

民間所有斜面の調査・評価・対策設計

Investigation, evaluation and countermeasure design of privately owned slopes

太田英将*, 川浪聖志, 美馬健二 (太田ジオリサーチ)

Hidemasa OHTA*, Seishi KAWANAMI, Kenji MIMA (Ohta Geo Rsearch)

キーワード：民間斜面, 土砂災害警戒区域, 崩壊確率, ソイルパイプ

Keywords: Privately owned slopes, Sediment disaster prone areas, Probability of failure, Soil pipe

1 はじめに

2019年度末を目処に、土砂災害防止法に基づく基礎調査が終了する予定となっている。土砂災害警戒区域の多くは民間所有の斜面であり、斜面下方の宅地の住民は、その斜面が大雨等で崩壊すれば被害者になる立場である。このため、斜面下側の住民が、斜面所有者に対して安全性の説明を求める事例が生じるようになった。

しかし、斜面の防災対策は、その多くが公共事業で実施されており、民間所有の斜面であっても一般に公共事業の基準で実施されるのが原則となっている。公共事業仕様で対応する場合、発注者・受注者ともに専門家であるが、民間事業の場合は発注者は専門家ではない。このため、以下の問題が生じる。

- 1) 対策のための調査・設計・工事が高価となり「対応不能」となり問題解決できないことが多い。
- 2) 安全と評価した斜面、あるいは対策工事をした斜面が崩れた場合、損害賠償の対象となるため施工者側のリスクが高く、工事会社が受注を敬遠する傾向にある。

ここでは、実際に民間所有の斜面の安全化対策を実施した際の方法について報告する。

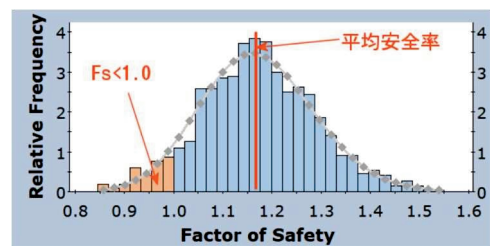
2 安全評価基準について

公共事業において斜面对策をする際、多くの場合は対策工事をするのが意思決定済である。このため、現況斜面の安全率を仮定し、計画安全率まで向上させるための対策量に見合った工事が設計・施工される。通常、現況安全率を $F_s=1.00$ 、計画安全率を $F_{sp}=1.20$ と設定する。

この確定論的手法は、専門家同士では曖昧さも含めて理解し合えるが、専門家でない人に計画安全率の値を納得してもらうのは意外に難しい。専門家であっても、計画安全率の値が決まった理由を論理的に説明できないので、専門家でない人に納得してもらえない説明が困難となっている。

筆者らは、土質強度パラメータを土層強度検査

棒で実測し、滑動力と抵抗力が拮抗する安全率 $F_s=1.00$ を閾値として確率解析することにより、「計画安全率とは、 $F_s<1.00$ となる確率を十分小さくできる平均安全率のシフト量」と解釈し、説明している(下図参照)。あくまでも、安定・不安定の閾値は $F_s=1.00$ ということである。



筆者らが調べた限り、計画安全率 $F_{sp}=1.20$ と設定したことが明確に書かれた文献は見つからない。ただし、断片的な資料から推察すると、表層崩壊対策ではなく、地すべり対策で設定されたものようである。一方、土砂災害警戒区域の崖地で起きる現象は、表層崩壊であるため、 $F_{sp}=1.20$ が妥当なのかどうか不明である。(実施事例では、 $F_{sp}=1.6$ 程度ないと崩壊確率が十分小さくならなかった)

3 崩壊時過剰間隙水圧比

内田ほか(1996)によれば、通常の降雨時に土の中のパイプ流は良好な排水システムとして機能し斜面安定に寄与するが、「大きな降雨時」にはパイプ内の水圧上昇によって崩壊を誘発するとしている。太田ほか(2017)は、実際に豪雨によって崩壊した斜面崩壊を、土層強度検査棒で実測した強度を用いて再現し、崩壊時に発生した過剰間隙水圧比を逆算した。その結果、全ての斜面が静水圧のみでは崩壊に至らず、過剰間隙水圧によって崩壊が発生したことを安定計算により再現した。傾斜 30° 程度の斜面では、パイプ内の過剰間隙水圧比が最大 0.3 程度まで上昇し崩壊に至っていた。

4 調査・設計方法

4.1 解析モデルの設定(実測値による)

表層崩壊では、地すべりのように周縁部の高強度部はないので、2次元安定解析によるモデルを組み立てる。地形断面、表層土砂層厚分布、表層土砂の地盤強度($c \cdot \phi \cdot \gamma$)の実測値とばらつき(標準偏差)が必要である。

4.2 豪雨時間隙水圧の設定

表層崩壊は、土のせん断破壊現象である。安定解析式の中で、安定条件を変化させるのは間隙水圧(過剰間隙水圧も含め)のみである。

豪雨時には表層土砂内の空隙は降雨による水で満たされていると考えれば良いので、静水圧は地表面まで作用させる。さらに、パイプ内の過剰間隙水圧 U_{ep} は、圧力水頭ゼロ地点からの比高 Δh と過剰間隙水圧比 α ($=0.3$ を使用) と水の単位体積重量 γ_w を用いて $U_{ep} = \alpha \times \gamma_w \times \Delta h$ を作用させる。圧力水頭ゼロ地点は、尾根部であったり、表層から水が吹き出した跡(小崩壊跡も含む)地点などパイプ流の水圧がゼロとなる位置とする。

4.3 安定計算(崩壊確率計算)

上記の設定で2次元安定解析を行うが、その際、地盤強度は正規分布に従ってばらつくことと仮定し、標準偏差の3倍の範囲(3σ)でばらつかせ、1000回程度計算を実行する。計算された安全率のうち、 $F_s < 1.00$ となる確率を「崩壊確率 PF」と定義する。

過剰間隙水圧比 $\alpha = 0.3$ を用いると、ほとんどの斜面で崩壊確率が大きな値となるのが普通である。

4.4 対策工設計(過剰間隙水圧消散)

安定条件で変化するのは水圧のみなので、対策工では水圧に対処するのが合理的である。過去に行われた水位観測では、排水パイプがあっても静水圧は地表付近まで上昇していたので、静水圧は地表面まで作用する、とする。一方、過剰間隙水圧は、排水パイプが施工された高さでいったんゼロになり、その下側で増加するモデルとする。

高さ方向のピッチを決め、安定解析を実施し、崩壊確率を得る。縦方向2mピッチの打設で、崩壊確率は数%まで低下することが多い。(横方向の打設ピッチは縦方向と同等としている)

計算された崩壊確率で安全性が十分であると判断すれば、そこで設計は終了であるが、さらに安全性の向上を求める場合には、排水パイプの強度を付加した計算を行う。

鉄筋補強土工は水圧消散効果がなく、土自体はせん断破壊を起こす「破壊モード」に移行するため、補強効果として鋼材周面の引張り摩擦力を用いる。

排水パイプの場合には、数%まで崩壊確率を低下させているので破壊モードにならないと考える。したがって、排水パイプが鋼材の場合、そのせん断強度を安定計算に載せて計算する。崩壊確率は、この計算でほぼゼロ%となる。

4.5 残存崩壊確率(技術の限界の提示)

民間斜面の場合、計算上崩壊確率がゼロ%となった時点で「絶対大丈夫」と言えるかどうかの問題が残る。長い目で見れば、人間の死亡確率が100%なのと同様に、全ての斜面の崩壊確率も100%である。排水パイプの施工で対応しきれなかったパイプ流の高圧力化も皆無とはいえない。

このため、標準偏差の3倍(3σ)でカバーできる99.7%の外側にある0.3%の半分の0.2%程度を残存崩壊確率としている。この目的は、500回に1回程度は崩壊する可能性があることを、技術上の限界として提示するためである。

4.6 対策の優先順位の提示

多田ほか(2007)では、地下流水音探査によりパイプ流が集中していた箇所が差別的に崩壊することを実証している。

民間所有斜面では、一度に全域を対策を実施するだけの予算が確保できない場合、優先度の高いところから順次対策するという次善の策も提示する必要がある。そこで、パイプ流の集中度が高い箇所を抽出し、優先箇所として提示する。

5 まとめ

土砂災害警戒区域が設定され、民間の土砂災害防止意識も向上してきている。その中には、安定度評価や対策工が求められる箇所も存在する。土砂災害特別警戒区域(レッドゾーン)を解除するためには公共事業規格の対策工が必要であろうが、本論では、土地所有者の「必要な注意義務」を果たすためのひとつの方法論を示した。実際にこの方法で対策が行われている箇所もある。

参考文献

- 内田太郎ほか(1996):“パイプ流が斜面安定に与える影響”,水文・水質学会誌 Vol.9, No.4, pp.330-339
 太田英将ほか(2017):“ソイルパイプの過剰間隙水圧を考慮した安定計算法”,第56回日本地すべり学会研究発表会
 多田泰之ほか(2007):“地中水みちと崩壊発生箇所の関連性”,砂防学会誌, Vol.60, No.4, pp.25-33