

調査地の立野地区においても、山頂緩斜面をはじめ地震動が集中する尾根部で亀裂が多く発生しており、林野庁で実施された地震直後の地形判読および現地調査報告（図 1.5）によると、図 1.6 に示すとおり山落ち亀裂が集中する範囲や谷落ち亀裂が分布する範囲、陥没帯が形成されている範囲など、亀裂タイプにより発生している場所が異なることが指摘されている。

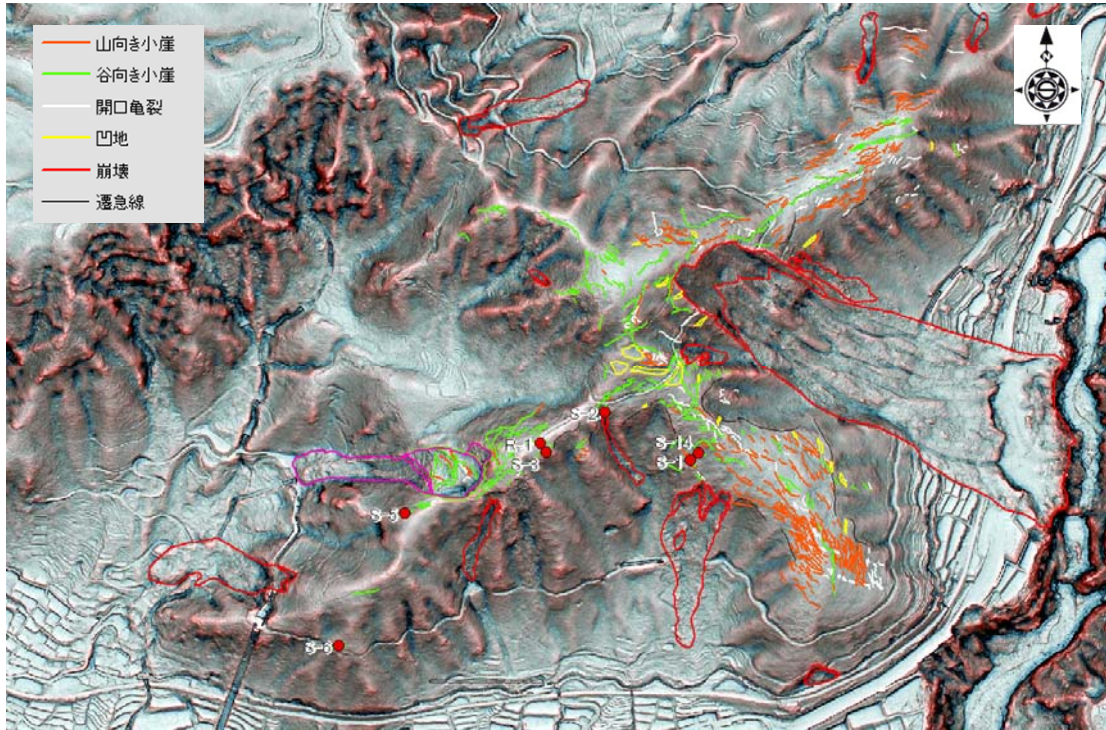


図 1.5 立野地区の微地形判読図における亀裂判読結果（林野庁）

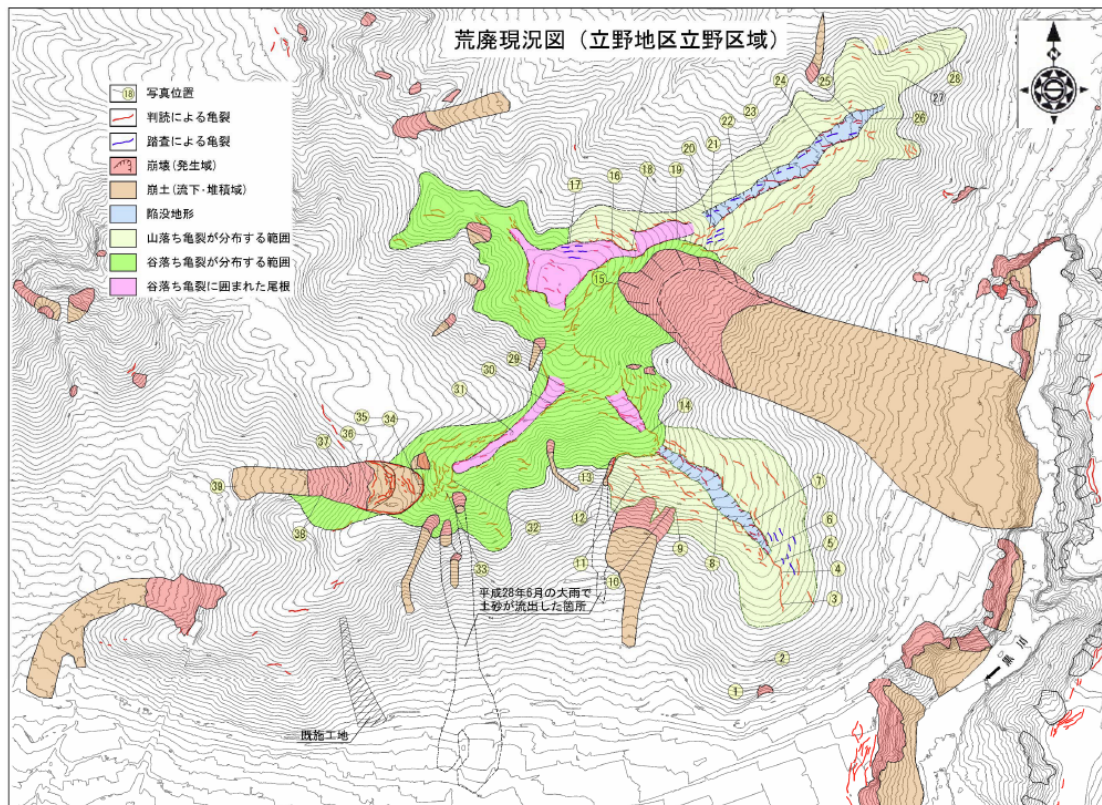


図 1.6 立野地区における亀裂タイプごとのゾーニング（林野庁 H28 報告書引用）

立野地区においては、図 1.7 に示すとおり尾根の形状が大きく異なり、山頂から南東と北東に伸びる尾根は幅広、南西（一部北東）に伸びる尾根はやせ尾根となり、これら尾根の形状により亀裂発達
の仕方に変化がみられる。

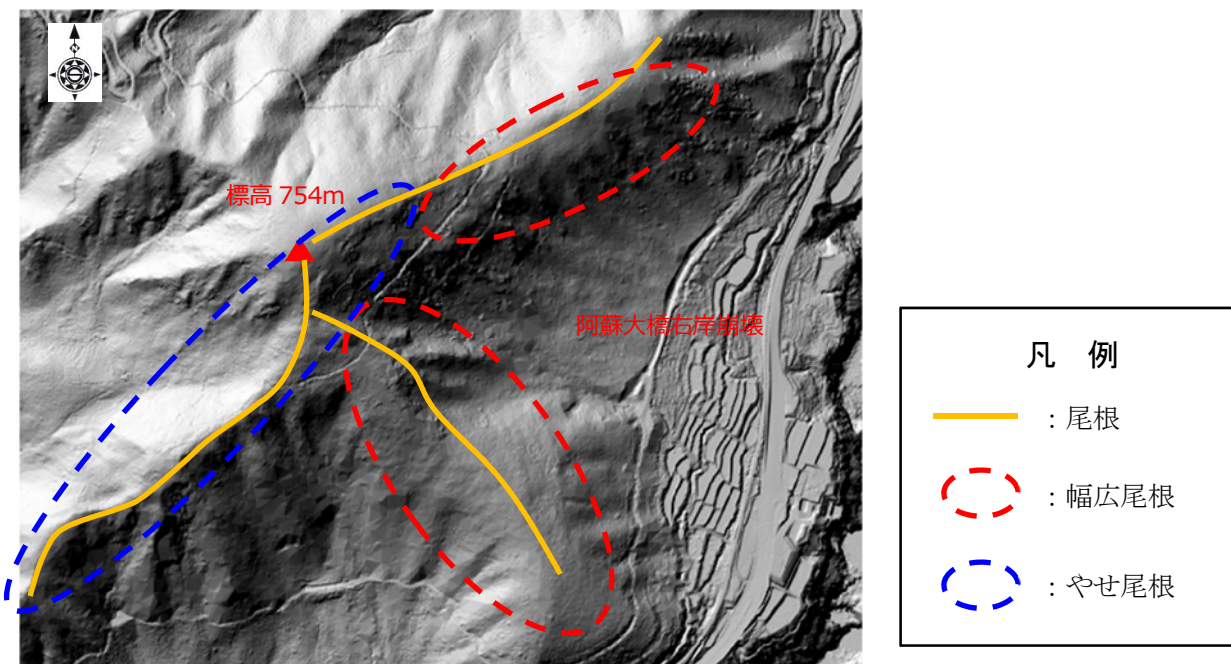


図 1.7 地震前（2012 年）の地形（陰影図、解像度 1m）

（1）幅広尾根の亀裂

幅広尾根は、尾根付近の傾斜が比較的緩傾斜となっており、写真 1.1 に示すとおり尾根に沿って陥没帯が形成され、尾根を挟んだ両側の斜面に明瞭な山落ち亀裂（転倒亀裂）が幾重にも重なり遷急線付近まで形成している。遷急線付近より下部では、谷落ち亀裂が形成され、一部で遷急線を頭部とする崩壊が発生している。ただし、亀裂の深度については、阿蘇大橋地区の大規模崩壊箇所でのトレンチ調査（国土交通省）の結果、深部まで到達していないことが確認されており、先阿蘇火山岩類の上部に堆積した黒ボク土や岩屑堆積物、崖錐堆積物等の比較的脆弱な地質内で発生していると考えられる。



写真 1.1 幅広尾根の亀裂（左：尾根部陥没帯、中：緩斜面部山落ち亀裂、右：遷急線下部谷落ち亀裂）

(2) やせ尾根での亀裂

やせ尾根では、図 1.5 に示すとおり尾根頂部から陥没帯（谷落ち亀裂で囲まれた範囲）や明瞭な谷落ち亀裂が形成されており、山落ち亀裂はほとんど確認されず、遷急線付近を頭部とする崩壊や地すべりが発生している。現地においても谷落ち亀裂や崩壊の発生がみられる（写真 1.2）。



写真 1.2 やせ尾根の様子（やせ尾根両側急傾斜地に発達した谷落ち亀裂）

2. 地震に伴う亀裂に関する既往文献の整理

2.1 地震に伴う亀裂の既往文献リスト

地震に伴う亀裂（以降、地震亀裂）については、大規模な地震発生の際に数多く報告されているが、その多くは平野部や断層に関する報告となっている。また、山地斜面の崩壊現象についても多くの報告がみられるが、地震後の降雨等による2次災害の危険性については、表 2.1 に示すとおり平成7年の兵庫県南部地震を契機に報告例が増加している。特に、村上ほか（2017）では、岩手・宮城内陸地震後の山地斜面の変形について、過去の報告例の整理も含めた上で LP データにより危険斜面を抽出する試みなどが実施されている。

表 2.1 地震後の降雨による山地斜面の崩壊に関わる主な研究・報告例

主な著者	災害	内容	主な地質背景
川邊（1987）	関東ほか4地震	分布特性および崩壊分布率について	
横山・菊山（1997）	兵庫県南部地震	地震後の山地における、降雨を誘引とする亀裂の発達について	花崗岩・花崗閃緑岩
田結庄・藤田（1996）	兵庫県南部地震	地震後の山地における、降雨を誘引とする亀裂の発達について	花崗岩・花崗閃緑岩
富田ほか（1996）	兵庫県南部地震	地震後の山地斜面の降雨による崩壊発生度の定量評価	花崗岩・花崗閃緑岩
西村・海堀（2002）	芸予地震	地震後の降雨による斜面の崩壊特性について	花崗岩
小山ほか（2009）	鳥取県西部地震	地震変動を受けた斜面の豪雨による崩壊様式とその原因について	凝灰角礫岩
村上ほか（2009）	岩手・宮城内陸地震	地震後の山地斜面亀裂周辺の微地形について	凝灰岩・溶結凝灰岩
村上ほか（2013a）	岩手・宮城内陸地震	地震後の山地斜面亀裂周辺の微地形について	凝灰岩・溶結凝灰岩
村上ほか（2013b）	岩手・宮城内陸地震	地震後の山地斜面の重力変形等の微地形について	凝灰岩・溶結凝灰岩
村上ほか（2017）	岩手・宮城内陸地震	地震直後 LP データを用いた降雨による2次崩壊危険箇所の抽出	凝灰岩・凝灰角礫岩

2.2 地震後の降雨による危険斜面判定の既往研究

2.2.1 村上ほか（2017）による危険斜面判定手法

村上ほか（2017）では、既往の報告例も踏まえ地震直後の LP データを基に、その後の降雨による2次崩壊の危険箇所抽出の手法について整理されている。これは、地震で崩壊しなかったものの、斜面上に不安定土塊として残存している箇所を微地形判読から抽出するものであり、岩手・宮城内陸地震で被災した斜面に対し、地震直後の LP データと豪雨後の LP データを比較することで、どのような箇所が危険斜面となっているかが調査されている。また、危険斜面として抽出された箇所で豪雨による崩壊が認められない斜面については、現地踏査による確認も実施されている。

その結果、地震では崩壊していないものの豪雨で崩壊が発生した箇所は、地震により平面形状では斜面上に馬蹄状ないし楕円形状の緩斜面地形（等高線の乱れ）が、縦断形状では凸型の地形（等高線の乱れ）が形成されていることが確認された。また、緩斜面地形の頭部に亀裂が発達している箇所も

確認されるなど、地震による地形変動の影響がその後の降雨により崩壊を発生させる起因となり得ることが指摘されている。これらのことから、原位置風化した溶岩類が地震動により破砕されることで、亀裂等が発達し微地形的な緩斜面地形が形成され、等高線の乱れとして抽出できるものと考えられている。

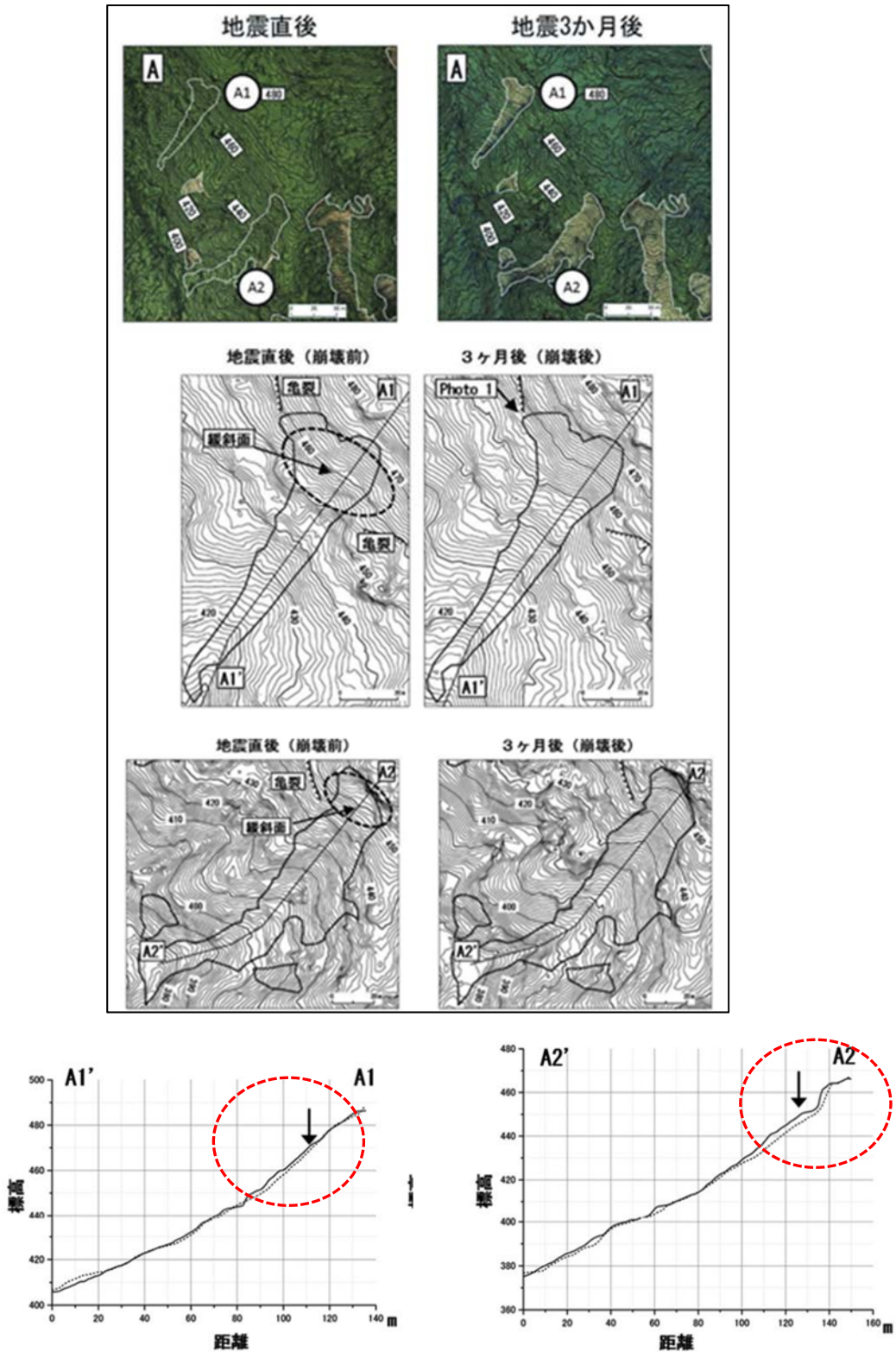


図 2.1 村上ほか (2017) による緩斜面の微地形解析例

2.2.2 立野地区における等高線の乱れ箇所の状況

村上ほか（2017）で指摘された危険斜面となり得る等高線の乱れが、立野地区においても同様の危険があるかについて、地震直後の LP データにより等高線の乱れが確認されたモニタリング亀裂（S-3）付近について現地調査を実施した。

現地調査の結果、LP データで確認された等高線の乱れは、土砂のはらみだし地形であり、斜面途中で不安定土塊となり、一部が樹木に捕捉されている状況であった（写真 2.1 参照）。



写真 2.1 モニタリング亀裂 S-3 周辺のはらみだしの状況

また、地震直後の LP データと 6 月降雨などを経験した後の 2017/11/2 撮影 LP データを比較すると、地震直後に発生した亀裂の両翼に亀裂が延伸している状況が確認される。当該箇所は、45 度を超える急峻な平衡斜面であるが、地震により崩壊は発生しておらず、その後の降雨によっても崩壊はしていないが、亀裂は徐々に拡大していることが確認された（図 2.2、図 2.3）。

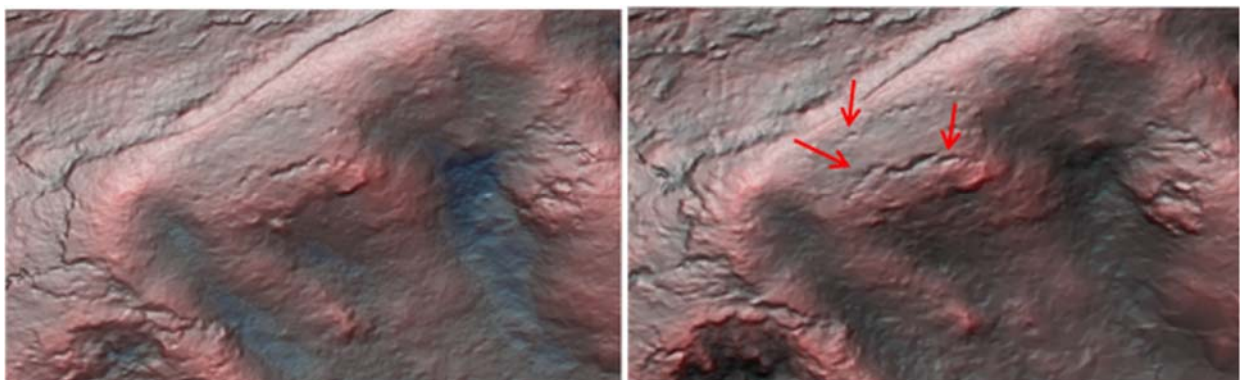


図 2.2 微地形判読図による亀裂の拡大・延伸（左：2016/4/23、右：2017/11/2）

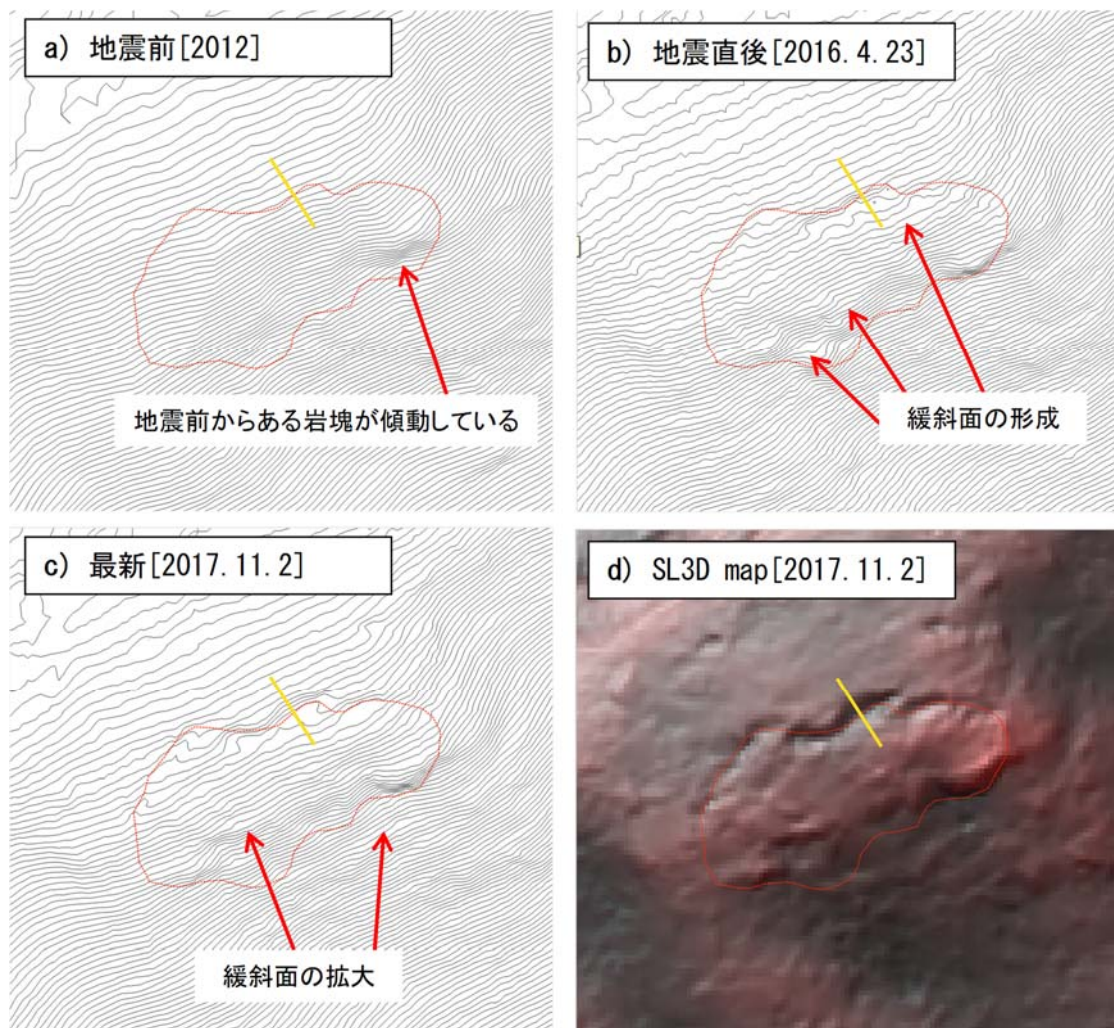


図 2.3 モニタリング亀裂 S-3 周辺の微地形解析結果

以上のことから、地震直後に直接的な亀裂が確認されなくとも、等高線の乱れなど局所的な微地形変動が確認されるような箇所では、地震後の降雨による 2 次崩壊に注意が必要であると考えられる。