

## (2) 凹地内およびその直上

### 【危険のポイント】

- ✓ 熊本地震以降の降雨による崩壊は、崩壊地内およびその周辺を除くと、ほとんどが凹地内およびその直上（谷頭）の崩壊（亀裂）や緩みを起因としている。
- ✓ 特に開析が進んだ凹地形（谷地形）では、崩壊後の降雨により下流まで土砂が流出している事例が多くみられた。
- ✓ これらのことから、危険度を判定する因子のうち、崩壊地内およびその周辺に発生した亀裂に次いで危険度が高い地形条件であると考えられる。

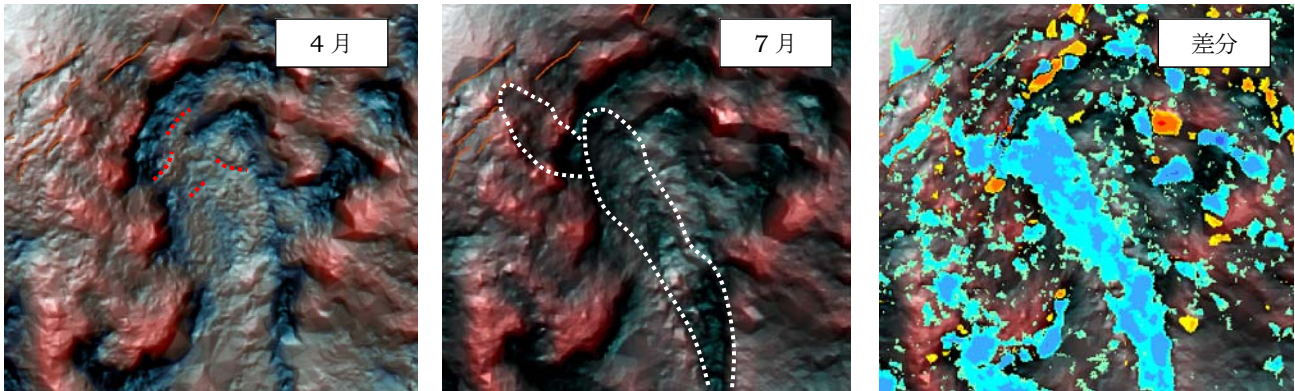
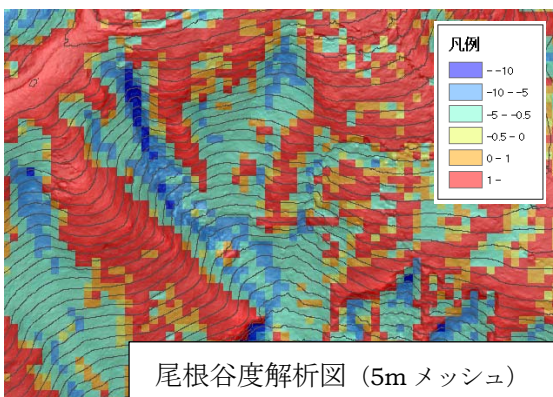


図 5.5 凹地内の亀裂を起因とした崩壊・土砂流出

### 【凹地形直上の考え方】

- ✓ 立野地区において凹地内の亀裂および緩みを起因とした崩壊・土砂流出は、多く確認されたが、凹地直上の亀裂については、崩壊地周辺ほどの事例は確認されていない。
- ✓ しかし、亀裂の拡大や等高線の乱れなどが確認されることから、凹地が発達している延長上（0次谷）における亀裂や緩みは、危険な条件に入ると考えられる。
- ✓ ただし、凹地直上は崩壊地と異なり、基本的に緩んだ地盤ではなく、**地山**であることが多いため崩壊地周辺ほど広い範囲は必要ないと考えられる。
- ✓ したがって凹地直上の考え方としては、崩壊地周辺で検討した勾配の最大値である「**45度（1:1.0）**」の範囲に亀裂がある場合、その亀裂を危険な亀裂として判断する。
- ✓ なお、凹地形については、5m程度の大きさを持ったメッシュの地形解析（尾根谷度等）により判断することが望ましい（細かいメッシュ単位では、判断しづらい）。



- ✓ H28.4.23日撮影のLPデータを基に、5mメッシュでの地形解析（尾根谷度）を実施。
- ✓ 左図の青系（マイナス値）ほど凹地形、赤系（プラス値）ほど凸地形。
- ✓ 薄い青色～濃い青色までが凹地形として判断される。
- ✓ 5mメッシュを活用しているため、実際の地形と若干のずれはあるが、凹地形の判断に大きな影響はないと考えられる。

### (3) 局地的に等高線が乱れている箇所

#### 【危険のポイント】

- ✓ 熊本地震では、地震の影響により小さなはらみだし（縦断的な凸地形）による等高線の乱れが発生している箇所が確認された。
- ✓ 村上ほか（2017）では、地震による等高線の乱れを起因とした崩壊の危険性が指摘されており、立野地区でも、崩壊の発生は認められていないものの、地震後の降雨により亀裂の拡大が認められている。
- ✓ 特に、等高線の乱れた箇所より下部の勾配が急傾斜の場合は、下部斜面の支持力が小さいため、より危険であると考えられる。これは、遷急線直上の亀裂も同様である。

#### 【等高線が乱れている箇所の考え方】

- ✓ 当該箇所は、地震動による揺さぶりを受けたことにより微地形的な緩斜面（縦断面上では凸斜面）が形成された箇所である。
- ✓ 村上ほか（2017）では、LP データによる亀裂の判読ができなかった箇所においても、このような等高線が乱れた箇所が崩壊が発生していることが指摘されている。
- ✓ そのため、地震後の LP データを用いた微地形判読図等による地形判読により、平衡斜面等の一部緩斜面が分布するような等高線の乱れ（縦断面的には遷急線直上）、亀裂が確認される箇所を抽出する。

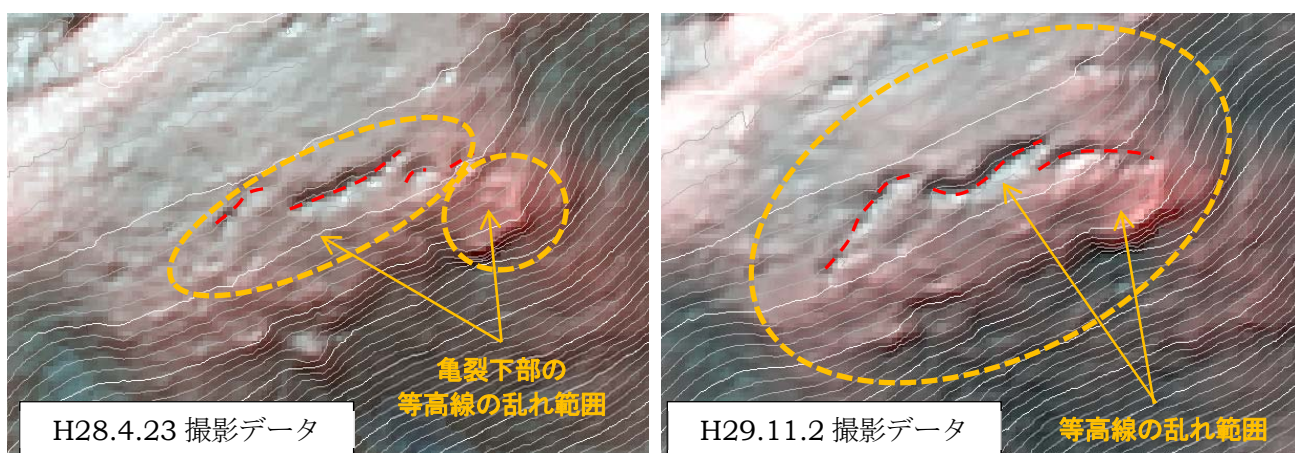


図 5.6 2 時期の LP データによる等高線の乱れ箇所の状況（亀裂の拡大が認められる）

### (4) 急勾配斜面

#### 【危険のポイント】

- ✓ 立野地区の多くが急傾斜面となっており、急勾配の斜面に亀裂が分布するだけでは危険と判断できない。
- ✓ ただし、上記に示した他の地形条件と組み合わせると危険度が大きくなると考えられる。

#### 【急勾配斜面の考え方】

- ✓ 急傾斜地法、土砂災害防止法などでは、30 度以上の斜面を急傾斜として考えているが、立野

- 地区周辺の上部斜面の多くが30度以上あり、ほとんどの斜面が急傾斜地の条件に当てはまる。
- ✓ ただし、過去の崩壊事例を集約した「**かけ崩れ災害の実態（国土技術政策総合研究所：2009年）**」では、**エラー! 参照元が見つかりません。**に示すとおり、崩壊発生は傾斜度30度以上から増加するものの、ピークは40～50度となっている。
  - ✓ そのため、ここでは急傾斜地内での差別化を図るため「**40度以上**」を急勾配斜面の判断基準として用いる。
  - ✓ なお、傾斜度40度以上の判断は、5m程度の大きさを持ったメッシュを用いて地形解析により判断することが望ましい（細かいメッシュ単位では、判断しづらい）。

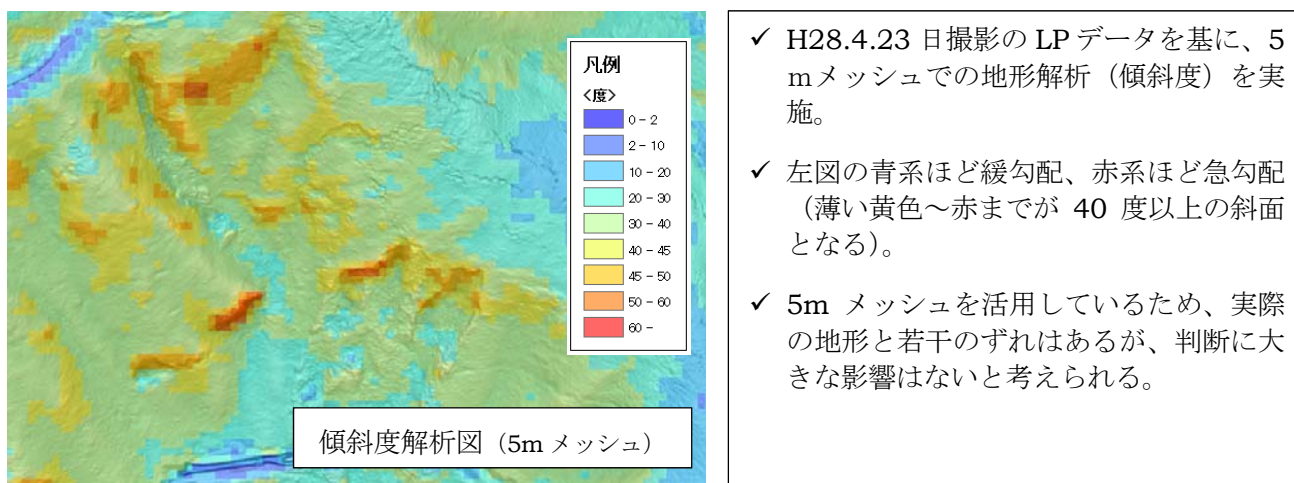


図 5.7 傾斜度を把握するための地形解析イメージ

#### (5) 集水面積が大きい、もしくは上部斜面からの水が流入する箇所

##### 【危険のポイント】

- ✓ 降雨による崩壊を前提とした場合、集水面積が大きいほど、降雨による影響を大きく受けると考えられる。
- ✓ そのため、同じ地形条件であれば、集水面積の大きい方がより危険度が高いと考えられる。

##### 【集水面積の大きさの考え方】

- ✓ 今回分析した立野地区では、集水面積の大きさの因子だけで崩壊の発生が左右されている事例はあまり見られない。
- ✓ ただし、降雨による崩壊を考えた場合、集水面積が大きいほど危険度が高くなると考えられる。
- ✓ そのため、集水面積については、**単独の因子として考えず**、上記に示した他の因子に付随する指標として、基準は定めず**相対的な判断**をおこなう。

### 5.3.2 危険度判定フロー（案）

前項に示した危険因子を基に、亀裂の危険度を判定するフロー（案）を図 5.8 に示す。なお、危険度の詳細は次項に示すが、基本的な考え方としては、「危険度A：対策工を実施、危険度B：経過観察（監視）、危険度C：基本的に未対応」とする。

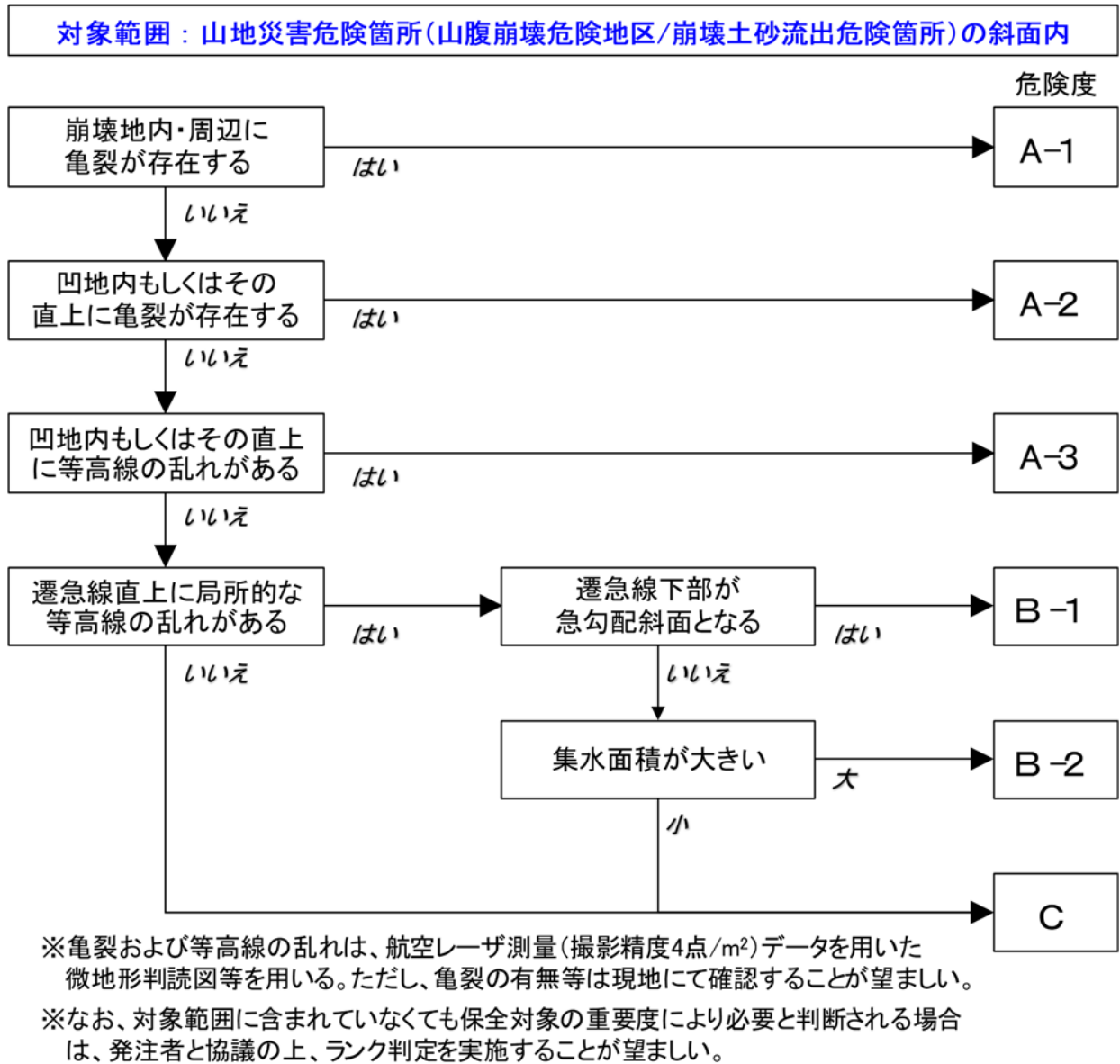


図 5.8 危険度判定フロー（案）

### 5.3.3 各危険度の考え方

危険度判定フローで判定した各危険度の考え方について、以下のとおり整理した。なお、ここで示した考え方は、基本的な考え方であるため、危険度 A、B は必ず現地を確認し、現地状況がそぐわない場合は、現地状況に応じて都度危険度を判定する必要があることに留意し、適切な判断を行うものとする。

#### (1) 危険度 A-1

- ✓ 危険度が高く、早急な亀裂対策が必要な箇所。
- ✓ 崩壊地の対策を実施する場合は、崩壊地対策と合わせ早期に対策を実施する。
- ✓ ただし、すでに崩壊地の対策が完了しており、拡大崩壊の危険性がないと判断される箇所については、現地状況に応じて危険度を「B-2」もしくは「C」として再設定する。

#### (2) 危険度 A-2

- ✓ A-1 より優先度は劣るものの、土砂災害（崩壊・土砂流出）を誘発する可能性が高いため、亀裂対策を検討する。
- ✓ ただし、現地確認等の結果、崩壊の危険がないと判断される場合や保全対象への危険性がない（下記【保全対象への危険性の考え方】参照）と判断される場合は、対策工検討から除外し、現地状況に応じて危険度を「B-2」もしくは「C」として再設定する。
- ✓ なお、事業の都合上、危険度 A-2 内の優先度を検討する場合は、亀裂の生じた斜面と保全対象との位置関係や、亀裂の集中度・長さ等を勘案し決定する。

#### (3) 危険度 A-3

- ✓ A-2 のような明瞭な亀裂は認められないものの、土砂災害を誘発する危険性の高い「場（地形）」となる凹地内もしくは直上に等高線の乱れが認められることから、地震の影響による不安定化が進んでいる可能性が考えられる。
- ✓ したがって、現地確認を行い不安定箇所に対する対策を検討する。
- ✓ ただし、現地確認の上、危険度の見直しが必要な場合や対策の優先度を検討する必要がある場合は、A-2 に示した考え方に準じて検討する。

#### 【保全対象への危険性の考え方】

- ✓ 保全対象への危険性は、亀裂等を起点とする崩壊が発生した際に、保全対象への程度影響をおよぼすかを評価する指標である。
- ✓ 熊本地震以降の崩壊発生状況を確認すると、崩壊土砂が斜面中腹にとどまっている箇所と、保全対象付近まで流下している箇所が確認される（図 5.9 参照）。
- ✓ これらは、基本的に崩壊発生箇所からの流下区間の傾斜や崩壊発生位置に影響を受けていると考えられる。
- ✓ ただし、これらを定量的に評価する判断基準は、現段階で明らかではないため、斜面高さや土砂の到達距離の関係として「土砂災害警戒区域」の考え方を準用し、図 5.10 に示す方法により判定する。
- ✓ 土砂災害警戒区域の考え方では、急傾斜地の崩壊の警戒区域の範囲として「2H or 50m」が

基準であるが、ここでは立野地区の事例より「2H or 100m」を崩壊の到達範囲として設定した。

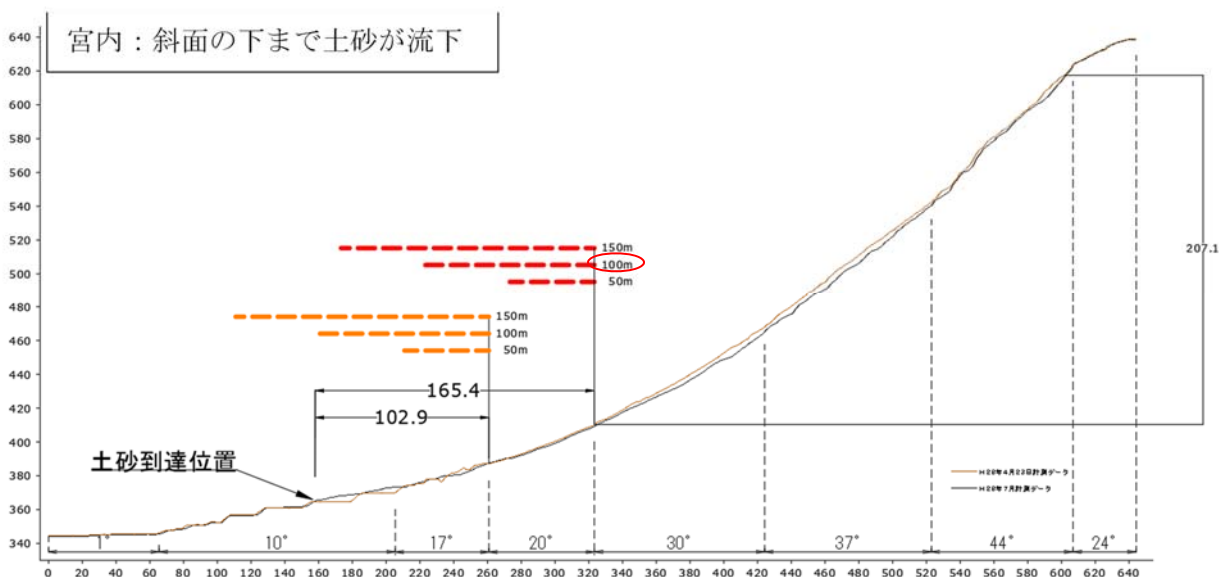
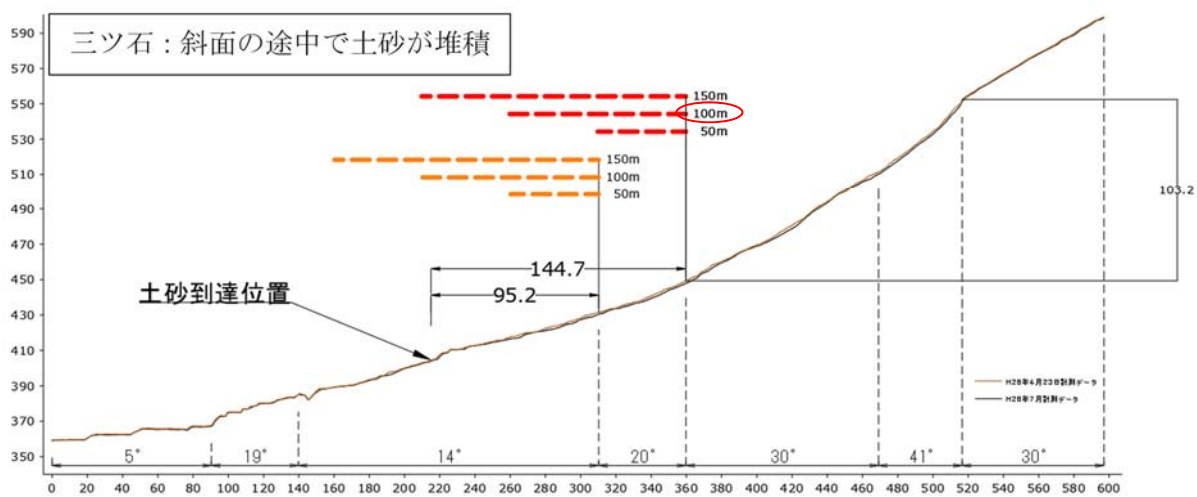
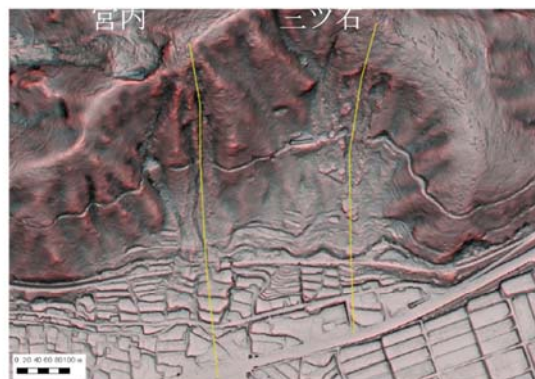


図 5.9 立野地区における崩壊事例

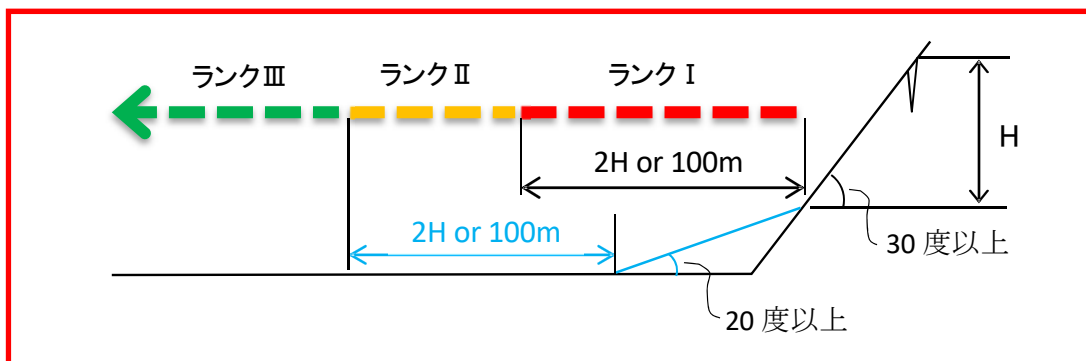


図 5.10 保全対象への危険性の考え方

(4) 危険度 B-1

- ✓ 危険度 B-1 は、立野地区では崩壊等の発生が確認されていないことから、基本的には経過観察（監視）の対応とする。
- ✓ ただし、亀裂の拡大事例があることや現地に地形判読で確認できない亀裂があること、村上ほか（2017）の報告により土砂災害（崩壊・土砂流出）の発生事例が明らかになっていること、などから危険性がないとは言えない。
- ✓ そのため、危険度 B-1 と判定された場所については、下記フローに示すとおり、亀裂の状況/緩みの範囲や状況/下部斜面の状況/亀裂上の樹木の有無（下記【亀裂上の樹木の有無の考え方】参照）/保全対象への影響度などを総合的に判断した上で、対応策を検討する。

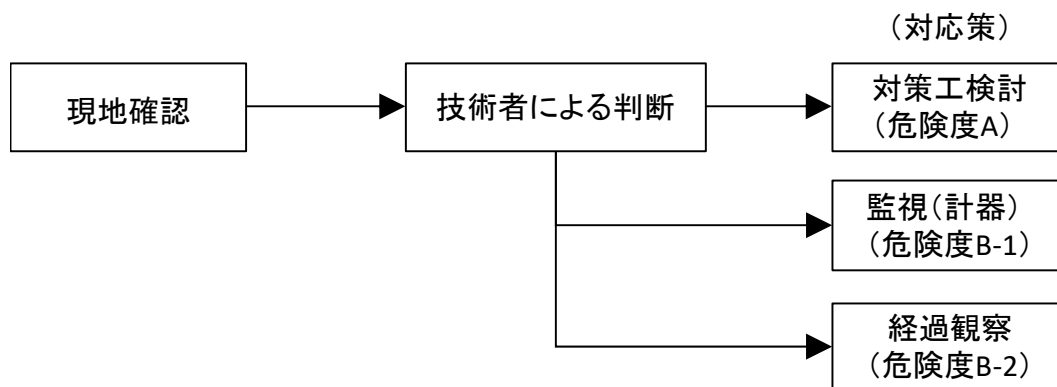


図 5.11 危険度 B-1 亀裂に対する対応方針

【亀裂上の樹木の有無の考え方】

- ✓ 亀裂上に樹木が分布している場合、樹木の影響により亀裂が拡大している箇所が認められる（写真 5.1 参照）。
- ✓ また樹木がある場合、今後台風などの強風による樹木の振動で亀裂が拡大する可能性も考えられる。
- ✓ 一方で、樹木には、根系による緊縛力の発揮や表層被覆による浸透水の抑制、立木による土砂の捕捉など、崩壊を抑制する働きもある。

- ✓ そのため、現地確認の際には、「樹木の傾き」や「枯損状態」などを確認し、亀裂に対し樹木がどのような影響をおよぼしているかを総合的に判断し対応策を検討する。



写真 5.1 樹木による亀裂の拡大

#### (5) 危険度 B-2

- ✓ 危険度 B-2 は、立野地区の事例では崩壊等の発生は確認されず、亀裂の拡大も認められていない。
- ✓ ただし、集水面積が広い場合は危険がないとは言えないため、大きな降雨や台風などを経験した際に、現地において目視で経過観察を行う対象とする。
- ✓ 経過観察をおこない、現地状況が変化した場合は、再度危険度を判定し適切な対応をおこなう必要がある。
- ✓ なお、大きな降雨の基準としては土砂災害警戒情報を参考にすることとし、経過観察の状況は記録し保存する。

#### (6) 危険度 C

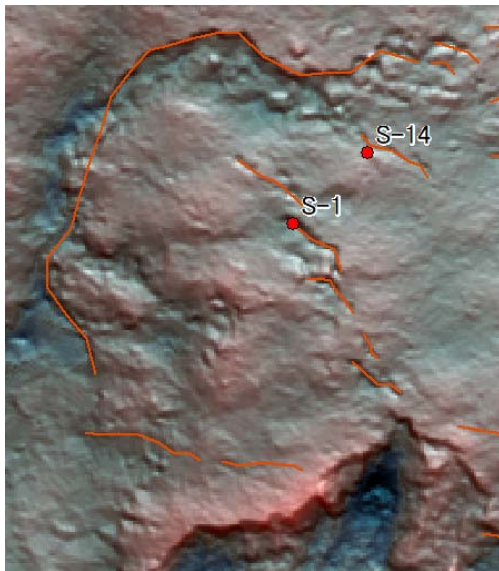
- ✓ 危険度 C は、「危険のある亀裂」として判断される地形的要因が確認されない箇所であるため、基本的には対応の対象外とし現況のままとする。
- ✓ ただし、隣接する危険度 B に変状が認められた場合は、その周辺箇所を重点的に調査し、危険度が高まっていると判断される場合は、危険度の再評価を行う。
- ✓ また、危険度 B-2 の目視点検に併せて簡易な調査を行った際に、変状等が確認され、危険度が高まっていると判断される場合も、危険度の再評価を行う。
- ✓ 特に、保全対象との位置関係等から重要度が高いと判断される箇所については、重点的に調査を実施する。



## 5.4 モニタリング亀裂の危険度判定（評価）

林野庁におけるモニタリング亀裂は、6月降雨以降に伸縮計が設置され観測されているが、降雨に呼応した変動は確認されていない。しかし、S-2においては現地検討会において危険性が指摘されており、今後6月降雨を超える降雨を経験した際の崩壊発生などが懸念される。

そのため、危険度判定フロー（案）の妥当性を評価するため、モニタリング亀裂に対して危険度判定フロー（案）を用いて危険度を判定した。以下に、各モニタリング亀裂における判定根拠および判定結果を整理した。



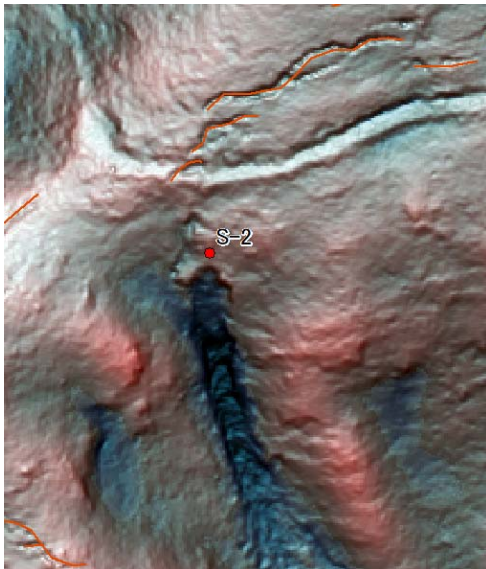
### 【S-1】

- ✓ 崩壊地から離れた緩斜面に位置しているが、集水面積は大きい。
- ✓ 下部崩壊地（三ツ石地区）は、現在対策工施工中となっている。
- ✓ 崩壊地周辺、凹地形ではないが、等高線の乱れが確認され、集水面積が広いことから判定フローでは「B-2」となる。

### 【S-14】

- ✓ 崩壊地周辺・凹地形ではないが、長い亀裂（一部拡大）と崩壊地頭部にはさまれている。
- ✓ S-1同様、集水面積が大きいことから「B-2」として判定される。

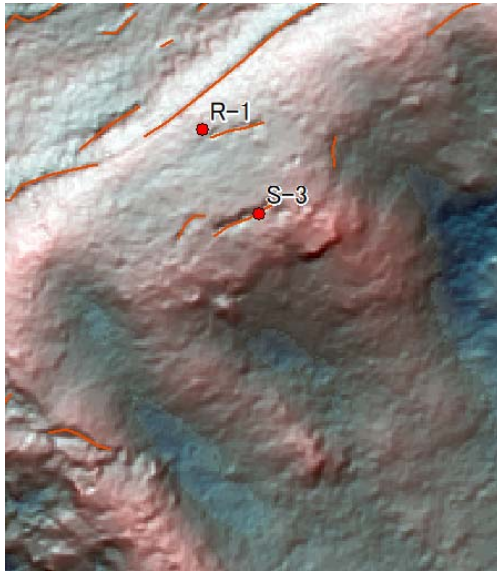
図 5.12 S-1、S-14 の判定根拠および判定結果



### 【S-2】

- ✓ 下方に崩壊地が分布しており、崩壊地周辺（崩壊地直上）に位置している。
- ✓ モニタリング亀裂の上部には、雁行状の亀裂が続いている。
- ✓ 降雨による斜面の変動や亀裂の拡大が一部で確認される。
- ✓ 全体的に急傾斜地に位置している。
- ✓ 崩壊地周辺に亀裂が位置することから、判定フローでは「A-1」として判定される。
- ✓ ただし、上部の雁行状の亀裂は、一部等高線の乱れが確認されるものの、その他の事項に当てはまらないため「C」として判定される。

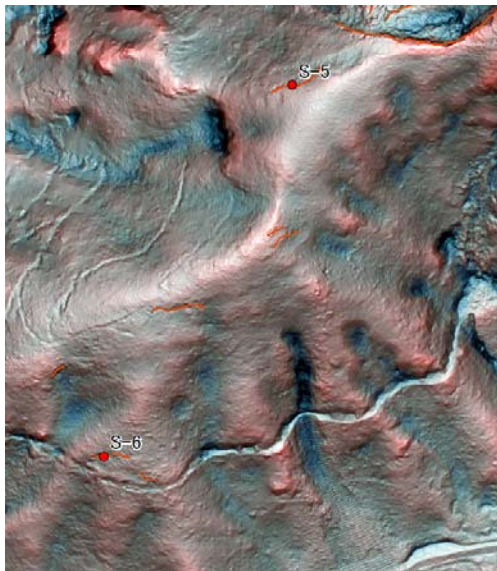
図 5.13 S-2 の判定根拠および判断結果



**【S-3】**

- ✓ 下部に崩壊地はなく、凹地形にも含まれていない（凹地形の直上でもない）。
- ✓ 亀裂下部に等高線の乱れが確認され、その直下が急傾斜となる。
- ✓ 降雨により亀裂の拡大と緩斜面（等高線の乱れ部分）の変動が確認される。
- ✓ 現地では不安定土塊が押し出された形跡が認められ、樹木で捕捉されている。
- ✓ 等高線が乱れており、直下が急傾斜地となることから、判定フローでは「B-1」として判定される。

図 5.14 S-3 の判定根拠および判断結果



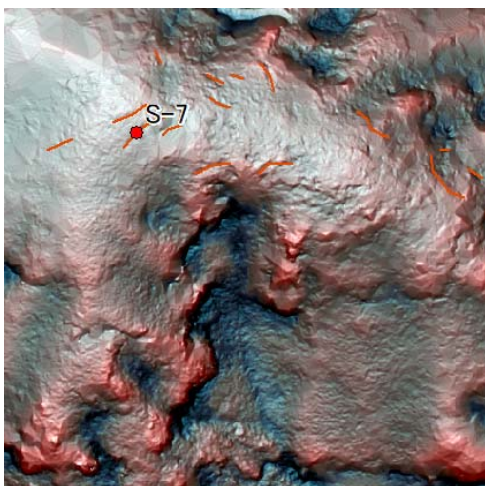
**【S-5】**

- ✓ 平衡斜面に分布しており、周辺に崩壊地や凹地形は認められない。
- ✓ また、亀裂発生周辺箇所に等高線の乱れも確認されない。
- ✓ 上記の条件が確認されないことから「C」として判定される。

**【S-6】**

- ✓ 斜面の下方に分布しており、下部に凹地形が認められるが、直上には含まれない。
- ✓ 周辺の勾配は緩く、集水面積も小さい。
- ✓ 上記の条件により判定フローでは「C」として判定される。

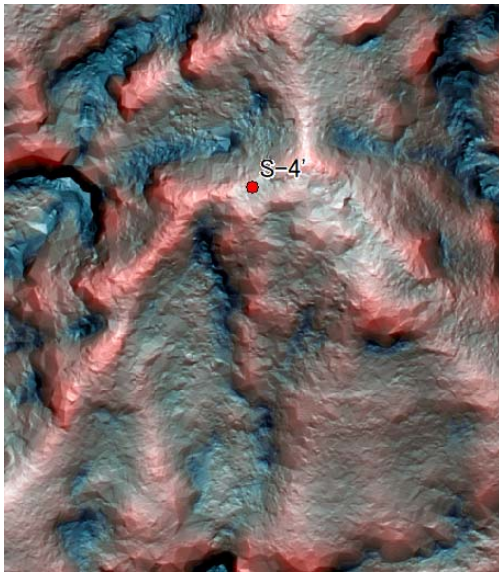
図 5.15 S-5、S-6 の判定根拠および判断結果



**【S-7】**

- ✓ 下方に凹地形が認められるが、凹地形直上の範囲には入らない。
- ✓ 平衡斜面だが等高線の乱れが認められる。
- ✓ 等高線の乱れがみられる下部斜面は比較的急斜面となる。
- ✓ 下部崩壊地は対策済みであり、不安定な状況とは判断されない。
- ✓ 上記の条件から、判定フローでは「B-1」と判定されるが、崩壊地の対策が進んでいることから今後は、崩壊地の対策と合わせ検討する必要がある。

図 5.16 S-7 の判定根拠および判断結果



- 【S-4'】**
- ✓ 尾根部の凸型斜面地形に分布している。
  - ✓ 下方に崩壊地、凹地があるが、直上の範囲には入らない。
  - ✓ 全体的に緩斜面で、集水面積も小さい。
  - ✓ 上記の条件より、判定フローでは「C」として判定される。

図 5.17 S-4'の判定根拠および判断結果

上記の結果を表 5.1 に整理した。現地において委員より危険性を指摘された「S-2」が A-1 として判定され、土砂の緩みや再確認の必要性を指摘された「S-3」が B-1 として判定されたことから、危険度判定フロー（案）における判定はおおむね妥当な判定になると評価される。

表 5.1 各モニタリング亀裂の危険度判定一覧表

	崩壊地・周辺	凹地形	等高線の乱れ		危険性の低い亀裂	判定
			直下の急傾斜	集水面積		
S-1				○		B-2
S-14				○		B-2
S-2	○					A-1
S-3			○			B-1
S-5					○	C
S-6					○	C
S-7			(○)			(B-1)
S-4'					○	C

## 6. 対策工の考え方

### 6.1 亀裂に対して有効と考えられる対策工の検討

前章までに地震で発生した亀裂について、危険性の高い亀裂（場所）や低い亀裂（場所）の危険度を判定する検討をおこなった。地震による亀裂は、すべてが危険なものではないことが明らかとなり、対策が必要な亀裂（場所）としては、崩壊地やその周辺、凹地内およびその直上の「場（地形）」に発生した亀裂が対象となる。これらは、通常災害が発生するよりも小さな降雨で土砂災害を誘発する危険性があるため、対策としては亀裂を含む不安定な土塊の崩壊を防ぐ観点からの検討が必要となる。

したがって、例えば亀裂に対する「埋戻し」などは、不安定土塊を抑止しないため、危険性を除去する抜本的な対策とはならない。そのため、基本的には崩壊・土砂流出の起点となる亀裂の除去や亀裂を含めた周囲の不安定土塊を安定化させる工法から選定する。また、亀裂単体に対する対策ではなく、亀裂群や危険な「場」（多くの亀裂を含んだ不安定化した場所）に対し、亀裂の分布形態や地形的な特徴をふまえ、一体的に整備していくことが重要である。

以上のことから、亀裂に対する対策工としては、「切土工」、「地山補強土工」、「山腹工（土留工）」、「溪間工」等が候補としてあげられる。

### 6.2 対策工の検討フローの提案

「切土工」は、不安定な土塊を除去できるもっとも確実に簡便な工法であるが、切土上部の状況や地形条件により適用が困難な場合がある。

「地山補強土工」は、多くの箇所でも適用可能であると考えられるが、不安定土塊の規模が大きい場合や地山（固結度の高い地盤）が深い場合などには適用が困難である。

「山腹工」は、亀裂が散在しており集中的な対策が困難な場合に有利となり、緑化工等と併用することで景観配慮も可能であるが、対策の規模が大きくなる等の問題がある。

「溪間工」は、常時流水や流水の可能性が高い沢地形の場合にのみ選定されると考えられるが、上流域での施工が困難で流域の出口で待受け的な目的で設置し、保全対象の安全を図ることも可能となる。

以上に示したとおり、各工法ともメリット・デメリットなどが存在するため、表 6.1 に示すフローに基づき対象箇所に適切な対策工を選定する必要がある。特に、ここで示した工法はあくまでも一般的な工法であるため、対策工の選定にあたっては、対策箇所の亀裂の状況や周辺地形、地質等を十分考慮した上で、状況に応じて適切な検討をおこなうこととし、必要に応じ対策工の組み合わせや、ここで示した対策以外の対策工等の検討をおこなうことも重要である。

表 6.1 各対策工の特徴と対策工検討フロー（案）

	亀裂箇所への直接的な対応	不安定土塊の除去（確実性）	経済性	留意点	検討優先度
切土工	◎	◎	◎	切土工所上部に亀裂がある場合、選定に注意が必要。	1
地山補強土工	◎	△	○	不安定土塊の規模が大きい場合や広範囲の場合には不適。	2
山腹工（土留工）	△	△	△	亀裂のみの対策ではなく下部斜面からの施工が必要であるため規模が大きくなる。	3
溪間工	×	△	△	凹地形が発達した谷（溪流）箇所の場合のみ選定可能。	4

対策工検討フロー

```

    graph TD
      A[切土工 (+のり面保護工)] --> B[地山補強土工]
      B --> C[山腹工 (土留工)]
      C --> D[溪間工]
    
```

※立野地区における亀裂のランク判定や具体的な対策工及び観測手法の検討については、報告書に記載した。

## 7. その他関連事項

本報告書は、「立野地区亀裂対策検討委員会」による提言に基づき、熊本地震により発生した亀裂のメカニズムおよび亀裂に対する対策等についてとりまとめ、地震亀裂に対する対策指針（案）として整理した。しかし、林野庁の既往業務（流域山地）では、当委員会と並行してモニタリング亀裂の観測が実施され、降雨との応答性について調査されているものの、6月降雨を超える降雨が観測されていないため、顕著な変動などは記録されていない。また、検討委員会の中でも議論されたとおり、地震により発生した亀裂の挙動については、知見が少なく、地震亀裂に対する対策指針（案）を整理した資料もほとんど見られない。そのため、ここで示した地震亀裂に対する対策指針（案）については、今後も継続的に観察を行い、降雨との応答性や亀裂の挙動などの知見を蓄積した段階で、検証を行っていくことが重要である。

本報告書でとりまとめた対策工が必要な亀裂に対しては、立野地区の安全・安心を向上させるため、先に示したとおり平成31年度（2019年度）末までに対策工を完了させる予定であるが、経過観察（監視）が必要とした亀裂に対しては、どの時点まで経過観察（監視）を継続するかなどの判断も必要となる。また、経過観察（監視）するタイミング（現時点では土砂災害警戒情報や地震時）等についても基準の妥当性や基準の引き上げなどについても、今後、同委員会において意見を聞きながら、対策工等の検証を含め、十分検討する必要がある。