

# 六甲山地における多変量解析を用いた表層土層厚の推定手法の検討

小寺凌<sup>1</sup>・梶山敦司<sup>1</sup>・浅井健一<sup>1</sup>

## Case Study of Methods for Surface Soil Thickness Estimation Using Multivariate Analyses in the Rokko Mountain

Ryo KOTERA<sup>1</sup>, Atsushi KAJIYAMA<sup>1</sup> and Kenichi ASAI<sup>1</sup>

### Abstract

Surface soil thickness is important for assessing slope failure hazards and estimating debris flow impacts. Here, we study the estimation of surface soil thickness using multivariate analyses considering a combination of various data types. Two patterns corresponding to the objective and explanatory variables were used for multivariate analyses to evaluate which combination best estimated surface soil thickness. Moreover, because the data included a significant amount of shallow surface soil thickness, we also assessed the estimation restricting the amount of these data. As a result, the grid size did not affect the estimation accuracy, and the estimated values tended to be smaller than the measured values at sites with thick soils for all patterns. Using the exposed rock and surveyed soil thicknesses improved the accuracy of the estimation, and restricting the number of shallow surface soil thicknesses improved the accuracy of the soil thickness estimation. Thus, these parameters were concluded to be useful for improving the accuracy of the surface soil thickness estimation using multivariate analysis.

キーワード：航空レーザ測量データ，地形量，多変量解析，表層土層厚，斜面防災

Key words: LiDAR data, topography, multivariate analysis, soil thickness, slope disaster prevention

### 1. はじめに

近年，記録的豪雨による斜面崩壊等の災害の発生が著しく，斜面崩壊や土石流など甚大な被害を及ぼしており，人的被害や人流・物流の遮断を防ぐために斜面防災技術の向上が必要である。道路の斜面防災においては，従来から道路防災点検な

どで地形判読および現地踏査による崩壊危険箇所の抽出が行われ，安定度の評価が行われる。この崩壊危険箇所の抽出は，地形判読を含め目視による定性的な評価に基づいて行われているが，特に地形判読の段階では崩壊に関連する要素を少しでも含む地形は多く存在するため，表層崩壊危険箇

<sup>1</sup> 国立開発研究法人土木研究所  
Public Works Research Institute

本稿に対する討議は2025年5月末日まで受け付ける。

所として多数の箇所が抽出され、そのすべてを調査することに多大な時間と労力が必要となること懸念される。そこで、地形データなどの定量化されたデータから表層崩壊危険箇所を推定することで、現地調査の優先箇所や着目箇所を絞り込むための一つの判断材料となり得ると考えられる。

数値地形モデルによる斜面崩壊の危険箇所の推定に関する研究は数多く行われている。例えば、沖村<sup>1)</sup>は、六甲山系の斜面において数値地形モデルから斜面安定解析を行い、崩壊危険度の評価を行っている。また、内田ほか<sup>2)</sup>は表層崩壊危険度評価手法において、実測の土層厚と地形データから、崩壊危険度評価を精度よく表現することが可能としている。

これらの崩壊危険箇所の推定に関する研究は、斜面安定解析などの物理モデルに基づいて推定するものが多く、表層土層厚の値は斜面安定解析上で重要なパラメータである。

沖村<sup>3)</sup>は、調査実測値から崩壊土層厚を推定し、その推定値により危険箇所を推定すると表層土層厚を一様に仮定した場合より信頼度の高い危険度予測を行うことができるとしている。しかし、現在の崩壊危険箇所の評価を行う際に使用する表層土層厚は、簡易動的コーン貫入試験（以下簡易貫入試験）等の現地調査による実測値を使用することがほとんどであり、対象箇所全域において簡易貫入試験等の実測値を得るのは多大な労力を要し、事実上困難である。

表層土層は基盤岩の風化や崩壊等の土砂移動によって形成されるものであり、いくつかの地形的要素に影響を受け形成されると考えられる。したがって、対象とする地点の地形条件と表層土層の関係を明らかにすることで表層土層厚を推定できる可能性がある。これまで、表層土層厚と地形の関係について様々な研究が行われている。例えば、田中<sup>4)</sup>および逢坂・塚本<sup>5)</sup>は、土層厚は傾斜角と対応した限界深を持つ可能性を示唆しており、飯田・田中<sup>6)</sup>は、土層深（土層厚と同義）は傾斜だけでなく、比集水面積、横断曲率の地形要因とも弱い相関がみられるとしている。また、Heimsath<sup>7)</sup>は、斜面曲率と土層厚に相関がみられるとしてい

る。さらに、外山ほか<sup>8)</sup>は、典型的な形状を持つ尾根および谷型凹地では地形曲率と土層厚に負の相関性がみられるとしている。

したがって、土層厚は複数の各地形要素に関係していることから、近年の航空レーザ測量技術の向上に伴い取得可能となった高精度の地形データを利用して数値化した地形量と表層土層厚との関係を見出すことができれば、概略の表層土層厚を面的かつ効率的に把握でき、道路沿線を含む斜面崩壊危険箇所の抽出のための一手法として活用できると考えられる。

地形量から表層土層厚を推定する手法として坂井ほか<sup>9)</sup>は、53地点の調査土層厚と0.5 mおよび1 mDEM データを用いて、統計的手法により約0.5 km<sup>2</sup>の流域の表層土層厚の推定を行っている。また、小寺ほか<sup>10)</sup>は、1 mおよび5 mDEM データを用いて、地形量と表層土層厚の関係について整理し、5 mDEM を使用する方が推定表層土層厚を安全側に評価できるとしている。しかしながら、このように地形条件から表層土層厚を量的に推定した事例は非常に少ないだけでなく、使用するグリッドサイズによる推定値への影響や調査土層厚のデータ数による推定値の違いなどの詳細な検討はされていない。

本研究では、過去に表層崩壊が数多く発生し、現在でも治山事業が多く行われ、土層厚の調査データが多い六甲山地に着目した。その中でも、六甲山地南西側に位置する神戸市東灘区～芦屋市の大月断層と芦屋断層に挟まれた範囲を対象とした。表層土層厚の推定を目的とし、現地調査により得られた調査土層厚と航空レーザ測量データにより得られた地形データとの関係について整理を行い、多変量解析により表層土層厚の推定手法の検討を行った。航空レーザ測量データに基づく1 mおよび5 mグリッドデータをそれぞれ使用し、メッシュサイズが表層土層厚の推定にどのような影響を与えるかについて検討を行った。また、現地調査結果において表層土層厚だけでなく、露岩調査結果を使用することが表層土層厚の推定にどのような影響を与えるかについても検討を行った。さらに、層厚による使用データ数の違いが表層土

層厚の推定にどのような影響を及ぼすかについても検討を行った。なお本稿は、令和4年度土木研究所交流研究員報告書概要版<sup>11)</sup>で報告した内容について、さらに手法の詳細を検討し、最終的に取りまとめたものである。

## 2. 対象地の概要

### 2.1. 地形概要

六甲山地は兵庫県南東部に位置する山地である。六甲山地の地形は、南西-北東方向に延長約30 km、最高標高点931 mの山地であり、藤田<sup>12)</sup>によると、およそ100万年前以降から始まった六甲変動と呼ばれる地殻変動によって隆起して形成されたとされている。六甲山地南東側は稜線に沿って分布する六甲断層系の逆断層群によって山側が隆起したことで形成された急崖が分布する。六甲山地南東側山麓部は、山腹斜面から流出した土砂が平坦地に達して堆積したことによって形成された扇状地が分布する。

対象範囲は、斜面对策工を実施するためにボーリング調査や簡易貫入試験が実施されている大月断層と芦屋断層に挟まれた六甲山地南東部の山麓部とした。図1に本研究において対象とした地域を示す。

### 2.2. 地質概要

六甲山地の地質は、藤田・笠間<sup>13)</sup>によると、丹波帯、領家新期花崗岩類、六甲花崗岩、および神戸層群を基盤とし、その上位を未固結の大阪層群、

段丘堆積物、沖積層、崖錐堆積物が被覆するとされている。六甲花崗岩は御影石と呼ばれる淡桃色のカリ長石が特徴的な花崗岩であり六甲山地の大部分を占める。丹波帯は付加体の黒色泥岩や砂岩、チャートなどの海成堆積物であり、六甲山地南部の一部にルーフペンダントとして小規模に分布する。領家新期花崗岩類は布引花崗閃緑岩が南麓部に分布する。神戸層群は湖成の凝灰岩や泥岩、陸成の砂岩、礫岩からなり、六甲山地の北西部に分布する。大阪層群及び段丘堆積物は、粘土、砂、砂礫層からなり、六甲山南麓一帯に分布する。対象地域には、丹波帯、六甲花崗岩、段丘堆積物が確認される(図1)。

## 3. 多変量解析

### 3.1. 多変量解析の準備

表層土層厚は複数の地形的要素と関連していることから、複数の変数により統計解析を行う多変量解析を用いた。多変量解析に使用する地形情報と表層土層厚を整理した。

#### (1) 地形情報の整理

地形情報の整理には、2011年11月に取得された航空レーザ測量データを用いた。航空レーザ測量より得られた1 mグリッドデータと5 mグリッドデータの2種類のグリッドデータを基に、標高、傾斜量、傾斜方向、曲率(水平曲率 K1, 断面曲率 K2, 平均曲率)、起伏量、ラプラシアンフィルタ、集水面積、尾根谷度を算出した。算出した地形量一覧を表1に示す。

GISソフトの「ArcGIS」で利用可能な『Spatial Analyst』を用いて、標高(Elev)、傾斜量(Slope)、傾斜方向(Aspect)、曲率(水平曲率(K1)、断面曲率(K2)、平均曲率(H))、集水面積(Fa)を算

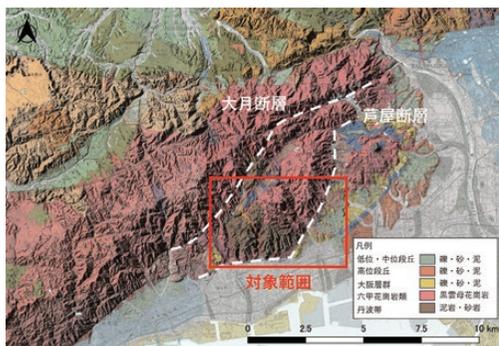


図1 地質図<sup>13)</sup>と陰影図の重ね合わせ図

表1 地形量一覧

地形量	記号	地形量	記号
標高	Elev	起伏量	Relief
傾斜量	Slope	ラプラシアン	Lap
斜面傾斜方向	Aspect	集水面積	Fa
垂直曲率	K1	尾根谷度50 m	Onetani_50
水平曲率	K2	尾根谷度100 m	Onetani_100
平均曲率	H		

出した。

起伏量 (Relief) は、ArcGIS で利用可能な『近傍統計-フォーカル統計』を用いて算出した接峰面、接谷面を使用し接峰面と接谷面の差から算出した。

ラブラシアンフィルタ (Lap) は、地形の凹凸を表す地形量であり、ArcGIS で利用可能な『近傍統計-フォーカル統計』を用いて算出した。

尾根谷度は、尾根と谷を個別に抽出する地形量であり、千葉ほか<sup>14)</sup>による手法をもとに算出した。尾根谷度は設定する考慮範囲により値が変化することが知られているため、使用するグリッドデータごとに考慮範囲を50 m、100 m と設定した値をそれぞれ算出した。なお、集水面積は0~数千 m<sup>2</sup> と他の地形量より値の幅が大きいため、対数変換を行った。

## (2) 表層土層厚の整理

本研究では、崩壊の発生する可能性がある風化が進み土砂化している層や崖錐堆積物土層の厚さを表層土層厚として整理した。表層土層厚は、斜面对策設計業務などで山腹斜面部を対象に実施された計330地点の簡易貫入試験およびボーリング調査結果を使用した。最も隣接した調査地点同士で約8 mの離隔があり、一定以上の間隔を設け調査されている。

沖村<sup>15)</sup>は六甲山地の風化花崗岩斜面において、簡易貫入試験結果 (Nd 値) を用いて Nd 値が12以下を崩壊発生の可能性がある潜在崩土層としている。このことから、本研究でも簡易貫入試験結果の場合は  $Nd \leq 12$  となる深度の下限を表層土層厚とした。また、大久保・上坂<sup>16)</sup>によりボーリング調査で得られる標準貫入試験結果の N 値と Nd 値は相関性が高く、 $N = (1/3 \sim 1) Nd$  で換算できるとされている。したがって、ボーリング調査結果では着岩後の N 値が12より大きい場合は、着岩深度までを表層土層厚とした。なお、着岩後の N 値が12以下の場合、基盤岩の N 値が12以下となる深度の下限を表層土層厚とした。

これらの調査地点の表層土層厚に位置情報を加えて GIS 上で整理した。また、現地踏査を実施し、斜面急崖地や河床付近などで確実に簡易貫入試験等が貫入不能と想定される堅硬な露岩を現地踏査

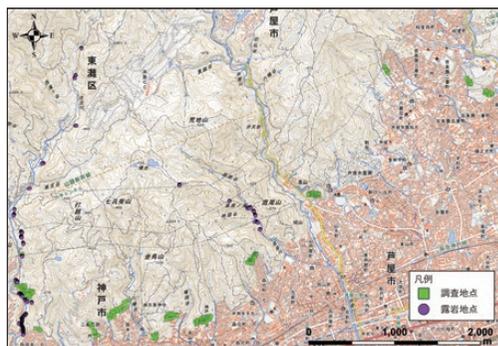


図2 調査位置平面図



図3 調査位置平面図 (ランダムサンプリング後)

を確認し、表層土層厚0 mとして平面図に記載した。1 mグリッドデータ上で抽出した露岩地点数は1,956地点、5 mグリッドデータ上で抽出した露岩地点数は120地点となり、これらの地点が表層土層厚0 mとなった。1 mグリッドデータの場合、露岩調査地点数は簡易貫入試験結果やボーリング調査結果の調査地点数の330地点と比べ、非常に多くなった。露岩調査地点を全点使用すると露岩地点の影響を大きく受け、適切な表層土層厚を推定できないため、露岩調査地点の1,956地点からランダムサンプリングを実施し、調査地点の同等数程度の300地点を抽出した。調査地点及び露岩地点を図2に、調査地点及びランダムサンプリング後の露岩地点を図3に示す。

## 3.2. 多変量解析の実施

多変量解析を実施するためには、多変量解析手法の中から適切な手法を選択する必要がある。多



表5 caseA' の相関係数一覧

caseA'	調査土層厚	Elev	Slope	Aspect	K1	K2	H	Relif	Lap	Fa	Onetani_50	Onetani_100	色	相関係数
調査土層厚	1.000													
Elev	-0.159	1.000												
Slope	-0.493	0.014	1.000											
Aspect	-0.048	0.055	0.082	1.000										
K1	0.023	0.028	-0.042	0.069	1.000									
K2	-0.030	-0.039	0.019	-0.059	-0.906	1.000								
H	0.009	0.007	-0.059	0.064	0.871	-0.582	1.000							
Relif	-0.437	-0.033	0.931	0.083	-0.063	0.025	-0.092	1.000						
Lap	0.030	0.025	-0.038	0.056	0.976	-0.900	0.831	-0.057	1.000					
Fa	-0.017	-0.055	0.041	-0.012	-0.352	0.206	-0.437	0.039	-0.354	1.000				0.7~1.0
Onetani_50	-0.205	-0.107	0.191	0.003	-0.523	0.508	-0.416	0.186	-0.560	0.237	1.000			0.4~0.7
Onetani_100	-0.263	-0.135	0.258	0.016	-0.500	0.490	-0.392	0.252	-0.535	0.227	0.979	1.000		0.1~0.4

表6 caseB の相関係数一覧

caseB	調査土層厚	Elev	Slope	Aspect	K1	K2	H	Relif	Lap	Fa	Onetani_50	Onetani_100	色	相関係数
調査土層厚	1.000													
Elev	-0.133	1.000												
Slope	-0.128	-0.155	1.000											
Aspect	0.244	0.016	0.027	1.000										
K1	-0.011	-0.141	0.048	0.043	1.000									
K2	-0.091	0.190	-0.080	-0.035	-0.499	1.000								
H	-0.050	0.193	-0.075	-0.045	-0.847	0.883	1.000							
Relif	-0.068	-0.152	0.486	-0.033	0.070	-0.047	-0.067	1.000						
Lap	-0.024	0.068	0.047	-0.193	-0.185	0.288	0.277	-0.023	1.000					
Fa	0.141	-0.244	0.058	0.003	0.227	-0.587	-0.483	0.145	-0.262	1.000				0.7~1.0
Onetani_50	0.215	-0.220	-0.011	0.015	0.118	-0.330	-0.266	0.009	-0.007	0.223	1.000			0.4~0.7
Onetani_100	0.140	-0.295	0.088	0.033	0.542	-0.680	-0.709	-0.005	-0.189	0.506	0.377	1.000		0.1~0.4

表7 caseB' の相関係数一覧

caseB'	調査土層厚	Elev	Slope	Aspect	K1	K2	H	Relif	Lap	Fa	Onetani_50	Onetani_100	色	相関係数
調査土層厚	1.000													
Elev	-0.103	1.000												
Slope	-0.328	-0.096	1.000											
Aspect	0.017	-0.060	0.135	1.000										
K1	-0.163	-0.133	0.122	0.157	1.000									
K2	0.034	0.129	-0.155	-0.108	-0.551	1.000								
H	0.114	0.149	-0.156	-0.152	-0.888	0.873	1.000							
Relif	0.401	-0.100	-0.113	-0.259	-0.239	0.102	0.196	1.000						
Lap	0.010	0.064	0.008	-0.180	-0.207	0.280	0.275	0.034	1.000					
Fa	0.036	-0.227	0.104	0.087	0.268	-0.537	-0.452	-0.032	-0.256	1.000				0.7~1.0
Onetani_50	-0.098	-0.220	0.175	0.153	0.543	-0.539	-0.614	-0.343	-0.107	0.358	1.000			0.4~0.7
Onetani_100	-0.192	-0.269	0.269	0.187	0.693	-0.657	-0.767	-0.417	-0.221	0.490	0.734	1.000		0.1~0.4

また、曲率（水平曲率 K1, 断面曲率 K2, 平均曲率）とラプラシアンフィルタはともに地形の凹凸を示す地形量であるため、地形量として類似している。そのため、互いの相関係数が低い場合でも組み合わせない。なお、水平曲率 K1 と断面曲率 K2 は 2 つで地形の凹凸を示す地形量であるため、組み合わせで使用した。

① caseA

caseA の相関係数一覧を表 4 に、説明変数の組み合わせ一覧表を表 8 に示す。表 4 の結果から、Slope と Relief は、互いに 0.952 と高い相関係数を示す。目的変数である調査土層厚との相関係数が -0.217 と低い Relief を棄却した。また、Onetani\_50 と Onetani\_100 は考慮範囲が異なる同地形量であり、互いに 0.974 と相関係数が高い。目的変数である調査土層厚との相関係数が 0.038 と低い onetani100 を棄却した。さらに、K1・K2, H, Lap の中で目的変数である調査土層厚との相関性が 0.068, -0.041, -0.063 と低い K1・K2, H を棄却した。目的変数との相関係数が高い Elev, Slope, Aspect の 3 つを固定し、残りの棄却していない説明変数を組み合わせた。

② caseA'

caseA' の相関係数一覧を表 5 に、説明変数の組み合わせ一覧表を表 9 に示す。表 5 の結果から、Slope と Relief は、0.931 と高い相関係数を示す。目的変数である調査土層厚との相関係数が -0.437 と低い Relief を棄却した。また、Onetani\_50 と Onetani\_100 は考慮範囲が異なる同地形量であり、0.979 と相関係数が高い。目的変数である調査土層厚との相関係数が -0.205 と低い Onetani\_50 を棄却した。さらに、K1・K2, H, Lap 中で、H は目的変数である調査土層厚との相関係数が -0.009 と低いため棄却した。K2 と Lap は目的変数との相関係数が -0.003 と同じであったため、2 変数とも分析に使用した。目的変数との相関係数が高い Elev, Slope, Onetani\_100 の 3 つを固定し、残りの棄却していない説明変数を組み合わせた。

③ caseB

caseB の相関係数一覧を表 6 に、組み合わせ一覧表を表 10 に示す。表 6 の結果から、Onetani\_50

と Onetani\_100 は考慮範囲が異なる同地形量であるため、目的変数である調査土層厚との相関係数が -0.140 と低い Onetani\_100 を棄却した。また、K1・K2, H, Lap の中で目的変数である調査土層厚との相関係数が -0.050, -0.024 と低い、H,

表 8 caseA の説明変数の組み合わせ

caseA	説明変数					
caseA-1	Elev	Slope	Aspect			
caseA-2	Elev	Slope	Aspect	Lap		
caseA-3	Elev	Slope	Aspect		Fa	
caseA-4	Elev	Slope	Aspect			Onetani_50
caseA-5	Elev	Slope	Aspect	Lap	Fa	
caseA-6	Elev	Slope	Aspect	Lap		Onetani_50
caseA-7	Elev	Slope	Aspect		Fa	Onetani_50

表 9 caseA' の説明変数の組み合わせ

caseA'	説明変数						
caseA'-1	Elev	Slope					Onetani_100
caseA'-2	Elev	Slope	Aspect				Onetani_100
caseA'-3	Elev	Slope		K1	K2		Onetani_100
caseA'-4	Elev	Slope				Fa	Onetani_100
caseA'-5	Elev	Slope	Aspect	K1	K2		Onetani_100
caseA'-6	Elev	Slope	Aspect			Fa	Onetani_100
caseA'-7	Elev	Slope		K1	K2	Fa	Onetani_100
caseA'-8	Elev	Slope	Aspect	K1	K2	Fa	Onetani_100
caseA'-9	Elev	Slope		Lap			Onetani_100
caseA'-10	Elev	Slope	Aspect	Lap			Onetani_100
caseA'-11	Elev	Slope	Aspect	Lap		Fa	Onetani_100

表 10 caseB の説明変数の組み合わせ

caseB	説明変数						
caseB-1			Aspect			Fa	Onetani_50
caseB-2	Elev		Aspect			Fa	Onetani_50
caseB-3		Slope	Aspect			Fa	Onetani_50
caseB-4			Aspect	K1	K2	Fa	Onetani_50
caseB-5			Aspect		Relief	Fa	Onetani_50
caseB-6	Elev	Slope	Aspect			Fa	Onetani_50
caseB-7	Elev		Aspect	K1	K2	Fa	Onetani_50
caseB-8	Elev		Aspect		Relief	Fa	Onetani_50
caseB-9	Elev	Slope	Aspect	K1	K2	Fa	Onetani_50
caseB-10	Elev	Slope	Aspect		Relief	Fa	Onetani_50
caseB-11		Slope	Aspect	K1	K2	Fa	Onetani_50
caseB-12		Slope	Aspect		Relief	Fa	Onetani_50
caseB-13			Aspect	K1	K2	Relief	Onetani_50
caseB-14		Slope	Aspect	K1	K2	Relief	Onetani_50
caseB-15	Elev	Slope	Aspect	K1	K2	Relief	Onetani_50

表11 caseB'の説明変数の組み合わせ

caseB'	説明変数						
caseB'-1		Slope				Relief	Onetani_100
caseB'-2	Elev	Slope				Relief	Onetani_100
caseB'-3		Slope	Aspect			Relief	Onetani_100
caseB'-4		Slope		K1	K2	Relief	Onetani_100
caseB'-5		Slope				Relief	Fa Onetani_100
caseB'-6	Elev	Slope	Aspect			Relief	Onetani_100
caseB'-7	Elev	Slope		K1	K2	Relief	Onetani_100
caseB'-8	Elev	Slope				Relief	Fa Onetani_100
caseB'-9	Elev	Slope	Aspect	K1	K2	Relief	Onetani_100
caseB'-10	Elev	Slope	Aspect			Relief	Fa Onetani_100
caseB'-11		Slope	Aspect	K1	K2	Relief	Onetani_100
caseB'-12		Slope	Aspect			Relief	Fa Onetani_100
caseB'-13		Slope		K1	K2	Relief	Fa Onetani_100
caseB'-14		Slope	Aspect	K1	K2	Relief	Fa Onetani_100
caseB'-15	Elev	Slope	Aspect	K1	K2	Relief	Fa Onetani_100

Lap を棄却した。目的変数との相関係数が高い Aspect, Fa, Onetani\_50 の3つを固定し、残りの棄却していない説明変数を組み合わせた。

#### ④ caseB'

caseB'の相関係数一覧を表7に、組み合わせ一覧表を表11に示す。Onetani\_50とOnetani\_100は考慮範囲が異なる同地形量であり、目的変数である調査土層厚との相関係数が-0.098と低いOnetani\_50を棄却した。また、K1・K2, H, Lapの中で目的変数である調査土層厚との相関係数が0.114, 0.010と低いH, Lapを棄却した。目的変数との相関係数が高いSlope, ReLief, Onetani\_100の3つを固定し、残りの棄却していない説明変数を組み合わせた。

## 4. 多変量解析結果

### 4.1. 説明変数の組み合わせ

表8～11に示した説明変数の組み合わせで重回帰分析を実施した。説明変数の組み合わせの中で最適な回帰式を決定するために、寄与率( $R^2$ )、赤池情報量基準(以下AIC)を算出した。寄与率( $R^2$ )は回帰式の当てはまりの良さを示すもので、数値が大きいほど当てはまりが良い。また、AICは最適なモデルを選択するための指標であり、数値が小さいほど良いモデルとされる<sup>18)</sup>。なお、AICは同一のデータを用いた場合の相対的な比較

であるため、各case内での比較にのみ使用する。各caseで検討した説明変数の組み合わせごとに算出した寄与率( $R^2$ )、AICを表12～15に示す。

#### (1) caseA

caseAにおける説明変数の組み合わせごとの寄与率( $R^2$ )、AICの結果を表12に示す。caseA-4が寄与率( $R^2$ )、AICともに最も良い結果となった。以上により1mグリッドデータの露岩調査結果なしの場合はcaseA-4の組み合わせを使用する。

#### (2) caseA'

caseA'における説明変数の組み合わせごとの寄与率( $R^2$ )、AICの結果を表13に示す。寄与率( $R^2$ )はcaseA'-2, caseA'-3, caseA'-9が0.282と最も良い結果となり、その中でもcaseA'-2のAICは1170.27と最も良い結果となった。以上により1mグリッドデータの露岩調査結果ありの場合はcaseA'-2の組み合わせを使用する。

#### (3) caseB

caseBにおける説明変数の組み合わせごとの寄与率( $R^2$ )、AICの結果を表14に示す。caseB-6が

表12 caseAの組み合わせごとの寄与率( $R^2$ )・AIC

caseA	寄与率( $R^2$ )	AIC
caseA-1	0.103	751.81
caseA-2	0.103	752.93
caseA-3	0.101	753.59
caseA-4	0.109	728.81
caseA-5	0.100	754.83
caseA-6	0.108	730.10
caseA-7	0.108	730.08

表13 caseA'の組み合わせごとの寄与率( $R^2$ )・AIC

caseA'	寄与率( $R^2$ )	AIC
caseA'-1	0.279	1173.55
caseA'-2	0.282	1170.27
caseA'-3	0.282	1172.27
caseA'-4	0.277	1173.75
caseA'-5	0.281	1174.27
caseA'-6	0.278	1175.74
caseA'-7	0.281	1174.11
caseA'-8	0.280	1176.11
caseA'-9	0.282	1171.10
caseA'-10	0.281	1173.09
caseA'-11	0.281	1174.57

表14 caseB の組み合わせごとの寄与率 (R<sup>2</sup>)・AIC

caseB	寄与率 (R <sup>2</sup> )	AIC
caseB-1	0.107	734.70
caseB-2	0.129	727.30
caseB-3	0.119	731.25
caseB-4	0.104	737.43
caseB-5	0.108	735.04
caseB-6	0.145	722.13
caseB-7	0.128	729.56
caseB-8	0.135	726.00
caseB-9	0.144	724.32
caseB-10	0.143	723.82
caseB-11	0.117	733.78
caseB-12	0.116	733.24
caseB-13	0.106	737.84
caseB-14	0.114	735.77
caseB-15	0.142	726.06

寄与率 (R<sup>2</sup>), AIC ともに最も良い結果となった。以上により 5 m グリッドデータの露岩調査結果なしの場合は caseB-6 の組み合わせを使用する。

(4) caseB'

caseB' における説明変数の組み合わせごとの寄与率 (R<sup>2</sup>), AIC の結果を表15に示す。caseB'-9 が寄与率 (R<sup>2</sup>), AIC ともに最も良い結果となった。以上により 5 m グリッドデータの露岩調査結果ありの場合は caseB'-9 の組み合わせを使用する。

各 case の重回帰係数を表16に示す。標高, 傾斜量, 斜面傾斜方向及び尾根谷度はグリッドデー

表15 caseB' の組み合わせごとの寄与率 (R<sup>2</sup>)・AIC

caseB'	寄与率 (R <sup>2</sup> )	AIC
caseB'-1	0.257	927.35
caseB'-2	0.261	925.40
caseB'-3	0.272	918.96
caseB'-4	0.265	924.06
caseB'-5	0.255	929.32
caseB'-6	0.278	916.38
caseB'-7	0.269	922.72
caseB'-8	0.260	927.26
caseB'-9	0.285	913.24
caseB'-10	0.276	918.08
caseB'-11	0.281	915.09
caseB'-12	0.270	920.86
caseB'-13	0.263	925.98
caseB'-14	0.280	916.91
caseB'-15	0.284	914.82

表16 各 case の重回帰係数

	caseA	caseA'	caseB	caseB'
	重回帰係数	重回帰係数	重回帰係数	重回帰係数
Elev	-0.002	-0.002	-0.002	-0.001
Slope	-0.012	-0.024	-0.014	-0.031
Aspect	0.003	0.00004	0.003	0.002
K1	-	-	-	-0.015
K2	-	-	-	-0.008
Relief	-	-	-	0.026
Fa	-	-	-0.001	-
Onetani_50	0.781	-	2.329	-
Onetani_100	-	-1.452	-	0.571
定数	1.218	1.826	1.233	0.892

タのメッシュサイズ, 露岩地点の反映の有無に関わらず最も良い回帰式に使用される結果となった。これは, 標高が高く, 傾斜量が大きい箇所ほど, 表層土は斜面に残留せずに下方へと移動し, 傾斜量の小さい斜面で堆積していくからであると考えられる。また, 斜面傾斜方向については日照時間による風化速度の違いが影響している可能性が考えられる。さらに, 尾根谷度については, 尾根地形は風化の程度, 谷地形は崖錐堆積物などの堆積の程度が表層土層厚に影響していると考えられる。

4. 2. 使用データの違いによる比較

各 case で最適とした回帰式を用いて, 1 m グリッドデータを使用した場合と 5 m グリッドデータを使用した場合を比較した。また, 調査土層厚のみの場合と調査土層厚に露岩地点を加えた場合についても比較した。それぞれの『重回帰分析により得られた推定表層土層厚』と『調査土層厚』の関係について, 図4~7, 表17に示す。

(1) 1m グリッドデータを用いた場合

1 m グリッドデータにおける重回帰分析により得られた推定表層土層厚と調査土層厚の関係を整理した(図4, 図5)。また, 残差がプラスとなる(調査土層厚より推定表層土層厚の方が浅くなる)箇所を危険側として整理した(表17)。p (有意確率) は得られた統計量で帰無仮説が起り得る確率であり, 一般的に 5 % や 1 % 以下で帰無仮説を棄却することができる。本研究では有意水準を

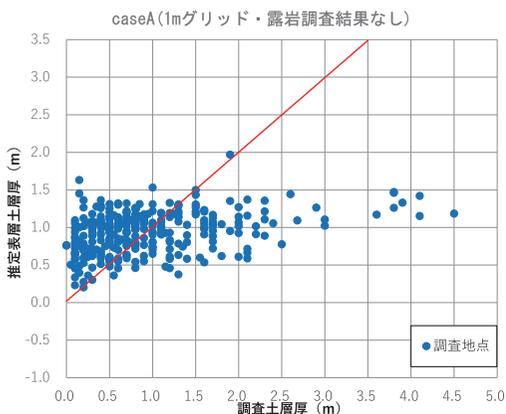


図4 推定表層土層厚と調査土層厚の比較 (caseA)

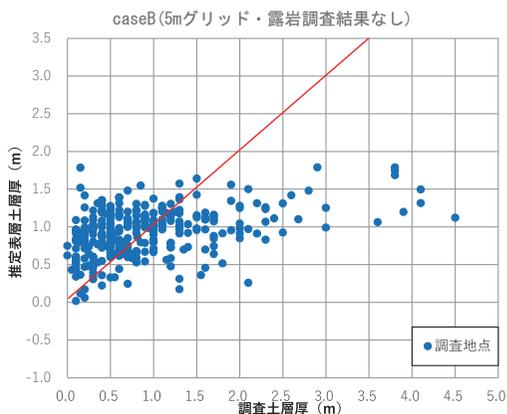


図6 推定表層土層厚と調査土層厚の比較 (caseB)

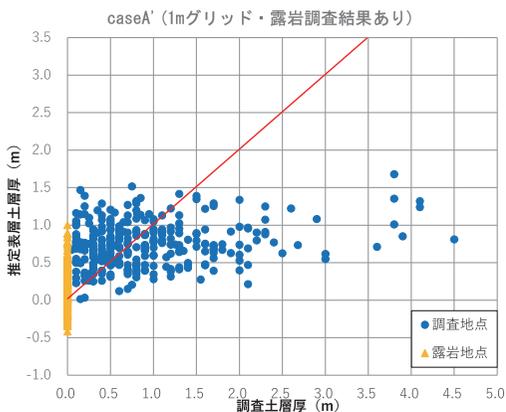


図5 推定表層土層厚と調査土層厚の比較 (caseA')

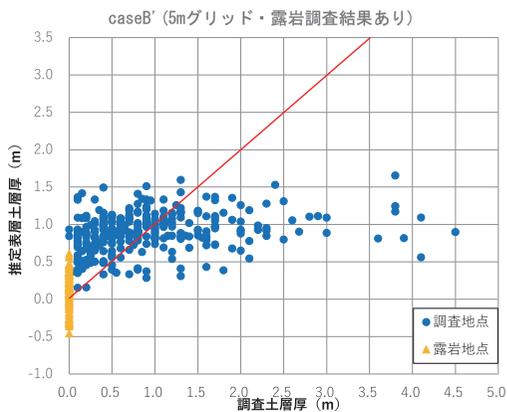


図7 推定表層土層厚と調査土層厚の比較 (caseB')

$p < 0.01$ とした。

両 case ともに調査土層厚が深くなるほど、残差が大きくなる傾向がみられた。caseA は、約 0.5 m ~ 1.5 m 付近で残差の絶対値 (1 : 1 の赤線付近に分布) が小さくなり、caseA' は約 0.2 ~ 1.2 m 付近で残差の絶対値が小さい傾向がみられた。また、寄与率 ( $R^2$ ) は、調査土層厚のみを使用する場合 (caseA) で 0.109 ( $p < 0.01$ )、調査土層厚に露岩調査結果を加えた場合 (caseA') で 0.282 ( $p < 0.01$ ) となった。露岩調査結果を加えた方が調査土層厚のみの場合と比べて当てはまりは良くなった。残差が危険側となる割合は、caseA は 39.23%、caseA' は 38.68% となり、露岩調査結果を加えた

表17 各 case の重回帰分析結果

case	caseA	caseA'	caseB	caseB'
グリッドサイズ	1 m	1 m	5 m	5 m
露岩調査結果	なし	あり	なし	あり
重回帰係数 (R)	0.347	0.537	0.398	0.545
寄与率 ( $R^2$ )	0.109	0.282	0.145	0.285
残差の危険側率	39.23%	38.68%	39.23%	36.85%
残差の標準偏差	0.74	0.62	0.73	0.67

方が低くなり、残差のばらつきも小さくなった。したがって、1 m グリッドデータにおいては、caseA' の方が寄与率 ( $R^2$ )、危険側となる地点の割合及び残差のばらつきにおいて良い結果となったため、1 m グリッドデータにおいては、調査土

層厚のみの場合よりも調査土層厚に露岩調査結果を加える方が良いと考えられる。

## (2) 5 m グリッドデータを用いた場合

5 m グリッドデータにおける重回帰分析より得られた推定表層土層厚と調査土層厚の関係を整理した(図6, 図7)。また, 残差がプラスとなる箇所を危険側として整理した(表17)。

両 case とともに調査土層厚が深くなるほど残差が大きくなる傾向がみられ, 約0.2~1.3 m 付近で残差の絶対値が小さくなる傾向がみられた。また, 寄与率 ( $R^2$ ) は, 調査土層厚のみを使用した場合 (caseB) で0.145 ( $p<0.01$ ), 調査土層厚に露岩調査結果を加えた場合 (caseB') で0.285 ( $p<0.01$ ) となり, 露岩調査結果を加えた方が当てはまりはよくなった。残差が危険側となる割合は, caseB は39.25%, caseB' は36.85%となり, 露岩調査結果を加えた方が低くなり, 残差のばらつきも小さくなった。

したがって, 5 m グリッドデータにおいては, caseB' の方が寄与率 ( $R^2$ ), 危険側となる地点の割合, 残差のばらつきにおいて良い結果となったため, 調査土層厚のみよりも調査土層厚に露岩調査結果を加える方が良いと考えられる。

## (3) 調査土層厚のみを用いた場合

調査土層厚のみを使用する場合のグリッドサイズが結果に与える影響を検討するために caseA と caseB を比較した(図4, 図6)。

寄与率 ( $R^2$ ) は, 1 m グリッドデータ使用時 (caseA) で0.109 ( $p<0.01$ ), 5 m グリッドデータ使用時 (caseB) で0.145 ( $p<0.01$ ) という結果となり, 5 m グリッドデータの方が当てはまりは良くなった。また, 危険側となる割合は, caseB の方が36.85%と少ない結果となった。

したがって, 調査土層厚のみを使用する場合, caseB の方が寄与率 ( $R^2$ ), 危険側となる地点の割合, 残差のばらつきにおいて良い結果となったため, 5 m グリッドデータを使用する方が良いと考えられる。

## (4) 調査土層厚に露岩調査結果を追加した場合

調査土層厚に露岩調査結果を加えた場合のグリッドサイズが結果に与える影響するために

caseA' と caseB' を比較した(図5, 図7)。

寄与率 ( $R^2$ ) は, 1 m グリッドデータ使用時 (caseA') で0.282 ( $p<0.01$ ), 5 m グリッドデータ使用時 (caseB') で0.285 ( $p<0.01$ ) という結果となり, ほぼ同程度となった。一方で, 危険側となる割合は, caseB' の方が36.85%とやや少ない結果となった。

したがって, 調査土層厚に露岩調査結果を加えた場合, 1 m グリッドデータと5 m グリッドデータでは寄与率 ( $R^2$ ) は同程度であるため, 5 m グリッドデータを使用する方が安全側の評価ができると考えられる。

## (5) 比較結果

使用するデータの違いが与える影響を検討した結果, 調査土層厚に露岩調査結果を加えた方がグリッドサイズに関係なく良い結果となった。グリッドサイズで比較した場合, 寄与率は同程度であったため, 5 m グリッドデータを使用した方が, 危険側となる割合が少なくなり, より安全側に評価できる結果となった。ただし, どの case においても2 m 以上の表層土層厚は算出されず, 調査土層厚が厚い地点ほど, 推定表層土層厚との差が大きくなり過小評価となる。

また, 先行研究<sup>10)</sup>では寄与率 ( $R^2$ ) での検討はなく安全側の地点の多さのみで評価されており, 安全側となる地点の割合が最も多い露岩調査結果を加えた5 m グリッドデータを使用する方が良いとされている。本研究によって, 寄与率 ( $R^2$ ), 残差のばらつきを含め, 露岩調査結果を加えた5 m グリッドデータを使用する方が良いと考えることができる。

## 4. 3. 使用データ数の比較

図8に層厚の深度別ヒストグラムを示す。重回帰分析は, 目的変数と説明変数の最小二乗法から算出するため, 母集団のデータの偏りが算出されるデータに影響を与えられられる。

そこで, 多変量解析に使用する地点は, 層厚間での差が少なくなるように, 調査土層厚0.5 m ごとに区間分けを行った。各層厚区間でサンプリング上限をそれぞれ10地点分(計75地点), 30地点

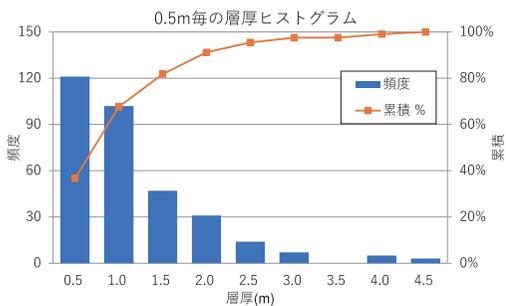


図8 土層厚の深度別ヒストグラム

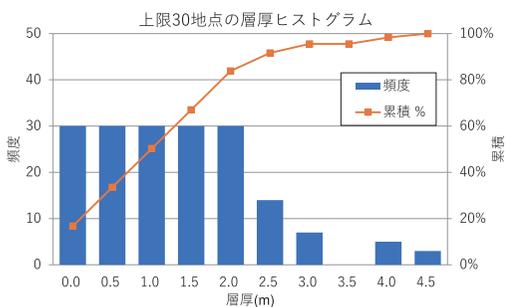


図9 上限30地点でのサンプリング後の層厚ヒストグラム

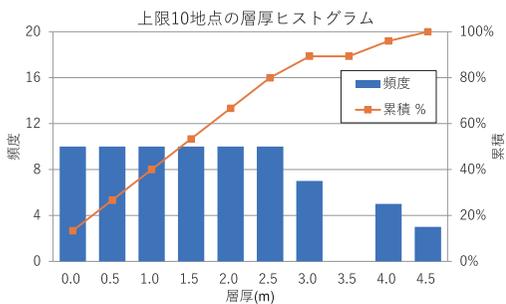


図10 上限10地点でのサンプリング後の層厚ヒストグラム

分(計179地点)とした(図9, 図10)。使用する地点は、層厚区間ごとにランダムサンプリングにより抽出し、重回帰分析を行った。

寄与率 ( $R^2$ ) は、両グリッドサイズで調査土層厚に露岩調査結果を加えた方が良かったことから、露岩調査結果を加えたもの (caseA' (全630地点), caseB' (全450地点)) と比較した。

目的変数と説明変数及び説明変数の同士の相関

表18 caseA'\_30の組み合わせごとの寄与率 ( $R^2$ )・AIC

caseA'_30	寄与率 ( $R^2$ )	AIC
caseA'_30-1	0.256	446.92
caseA'_30-2	0.259	447.06
caseA'_30-3	0.253	449.33
caseA'_30-4	0.253	448.60
caseA'_30-5	0.254	449.89
caseA'_30-6	0.255	448.83
caseA'_30-7	0.248	451.32
caseA'_30-8	0.250	451.88
caseA'_30-9	0.256	447.87
caseA'_30-10	0.258	448.16
caseA'_30-11	0.253	450.13

表19 caseA'\_10の組み合わせごとの寄与率 ( $R^2$ )・AIC

caseA'_10	寄与率 ( $R^2$ )	AIC
caseA'_10-1	0.218	225.51
caseA'_10-2	0.220	226.17
caseA'_10-3	0.217	227.36
caseA'_10-4	0.206	227.50
caseA'_10-5	0.213	228.49
caseA'_10-6	0.208	228.15
caseA'_10-7	0.215	228.34
caseA'_10-8	0.205	230.06
caseA'_10-9	0.249	223.38
caseA'_10-10	0.244	224.68
caseA'_10-11	0.239	223.99

関係はサンプリング前の同じであったため、4.1と同様に、サンプリング上限を設けた条件での case ごとに最適な説明変数の組み合わせを決定するために寄与率 ( $R^2$ ) と AIC を算出した。寄与率 ( $R^2$ ) と AIC の最も良い組み合わせが異なっていた場合、AIC により適切な組み合わせを選択した。各 case の組み合わせごとに算出した寄与率 ( $R^2$ )、AIC 一覧表を表18~21に示す。また、各 case における最適とした説明変数の組み合わせによる重回帰係数を表22に示す。

それぞれの case の重回帰分析により得られた回帰式を用いて、調査地点の全データを代入したものを図11~14に、各 case 結果を比較したものを表23に示す。なお、すべての case で  $p < 0.01$  であった。

表20 caseB'\_30の組み合わせごとの寄与率 (R<sup>2</sup>)・AIC

caseB'_30	寄与率 (R <sup>2</sup> )	AIC
caseB'_30-1	0.235	457.17
caseB'_30-2	0.231	458.82
caseB'_30-3	0.244	455.93
caseB'_30-4	0.259	453.06
caseB'_30-5	0.232	458.77
caseB'_30-6	0.242	457.19
caseB'_30-7	0.257	454.50
caseB'_30-8	0.228	460.46
caseB'_30-9	0.267	452.90
caseB'_30-10	0.238	458.96
caseB'_30-11	0.268	451.91
caseB'_30-12	0.240	457.65
caseB'_30-13	0.255	454.99
caseB'_30-14	0.255	454.99
caseB'_30-15	0.265	454.30

表21 caseB'\_10の組み合わせごとの寄与率 (R<sup>2</sup>)・AIC

caseB'_10	寄与率 (R <sup>2</sup> )	AIC
caseB'_10-1	0.224	227.54
caseB'_10-2	0.233	227.50
caseB'_10-3	0.219	228.84
caseB'_10-4	0.204	231.10
caseB'_10-5	0.214	229.30
caseB'_10-6	0.238	227.84
caseB'_10-7	0.212	231.15
caseB'_10-8	0.223	229.29
caseB'_10-9	0.217	231.51
caseB'_10-10	0.228	231.66
caseB'_10-11	0.199	232.39
caseB'_10-12	0.209	230.61
caseB'_10-13	0.193	232.95
caseB'_10-14	0.188	234.23
caseB'_10-15	0.205	233.42

表22 サンプルング上限を設けた各 case の重回帰係数

	caseA'	caseA'_30	caseA'_10	caseB'	caseB'_30	caseB'_10
	重回帰係数	重回帰係数	重回帰係数	重回帰係数	重回帰係数	重回帰係数
Elev	-0.002	-0.002	-0.002	-0.001	-	-0.003
Slope	-0.024	0.039	-0.046	-0.031	-0.059	-0.064
Aspect	0.00004	-	-	0.002	0.002	-
K1	-	-	-	-0.015	-0.036	-
K2	-	-	-	-0.008	-0.027	-
Lap	-	-	-0.267	-	-	-
Relief	-	-	-	0.026	0.025	0.010
Fa	-	-	-	-	-	-
Onetani_100	-1.452	-2.86	-1.821	0.571	0.708	0.111
定数	1.826	2.889	3.451	0.892	2.086	3.798

表23 サンプルング上限を設けた各 case の重回帰分析結果

case	caseA'	caseA'_30	caseA'_10	caseB'	caseB'_30	caseB'_10
グリッドサイズ	1 m	1 m	1 m	5 m	5 m	5 m
重回帰係数 (R)	0.543	0.519	0.541	0.545	0.527	0.543
寄与率 (R <sup>2</sup> )	0.282	0.256	0.249	0.285	0.268	0.233
残差の危険側率	38.68%	26.67%	20.91%	36.85%	23.73%	27.05%
残差の標準偏差	0.58	0.63	0.69	0.67	0.75	0.81

(1) 1 m グリッドデータ間での比較

使用するデータ数が増加するほど寄与率 (R<sup>2</sup>) は大きくなり、残差のばらつきは小さくなったが、残差が危険側となる地点の割合は高くなった。これは、図11、図12で示すように、層厚間での使用

するデータ数が少ないほど層厚 1 m 未満の調査土層厚の地点の多くが安全側となるからであると考えられる。

したがって、1 m グリッドデータでは、寄与率 (R<sup>2</sup>)、残差のばらつきの小ささという点で、

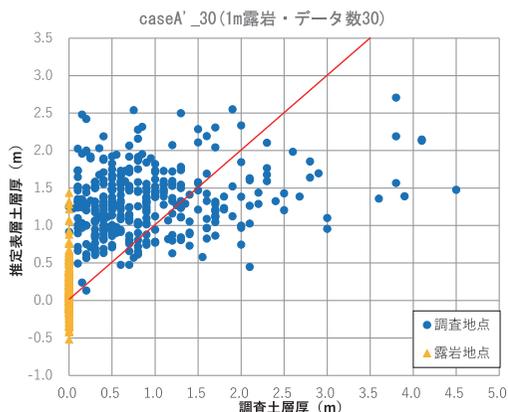


図11 推定表層土層厚と調査土層厚の比較 (caseA'\_30)

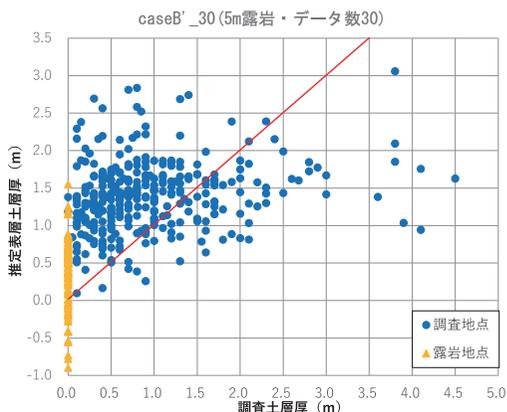


図13 推定表層土層厚と調査土層厚の比較 (caseB'\_30)

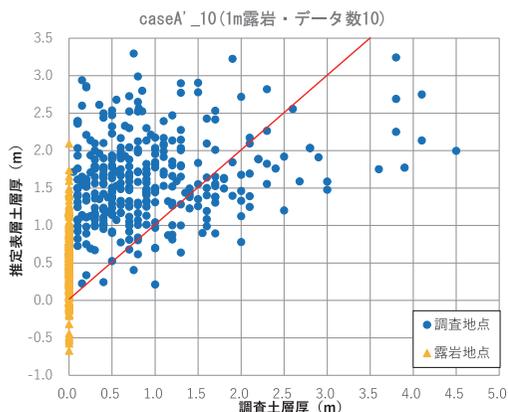


図12 推定表層土層厚と調査土層厚の比較 (caseA'\_10)

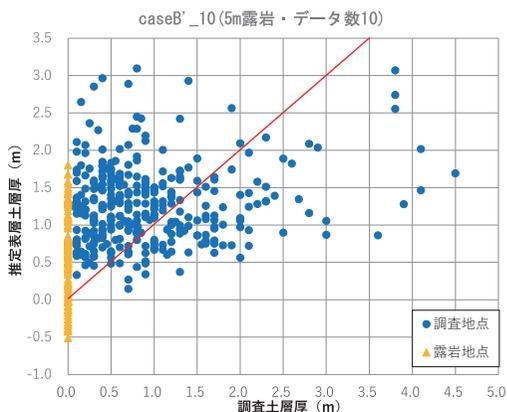


図14 推定表層土層厚と調査土層厚の比較 (caseB'\_10)

caseA'のように全データを使用した方が良いと考えられるが、土層厚が深い地点ほど推定表層土層厚を過小評価してしまう。表層土層厚を安全側に評価する点においては、寄与率 ( $R^2$ ) が小さくなるもののサンプリング上限を設けた方が、危険側の地点が少なく、調査土層厚の深い地点の残差が小さくなるため良いと考えられる。

## (2) 5m グリッドデータ間での比較

1m グリッドデータと同様に使用するデータ数が増加するほど寄与率 ( $R^2$ ) は大きくなり、残差のばらつきは小さくなったが、残差が危険側となる地点の割合は caseB'\_30 が最も小さくなった。

したがって、5m グリッドデータでは、1m

グリッドデータと同様の傾向を示したが、caseB'\_30 の場合、寄与率 ( $R^2$ ) は 1m グリッドデータ時ほど小さくならず安全側に評価できると考えられる。また、5m グリッドデータは caseB'\_10 のように使用するデータ数が少な過ぎると、寄与率 ( $R^2$ ) は小さくなり危険側の地点の割合も増加するため、表層土層厚の推定には使用するデータ数を吟味する必要があると考えられる。

両グリッドデータともに全データを使用した場合、2m 以上の推定表層土層厚は算出されず、調査土層厚が大きいほど推定表層土層厚との差が大きくなったが、層厚間でサンプリング上限を設けることで、約 3m の推定表層土層厚が算出され、

より広い層厚幅で危険側でない地点がみられた。ただし、層厚間でサンプリング上限を設けた場合、両グリッドデータともに、土層厚が浅い地点では推定表層土層厚が過大に評価されていることに注意する必要がある。

### 5. 表層土層厚の検討

重回帰分析により得られた回帰式を用いて推定表層土層厚分布図を作成した。caseA', caseA'\_30, caseA'\_10, caseB', caseB'\_30 の回帰式から作成した推定表層土層厚分布図を図15~19に示す。全分布図で推定表層土層厚を0~3mで表した。なお、回帰式からの計算上推定表層土層厚が負の値となる箇所もあるが、現実には存在しないため分布図では0mとして表記した。また、caseB'\_10は、その他caseと比較して寄与率( $R^2$ )が低く適さないため、図示していない。

#### (1) 1 m グリッドデータを使用した場合

caseA'の分布図の推定表層土層厚の最大値は約2m、最小値は約-2mとなった。多変量解析結果でもみられたように、全体的に推定表層土層厚が浅く表現される傾向がみられた。尾根部や谷部はやや層厚が厚くなるものの斜面部は全体的に浅

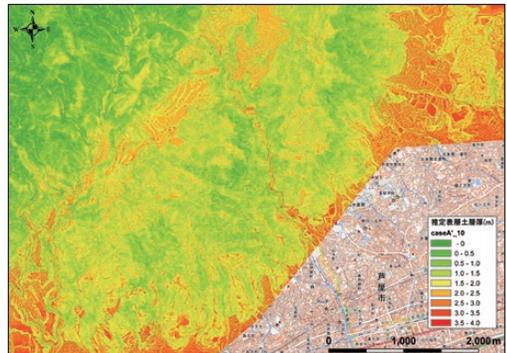


図17 推定表層土層厚分布図 (caseA'\_10)

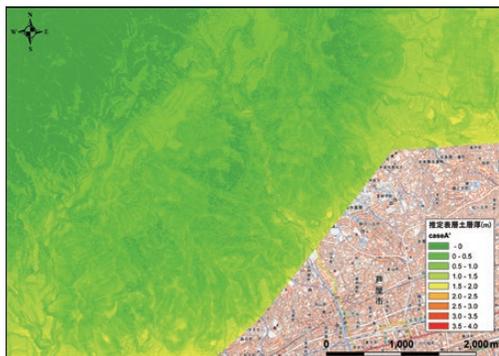


図15 推定表層土層厚分布図 (caseA')



図18 推定表層土層厚分布図 (caseB')

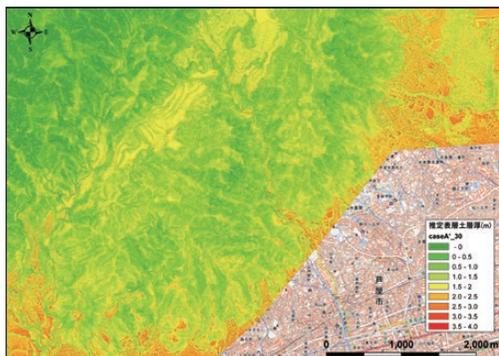


図16 推定表層土層厚分布図 (caseA'\_30)

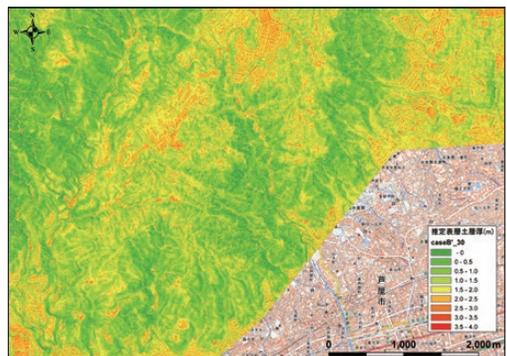


図19 推定表層土層厚分布図 (caseB'\_30)

い傾向がみられた。

一方、caseA'\_30の分布図の推定表層土層厚の最大値は約3.4 m、最小値は-2.4 mとなり、caseA'\_10の分布図の推定表層土層厚の最大値は約3.7 m、最小値は-1.9 mとなった。

caseA' と比べ、層厚の幅は広く、尾根部や谷部は層厚が厚くなる傾向が見られ、斜面部も層厚が薄い箇所と厚い箇所が表現されている。

したがって、1 m グリッドデータを使用した場合は、寄与率がやや小さくなる場合であったとしても、調査土層厚は0.2~4.5 m と層厚幅が広く、同一斜面上において層厚が薄い箇所と厚い箇所が存在することからも調査土層厚の厚さの偏りを少なくした caseA'\_30、caseA'\_10 の方が、より実際の表層土層厚に近い推定表層土層厚が算出されることが考えられる。

## (2) 5 m グリッドデータを使用した場合

caseB' の分布図の推定表層土層厚の最大値は約1.8 m、最小値は-1.7 m となった。caseA' と同様に、全体的に推定表層土層厚が浅く表現される傾向がみられた。尾根部や谷部はやや層厚が厚くなるものの斜面部は全体的に浅い傾向がみられる。一方、caseB'\_30の分布図の推定表層土層厚の最大値は約4.1 m、最小値は-3.2 m となり、caseB' と比べ層厚の幅は広い。尾根部や谷部は層厚が厚くなり、斜面部も層厚が薄い箇所と厚い箇所が表現されている。

したがって、5 m グリッドデータを使用した場合は寄与率、安全側の地点の割合、調査土層厚は0.2~4.5 m と層厚幅が広く、同一斜面上において層厚が薄い箇所と厚い箇所が存在することを考慮し、表層土層厚を幅広く表現できる caseB'\_30 の方が、より実際の表層土層厚に近い推定表層土層厚が算出されることが考えられる。

## 6. まとめ

本研究では、兵庫県芦屋市~神戸市東灘区の六甲山地の山腹斜面において、調査土層厚と地形データから表層土層厚を推定することを目的とし、多変量解析を用いた表層土層厚推定手法の検討を行った。多変量解析結果を用いて、露岩調査結果

の追加に伴う使用データの違い、使用するメッシュサイズの違い、層厚による使用データ数の違いが表層土層厚の推定にどのような影響を及ぼすかについて検討を行った。

①調査土層厚に露岩調査結果を加えた場合、両グリッドデータともに、寄与率 ( $R^2$ ) は大きくなり、残差のばらつきも小さくなる傾向がみられたため、露岩調査結果を加えることで推定精度が向上すると考えられる。

②露岩調査結果を加えた1 m グリッドデータと5 m グリッドデータを比較すると、寄与率 ( $R^2$ ) に大きな差は見られなかったが、5 m グリッドデータの方が、残差がプラスである危険側の割合が少なく、より安全側に評価されると考えられる。しかし、土層厚が厚い地点では推定表層土層厚との差が大きい地点が多く、過小評価となる可能性がある。

③層厚ごとに使用するデータ数のサンプリング上限を設定し、層厚間の地点数の偏りを小さくした場合、1 m グリッドデータでは層厚ごとにデータの偏りを小さくするほど寄与率は小さくなり、残差は大きくなるが、危険側となる地点の割合は少なくなった。したがって、当てはまりの良さの点で全データを使用した方が良い。一方、安全側に評価する点ではサンプリング上限を設けた方が良いと考えられる。

5 m グリッドデータでは、caseB'\_30のように適度に層厚ごとに地点数の偏りを小さくすることで、寄与率 ( $R^2$ ) がそれほど小さくならず安全側に評価できると考えられる。

④重回帰式により推定表層土層厚の分布図を作成すると、1 m グリッドデータ、5 m グリッドデータともに層厚ごとの地点数の偏りを小さくする方が、調査土層厚の層厚分布を考慮すると、実際の表層土層厚に近い表現ができると考えられ、層厚ごとにサンプリング上限を設定し、使用する地点数の偏りを少なくする方が良い結果となった。

⑤寄与率 ( $R^2$ ) は両グリッドデータにおいて同等であり、かつ、両グリッドデータどちらにおいても露岩調査結果を考慮した方が安全側に評価できることから、露岩調査結果を考慮した5 m グ

リッドデータの方が安全側に評価することができた。先行研究において、露岩調査結果を考慮した5mグリッドデータを使用の方が安全側に評価できるとされており、本研究においても同様の結果を示した。また、先行研究において、推定表層土層厚が2m以上は算出されないなど土層厚が深い地点ほど、推定表層土層厚は過小評価されることが課題とされていた。本研究において、層厚区間ごとにサンプリング上限を設け、層厚間でデータ数の偏りを小さくすることで、寄与率( $R^2$ )はやや小さくなるものより安全側に評価できることが分かった。データが豊富な場合、土層厚の偏りに注意して重回帰分析を行うことで安全側に評価できると考えられる。また、使用データ数を少なくし過ぎた場合、寄与率( $R^2$ )は小さくなり、残差のばらつきが大きくなったことから、調査結果の少ない地域については別途検討が必要である。

⑥本研究で行った表層土層厚の推定手法では、土層厚の厚い地点は推定表層土層厚との差が大きく過小評価している箇所が多い。斜面部の土層厚が厚い箇所は、崩壊が起こる可能性が高い箇所が多く土層厚を過小評価するのは危険である。そのため、土層厚の厚い地点における推定精度を向上させる手法の検討が必要である。また、本研究で使用した地形データは、1mグリッドデータおよび5mグリッドデータを使用し算出した地形量のみである。各地形量において最も地形条件や微地形を表現できるグリッドサイズを検証した上で、表層土層厚の推定を行う必要がある。さらに、調査結果が豊富でない地域についても、表層土層厚を推定するために、必要なデータ数についても検討する必要がある。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、国土交通省近畿地方整備局六甲砂防事務所には、兵庫県六甲地域の航空レーザー測量データを提供していただいた。この場を借りて深く謝礼申し上げます。

## 引用文献

- 1) 沖村孝：潜在崩壊土層厚分布を利用した表層崩壊発生位置に関する研究，新砂防，Vol.35，No.1，pp.9-18，1982.
- 2) 内田太郎・盛伸行・田村圭司・寺田秀樹・瀧口茂隆・亀江幸二：場の条件の設定手法が表層崩壊発生個所の予測に及ぼす影響，砂防学会誌，Vol.62，No.1，pp.23-31，2009.
- 3) 沖村孝：表層崩壊予知モデルに用いる表層土層厚推定法，新砂防，Vol.42，No.1，pp.14-21，1989.
- 4) 田中芳則：斜面表層の厚さと分布形態について－弾性波探査資料の分析－，応用地質，23巻，1号，pp.7-17，1982.
- 5) 逢坂興宏・塚本良則：自然斜面の土層の厚さについて，緑化工技術，12巻，3号，pp.1-6，1986.
- 6) 飯田智之・田中耕平：簡易貫入試験からみた土層深と地形の関係，地形，18巻，1号，pp.61-78，1997.
- 7) Heimsath, A. M., Diwtrich, W. E., Nishiizumi, K. and Finkel, R. C.: Cosmogenic nuclides, topography, and the spatial variation of soil depth, *Geomorphology*, Vol.27, pp.151-172, 1999.
- 8) 外山真・松四雄騎・千木良雅弘：航空レーザー測量によって得られる地形曲率に基づく土層厚の空間分布の経験的推定－京都市北東部の花崗岩流域を例として－，日本応用地質学会発表会講演論文集，pp.97-98，2011.
- 9) 坂井佑介・木下篤彦・小川紀一郎・田中慎：航空レーザー計測データを用いた地形解析による表層土層厚の推定，砂防学会誌，Vol.64，No.6，pp.38-42，2012.
- 10) 小寺凌・梶山敦司・浅井健一：六甲山地における表層土層厚と地形量の一考察，応用地質学会発表論文集，pp.219-220，2022.
- 11) (国研) 土木研究所：令和4年度土木研究所交流研究員報告書概要版，pp.19-22，2023.
- 12) 笠間太郎：六甲山地の花崗岩，地質学会誌，74巻，3号，pp.147-158，1968.
- 13) 藤田和夫・笠間太郎：大阪西北部地域の地質，地域地質研究報告，1982.
- 14) 千葉達朗・富田陽子・鈴木雄介・荒井健一・藤井紀綱・宮地直道・小泉市朗・中島幸信：航空レーザー計測にもとづく青木ヶ原溶岩の微地形解析，富士火山，山梨県環境研究所，pp.351-355，2007.
- 15) 沖村孝・田中茂：一試験地における風化花こう

- 岩斜面の土層構造と崩壊発生深さに関する研究，新砂防，Vol.33, No.1, pp.7-16, 1980.
- 16) 簡易貫入試験機による地盤調査，土木技術資料，Vol.13, No.2, 1971.
- 17) 大浦宏邦：統制変数の利用と注意事項，コンピュータ&エデュケーション，Vol.34, 2013.
- 18) 赤池弘次・甘利俊一・北川源四郎・樺島祥介・下平英寿：赤池情報量基準 AIC-モデリング・予測・知識発見-，共立出版，2007.
- (投稿受理：2023年9月27日  
訂正稿受理：2024年8月13日)

## 要 旨

表層崩壊の危険度や崩壊土砂の影響範囲を評価する上で表層土層厚を把握することは重要である。そこで、本研究ではどのようなデータを多変量解析に用いると表層土層厚の推定精度を良くすることができるかを検討した。そこで、本研究では、多変量解析を用いて表層土層厚を推定するために、各種データをどのように使用すると精度を良くすることができるかを検討した。多変量解析に用いる目的変数を2パターン設定（露岩調査結果の有無）、説明変数を2パターン設定（1mと5mグリッドデータから算出した地形データ）し、どの組み合わせが表層土層厚の推定に最適かを評価した。また、表層土層厚が浅いデータが多かったことから、浅い土層厚のデータ数を制限した場合の評価も行った。その結果、グリッドサイズによる推定の精度に差は認められず、どのパターンでも土層厚が厚い地点ほど過小評価する傾向がみられた。一方、調査土層厚と露岩調査結果を使用し、浅い土層厚のデータ数を制限することで表層土層厚の推定精度が向上した。以上のことから、多変量解析を用いて表層土層厚を精度良く推定するためには、調査土層厚と露岩調査結果を使用し、層厚ごとにデータ数の偏りを小さくすることが良いと考えられる。