

【建設工学研究所論文報告集第 64 号〔報告〕2022 年 11 月】

オルソフォトを用いた崩壊地分布図作成について

Mapping The Distribution of Slope Failure Areas Using Orthophotos

沖村 孝 鏡原 聖史 濱本 拓志 根本 信行
 Takashi Okimura Satoshi Kagamihara Takuji Hamamoto Nobuyuki Nemoto
 笠原 拓造
 Takuzo Kasahara

1. はじめに

著者らは、兵庫県と共同で土砂災害のためのリアルタイムハザードシステムの構築¹⁾を進めている。このリアルタイムハザードシステムのモデルの精度を検証するために、過去の災害記録をもとに降雨時に崩壊の発生が多い事例について、崩壊や土石流の発生状況を災害報告、現地調査資料、発生時刻のヒアリング情報などを調べて、写真判読によって、山地内の崩壊地分布図を作成し、災害イベント降雨を入力したシステムの崩壊判定結果と比較することにより、精度の向上を目的とした検証を実施している。

災害規模が大きい場合は、災害後に空中写真が撮影され、崩壊地判読、崩壊地の分布図が作成されることが多い²⁾。一方、災害規模の小さい場合には、災害直後に空中写真が撮影されることはほとんどないのが現状である。近年、航空レーザ測量による計測がおこなわれるようになってきている。国土地理院では、航空レーザ測量による標高データとオルソフォトを用いて崩壊に関連する微地形を地形解析で抽出する手法を開発し、マニュアル化³⁾している。このマニュアルでは、オルソフォトを生成し、解析することで、より位置情報が正確な崩壊地ポリゴンを取得することが可能であるとされている。

著者らは、リアルタイムハザードシステム（以降、システム）の構築、精度検証する上で、検証対象災害時に発生した表層崩壊型の崩壊地を正確に調べ、崩壊地分布図に整理することで、システムの信頼度が正しく評価できると考えている。これまでリアルタイムハザードシステムの構築を行ってきた朝来市、養父市においては、災害直後における市域全域で実体視できる空中写真がすべて整っていない災害事例があったことから、災害後で一番近い時期に撮影されたオルソフォトおよび航空レーザ測量による詳細な地形図、さらに Google Earth⁴⁾を用いて、崩壊地分布図を作成し、モデル（層厚、強度）の妥当性を検証してきた。

運用する中で、少雨で判定セルが生じるような箇所があり、その箇所について個別に地盤定数を設定することで空振り判定が生じないように微調整し運用していた。令和 2（2020）年 7 月豪雨において、少ない降雨で生じる多くの空振りが確認されたため、神戸市灘区をモデルエリアとして、空振りの要因分析とその対応について検討⁵⁾がなされてきた。

運用されている全システム（令和 2（2020）年度までに構築したモデル）を対象に、令和 3（2021）年 8 月豪雨を降雨条件として、少雨における空振り判定の見直し検討⁶⁾を行った。その際に、少雨で判定セルが生じるような箇所を個別に地盤定数を設定することで空振り判定が生じないように微調整した設定を取り除いたもの（プレーンモデル）を用いて計算を実施した結果、朝来市と養父市は、他の市町の結果と比較して空振りセルが多いことが判明した。その原因を分析する中で、崩壊地の捕捉率を高めるように層厚や地盤物性値を設定した結果、他市町より層厚をわずかに厚く、地盤定数をわずかに小さく設定されていた。さらに、システムの精度を検証するために抽出した崩壊地の中には表層崩壊型崩壊とは異なる崩壊箇所も含まれていた。このことから、本システムで捕捉すべき崩壊地以外も含まれた崩壊地分

布を対象にモデルを構築した結果、表層崩壊型崩壊に対して空振り判定が多くなりやすいモデルとなっていた。ここで、表層崩壊型崩壊は、厚さ 1～2m 程度の表層土が降雨による地下水上昇によって不安定化、崩壊する形態のものと定義する。

そこで、過去に作成した崩壊地分布図を再度見直すために、崩壊メカニズムが評価できる技術者（ここでは熟練技術者と呼ぶこととする）が空中写真を用いた実体視を実施して、表層崩壊型崩壊とその他崩壊を区別しながら崩壊メカニズムを考慮した崩壊地分布図を作成し、オルソフォト、航空レーザ測量による詳細な地形図を用いて過去に作成した崩壊地分布図と比較した。また、熟練技術者が朝来市、養父市域において崩壊メカニズムを考慮した崩壊地分布図に修正を行い、システムによる検証計算を実行した。それらの結果について報告する。

2. オルソフォトとは⁷⁾

オルソフォトについて、国土交通省国土地理院では、以下のように説明している（図 1 参照）。

航空カメラで撮影された空中写真は、レンズの中心に光束が集まる中心投影なので、レンズの中心から対象物までの距離の違いにより、写真上の像に位置ズレが生じる。写真に写る対象物が地面から高いほど、また写真の中心から周縁部に向かうほど、この位置ズレは大きくなる。上空から撮影した空中写真では、土地の起伏（高低差）による位置ズレが生じるとともに、高層ビルなどの高い建物や周縁部のとがった山の像は、写真の中心から外側へ傾いているように写る。

オルソフォトは、写真上の像の位置ズレをなくし空中写真を地図と同じく、真上から見たような傾きのない、正しい大きさと位置に表示される画像に変換（以下、「正射変換」という）したものである。

オルソフォトは、写された像の形状が正しく、位置も正しく配置されているため、地理情報システム（GIS）などにおいて、画像上で位置、面積及び距離などを正確に計測することが可能で、地図データなどと重ね合わせて利用することができる地理空間情報である。

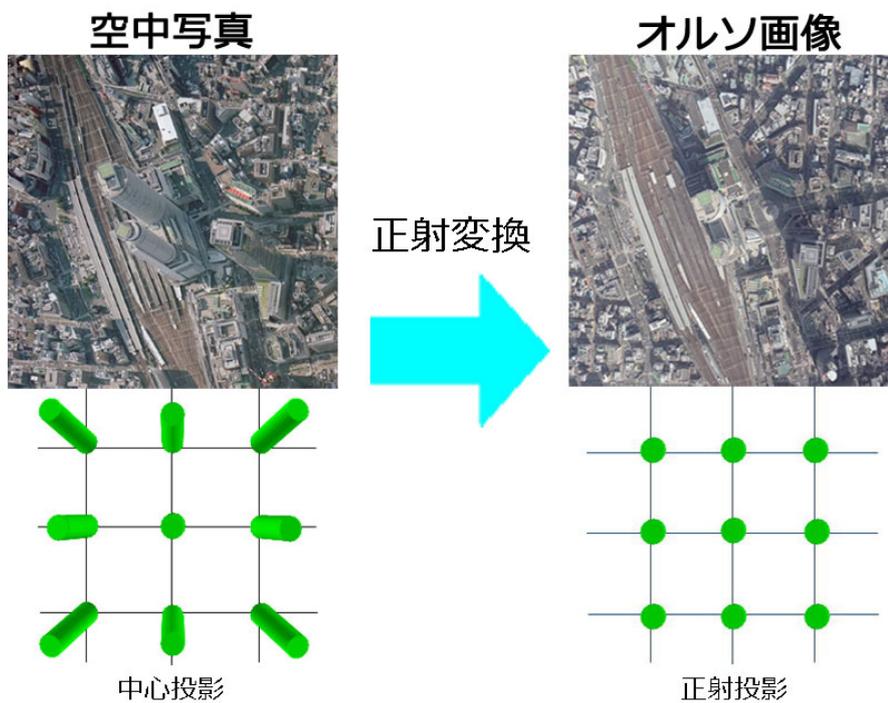


図 1 空中写真とオルソフォト（オルソ画像）の比較⁷⁾

3. 災害時期と空中写真の整備状況について

朝来市と養父市における災害発生時期と空中写真、オルソフォトの整備状況を表 1 に示した。表 1 から兵庫県で大規模な災害となった平成 16（2004）年台風 23 号災害については、災害発生前後における空中写真が整っている。一方、

朝来市における平成 21 (2009) 年台風 9 号災害ならびに養父市域における平成 23 (2011) 年台風 12 号 (9 月) による災害については、災害前の空中写真は整備されているものの、災害後の空中写真が市域全域で整備されておらず、実体視が実施できない状況である。ただし、航空レーザ測量が平成 25 (2013) 年に実施されており、災害後の市域全域で詳細な地形図ならびにオルソフォトが整備されている。ここで、朝来市域の平成 16 (2004) 年災害の発生前は、平成 12 (2000) 年、発生後は平成 17 (2005) 年の空中写真を用いた。また平成 21 (2009) 年災害の発生前は、平成 18(2006) 年、発生後は平成 22(2010)年オルソフォトを用いた。養父市域の平成 16 (2004) 年災害の発生前は、平成 11 (1999) 年と平成 12 (2000)、発生後は平成 17 (2005) 年の空中写真を用いた。また平成 23 (2011) 年災害の発生前は、平成 23(2011)年 7 月の空中写真、発生後は平成 24(2012)年の空中写真ならびに平成 25(2013)年オルソフォトを用いた。空中写真から崩壊地分布図を作成するに当たり、空中写真の縮尺が 1/30,000~1/40,000 と大縮尺であることから山地周辺の秃地を中心に抽出して、地形図に転記することで崩壊分布図を作成している。

表 1 災害時期と空中写真⁶⁾ならびにオルソフォトの撮影時期

年	平成11 1999	平成12 2000	平成13 2001	平成14 2002	平成15 2003	平成16 2004	平成17 2005	平成18 2006	平成19 2007	平成20 2008	平成21 2009	平成22 2010	平成23 2011	平成24 2012	平成25 2013
朝来市	-	空中写真 11月 (1/40,000)	-	-	-	-	空中写真 11月 (1/30,000)	空中写真 5月 (1/30,000)	-	-	-	オルソ フォト	-	-	オルソ フォト
						災害 10月					災害 8月				
養父市	空中写真 北部のみ 5月 (1/30,000)	空中写真 南部のみ 11月 (1/40,000)	-	-	-	-	空中写真 11月 (1/30,000)	-	空中写真 南東のみ 5月 (1/30,000)	-	-	-	空中写真 災害前 7月 (1/20,000)	空中写真 北部のみ 8月 (1/20,000)	オルソ フォト
						災害 10月							災害 9月		

- : 空中写真データが整備されていない時期

4. オルソフォトを用いた崩壊分布図作成

兵庫県では、平成 23 (2011) 年ごろから全県で航空レーザ計測ならびオルソフォトが整備され始めている。このオルソフォトは、図 2 のとおりで、1/1,000 スケールで 1mm=1m である。またデジタルデータであることから、ディスプレイ上で拡大ができる点の特徴である。一方、標高などの情報がないため、別途地形図を重ね合わせて地形状況を考慮しつつ、崩壊地と考えられる場所を判読することで、崩壊地分布図を作成することができる。

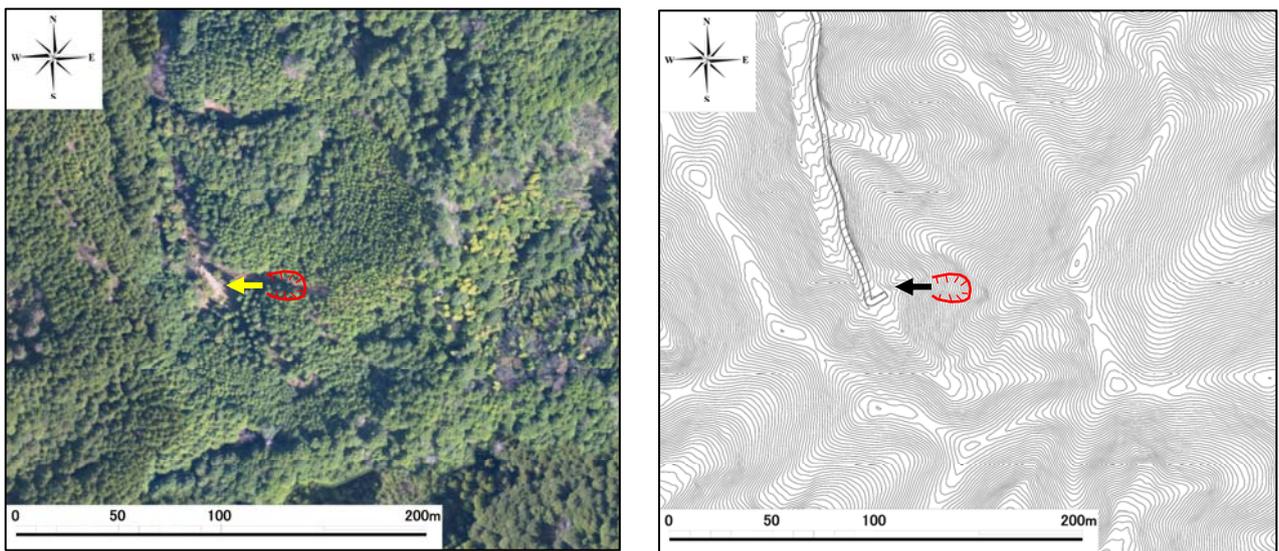


図 2 オルソフォトを用いて崩壊地を判読した事例
(崩壊箇所 ID82 撮影時期：平成 25 (2013) 年 4 月 16 日、地形図は崩壊後)

5. オルソフォトを用いた崩壊地と空中写真実体視から得られた崩壊地との比較

オルソフォトを用いて判読した崩壊地について、別途、熟練技術者が空中写真実体視を用いて、判読していた崩壊地と比較した（図3参照）。空中写真は、図3に示すとおりである。1/30,000 空中写真では1mmが30mであり、経験の浅い技術者では実体視によって表層崩壊を判読することが難しい場合があると言える。一方で、熟練技術者が判読することで、地形の凹凸と崩壊の関係や崩壊地のみならず地すべり地形なども同時に判読できることが特徴であると言える。

オルソフォトを用いた崩壊地と熟練技術者が空中写真の実体視から得られた崩壊地を比較したところ、オルソフォトと地形図を用いて崩壊地を判読したものには、地すべり地の滑落崖における小規模な崩壊や浸食による地表の乱れた地形、風倒木跡地、人工改変地などが含まれていた。また、崩壊地の形状に発生源以外の堆積部、洗掘部・流下部なども含めた事例も多く含まれており、熟練技術者が実体視で再度判読すると崩壊地の発生源の多くが剥離型や浸食型、小規模な表層崩壊型の崩壊であった。本システムが10mメッシュによるセルの安定度によって評価する特徴もあり、そのシステムの精度を検証する観点から崩壊メカニズムが異なる崩壊地や小規模な表層崩壊型の崩壊は検証対象から除外して、検証に用いる表層崩壊型のみを崩壊地として再度、崩壊地分布図を作成した。検証対象とする表層崩壊型の崩壊地の箇所数を表2に示す。この結果から過去に空中写真判読やオルソフォトと地形図を用いた崩壊地と比較して、改めて、熟練技術者が実体視して確認した表層崩壊型の崩壊地は、おおよそ2割程度となり、これまで表層崩壊箇所と判断していたものが地すべり地の滑落崖における小規模な崩壊や浸食型、剥離型、さらに小規模な表層崩壊型崩壊（システム精度の検証対象外）などの土砂移動現象が多く含まれていたことが判明した。

表3に養父市域の平成23(2011)年災害を対象に、オルソフォトから抽出した崩壊地（裸地）と空中写真実体視で崩壊形態を考慮し分別した例を示している。この結果から54箇所（全体の53%）が裸地や人工的に改変された箇所（碎石場、切土、不明瞭な崩壊地（古い崩壊跡地）など）であった。崩壊は全体の38%であり、本システムの精度検証対象となる崩壊地は、14箇所（全体の14%）であった。

図4は、オルソフォトで確認した崩壊地の発生源を囲ったものであり、実体視で再度崩壊発生源を比較したものを示している。この図のように、オルソフォトで裸地部分を発生源として抽出しているが、実体視では、凸地形で崩壊地形が不明瞭であり、倒木の可能性が高いと判断した事例である。この事例のように実体視によって樹木の状態や崩壊メカニズムを考慮した形で判断ができることがわかる。

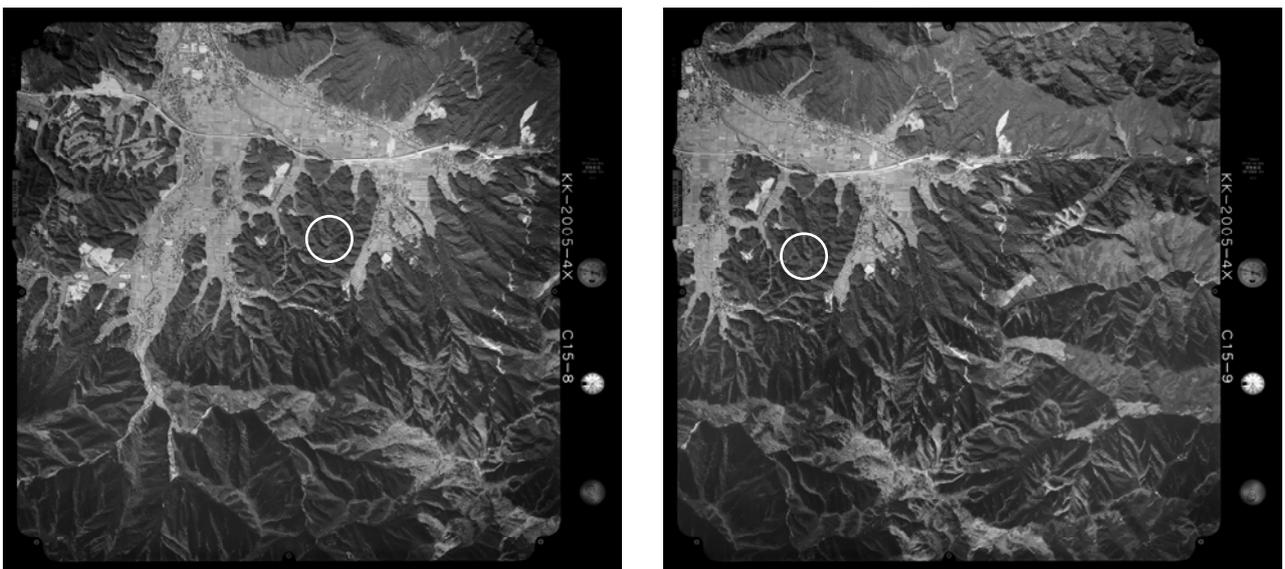


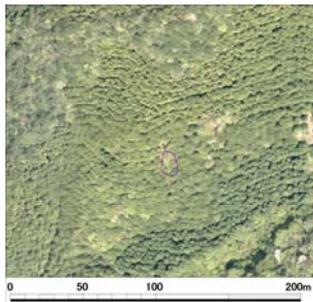
図3 災害後空中写真画像（国土地理 web⁸⁾より：撮影時期；平成17（2005）年11月10日、写真スケール1/30,000）

表2 過去実施した判読崩壊地箇所数と再度、熟練技術者による実体視で判読した表層崩壊型崩壊の箇所数の比較

市名	システム検証対象災害	過去実施した判読崩壊地（箇所数）	熟練技術者による実体視を考慮した表層崩壊型崩壊地（箇所数）
朝来市	H16(2004)年台風 23 号災害	106	16
	H21(2009)年台風 9 号災害	148	44
養父市	H16(2004)年台風 23 号災害	116	21
	H23(2011)年台風 12 号災害	97	14

表3 オルソフォトから抽出した崩壊地（裸地）と空中写真実体視で崩壊形態を考慮し分別した例

空中写真実体視で行った崩壊形態区分等	箇所数	オルソフォトで抽出した崩壊地の箇所数に占める割合
崩壊地なし (裸地、人工改変地を誤判読)	51	0.53
浸食による土砂移動（溪流部）	14	0.14
小規模な表層崩壊型崩壊	11	0.11
表層崩壊型崩壊	14	0.14
合計	97	1.00



(判読結果を地形図にトレースしたもの、凸地形で崩壊地形が不明瞭)

図4 オルソフォトと実体視による崩壊地の発生源判読の結果の比較

(崩壊箇所 ID413 撮影時期：平成 25 (2013) 年 4 月 16 日、地形図は崩壊後の航空レーザ測量図から作成)

以上のことから、空中写真の判読経験が少ない技術者による空中写真判読ならびにオルソフォトと地形図を用いた崩壊地の判読は、色調の違いによる判読が主であるため裸地箇所を数多く抽出できる一方、地すべり地の滑落崖における小規模な崩壊や浸食型、剥離型崩壊などの土砂移動現象が考慮できていない点に課題があると考えられる。したがって、空中写真が撮影されていない時期の崩壊地の分布図を作成する際には、オルソフォトと地形図を用いた崩壊地判読によって、裸地箇所を数多く抽出し、その後、熟練技術者による崩壊前の空中写真を用いた実体視で、オルソフォトと地形

図を用いて抽出した裸地箇所周辺の地形状況を考慮したうえで、土砂移動現象ごとに区分して、本システムの精度検証に用いるための表層崩壊型の崩壊地の分布図とすることが重要であると言える。

6. 今後の崩壊地分布図作成について

実体視できる空中写真が整っていない場合が多いことや、空中写真の実体視の経験の浅い技術者も多いことから、今後の崩壊地分布図を作成するために、空中写真を用いて、2枚1組の画像に赤と青の色を割り当ててカラー合成したアナグリフ画像⁹⁾(図5参照)を赤青眼鏡にて画面上で実体視する方法やオルソフォト、Google Earth⁴⁾(1/500~1/1,000、1mmが0.5m~1m)を活用して、GIS上で崩壊地ポリゴンを作成していくことが主流になると考えられる。ただし、先にも述べたように裸地部を数多く、位置情報も正確に抽出できる一方で、土砂移動現象を理解した上での崩壊地の判読にはならない可能性がある。そのため、オルソフォトと地形図を用いて抽出した裸地箇所を抽出しておいて、熟練技術者による空中写真を用いた実体視により、裸地箇所の地形形状を判読して、正確な表層崩壊型の崩壊地分布図を作成し、本システムの精度検証に用いることが大変重要であると言える。

さらに、近年、航空レーザ測量を複数時期で撮影して、標高差を比較することで、崩壊地を把握する方法¹⁰⁾や衛星画像(光学画像、SAR画像)の2時期重ね合わせで、その差分をとった反射強度差分画像を用いて崩壊地を把握する方法¹¹⁾などが実用化に向けて検討されている。このように広域における崩壊地分布図を作成する方法が検討されているが、基本的に災害時に裸地になった箇所を抽出しているため、本システムにおける検証データとして用いる表層崩壊型の崩壊箇所の分布図を作成するためには、熟練技術者が実体視によって土砂移動現象の把握を行うことが重要であると言える。さらには、若手技術者にも判読技術を継承していくことも大切であると改めて感じた。

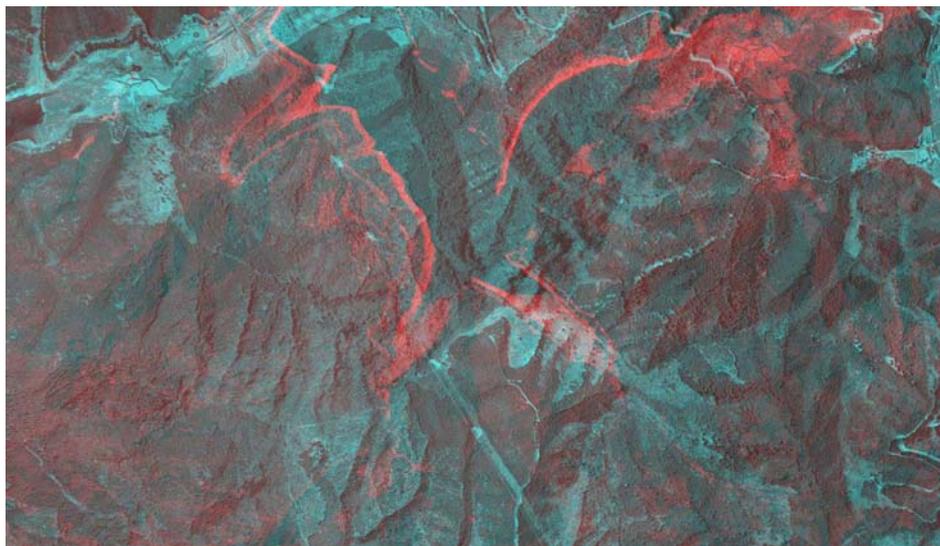


図5 空中写真アナグリフ画像(国土地理web⁸⁾よりデータを取得し加工)

7. システムにおける検証計算について

今回、熟練技術者により崩壊箇所を再度判読した結果をもとに、地盤モデルを周辺市町の層厚式や地盤定数を参考に地盤モデルの修正を行い、朝来市、養父市における災害時のシステムの精度を検証した。表4は、崩壊地の箇所について、地盤モデル修正後の検証計算の結果を示したものである。この結果、朝来市、養父市におけるいずれの検証対象災害においても崩壊捕捉率をおおむね80%確保できる地盤モデルとなった。ここで、捕捉数は、計算によって崩壊判定された崩壊地の箇所数で、見逃数は、計算によって非崩壊判定された崩壊地箇所数を示している。また、この表に示す捕捉率は、捕捉数を全崩壊箇所数で除したものである。一方、見逃率は、見逃数を全崩壊箇所数で除したものである。

つぎに10mのセルによる指標について評価した結果を表5に示す。この表から、地盤モデル修正後は、捕捉率はおおむね80%を保ち、令和2(2020)年度まで運用していたモデルにおいて、少雨で判定セルが生じるような箇所を個別

に地盤定数を設定することで空振り判定が生じないように微調整した設定を取り除いたもの（プレーンモデル）結果（表 6、7）と比較して、空振率が半分程度に低下したモデルになっている。なお、本表の適中率、捕捉率、空振率、見逃率の演算は図 6 に示すとおりである。ここで、平成 16（2004）年台風 23 号による崩壊箇所数は、朝来市域、養父市域ともにおおよそ 20 箇所前後で同程度の崩壊箇所数である。一方、朝来市の平成 21（2009）年の崩壊箇所数は、平成 16（2004）年の崩壊箇所数より多くなっている。これは、累積雨量は 250mm 程度と同程度^{12)、13)}であるが、平成 21（2009）年の降雨のほうが、時間雨量が 50mm 以上^{12)、13)}と多く、その強雨を受けた分布域での崩壊地が多いことから、時間雨量の強弱の違いによって崩壊箇所数が多くなったものと考えている。なお、モデル修正後に見逃している崩壊地の多くは、集水性の低い箇所であり、地盤内の複雑な地下水の流れが影響しているものと推察された。今後、見逃し箇所の分析を進める必要があると言える。

表 4 崩壊地箇所数におけるシステムの捕捉率と見逃率（モデル修正後）

対象市域	検証対象災害	崩壊箇所数 (箇所)	捕捉数 (箇所)	見逃数 (箇所)	捕捉率	見逃率
朝来市	平成 16(2004)年	16	12	4	75.0%	25.0%
	平成 21(2009)年	44	35	9	79.5%	20.5%
養父市	平成 16(2004)年	21	17	4	81.0%	19.0%
	平成 23(2011)年	14	12	2	85.7%	14.3%

※捕捉率は、捕捉数を全崩壊箇所数で除したものの。

※見逃率は、見逃数を全崩壊箇所数で除したものの。

表 5 セル数におけるシステムの適中率などの指標（モデル修正後）

対象市域	検証対象災害	A (セル数)	B (セル数)	C (セル数)	D (セル数)	適中率	捕捉率	空振率	見逃率
朝来市	平成 16(2004)年	81	25	75,228	3,369,938	97.8%	76.4%	2.2%	23.6%
	平成 21(2009)年	247	73	48,800	3,396,152	98.6%	77.2%	1.4%	22.8%
養父市	平成 16(2004)年	118	19	60,925	3,723,553	98.4%	86.1%	1.6%	13.9%
	平成 23(2011)年	69	11	59,350	3,725,185	98.4%	86.3%	1.6%	13.8%

※セル数は、山地域における計算メッシュ数（10m×10m の個数）を示している。

8. おわりに

令和 2（2020）年度までに構築したモデルは、少雨で判定セルが生じるような箇所を個別に地盤定数を設定することで空振り判定が生じないように微調整したもので、その微調整を取り除いたプレーンモデルを用いて計算を実施した場合、朝来市、養父市の空振りセルが、他の市町の結果と比較して多い結果となっていた。その原因について、分析を行う中で、検証計算に用いる崩壊地の分布図が崩壊メカニズムを考慮した崩壊地の分布図として作成することが大変重要であると改めて認識した。また、この崩壊地分布図を作成するためには、熟練技術者が実体視によって土砂移動現象の把握を行うことが重要であるが、若手技術者にも判読技術を継承していくことも大切で、継続的な教育訓練が必要であると言える。

崩壊メカニズムを考慮した崩壊地分布図とすることで、崩壊捕捉率 80%程度、空振率 2%程度となるモデルを構築することができ、崩壊捕捉率を保ちながら少雨による崩壊判定（空振り）を低減でき、他地域と同程度のレベルのモデル

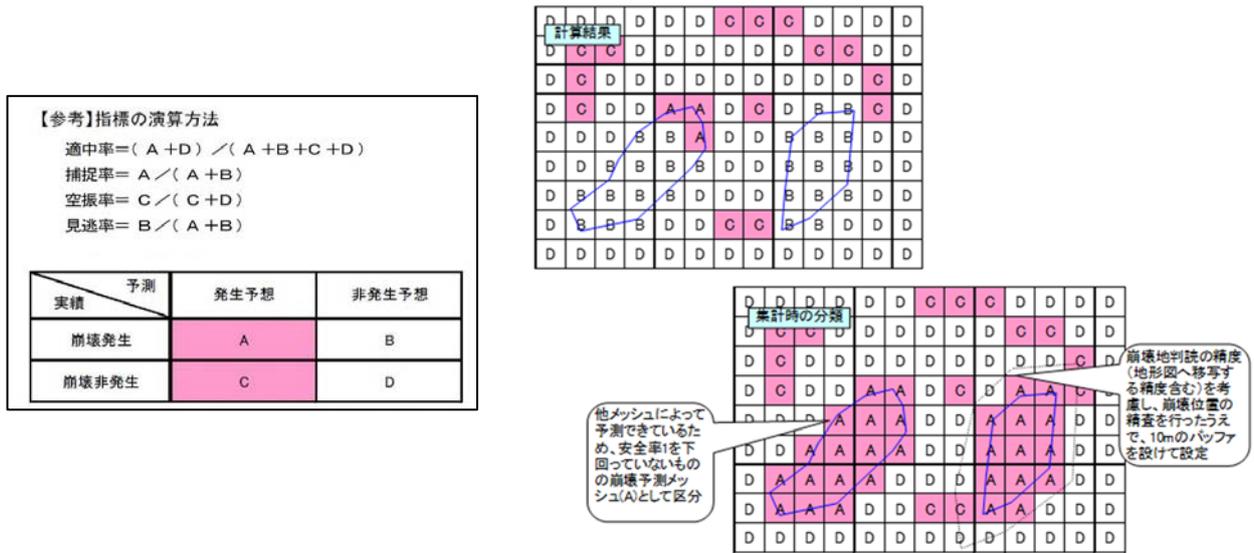


図6 指標の演算方法¹⁾

とすることができた。ただし、このモデルであっても令和3(2021)年8月豪雨を降雨条件として、少雨における空振り判定セルが谷地形の上流付近に分布することから、別報⁵⁾で述べる地質における風化特性を考慮した地盤定数の見直しや透水係数の見直しを行うことで、さらに少雨における空振り低減を行う必要があり、朝来市、養父市域においてもこのモデルをもとに、空振り低減できるようモデルの修正を行った。

最後に、過去報告^{14)、15)、16)、17)}した再現計算結果の捕捉率、空振率などについては、本報で報告した崩壊地分布図の見直しを行い、モデル修正を実施した再現計算の結果(表5)に訂正させていただきたい。

表6 過去に報告した養父市域におけるセル数におけるシステムの適中率などの指標¹²⁾

検証対象 災害	A (セル数)	B (セル数)	C (セル数)	D (セル数)	適中率	捕捉率	空振率	見逃率
平成16(2004)年	858	201	137,911	3,645,645	96.4%	81.0%	3.6%	19.0%
平成23(2011)年	587	138	134,359	3,649,531	96.4%	81.0%	3.6%	19.0%

表7 過去に報告した朝来市域におけるセル数におけるシステムの適中率などの指標^{13)、14)、15)}

検証対象 災害	A (セル数)	B (セル数)	C (セル数)	D (セル数)	適中率	捕捉率	空振率	見逃率
平成16(2004)年	961	198	134,632	3,309,481	96.1%	82.9%	3.9%	17.1%
平成21(2009)年	1,281	277	94,735	3,350,140	97.2%	82.2%	2.8%	17.8%

【謝辞】

本報告は、兵庫県のご支援を得て実施した業務成果の一部である。この場を借りて厚く御礼申し上げる。

参 考 文 献

- 1) 沖村孝・鳥居宣之・中川渉・原口勝則：土砂災害のためのリアルタイムハザードシステムの作成手順，建設工学研究所論文報告集，第56号，pp.67-83，2014.
- 2) 国土交通省国土地理院 web：平成30年7月豪雨に関する崩壊等分布図（ライン），

- <https://www.gsi.go.jp/kikaku/201807gou.html>, (2022. 9. 11 閲覧)
- 3) 国土交通省国土地理院：高密度地形データを用いた斜面崩壊予測のための大縮尺地形分類手法マニュアル, 2018.
 - 4) Google Earth：<https://www.google.co.jp/intl/ja/earth/> , (2022. 9. 11 閲覧)
 - 5) 沖村孝・鳥居宣之・中川渉・原口勝則・鏡原聖史・笠原拓造：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 (12), 建設工学研究所論文報告集, 第 63 号, pp. 23-46, 2021.
 - 6) 沖村孝・鳥居宣之・中川渉・鏡原聖史・笠原拓造・窪田安打・葛巻怜香・関英理香・伊藤正美：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 (13), 建設工学研究所論文報告集, 第 64 号, 2022. (掲載予定)
 - 7) 国土交通省国土地理院 web：<https://www.gsi.go.jp/gazochosa/gazochosa40002.html> , (2022. 9. 11 閲覧)
 - 8) 国土交通省国土地理院 web：<https://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1> , (2022. 9. 11 閲覧)
 - 9) 沼津工業高等専門学校教養科 教授 佐藤崇徳 web：
<https://user.numazu-ct.ac.jp/~tsato/tsato/graphics/anaglyph/process/process.html>, (2022. 9. 11 閲覧)
 - 10) 竹下航・藤平大・後根裕樹・中野陽子・江藤稚佳子・櫻井由起子・青木利昌：計測諸元の違いを考慮した航空レーザ測量による斜面変動把握手法の検討, 砂防学会研究発表会, pp. 521-522, 2018.
 - 11) 鈴木崇・松井大輔・本多泰章・花田大輝：土砂災害を対象とした被害状況把握に衛星画像を活用した事例に関する一考察 (令和 2 年 7 月豪雨を例にして), 砂防学会研究発表会, pp. 81-82, 2021.
 - 12) 気象庁 web：
https://www.data.jma.go.jp/obd/bsdb/data/files/sg_history/28000/2004/28000_2004_8_8_1.pdf, (2022. 9. 11 閲覧)
 - 13) 気象庁 web：
https://www.data.jma.go.jp/obd/bsdb/data/files/sg_history/28000/2009/28000_2009_4_8_1.pdf, (2022. 9. 11 閲覧)
 - 14) 兵庫県：養父市域 箇所別土砂災害危険度予測システム検証業務 報告書, 2019.
 - 15) 鏡原聖史・沖村孝・鳥居宣之・中川渉・原口勝則・根本信行・植田允教：表層崩壊リアルタイムハザードシステム構築について - 朝来市域のモデル構築 (その 1), 建設工学研究所論文報告集, 第 58 号, pp. 59-72, 2016.
 - 16) 鏡原聖史・沖村孝・鳥居宣之・中川渉・原口勝則・根本信行・植田允教：表層崩壊リアルタイムハザードシステム構築について - 朝来市域のモデル構築 (その 2), 建設工学研究所論文報告集, 第 59 号, pp. 41-47, 2017.
 - 17) 兵庫県：朝来市域 箇所別土砂災害危険度予測システム検証業務 報告書, 2017.

著 者

沖村 孝	所員, 理学博士, 地盤工学
鏡原 聖史	客員研究員, 株式会社ダイヤコンサルタント, 博士 (工学), 地盤工学
濱本 拓志	株式会社ダイヤコンサルタント, 博士 (理学), 応用地質学
根本 信行	株式会社ダイヤコンサルタント, 空間情報学
笠原 拓造	客員研究員, 国際航業株式会社, 砂防工学