

地震地すべりの安定度評価に関わる 数値シミュレーションの現状と課題について

みちはた りょういち
道畑 亮一

(一財)砂防・地すべり技術センター
斜面保全部課長代理

2016年4月に入り、熊本県では大地震に見舞われました。当初4月14日の発災時には、顕著な斜面災害は報告されていませんでしたが、後に本震となる16日の地震において、阿蘇地方を中心に大きな斜面災害が発生しました。これらの斜面災害の状況は、本号P2～7『現場から』の頁に詳述されておりますので参照ください。

さて、地震地すべりの連載3回目にあたり、上述したような地震時の斜面災害が発生する「箇所」や発生した場合の「影響」を数値シミュレーション等により予測・評価する必要性を再認識した訳ではありますが、前回の連載において、数値シミュレーションによる評価手法の概要について述べましたので、今回は、現状の概ねの到達点とその課題について述べたいと思います。

1. 地すべり活動中の斜面？ 変動していない斜面？

今回の阿蘇地震において規模が大きかった斜面災害発生箇所の例として、京都大学火山研究所が位置する火山円頂丘周辺で発生した地すべりがあります（写真-1）。別途報告の現地写真からも概要を見て取ることが可能と思いますが、本発生箇所は、もともと地すべり地形を呈しておらず、発災前に変動が発生していたという報告もありません。いわゆる「初生地すべり」という分類に相当する現象と言えます。

ここで、地震地すべりの発生箇所の評価の話に戻りますが、数値シミュレーション等を用いて発生箇所の評価を実施する場合、上述したような「現在の変動状況の有無」によって大きく精度やアプローチが変わってくることを強調したいと思います。

「現在変動が確認されている斜面」、いわゆる「活動中の地すべり地」では、多くの場合変動を観測するための機



写真-1 京都大学火山研究所遠景(STC職員撮影)

器が設置されており、合わせてボーリング等の調査も実施されています。これら調査の成果として、すべり面の深度や変動ブロックの形状、地質情報が概ね把握できていることが多いと言えます。一方、「現在変動が確認されていない斜面」は、すべりの発生の要因となる弱層の分布等、地盤内の状況がほとんどの場合調査されておられません。よって、数値シミュレーションを実施する上での入力条件の精度に大きな開きがあるということとなります。

2. 現在変動が確認されていない 斜面の安定度評価

「現在変動が確認されていない斜面」では、上述のとおり、いわゆる「活動中の地すべり地」と比べ、調査データが少なく、個別斜面の調査データはほぼ存在しません。このため、周辺のトンネル施工時の調査資料や地質毎の地盤強度の一般値などを適用し、数値シミュレーションを実施することとなります。もとより地盤強度が一般値ですので、変動が発生する「限界安全率」に対し、どの程度地盤強度が上回っているか分かりません。このように、地盤内の土や岩の強度の設定精度に限界がある状況であるため、土や岩の破壊、変形といった過程における「強度」を踏まえた安定度評価は困難となります。

そこで、現状では、数値シミュレーションにより算定した斜面内の「加速度」や「せん断応力」を用いて評価することが主として実施されています。例えば、2004年新潟県中越地震で発生した地すべり地を教師データとし、発災前の地形を復元した地震応答解析による研究事例¹⁾では、中越地震時の地震地すべり発生箇所は、斜面上部では加速度が大きく、斜面下部ではせん断応力が大きな箇所となる場合が多いことを指摘しています（図-1）。

今後、地震地すべり発生時の事例を用いて同様の解析を実施し、事例の蓄積を図ることが望まれますが、本アプローチの最終的かつ理想的なアウトプットは以下のようなものとなる（理想）と思います。

『地質Aを有する斜面での既往事例をもとに分析した結果、地震時に斜面内で「最大加速度 Xg_{all} 以上」、「最大せん断強度 $Y N/m^2$ 以上」が発生する場合、斜面変動が発生する面積割合が $Z\%$ 以上となる。』

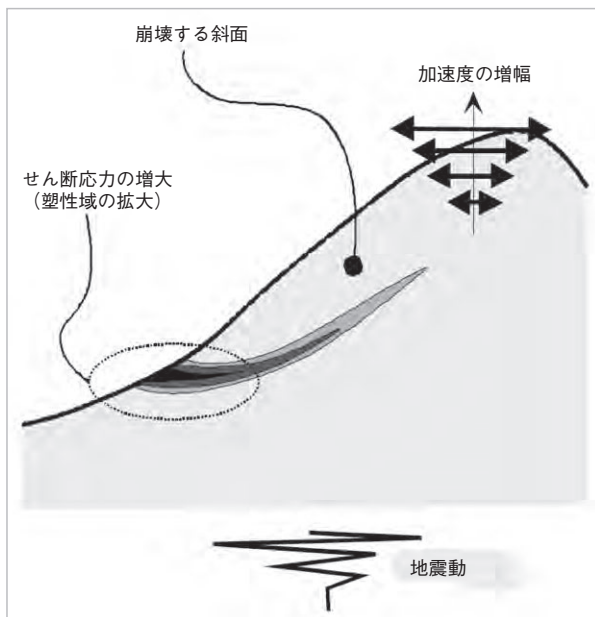


図-1 地震地すべり発生箇所と関係する地震応答解析結果のイメージ

3. 阿蘇の災害発生箇所を予測することは可能であったか？

上述のとおり、京都大学火山研究所での地すべりは、「現在変動が確認されていない斜面」かつ「地すべり地形」を呈していない斜面でありました。このような条件を持つ斜面において、地震時に変動する危険性を評価するような研究はほとんど記憶にありませんが、既往事例ですと、第1回連載で紹介した葉ノ木平地すべりがあります。この場合、すべり面となる粘土化した火山噴出物由来の風化土層が流れ盤に沿って連続的に分布し、弱面が形成されていたという状況が分かっています。このような特徴的な地質・土質条件が今回の事例でも素因となっているのか、検証を行う必要があります。

いずれにせよ、今回の地すべりは火山地における特徴的な地質・土質条件が素因となっているものと想定されますので、このような地質・土質の地震時の強度特性をまず調査することが必要と考えられます。その上で、同様の地形・地質・土質条件を持つ斜面が火山地に普遍的に存在するか等の評価・検討が必要になっていくものと考えられます。

4. 現在変動している、いわゆる「活動中の地すべり地」での安定度評価

「活動中の地すべり地」では、上述のとおり、調査成果が多く、地すべりの縦断形状の情報と、変動が加速する水位条件等の情報が把握されております。よって、これら情報を活用することにより、現状のすべり面強度を何らか設定することができるということになります。こういった地すべり地に、今後対策工が施工された場合の条件にて、近傍で発生しうる地震動が伝播した場合の数

値シミュレーションを実施し、安定かどうかを評価することができます。

ただし、上述の条件では、現状の変動状況から、ほぼ限界安全率となるすべり面強度を適用するため、現状の対策工の条件で地震時数値シミュレーションを実施した場合、不安定となる評価となる場合も生じます。

よって、これまでに観測された地震時の地すべり変動量をもとにすべり面の物性値のキャリブレーションを実施し、より地震時の実態に即したすべり面物性値を適用する必要があります。

5. 「活動中の地すべり地」に地震が来ても動かない…すべり面物性値設定の課題

「活動中の地すべり地」では、すべり面強度がほぼ限界安全率相当となっているため、地震時に斜面下方に揺さぶられる度に、斜面下方へと変動するものと想定されますが、実際には、ほとんど動かない事例が大多数です。もちろん、地すべり観測の期間が限られていますので、経験した地震動の規模が小さいということものあります。ほとんど変動しないことの説明にはなりません。

この答えの一つとして、中村²⁾は、粘性土のせん断強度の速度依存性が影響していると解釈しています。これは、移動を開始してもすぐにブレーキがかかるということです。

ただし、中村は、どの地すべりでも地震時に「ブレーキ」がかかるとは想定しておらず、岩盤の脆性破壊（小さな力でパキッとわれる現象）、シルト岩等でのひずみ軟化（変動に伴い強度が低下する現象）、砂質土壌等での液状化現象等を考慮する必要性を指摘しております。このようにすべり面の材料に応じ、地震時に発現する強度（強度の変化特性）を適切に設定するための研究の進展が望まれているところです。

近年、すべり面の強度特性の評価をサンプル試験等により評価しようという研究が活発化しているように思います。上述の速度依存性やひずみ軟化特性の他、粘土含有率の違い、粘土鉱物の違い、場の条件のバラツキの影響、過剰間隙水圧の発生の影響等様々な観点からの研究が実施されており、さらにこれらを俯瞰的に評価しようという試みも実施されています（例えば、中村真也³⁾）。これら知見を踏まえた検討を実施していくことが継続的な課題と言えます。

参考文献

- 1) 若井明彦ら、2008：中山間地の地震時斜面崩壊リスクを評価するための有限要素法に基づく広域被害予測システム、日本地すべり学会誌、Vol.45,No.3,pp.207-218.
- 2) 中村浩之、2011：技術者の疑問に答える地すべり・崩壊、総合土木研究所発行、pp.80-81.
- 3) 中村真也、2015：すべり面研究の動向と展開、(公社)日本地すべり学会シンポジウム—すべり面の形成過程と認定における根拠—、pp.2-5.