



シンポジウム

—すべり面の形成過程と認定における根拠—

平成27年6月19日

会場 東京大学 武田先端知ビル 武田ホール

(公社)日本地すべり学会

(6) すべり面形成による斜面変動様式と地すべり変位率

Slope failure mode and displacement rate of landslide

小坂英輝（株式会社環境地質）

Hideki Kosaka (Kankyo Chishitsu Co. Ltd)

キーワード：岩盤斜面，変動様式，地形，変位率

Keywords: rock slope, failure mode, landform, displacement rate

1. はじめに

すべり面が形成されたとする根拠の一つに“地すべり地形”がある。地すべり地形は、断片的な露頭やボーリングから観察されたすべり面に関する情報からすべり面の連続性や広がりを検討する時に重要な役割をもつ。本発表では、すべり面発生前後の斜面変動様式と実際の斜面で計測される変位率を比較検討し、岩盤斜面におけるすべり面形成の根拠となる地形的指標を提案する。

なお、本稿は2014年6月の応用地質学会シンポジウムの発表資料¹⁾²⁾に新しい知見を加えたものである。

2. すべり面形成前後の地形の違い

地すべり地形は、実際にすべり面が形成された事例・経験に基づいて、様々な地形の集合体から類似した共通点を類型的に理解することにより判読できるようになる。以下、すべり面形成前後で異なる地形の特徴について述べる。

変形前の尾根形状を残すものは凸状尾根地形・二重山稜、尾根形状が失われ移動体頭部に台地をもつものは凸状台地地形と呼ばれる。前者と後者の最も大きな違いは、変形前の尾根形状が残されているか否かである。多くの事例・経験に基づけば、凸状尾根地形・二重山稜は移動体底面全体にすべり面が形成される以前の状態、凸状台地地形はすべり面形成以降の状態であると推定される。

つまり、すべり面が初めて発生することにより形成される地形は、凸状尾根地形と凸状台地地形の中間タイプのような形状と思われ、それは変形前の斜面形状が失われ緩斜面が形成される過程であると考えられる。

すべり面の形成によりなぜ緩斜面ができるので

あろうか？次章では、その緩斜面が移動体内部で風化や破碎等によって物質分布構造に変化が生じなくても、変形構造により生じることを示す。

3. すべり面形成と斜面変動様式

本章では、地すべりの発生例の多い柵目盤と逆目盤（流れ盤）、受け盤の地質構造をもつ斜面を対象に変形の開始からすべり面形成に至る斜面変動様式をバランス断面法により推定する。バランス断面法とは変形前後の地層の長さ・厚さが不变あるいは面積が一定となるように作図し、地形や地層の断面形状と断層（すべり面）との関係を理解する幾何学的なツールである。

図-1aは、逆目盤（流れ盤）での座屈褶曲や受け盤でのトップリング等で生じる曲げ・褶曲におけるバランス断面法の作図原理を示す。この作図では、曲げ・褶曲が生じることにより、各層理面（節理でも良い）ですべりを必要とする。褶曲の作図では、褶曲軸面は褶曲両翼部の同斜域を2等分する線となる（2等分角の法則と呼ぶ）。2等分角の法則を満たさない場合、褶曲軸面に沿って一部ずれが生じる。図-1bは、バランス断面法に基づくと、湾曲した面に沿ってすべてことで移動体頭部に山側への傾動（緩斜面）が形成されることを示す。湾曲した形状をもたなくとも、デタッチメント褶曲によって山側への傾動が生じる。山側へ傾動する部分の幅と位置は、すべり面形状とすべり量によって決まる。この山側への傾動が成長すると地すべり地形を特徴づける緩斜面や台地地形が形成される。

図-1cは、柵目盤と逆目盤（流れ盤）、受け盤の地質構造をもつ斜面の変動様式を図-1aに示す作図法に従い作成したものである。

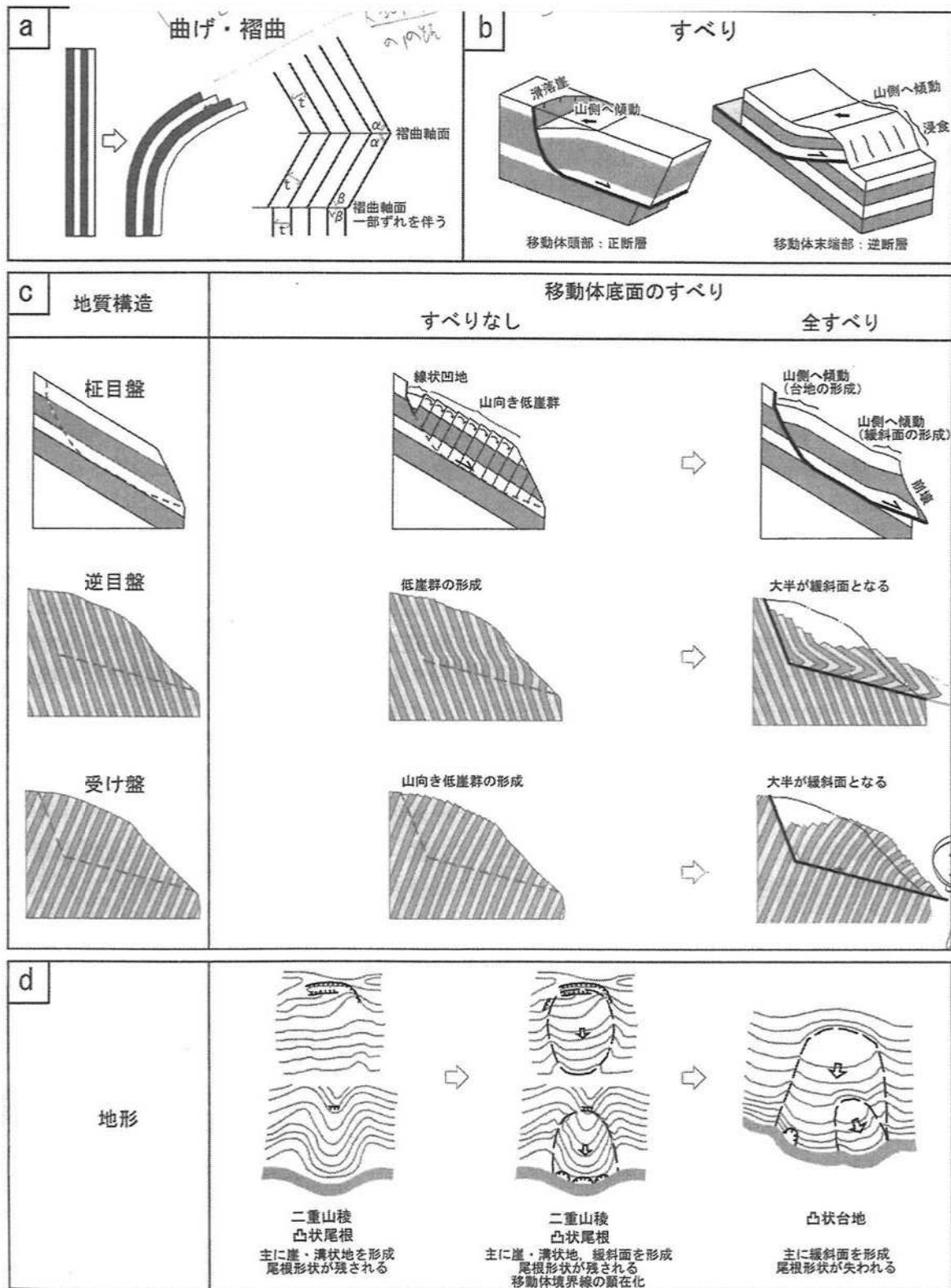


図-1 バランス断面法により推定されるすべり面形成による斜面変動様式の違い^{1) 2)}を編集

作成した図のうち曲げ・褶曲部では、移動体底面において二等分角の法則が成り立たないため、地下の隙間や移動体底面の部分的なずれを必要とする。構造地質学のバランス断面では、地下に隙間が生じないと仮定するが、今回の作図では変形前後で地層の長さ・厚さが不变という条件と隙間が生じないという条件を同時に満たすことができないので、前者の条件を優先し、隙間ができるだけ小さくなるようにした。移動体底面にすべりが生じないときの変形として、座屈褶曲やトップリングがある。これらの曲げ・褶曲では、図-1aに示すように地層境界ですべりが生じ、低崖群が形成されるが、変形前の斜面形状を維持し緩斜面は顕在化しない。一方、移動体底面全体がすべると、山側への傾動が生じ緩斜面が大半を占めるようになる。つまり、斜面変動様式はすべり面が形成されることによって、主に曲げ・褶曲による変形構造から山側への傾動を伴う変形構造へ変化すると推定される。

図-1dは、バランス断面によって推定される斜面変動様式と地すべり地形分類との関係を示す。すべり面形成前の地形は、移動体表面の内部構造として低崖群が認められるものの変形前の斜面形状を概ね維持しており二重山稜や凸状尾根地形に分類される。一方、すべり面形成後の地形は、緩斜面が顕在化し、変形前の斜面形状の大半が失われた凸状台地地形に分類される。

以上から、地すべり地形を特徴づける緩斜面は、移動体内部で変形の進行に伴って風化や破碎等によって物質分布構造に変化が生じなくても、変形構造により生じることが分かる。従って、緩斜面の存在は、すべり面認定の指標となる。

一方、緩斜面の形成が地質の違いや移動体内部の物質分布構造による組織地形によっても形成されることに留意が必要であるほか、特に移動体の末端部では変形構造により形成された緩斜面が除去されることもあり、緩斜面の分布からすべりの認定することが容易ではない場合もある。次章では、すべり面認定の地形的指標として稻垣ほか

(2007)³⁾により提案された変位率を挙げる。

4. すべり面形成時の変位率

桜井(1986)⁴⁾はトンネルの崩壊事例から、崩壊に至る限界歪(%)が岩石の一軸圧縮強さが大きいほど小さくなる関係を得ている。この関係を斜面スケールで得るために、図-2aに示す変位率と斜面傾斜(移動体の平均勾配)を測定した。変位率は、すべり面形成後では末端部が移送堆積し歪を求めることができないことから導入したもので、そのすべり量が小さい場合に歪と同等である。斜面傾斜は概ね岩盤強度と関係すると考えられる。例えば中村(2006)⁵⁾は、地すべり地表面の平均勾配とすべり面の内部摩擦角度との間に密接な関係があることを示している。

図-2bは、四国地方の三波川帯結晶片岩分布域で測定された変位率のデータ⁶⁾から作成したヒストグラムである。測定は主に縮尺2万5千分の1地形図を使用している。すべり面形成後と認定できる凸状台地地形は、変位率2~10%にピークをもつ。一方、二重山稜と凸状尾根地形のピークは変位率約0~2%にピークをもつ。後者は主としてすべり面形成前の状態にあると推定されるので、すべり面が形成される変位率は2~6%にあると推定される。

図-2cは、三波川帯結晶片岩地域と新第三系堆積岩地域の変位率-斜面傾斜プロット図³⁾⁶⁾を比較したものである。二重山稜・凸状尾根地形の頻度が減少し、凸状台地地形の頻度が増加し始める境界は、三波川結晶片岩地域で変位率2.5%, 斜面傾斜20~30°, 新第三系堆積岩地域で変位率5%, 斜面傾斜15~30°であり、後者で変位率が大きく斜面傾斜が小さい傾向である。このような地質による変位率と斜面傾斜プロットの傾向の違いは、すべり面形成時の限界歪と平均内部摩擦角度の違いを表していると解釈される。つまり、変位率-斜面傾斜プロットの傾向を見ることで、すべり面形成認定の根拠となる地形的指標を得ることができる。

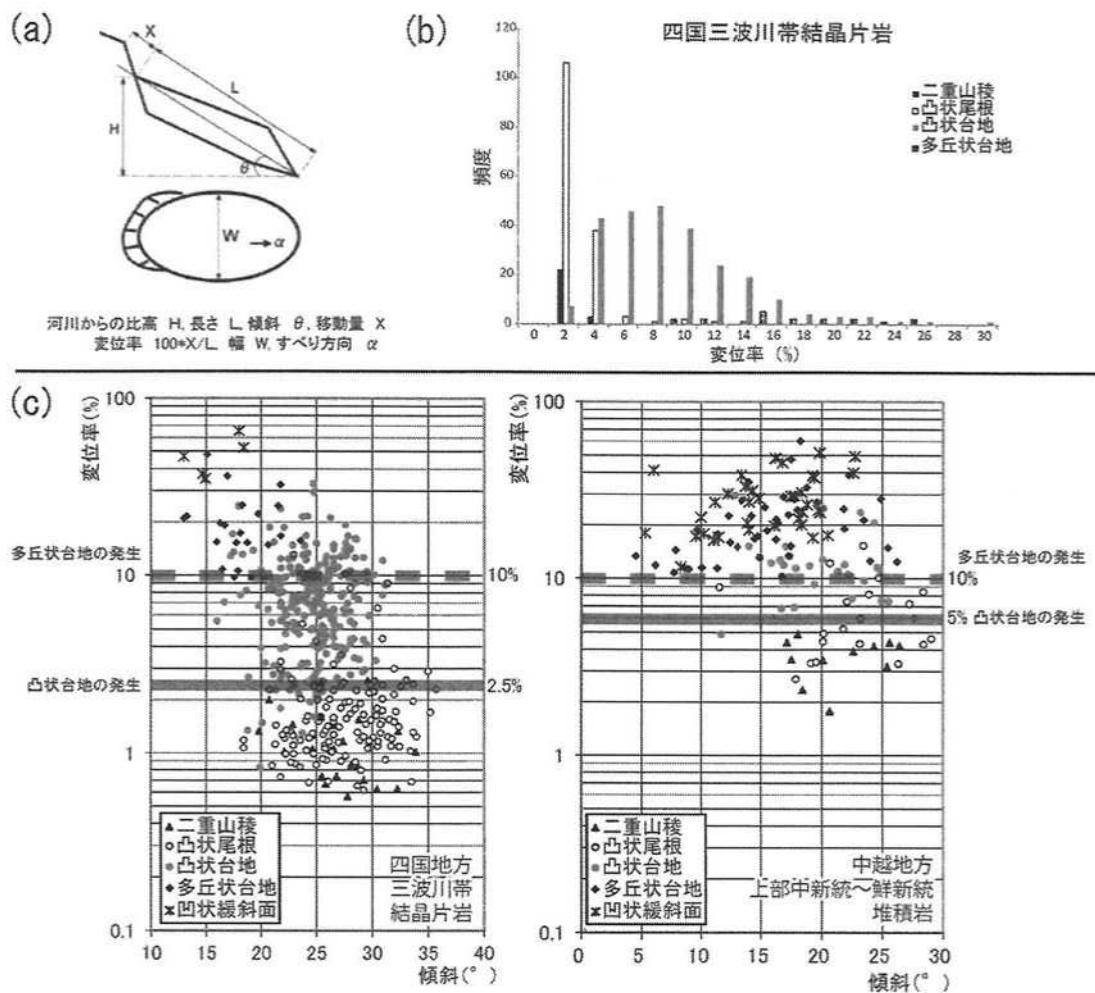


図-2 変位率-斜面傾斜プロット図の比較 (稻垣ほか³)と小坂・稻垣⁶を編集)

5. おわりに

バランス断面法によって推定される斜面変動様式、地形計測による変位率-斜面傾斜プロット図の傾向をすべり面形成前後で比較することで、すべり面認定根拠となる以下の地形的指標を得た。

①すべり面が形成されると山側への傾動が生じ、緩斜面が形成される。よって、緩斜面の分布は、それが組織地形である可能性に留意が必要であるが、すべり面形成を認定する地形的指標となる。

②変位率-斜面傾斜プロット図の傾向をみることで、すべり面形成を認定する目安が得られる。今後さらに調査精度を高め、多くの事例を必要とするが、現段階では変位率が2~5%を超える斜面は、すべり面をもつ可能性が極めて高いと評価できる。

文献

- 1) 小坂英輝 (2014) : 地形とその変位率から読み解く初生地すべり, 平成26年度応用地質学会特別公演およびシンポジウム予稿集, pp. 18-25.
- 2) 小坂英輝 (投稿中) : バランス断面法による岩盤斜面の初生地すべり地形とその変位率, 応用地質.
- 3) 稲垣秀輝・小坂英輝・大久保拓郎(2007) : 四国、中央構造線沿いの地すべりの発生と安定化, 日本地すべり学会誌, Vol.44, No.4, pp.37-43.
- 4) 桜井春輔 (1986) : NATMにおける現場計測と管理基準値, 土と基礎, Vol.34, No.2, pp.5-58.
- 5) 中村浩之 (2006) : わかりやすい砂防技術 (4) 斜面勾配と斜面災害, 砂防と治水, Vol.39, pp.131-133.
- 6) 小坂英輝・稻垣秀輝 (2007) : 第三紀層の地すべり地形発達史と変位率の関係, 日本地質学会第114年学術大会講演要旨, pp.199.