【建設工学研究所論文報告集第 67 号〔報告〕2025 年 11 月】

表層崩壊リアルタイムハザードシステム構築における 表土層深の検討のレビュー

A Review on the Study of Surface Layer Depth during the Construction of the Real-time Hazard System for Slope Disasters at a Heavy Rainfall

窪 田　安 打
Yasu'uchi Kubota

１．はじめに

兵庫県と一般財団法人建設工学研究所が共同開発しているリアルタイムハザードシステム(以下、システムと呼称する)は、数値地形モデル（DEM）を用いた表層崩壊危険度予測手法を採用している。この手法は数値地形モデルのセルごとに地形、地盤、降雨等のデータを入力条件として、浸透流解析と無限長斜面安定解析により、降雨に伴って刻々と変化する斜面崩壊の危険度（安全率）を定量的に評価している。本システムの開発にあたり、筆者は主に現地調査と地盤モデルの構築を行ってきたが、特に表土層深は安定解析に影響を与える主要な入力条件であり、現地の表土層深を的確に反映した地盤モデルを設定することがシステムの精度向上に繋がると考えた。すなわちシステム上で表層崩壊しているが実際には崩壊が生じていない空振りが多く発生している傾向が認められる。本論はシステム構築を目的とした表土層深の研究に関するレビューを行うとともに、適切な調査方法による現地調査とデータのばらつきに対する地形地質的な原因の考察を行った上で、表土層深を設定することの重要性と今後の課題を述べる。なお、本論では、システムが 10m メッシュのセル単位で計算した結果、安全率 1 未満となるセルを「判定セル」と呼称する。また、過去降雨の再現計算の際に、実際に発生した表層崩壊に対して、判定セルが崩壊地に重なる場合は「捕捉」、判定セルが崩壊地に1つも無い場合は「見逃し」、崩壊地が無い場所に判定セルが生じる場合は「空振り」として呼称する。

２. 地盤モデルの表土層深の設定

システム構築において、地盤モデルの入力条件である表土層深は次の手順で設定している。1) システム構築範囲の代表箇所に対して現地踏査及び空中写真判読による地形区分を行い、過去の崩壊地と地形区分の関係を整理する。2) 同範囲で DEM を用いた自動処理による地形分類手法を作成して、全域の地形区分をおこなう。3) 既存資料や現地調査に基づき、地形区分（頂部小起伏面、谷壁斜面、谷底斜面）及び地質ごとに斜面勾配と表土層深の関係式を作成し、この関係式を用いてセルごとの表土層深を設定している。4)更に微地形や地質構造に応じて表土層深の変化が認められる地域では、現地調査に基づいて表土層深を設定している。

２．１　地形区分による表土層深の設定

表土層深の設定について、沖村他[1]は地域毎に調査データを整理して、表土層深－斜面勾配の関係を取りまとめることにより、地形区分や地質区分に応じた表土層深を設定している。この際、沖村他[2]は、表六甲地域のマサ土層の表層崩壊について、簡易貫入試験の Nd 値が 12 以下の深度までの土層が表層崩壊の深度に概ね対応すると述べていることから、これを表土層深と見なして試験箇所の表土層深と斜面勾配の関係を整理している[1]。なお Nd 値は、簡易貫入試験において 10cm 毎の貫入に必要な打撃回数である[3]。図-2.1 は神戸市域の花崗岩類分布域における地形区分毎の表土層深－斜面勾配であり、六甲花崗岩と布引花崗閃緑岩を一括したものである[4][5]。図-2.1 は地形区分ごとに表土層深と斜面勾配の中央値付近を折れ線で示したものである。さらに、図-2.2 は、これらの折れ線を用いて過去の災害の再現計算を行い、最適解が得られる関係式として微調整されたものである（沖村他[1][6] の後、一部見直しされたものを示す）。

沖村他[1]は、この地形区分ごとの表土層深と斜面勾配の関係式を、自動処理により作成した表六甲全域の地形区分に適用することで、全域の表土層深データを作成した。

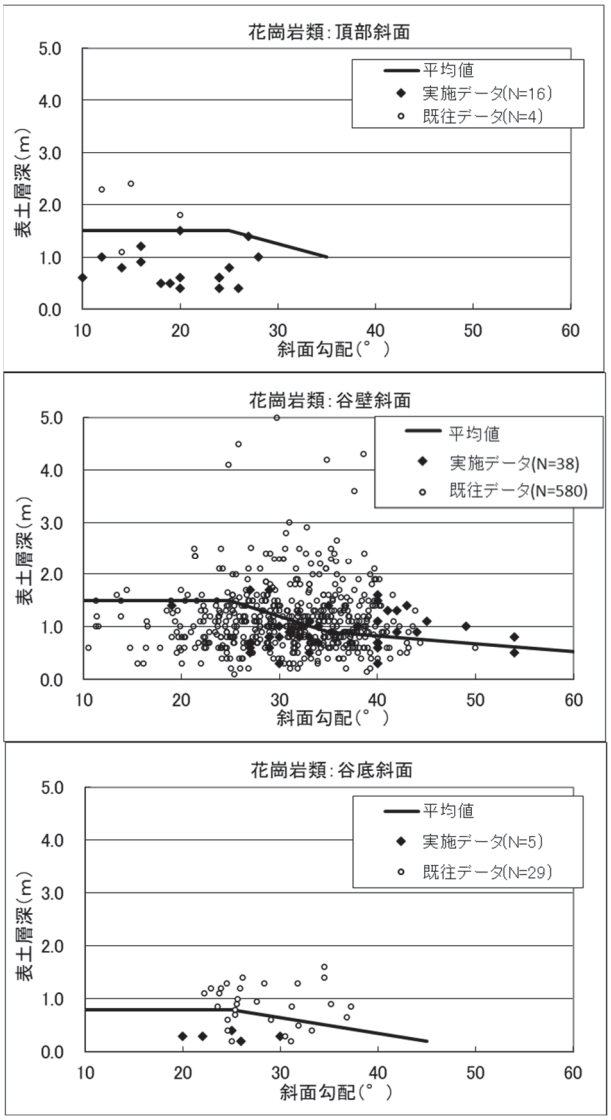

図 - 2.1　表土層深－斜面勾配の関係

2．2　微地形による表土層深の設定

上記した地形区分毎の表土層深と斜面勾配の関係式は一般的な山腹斜面をモデル化したものであり、0 次谷や崩壊地等の微地形における表土層深は表現していない。この微地形に対して、現地調査により表土層深を把握する必要がある一方で、0 次谷や崩壊地は急斜面であることが多いため、調査困難な場合が多い。窪田[5] は従来のボーリング調査や簡易貫入試験だけでなく、その他の簡易で多数の試験を実施できる方法を選択するなどして、より現地状況を反映できる方法を確立する必要があると報告している。

この課題に対して、沖村他[7]及び窪田・井上[8] は微地形の影響に着目して、谷壁斜面の地形変化として代表的な 0 次谷や崩壊地の現地踏査と表土層深の調査を実施した。その際、その他の簡易で多数の試験値が得られる方法も併せて検討した。以下に窪田・井上[8]の概要を示す。

調査地は神戸市の花崗岩分布域の谷壁斜面である。調査手順は航空写真を用いた地形判読による地形区分や、

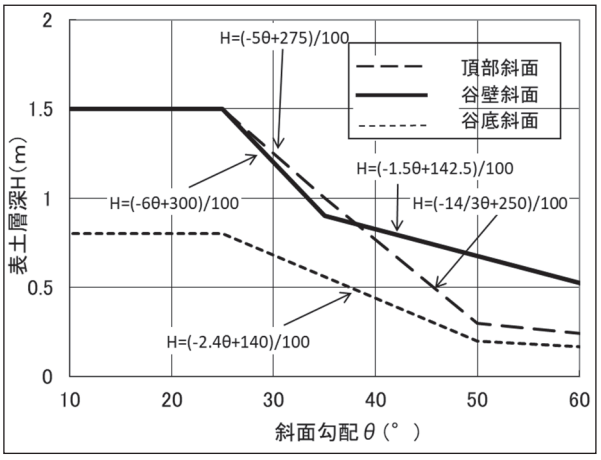

図 - 2.2　地形区分と表土層深－斜面勾配の関係式

現地踏査による 0 次谷、崩壊地、及び露岩分布を把握して微地形を整理したうえで、図-2.3 に示す位置で表土層深の調査を行った。調査方法は簡易貫入試験及び土層強度検査棒 [9]である。沖村他 [1]は簡易貫入試験やボーリングデータを用いた表土層深の検討を行っているが、より簡便に測定できる土層強度検査棒による試験を実施して、沖村他 [1]の表土層深と比較した。この調査は礫あたりなどの可能性を考慮して、調査箇所毎に計 10 点の試験を実施して、最大値と平均値を整理した。

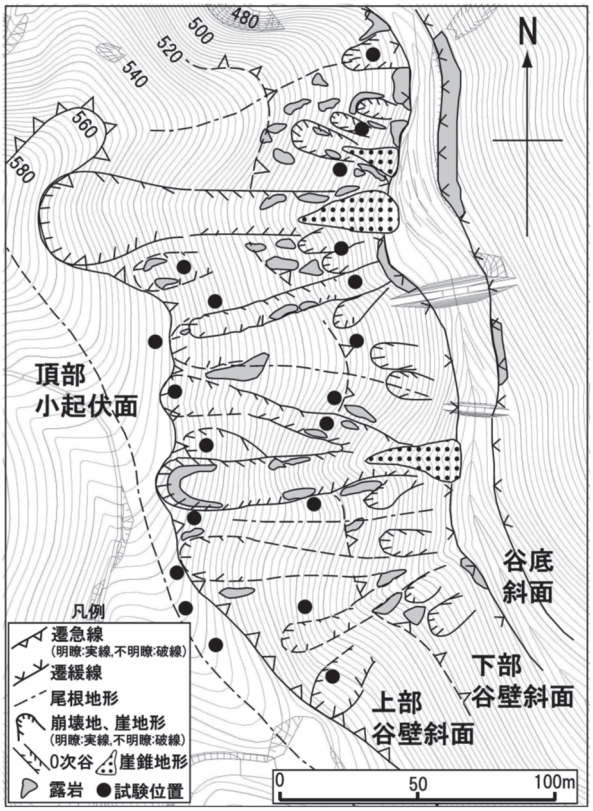

図 - 2.3　調査地の地形区分図 [8]

調査結果を 0 次谷と崩壊地を除いた谷壁斜面における表土層深と斜面勾配の関係として図-2.4 に示す [7) 8)]。簡易貫入試験の調査データは、表土層深が 0.5～2.5m の範囲でばらつきが大きい。特に極端に厚い表土層深が測定されるケースは、深い深度で値が急減するようなパターンが多い。対して土層強度検査棒の調査データは、表土層深が 0.5～1.1m の範囲でプロットされる。土層強度検査棒の平均値の上限付近と最大値の平均は、図-2.2 に示した表土層深と斜面勾配の関係式に近いデータとなる傾向がある。土層強度検査棒が貫入できる地盤の強度は簡易貫入試験の Nd 値 10～15 程度であるため [9]、表土層の深部に局所的に硬い箇所が分布する場合は、貫入深度が制限されることで簡易貫入試験による表土層深に比べてやや浅くなることが想定される。結果として、斜面の中央値付近の表土層深に近い値を示す傾向があると考えられる。

また、図-2.5 に 0 次谷における表土層深と斜面勾配の関係を示した [7) 8)]（既往の簡易貫入試験データは沖村他 [7)]）。0 次谷の簡易貫入試験の調査データはばらつきがあるものの、表土層深と斜面勾配の関係式 [1)]に対して、やや薄い傾向がある。これは、0 次谷は集水地形であり浸食が進行する場であるため、表土層深が周囲の谷壁斜面よりも薄くなっていると考えられる。なお、土層強度検査棒の一部の調査データは極端に薄い値を示すが、その理由として 0 次谷に堆積する表土は細粒分が流出して砂礫主体となっている場合が多いため、礫あたりの影響と考えられる。

沖村他 [7)]は 0 次谷沿いに空振りが多発する点について、地盤モデルよりも現地の表土層深が薄いことが原因である

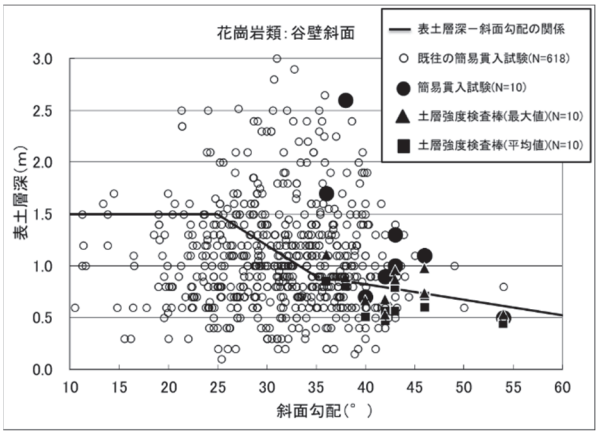

図 - 2.4　谷壁斜面における表土層深－斜面勾配の関係

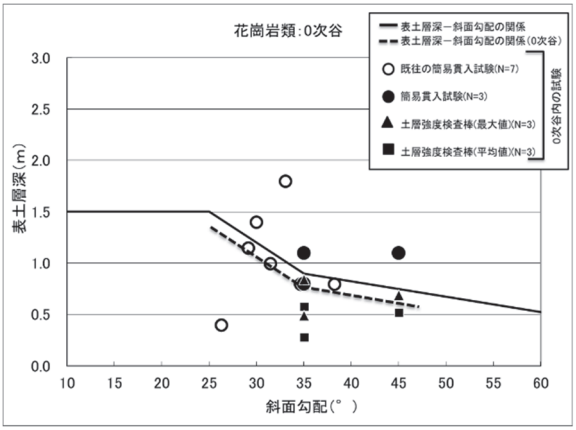

図 - 2.5　0 次谷における表土層深－斜面勾配の関係

と考えた。このため、0 次谷の表土層深について、簡易貫入試験データに基づいて、周辺の谷壁斜面よりも約 0.1m 薄いと想定した。更に、沖村他 [7]は、2011 年（平成 23 年）9 月の台風 12 号、15 号の降雨で 0 次谷の空振りセルに対して安全率が 1 を切るときの表土層深の上限値を逆算的に求めた。その結果、0 次谷の表土層深を周辺の谷壁斜面よりも 0.1～0.15m 薄くする変更により空振りは概ね解消されると試算したことから、0 次谷の表土層深を周辺の谷壁斜面よりも 0.15m 薄く設定した（図-2.5 の破線の関係式）。

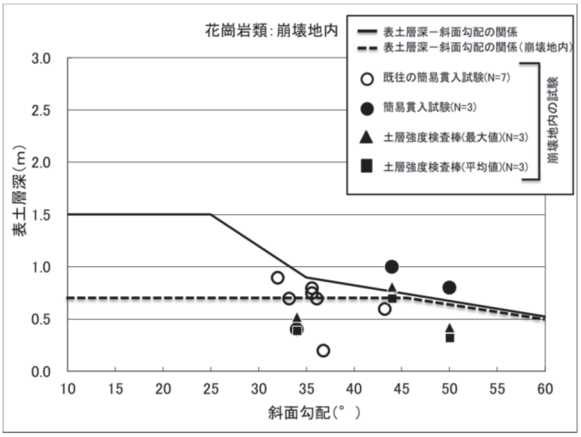

図 - 2.6　崩壊地における表土層深－斜面勾配の関係

さらに、図-2.6 に崩壊地内における表土層深と斜面勾配の関係 [7) 8)]を示した（既往の簡易貫入試験データは沖村他 [7)]）。崩壊地内における簡易貫入試験の調査データのばらつきは比較的小さく、山腹斜面の表土層深よりも薄い傾向が認められる。崩壊地は土砂層が崩落しているため一般的な山腹斜面よりも薄い表土層深を有しており、長期的には風化の進行により周辺の山腹斜面と同程度の表土層深へ回復する過程にあると考えられる。なお、土層強度検査棒の調査データは、上記の 0 次谷と同様の理由で極端に薄い値が存在する。沖村他 [7)]は簡易貫入試験データに基づいて、昭和 42 年崩壊地の表土層深は斜面勾配によらず 0.7m 程度の中央値が推定されたため、昭和 42 年の崩壊地に対応するセルの表土層深を一律 0.7m に設定した（図-2.6 の破線の関係式）。

上記の通り 0 次谷や崩壊地内の表土層深について、現地調査に基づいた表土層深と斜面勾配の関係式により地盤モデルを設定しているが、現地調査は微地形の位置を把握した上で表土層深を調査することが必要である。急峻な斜面地では簡易貫入試験による調査が困難な場合が多いため、砂礫の表土が分布する箇所を除いて土層強度検査棒を用いた調査について有効性を検証しながら活用することが適切であると考えられる。

２．３　地質区分による表土層深の設定

地質の形成年代や形成過程の違いにより、基盤の地盤強度や風化の程度は大きく異なるため、基盤の風化等により形成される表土層の表土層深や地盤定数も異なると考えられる。このため、地質毎に調査データを整理することにより、表土層の地盤工学的特性を検討することが必要となる。兵庫県 [10)]は現地調査データに基づいて斜面勾配 30° 以上の範囲における地質別の想定崩壊深さと斜面勾配の関係を示した。これを踏まえてシステム構築における地盤モデルに必要な表土層深については、兵庫県 [10)]のデータと既往資料や追加調査を合わせることで、図-2.7 及び表-2.1 に示す地質別の表土層深と斜面勾配の関係として整理された [11)~18)]。なお本論では、これまでに収集された谷壁斜面における調査データを合わせて示すとともに、地域や調査方法の違いによる影響も考慮して凡例を区分した。

最も多いデータ数である花崗岩類は斜面勾配 30-45° の範囲で表土層深の値の幅が大きく、他の地質に比べて調査データのばらつきが顕著である。特に 2m を超えるような厚い表土層深も分布しており、実施地域の違いに関わらず、同様の傾向が認められる。また、ボーリングデータを除いて、調査方法の違いによる表土層深の傾向の差異は認められない。ボーリングデータによる表土層深は他調査方法と比較して薄い傾向を示す点は、根拠となる標準貫入試験の試験間隔が約 1m であることが原因と考えられる。また、古第三紀堆積岩（神戸層群）は斜面勾配 30-50° の範囲にやや厚い表土層深が分布する。対して古第三紀～白亜紀酸性火山岩類（矢田川・生野・相生・有馬層群）、新第三紀中新世堆積岩（北但層群）、新第三紀鮮新世～第四紀更新世の段丘、大阪層群他、及び中・古生代堆積岩（丹波帯、超丹波帯他）の調査データは、表土層深と斜面勾配の関係式に対して±0.5m 程度の範囲に概ね収まっており、斜面勾配 30-

50°においても表土層深と斜面勾配に負の相関関係が認められ、調査データのばらつきは相対的に小さい。これは、調査方法（ボーリングを除く）や実施地域の違いに関わらず、同様の傾向を示している。各地質の調査データは上記の微地形の影響を含んでいる可能性があるものの、花崗岩類及び古第三紀堆積岩（神戸層群）の調査データに顕著なばらつきが認められることは、同地質の特性が影響していると考えられる。この原因として、花崗岩類は深成岩の組織の影響により、マサ化と呼ばれる風化が生じやすい地質であるため他の地質よりも表土層深は厚くなる傾向があり、特に基盤に断層破砕帯等の弱層が分布する場合や熱水変質の影響を受けた地域では、深層風化により表土層深が更に厚くなるケースが考えられる。また、古第三紀堆積岩（神戸層群）は第三紀の堆積軟岩であり、泥岩・シルト岩はスレーキングによる土砂化が進行して表土層深が厚くなる場合が考えられる。また、神戸層群は地すべりが発生しやすい地質であるため、地すべり地は変形や擾乱による土砂化が進行して極端に厚い表土層を形成している場合が考えられる。以上の特徴により、斜面勾配 30-50°の範囲は表土層の削剥が顕著であるにもかかわらず、これらの地質を基盤とする斜面の一部では、削剥を上回る表土層が発達していると考えられる。更に、古第三紀堆積岩（神戸層群）は神戸市と三田市において、表土層深と斜面勾配の関係式が異なる。また、中・古生代堆積岩（丹波帯、超丹波帯他）では

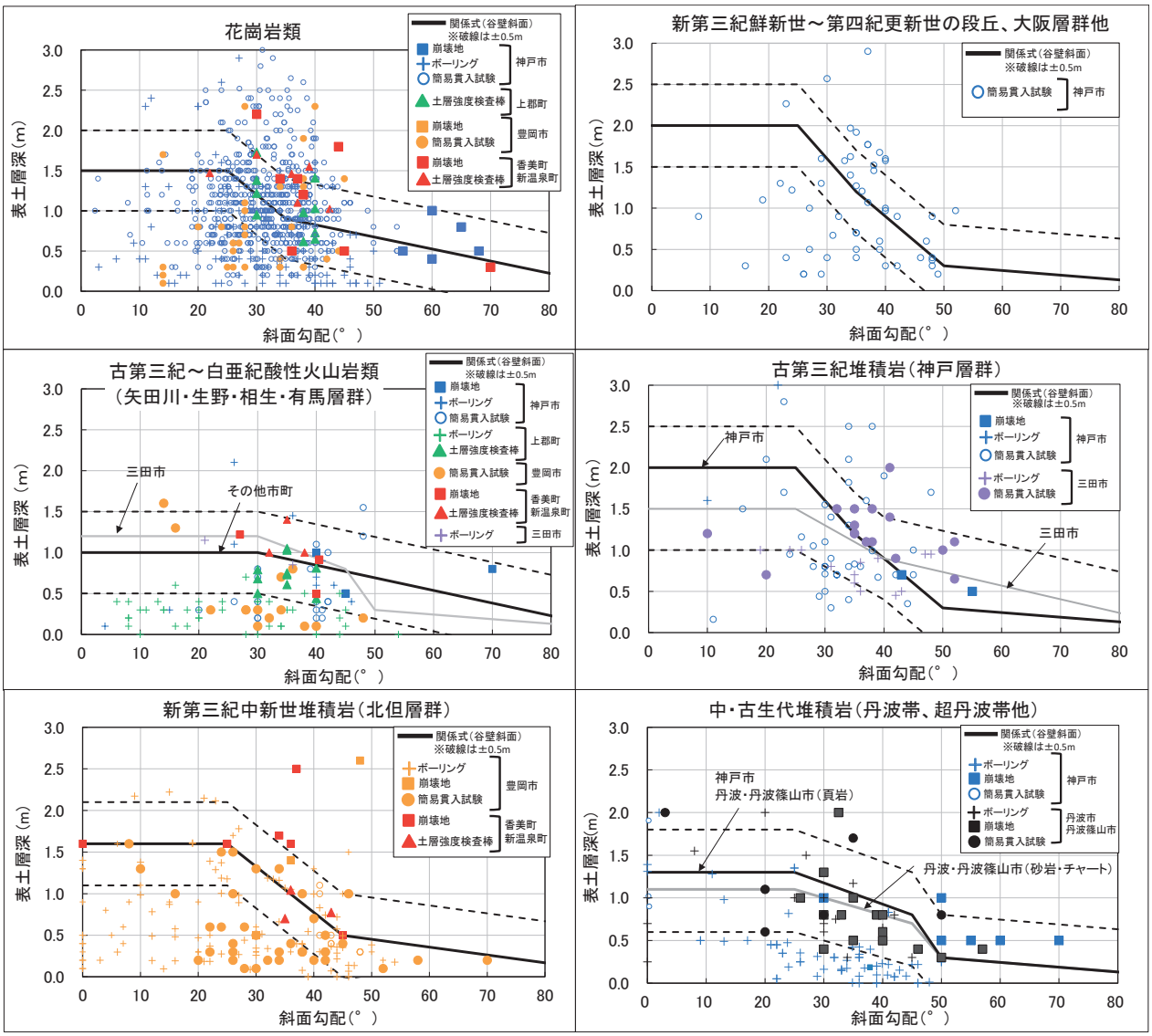

図 - 2.7　谷壁斜面における地質別の表土層深－斜面勾配の関係

（既往成果 [11)～18)] を編集、谷壁斜面における試験を表示、既往成果後の試験データを追加）

構成される岩質の違いによる表土層深と斜面勾配の関係式が整理されており、分布地域の違いや岩質の違いも表土層深に影響を与えることが示されている。以上の通り、地質毎に表土層深の特徴は大きく異なるため、地質区分毎に表土層深を検討する必要がある。また、同じ地質であっても分布する地域の違いや構成される岩質の違いが表土層深に影響を与えることを考慮したうえで現地調査と表土層深のモデル化を行う必要がある。

表 - 2.1　谷壁斜面における地質別の表土層深－斜面勾配の関係表

地質区分	斜面勾配(°)	表土層深(m)	斜面勾配(°)	表土層深(m)	地質区分	斜面勾配(°)	表土層深(m)	斜面勾配(°)	表土層深(m)
花崗岩類	神戸市・上郡町・豊岡市・香美町・新温泉町・三田市				新第三紀鮮新世～第四紀更新世の段丘、大阪層群他	神戸市			
	0.000	1.500				0.000	2.000		
	25.000	1.500				25.000	2.000		
	35.000	0.900				35.000	1.200		
	90.000	0.075				50.000	0.300		
						90.000	0.075		
古第三紀～白亜紀酸性火山岩類（矢田川・生野・相生・有馬層群）	神戸市・上郡町・豊岡市・香美町・新温泉町		三田市		古第三紀堆積岩（神戸層群）	神戸市		三田市	
	0.000	1.000	0.000	1.200		0.000	2.000	0.000	1.500
	30.000	1.000	30.000	1.200		25.000	2.000	25.000	1.500
	90.000	0.075	45.000	0.800		35.000	1.200	40.000	0.900
			50.000	0.300		50.000	0.300	90.000	0.075
			90.000	0.075		90.000	0.075		
新第三紀中新世堆積岩（北但層群）	豊岡市・香美町・新温泉町				中・古生代堆積岩（丹波帯、超丹波帯他）	神戸市・丹波市及び丹波篠山市（頁岩）		丹波市及び丹波篠山市（砂岩・チャート）	
	0.000	1.600				0.000	1.300	0.000	1.100
	25.000	1.600				25.000	1.300	25.000	1.100
	45.000	0.500				45.000	0.800	45.000	0.700
	90.000	0.075				50.000	0.300	50.000	0.300
						90.000	0.075	90.000	0.075

２．４　地質構造による表土層深の設定

神戸市及び豊岡市の過去の豪雨災害時の再現計算検証により、本システムは断層地形沿いにおいて表層崩壊の見逃しが生じやすいことが報告された [21) 22)]。システムの地盤モデルは一般的な山腹斜面を想定して設定されているため、断層地形沿いでは地盤モデルが現地の表土層深や地盤定数と異なることが原因して表層崩壊の再現性が低いものと推定された。この断層地形沿いでは、断層面を中心に断層運動による地盤の変形によって基盤が破砕された、いわゆる断層破砕帯が分布している。この断層破砕帯の幅や物性は母岩の岩質の違いや断層の形成時期等により大きく異なっており、現地調査やボーリング調査に基づいた研究により、断層境界で接した異なる地質毎に断層破砕帯の幅や性状が報告されている [19) 20)]。このような研究事例を踏まえて、沖村他 [21) 22)]は現地調査にもとづき、花崗岩類及び古第三紀～白亜紀酸性火山岩類の断層地形沿いにおける断層破砕帯の幅を整理し、地盤モデルよりも現地の表土層深は厚いことを報告した。図 2.8 及び表-2.2 に示すように、神戸市及び豊岡市における花崗岩類の分布域における断層地形沿いでは、一般的な山腹斜面の表土層深と斜面勾配の関係よりも概ね厚い傾向であり、これらの計測値の中央値付近において神戸市では斜面勾配 45° 未満の範囲で、山腹斜面と比較して最大 0.5m 厚い関係が得られた。また、豊岡市では斜面勾配 38° 未満の範囲において、山腹斜面と比較して最大 0.2m 厚い関係が得られた。一方、古第三紀～白亜紀酸性火山岩類の分布域の断層地形沿いでは、計測データが少ないものの山腹斜面よりも表土層深が厚い関係の設定がなされている。以上の通り断層地形沿いでは、地盤モデルの表土層深とその他の地盤定数を見直すことで過去の豪雨災害における再現計算により、システムの適中率の向上が報告されている [21) 22)]。今後、他地域のモデル化を行う際に、上記の２つの地質区分内の断層地形沿いにおいて、同様の調査と表土層深の設定を行うことが適切である。また、沖村他 [22)]は斜面上における崖錐地形においてもシステムの見逃しを報告しており、地盤モデルの見直しによる適中率の向上が期待されると示している。

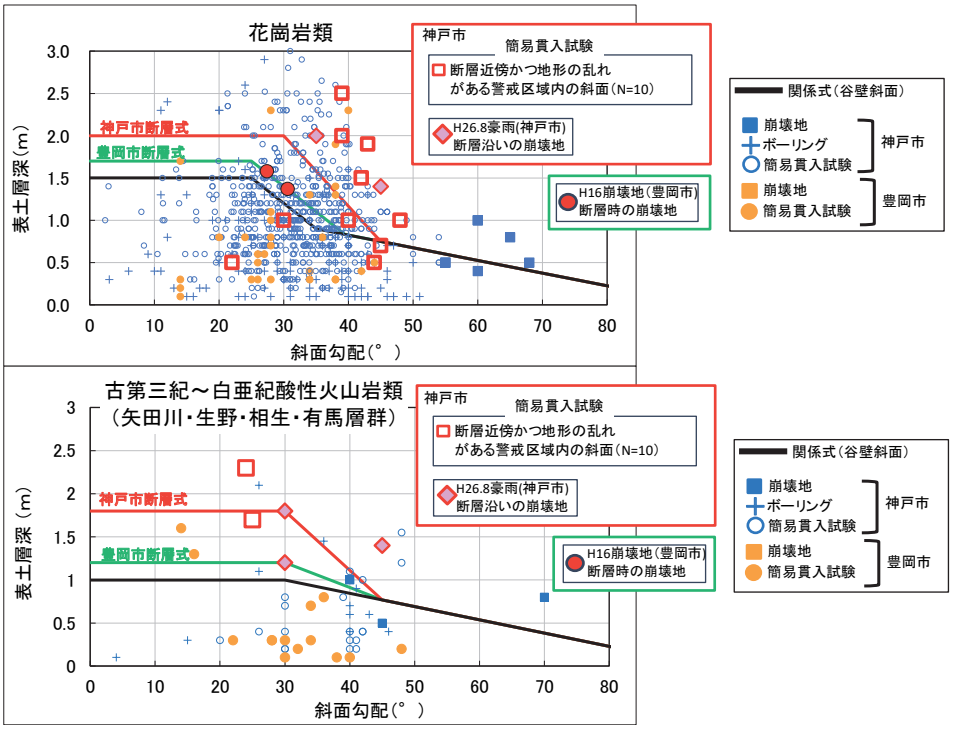

図 - 2.8　断層地形沿いの表土層深－斜面勾配の関係 [22)]

（表土層深―斜面勾配の関係式はプロットデータの中央値付近で検討している）

表 - 2.2　断層地形沿いの表土層深－斜面勾配の関係表

地質区分	斜面勾配(°)	表土層深(m)	斜面勾配(°)	表土層深(m)
	神戸市		豊岡市	
花崗岩類	0.000	2.000	0.000	1.700
	30.000	2.000	25.000	1.700
	45.000	0.750	35.000	1.100
	90.000	0.075	39.444	0.833
			90.000	0.075
	神戸市		豊岡市	
古第三紀～白亜紀酸性火山岩類(矢田川・生野・相生・有馬層群)	0.000	1.800	0.000	1.200
	30.000	1.800	30.000	1.200
	45.000	0.76875	45.000	0.76875
	90.000	0.075	90.000	0.075

3．まとめと今後の課題

システムの構築において、地盤モデルの主要な入力条件である表土層深は、現地調査に基づいて地形や地質の違いに応じて設定することでシステムの精度向上を図っており、以下の通りまとめられる。

1）地形区分（頂部小起伏面、谷壁斜面、谷底斜面）ごとに斜面勾配と表土層深の関係式を整理し、この関係式を用いて山腹斜面の表土層深を設定している。

2）0 次谷や崩壊地形等の微地形は周辺の山腹斜面よりも薄い表土層からなる傾向があるため、微地形における斜面勾配と表土層深の関係式を整理し、この関係式を用いて微地形に対応するセルの表土層深を設定している。

3）地質毎に表土層深は大きく異なるため、地質区分毎に斜面勾配と表土層深の関係式を整理して山腹斜面の表土層深を設定している。また、同じ地質であっても分布する地域の違いや構成される岩質の違いが表土層深に影

響を与える場合があるため、各地域にて地質毎に現地調査と表土層深のモデル化を考える必要がある。

4）花崗岩類や古第三紀～白亜紀酸性火山岩類が分布する地域の断層地形沿いは、周辺の山腹斜面よりも表土層深が厚い傾向であるため、断層地形沿いの斜面勾配と表土層深の関係式を整理して表土層深を設定している。今後の同地質における断層地形沿いでは本論で示した調査と設定を行うことが適切である。

上記で示した簡易貫入試験の Nd 値が 12 以下の深度を表土層深として定義している点について、今後、他地域における地盤モデルの検討時には検証が必要である。また、表土層の力学的な設定方法について、物理モデルとして計算する上での改良の可能性を今後検討することが適切と考えられる。

現在、システムを整備済みの市町では行政向けに本システムからの情報を提供しており、運用中に経験した実降雨と発生した土砂災害に対するシステムの判定結果を検証して精度向上に努めている。近年の豪雨災害では土砂災害警戒区域内で発生した斜面災害を予測し、危険判定となる警戒区域を絞り込んだ情報を提供した実績が報告されており、本システムの有効性が認められている [23)]。その中で、土砂災害警戒情報が発令される規模の降雨時には、空振りが生じるケースが目立つ問題点が挙げられている [23)]。特に土砂災害警戒区域内で空振りが生じた箇所では、現地確認を行って地盤モデルの設定条件と現地との差異を検討しており、多くの場合では現地の表土層深が地盤モデルに比べて薄いことが空振りの原因であることが確認されている [23)]。これは、上記で示した地盤モデルの改良以外の検討が必要であることを示している。これまでに過去の豪雨災害に対して崩壊の捕捉率を向上させる検討は進められてきたが、空振りを低減させて崩壊予測箇所を更に絞込むことで本システムの長所を高めることが、今後の課題として挙げられる。

4．おわりに

本論はシステムの構築における地盤モデルの主要な入力条件である表土層深について、地形、地質及び地質構造等を考慮した現地調査に基づいて設定することで、システムの過去災害の再現性が高まり、崩壊予測精度の向上につながることを示した。本論で示した現地調査のデータは、調査地点の条件により多様な結果が得られるが、その条件毎にデータを整理することで地盤を的確に表現できることを示している。このため、今後の地盤モデルの検討において、既往資料の整理や現地調査を行う際に、適切な調査方法と調査地点の地形地質的条件を踏まえて行う必要がある。この過程に基づいて評価した表土層深を地盤モデルに設定することが、システムの崩壊予測精度の向上につながるものと考える。

謝　辞

本報告に関するこれまでの検討に際しては、兵庫県土木部砂防課様、一般財団法人建設工学研究所元代表理事の沖村孝神戸大学名誉教授、神戸市立工業高等専門学校の鳥居宣之教授、応用地質株式会社の故南部光広技師長及び中川渉博士、ワーキング関係者皆様にご指導いただきました。ここに感謝いたします。本プロジェクトの推進に関しては、兵庫県土木部砂防課様の全面的なご支援を受けました。この場をお借りして、関係各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

1)　沖村　孝・鳥居宣之・尾﨑幸忠・南部光広・原口勝則：豪雨による土砂災害を対象としたリアルタイムハザードシステムの構築、砂防学会誌、Vol.63、6、4-12、2011.

2)　沖村　孝・田中　茂：一試験地における風化花こう岩斜面の土構造と崩壊発生深さに関する研究、新砂防、116、

7-16、1980.

3) 社団法人地盤工学会：地盤調査の方法と解説、274-279、2004.

4) 兵庫県神戸土木事務所：六甲山系土砂災害危険度予測システム詳細検討業務　報告書、2010.

5) 窪田安打・野口良彦・岡本由貴・中川　渉：豪雨による土砂災害を対象としたリアルタイムハザードマップシステムの検討－地形地質条件のモデル化－、応用地質技術年報、32、57-66、2013.

6) 沖村　孝・鳥居宣之・南部光広・原口勝則：表層崩壊リアルタイムハザードシステムの構築に際して生じた課題と対策、建設工学研究所論文報告集、52、119-137、2010.

7) 沖村　孝・鳥居宣之・南部光広・原口勝則：表層崩壊リアルタイムハザードシステムの構築に際して生じた課題と対策（2)、建設工学研究所論文報告集、53、153-173、2011.

8) 窪田安打・井上善夫：花崗岩分布域における地形区分ごとの表土層深の特徴、平成 25 年度日本応用地質学会研究発表会講演論文集、195-196、2013.

9) 独立行政法人土木研究所：土層強度検査棒による斜面の土層調査マニュアル（案)、土木研究所資料、p40、2010.

10) 兵庫県砂防課：土砂災害防止法基礎調査マニュアル（案)、2005.

11) 兵庫県光都土木事務所：土砂災害危険度予測システム設計業務委託兵庫県箇所別土砂災害危険度予測システム上郡町域モデル設計・構築業務　報告書、2013.

12) 兵庫県宝塚土木事務所：三田土木事務所管内土砂災害危険度予測システム設計・構築業務　報告書、2013.

13) 兵庫県豊岡土木事務所：豊岡土木事務所管内土砂災害危険度予測システム設計・構築委託　報告書、2014.

14) 兵庫県西宮土木事務所：西宮土木管内土砂災害危険度予測システム構築業務　報告書、2015.

15) 兵庫県丹波土木事務所：丹波市域・篠山市域　箇所別土砂災害危険度予測システム構築業務　報告書、2015.

16) 兵庫県神戸土木事務所：兵庫県箇所別土砂災害危険度予測システム神戸市域モデル構築業務　報告書、2016.

17) 兵庫県新温泉土木事務所：新温泉土木管内 箇所別土砂災害危険度予測システム構築業務（新温泉町域モデル） 報告書、2018.

18) 兵庫県新温泉土木事務所：新温泉土木管内箇所別土砂災害危険度予測システム構築業務（香美町域モデル）報告書、2019.

19) Yasu'uchi Kubota・Toru Takeshita・Koshi Yagi・Tetsumaru Itaya、Kinematic Analyses and Radiometric Dating of the Large-Scale Paleogene Two-Phase Faulting Along the Median Tectonic Line, Southwest Japan、Tectonics、39、https://doi.org/10.1029/2018TC005372、2020.

20) Hideto Uchida・Yoshitaka Hashimoto・Michiharu Ikeda・Takeshi Tsuji・Kozo Onishi・Naoki Nishizaka、Quantifying fault damage zone properties using geological and geophysical data along the Median Tectonic Line, Southwest Japan、Progress in Earth and Planetary Science、12、102、https://doi.org/10.1186/s40645-025-00773-9、2025.

21) 沖村孝・鳥居宣之・窪田安打・笠原拓造・鏡原聖史・葛巻怜香・関英理香・根本信行・濱本拓志：表層崩壊リアルタイムハザードシステムの構築に際して生じた課題と対策（15)、建設工学研究所論文報告集、66、65-92、2024.

22) 沖村孝・鳥居宣之・窪田安打・笠原拓造・鏡原聖史・中川渉・葛巻怜香・関英理香・山道美友：表層崩壊リアルタイムハザードシステムの構築に際して生じた課題と対策（16)、建設工学研究所論文報告集、67、2025.（印刷中)

23) 沖村孝・鳥居宣之・鏡原聖史・窪田安打・笠原拓造・葛巻怜香・関英理香・根本信行・濱本拓志：表層崩壊リアルタイムハザードシステムの構築に際して生じた課題と対策（14)、建設工学研究所論文報告集、65、55-83、2023.

著　者

窪田　安打　　客員研究員　応用地質株式会社、博士（理学）、応用地質学