

受け盤構造を有した斜面で発生した崩壊の発生機構と対策事例

国土防災技術株式会社 澤部 孝一郎

1. はじめに

青森県西部の溪流に面した北東向き斜面において、令和4年8月9日に202.5mm¹⁾を記録した大雨に伴い、斜面長約50m×幅約40mの崩壊が発生した(図-1)。

本事例は、崩壊斜面の復旧を図るべく実施したボーリング調査、ボアホールカメラ調査および対策工の事例について報告する。

2. 調査地概要

(1) 地形

調査地周辺は、開析が進行した標高150m程度の小起伏が発達する丘陵地性の山地に属する。

今回の崩壊では、崩壊土砂(推定土砂量約6,000m³)が斜面下方の溪流に向かって舌状に流出し、その一部は溪流に沿って、少なくとも120m程度流下した。この崩壊土砂によって溪床は埋没し、上流側には長さ約21m×幅約6mの湛水池が出現した。なお、崩壊土砂の長軸(=推定崩壊方向)は概ねN56°Eであり、大局的な斜面の最大傾斜方向(概ねN31°E)に対して25°斜交する。

滑落崖は1:1.0前後の急崖をなし、頭部は最大比高約15mで標高105m付近に形成されており、頭部から崩壊土砂を取り囲むように両側壁が発達する。なお、左側壁は最大比高約4mであるが、右側壁は最大比高約11mに達することから、左側壁に比べ右側壁の比高が極端に高い。

滑落崖頭部の上方斜面には、比高2m以下の谷向き低崖を伴う不規則な段差地形が分布する。

(2) 地質

新第三系鮮新統の珪質泥岩が分布する。崩壊地外における地層の走向傾斜(図-2の非変形域)は概ねN10°~50°W50°~60°SW(極N22°W50°SW)であり、大局的に見れば対象斜面(最大傾斜方向は概ねN31°E)に対して受け盤構造であるものの、やや斜交する。一方、滑落崖に露出する岩盤は、開口割れ目が発達するとともに、その姿勢はN39°W32°SWの緩傾斜していることから、崩壊以前より対象斜面ではトップリング(岩盤クリープ)が発生していたことが想定された。

3. 調査結果

(1) ボーリング調査

BV-1(L=6.0m)およびBV-2(L=7.0m)での調査結果より対象斜面では上位より破碎珪質泥岩(トップリングした地層)、風化珪質泥岩、珪質泥岩が流れ盤状に分布していることが明らかになった。このうち、最大約3.5mの層厚を有した破碎珪質泥岩は無数の亀裂が発達し、N値6程度で非常に脆弱である。風化珪質泥岩は特に層理面

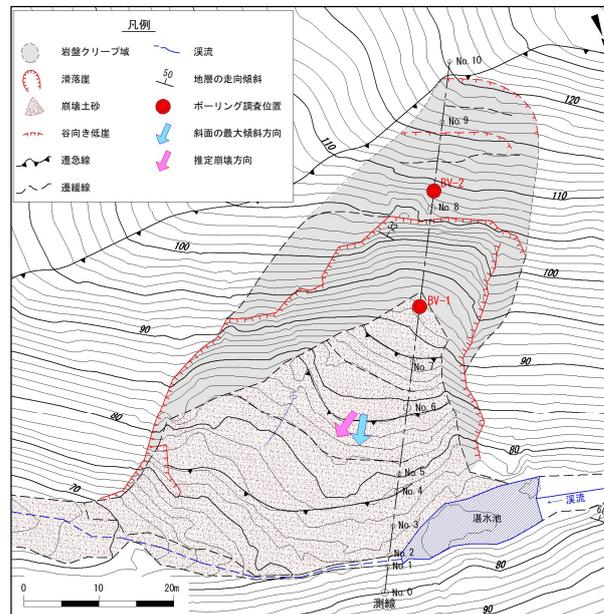


図-1 調査地の平面図

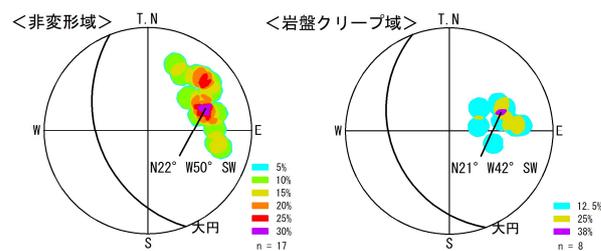


図-2 層理面のコンターダイアグラム

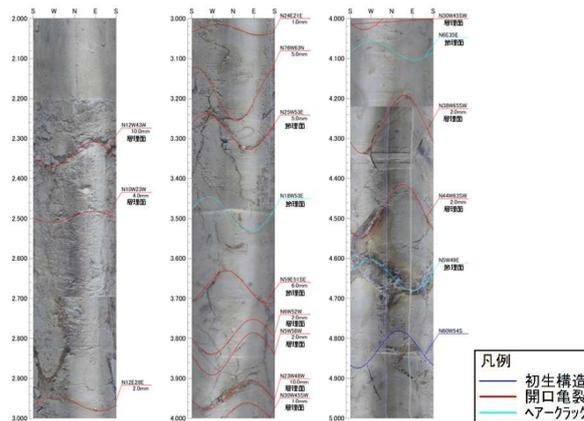


写真-1 BV-2の孔壁展開画像(GL-2.0~5.0m区間)

に沿って風化が認められているものの、破碎珪質泥岩よりも固結度は高い。最下位の珪質泥岩は新鮮でありN値50程度である。

(2) ボアホールカメラ調査

BV-1では、GL-3.0~5.5mは一定の傾きで割れ目数が増加するが、GL-2.5~3.0mにおいて増加量が大きくなるほか、累積開口量も大幅に増加する。また、層理面の見掛けの傾斜はGL-3.0~6.0mでは50°~60°であるもの

の、それより浅層部では傾斜が緩くなる。

BV-2 では、一定の傾きで割れ目数が増加するが、GL-3.8~4.0m において増加量が大きくなり、同深度付近では、累積開口量も大幅に増加する。また、層理面の見掛けの傾斜はGL-4.2~6.0mでは45°~65°であるものの、それより浅層部では傾斜が緩くなる。(写真-1)。

4. 崩壊機構

(1) トップリング(岩盤クリープ)とその範囲

調査結果から BV-1 では GL-3.0m 以浅、BV-2 では GL-4.2m 以浅でトップリングに伴う岩盤クリープが生じており、非変形域の地層と比べ概ね 10°~30° の範囲で緩傾斜している(図-2 の岩盤クリープ域)。これら調査孔でのトップリング底面の不連続面を結んだ延長線上には、滑落崖背後に発達する段差地形が位置し、不連続面と段差地形(遷緩点)が自然な形状で結ばれる(図-3)。そのトップリングの規模は、最大層厚 3.5m、斜面長約 42m となる。

残存する岩盤クリープ域は滑落崖下端から滑落崖背後にも広がっており、その上端は標高約 120m 付近に分布する谷向き低崖までと推定される。さらに、右側壁背後の不安定土塊や左側壁の標高約 80~約 103m の痩せ尾根も岩盤クリープ域内に位置していると推定される。

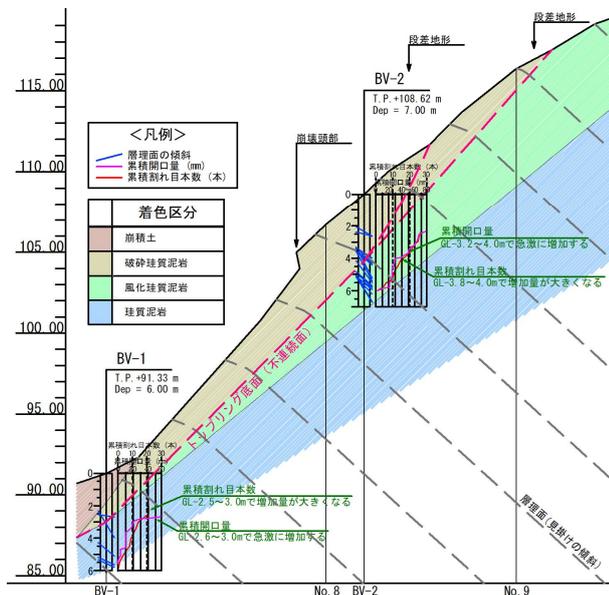


図-3 推定地質断面図

(2) 崩壊のメカニズム

現地踏査およびボアホールカメラ調査結果から、非変形域および岩盤クリープ域の地層の走向は N21°~22° W を示し、推定崩壊方向(N56° E)に調和的な値(概ね直交方向)であることから、対象の崩壊は、地質構造に規制されて発生したものと推定される。また、左側壁に比べ右側壁の比高が極端に高くなっている地形的特徴も、崩壊方向が斜面の最大傾斜方向とやや斜交した地質構造に規制されていることを示す。

以上より、対象地の崩壊は、崩壊前に溪床部から標高

約 120m の谷向き低崖までの範囲でトップリングが生じていた岩盤クリープ域内に、記録的な大雨による過剰な地下水が供給されて発生したものであり、その崩壊方向は地層のトップリング方向と推定される。

5. 対策工

対象斜面には不安定な岩盤クリープ域が残存しており、これらの領域を含めた対策を講じ、斜面の安定化を図る方針として、以下を検討した(図-4)。

①不安定領域の除去:岩盤クリープ域を除去するには、広範囲の切土工が必要で、大量の残土が発生することから、不採用とした。

②構造物による斜面安定度の向上:岩盤クリープ域で想定される最大規模のすべりに対して、抑止工を検討し、鉄筋挿入工併用吹付砕工を採用した。

③崩壊土砂の安定化:崩壊土砂に対して移動防止、侵食防止および植生の早期導入を目的として、土留工を主体とする山腹工を計画した。

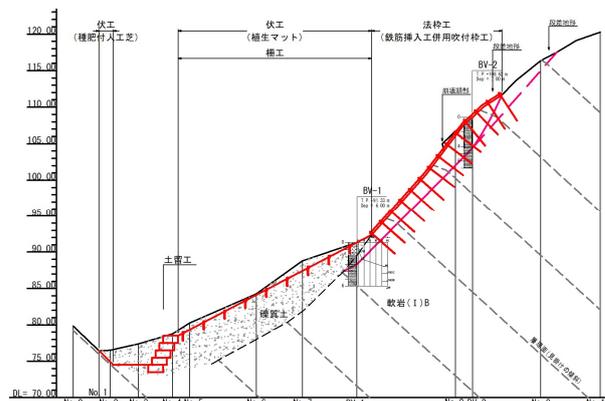


図-4 対策工断面図

6. おわりに

斜面に潜在するトップリングに対して、ボーリング調査とボアホールカメラ調査を組み合わせることで、トップリングの規模や範囲を詳細に把握することができた。層理面等の規則性のある面構造が発達する地層でのトップリングに対しては、特にボアホールカメラ調査を実施することは非常に有効と考える。

なお、今回、ボアホールカメラ調査を提案できたのは、初動の現地踏査で、非変形域よりも緩傾斜した岩盤や微小な段差地形の存在からトップリング現象を想定できたことである。したがって、地質構造が高角度な受け盤構造を有した斜面では、トップリングが潜在している可能性を留意し、現地踏査を実施することが必要と考える。

《引用・参考文献》

- 1) 気象庁アメダス:観測地点「鯉ヶ沢」(最終閲覧日 2025. 4. 24), <https://www.jma.go.jp/jma/index.html>.

令和5年7月の秋田県豪雨で被災した道路橋復旧における調査事例

国際航業株式会社 ○大沼 健斗、原田 政寿、伊礼 貴幸、小玉 一夫

1. はじめに

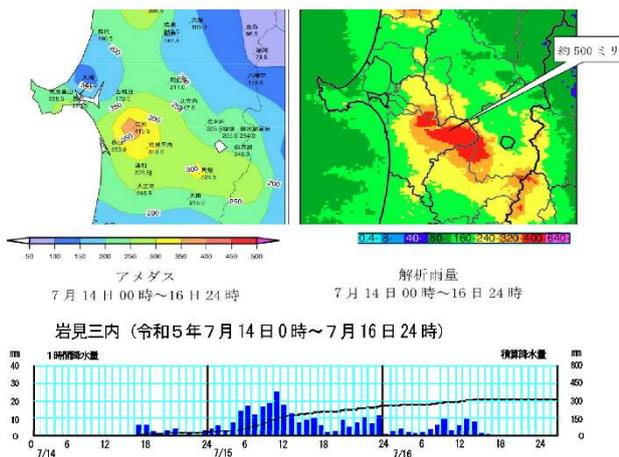
令和5年7月15～16日、梅雨前線が東北北部に停滞し、秋田県内の広い範囲で大雨となり、15日の24時間降雨量は、仁別ほか複数の観測点で観測史上最大を記録するなど、太平洋地付近を中心に非常に激しい雨となった。この豪雨によって、秋田市内の岩見川にかかる「新川橋」が被災した。地域住民・利用者の通行に重要な道路橋のため、早期復旧する必要があった。

2. 道路橋の被災状況(降水量等)

新川橋の被災状況について、概要を以下に示す。

- ・橋梁諸元：1991年竣工、橋長44.0m、幅員8.2～9.2m
- ・法定点検（2022年）－Ⅱ判定（予防保全段階）

気象庁アメダス「岩見三内」より、発災当時降雨量で、7月15日の最大日雨量：234mm、時間雨量：26.0mm（15日10時頃）である。

図-1 被災箇所周辺の降雨量図¹⁾

(アメダス「岩見三内」2023年7月14日～7月16日)



写真-1 被災したA2橋台

7月17日時点で河川は濁流となっており、下流側の水道管に草が絡まっている現場状況から、被災時の河川水位は通常時より約3m高い水位（橋桁から2m下）まで上昇したと推察される。

3. 地形・地質概要

調査地は、周囲が山地に囲まれた標高50～100m程の低地で、河川沿いに分布する完新世の谷底平野に位置する（図-2）。

5万分の1土地分類基本調査「太平山」の表層地質図によると、調査地表層は第四紀完新世の沖積低地堆積物が分布し、周辺には第四紀更新世の段丘堆積物（礫・砂）、新第三紀中新世の船川層（暗灰色泥岩、酸性凝灰岩、砂岩など）が分布するとされる（図-3）。

図-2 調査地案内図²⁾図-3 調査地周辺の表層地質図³⁾

4. 調査計画および安全管理

速やかな復旧とするため、現地調査の早期着手を計画した。調査位置を現地踏査により選定し、堤外地（河床付近）でのボーリング調査も計画した（図-4（上））。

堤外地での作業時は、豊水期のため増水による水難事故の危険性が考えられた。天候による作業延期を回避するため、堤外地の調査予定箇所を大型土のうで仮締切し、安全確保に努めた（写真-2）。



写真-2 調査時のA2橋台周辺の状況

5. 調査結果・考察

既往調査より、A1橋台付近でボーリング調査がされており、A1橋台基礎部はN値50以上の堆積層を支持層とした直接基礎の設計施工がなされたことを確認した。対して、A2橋台付近はボーリング調査がされていないことから、A2橋台周辺の地質状況（既往断面）はA1橋台から水平方向に投影されたと推察した。

A2橋台周辺のボーリング調査の結果、上部から盛土層（Bn）、礫質土層（Ag）、船川層（泥岩）（Fm）となり、既往調査の地質状況と概ね同様の地質状況であることが分かった。しかし、沖積堆積物である礫質土層（Ag）は深度によりN値30以下となる箇所も見られ、マトリクスが緩いことが分かり、支持層と評価することは難しかった。

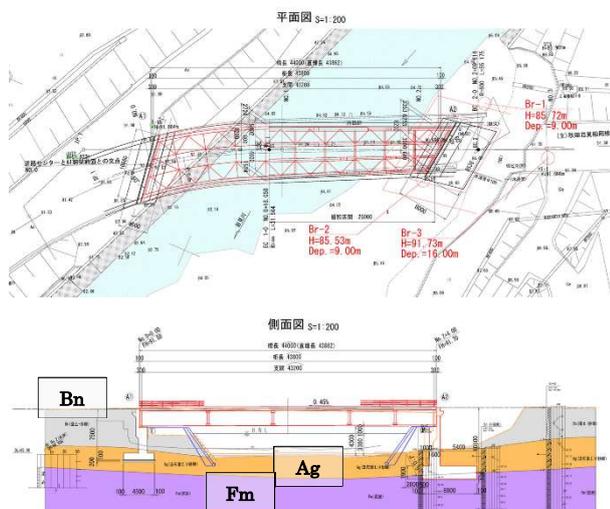


図-4 調査平面図（上）、推定地質断面図（下）

A2橋台復旧工事の際、支持層となる泥岩層（Fm）まで開削し、直接基礎を施工する必要があったが、上部の礫質土層には玉石が多く混入し、鋼矢板等の止水工が困難であることが想定された。また、開削した際の河川からの湧水量を推定するため、現場透水試験と室内土質試験の粒度試験を行い、礫質土の透水係数を算出、比較・検証した。現場透水試験結果では 10^{-3} （m/s）オーダー、粒度試験結果からの推定値では $10^{-5} \sim 10^{-0}$ （m/s）オーダーとなり、原位置試験の結果は妥当であると判断した。

6. UAV 撮影による橋梁調査

早期復旧に必要な設計基礎資料を得るため、UAV撮影による橋梁調査を行った。UAV調査は桁上部、桁下部それぞれで実施、桁上部・下部の状況把握と、A2橋台の沈下量把握を行った。

UAV調査より三次元点群データを生成、橋梁桁の変位・変状状況を机上で視覚的に確認し、計測を行った。



図-5 UAV調査の三次元点群データ切出画像（桁上部）

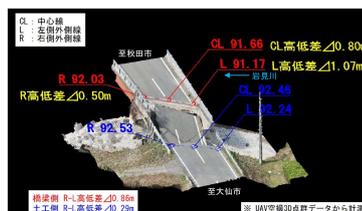


図-6 三次元点群データ A2付近の高低差計測画像

7. 道路橋の被災機構

素因：被災したA2橋台の支持層が礫質土層（Ag）で、堅固な岩盤層ではなかった。A2橋台周辺の河川流路が攻撃斜面となっていた。

誘因：時間雨量24mm、累積雨量300mm（14～16日）の豪雨により河川が増水した。

上記の被災原因から、上流側水衝部護岸が崩壊し、A2橋台背面の土工部（攻撃斜面）が浸食・洗掘され崩壊、橋台基礎部が底面洗掘を受け、橋台が沈下・傾斜し、上部構造が被災、変形に至ったと考えられる。



図-7 UAVによる被災した橋梁の周辺状況

8. まとめ

日最大雨量234mm（連続累積雨量300mm程度）の累積降雨により河川が増水し、上流側水衝部護岸崩壊による橋台背面の土工部への侵食・洗掘から、礫質土層を支持層とした橋台基礎部で橋梁被災に至ったと考えられる。

被災した道路橋の変位・変状を詳細把握するため、UAVによる橋梁調査を行い、机上で視覚的に確認可能な計測から詳細把握を行った。

近年の集中豪雨で被災、復旧に時間を要する規模の災害であったが、地域住民や利用者に安心、安全を早期提供できるような、1復旧事例として参考になれば幸いである。

《引用・参考文献》

- 1) 気象庁アメダス：観測地点「岩見三内」（最終閲覧日2025.6.6），
<https://www.jma.go.jp/jma/index.html>.
- 2) 国土地理院地図（に加筆），（最終閲覧日2025.6.6），
<https://maps.gsi.go.jp/#16/39.698914/140.343765/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1glj0h0k010u0t0z0r0s0m0f1>.
- 3) 5万分の1土地分類基本調査「太平山」（1996）：秋田県，
<https://n1ftp.mlit.go.jp/kokjo/tochimizu/F3/data/G/0528G.jpg>.

令和6年能登半島地震における斜面の被災状況と地すべり調査事例

川崎地質株式会社 ○亀卦川 茂彬, 橋本 直樹, 徳間 伸介, 榊原 信夫

1. はじめに

令和6年度能登半島地震により、石川県輪島市で発生した地すべり被災事例について紹介する。地すべりは石川県輪島市の洪田川左岸側斜面で発生した。地震の震央から被災地までの直線距離は約22kmであり、近傍の観測点（輪島市鳳至）では震度6強を観測した。

地すべりは、典型的な流れ盤地すべりであり地震動に起因して変動が発生した。能登半島では、同様の地すべりが多数発生している。本稿では、ボーリングコアで確認されたすべり面の状況を中心に報告する。

図-1 地すべり発生箇所案内図¹⁾

2. 対象地すべりの概要

地すべりの規模は長さ約230m、幅約130mの馬蹄形を呈し、右側方の一部は洪田川に滑落し、河道を閉塞している。ブロック頭部滑落崖の高さは約20mあり、マッシュな泥岩層が露岩している。被災前、尾根部には地元の共同墓地が存在したが、被災により基礎ごと海岸方向に約50m水平移動した。ブロック末端部は海岸沿いの一般国道249号まで到達し、多数の倒木を巻き込んだ土砂によって家屋が倒壊する被害が発生した。

図-2 発災直後斜め写真²⁾に引用加筆

3. 地質概要

洪田地すべり周辺は、新第三系中新統の堆積岩類からなる飯塚層が広く分布し、地すべりは珪質シルト岩 (lp) で構成される。また、周辺露頭の走向傾斜は N60W20~30N を示し、地すべり発生箇所の岩盤は受盤構造となる。

図-3 地すべり発生箇所の地質³⁾

4. 地すべり調査

(1) 調査概要

図-4及び図-5に示す5ヶ所でボーリング調査、観測機器設置を実施した。観測機器はボーリング孔では本孔でパイプ歪計、孔内傾斜計および地下水位計を、地表観測として、地表伸縮計観測を7ヶ所およびGNSS観測を2ヶ所で実施した。

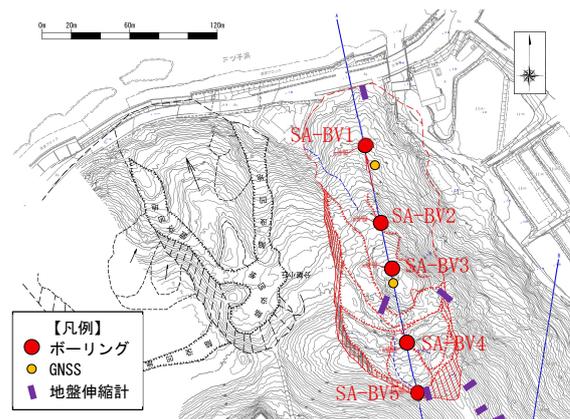


図-4 調査位置平面図

(2) すべり面

ボーリング5孔の内、地すべりブロック内の BV-2、および BV-3の2孔ですべり面を確認した。すべり面の破碎状況等を表-1に示す。破碎部は小礫混り粘土であり、礫は5mm以下の亜角礫を主体としていた。破碎度(脇坂ほか、2012)は、Cr3相当であり、破碎度 C1ほど非常に破碎が進行している状況ではなかった。

地震による地すべりでは高速で滑动するため、短時間

の破碎により礫状化は進むが、時間のかかる風化や変質作用が進行しないことから、粘土化の程度は弱いと推察される。

すべり面の傾斜は15～25度で層理面とほぼ平行に発達していた。このことから流れ盤すべりであるとことが想定される。

表-1 すべり面一覧表

孔番(場所)	採用すべり面深度	すべり面付近状況写真
末端部	原地形レベル(国道路面高)	
SA-BV1	11.50m	
SA-BV2	27.10m (Cr3)	
SA-BV3	29.30m (Cr3)	
SA-BV4	4.05m	

(3) すべり面形状

ボーリングによるすべり面深度をまとめてすべり面形状を想定した(図-5)。滑落崖～地すべり中腹部は傾斜25度程度で平滑である。地すべり中腹部～末端部では10～25度となり、旧地表への乗り上げ部では、水平となっている。

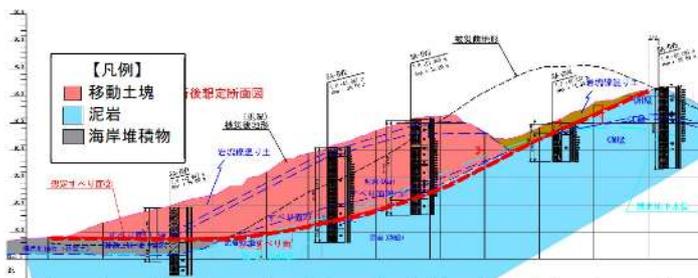


図-5 主測線地質断面図



図-6 右側方崖で確認されたすべり面

右側方崖においては、平滑で広範囲に連続する面構造が確認されている(図-6)。この面構造の走向傾斜はN60° E20° Nであり、周辺の走向傾斜と傾向が似ていることから、地表に出現したすべり面と判断した。

また、発災前の地理院地図5mメッシュ地形図と発災後取得のLP地形データを用いて、原地形や分離丘の着色差分図を作成した(図-7)。

土塊は形状をあまり変化させず、すべり面に沿って下方へ60m移動した。

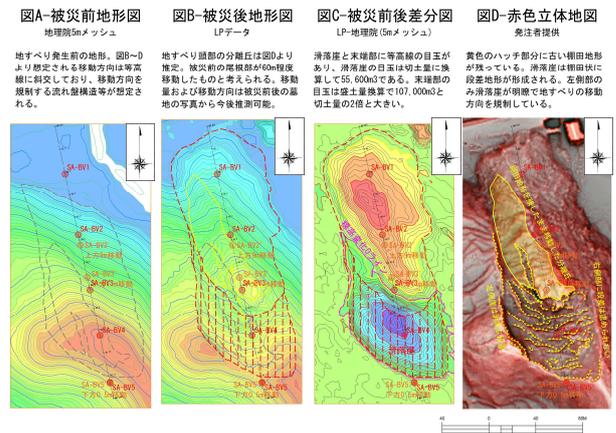


図-7 被災前後の地形コンター着色図

6. 終わりに

当該箇所は、典型的な大規模地震動による流れ盤すべりであった。変動量は60mと大きいが破碎度はCr3とそれほど高いものではなかった。

すべり面の破碎度は、時間のかかる風化や変質作用の影響も考慮して評価する必要があると考えられる。

《引用・参考文献》

- 1) 国土地理院地形図(に加筆),(最終閲覧日2025年6月10日).
<https://maps.gsi.go.jp/>
- 2) 株式会社パスコ(2024):災害緊急撮影,航空写真,標定図2,写真番号098(に加筆),(最終閲覧日2025年6月1日).
<https://corp.pasco.co.jp/disaster/>
- 3) 吉川敏之,鹿野和彦,柳沢幸夫,駒澤正夫,上嶋正人,木川栄一(2002):5万分の1地質図幅「珠洲岬,能登飯田及び宝立山」(に加筆).
- 4) 脇坂安彦,上妻睦男,綿谷博之,豊口佳之(2012):地すべり移動体を特徴づける破碎岩一四万十帯の地すべりを例として一.