

土層強度検査棒を用いた0次谷斜面における土砂流出危険箇所の抽出

辻岡 秀樹*・高見 美智夫*・野溝 昌宏*・細田 宏*

Screening of Probable Slope Failure Blocks in Zero-order Valleys Based on the Soil Strength Probe

Hideki TSUJIOKA*, Michio TAKAMI*, Masahiro NOMIZO* and Hiroshi HOSODA*

Abstract

Slope failures of topsoil occurred following local heavy rainfall in zero-order valleys along Route 21 near Mitake town in Gifu Prefecture, in 2010 and 2011. As the disaster locations were not included in the scope of “Karte” inspections of disaster prevention, it was necessary to immediately evaluate the slope stability through high-precision screening method. The objectives of this study are to select zero-order valleys based on laser profiler topographical map reading and detailed field investigation, measure the topsoil depth distribution on the traverse lines along the selected valleys using soil penetration test with the Soil Strength Probe, and determine probable slope failure blocks. The field investigations identified the following topographical and geological features: (1) knick lines around the hillside are active erosion fronts; (2) small valleys above the erosion fronts accumulate rainwater and ground water; and (3) relatively thick topsoil accumulates in the bottom of valleys. The Soil Strength Probe penetration test data were plotted on a slope angle-topsoil depth relationship diagram. Data of traverse lines within the field for which both the slope angle and topsoil depth are greater were assessed as unstable. Therefore, the parts of slopes of such traverse lines were determined as probable slope failure blocks; these are identified in eleven traverse lines.

Keywords: Soil Strength Probe penetration test, Slope angle-topsoil depth relationship diagram, Slope stability

(要 旨)

岐阜県御嵩町の国道21号では、2010年及び2011年の集中豪雨時に0次谷斜面で表層崩壊が発生した。災害箇所は防災カルテ点検の対象箇所ではないことから、精度の高いスクリーニングによる斜面の安定度評価が急務となった。本検討の目的は、レーザープロファイラー地形図判読及び地表踏査に基づいて0次谷の絞り込みを行い、その谷筋に沿った測線で土層強度検査棒を用いた貫入試験を実施して土層深を測定し、さらに、土砂流出の危険箇所を抽出することである。地表踏査の結果、危険箇所の地形・地質特性として、①中腹部の遷急線付近が活発な浸食前線であること、②浸食前線の上方に小規模な集水地形があること、③谷筋沿いにやや厚い土層が存在することが判明した。貫入試験結果のデータを「斜面の傾斜角-土層深」の関係図で整理した結果、土層深が厚く、かつ傾斜角が大きい条件の領域にプロットされた11箇所の斜面を不安定な斜面として評価し、危険箇所として抽出した。

キーワード: 土層強度検査棒(土検棒)貫入試験, 斜面傾斜角-土層深関係図, 斜面安定性

*応用地質(株)中部支社

*OYO Corporation Chubu Regional Office

1. まえがき

近年多発する集中豪雨によって、0次谷（塚本, 1973¹⁾）のような小規模集水地形において土砂災害が発生する事例が増加している。

岐阜県御嵩町の国道21号では、2010年7月の集中豪雨時に斜面崩壊が発生した。さらに翌2011年9月にも集中豪雨による同様の災害が発生し、同月には災害調査検討委員会が設置された。

これらの斜面崩壊が発生した箇所は、1996年の「道路防災総点検」、及び2006年の「災害危険箇所の再確認」において点検対象外とされていた。委員会の中で、当時のスクリーニングの精度についての課題と、防災点検のスクリーニング手法の見直しの必要性が指摘された。そこで、精度の高いスクリーニングの新たな手法としてレーザープロファイラー（LP）地形図判読及び詳細な地表踏査を行うとともに、詳細調査として土層強度検査棒（以下、土検棒と略記する）を用いた貫入試験、高精度弾性波探査による地下構造の解析、自記水位計による地下水変動状況のモニタリングを実施することになった（伊藤, 2014²⁾; Tsujioka et al., 2015³⁾）。

このような自然斜面の表層土の安定性について、飯田（2012）⁴⁾は、多数の地点の簡易貫入試験による土層深 D_5 (N_c 値が5を超える深さ) とその地点の斜面傾斜角の関係図を示し、その中に土層の安定・不安定領域を図示した（図-1）。

本稿では、上述した土検棒の貫入試験について取り上げ、簡易貫入試験よりも簡便かつ迅速な土検棒の貫入試験によって土層深を多数の地点で測定し、飯田（2012）と同様な関係図を作成したうえで土層の安定度について考察し、土砂流出危険箇所の抽出を行った事例を紹介する。

なお、0次谷の抽出には縮尺1/5,000地形図を用いた。また、土層とは、表土、崩積土、当地域の基盤をなす花崗岩の強風化帯などの斜面表層部を構成する未固結な地層を一括したものを指し、土検棒によって静的貫入できる程度の土質である。

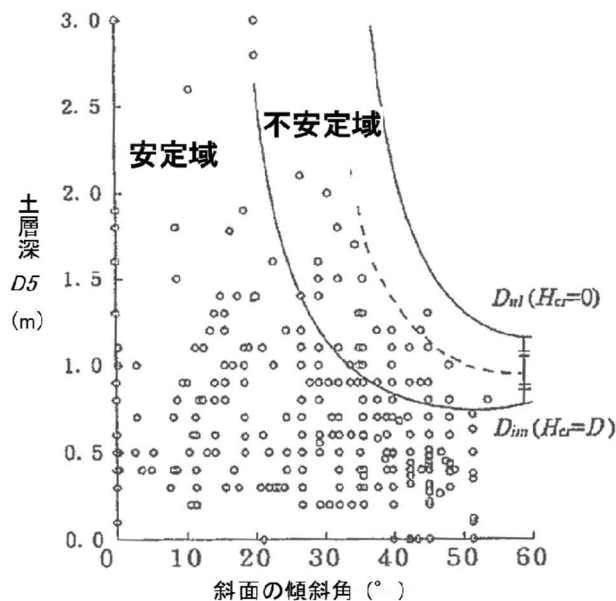


図-1 斜面の傾斜角と土層深 D_5 の関係図（飯田, 2012に加筆）

Fig. 1 Slope angle-topsoil depth D_5 relationship diagram (partial addition made to Iida, 2012).

2. 災害箇所の概要

2010年7月及び2011年9月の豪雨時には、4箇所斜面崩壊が発生し国道に崩壊した土砂が流出したほか、1箇所盛土が崩壊し道路が分断された。災害発生時の連続雨量について、国交省の雨量計データならびに崩壊箇所のレーダーアメダス解析雨量を表-1に示す。2010年の災害発生時の連続雨量は100 mm前後を示すが、2011年のそれは250 mm以上の集中豪雨であった。

2011年の斜面崩壊のうち、表-1の②に該当する崩壊箇所について、崩壊後に作成したルートマップと断面図を図-2に、その位置図を図-3にそれぞれ示す。この基盤岩は土岐花崗岩（石原・鈴木, 1969⁵⁾）であり、崩壊箇所には強風化花崗岩が露出する。尾根付近と斜面中腹部に遷急線があり、崩壊頭部は斜面中腹部の遷急線付近に位置する。この崩壊地の北側にも隣接して過去の崩壊跡が見られる。崩壊箇所の上斜面は小規模な集水地形を示す。

表-1 2010年及び2011年災害発生当時の連続雨量値ならびに崩壊面積と崩壊土砂量

Table 1 Cumulative continuous rainfall, area of failures and amount of failure deposits during the disasters in 2010 and 2011.

災害発生日	観測点・解析点	連続雨量 (mm)	崩壊面積 (m^2)	崩壊土砂量 (m^3)	斜面区分
2010年7月15日	国交省の雨量計	97	①900	①1000	自然斜面
	崩壊箇所のレーダーアメダス解析雨量	143			
2011年9月20日	国交省の雨量計	257	②230	②350	自然斜面
	崩壊箇所のレーダーアメダス解析雨量	293	③1100	③1300	自然斜面
			④3300	④11900	盛土

※①～④の崩壊箇所の位置を図-3に示す。

※ Locations of the failures ①, ②, ③ and ④ are shown in Fig. 3.

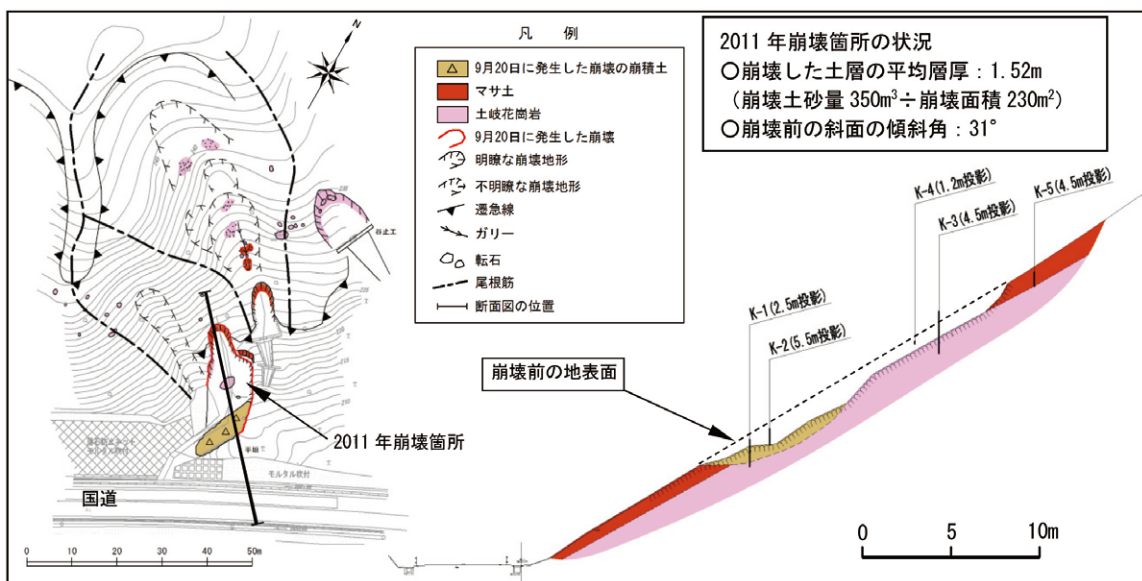


図-2 2011年の斜面崩壊箇所周辺のルートマップ(左)と崩壊地の地形・地質断面図(右)

Fig. 2 Route map around the slope failure that occurred in 2011 (left), and topographical and geological profile of the failure (right).

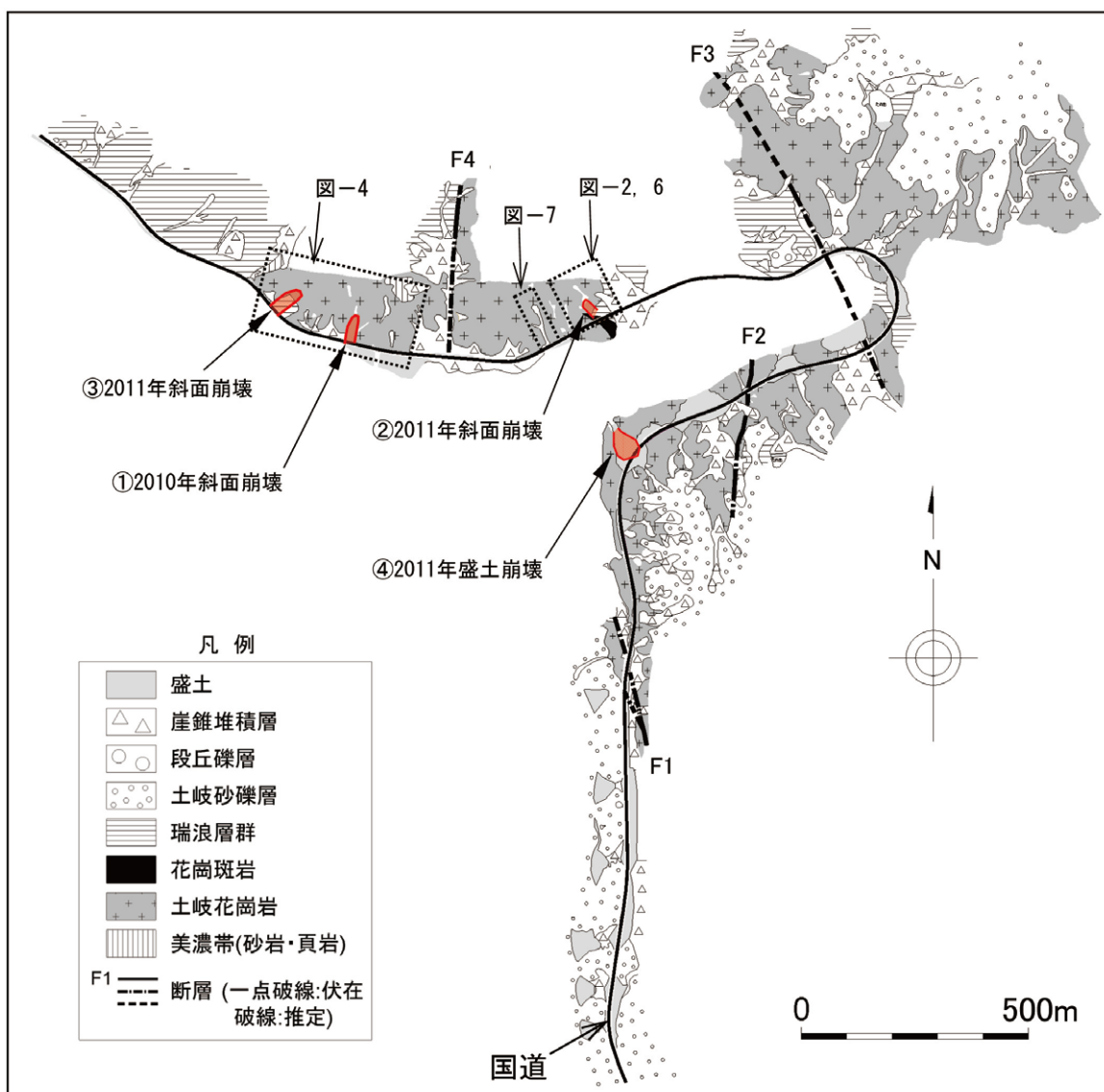


図-3 調査地域の地質平面図と2010年及び2011年の斜面・盛土崩壊箇所の位置

Fig. 3 Geological map of study area and the locations of the slope and bank failures that occurred in 2010 and 2011.

3. 地表踏査

3.1 目的

地表踏査は、スクリーニングの基礎資料とすることを目的とし、得られた地形・地質情報をルートマップとして作成し、地質平面図として整理した。

現地では、LP 地形図判読結果に基づいて地形状況を観察すると同時に、微地形（0次谷、遷急線、崩壊跡地、集水地形、ガリー、湧水跡、表層クリーブ等）や、崩積土の堆積状況について記載した。とくに、2010年及び2011年の崩壊地や過去の崩壊跡地の地形・地質的特性を明確にすることに留意した。さらに、土砂流出の可能性のある斜面を絞り込み、土検棒の貫入試験を実施する斜面を選定した。

3.2 踏査結果

3.2.1 地質概要

調査地域の基盤岩は白亜紀の土岐花崗岩及び中新世の瑞浪層群（石原・鈴木，1969⁵⁾）（礫岩・砂岩）からなり、局所的に美濃帯のジュラ紀付加体（泥質・砂質ホルンフェルス）が分布する（図-3）。前二者は高角度傾斜の断層で境される場合と、花崗岩の上に瑞浪層群が中角度の構造で不整合に覆う場合とがある。これらをほぼ水平な構造で不整合に覆って、鮮新世の瀬戸層群土岐砂礫層（赤嶺，1954⁶⁾）が分布する。

3.2.2 遷急線・0次谷・崩壊跡地の特徴

遷急線、0次谷及び崩壊跡地の特徴について以下に記述する（図-4参照）。

①遷急線

遷急線は尾根部、斜面中腹部、及び斜面下部の3段

に分布する特徴がある。尾根部の遷急線は比較的側方への連続性に富み、中腹部及び下部の遷急線は連続性に乏しい傾向にある。これは、尾根部には緩斜面が比較的連続して細長く分布しているのに対して、中腹部より下方では緩斜面が0次谷によって分断され、断続的あるいは孤立して狭い範囲に分布するからである。

②0次谷

国道に面する0次谷のほとんどが、尾根部及び中腹部の遷急線から下方へ延びている。斜面下部の遷急線から下方へのびる0次谷はまれである。いずれの0次谷も崩壊跡地を伴い、土砂生産の場になっている。

③崩壊跡地

尾根部の遷急線から下方へ延びる0次谷には、複数の崩壊跡地が断続的に分布する。そのうち谷頭部の崩壊跡地には、外形が不明瞭なものが多い。これに対して、斜面中腹部の遷急線付近から下方の崩壊跡地の外形は明瞭に残っているものが多い。2010年及び2011年の崩壊は後者の位置に対応するものと考えられる。この崩壊跡地の頂部から尾根部の遷急線までの範囲は30～50m程度の標高差を示し、集水地形を呈する。また、崩壊跡地から下方には崩積土が堆積している場合が多く、2010年及び2011年の崩壊と同様に過去にも、土砂流出が発生したものと考えられる。

2010年及び2011年の崩壊跡地は土岐花崗岩及び瑞浪層群の分布域に位置する。花崗岩分布域の崩壊跡地には、遷急線付近から下方にかけて強風化花崗岩が分布し、さらに表層部に崩積土が堆積している状態にあった。

以上のことから、土砂流出を伴った崩壊跡地の地形・地質特性は、①崩壊の頭部は中腹部の遷急線付近

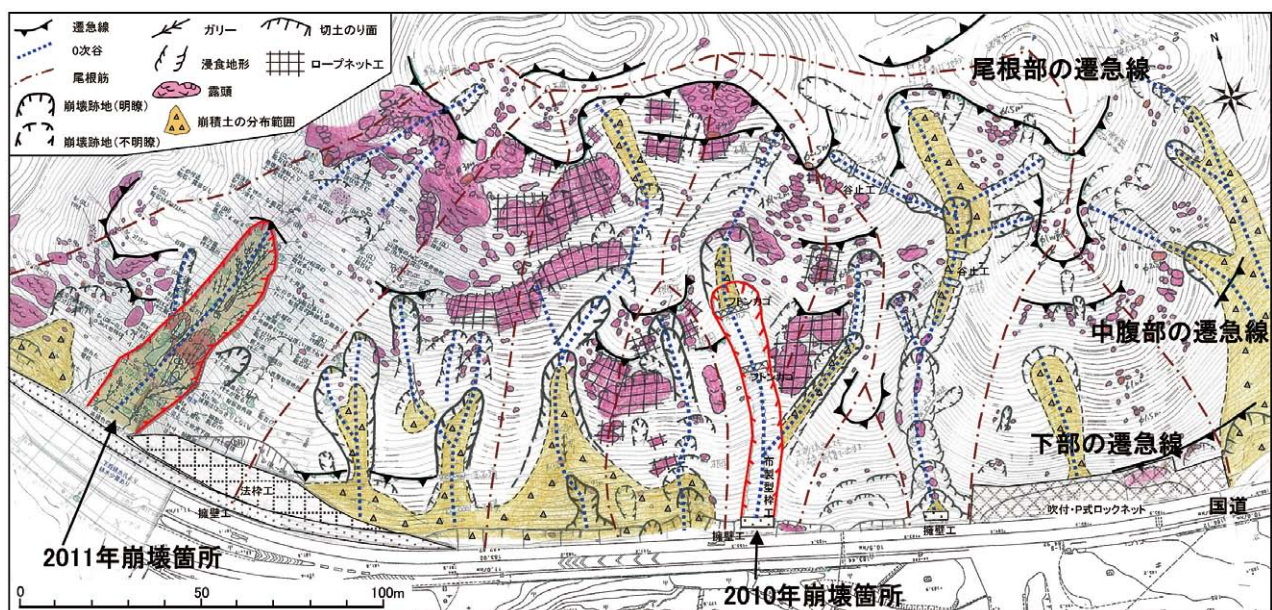


図-4 2010年及び2011年の崩壊箇所周辺のルートマップ

Fig. 4 Route map around the slope failures that occurred in 2010 and 2011.

の浸食前線に対応しており、②上方には雨水や地下水の影響を受けやすい小規模な集水地形を伴って、③下方の谷筋沿いには過去の崩壊に伴う崩積土が分布すること、である。

3.2.3 土検棒による貫入試験の実施測線の選定

国道に面する0次谷を地表踏査することによって、比較的厚い崩積土が堆積する0次谷を絞り込み、谷筋の土層深を把握するための土検棒による貫入試験を実施する測線を設定した。また、2011年の崩壊跡地の直上斜面や、国道に面したやや不安定な状態にある斜面においても、土砂の安定状況を確認するために、試験対象として測線を設定した。このようにして設定した試験用の測線は合計23測線である（後掲の表-2参照）。試験の対象となる崩積土の起源の地質は、土岐砂礫層、花崗岩、及び瑞浪層群（礫岩・砂岩）である。

4. 土検棒の貫入試験

4.1 目的

土検棒による土層試験には、貫入試験とせん断試験とがある（図-5）。このうち、貫入試験には、先端コーンつきの細いロッドを表層部の土層へ人力により押し込み、土層深を簡易に測定する簡易式貫入試験（図-5b）の左図）と、バネ式荷重計を用いて人力でロッドを表層部の土層に押し込み土質、土層強度及び土層深を測る標準式貫入試験（図-5b）の中央図）とがある。一方、せん断試験は貫入コーン羽根付（ベンコン）を使って、所定の深度に貫入し、ロッドの押し込み力と回転トルクから原位置での内部摩擦角及び粘着力を測定するベンコンせん断試験（図-5b）の右図）である。

本調査地域では、各斜面の崩積土の内部摩擦角や粘着力を把握するため、ベンコンせん断試験も実施したが、本検討では、前記の斜面において斜面の傾斜角及び土層深を連続的に測定して、土層の安定性を把握することを目的としているため、簡易式貫入試験の実施結果について記述する。

4.2 方法

斜面上の測線において、水平距離2m間隔ごとの測点で高さを測量しながら、土検棒により土層深を調査した。試験の手順は独立行政法人土木研究所（2010）⁷⁾に従った。なお、土検棒は軽量であるため持ち運びが容易であること、ならびに貫入試験は簡便かつ迅速に実施できることから、短期間で広範囲にわたって調査を実施することができた。

4.3 結果

貫入試験の結果として、測線ごとの土層深断面図を作成した（図-6, 7）。斜面の傾斜角は20～40°、土層深は0.5～1.5m程度であるが、局所的に2～3m

に達する。また、崩壊跡地の上方では土層深が大きく、崩壊跡地では土層深が小さい。

図-6は2011年の崩壊箇所の直上斜面の縦断及び横断測線における結果である。ここでは、土層深1～2mの不安定な土層（図中の点線枠内）が狭い範囲に分布している。また、図-7は斜面に崩壊跡地が認められる測線における結果である。崩壊跡地には湧水が見られ、その上方に土層深0.84～1.56mの比較的厚い土層が連続する（図中の点線枠内）。将来的にはこのような不安定な場にある土層において崩壊が発生し、土砂が流出する可能性があるかと推定される。

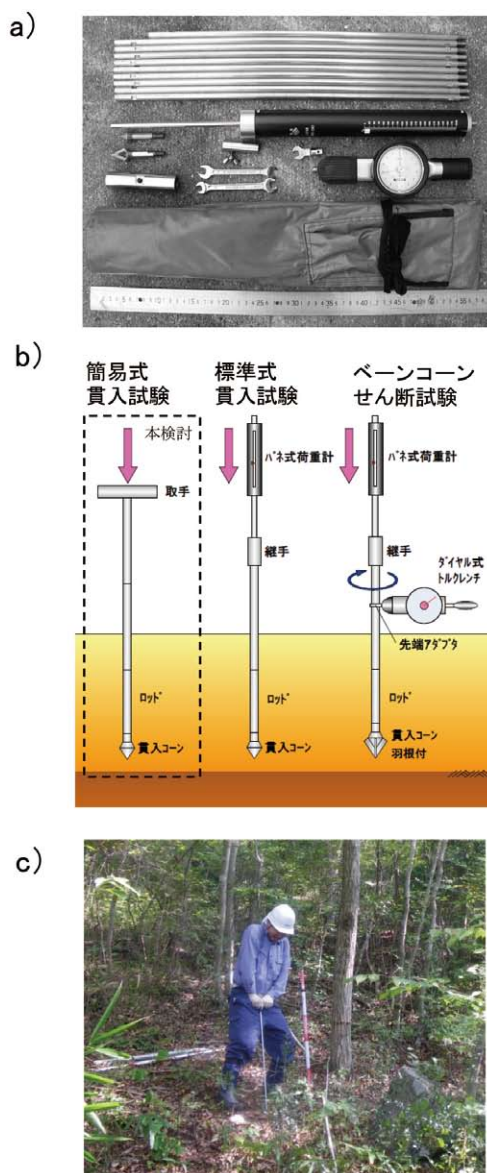


図-5 a) 試験機器の全体構成（独立行政法人土木研究所，2010），
b) 土検棒による試験方法（応用地質株式会社，2015⁸⁾），
c) 貫入試験の実施状況

Fig. 5 a) Photograph of overview of the entire testing equipment,
b) Illustration of the test method using Soil Strength Probe, and
c) Photograph of penetration test in progress.

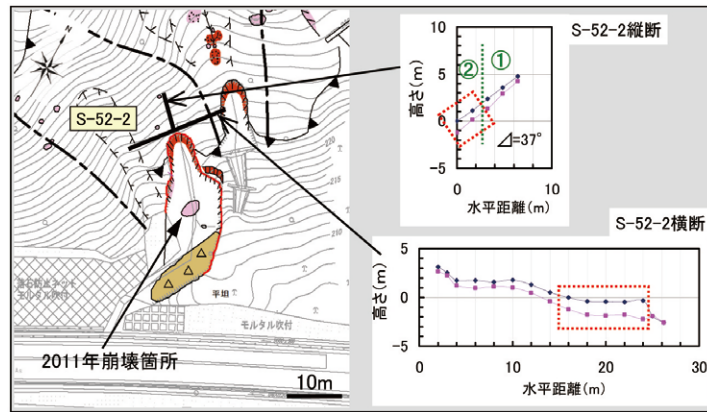


図-6 2011年の崩壊箇所上方の測線S-52-2(縦断・横断線)の位置及び土検棒の貫入試験結果(凡例は図-7と同じ)

Fig. 6 Location of traverse lines S-52-2 (longitudinal and transversal lines) above the slope failure occurred in 2011, and results of the Soil Strength Probe penetration tests. (Legend is the same as Fig. 7.)

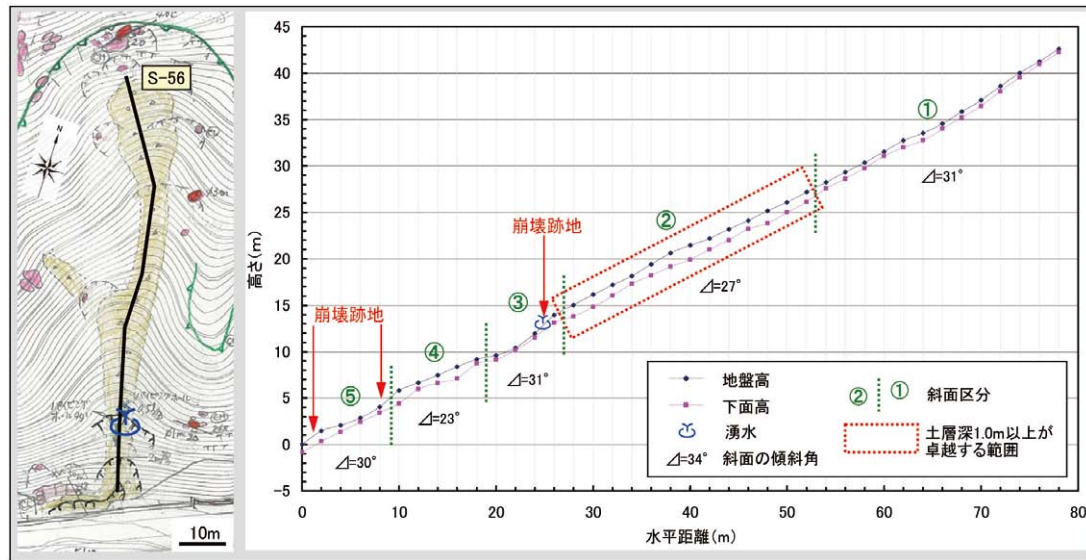


図-7 測線S-56の位置及び土検棒の貫入試験結果

Fig. 7 Location of the traverse line S-56 and results of the Soil Strength Probe penetration tests

5. 斜面の傾斜角—土層深の関係に基づく土砂流出危険箇所の抽出

5.1 「斜面の傾斜角—土層深」の関係図の作成

土砂流出危険箇所の抽出を目的として、斜面の傾斜角と土層深との関係図の作成を行った(図-8)。その際に、以下のような整理を行い、地質別に記号を変えて関係図にデータをプロットした。

①崩壊跡地以外の斜面のデータ

土層深や斜面傾斜は地点ごとに変化が大きいので、1測線全体を統一的に評価することは困難である。そこで、土層深及び斜面の傾斜角の変換点を境にいくつかの斜面に分割した(図-7参照)。土層深で斜面を区分する場合には、土層深の頻度分布を参考にして、土層深1m以上が卓越する部分と1m未満が卓越する部分とに分けた。このようにして行ったそれぞれの斜面区分について、土層深及び傾斜角の平均値を図にプ

ロットした。

②崩壊跡地のデータ

2010年及び2011年の崩壊箇所の土層深は、崩壊した土砂量を崩壊面積で除して得られた平均の土層の厚さとした。斜面の傾斜角は、地形断面図上で崩壊前の斜面を復元して求めた(図-2参照)。

これ以外の崩壊跡地のデータは、崩壊跡地直上の土層深が、過去の崩壊の厚さを近似するものと考えた。

5.2 斜面の傾斜角と土層深の関係

図-8の関係図では、測線のデータは広く分散するが、崩壊跡地のデータは、傾斜角が大きく、土層深が厚い図の右上の領域に分布する。花崗岩起源と、土岐砂礫層及び花崗岩起源のデータは広い範囲に分布する。傾斜角が小さい場合には土層深は幅広い値を示すが、傾斜角が大きくなるにしたがって土層深は小さくなる傾向を示し、急斜面では厚い土層が存在しにくい

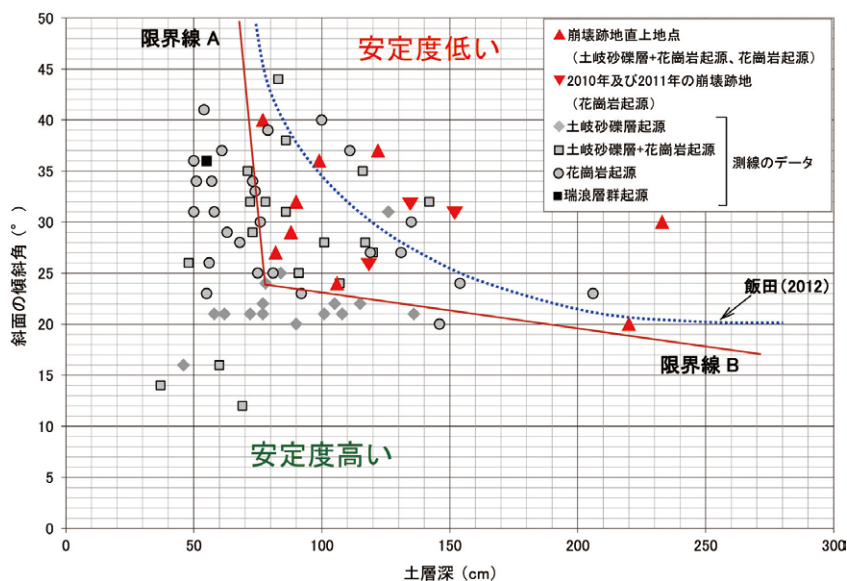


図-8 斜面の傾斜角と土層深の関係図

点線は飯田(2012)の不安定域と安定域との境界線を示す(図-1参照).

Fig. 8 Slope angle-topsoil depth relationship diagram.

Dotted line denotes boundary between unstable and stable areas by Iida (2012). (Refer to Fig. 1)

ものと考えられる。一方、緩斜面を形成している土岐砂礫層のみの起源のデータは、傾斜角 25° 以下の範囲にまとまってプロットされる。

5.3 限界線の設定と危険箇所の抽出

崩壊箇所の土層深や斜面傾斜角は不安定な条件を示すと考えられ、安定度が低いと評価される領域を A 及び B の限界線によって設定した。

限界線 A: 土層深 80 cm 前後の 2 つの崩壊跡地データの左端を結んだ直線である。この線は崩壊箇所データの分布領域の中で、土層深の最も浅い側の限界の線である。

限界線 B: 傾斜角 20 ~ 25° の 2 つの崩壊跡地データの直下を結んだ直線である。この線は崩壊箇所データの分布領域の中で、斜面の傾斜角が最も小さい側の限界の線である。

2 本の限界線の右上領域では土層深が大きく、かつ傾斜角が大きい。この領域にある斜面の土層の安定度は相対的に低いと評価し、危険箇所の抽出の根拠とした。一方、限界線の左側及び下側の領域にある斜面の土層の安定度は、相対的に高いと評価した。

図-8の「安定度が低い」領域及び「安定度が高い」領域は、図-1(飯田, 2012)の「不安定域」及び「安定域」にそれぞれ相当すると考えられ、両図は類似した結果を示す。ただし、本検討の限界線 A 及び B の位置と、飯田(2012)の不安定域・安定域の境界線の位置とは一致しておらず、本検討の「安定度が低い」領域と飯田の「不安定域」との間に部分的な差異が生じている。この理由として、飯田の土層深は簡易貫入試験の D5 から求めているのに対し、本検討の土層深は土検棒の貫入試験によっていることが挙げられる。

このため、今後両貫入試験による比較検討が必要と考えている。

図-8に基づいた検討結果によると、安定度が低い領域内にある斜面区分のデータを含む測線は 11 測線に及ぶ。これらの斜面は、今後定期カルテ点検等において監視を強化する必要があると評価した(表-2中の()内の数)。

このような検討に加え、崩壊跡地の背後の、尾根部の遷急線から崩壊地の頂部までの 30 ~ 50 m の標高差がある斜面には、小規模な集水地形を伴うことが重要な崩壊要因であることを指摘した。上記 11 測線のうち、このような集水地形が厚い土層深の斜面の上方に認められる測線は 4 箇所である(表-2中の[]内の数)。これら斜面については崩壊の危険性がさらに高いことが想定される。

表-2 土検棒の貫入試験を実施した測線の地質別の数量と危険箇所数
Table 2 Number of traverse lines for Soil Strength Probe penetration tests according to geological features, and of probable slope failure blocks.

崩壊土の地質起源	土岐砂礫層	土岐砂礫層+花崗岩	花崗岩	瑞浪層群	合計
崩壊跡地を含む斜面		1(1)	6(3)[2]	1(0)	8(4)[2]
崩壊跡地を含まない斜面	5(1)	3(3)[1]	6(3)[1]	1(0)	15(7)[2]
合計	5(1)	4(4)[1]	12(6)[3]	2(0)	23(11)[4]

※ () 内の数は安定度の低い斜面を、[] 内の数は更に危険な箇所をそれぞれ示す(本文参照)。

※ Number of unstable slopes is shown in round brackets, and that of more unstable and dangerous slopes is also shown in square brackets (see text).

6. おわりに

本調査地域において実施した土検棒の貫入試験結果から得られた土層深と斜面の傾斜角との関係から不安定斜面の領域を推定する方法は、0次谷を含む自然斜面の安定度評価に用いる方法として有効であると考えられる。ただし、今回の検討に用いた崩壊箇所のデータ数は十分とは言えず、さらに多くの地点での試験実施によって、精度はより向上すると思われる。

斜面崩壊は、地域ごとに地形・地質状況、風化状況等の要因が異なることから、ここで示した方法を直ちに他地域に適用できないが、それぞれの地域で貫入試験を行って、地域ごとの「限界線」を設定することにより、斜面の安定度評価の指標として利用できるものと考えている。

また、土検棒貫入試験の結果(図-8)は、飯田(2012)の簡易貫入試験の結果(図-1)と類似した斜面の安定度評価を示すことが明らかになった。ただし、安定・不安定境界付近における前者と後者との部分的な差異について、土層深の求め方を含めて明確にすることが今後の課題である。

謝辞

本文の執筆と公表に際しては、国土交通省中部地方整備局多治見砂防国道事務所の皆様の多大な協力を賜った。また、災害調査検討委員会の岐阜大学八嶋厚教授、及び土木研究所佐々木靖人上席研究員には、多くの貴重なご意見を頂いた。ここに記し感謝の意を表する次第である。

なお、本文のまとめに際しては、上野将司技師長、山根誠技師長、及び安藤伸副センター長に多くのご指導を頂いたことを付記する。

参 考 文 献

- 1) 塚本良則. 豪雨型山崩れにみられる2, 3の特性について. 第10回自然災害科学総合シンポジウム論文集. 1973, p.302-306.
- 2) 伊藤仁志. 高精度な道路防災点検手法による斜面安定度の総合的評価(岐阜県御嵩町 国道21号). 土木技術資料 56-4. 2014, p.26-29.
- 3) Tsujioka, Hideki; Takami, Michio; Ito, Hitoshi; Sasaki, Yasuhito; Hosoda, Hiroshi; Nomizo, Masahiro; Ueno, Shoji; Ando, Shin. Evaluation for Slope Stability of Small Valleys Based on the Soil Strength Probe: An Example in Southern Gifu Prefecture, Central Japan. Engineering Geology for Society and Territory. Springer, to be published in 2015, Vol.2, p.961-965.
- 4) 飯田智之. 技術者に必要な斜面崩壊の知識. 鹿島出版会, 2012, 237p.
- 5) 石原舜三, 鈴木淑夫. 東濃ウラン鉱床の基盤花崗岩類. 地質調査所報告. 1969, No.232, p.113-127.
- 6) 赤嶺秀雄. 瀬戸市を中心とする陶土地帯の地質: 特に陶土および亜炭を含む地層の堆積状態について. 自然科学研究彙報. 1954, Vol.34, p.25-39.
- 7) 独立行政法人土木研究所. 土木研究所資料 土層強度検査棒による斜面の土層調査マニュアル(案). 2010, p.1-40.
- 8) 応用地質株式会社. “土層強度検査棒” 2015-01-13.
http://www.oyo.co.jp/products_lists/soil-strength-test-sticks/, (参照 2015-01-13).