をリスク評価値とし、施設管理者が、対策工を施工して安全性を高める防災投資の意思決定を行うことが容易となる。

表 1 斜面安定度評価結果の違い

ケース	標準値	実測 K	実測強度 $c \cdot \phi$		安定性評価結果
			平均値	統計値	
1	×	○	○	○	$F_s=1.26$ PF=13%
2	×	×	○	○	$F_s=0.90$ PF=69%
3	×	×	○	×	$F_s=0.90$
4	○	×	×	×	$F_s=0.31$

○採用, ×不採用, 標準値: 緩い砂質盛土なので $c=0$, $\phi=25^\circ$, 実測 K: layer1 の $K=7.8e-03\text{cm/s}$, layer2 の $K=2.3e-03\text{cm/s}$ で, 日雨量 300mm の 1/3 の 100mm/日が地表から浸透したとして定常浸透流解析を実施, 実測強度 $c \cdot \phi$: 土層強度検査棒による $c \cdot \phi$ 計測値 ($c=5.8\text{kPa}$, $\phi=16.1^\circ$), 統計値: 標準偏差 $\times 3$ 倍の幅で正規分布するとして, 統計的安定計算を実施。 (c の標準偏差 $\sigma=1.65$, ϕ の $\sigma=7.08$)

文献

- 1) 太田英将 (2013): 土構造物の予防保全のための調査・設計・対策法に関するひとつの提案, 第 52 回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp.130-131

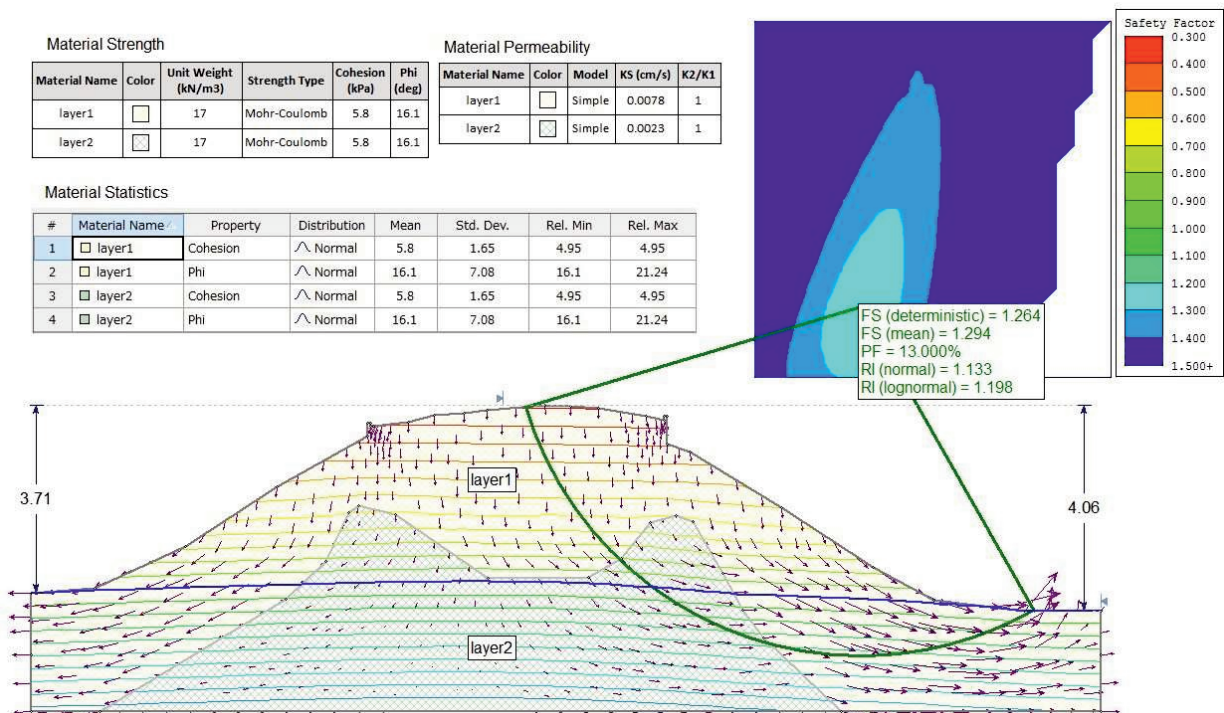


図 1 現場実測値 (K・c・φ) を活用した斜面安定解析結果例