

きめ細かな土砂災害危険度情報の作成技術の開発

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 22～平 25

担当チーム：火山・土石流チーム

研究担当者：石塚忠範、内田太郎

【要旨】

斜面崩壊の発生予測を行う上で、土層厚の計測データが重要であることが広く認識示されている一方で、土層厚の計測密度が表層崩壊の発生予測結果に及ぼす影響を検討した事例はほとんどない。そこで、当チームが開発し、有効性が検証されたモデルを用いて土層厚の計測密度と発生予測結果の関係を分析した。その結果、斜面崩壊に必要な定常降雨強度（ r_c ）の算出結果は、斜面勾配や集水面積よりも土層の計測密度に支配されていることがわかった。また、土層厚の計測密度を既往の崩壊地幅と同程度とした場合、表層崩壊の危険度評価を良好に行えることを示した。

キーワード：斜面崩壊、土層厚、斜面勾配、集水面積、簡易貫入試験

1. はじめに

1980 年代以降、表層崩壊の発生場所を予測する数値モデルとして、浸透流解析等の雨水流出に関するモデルと斜面安定解析を組み合わせた手法が提案されてきた^{例え 1)～7)}。さらに、近年のコンピュータ能力の向上に伴い、メッシュサイズ、計算時間刻みの細かい計算や複雑な過程を取り入れたモデルの計算が可能となってきた。しかし、物理モデルで複雑な自然現象を全て表現しようとする、物理モデル中のパラメータが増え、パラメータの計測に多大な労力がかかるという問題が生じる。そのため、1 斜面といった小さなスケールを対象とした検討を除くと、表層崩壊発生予測計算における土層厚、土壌の物理性は代表値を用いるものとし、流域内で一様、もしくは数点の測定結果に基づく近似値を用いることが多い^{2)、7)}。そこで、著者らは、表層崩壊の発生予測においては、数値モデルの複雑さに入力条件となるデータ取得がついていけない状態に陥っている可能性、言い換えれば、表層崩壊の予測に関しては、モデルのパラメータの設定に係わるデータ取得が予測精度の 1 つの制約条件となっている可能性を指摘した⁸⁾。その上で、物理モデルの入力条件のうち、測定が比較的容易な地形、土層厚等の基本的に実測できるもののみに構成されている簡易な物理モデルを用いて、表層崩壊の発生箇所の予測計算を行い、モデルの入力条件の設定方法の違いが表層崩壊発生予測の精度に及ぼす影響を検討した。その結果、比較的単純な危険度評価手法であっても、土層厚の空間

分布を用いるとともに、地形量の算出に基岩面を用いた場合、表層崩壊の相対的な危険性を比較的精度良く表現することが可能であることを示した⁹⁾。

一方、無限長斜面安定解析式に対し、感度分析を行った研究では、基岩勾配と表土層厚が特に安全率に影響を及ぼすことが指摘されており、同様に土層厚の計測が表層崩壊発生場所を予測する上で、重要であることが示されている⁹⁾。また、解析手法と平行して斜面の土層厚の計測手法の開発¹⁰⁾が行われ、実際の斜面で土層厚の計測が行われてきた。その結果、山地斜面の土層厚は空間による変動が大きいことが報告されている^{例え 1)、11)、12)}。また、斜面上で土層厚を計測するためには大きな労力を必要とすることから、表面地形から斜面の土層厚を推定する手法の検討も行われてきた^{例え 13)、14)}。しかし、現時点まで、表面地形から土層厚を推定する有効な手法は開発されていないのが現状である。このことは、数点の測定では代表値が得にくく、斜面の土層厚の空間分布を把握するためには、多くの点の観測が必要であることを示唆している。しかし、依然として、土層厚の計測密度が表層崩壊の発生予測結果に及ぼす影響を検討した事例はほとんどない。そこで、本研究では、有効性が検証されたモデル⁸⁾を用いて、土層厚の計測密度が表層崩壊の発生予測結果に及ぼす影響について、明らかにすることを目的とし、検討を実施した。

2. モデルと対象地域

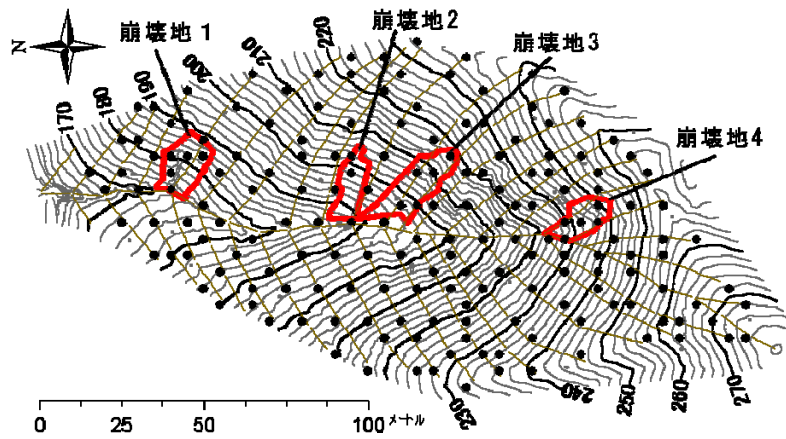


図-1 検討対象地域（コンターは2m間隔、図中の黒点は土層厚の計測点）

2. 1 モデル

本研究で用いるモデル⁸⁾では、地下水位を定常状態（ある地点の上流域の集水域内における降雨強度は一定で、その降雨が全て地下水として流出するものとし、その地点に流れる地下水流量の時間的変化がない）と仮定した。その上で、無限長斜面の安定解析を用いて、斜面崩壊（安全率が1となる）に必要な定常降雨強度（ r_c ）（以下、「最小定常崩壊発生降雨強度」と呼ぶ）を式(1)より算出するものである。算出された r_c の値が小さいほど相対的な表層崩壊発生危険度が高いことを表している。

$$r_c = \frac{K_s \tan I \cos I \{c - \gamma_t h \cos I (\sin I - \cos I \tan \phi)\}}{A \{ \gamma_w \cos I \tan \phi + (\gamma_s - \gamma_t) (\sin I - \cos I \tan \phi) \}} \quad \dots\dots(1)$$

ここで、 r_c ：最小定常崩壊発生降雨強度[m/s]、 I ：勾配[°]、 A ：単位幅あたりの集水面積[m²/m]、 h ：土層厚[m]、 c ：土層の粘着力[kN/m²]、 ϕ ：土層の内部摩擦角[°]、 K_s ：土層の飽和透水係数[m/s]、 γ_s ：土層の飽和時単位体積重量[kN/m³]、 γ_t ：土層の不飽和時単位体積重量[kN/m³]、 γ_w ：水の単位体積重量[kN/m³]である。

r_c [m/s]は任意の地点で土層の単位体積重量、土層厚、斜面勾配、土の粘着力、土の内部摩擦角、飽和透水係数、集水面積をもとに式(1)より求まる。ただし、この式(1)は、地下水位が地表面以下にある範囲で適応可能である。そこで、式(1)より算出された r_c に対して式(2)より適用範囲内であるか判別する。

$$r_c < \frac{K_s h \tan I}{A} \quad \dots\dots(2)$$

式(2)の条件を満足する場合は、式(1)より算出さ

れた r_c を適用し、式(2)の条件を満たさない場合は、地表面に地下水面が達しても表層崩壊が発生しないことを表していることから、表層崩壊のおそれのない点として評価する。なお、以下については、 r_c の値を実用上多く用いられている単位[mm/h]に換算し標記する。

2. 2 対象地域

本研究の対象地域は、広島市街地から西方約11kmに位置する八幡川流域の荒谷川流域内の右支渓とした。調査地域周辺には、基盤岩として広島花崗岩類が広範囲に分布し、場所により風化が進んでいる。対象地域の集水面積は0.014km²、斜面勾配は12～54°で平均36°である。同地域は、森林に覆われており、斜面下部から中腹部は、針葉樹の人工林、上部は広葉樹が主に分布している。1999年6月には、総雨量417mm、最大時間雨量63mmの豪雨（魚切ダム：対象地域より北北西へ約1.4km）により、荒谷川で土石流が発生し、多くの被害が発生している。本研究の対象地域内においても、斜面崩壊が4箇所発生した（図-1）。なお、1999年6月の豪雨時に広島で発生した土石流・斜面崩壊は1時間降雨量の最大値出現時刻と概ね一致していたことが報告されている¹⁵⁾。また、同地域では、2003年より流域末端における流量観測および斜面における含水率、間隙水圧の観測が継続されている。

3. 最小定常崩壊発生降雨強度の算定

3. 1 土層厚の設定

対象地域における土層厚は、簡易貫入試験機¹⁰⁾（JGS1433で規定される簡易動的コーン貫入試験機、

表-1 検討ケース

ケース	土層厚		
	測定密度	地点数	測定間隔(m)
0	-	181	9
1	1. 1	91	12
	1. 2	90	12
2	2. 1	44	18
	2. 2	47	17
	2. 3	44	18
	2. 4	46	17
3	3. 1	22	25
	3. 2	19	27
	3. 3	19	27
	3. 4	22	25
	3. 5	19	27
	3. 6	20	26
	3. 7	19	27
	3. 8	19	27
	3. 9	22	25
4	-	0	-

先端コーン：内径 25mm、先端角 60°、ハンマー質量：5kg、落下距離：50cm）を用いて計 181 点を計測した。土層厚計測点の設定は、主溪流の谷筋を概ね 9m 間隔で設定し、設定した点から斜面の最急勾配方向の尾根部に 10m～15m 間隔で設定した。併せて斜面勾配が局所的に急勾配になっている点においても計測を行った。また、検討に用いる土層厚は崩壊地内及びその周辺の簡易貫入試験結果の比較により、 N_d 値（簡易貫入試験においてコーンを 10cm 貫入させるのに必要な打撃回数）が 20 より小さい部位は崩壊するおそれがあると考えられたため、各計測点の N_d 値が 20 より上部の厚さとした。崩壊地内の土層

厚は、簡易測量を行い、崩壊前の土層厚を推定した。

本研究では、土層厚の計測密度が危険度評価結果に及ぼす影響を評価することを目的とし、検討ケースは、土層厚の計測データ数を 50% (1/2)、25% (1/4)、11% (1/9) に減らしたケースと土層厚を全く計測しなかった場合を想定した 4 ケースとした。ケースの呼称は、ケース 1、2、3、4 とし、全ての土層厚計測データを用いたケースを「ケース 0」とした。また、土層厚計測データの抽出方法の影響をできるだけ小さくするために、全計測点（181 点）が必ず 1 度抽出されるように、ケース 1 では 2 セット（ケース 1. 1、1. 2）、ケース 2 では 4 セット（ケース 2. 1、2. 2、2. 3、2. 4）、ケース 3 では 9 セット（ケース 3. 1、3. 2、3. 3、3. 4、3. 5、3. 6、3. 7、3. 8、3. 9）を設定した（表-1、図-2）。

ケース 0 の土層厚の設定は、対象地域内を 5m 正方形メッシュで分割し、分割したメッシュに土層厚計測点の 181 点を配点した。1 メッシュ内に土層厚計測点が複数配点された場合は、近傍のメッシュに振り分けた。土層厚計測点が配点された 181 メッシュは、土層厚の計測値を土層厚とし、その他のメッシュは内挿計算により土層厚を設定した。ケース 1 の土層厚の設定は、図-1 に示す土層厚の計測線上の計測点を 1 点間隔で抽出し、ケース 0 で分割した 5m メッシュに配点した。土層厚はケース 0 と同様な方法で設定した。また、ケース 2 及びケース 3 の土層厚の設定は、ケース 0 で設定した 5m メッシュを縦横 2×2 の 4 メッシュ（ケース 2）、3×3 の 9 メッシ

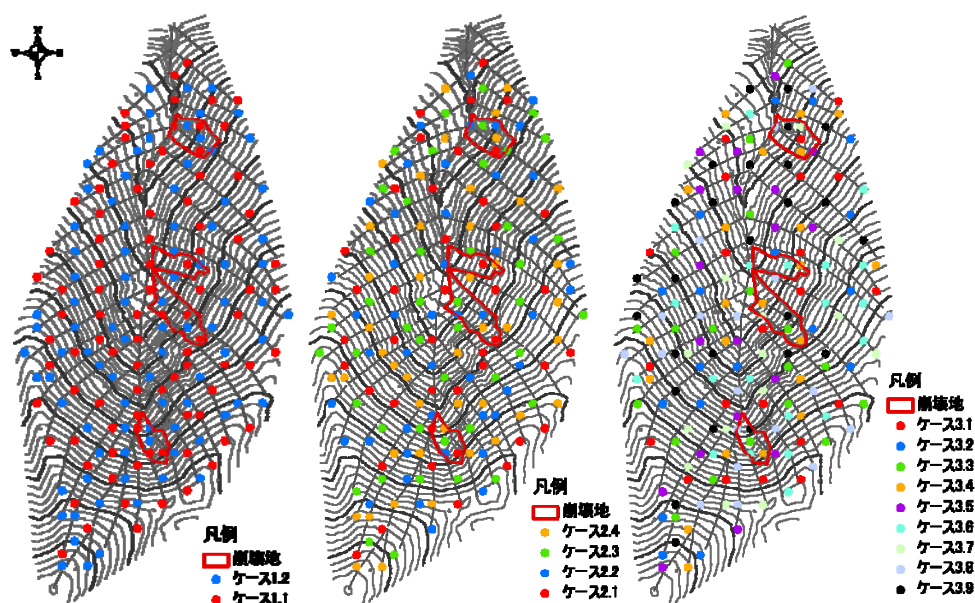
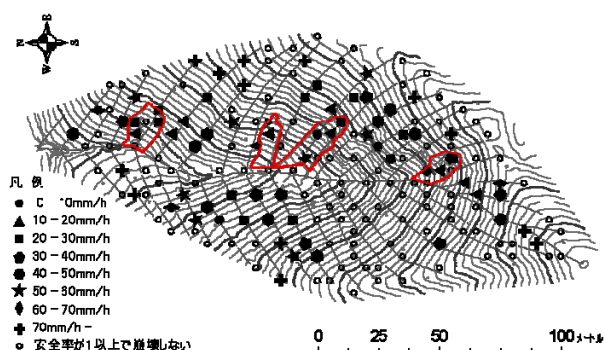


図-1 土層厚設定密度

表-2 土質定数

土質パラメータ		採用値
等価飽和透水係数	K_s	0.05 cm/s
粘着力	c	7.5 kN/m ²
内部摩擦角	ϕ	36.1°
飽和単位体積重量	γ_s	17.9 kN/m ³
湿潤単位体積重量	γ_t	15.2 kN/m ³
水の単位体積重量	γ_w	9.8 kN/m ³

図-3 r_c 分布図 (ケース 0)

ユ (ケース 3) ごとに区分し、区分した 4 メッシュならびに 9 メッシュの中から 1 メッシュを抽出した。メッシュの抽出にあたっては、メッシュ間隔が等間隔となるようにした。抽出したメッシュにおいて土層厚の計測点と合致する場合は、そのまま計測値を土層厚として設定し、計測点がないメッシュは内挿計算より求めた。なお、内挿方法は、TIN 法 (Triangulated Irregular Network) を用いた。また、ケース 4 の土層厚は、流域平均土層厚 (141cm) とし

た。

3. 2 集水面積・斜面勾配の算定

既往の研究では、地形量を岩盤面の地形および地表面の地形の両者を用い、最小定常崩壊発生降雨強度 (r_c) を算出した結果、差は小さいものの、岩盤面の地形を用いた場合の方が表層崩壊の発生をよりよく再現できることが示されている⁸⁾。そこで、本研究においても、集水面積および斜面勾配の計算は、岩盤面を対象に行うこととし、検討ケースごとに行った。

各岩盤面の標高データは、3.1 項で作成した 5m 正方形メッシュにレーザープロファイラデータ (1mDEM) の地表面標高値を相加平均した値を割り当て、その地表面標高値から 3.1 項で算定した土層厚を減じて推定した。

岩盤面の地形量は、D-Infinity Flow Direction 法¹⁶⁾を用いて集水面積と斜面勾配を算出した。なお、D-Infinity Flow Direction 法は全方向を 0.01° 刻みで算出し、最急勾配の方向を求めることで、上流側のメッシュから下流側 2 メッシュに対して流下する流量の重み付けを行い、流下させる手法である。

3. 3 計算の実施

検討ケースにおける各メッシュの最小定常崩壊発生降雨強度 (r_c) を式(1)より算出した。実際、透水係数や土質強度は斜面で空間的にばらつきがあると考えられる。これに対して、荒谷川流域においては透水係数、土質強度を一定とした場合においても、ある程度表層崩壊箇所が再現できることが示されて

表-3 計算結果

ケース	土層厚		土層飽和時にFs が1以下になる 地点数		rc													
					20mm/h以下の 地点数		30mm/h以下の 地点数		40mm/h以下の 地点数		50mm/h以下の 地点数		60mm/h以下 の地点数		70mm/h以下 の地点数		100mm/h以下の 地点数	
	実測地 点数	対象 地域 全体	崩壊 地内	対象 地域 全体	崩壊 地内	対象 地域 全体	崩壊 地内	対象 地域 全体	崩壊 地内	対象 地域 全体	崩壊 地内	対象 地域 全体	崩壊 地内	対象 地域 全体	崩壊 地内	対象 地域 全体	崩壊 地内	
0	181	69	14	14	7	27	11	37	13	45	13	53	14	56	14	62	14	
1.1	91	69	10	7	2	22	6	34	8	44	9	49	9	52	10	59	10	
1.2	90	72	16	19	8	30	14	42	16	50	16	56	16	61	16	65	16	
2.1	44	63	11	7	1	20	6	25	7	36	7	41	7	47	9	55	11	
2.2	47	72	11	14	5	24	6	41	10	46	10	53	10	55	10	63	11	
2.3	44	58	16	19	8	32	12	41	14	47	16	50	16	50	16	55	16	
2.4	46	78	14	18	9	32	12	41	13	55	14	61	14	65	14	68	14	
3.1	22	50	7	9	3	19	4	23	4	26	4	31	4	33	4	39	7	
3.2	19	79	12	6	3	17	6	27	7	45	7	54	9	59	9	66	10	
3.3	19	86	19	20	9	41	15	50	15	59	17	67	18	72	19	78	19	
3.4	22	81	15	13	7	22	9	39	9	54	12	57	13	64	13	71	14	
3.5	19	52	11	14	4	22	7	28	8	36	9	42	9	45	9	50	10	
3.6	20	77	13	16	7	26	10	37	12	52	12	57	12	63	13	65	13	
3.7	19	87	17	22	11	38	12	45	13	56	13	64	15	66	15	70	16	
3.8	19	44	4	2	1	9	2	18	3	28	4	33	4	37	4	40	4	
3.9	22	98	18	20	9	37	14	45	15	58	18	69	18	73	18	78	18	
4	0	107	19	14	5	35	9	54	12	69	13	78	14	84	15	95	18	

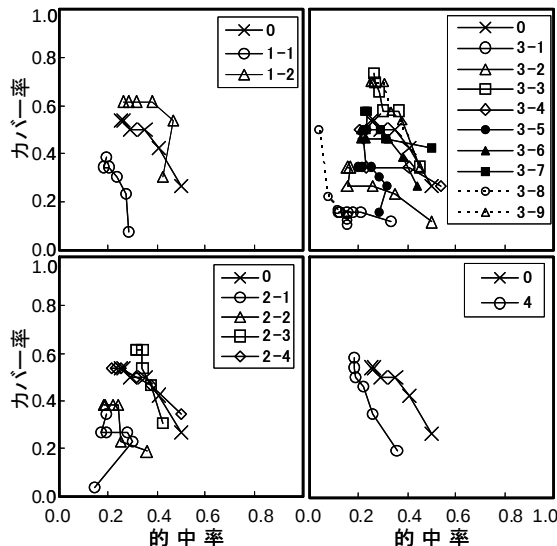


図-4 的中率とカバー率の関係（データセット）

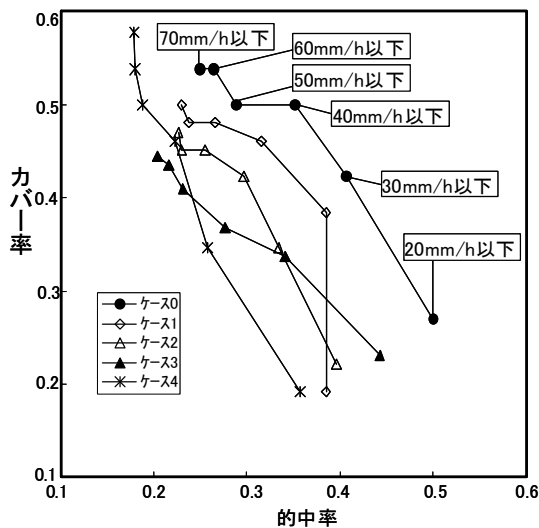


図-5 的中率とカバー率（各ケースの平均）

いる⁸⁾。そこで、本研究においても土層厚の計測密度に依存する土層厚、地形量（集水面積・斜面勾配）以外のパラメータについては、対象地域内に一定値を与えた。なお、用いたパラメータは、崩壊箇所を良好に再現できた表-2 に示した値を全ケース共通として用いた⁸⁾。また、ケース0において土層厚の計測点が配点された181メッシュを最小定常崩壊発生降雨強度（ r_c ）の評価・分析を行う評価点として設定し、最小定常崩壊発生降雨強度（ r_c ）の算出結果および土層厚、地形量の設定結果について以下で検討した。

4. 結果

4.1 各ケースの r_c の算出結果

各ケースの r_c の算出結果は、表-3 に示すとおりである。181点の評価点の内、土層飽和時に安全率が1以下となり崩壊しうる評価点は、ケース0で69点となった。図-3 はケース0の r_c 分布図を示した。4つの崩壊地内の評価点のうち、各崩壊地で少なくとも1点は実際の最大1時間降雨量63mm/h以下の r_c であった。また、ケース0において、 r_c が70mm/h以下となる評価点に占める崩壊地内の評価点の割合は25%、50mm/h以下では29%、20mm/h以下では50%となり、 r_c が小さくなるほど崩壊地内の評価点の占める割合が大きくなり、崩壊危険度を良好に評価できていた（表-3）。

また、その他のケースにおける土層飽和時に安全率が1以下となり崩壊しうる評価点は、69～72の評価点（ケース1）、63～78の評価点（ケース2）、44～98の評価点（ケース3）、107の評価点（ケース4）となった。土層厚の計測点を減らすほど、ケース0の評価点数との差が大きくなっていた。

図-4 は、1999年の豪雨時の最大1、3、6時間の平均降雨強度が63、44、28mm/hであったことから、各ケースの r_c が20～70mm/hとなる評価点を集計し、評価したものである。横軸的中率は、 r_c がある降雨強度以下となる評価点の内、実績崩壊地内の評価点が占める割合を示したものである。また、縦軸のカバー率は、実績崩壊地内の全評価点の内、ある降雨強度以下となる評価点の割合を示したものである。例えば、ケース0の50mm/h以下の的中率およびカバー率は、崩壊地内の評価点の総数が26であることから、表-3よりの的中率は0.29(13/45)、カバー率は0.50(13/26)となる。すなわち、的中率・カバー率がともに高く評価された場合は、崩壊のおそれのある評価点を崩壊のおそれのない評価点と評価する見逃しや実績崩壊地内の評価点を崩壊のおそれのない評価点と評価する空振りがともに少ないことを意味し、図-4に示すように的中率が大きくなるに従いカバー率が小さくなるということは空振りを減らそうとすると見逃しが増加することを意味している。言い換えれば図上の右上（的中率もカバー率も高い）ほど、表層崩壊の発生箇所を正しく予測できていることを意味している。

図-4では、同じケースにおいても、データセットによりの的中率およびカバー率にばらつきが見られた。ただし、的中率とカバー率の関係は、いずれのデータセットを用いた場合もケース0とほぼ同様か、ケース0より図中左下側（的中率、カバー率の小さ

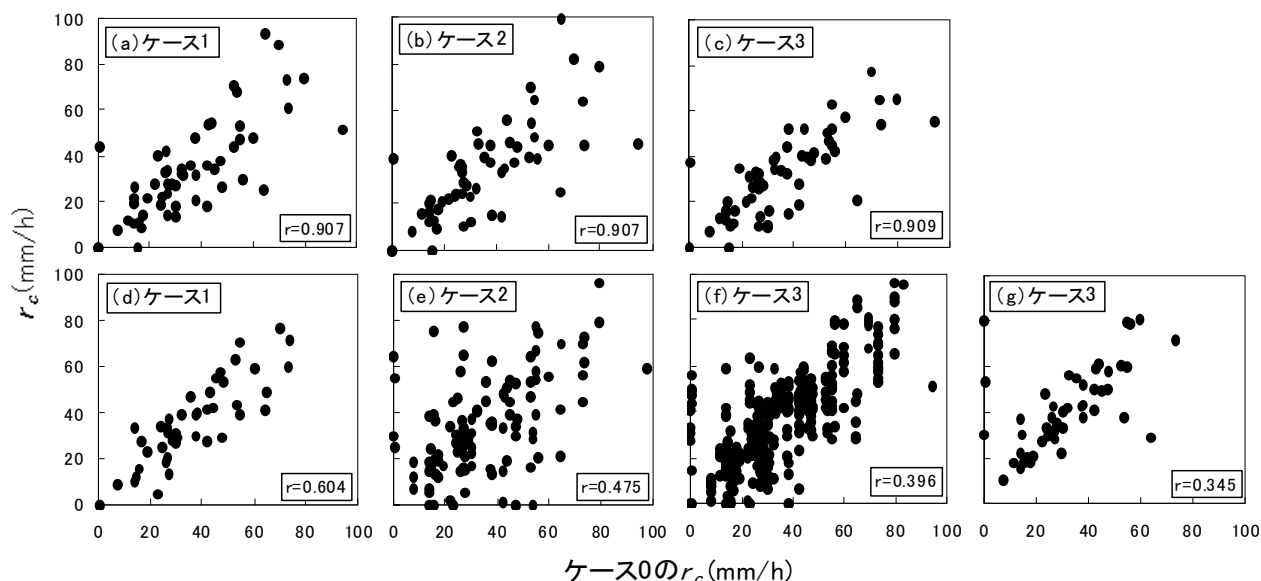


図-6 r_c が100mm/h以下のケース0の r_c と各ケース r_c の関係
(上段：土層厚計測評価点、下段：土層厚内挿評価点。図中の r は順位相関係数を表す)

い側)にプロットされた。更に各ケースの平均値から求めた的中率とカバー率の関係(図-5)を見ると、ケース0の的中率は50%~25%となった。同様に、ケース1~4の的中率は、38%~23%(ケース1)、40%~23%(ケース2)、44%~20%(ケース3)、36%~18%(ケース4)となった。また、カバー率は、27%~54%(ケース0)、19%~50%(ケース1)、22%~47%(ケース2)、23%~44%(ケース3)、19%~58%(ケース4)となった。さらに、同じカバー率の場合、全ての土層厚計測点の土層厚を用いたケース0の的中率が最も高くなり、土層厚の計測点を減らすほど、的中率が低下する傾向が見られた。このことは、見逃しの程度が同じ場合、土層厚の計測点を減らすほど、空振りが増えることを意味している。

4. 2 r_c の算出結果の比較

ケース1~3の評価点の内、ケース0の土層厚計測点の計測値より土層厚を設定した評価点(以下、「土層厚計測評価点」と呼ぶ)における r_c とケース0の r_c の相関関係は図-6(a)(b)(c)に示すとおりであり、ケース0の r_c に対してややばらつきが見られるが、順位相関係数はいずれのケースにおいても0.9以上で明瞭な相関関係が見られた。また、土層厚の計測点を減らしたため、周囲の土層厚計測評価点の計測値を用いて内挿計算で土層厚を設定した評価点(以下、「土層厚内挿評価点」と呼ぶ)においても、各ケースの r_c とケース0の r_c の相関図を整理し、それを図-6(d)(e)(f)(g)に示した。ケース0の r_c に対する各ケースの r_c のばらつきは、土層厚計測評価点の場

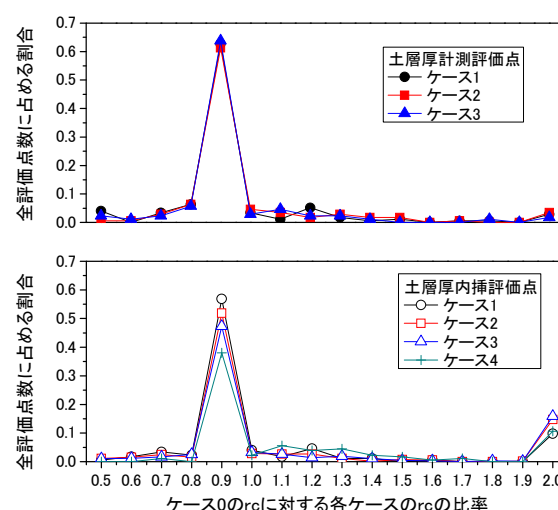


図-7 ケース0の r_c に対する各ケースの r_c の比率(上：土層厚計測評価点、下：土層厚内挿評価点)

合よりも大きく、順位相関係数は0.60(ケース1)、0.48(ケース2)、0.40(ケース3)、0.35(ケース4)となり、相関性は土層厚計測評価点に比べて弱い。また、用いる土層厚計測点が減るとさらに相関性は低下した。それらを詳しく見るために、ケース0の r_c に対する各ケースの r_c の比率を図-7に示す。横軸は比率の階級(級間は0.1)であり、例えば、横軸が0.5の場合、ケース0の r_c に対する各ケースの r_c の比率は0.5~0.6であることを示している。図-7に示すようにケース0の r_c に対する各ケースの r_c の比は0.9~1.0の区間に集中していた。この区間にお

けるケース1、2、3の土層厚計測評価点では、全評価点数に占める割合は0.6程度であった。土層厚内挿評価点では、全評価点数に占める割合が0.57（ケース1）、0.52（ケース2）、0.47（ケース3）、0.38（ケース4）と土層厚の計測点を減らしたケースほど低下していた。また、ケース0の r_c に対する各ケースの r_c の比が0.9～1.0の区間以外では、各ケースの土層厚の計測評価点および内挿評価点においてほとんど差は見られなかった。以上の結果より、土層厚計測評価点では、土層厚の計測点を減らすことによる影響はほとんど無いが、土層厚内挿評価点では、土層厚の計測点を減らすほど、 r_c に与える影響は大きくなると言える。

5. 考察

5.1 土層厚の計測密度が土層厚の空間分布および地形量に与える影響分析

ケース0に対する各ケースの土層厚の空間分布と地形量（斜面勾配、集水面積）について、土層厚計測評価点、土層厚内挿評価点に区分して相関係数を整理し、表-4に示した。

5.1.1 土層厚

土層厚計測評価点において、ケース0とケース1、2、3の土層厚は、表-4に示したように一致する。一方、土層厚内挿評価点では、ケース0の土層厚に対する各ケースの相関係数が0.37（ケース1）、0.36（ケース2）、0.38（ケース3）、0.24（ケース4）と小さい。詳しくみると、図-8（整理方法は図-7と同様）に示すように、ケース0の土層厚に対する比の頻度分布は、ケースによらずほぼ同じで広く分布しており、ばらつきが大きかった。以上の結果より、土層厚の計測点を減らすことは土層厚の空間分布に大きく影響を及ぼしていると言える。

5.1.2 斜面勾配

土層厚計測評価点におけるケース0の斜面勾配に対する相関係数は0.91（ケース1）、0.88（ケース2）、0.88（ケース3）となり、高い相関関係が見られた。詳しくみると、図-9（整理方法は図-7と同様）に示すように、ケース0の斜面勾配に対する各ケースの斜面勾配の比は0.9～1.1の区間に集中していた。斜面勾配の比が0.9～1.0及び1.0～1.1の区間を合わせた斜面勾配の比が全評価点数中に占める割合は、土層厚計測評価点0.78（ケース1）、0.73（ケース2）、0.69（ケース3）となり、土層厚の計測点を減らすほど全評価点数中に占める割合はやや低下していた。

表-4 相関係数一覧表

ケース	土層厚計測評価点				土層厚内挿評価点				
	データ 個数	土層厚	勾配	集水面積	データ 個数	土層厚	勾配	集水面積	
1	1.1	91	1.000	0.927	0.942	90	0.355	0.816	0.876
	1.2	90	1.000	0.885	0.954	91	0.392	0.895	0.964
	全体	181	1.000	0.907	0.945	181	0.370	0.866	0.966
2	2.1	44	1.000	0.894	0.939	137	0.213	0.821	0.927
	2.2	47	1.000	0.916	0.911	134	0.367	0.846	0.969
	2.3	44	1.000	0.761	0.940	137	0.440	0.895	0.971
	2.4	46	1.000	0.928	0.922	135	0.449	0.841	0.932
	全体	181	1.000	0.884	0.907	543	0.361	0.853	0.945
3	3.1	22	1.000	0.904	0.912	159	0.315	0.849	0.929
	3.2	19	1.000	0.901	0.994	162	0.205	0.841	0.946
	3.3	19	1.000	0.895	0.968	162	0.105	0.835	0.996
	3.4	22	1.000	0.887	0.979	159	0.260	0.835	0.950
	3.5	19	1.000	0.855	0.972	162	0.210	0.821	0.991
	3.6	20	1.000	0.845	1.000	161	0.260	0.840	0.930
	3.7	19	1.000	0.849	0.960	162	0.332	0.845	0.934
	3.8	19	1.000	0.940	0.999	162	0.187	0.834	0.946
	3.9	22	1.000	0.895	1.000	159	0.381	0.822	0.917
	全体	181	1.000	0.879	0.981	1448	0.242	0.835	0.936
4	-	0	-	-	-	181	-	0.847	0.697

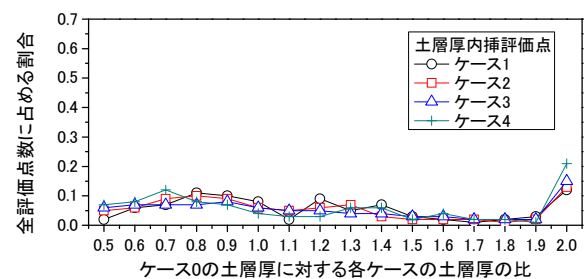


図-8 ケース0の土層厚に対する各ケースの土層厚の比の割合

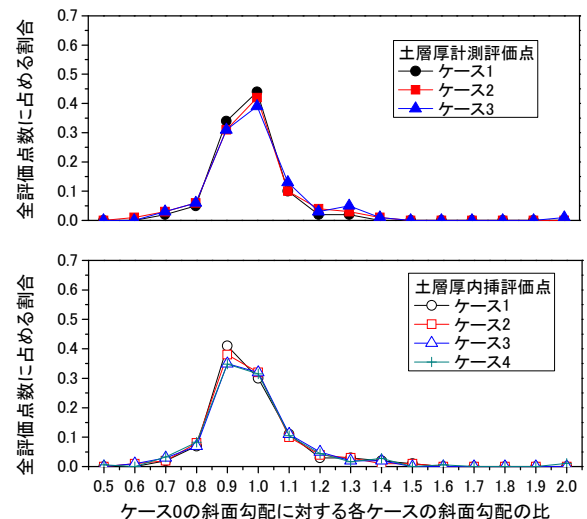


図-9 ケース0の斜面勾配に対する各ケースの斜面勾配の比の割合

また、土層厚内挿評価点では、0.71（ケース1）、0.7（ケース2）、0.68（ケース3）、0.66（ケース4）となり、土層厚計測評価点と同様にやや低下していた。また、それ以外の区間では、土層厚計測評価点および土層厚内挿評価点のいずれのケースにおいてもほ

本研究では、土層厚の計測密度が表層崩壊危険度評価に及ぼす影響を評価するため、検討ケースを計測した土層厚を全て用いたケースと計測した土層厚の内、1/2、1/4、1/9 に減らしたケース、土層厚を計測しなかったケースの4ケースとした。影響評価は基本的に実測できるもののみで構成した比較的簡易な表層崩壊危険度評価手法を用いた。本手法は、地下水位を定常状態と仮定し、無限長斜面の安定解析式を用いて斜面崩壊が生じる最小定常崩壊発生降

雨強度 (r_c) を算出するものである。本研究では同手法を 1999 年広島県西部の荒谷川流域で生じた豪雨による斜面崩壊に適用し、その再現性について比較を行った。その結果、以下の 3 点が分かった。

- 1) r_c の算出結果にもとづく斜面崩壊の再現性は、土層厚の計測密度が既往崩壊地幅と同程度で計測した土層厚を、全て用いたケースのカバー率、的中率が良好な結果となった。また、土層厚の計測密度を広げたケースほど、カバー率や的中率が低下していた。
- 2) r_c の算出結果は、土層厚の計測密度の影響が大きく、斜面勾配や集水面積による影響は比較的小さい。
- 3) 土層厚の計測地点の r_c の算出結果は、計測密度に依存せずに同等な値となるが、土層厚の計測地点以外(土層厚内挿評価点)の r_c の算出結果は、計測密度が広がるほど、土層厚を計測した場合に比べて誤差が大きい。

以上の結果から、土層厚の計測密度を既往の崩壊地幅程度とした場合、表層崩壊の危険度評価を良好に行えることを示した。しかし、現状では土層厚の計測に多大な労力を要するため、今後土層厚データの蓄積とともに表面地形や微地形から土層厚を推定する手法の開発が重要であると考えられる。なお、ここでの結果は、1 流域のみの結果であるため、今後さらなる検討を行い、結果の普遍性・一般性についても検証する必要がある。

参考文献

- 1) 沖村 孝・市川龍平・藤井郁也：表土層内浸透水の集水モデルを用いた花崗岩表層崩壊発生位置の予知のための手法、砂防学会誌(新砂防)、Vol.37 No.5、p.4-13、1985。
- 2) 平松晋也・水山高久・石川芳治：雨水の浸透流下過程を考慮した表層崩壊発生予測手法に関する研究、砂防学会誌(新砂防) Vol.43 No.1、p.5-15、1990。
- 3) Montgomery、D. R.、and W. E. Dietrich：A physically-based model for the topographic control on shallow landsliding、Water Resources Research Vol.30、p.1153-1171、1994。
- 4) Wu、W. and Sidle、R. C.：A distributed slope stability model for steep forested watersheds、Water Resources Research Vol.31、p.2097-2110、1995。
- 5) Pack、R. T.、D. G. Tarboton and C. N. Goodwin.：The SINMAP Approach to Terrain Stability Mapping、Paper Submitted to 8th Congress of the International Association of Engineering Geology、Vancouver、British Columbia、Canada、1998。
- 6) 小杉賢一朗・水山高久・藤田正治：表層崩壊発生予測モデルによる地下水位の再現精度の検討、砂防学会誌 Vol.55 No.3、p.21-32、2002。
- 7) 三隅良平・小口高・真木雅之・岩波越：分布型流出モデルを用いた表層崩壊危険域のリアルタイム予測、自然災害科学 Vol.23、p.415-432、2004。
- 8) 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箇所の予測に及ぼす影響、砂防学会誌 Vol.62 No.1、p.23-31、2009。
- 9) 沖村 孝：山地斜面の調査と対策、地質と調査 第 3 号、p.22-28、1987。
- 10) 大久保 駿・上坂 利幸：簡易貫入試験機による地質調査、土木技術資料 第 1302 号、p.31-35、1971。
- 11) 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 Vol.18 No.1、p.61-78、1997。
- 12) Heimsath et al.：Stochastic processes of soil production and transport：erosion rates、topographic variation and cosmogenic nuclides in the oregon coast range、Earth Surface Processes and Landforms、Vol.26、p.531-552、2001。
- 13) W. E. Dietrich and Robert Reiss and Mei-Ling Hsu and D. R. Montgomery.：A process-Based Model for colluvial soil depth and shallow landsliding using digital elevation data、Hydrological processes. Vol.9、p.383-400、1995。
- 14) 沖村 孝：表層崩壊予知モデルに用いる表土層厚推定法、砂防学会誌(新砂防) Vol.42 No.1、14-21、1989。
- 15) 岡本正男・仲野公章・秦 耕二・荒木義則・古川浩平・水山高久：局地的な集中豪雨に対する土石流警戒避難基準雨量の設定に関する研究～1999.6.29 広島災害における事例～、砂防学会誌 Vol.55 No.1、p.15-25、2002。
- 16) Tarboton、D. G.：A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models、Water Resources Research Vol.33、p.309-319、1997。

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR ADVANCED SEDIMENT-RELATED DISASTER WARNING

Budget: Grants for operating expenses、 General account

Research Period: FY2010-2013

Research Team: Volcano and Debris Flow Team

Author: Tadanori ISHIDUKA、 Taro UCHIDA、

【英文要旨】

In this study, we investigated effects of interval of measurement of soil thickness on prediction of shallow landslide susceptibility. Study area is the Aratani district, the West Hiroshima mountain range, where 4 landslides occurred in a heavy rain of June, 1999. We prepared five datasets about soil thickness which have different spatial resolution. We calculated spatial distribution of critical steady-state rainfall (rc) required to cause slope instability. If interval of measurement of soil thickness was high enough, the spatial distribution of critical steady-state rainfall (rc) were consistent with the spatial pattern of shallow landslides triggered by the heavy rainfall of June, 1999. While, the critical steady-state rainfall (rc) could not explain the location of shallow landslides at the point where we did not measure soil thickness. Based on these analysis, we considered measurement intervals of soil thickness have to be shorter than width of the old shallow landslide scars.

【英文キーワード】

shallow landslide, Soil thickness, slope gradient , upslope contributing area, penetration test