

浅層崩壊の安定性評価のための調査法と対策法

Investigation and measures methods of Shallow Landslide Stability

太田英将*, 美馬健二, 林 義隆(太田ジオリサーチ)

Hidemasa OHTA, Kenji MIMA, Yoshitaka HAYASHI (Ohta Geo Research Co., LTD)

キーワード：浅層崩壊, 土層強度検査棒, 崩壊確率, 間隙水圧

Keywords: Shallow Landslide, Soil Strength Probe(SSP), Probability of Failure, Pore Pressure

1. はじめに

浅層崩壊（表層崩壊）は、斜面災害の8割を占める。定期的実施されている道路防災点検でも数多くの道路法面・斜面が目視調査を中心として調査・評価されている。それにもかかわらず、豪雨に伴う崩壊箇所を占める「要対策箇所」や「カルテ対応箇所」の割合は決して高くない。

本発表では、目視調査を中心とした現調査法の限界を示し、新たに土層強度検査棒（SSP：Soil Strength Probe）を用い、演繹的な安定計算と、崩壊確率計算に基づく方法論を紹介する。

2. 目視中心の調査法の限界

目視中心の調査法では、地表面にある崩壊跡や湧水箇所の収集が主にならざるを得ない。崩壊跡や湧水箇所の写真が多く収集された斜面は、調査票では「安定度が低い」という対応関係で評価がなされがちである。しかし、実際に発生した全崩壊箇所を占める「安定度が低いと評価された斜面」の割合が低いので、その対応関係は必ずしも正しくない。

土木研究所が、直轄国道の道路防災点検結果ランクと実際に災害が発生した箇所の割合集計したところ、要対策箇所が全体の16%、カルテ対応箇所が全体の21%で、両方合わせても37%と「正答率」が低いことが明らかになっている。

3. 土層強度検査棒（SSP）の活用

土層強度検査棒（SSP）は、土木研究所が2002年に開発した（特許申請時期；特許第3613591）、簡易に(1)土層厚と(2)土の締め程度と(3)土相の強度（ $c \cdot \phi$ ）を計測できる装置である。総重量5kg未満と軽量なので急峻な斜面でも常時携帯することが可能であることや、計測時間が短いことから数多くの箇所で計測できるという画期的な利点がある。

これまでは、斜面安定問題の解決において、未固結の土の強度を計測するためには、ブロックサンプリングを採取し、室内試験（三軸圧縮試験など）を実施することが必要だったが、目視調査と比較すると費用がけた外れに大きくなるため、実施されてこなかった。土層強度検査棒は、解析上のボトルネッ

クを解消できるツールである。

4. 斜面安定評価法

4.1 従来の安全率 F_s を用いた評価法

斜面の安定性を評価するひとつの指標は、安全率（ F_s ）である。 $F_s \geq 1.0$ で滑らない、 $F_s < 1.0$ で滑ると評価される。しかし、 $F_s = 1.0$ 付近の評価は、計測誤差や解析誤差の影響を受け、「滑らない・滑る」の二値問題として扱いにくい。 $F_s = 1.02$ が安全で、 $F_s = 0.98$ が危険と言えるほどの解析精度を持ち得ないからである。

4.2 崩壊確率 PF を用いた評価法

土層強度検査棒（SSP）は計測が簡易なので、パラツキを統計処理できるだけの実測値を得ることができる。ばらつきが得られると、確率的な計算が可能となり、パラメーターを正規分布にばらつかせて計算された数多くの安全率結果の中から、 $F_s < 1.0$ となる頻度を崩壊確率 PF (Probability of Failure) として定義して評価することができる。

評価結果を説明する場合、経験的に崩壊確率 PFの方が、確定論的安全率 F_s よりは理解されやすい。

5. 実施例

ある行政の公園用地の一部が土砂災害警戒区域・特別警戒区域に指定され公表された。市議会で、この行政管理地の斜面の安全性について評価しているのか、という質問があり調査依頼が来た。

「この斜面は安全なのか？それとも危険なのか？」という、素朴だが最も難しい調査依頼である。調査費用は、従来の道路法面防災点検と同等程度で実施しなければならないという制約付である。

5.1 SSP を活用した地表踏査

地表踏査においては、土層強度検査棒のロッドを携帯して行い、土層厚と土質（手の感触で）を知ることができる。砂質土の場合、30kgの圧力でN値=10程度の締めなので、その範囲を浅層崩壊の可能性のある深さと考えることができる。

湧水点は、自然の地下水排除工と安定側に考えることもできるし、地下水が集中する箇所として危険側に考えることもできる。小崩壊跡も一種の湧水点

である（崩壊時に水が吹いた跡）。

5.2 必要な情報の実測

主断面は、踏査した技術者が判断して決定し、ノンプリズムレーザー測距儀などを用いて簡易に断面を計測する。その中で土質特性を得るべき個所を選定し、(1)土層強度検査棒のベーンコーン試験により内部摩擦角 ϕ と粘着力 c を、少なくとも3回以上実測する（統計処理をするためである）、(2)単位体積重量は、試料円筒を用いて現場で実測する。

この調査だけで、間隙水圧 u を除くパラメーターはすべて実測できる。

5.3 確率論的安定計算

解析主断面の地形形状および表層土層厚（場合によっては地質構造も）をモデル化し、それぞれの地盤の特性値 $c \cdot \phi \cdot \gamma$ 及びそれぞれの標準偏差 σ を適用する。正規分布では平均値から 3σ の幅の間に99%以上の値が入るので、通常は 3σ の幅で正規分布の確率でばらつかせる（図1a参照）。

安定計算するケースは、(1)地下水位が表層土砂内に無い「平常時」、(2)地下水位が無い条件で大地震（ $kh=0.25$ ）が作用した「大地震時」、(3)大雨で表層土砂内が満水状態（地下水位が地表面と一致）の状態の「大雨時」（図1b）、及び(4)平均安全率 $F_s=0.99$ となる「記録的大雨時」の4ケースである。

(1)で平均安全率 $F_s < 1.0$ となれば地盤モデルが誤っていることになる。一般にこのケースの F_s はかなり大きい。(2)で崩壊確率 $PF > 0\%$ となれば、大地震時には何らかの動きがある（被害がある）可能性があるとして評価する。(3)で平均安全率 $F_s < 1.0$ となれば、かなり不安定な斜面と評価されるが、これまでの経験では40度以上の急斜面でない限り $F_s \geq 1.0$ となる（ただし $PF > 0\%$ となることはある；図1c参照）。(4)記録的大雨時とは、その地域の土壤雨量指数履歴順位第一位相当の雨を想定している。すなわち、その地域で崩壊が発生する環境を再現する計算である。その際に操作可能なパラメーターは間隙水圧（地下水位） u である。これまでの経験では、通常の斜面では地下水位線は地表面よりも高い位置に無いと平均安全率 F_s が1.0を下回ることはなかった。この計算は、実際に崩壊が発生した斜面を復元して、崩壊時の間隙水圧を逆算することにも活用できる。

6. おわりに

現行の目視に過度に頼った斜面調査法は、思い込みや、小さな変状の存在がバイアスとなって適切な評価となっていないことが、実際に起きた現象との対比で明らかになっている。どこかに間違いがある

ということである。

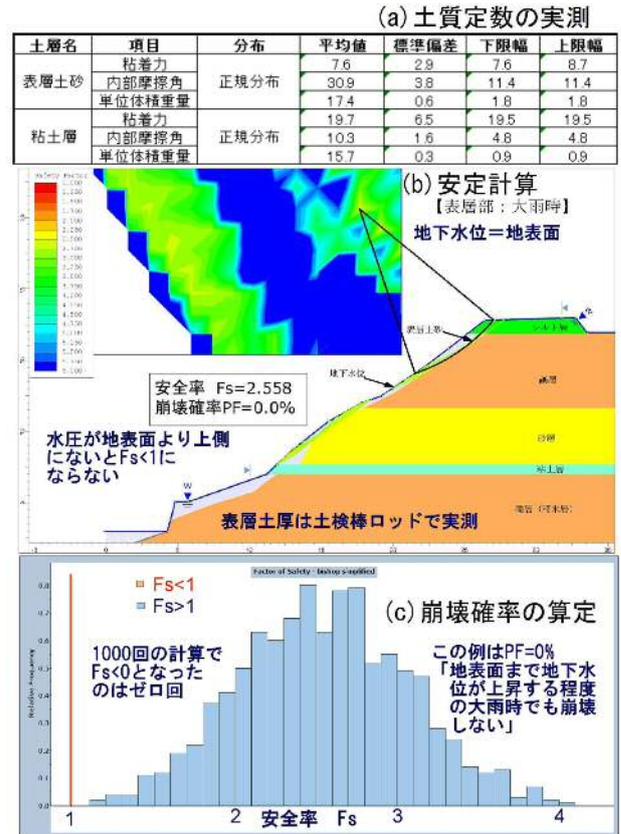


図1 安定計算による斜面の安定度評価事例 (a)土層定数の実測値と標準偏差, (b)大雨時(地下水位は地表面に一致)の解析モデル(土層深は土検棒ロッドによる実測, 地層は土検棒ロッドによる触診も活用, 地質構造は地質的判断), (c)崩壊確率の計算(この事例は $PF=0\%$)

斜面の安定問題は、実測値を用いて検証してはじめてその発生メカニズムを理解することができる。しかし、未固結土の地盤強度測定は困難で、浅層崩壊の調査としてはほとんど実施されてこなかったことが、その間違いを長い間正せなかった主たる原因であろう。

現場で簡易に実測値を得ることができる土層強度検査棒(SSP)を用いることによって、合理的な計算が可能となった。多くの斜面では地表面よりも高い地下水圧(過剰間隙水圧 or 被圧水圧)時に崩壊が発生することがわかった。崩壊の瞬間の間隙水圧については、これまで、概念的に想像はできていても、検証されていなかった課題だった。

このような水圧が崩壊の根本原因であることがわかると、対策の方針として「地表面よりも高い水圧となることを防ぐこと＝地下水位を地表面までに留めること」と明確化できる。水圧消散効果の有効性は、排水補強パイプを打設した斜面や、フトン管が設置された斜面が、極めて崩壊しにくかったという事実ともよく整合する。