

直轄河川手取川上中流域右岸側集落の防災・減災に向けた広域斜面危険度判定システムの構築

広域斜面危険度判定システム研究会

◎Key Words : 中山間地, 斜面災害, 危険度判定, 地域防災

1. 研究の概要

1.1 研究の背景

図 1.1 に示すように、研究の対象範囲とする石川県白山市鶴来町～白山市瀬波・木滑は、手取川上中流域の中山間地にあたり、昭和 9 年の大洪水により流域の集落が甚大な被害を受けている。上流の手取川ダムの完成により水害の危険性は軽減されているものの、昨今の降雨状況に照らせば、周辺の支溪流を含めた斜面災害の発生と洪水による二次災害の危険性は、山間地の荒廃の進行や土地利用状況の変化により増大している。石川県内における 2008.7 浅野川豪雨災害に見られたように、中山間地域の集中豪雨などによる大規模土砂災害の特徴は、その地域の危険指定区域(土石流危険区域や地すべり危険区域など)の崩壊にとどまらず、それより奥部(危険指定区域外)の広域斜面から発生する大量の崩壊土砂と流木が河川へ流入し、河川閉塞と上下流部の氾濫、洪水から、流域住民の生命、財産にさらなる被災規模を拡大させ、長期化させている。

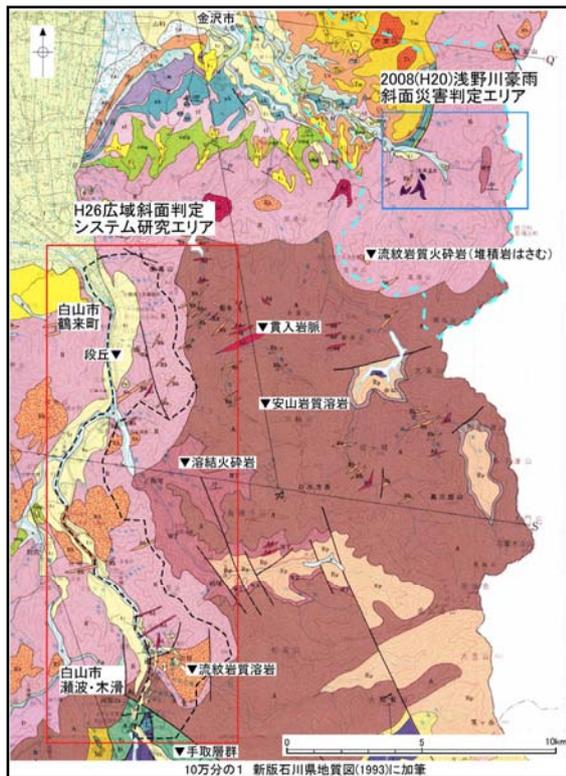


図 1.1 既往解析と本解析のエリアの位置図

このような視点で手取川流域の右岸側集落(尾添川合流点から鶴来町まで)に注目すると、図 1.2 に示すように、数多くの土砂災害危険溪流に指定された急勾配支溪流の存在に気付く。したがって、これら危険支溪流沿いを含み更なる奥部の広域斜面の崩壊は、まさにこれら支溪流と手取川との合流点付近に佇む多くの集落に甚大

な被害を及ぼし、更に上下流部の河川機能に長期的な影響を及ぼす危険性を秘めている。このような視点において、管理の枠を超えた防災・減災対応は、喫緊の課題であり、斜面崩壊を起因とする土石流災害などを視野に入れた広域斜面災害予測手法の開発や、地域防災計画に寄与する広域災害ハザードマップの作成が必要である。本研究では、これまでに浅野川の斜面崩壊データを解析して、斜面崩壊危険度マップを作成する手法の検討を行ってきた。今回、手法の適用性、汎用性を検討する目的で、手取川右岸の支溪流斜面の崩壊危険度マップを試作し、地域防災に寄与することを目指した。

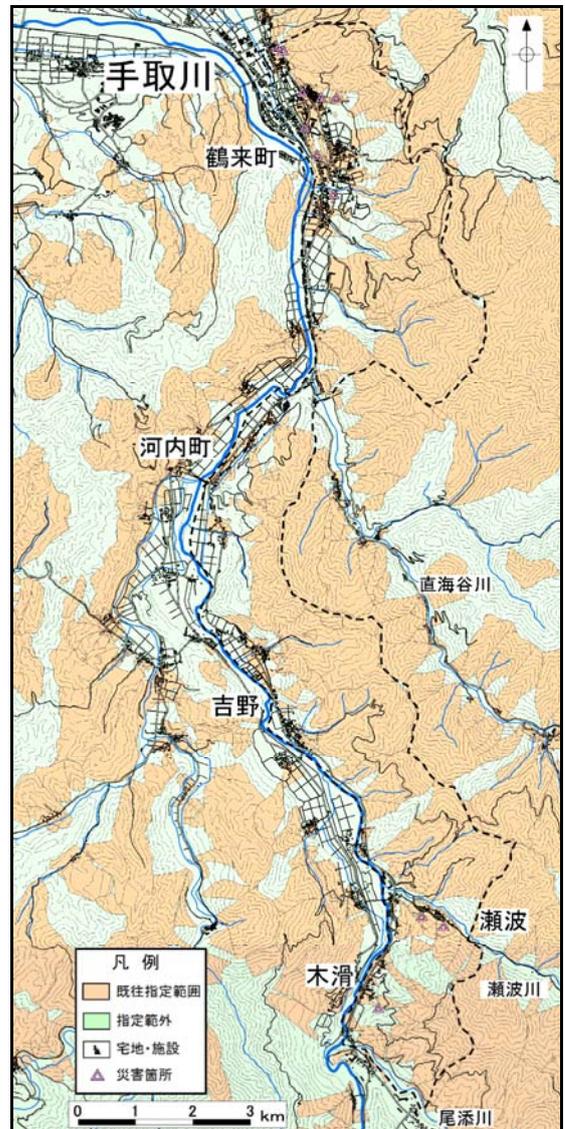


図 1.2 研究範囲における土砂災害指定の状況
(石川県土木部および農林水産部データより)

1.2 支溪流斜面と土砂災害の危険性

表 1.1 に石川県土砂災害情報システム(以下、砂防ア)から検索した研究範囲における 1976.10～2014.4 の

土砂災害記録の一覧表を示す。

研究範囲の最近30年間の被害履歴については、市街地化範囲や集落に隣接する急傾斜地と土石流危険渓流出口において記録が見受けられるが、その背後の支溪流斜面崩壊における記録は極めて少ない。

表 1.1 調査範囲内の土砂災害一覧表 (1976.10~2014.4)

| 災害形態 | 災害原因 | 発生日時 | 場所 | 位置・種類 |
|------|---------|------------|------------------|----------|
| がけ崩れ | | 2013/4/20 | 白山市 河内村 | 瀬波2号 |
| その他 | | 2010/6/16 | 白山市(鶴来町) 白山町 | 白山町1号 |
| その他 | | 2010/6/16 | 白山市(鶴来町) 白山町 | 白山町1号 |
| その他 | 梅雨前線豪雨 | 2005/6/6 | 白山市(鶴来町) 白吉町 | 深山谷川・土石流 |
| がけ崩れ | 梅雨前線 | 2004/6/8 | 白山市(鶴来町) 白吉町 | 日誌 |
| がけ崩れ | 融雪 | 2002/2/2 | 白山市(鶴来町) 今町 | 今町 |
| がけ崩れ | 融雪 | 2001/2/21 | 白山市(鶴来町) 本町4丁目 | 本町2号 |
| 土石流 | 融雪・地すべり | 1984/4/20 | 白山市(吉野谷村) 宇木清上木清 | 三粒谷川・土石流 |
| がけ崩れ | 梅雨前線豪雨 | 1983/7/21 | 白山市(鶴来町) 朝日町 | 朝日 |
| 土石流 | 融雪 | 1981/4/1 | 白山市(鶴来町) 白吉町 | 平等寺川・土石流 |
| がけ崩れ | 風雨波浪注意報 | 1976/10/31 | 白山市(鶴来町) 本町4丁目 | 本町1号 |

*網掛丸は支溪流斜面における主な災害箇所

これらの災害箇所における支溪流斜面の崩壊箇所を特定する目的で、地形観察を行った。このうち、図 1.3 に市街地化が進んでいる鶴来町の深山谷川と平等寺川の観察位置を示す。図 1.4 は、2005年6月6日の梅雨前線豪雨による土石流の記録がある深山谷川について、UAV(無人小型飛行機)による溪流斜面の現状を空撮した斜め写真である。土石流発生の記事はあるものの、災害形態については「その他」となっており、その規模や発生については不明な点がある。UAVによる地形観察によれば、災害の発生した本流沿は砂防工事が進み、土石流による下流側への影響は抑止されている。しかし、砂防堰堤の下流にあたる右岸斜面には、斜面崩壊跡と崩壊堆積物が観察され、今後の大雨による更なる斜面崩壊と崩壊堆積物からの土砂流入による深山谷川本流への影響が懸念される。



図 1.3 斜面崩壊と土石流発生箇所の観察箇所(鶴来町)

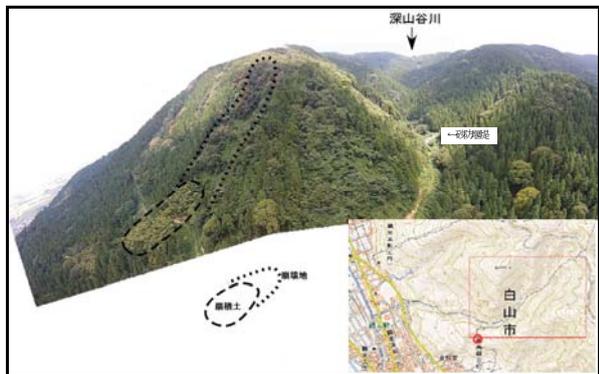


図 1.4 深山谷川における砂防と周辺斜面の状況

同じく、図 1.5 に示すように、1981年4月1日に融雪による土石流発生記録がある平等寺川では、現在、災害対策として、大規模な砂防堰堤が完成し、溪流の出口付近にあった小学校の移転(朝日小学校平成25年9月竣工)などが進んでいる。

このように市街地化が進んでいる地域では、砂防施設などのハード対策、危機管理などのソフト対策が進んでいるが、今後、街地化は山麓部や対策の及んでいない上流部へと広がると考えられ、平野側に面した1次谷を含む支溪流斜面の崩壊による土砂災害が懸念される。



図 1.5 平等寺川における砂防と周辺斜面の状況

2. 支溪流斜面の地盤特性

2.1 地形・地質

表 2.1 に現地調査による手取川右岸流域と浅野川流域の地形・地質の概要を示す。浅野川流域と比較して、支溪流部はやや急傾斜で、露岩が多い。一方、谷底部は幅が広く段丘が発達している。

表 2.1 手取川右岸流域と浅野川流域の地形・地質

| | 手取川右岸流域 | 浅野川流域 | 備考 |
|---|----------------------------|---------------------------|------------------------------|
| 地 | 地形 | 丘陵、段丘 | 丘陵主体 |
| | 標高(流域界) | 700~800m | 500~600m |
| | 河床との比高 | 600m | 300m |
| 形 | 傾斜範囲 | 0~50° | 0~50° |
| | 段丘面の発達程度 | 強い(7段) | 弱い(2~3段) |
| 地 | 緩斜面の分布(概ね20°程度) | 崖壁、強風化岩(風化残積土)、地すべり、段丘堆積物 | 浅野川では崖壁、強風化岩を表土層として取扱い |
| | 地質構造 | 15~30° 北 | 北部:20~45° 北西 南部:10~20° 南東 |
| | 地質・岩質の名称 | 流紋岩、火砕岩類 | 流紋岩、火砕岩類 |
| | 岩の硬さ | A~Bクラス | B~Cクラス (まれにAクラス) |
| 質 | 岩の風化 | 塊状 | 細粒状、土砂状 |
| | 強風化層の厚さ | 1m程度 | 1~5m程度(最大7m) |
| | 凝灰岩・凝灰角礫岩からなる火山砕屑岩の熔結部の度合い | 熔結部が多い | 非熔結部が多い(熔結部が少ない) |
| | 溶岩流 | 多い(流紋岩質) | 少ない |

図 2.1 に国土地理院基盤地図情報(10mメッシュ)による解析エリア付近の斜面傾斜角度の頻度分布を示す。斜面傾斜角はほとんどが20~40°の範囲内にあり、33°前後の急傾斜面が比較的が多い。

図 2.2 に山地災害危険地区調査(石川県森林部)及び、鉄塔基礎調査(北陸電力提供)データに基づく、斜面傾斜角と表土層厚の関係を示す。斜面が急なほど薄く、緩やかなほど僅かに厚い傾向があり、表土層厚は1m以下である。この傾向は現地調査においても確認されており、傾斜40°以上の急斜面では露岩している場所が多い。

表土層の厚い箇所もあるが、今回の解析においては層厚1m以下の表層崩壊を対象として、支溪流斜面の安定性の検討を行った。

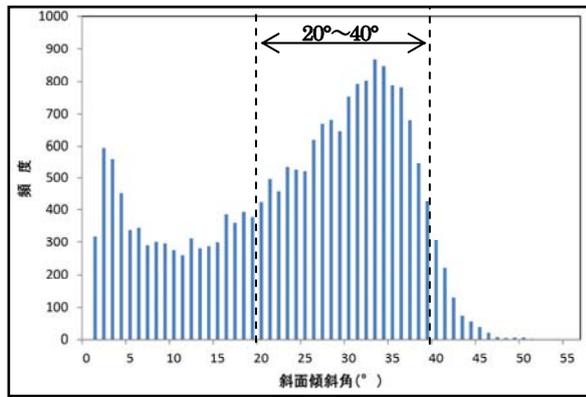


図 2.1 斜面傾斜角度の頻度分布

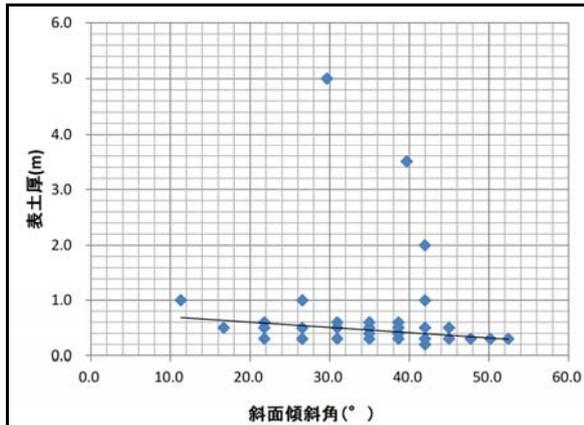


図 2.2 手取川右岸流域の斜面傾斜角

2.2 斜面安定性の評価

表 2.2 に表土層の土質試験・力学試験結果の一覧表を示す。試験結果に基づいて、降雨条件による地下水位の状態を①地下水位：なし，②地下水位：中間，③地下水位：地表面として，斜面安定性を試算した。

平面形状の崩壊幅と崩壊長さの関係については，実際の崩壊データが少ないため，浅野川流域 2008.7 災害での実際の斜面崩壊の崩壊厚さ 1m 以下の場合の代表例を抽出した。また，横断形状のすべりの最大厚さは，表土層厚とした。三次元斜面安定計算結果を図 2.3 に示す。

解析の結果，地下水位が地表面まで上昇すると，ほとんどの斜面ですべり安全率が 1 を下回ること，地下水位が表土層中に無い場合，40° 以下の斜面では安全率が 1 を上回ることが分かる。一方，地下水位が表土層中の中間以上に位置する場合，傾斜角が大きい斜面から次第に，安全率は 1 を下回るようになる。

三次元斜面安定計算の計算条件は，次のとおりである。

- 1) 計算手法：修正 Hovland 法
- 2) 計算モデル：
 - ・一定の傾斜角(20, 30, 40°)のフラットな斜面
 - ・すべりの形状：楕円形
- 3) 土性（表土層の CU 三軸試験より）：

$$C' = 0.9 \text{ kN/m}^2, \phi' = 31.5^\circ, \gamma = 19.3 \text{ kN/m}^3$$
- 4) 地下水位：
 - ①地表面
 - ②表土層厚の中間位置
 - ③表土層より下方(表土層中には地下水位なし)

表 2.2 表土層の土質試験・力学試験結果の一覧表

| | | 手取川 右岸流域 | 浅野川流域 |
|------------|---------------------------------|-------------|-------------|
| 一般 | 湿潤密度 $\rho_t (\text{g/cm}^3)$ | 1.927 | 1.535 |
| | 土粒子の密度 $\rho_s (\text{g/cm}^3)$ | 2.680 | 2.684 |
| | 自然含水比 $W_n (\%)$ | 23.1 | 51.6 |
| | 間隙比 e | 0.711 | 1.651 |
| 粒度 | 礫分 2~75mm (%) | 33.3 | 23.0 |
| | 砂分 75 μm ~2mm (%) | 38.3 | 28.0 |
| | シルト分 5~75 μm (%) | 10.7 | 29.0 |
| | 粘土分 5 μm 未満 (%) | 17.7 | 20.0 |
| | 最大粒径 (mm) | 19 | 19 |
| 分類 | 地盤材料の分類名 | 粘土質 礫質砂 | シルト質 砂質礫 |
| | 分類記号 | (SCG) | (GMS) |
| コンシステンシー特性 | 液性限界 $WL (\%)$ | 50.2 | 72.1 |
| | 塑性限界 $Wp (\%)$ | 19.8 | 40.8 |
| | 塑性指数 I_p | 30.4 | 31.3 |
| | コンシステンシー指数 I_c | 0.9 | 0.7 |
| 三軸圧縮 | 試験条件 | CU | CU |
| | C' (kN/m ²) | 0.9 | 1.5 |
| | ϕ' (°) | 31.5 | 31.0 |

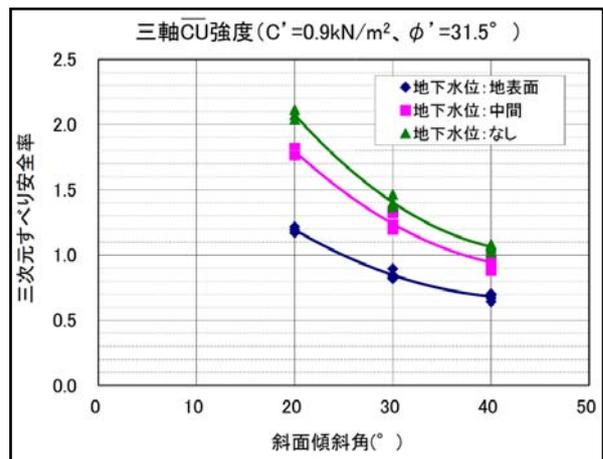


図 2.3 すべり安全率と斜面傾斜角の関係

3. 広域斜面危険度判定マップ

3.1 広域斜面危険度判定手法の精度と有効性

本システムを土砂災害地点の予測に利用するためには，予測精度について検証する必要があり，システム開発の契機となった浅野川災害について，既往の土砂災害指定地区と非指定地区毎に，システム予測による崩壊箇所の捕捉率を検討した。

図 3.1 は「崩壊」群に属するメッシュを赤色，「非崩壊」群に属するメッシュを緑色に色分けしたものである。判別率的中率としては，崩壊の実績と推定が一致したサンプル数を崩壊の実績群のサンプル数で除した値であり，「崩壊」，71.8%，「非崩壊」65.9%であった。なお，非崩壊地の判別率的中率は，崩壊の実績群と同数のサンプルを非崩壊地よりランダムに抽出して求めた。判定システムの有効性は，浅野川解析エリアの隣接地域におけるカテゴリースコアと対象地区の崩壊事例により検証した(図 3.2)。その結果，実際に崩壊したメッシュのほとんどが，赤色メッシュと重なっていることが分かる。

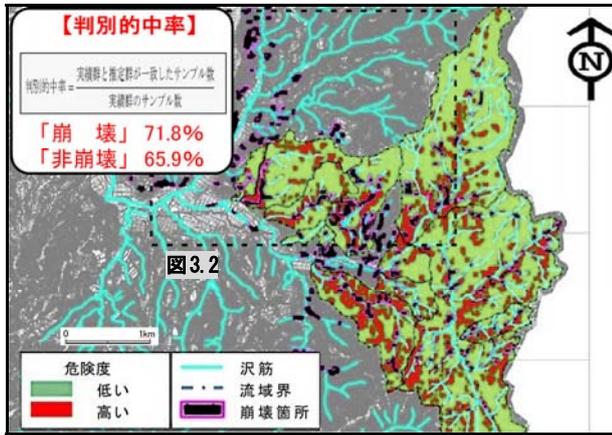


図3.1 浅野川上流域における斜面崩壊ハザードマップ

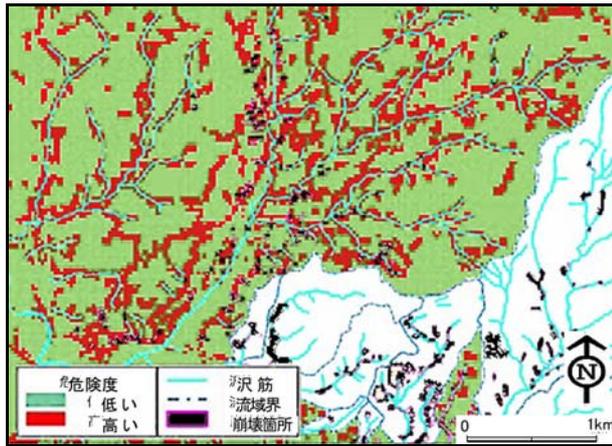


図3.2 判定システムの有効性の検証（隣接地域）

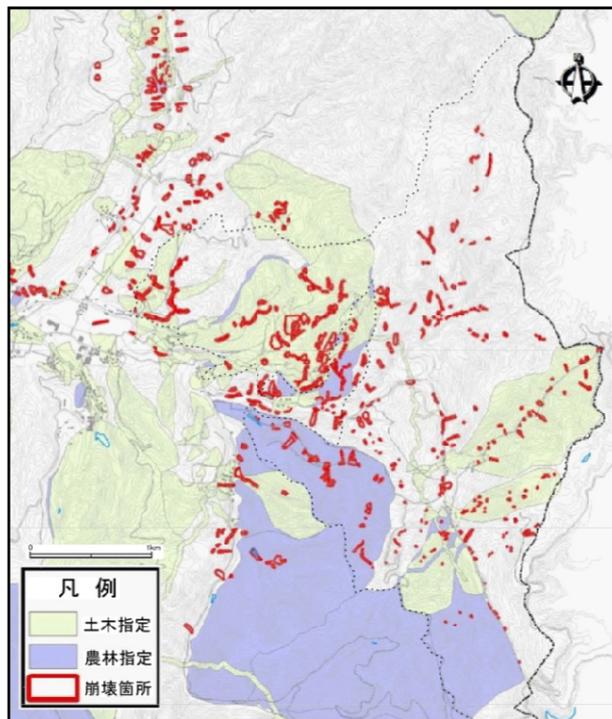


図3.3 既往指定範囲と崩壊発生箇所
（既存指定箇所の捕捉率）

また、図3.3に示すように、浅野川上流域における既存の危険指定箇所（土木指定、農林指定）と、浅野川豪雨による実際の斜面崩壊箇所を比較した。

既存の危険指定箇所以外の空白域で多くの斜面崩壊が確認できる。対象地区の崩壊メッシュ696に対して、既存の危険指定箇所に重なるメッシュ436、空白域のメッシュ260である。

この数値は、実際に発生した斜面崩壊の約4割が、危険指定を受けていない空白域の斜面で発生したことを示す。このことから、中山間地域の斜面防災に不可欠な、広域に亘る斜面危険度を把握する上で、既存の危険指定のみでは不十分であることが分かる。

このように、広域斜面危険度判定システムの検証結果は、十分な予測精度を有するハザードマップ作成の可能性と、既存の危険指定に掛からない空白域の斜面に対する危険度判定の有効性を示している。

3.2 本流域における判定マップの試作と検証

浅野川豪雨災害の検証は、500年以上に1回のような異常降雨時における斜面崩壊の事例であり、道路通行規制や大雨警報を想定した連続雨量150mm程度の判定マップを作成する必要がある（西野・川村，2013）。

本地域における降雨量と地下水の関係については、今後、支溪流斜面における地下水位観測を実施する必要があるが、ここでは図2.3に示した地下水位が表土層厚の中間まで上昇すると仮定し、西野・川村（2013）の手法に準拠して試作した判定マップ（50mメッシュ）を図3.4に示す。なお、傾斜40°以上の斜面では、露岩が多く表土層厚も比較的薄いと判断して判定図を作成した。

同図によれば、2013年04月20日07:30に瀬波（図A地点）において発生した融雪によるがけ崩れは、斜面崩壊危険度が高い箇所として捕捉している。

なお、崩壊に関する記録は無いが、今回の調査において確認した吉野大谷川溪流奥の北側斜面における大規模な斜面崩壊跡（図B地点）は、崩壊地の滑落崖付近や未崩壊範囲に崩壊危険度が高い箇所を捕捉しており、今後の崩壊の拡大が懸念される。また、図C地点に示したように、深山谷川の右岸においてUAVにより観察した崩壊箇所（図1.4参照）も斜面崩壊危険度が高い箇所として判定している。一方、図D地点（雲龍山の南西側斜面）のように、岩盤が露出するような急傾斜面の表層崩壊の危険性は低いと判断している。

本手法による危険度判定の捕捉精度の検証として、石川県森林部の山地災害危険地区調査のうち、崩壊土砂流出危険地区の調査図（森林基本図1/5,000）に記入されている調査箇所（青○印）を災害履歴に準ずるもの（以下、準崩壊箇所）として捕捉率を算出した。

解析範囲において、準崩壊箇所は71箇所あり、このうち63箇所について捕捉しており、捕捉率は9割程度である。捕捉率は比較的高く、崩壊土砂流出地点のサンプリング精度や農林指定外の支溪流の判定も考慮すれば、本手法による斜面危険度の判定は、指定地以外の危険斜面の抽出に有効であることが推察される。

また、浅野川地区と同様、指定地から外れた斜面において、崩壊危険度の高い斜面が散見される。今後、詳細な調査を実施する必要があるが、ハード対策の優先順位などを決定する際に有効な情報となる可能性を示している。

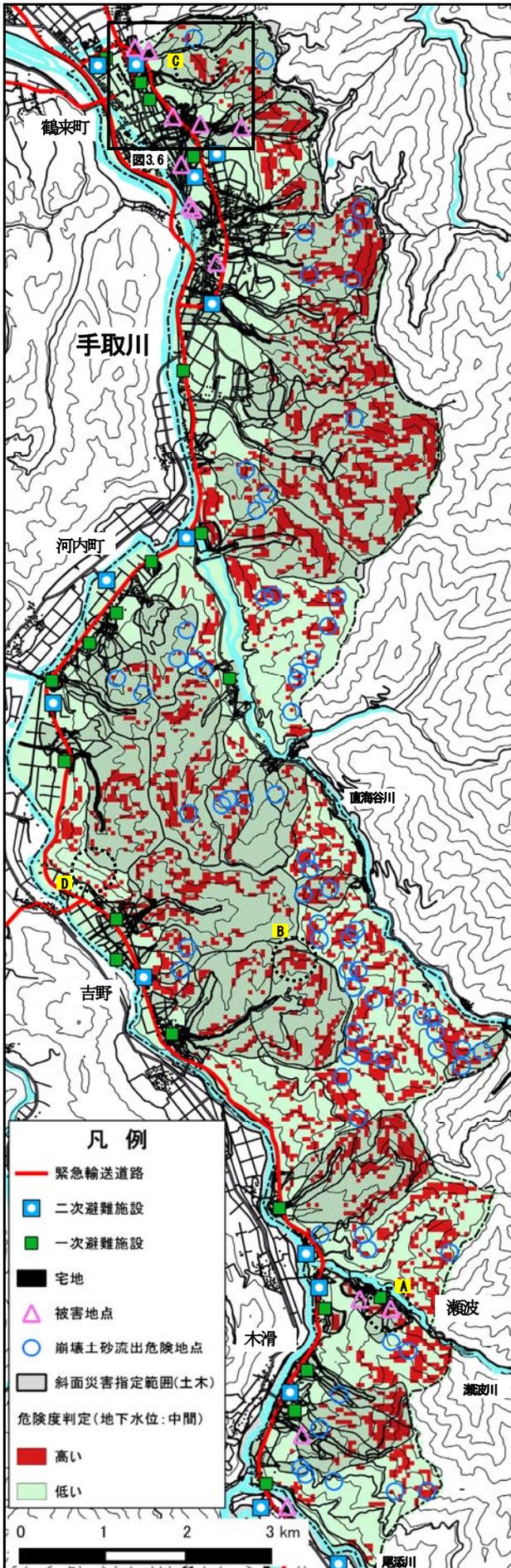


図3.4 手取川右岸流域における斜面崩壊危険度判定(試作図)



図3.5 吉野大谷川溪流奥の大規模な斜面崩壊(B地点)

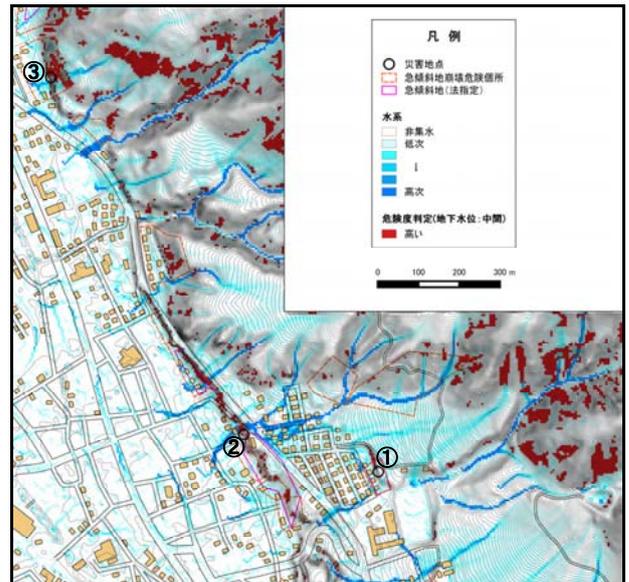


図3.6 5mメッシュデータによる斜面崩壊危険度判定(試作図)

ただし、50mメッシュによる危険度判定マップは、鶴来町のような山麓斜面で発生した斜面災害を捕捉していない。そのため、公表されている5mメッシュを利用し、災害マップとしての適用性を検証した(図3.6)。

同図中の①～③は砂防アイにおいて、降雨との関係が明らかな「がけ崩れ」による災害記録の箇所である。

①地点は、白山市朝日町団地の背後斜面であり、1983年07月21日06:00梅雨前線豪雨(連続雨量98mm)によるがけ崩れが発生している。

②地点は、白山市清沢町下の石川県道103号沿いの崖地形であり、2004年06月08日08:00梅雨前線(連続雨量39mm)によるがけ崩れが発生している。

③地点は、白山市鶴来本町4丁目一閑庵裏の崖地形であり、1976年11月02日09:00風雨波浪注意時(連続雨量53mm)にがけ崩れが発生している。

いずれの地点も砂防指定されているが、その範囲内における災害発生の地点を本判定システムは捕捉している。なお、同図の沢筋に着目すると、沢の発達程度が大きいほど(②>③>①)少ない降雨量(連続雨量)で崩壊が発生しており、沢筋を考慮した本判定システムにおける解析手法の妥当性が伺える。

このように平野側に隣接する山地斜面の危険度判定に

においては、5mメッシュによる解析が有効であるが、現時点ではデータの利用範囲は限られている。

4. 今回の成果と今後の課題および展開

今回、本判定システムの改良・改善・検証のため、災害記録が少ない手取川中流域右岸支渓流を対象とした調査研究を行った。現地の崩壊状況の把握にあたって利用したUAV(無人小型飛行機)は、立ち入りの困難な急溪流斜面における崩壊地調査において、極めて有効な方法であった。

浅野川豪雨災害を契機に開発した斜面危険度判定システムの解析精度と既往指定範囲への適用性については、浅野川災害範囲の再解析により、高い判定率と適用性を確認した。

研究の対処とした手取川右岸流域の崩壊危険度マップに関しては、50mメッシュの判定マップを作成し、判定手法の汎用性と適用性について検証した。また、災害記録が比較的が多い中山間地の山麓平野部における5mメッシュの判定マップを試作した。その結果、それぞれの地形精度に応じた判定マップの違いはあるが、利用の目的(広域斜面ハザードマップ、宅地・道路斜面評価など)に応じた有効な斜面情報の提供が可能な解析システムであることが確認できた。

ただし、作成したハザードマップについては、降雨による地下水水位に関して表土層の中間まで上昇することを仮定している。したがって、今後、地下水観測孔の設置により、降雨や融雪に伴う検証が必要である。

このような検証により、降雨毎の斜面崩壊危険度を把握し、土砂流出の影響範囲をシュミレーションすることによって、斜面崩壊危険度も加味した中山間地集落のための防災マップの作成が可能となる。

一方、今後、地理情報データの精度は、計測手法の汎用性の拡大、低価格化により5mメッシュなどの高精度のデータが手軽に入手可能な範囲が広がりつつある。このような高精度のデータを利用し、今後の土地利用が進むと考えられる山麓平野側に隣接する宅地の斜面防災や道路交通規制への適用が考えられる。

したがって、このような高精度のデータを自ら取得するための手法(UAV空撮による写真測量)の開発や危険度判定処理フローの整理と効率化により、判定システムの即応性と汎用性を高める努力を続ける。

今後、図4.1に示すように、本研究における斜面判定システム研究開発は、地形・地質要素の異なる地域を対象として、今年度と同様の取り組みを実施し、システムの汎用性、適用性、有効性、精度向上などの技術開発を続ける。また、本年度の研究範囲においては、地域特性を把握するために候補地点を選定し、ボーリング調査による地盤特性、地下水水位、降雨・融雪特性などのデータを継続して収集し解析を行う。

このような取組を進めることによって、局所的な予測が難しい異常気象に伴う斜面災害発生時の避難行動に必要な情報を提供する。特に、「公助」の手が届きにくい中山間地における集落においては、否応なく「自助・共助」を求められ、どのような状況下においても安全を確保するための防災支援プログラムの開発が望まれる。

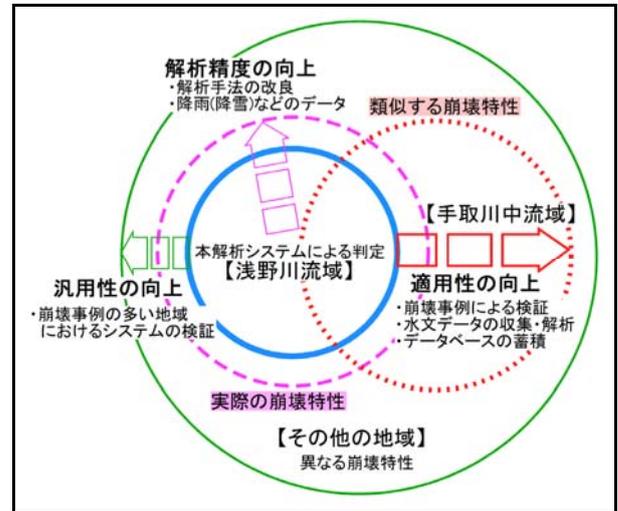


図4.1 今後の課題(目標)

本研究のように「データの空白地域」とも言うべき地域の研究の取り組みを進めることは、地域の防災意識を高め、想定外による被害を軽減させ、長期的な防災効果をもたらす有効な手段である。

浅野川豪雨災害のような過去の災害情報を風化させることなく、管理の枠を超えた情報を提供することは、「地域の安全・安心のために」極めて重要である。

謝辞

この研究は一般社団法人 北陸地域づくり協会の第19回「北陸地域の活性化」に関する研究助成事業[助成番号]H26技術3の研究助成金を受けて実施しました。

また、広域斜面データに関しては、石川県土木部砂防課、石川県農林水産部森林管理課、石川農林総合事務所、北陸電力株式会社送電部から貴重なデータを開示・提供して頂きました。ここに研究会の運営について色々サポートして頂いた北陸地域づくり協会の方々、データの提供に関し快くご協力を頂きました関係機関の方々に深くお礼を申し上げます。

引用文献・参考資料：

- 1) 西野尚志, 川村國夫, 田中 誠司, 橋本 隆司, 福本 寛人: 2008. 7 浅野川豪雨災害に基づく斜面崩壊ハザードマップと今後の防災課題に関する提案, 地盤工学ジャーナル, Vol. 8, No. 2, 2013年 6月
- 2) 石川県ホームページ: 土砂災害情報システム(SABOアイ)
- 3) 川北町水害誌編纂委員会: 手取川大洪水復興50年誌, 川北町役場, pp. 127-130, 1984年 2月

共同研究者：

金沢工業大学環境建築学部

川村國夫・小山幸紘・的場巧真

(株)日本海コンサルタント

荒木龍介・西野尚志・橋本隆司・東寛和

(株)ホクコク地水

田中誠司・福本寛人