第三紀層地帯におけるDEM地形解析による地すべり地形斜面の最頻傾斜角

The most frequent angle of landslide in Tertiary formation based on DEM topographical analysis

長嶺元二^{a)*}, 大坂伊作^{b)}, 鈴木素之^{c)}, 山本哲朗^{d)}

Genji NAGAMINE, Isaku OSAKA, Motoyuki SUZUKI and Tetsuro YAMAMOTO

Abstract

Focusing on the most frequent angle of landslide slope, in this study we examined the engineering features of Tertiary formations along the Japan Sea in the eastern part of Shimane prefecture, based on 50-m DEM (Digital Elevation Model) topographical analysis. Our main conclusions are summarized as follows: (1) In the study area, the distribution and angles of slopes composed of stratum in the Iwami and Izumo groups can be affected by the direction of the slope. However, the most frequent angle of the slopes is not related to the slope direction. (2) The most frequent angle of landslide slopes is very similar to that of natural slope. (3) The most frequent angle of landslide slopes tends to decrease with an increase in stratum order. (4) For the stratum of the Iwami groups, the landslide slopes were distributed more often in the areas in which small slope angles were more prevalent. The most frequent angle of the landslide slope showed a particular value that was dependent on the kind of stratum. Therefore, the most frequent angle of the landslide slope can be a useful index for estimating the strength parameter of a landslide's slip surface.

Key words: DEM topographical analysis, landslide slope, most frequent angle, Tertiary formation, engineering features

和文要旨

本研究はDEM地形解析結果にもとづく地形指標のうち地すべり地形斜面の最頻傾斜角に着目し、その工学的特性を把握することを目的として、島根県東部の日本海沿岸に分布する第三紀層を対象とした50m DEMによる地形解析を行ったものである。その結果、本研究対象域においては、(1)各地層の自然斜面および地すべり地形斜面の分布や傾斜角は傾斜方位によってそれぞれ異なるが、それらの最頻傾斜角の大きさには傾斜方位による違いが認められない、(2)地すべり地形斜面の最頻傾斜角は自然斜面の最頻傾斜角とほぼ等しい、(3)地すべり地形斜面の最頻傾斜角は層序が上位になるに従って小さくなる傾向を示す、(4)石見層群の各地層では、地すべり地形斜面の最頻傾斜角が小さいほど地すべり地形の分布が多いことを明らかにした。地すべり地形斜面の最頻傾斜角は地層ごとに違いがあり、それは地すべり面のせん断抵抗角の推定等において参考にできる。

キーワード: DEM地形解析, 地すべり地形斜面, 最頻傾斜角, 第三紀層, 工学的特性

1. はじめに

DEM地形解析により求められる種々の地形指標を用い、今般多くの研究が行われている。その現状は太田(2006)によってまとめられているとおりであり、自然災害に関する研究では斜面災害に対する各種地形指標の寄与度の評価等が行われている(たとえば岩橋ら, 2008)。しかし、地形指標を斜面強度の評価に関連づけるような工学的活用を図ることを目的とした研究はこれまで進んでいない。

筆者らは地すべり地形の斜面勾配が工学的に有意な地形指標となる可能性を考えている。それは、高速道路調査会(1985)や吉松ら(1991)が全国から収集した地すべり事例を分析した結果に基づき、地すべり面のせん断抵抗角が地すべり斜面の勾配と強い相関があることを明らかにしていることを根拠にしておき、地すべり地形の斜面勾配が地すべり面のせん断抵抗角を推定する指標となる可能性をもつと考えられるからである。これに関し

て筆者ら(2009)は、山口県下の三郡変成岩類を対象として50m DEMを用いた地形解析を行い、地すべり地形斜面の最頻傾斜角が風化土水浸試料の一面せん断試験により求めたせん断抵抗角とほぼ等しいことを明らかにしている。

本研究はDEM地形解析にもとづく地形指標のうち地すべり地形斜面の最頻傾斜角に着目し、その工学的特性を把握することを目的として、島根県東部の日本海沿岸に分布する第三紀層を対象とした50m DEM地形解析を行ったものである。なお、地形解析を行うにあたっては対象とする地山岩盤の不均質性を避けるため、対象を第三紀層よりなる軟岩地山とした。また、地すべり地形は同一の地層内に分布するものであっても風化の程度の違いに原因する不均質性を有するため、その影響が小さくなるように広域に分布する地層を対象とした。さらに、解析に用いるDEMのメッシュ間隔は小さいほど詳細な地形の起伏が計測されて精度が向上するものの、細密に過ぎると大局を見失うため、本研究では後述するように幅が100m程度よりも規模の大きい地すべりを対象とすることから、国土地理院により全国的に整備されている50m DEMを用いた。

* 連絡著者 / corresponding author

a) 財団法人道路保全技術センター

Road Management Technology Center

〒730-0012 広島市中区上八丁堀 7-1

7-1, Kamihachoubori, Naka-Ward, Hiroshima-City, 730-0012, Japan

b) イズテック株式会社

Izutec Co., LTD

c) 山口大学評価室

University Evaluation Department, Yamaguchi University

d) 山口大学大学院理工学研究科

Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi University

2. データの取得と傾斜角および傾斜方位の算定

2.1 数値地図

地形情報は国土地理院発行(2000)の数値地図50mメッシュ(標高)を用いた。傾斜角 S および傾斜方位 A_s の算定は沖村ほか(1991)や神谷ほか(2000)に従い計算式(1)~(4)により行った。

$$S = \sqrt{S_x^2 + S_y^2} \dots\dots\dots(1)$$

$$A_s = \tan^{-1}(S_y/S_x) \dots\dots\dots(2)$$

$$S_x = \frac{(H_{11} + H_{21} + H_{31}) - (H_{13} + H_{23} + H_{33})}{6D_x} \dots\dots\dots(3)$$

$$S_y = \frac{(H_{11} + H_{12} + H_{13}) - (H_{31} + H_{32} + H_{33})}{6D_y} \dots\dots\dots(4)$$

ここで, S は傾斜角, A_s は傾斜方位, S_x および S_y はそれぞれX方向およびY方向の傾斜, D_x および D_y はそれぞれX方向およびY方向の格子間距離である。図-1に模式的に示すように, これらは対象メッシュを取り囲む8メッシュの標高データを用いて算出され, 最小二乗法で求めた平面の最大傾斜に一致する。

2.2 地質図

地質情報は基本的に産業技術総合研究所発行の5万分の1地質図幅を用いた。対象域は5万分の1図幅において「松江」(1994), 「今市」(1991), 「木次」(2005), 「大社」(1989), 「石見大田及び大浦」(1998), 「三瓶山」(1983), 「温泉津及び江津」(2001), 「横田」, 「頓原」の範囲にあり, このうち「横田」については地質図幅の発行年が古く第三紀層の地層区分が詳細になされていないため, 「松江」の解説書(1994)に示される約7.7万分の1図幅を用いた。また地質図幅が未発行である「頓原」については「木次」の解説書(2005)に示される約6万分の1図幅を用いた。

2.3 地すべり地形分布図

地すべり地形情報は防災科学技術研究所発行の地すべり地形分布図(2005, 2006)を用いた。これは約4万分の1空中写真判読により表層すべりを除き, 地すべり, 地すべり性崩壊, 大規模崩壊等が5万分の1地形図上に描画されたものである。情報は滑落崖と移動体を一まとめにして取り込み, 地すべり地形が複数の地層を横切る場合には, それぞれについてデータ取得領域(ポリゴン)を設定した。図-2(a), (b)にそれぞれ地すべり地形分布図, 傾斜角分布図の一例を示し, 写真-1に図-2(a),

図-1 傾斜量の計算に使用する格子点

Fig.1 Grid Configuration for Calculating Angle and Direction of Slope

(a) 地すべり地形分布図

(国土地理院5万分の1地形図「松江」「今市」および防災科学技術研究所地すべり地形分布図「松江」「今市」の一部を使用)

(a) Topographic Map of Landslide Area

(1 in 50,000 Scale Topographic Map of “Matsue” and “Imaichi” after Geographical Survey Institute of Japan incorporated with Landslide Map of “Matsue” and “Imaichi” after the National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention of Japan)

(b) 傾斜角分布図(モザイクの一つが50m格子)

(b) Slope Angles in 50m Grids (One Piece of Mosaic shows 50m grid)

図-2 地すべり地形分布図と傾斜量図

Fig.2 Topographic Map of Landslide Area and Slope Angles in 50m Grids

写真-1 第三紀層地帯の地すべり斜面(図-2(a), (b)中の矢印)(幅400m, 長さ2,000m, 平均傾斜角8.5°)

Photo. 1 Photograph of Landslide in Tertiary Formation (arrow shown in Figure 2(a)(b)) (400m wide, 2,000m long, Average slope angle is 8.5 degrees)

(b)中に矢印で示した地すべり地形の状況を示す。

3. 地質概要と地形解析結果

3.1 地質概要

島根県東部の日本海沿岸はグリーンタフ変動による一連の堆積物である中新統の第三紀層が分布し、地すべりの多発地帯となっている(図-3)。本研究で対象とするのは島根半島を除く本土側の第三紀層であり、地層は図-4に示すように下位から波多層, 川合層, 久利層, 大森層(これらを総称して石見層群)と, 布志名層, 松江層(これらを総称して出雲層群)に区分されている(島根県, 1985)。最下層の波多層より上位の地層は日本海側に向けて順に累重し、大略北に緩く傾斜する同斜構造をなしており、参考にした地質図幅の解説書をもとに各地層の性状を整理すれば表-1のようになる。

波多層は火山性陥没盆地に埋積した陸成火山岩層であり、安山岩~デイサイトの溶岩や火砕岩を主体とする。川合層は波多層を不整合に覆う海成層であり、安山岩やデイサイトの水底溶岩火砕岩に礫岩・砂岩を挟む。久利層は川合層と一部指交関係にある海成層であり、デイサイトや流紋岩の水底溶岩火砕岩に泥岩を挟む。大森層は久利層を不整合に覆う陸上-浅海底に噴出した安山岩とデイサイトよりなり、浅海性の礫岩・砂岩に被覆される。布志名層は礫岩から土丹状のシルト岩まで上方細粒化する海成層である。松江層は布志名層に引き続く海成-汽水成堆積物で、土工上は「土砂」に分類できるほど固結度の低い砂岩よりなる。

3.2 地形の特徴

図-5に自然斜面および地すべり地形斜面の傾斜角の頻度分布を示す。また、表-2にメッシュ数の百分率から求めた各層の自然斜面と地すべり地形斜面の面積割合および最頻傾斜角を示す。ここで、自然斜面は沖積平野や谷底低地および河道を除き、地すべり地形斜面を含む全ての斜面を対象としている。自然斜面の面積割合は、対象とする全域の自然斜面の面積に対するその地層が占める自然斜面の面積の比、すなわち構成割合である。地すべり地形斜面の面積割合は、その地層の自然斜面の面積に対する地すべり地形斜面の面積の比である。最頻傾斜角は頻度分布を曲線近似した際のピークの傾斜角である。図-5および表-2によると、自然斜面および地すべり地形斜面の分布や傾斜角は、地層ごとに特徴をもって異なることがわかる。石見層群では、地すべり地形の分布が火砕岩(4.2~9.1%)に比べて堆積岩(9.7~15.5%)の方が多く、モンモリロナイトを多く含有する久利層泥岩(三浦, 1982)で分布割合が最も大きい。地すべり地形は幅が500m以上もある巨大なものも点在する。これに対して出雲層群では、自然斜面の傾斜角が石見層群に比べて明らかに小さく、地すべり地形の分布も少ない。地すべり地形は石見層群とは対照的に、いずれも幅が100m程度の小規模なものである。布志名層泥岩

は軟弱な粘土薄層を挟み、試験切土を行ったところ非常に崩壊性が高い(中村ほか, 1991)にも関わらず、その分布域に地すべり地形は判読されていない。こうした石見層群と出雲層群の地形の違いは岩盤性状の違いに原因していると考えられるが、出雲層群において地すべり地形が少ないのは、その分布域が極度に地形の開析が進んだ宍道湖周辺域の丘陵地であることに原因している。特に、布志名層は切土や盛土を伴った地形の改変により小規模な地すべり・崩壊を発生しやすいが、その分布域には自然発生的な大規模地すべりを形成するほどの山地がほとんどないため地すべり地形が判読されていない。

3.3 斜面の傾斜方位と最頻傾斜角

図-6に各地層の自然斜面の傾斜方位別面積割合を示

図-3 島根県東部の第三紀層の分布(島根県, 1985)

Fig. 3 Tertiary Formation in the Eastern Part of Shimane Prefecture

図-4 第三紀層の地質構造

(5万分の1地質図幅「松江」を参考に著者作成)

Fig. 4 Geological Section of Tertiary Formation in the Eastern Part of Shimane Prefecture

表-1 島根県東部本土側に分布する第三紀層の構成

Table 1 Stratigraphy of Tertiary Formation (Landside) in the Eastern Part of Shimane Prefecture

地質年代	地層名		記号	岩相
新第三紀 中新世	出雲層群	松江層	Ma	砂岩(低固結)
		布志名層	Fm	シルト岩・泥岩
			Fj	砂岩
			Fc	礫岩
	石見層群	大森層	Oc	砂岩・礫岩
			Ov	安山岩-デイサイト溶岩火砕岩
		久利層	Km	泥岩
			Kv	デイサイト-流紋岩水底溶岩火砕岩
		川合層	Kws	砂岩・礫岩
			Kwv	安山岩-デイサイト水底溶岩火砕岩
		波多層	Hv	安山岩-デイサイト溶岩火砕岩

図ー5 自然斜面および地すべり地形斜面の傾斜角の頻度分布図
Fig. 5 Frequency of Angle of Natural Slope and Landslide

表一 2 自然斜面および地すべり地形斜面の面積割合と最頻傾斜角

Table 2 Area Ratio of Landslide Area and Natural Slope Area to Total Area and the Most Frequent Angle of Slope

地層名		岩相	記号	自然斜面			地すべり地形斜面		
				データ数	全域に占める 面積割合 (%)	最頻傾斜角 (°)	データ数	地層に占める 面積割合 (%)	最頻傾斜角 (°)
出雲層群	松江層	砂岩	Ma	2792	1.1	5.5	49	1.8	6.0
	布志名層	泥岩	Fm	3462	1.4	6.0	0	0	—
		砂岩	Fj	5824	2.4	7.0	143	2.5	10.5
		礫岩	Fc	1454	0.6	11.0	136	9.4	12.5
石見層群	大森層	礫岩	Oc	14389	5.9	11.5	1398	9.7	12.5
		火砕岩	Ov	55561	22.7	15.0	5037	9.1	14.5
	久利層	泥岩	Km	14088	5.8	10.5	2189	15.5	11.5
		火砕岩	Kv	70578	28.8	13.5	5512	7.8	14.0
	川合層	砂岩	Kws	12140	5.0	12.5	1551	12.8	12.5
		火砕岩	Kwv	21697	8.9	18.0	905	4.2	15.0
	波多層	火砕岩	Hv	42729	17.5	20.0	1912	4.5	18.5

図一 6 自然斜面の方位別面積割合

Fig. 6 Area Ratio of Natural Slope to Total Area in Various Directions

図一 8 自然斜面の方位別最頻傾斜角

Fig. 8 The Most Frequent Angle of Natural Slope in Various Directions

図一 7 地すべり地形斜面の方位別面積割合

Fig. 7 Area Ratio of Landslide to Total Area in Various Directions

図一 9 地すべり地形斜面の方位別最頻傾斜角

Fig. 9 The Most Frequent Angle of Landslide in Various Directions

す。また、図一 7 に地すべり地形斜面の傾斜方位別面積割合を示す。この面積割合は、傾斜方位を30°ごとに分割した際の、その傾斜方位にある斜面の面積の構成割合である。これによれば自然斜面は全体的に南向き斜面に比べて北向き斜面が多い様子が見てとれ、地すべり地形斜面についても同様の傾向が認められる。特に大森層礫岩と布志名・松江層における地すべり地形斜面は流れ盤

に規制されて北向き斜面が卓越していることがわかる。

一方、図一 8 に各地層の自然斜面の方位別最頻傾斜角を示し、図一 9 に地すべり地形斜面の方位別最頻傾斜角を示す。これらによると自然斜面の最頻傾斜角は傾斜方位による違いがほとんどなく、地すべり地形斜面についても、多少のばらつきはあるものの自然斜面と同様の傾向を示すことがわかる。

図-10 自然斜面と地すべり地形斜面の最頻傾斜角の対比
Fig. 10 Relationship between The Most Frequent Angle of Landslide Area and Its Belonged Stratum

図-10は各地層の自然斜面と地すべり地形斜面の最頻傾斜角を対比したものである。火砕岩では自然斜面の方が若干大きく、堆積岩では地すべり地形斜面の方が若干大きい傾向が認められるが、両者の違いは数度以内であってほぼ等しいと見なすことができる。

4. 地すべり地形斜面の最頻傾斜角の工学的特性

図-11は地すべり地形斜面の最頻傾斜角を層序順に整理したものである。石見層群の火砕岩では波多層から大森層に向けて層序が上位になるに従い最頻傾斜角が小さくなる関係が認められ、また、出雲層群の堆積岩でも同様の関係が認められる。石見層群の堆積岩ではそうした関係は認められず、11.5°~12.5°の範囲でほぼ一定しているが、全体傾向からすれば層序が上位になるに従って地すべり地形斜面の最頻傾斜角が小さくなる傾向を認めることができる。

一方、図-12は各地層の地すべり地形斜面の最頻傾斜角と自然斜面に占める地すべり地形斜面の面積割合の関係を示したものである。この関係では、出雲層群を除き、石見層群の各地層においては最頻傾斜角が小さいほど地すべり地形の面積割合が大きくなる関係が認められる。出雲層群は地形の開析が進んだ丘陵地に分布していることから石見層群とは関係を異にするものと考えられる。

これらのことから、地すべり地形斜面の最頻傾斜角は地層ごとに違いがあり、石見層群に限れば地すべり地形の多寡と関係のある地形指標であると言える。地すべり地形斜面の最頻傾斜角は、はじめに述べたように、地すべり面のせん断抵抗角と強い相関があることが明らかにされており、本研究対象域においては、地すべり対策における地すべり面のせん断抵抗角の推定等において研究結果を参考にできると考えられる。

5. まとめ

地すべり地形斜面の最頻傾斜角に着目し、島根県東部の日本海沿岸に分布する第三紀層を対象とした50m DEM地形解析を行った。その結果、本研究対象域においては次のことが明らかとなった。

- (1) 自然斜面は北向きに傾斜するものが多く、地すべり地形斜面も北にゆるく傾斜する同斜構造を反映して北向きに傾斜するものが多いが、自然斜面、地すべり地形斜面ともに最頻傾斜角には傾斜方位による違いが認められない。
- (2) 地すべり地形斜面の最頻傾斜角は、自然斜面の最頻傾斜角に比べて火砕岩では若干小さめ、堆積岩では若干大きめの値を示すものの、ほぼ等しいとみなせる。
- (3) 地すべり地形斜面の最頻傾斜角は、層序が上位に

図-11 各層の地すべり地形斜面の最頻傾斜角
Fig. 11 The Most Frequent Angle of Landslide of Each Formation

図-12 第三紀層地帯における地すべり地形斜面の最頻傾斜角と地すべり地形の面積割合の関係
Fig. 12 Relationships between the Most Frequent Angle and Area Ratio of Landslide of Tertiary Formation

なるに従って小さくなる傾向を示す。また，石見層群では地すべり地形斜面の最頻傾斜角が小さいほど地すべり地形の面積割合が大きい関係が認められる。

謝辞

本研究の共同著者である山本哲朗氏が，研究途中の2009年3月にお亡くなりになりました。氏のご尽力がなければ本稿はなかったものと思います。ここに謝意を表し，ご冥福をお祈りします。

引用文献

- 太田岳洋・八戸昭一（2006）：数値標高モデルによる地形計測の現状と応用例，応用地質，Vol.46，No.6，pp.347-360.
- 岩橋純子・山岸宏光・神谷泉・佐藤浩（2008）：2004年7月新潟県中越地震による斜面崩壊の判別分析，地すべり，Vol.45，No.1，pp.1-12.
- 高速道路調査会（1985）：地すべり地形の安定度評価に関する研究報告書.
- 吉松弘行・丸山清輝・檜垣大介・網木亮介・吉田克美（1991）：地すべり面の土質定数の決定手法，土木技術資料，Vol.33，No.4，pp.69-75.
- 長嶺元二・山本哲朗・大坂伊作（2009）：DEM地形解析による山口県下の三郡変成岩類からなる地すべり斜面の強度推定，地すべり，Vol.46，No.3，pp.43-48.

- 国土地理院（2000）：数値地図50mメッシュ（標高）日本Ⅲ.
- 沖村孝・吉永秀一郎・鳥井良一（1991）：地形特性値と地形区分，表土層厚の関係－仙台入菅谷地区を例として－，土地造成工学研究施設報告，Vol.9，pp.19-39.
- 神谷泉・黒木貴一・田中耕平（2000）：傾斜量図を用いた地形・地質の判読，情報地質，Vol.11，No.1，pp.11-24.
- 地質調査所（1994）：5万分の1地質図幅「松江」.
- 地質調査所（1991）：5万分の1地質図幅「今市」.
- 産業技術総合研究所（2005）：5万分の1地質図幅「木次」.
- 地質調査所（1989）：5万分の1地質図幅「大社」.
- 地質調査所（1998）：5万分の1地質図幅「石見大田及び大浦」.
- 地質調査所（1983）：5万分の1地質図幅「三瓶山」.
- 地質調査所（2001）：5万分の1地質図幅「温泉津及び江津」.
- 鹿野和彦・山内靖喜・高安克己・松浦浩久・豊遙秋（1994）：松江地域の地質，地域地質研究報告，p.99.
- 松浦浩久・鹿野和彦・石塚吉浩・高木哲一（2005）：木次地域の地質，地域地質研究報告，p.31.
- 防災科学技術研究所（2005）：地すべり地形分布図，第278号，「松江」，「横田」，「多里」.
- 防災科学技術研究所（2006）：地すべり地形分布図，第285号，「今市」，「木次」，「頓原」，「大社」，「石見大田」，「三瓶山」，「大浦」，「温泉津」.
- 島根県（1985）：島根県の地質，p.24.
- 三浦清（1982）：島根県下の地すべり－泥岩の岩質との関係－，第21回日本地すべり学会研究発表会論文集，pp.110-111.
- 中村康夫・平野勇・佐々木靖人・阿部正彦（1991）：軟岩切土のり面の劣化予測，土木研究所資料，No.2930.
- （原稿受付2008年5月29日，原稿受理2009年6月29日）