

令和6年能登半島地震への産総研の対応

産業技術総合研究所 地質調査総合センター 活断層・火山研究部門 藤原 治

1. はじめに

産総研地質調査総合センター（以下、GSJ）では、令和6年能登半島地震の発生当日から関係者で対応を協議し、GSJに蓄積された能登半島周辺の地質情報や活断層に関する資料を取りまとめ、1月2日夕刻に開催された地震調査委員会（臨時会）に提出した。1月7日から能登半島で隆起した海岸などの調査を開始し、続いて津波痕跡調査、地震に伴う地表変状の調査、他機関と連携した海底地形などの調査、さらに産総研独自での海底活断層調査などを行った。これらの調査の成果の一部はGSJの公式ホームページに1月3日に開設した特設ページで公開している¹⁾（7月17日現在で第10報まで）。また、随時、地震調査委員会へ提出し、地震の評価に活用されている。これらの元となった調査などについて紹介する。

2. 地震の前に行われていた地質情報の整備

2.1 海底の活構造

GSJでは、工業技術院地質調査所時代から、海底地質図の作成を主目的として日本海周辺の海域地質調査を実施してきた。その過程では日本海の地震テクトニクスを反映した活断層を含む地質構造に関する情報も得られている。一方、沿岸海域は水深が浅く漁業活動が活発であるため、大型の探査船による調査が難しく、地質情報の空白域であった。2007年3月の能登半島地震（M6.9）や同年7月の新潟県中越沖地震（M6.8）がこの空白域で

発生し甚大な被害を生じたことを契機として、GSJではこの空白域を埋めるべく、新たに高分解能マルチチャンネル音波探査装置を開発し、海洋—沿岸—陸域を繋ぐシームレスな地質情報の整備を開始した。2007年と2008年に行った能登半島北部沿岸域の詳細な音波探査の結果、活断層の位置が明らかになり、西から順に、門前沖セグメント、猿山沖セグメント、輪島沖セグメント、珠洲沖セグメントと命名された²⁾。これらの活断層の分布やセグメント区分などの情報は、国土交通省による日本海で発生しうる大規模地震の震源断層モデルとそれによる津波の想定に用いられた³⁾。それによると、猿山沖、輪島沖、珠洲沖セグメントを合わせたものにほぼ相当する長さ約94 kmの活断層（F43）と、その北東側の長さ約56 kmの活断層（F42）からそれぞれM7.6とM7.3の地震が想定されていた。

2.2 陸上の地質

能登半島の陸域の地質情報については、陸上の地質層序、地質構造、およびテクトニックな履歴を1/20万地質図幅として公開している⁴⁾。また、半島北東部の1/5万地質図幅⁵⁾では、海岸にほぼ平行に伸びる多数の断層や褶曲も確認できる。最近の1/5万地質図幅は、軟弱な地層が厚く分布する平野部での地盤災害や土地利用も意識しており、例えば今回の地震で液化化などの被害があった「新潟及び内野」図幅⁶⁾では、更新世中期以降の地層の区分に加え人工地盤についても詳しく記載している。



図-1 令和6年能登半島地震による猿山沖セグメントに面した海岸の隆起（石川県輪島市門前町）。海岸線を縁取る白い帯（石灰藻などの白化による）が隆起で離水した部分。この地域の隆起量は最大約4 m¹⁰⁾。白い帯の上には大小の斜面崩壊による堆積物が見える。反射法音波探査中の船上からGSJの大上隆史主任研究員が撮影。

2.3 地震隆起を示す海岸地形

GSJでは能登半島の海岸の隆起についても調査を行ってきた。2007年能登半島地震は門前沖セグメントの活動によるもので、緊急調査の結果、半島北西部に最大で0.5 mの隆起を確認した⁷⁾。また、2023年5月5日に珠洲岬沖で発生したM6.5の地震の前後での測量結果の比較から、0.2~0.3 mの地震隆起を確認した⁸⁾。ただし、これらの地震隆起は小規模で海成段丘を作るものではなかった。一方、能登半島北岸には完新世に形成されたと考えられる3段の海成段丘(上位からL1~L3面)が広く分布しており、隣り合う段丘間の比高は1 mほどのことが多いが、半島北西端では2.4 mもある⁹⁾。

3. 地震後の調査

3.1 海岸の隆起地形の調査

国土地理院による解析¹⁰⁾で最も大きな隆起が観測された地域は、完新世の段丘の高度が最も高い場所と一致している(図-1)。その地域にある門前町鹿磯では、GSJの緊急調査の結果、約3.6 mの地震隆起が推定された¹⁾、¹¹⁾。また、珠洲海岸での今回の地震隆起は1.48 mと推定され、2023年5月の地震(0.24 m)と比べて格段に大きかった¹¹⁾。能登半島北岸で広範に海岸段丘を形成するのは、

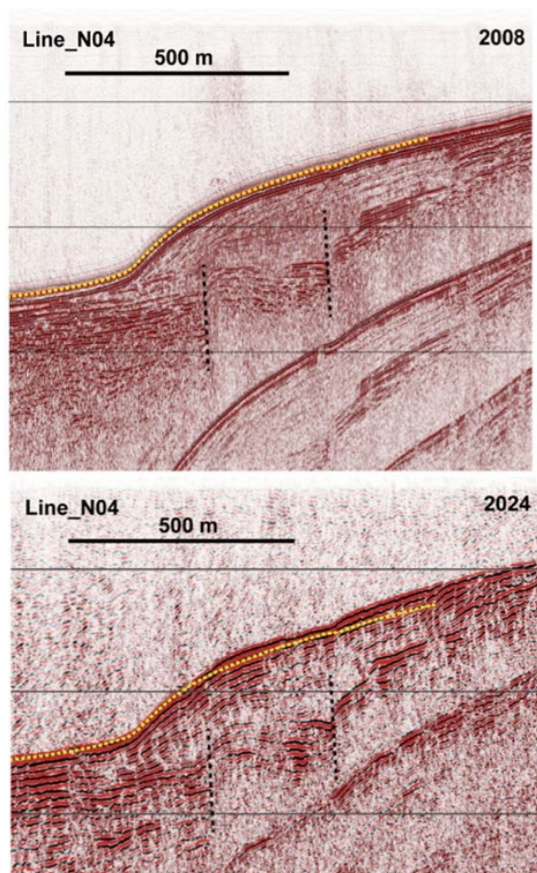


図-2 猿山沖セグメント(N04測線)のブーマー断面¹⁾(上)2008年,下)2024年。2条の活断層(黒点線)の右手(南東)側に、合わせて3~4 mの隆起が認められる。

M7未満の地震ではなく、今回の能登半島地震のようなM7後半の規模の地震が原因と考えられる¹¹⁾。

3.2 海底の活断層調査

2007年と2008年に活断層が確認されたのと同じ能登半島北方の調査測線で、2024年4月に高分解能反射法探査と海底地形調査を行った。2024年能登半島地震の前後で反射断面を比較した結果、既知の活断層で新たな変位が広範囲に生じた(この地震は既知の海底活断層で発生した)ことが確認された(図-2)。この成果は、反射法探査に基づく活断層の認定や、それに基づく地震規模などの推定の正しさを裏付けるものとなった。

《引用・参考文献》

- 1) 地質調査総合センター(2024):令和6年(2024年)能登半島地震の関連情報 <https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/noto2024/index.html>
- 2) 井上卓彦,岡村行信(2010):能登半島北部周辺20万分の1海域地質図及び説明書.海陸シームレス地質情報集,「能登半島北部沿岸域」.数値地質図S-1,地質調査総合センター.
- 3) 日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書 https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/daikibojishinchousa/
- 4) 尾崎正紀(2010):能登半島北部20万分の1地質図及び説明書.海陸シームレス地質情報集,「能登半島北部沿岸域」,数値地質図S-1,地質調査総合センター.
- 5) 吉川敏之ほか(2002):5万分の1地質図幅「珠洲岬,能登飯田及び宝立山」,地質調査総合センター.
- 6) 鴨井幸彦ほか(2016):地域地質研究報告5万分の1地質図幅 新潟及び内野,地質調査総合センター.
- 7) Shishikura, M. et al. (2009): *Geophysical Research Letters* **36**, L02307, doi:10.1029/2008GL036252.
- 8) 宍倉正展,越後智雄(2023):令和5年(2023年)5月5日に石川県能登地方で発生した地震の関連情報, <https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/noto2023/index.html>.
- 9) 宍倉正展ほか(2020):能登半島北部沿岸の低位段丘および離水生物遺骸群集の高度分布からみた海域活断層の活動性, *活断層研究* **53**, 33-49.
- 10) 国土地理院(2024):「だいち2号」観測データの解析による令和6年能登半島地震に伴う地殻変動 https://www.gsi.go.jp/uchusokuchi/20240101noto_insar.html
- 11) 宍倉正展ほか(2024):令和6年能登半島地震に伴う隆起で生じた海岸の離水と海成段丘. *第四紀研究* **63**, 169-174.

【CO01】

上越地域における令和6年能登半島地震の地すべり観測事例

株式会社 日さく ○沼澤 輝久、竹内 均、小川 知史

1. はじめに～地震時の上越地域の状況～

令和6年1月1日16時10分頃に発生した令和6年能登半島地震（以下、本地震と略）において上越地域では沿岸部を中心に最大震度5強の強い揺れを観測した（図-1）。

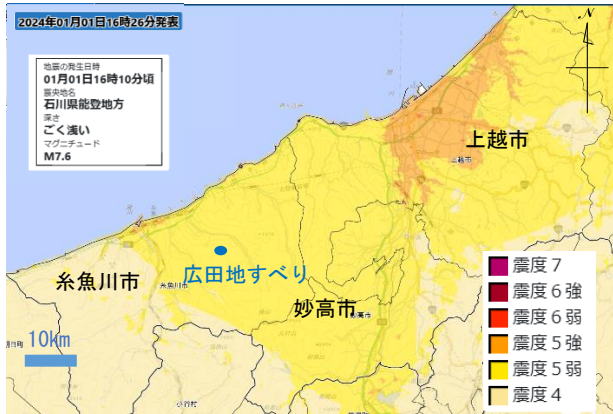


図-1 上越地域の推計震度分布図¹⁾

本地震当時の上越地域の気象状況を表-1に示す。地震発生時に降水はなかったが前日にはまとまった降水が観測され、融雪が進んでいた。筆者らが観測を行っている複数の地すべり地において、地震時に突発的な水位変動や歪変動が観測された例をここに紹介する。

表-1 本地震時の上越地域の気象状況²⁾

観測地点	24時間雨量(mm)	地震24時間前積雪量(cm)	地震時積雪量(cm)
気象庁 糸魚川	18.5	観測なし	観測なし
気象庁 能生	36.5	8	0
気象庁 関山	22.5	1	0
気象庁 高田	32.5	16	12
気象庁 安塚	29	23	17

2. 広田地すべりの歪変動・水位変動

広田地すべりは糸魚川市の早川流域に位置し、令和5年の融雪期に発生した。本地すべりはいわゆる「大規模地すべり」³⁾（荻田ほか、2016）に相当し、すべり面に著しい非対称性がある。斜面上部西側では地温勾配が高く、電気伝導度の高い深層地下水が賦存する特徴を有す。

本地震直後には複数の観測孔で突発的な歪変動の発生が観測され、一部の深度では測定限界を超える歪変動を観測した。一方で累積性はみられず、地すべり方向と直交するY方向の歪変動も同時に観測された（図-2）。複数の観測孔においてY方向の歪変動がより大きいことから、土塊全体が不安定化する地すべりは発生しなかったと考えられる。またすべり面より浅部において歪変動が集中しており、地すべり土塊内部で動きがあったことを示唆している。一方ですべり面付近にて大きな歪がみられた観測孔も存在した。すべり面が弱面として作用し、土塊

が揺すられたと考えられる。

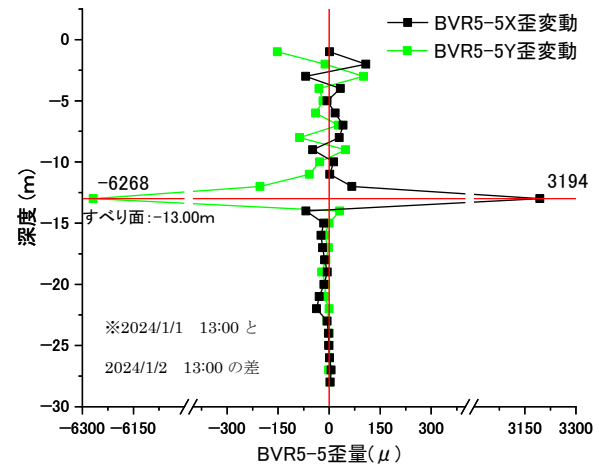


図-2 斜面中部での本地震前後の歪変化量

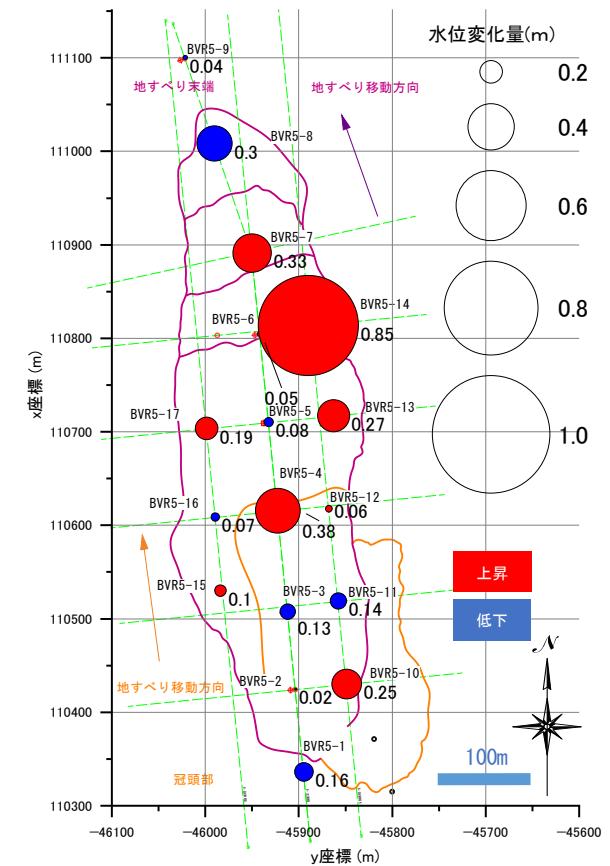


図-3 広田地すべりにおける本地震前後の水位変動量

地震時の突発的な水位変動も程度の差はあるものの本地すべりの全観測孔で観測された（図-3）。

変動量の大きい傾向にある地すべり東側では、すべり面の非対称性により移動層が薄い場合、深層地下水の影響が小さい。地すべりの規模に対し土塊の変動がごく小さいことから、土塊内部の局所的な変形に依存した水位変動が生じたと考えられる。そのため浅層地下水の影響

の強い地すべり東側で水位変化量が大きくなったと推測される。

3. 広田地すべりの水温変動

斜面上部西側の BVR5-15 では、深層地下水の挙動を調べるために多点温度センサーを設置していた。温度センサーは 0.5m の間隔で配置されており、深度 40m の深さまで孔内の温度を 1 時間毎に自動測定した (図-4)。

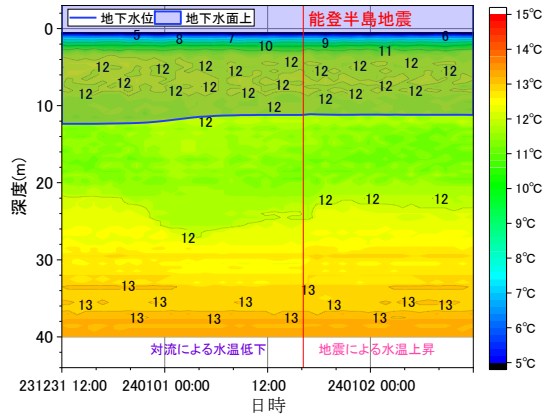


図-4 地震前後の孔内温度の変化

本地震前日の午後から 20m~34m の水温が低下している。これは降水に伴う冷たい浅層地下水の孔内流入により、対流が発生し、深部の地下水温が低くなったと推測される。その後ゆっくりと水温が回復したが、本地震の約 30 分後に 20~32m における水温が突発的に上昇した。水温の上昇量としては僅かであるが、本地震前の水温上昇に比べ変化が急である。地震動により短期間で深層地下水が供給された結果と推測される。

4. 上越地域での本地震による地すべり観測事例

本地震前後のデータを取得できた地すべり観測地は19箇所である (図-5)。うち7箇所にて地震による100 μ 以上の歪変動が観測された。歪変動が観測されなかった12箇所においても、7箇所は0.2m/時間以上の顕著な水位変動がみられた。残りの5箇所では歪・水位共に明確な変化は観測されなかった。同一地区の複数の観測孔で顕著な歪変動が観測されたのは、広田地区のみであった。

顕著な歪変動がみられた地区は、震央から距離に近い傾向にあった (図-5)。一方で歪変動がみられた地区の地すべり方向を図-5に示したが、規則性は認められなかった。既往研究では「地震による地すべりの発生は、斜面勾配や地質構成よりも震源断層からの距離に影響される」⁴⁾ (ハスパートルほか、2011) とされており、集計数は少ないが、本地震の上越地域でも同様の傾向がうかがえた。

とくに集計箇所の中で最も震央に近かった A 地区 (仮称) では地震後に地表面の変状が現れ、地すべりの活動が認められた。本地震直後に最大で約20000 μ の歪変動が生じ、1週間ほど累積が継続した。今回の集計箇所のうち、歪変動の累積性が認められたのは A 地区のみであった。

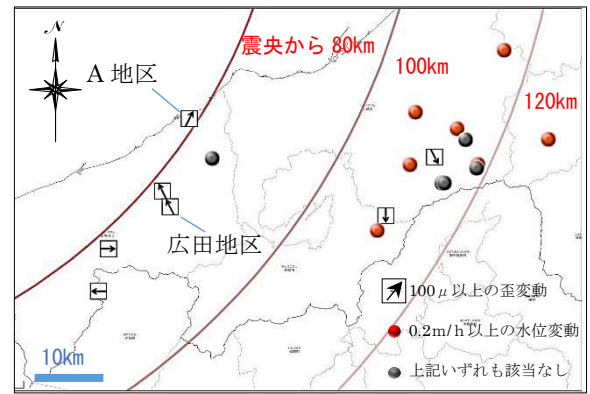


図-5 集計地点分布図⁵⁾(矢印方向は地すべり方向)

5. まとめ

既往研究では大部分の地すべりが震度5強以上、最大加速度500Gal以上の地域で発生した⁴⁾ (ハスパートルほか、2011) と報告されている。本地震において最大加速度が500Galを超えた観測点は佐渡島の小木を除き、新潟県内に存在しない。上越地域では約200~400Gal程度⁶⁾とされ、土塊全体を動かすほど地震動は強くなかったと考えられる。そのため多くの地すべりで単一の観測孔のみが歪変動をみせたように、地すべりは土塊一部の变形にとどまったと推測される。また広田地区のように土塊内部の变形のみが起き、水位変動が発生したと推定される。一方で本地震前日に降水が観測されており、降水による間隙水圧の上昇によって通常よりも地すべりが発生しやすくなっていた可能性がある。その結果、沿岸部の A 地区のような比較的地震動の強かった地域で土塊全体の動く地すべりに至ったのではないかと考えられる。

《引用文献》

- 1) 気象庁：推計震度分布図 (に加筆) (最終閲覧日 2023. 5. 29)
https://www.jma.go.jp/bosai/map.html#11/37.058/138.132/&contents=estimated_intensity_map&id=202401011610
- 2) 気象庁：観測地点「糸魚川」「能生」「関山」「高田」「安塚」(最終閲覧日2023. 5. 30)
<https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/>
- 3) 荻田茂・相楽渉・大規模地すべりの機構解明研究委員会(2016)：我が国の大規模地すべりの形態と機構、地すべり、Vol. 53、No. 5、pp. 12-25
- 4) ハスパートル・石井靖雄・丸山清輝・寺田秀樹・鈴木聡樹・中村 明(2011)：最近の逆断層地震により発生した地すべりの分布と規模の特徴、地すべり、Vol. 48、No. 1、pp. 23-38
- 5) 国土地理院地形図 (に加筆) (最終閲覧日2024. 5. 24)
<https://maps.gsi.go.jp>
- 6) 防災科学技術研究所 強震観測網(K-NET、KiK-net) (最終閲覧日2024. 5. 29)
<https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/quake/>

【CO02】

新潟県上越地方における能登半島地震に起因する地すべり発生事例

株式会社興和 ○奈良 幸明, 大塚 洋之, 堀松 崇, 志太 智春

1. はじめに

令和6年能登半島地震により、新潟県糸魚川市で発生した地すべり発生事例について紹介する。地すべりは新潟県糸魚川市、二級河川能生川の右岸側に位置する中野口地すべり防止区域内で発生した。地震の震央から被災地までの直線距離は約80kmであり、近傍の観測地では震度5強を観測した。



図-1 地すべり発生箇所¹⁾

2. 地すべりの概要

地すべりは長さ約180m、幅約80mの馬蹄形を呈し、上部ブロックと下部ブロックに区分される。上部ブロック頭部滑落崖の高さは約20mで、泥岩層が露岩している。地すべり発生当初は多量の湧水が確認され、滑落崖直下の陥没部に湛水池が形成された。下部ブロックの頭部滑落崖は高さ10mであり崩積土からなる。ブロック末端部では、泥濁化した土砂が下方に流出しており、土砂流下箇所は多数の倒木が確認された。なお、今回発生した地すべりブロック背後には、古いすべり地形が存在し、右側部には平成25年、令和2年に活動した地すべりブロックが隣接する。隣接ブロックでは地震発生時に半自動観測による地下水位観測とパイプ歪計観測が実施されていた。

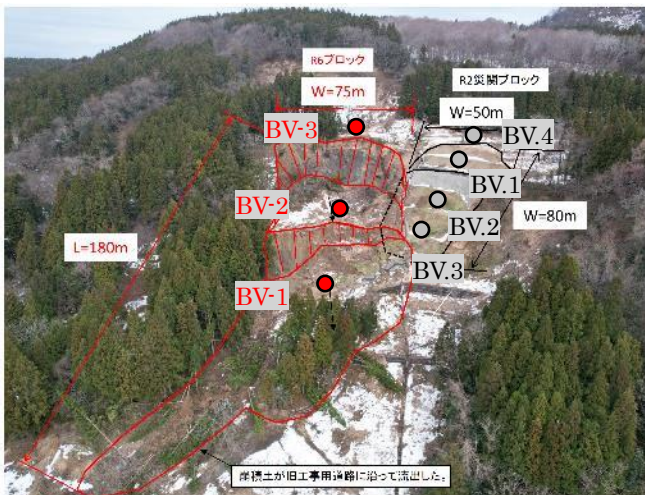


図-2 中野口地すべり全景写真

3. 地質概要

中野口地すべり周辺は、新第三紀の堆積岩類が分布し、中新世の塊状泥岩を主体とする「中ノ俣泥岩部層」鮮新世の軽石質凝灰岩からなる「瀬戸凝灰岩部層」が分布する。また、周辺の走向傾斜より地すべり発生個所の基盤は受け盤構造となっている

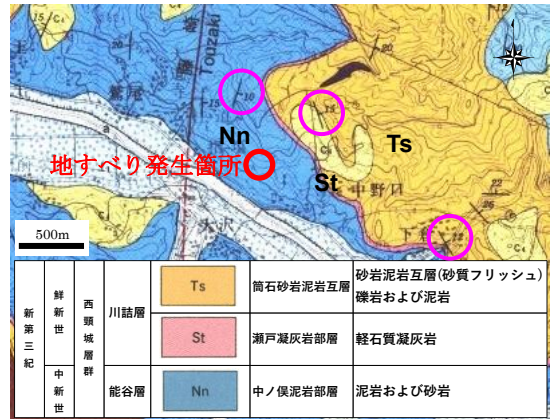


図-3 地すべり発生箇所の地質²⁾

4. 地すべり地の地質構成

調査ボーリングは、上部ブロック冠頂部、上部ブロック内、下部ブロック内の3か所で実施した。調査地の地質構成は冠頂部では風化岩が4mの厚さで分布する。上部ブロックでは、基岩層の上位に風化岩が10mの厚さで分布しており、すべり面は粘土化が著しい風化岩層と未風化岩層の境界部と想定した。下部ブロックは活動により激しく擾乱を受けており、すべり面は風化岩中もしくは風化岩と崩積土の境界と想定した。

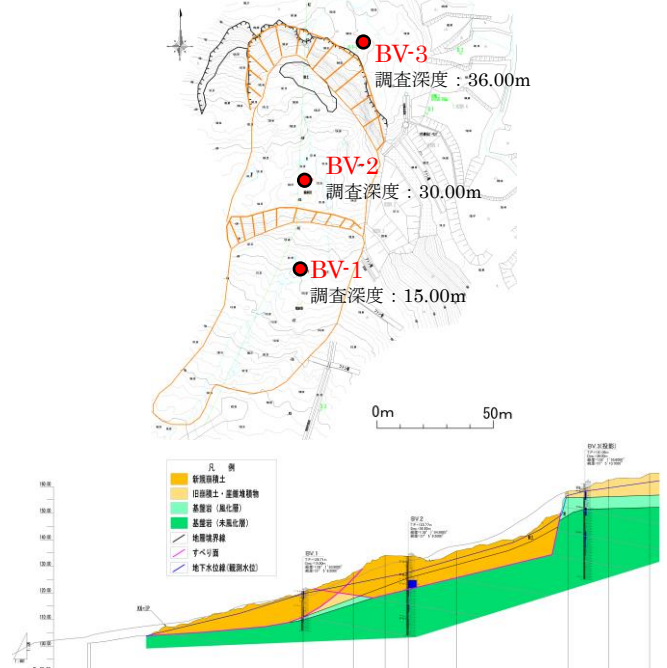


図-4 調査平面図・断面図

5. 地震発生時の隣接ブロックでの変動状況

(1) 気象条件

近隣のアメダス観測地点「能生」の雨量と積雪深、および地下水観測結果を図-5にまとめる。グラフより、12月22日に78cmあった積雪深は、その後の気温上昇と降雨により地震発生時には0cmとなっていた。地震発生前の1か月間の降水量は505mmと平年よりも多く、地震発生前の7日間降水量は97mmを示すほか、地震前日の12月31日には44.5mmの降水量を観測している

(2) 地下水位観測

隣接ブロックの地下水位は、降雨や融雪に敏感に反応する特徴を有する。12月31日には降雨や融雪の影響により、地下水位は上昇していたが、1月1日の地震発生前からは地下水位は低下傾向にあった。地震発生直後は全孔で顕著な地下水低下を示し、地震発生前後1時間での水位変動量はBV-1号孔で-6cm、BV-3号孔で-33cm、BV-4号孔で-17cmを示した。

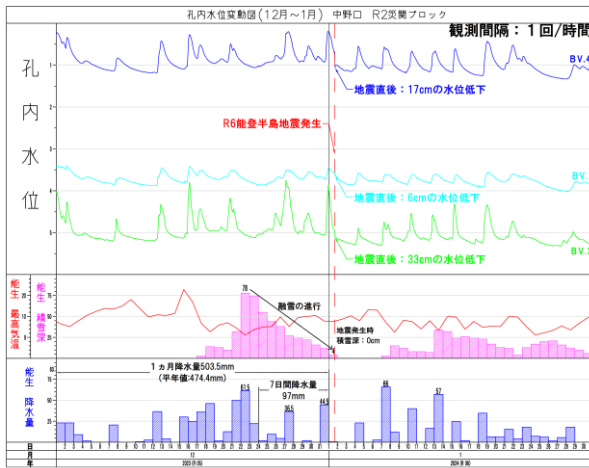


図-5 孔内水位変動図(隣接ブロック)³⁾

(3) パイプ歪計観測

パイプ歪計観測では、地震後、BV-1号孔の深度6mY方向で3017 μ S、深度7mのX方向で464 μ Sの変動が確認された。BV-2号孔では深度7mX方向で531 μ S、深度8mY方向で113 μ Sの変動が確認された。地震発生前には深度6m、8mのX方向で先行降雨の影響とみられる変動が確認されていた。変動はすべり面付近および移動土塊内で発生しており、地震後も継続して確認されることが特徴的で特にBV-2号孔で顕著である。

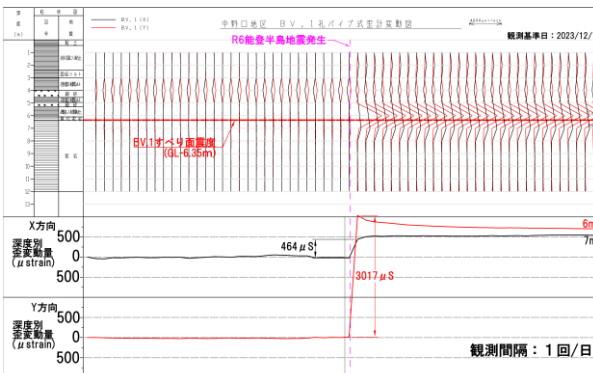


図-7 BV-1号孔パイプ歪計観測グラフ(隣接ブロック)

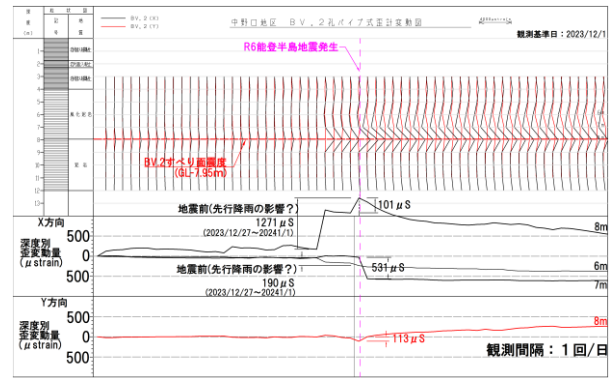


図-8 BV-2号孔パイプ歪計観測グラフ(隣接ブロック)

6. まとめ

今回発生した中野口地すべりでは、地震発生後、隣接ブロックで地下水位の急低下、すべり面付近や移動土塊内での地中変動が観測された。以上のことを踏まえると、中野口地すべりは、以下の要因で発生したことが想定される。

<素因>

- ・地すべりが発生しやすい地質、地すべり多発地帯。
- ・剛性が異なる風化岩と基岩の分布。

<誘因>

- ・先行降雨と融雪の影響で地震前から地すべりは不安定な状況。
- ・地震動による既存すべり面の再活動。
- ・地震動による過剰間隙水圧の上昇に伴うすべり面の強度低下。

このように当地の地形、地質構造、周辺地すべりの変動状況を考慮すると、今回の地すべりは、既存のすべり面が再活動したものと想定される。その一方、今回の地震により、隣接ブロックが大きな活動を示さなかった要因は対策工施工の効果によるものと考えられる。

現在、被災地や隣接ブロックでは地すべり観測を継続中であり、今後すべり面深度の確定、地下水状況の考察、地すべり対策工の配置検討を実施する計画である。

7. 謝辞

本稿執筆に際し、新潟県糸魚川地域振興局地域整備部からは、写真や地形図、観測データの提供など多大なるご協力、ご指導を賜りました。厚く御礼申し上げます。

《引用・参考文献》

- 1) 国土院地形図 (に加筆), (最終閲覧日2024年5月23日).
<https://maps.gsi.go.jp/>
- 2) 赤羽貞幸, 加藤碩一(1989):5万分の1地質図幅「高田西部」(に加筆)
- 3) 気象庁アメダス: 観測地点「能生」(最終閲覧日2024年5月23日),
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/>

【CO03】

令和6年能登半島地震による新潟市における液状化被害

株式会社興和 ○柿崎研人, 坂東和郎, 藤野丈志, 鶴巻駿介

1. はじめに

令和6年能登半島地震により、震源から約160km離れた新潟市西区では震度5強、中央区では震度5強～4の揺れが観測された。西区の砂丘縁辺部、及び中央区、西区、江南区の旧信濃川河道域において地震動による液状化が発生し、路面の陥没、隆起または宅地のめり込み沈下が起こった(図-1)。

本報では、旧河道における新潟市西区の善久、ときめき西、鳥原で液状化被害状況について現地踏査を行い、液状化層を把握することを目的に宅地や公園でサウンディング試験を行った。また、鳥原地区において確認された側方移動について報告する。



図-1 新潟市内の液状化発生地域

2. 調査地概要

西区の善久、ときめき西、鳥原は地形分類図(図-2)より、南北方向に延びている信濃川左岸側の旧河道と自然堤防に位置し、旧河道と自然堤防に住宅地が密集している。

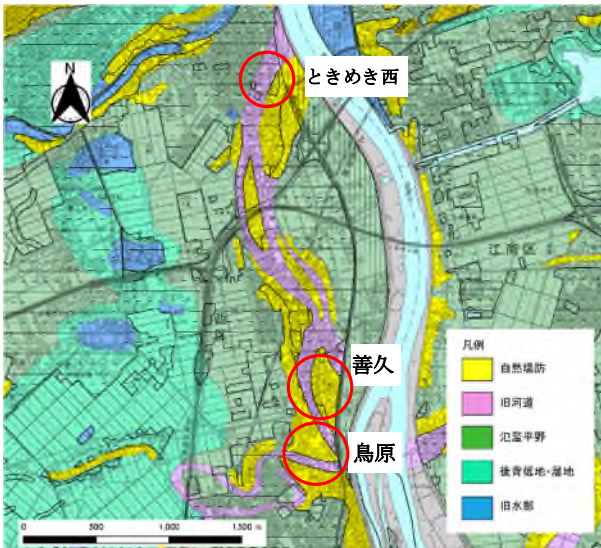


図-2 善久、ときめき西、鳥原近辺の地形分類図¹⁾

3. 現地踏査

西区の善久は旧河道の上流端、ときめき西は下流端に位置し宅地が広がっている。どちらの地域においても液状化による多量の噴砂、戸建て住宅のめり込み沈下、路面の陥没が顕著にみられた(写真-1、2)。一方、旧河道と自然堤防に隣接する氾濫平野での噴砂や沈下等の変状は確認されなかった。



写真-1 ときめき西の噴砂 写真-2 善久のめり込み沈下

4. 簡易動的コーン貫入試験(西区善久)

簡易動的コーン貫入試験を西区善久の宅地周辺で3地点実施した(図-3)。GL-1.50m～2.10mまでは換算N値0～2と緩く、下位のGL-2.90～4.10mまでは概ね換算N値5以下が連続していた。換算N値10以上となるのは概ね深度4.10m以深であった。地下水位はGL-1.08～1.19mであったが、その下位の0.30～0.60m付近が最も緩くなっていた。このうち1箇所で、GL-1.20～2.10m間のサンプリングを試み、青灰色のシルト及び赤褐色～暗灰色の細粒～中砂を採取したが、GL-1.40～1.70mは緩い砂でのサンプリングのため採取できなかった。

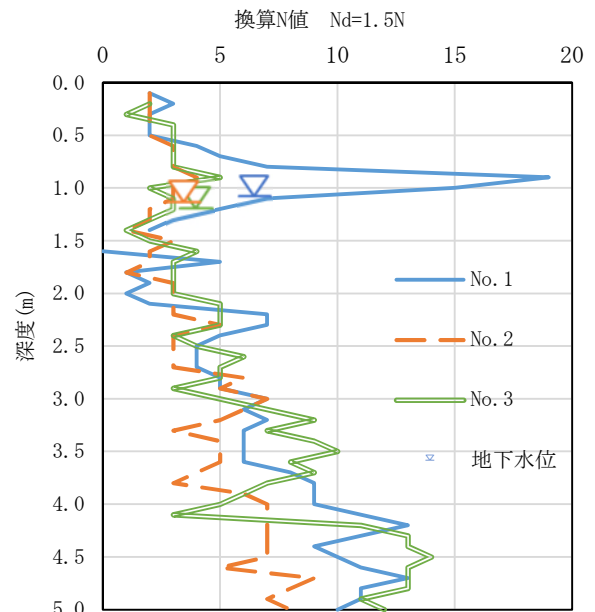


図-3 簡易動的コーン貫入試験結果(西区善久)

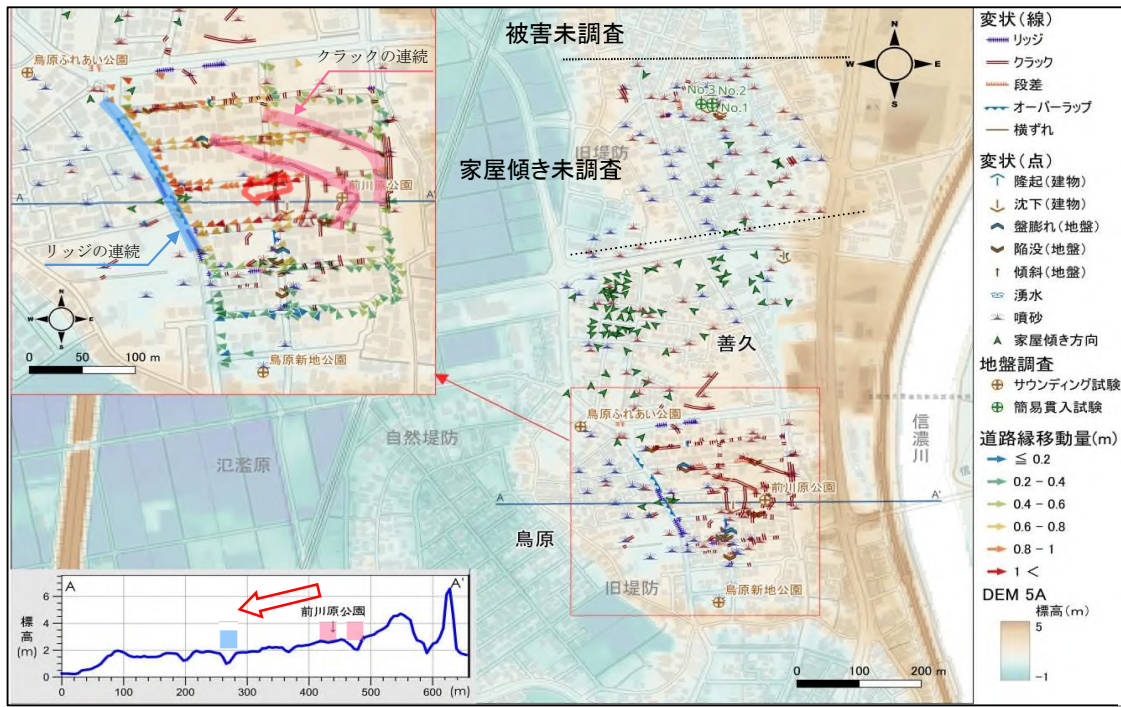


図-4 西区鳥原・善久地区液状化被害調査結果(国土地理院基盤地図情報 DEM5m メッシュ²⁾)

5. 西区鳥原の側方移動

西区鳥原では地面のクラック、リッジ及び盤膨れの被害が顕著にみられる。クラックは地区東側に集中し、北西-南東～南北方向に少なくとも2列は連続性が確認できる(図-4中拡大図)。クラック幅は5～20cmであり、淘汰の良い細粒～極細粒の噴砂を伴う。一方、リッジは鳥原を北北西-南南東に縦貫する道路の東端に集中する。ここでは、交差する道路や宅地が側方移動により道路側にめり込み、路面は圧縮され膨れている。この膨れの高さを3D計測したところ、路肩との比高は最大40～50cmに達していた。側方移動量については、被害範囲内すべての道路の3D計測結果(図-5)と登記所備付地図データ³⁾をGIS(QGIS)で解析した結果では、最大で1mを超えるとみられる。この側方移動体は長さ約230m、幅約200m、頂部標高約2.3m、端部標高約1.1mであり、地形勾配は約1/200(0.5%)となる。この程度の緩傾斜でも側方移動が発生したとみられる。

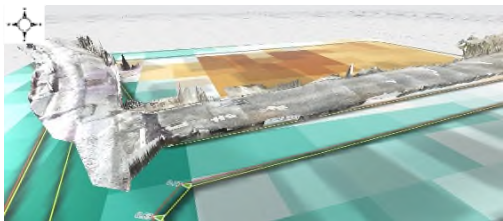


図-5 3D計測による路面変状

また、西区鳥原の公園3箇所においてサウンディング試験(SWS、SDS)を実施した(図-6)。このうち側方移動体内上部の前川原公園では、GL-2.0mまで換算N値⁴⁾は1以下となった。噴砂の色調から見てもこの浅層での液状化が推定される。

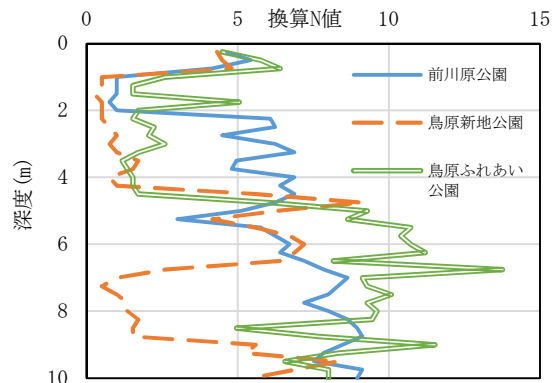


図-6 SWS試験結果(鳥原地内公園)

6. おわりに

本調査から、同じ旧河道域であるが路面の変状や噴砂の量などの液状化による被害の大きさに違いが見られたため、詳細な地盤状況を得るために追加調査やコアボーリングまたは、室内土質試験を実施することが必要であると考える。

《引用・参考文献》

- 1) 国土地理院 土地分類基本調査 地形分類図
<https://maps.gsi.go.jp>
- 2) 国土地理院 基盤地図情報サイト
<https://www.gsi.go.jp/kiban>
- 3) G空間情報センター 登記所備付地図データ
<https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/aigid-moj-15107>
- 4) 深井ほか:「スクリーウエイト貫入(SWS)試験結果とN値, Su値と新相関式の提案」, 地盤工学ジャーナル, vol.16, No4, 319-331

奥能登群発地震における斜面崩壊の調査・設計事例

株式会社ホクコク地水 ○井川 風木

1. はじめに

“奥能登群発地震”は気象庁に発表された正式名称ではないが、本稿では2018年ころから現在まで石川県能登地方で活発化している一連の地震活動を指すこととする。表-1にその地震活動の中でも、被害の大きかった震度5強を超えた3回の地震を示す。

表-1 “奥能登群発地震”における主な地震^{1), 2), 3)}

本稿での地震名	発生年月日	最大震度	マグニチュード
R4地震	2022/6/19	6弱	5.4
R5地震	2023/5/5	6強	6.5
R6地震	2024/1/1	7	7.6

これらの地震によって同一箇所でも複数回にわたって被災した岩盤斜面での調査・対策工設計事例を紹介する。

2. 調査地概要

(1) R4地震による被災概要

R4地震によって幅約10m、比高差約15mの岩盤斜面崩壊が発生した。発生時直後に実施した登攀調査によって、崩壊の東側はオーバーハングした滑落崖が形成され、崩壊した面は地質構造に起因する3つの面で形成されており、地震動によって最も抜け出しやすいゆるみ範囲が崩落したと考えられた(図-1)。

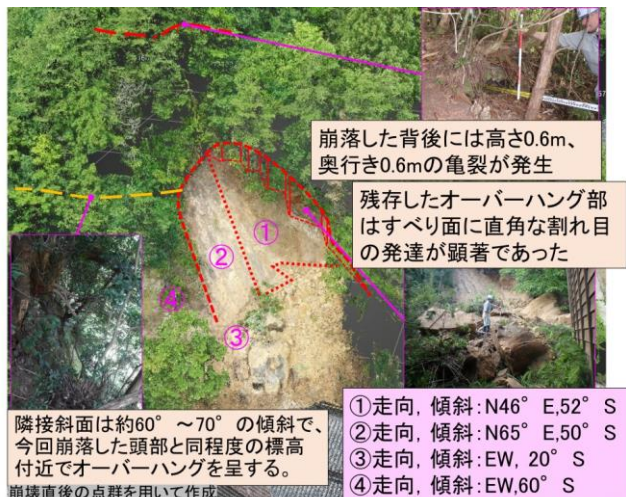


図-1 R4地震直後の被災状況

(2) 地形地質概要

調査地は南側に張り出した丘陵地の尾根先端部にあたり、斜面は傾斜30°から70°で比高差約25mの新第三紀に形成された珪藻泥岩を主体とする。調査地から約200m離れた既設道路切土のり面では走向:N30°W~E-W, 傾斜:20~30°Sの地質構造が明瞭に確認でき、この地質構造は当該崩壊斜面に対しての流れ盤構造である。

3. R4年度調査結果と対策工検討

(1) R4年度調査結果

調査は不安定土塊が斜面肩部に残存するため、斜面に近接せずに崩壊箇所の背後及び隣接斜面尻からの斜め/水平ボーリングと各々の孔にてポアホールスキャナ観測・解析によって岩盤のゆるみ状態と地質構造を3次的に把握する方法を提案・実施した。図-2に調査結果の地質断面図を示す。尾根の先端部の表層厚さ5mほどは、概ねE-W走向で傾斜が鉛直に近い開口亀裂があった。加えて地質構造に起因する概ねE-W走向、20°~40°南傾斜の開口亀裂が確認できると同時に、調査ボーリング時には地表とポアホール観測・解析で確認した亀裂面から浸透した掘削水の漏水が崩壊地内の斜面末端付近(走向E-W, 傾斜20°Sの亀裂:図-1中の③)から確認され、今後崩壊する可能性のある“ゆるみ領域”を特定した(図-2の“ゆるみ1”と“ゆるみ2”)。

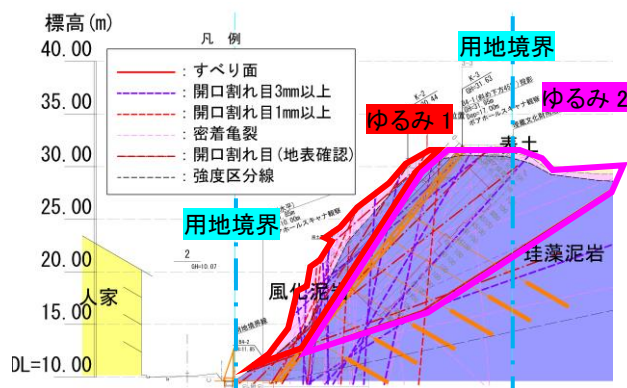


図-2 R4年度調査結果断面と対策工

(2) R4年度対策工検討

亀裂の開口幅が大きく、多数の鉛直亀裂が発達した“ゆるみ1”は崩壊の危険度が高く、排土工が適切と判断した。その背後の“ゆるみ2”は、R4年当時の用地上の制限から治山技術基準に則った現況安全率をFs=1.00、常時の目標安全率をFs=1.20とする逆算法による抑止工の検討を実施した。一方で地震によって被災した斜面であることから、R4地震時と同程度の地震動を想定した検討も行って発注者と協議した。その結果、①地震時(目標Fs=1.00~1.10)を考慮した対策工規模は、常時Fs=1.20の場合よりも工事費が1.5~2倍となること、②石川県の治山事業において、斜面安定対策工として地震時の検討を加えた対策は聞き取りでは前例がないこと、の2つの理由から、当時の用地条件と一般的な常時の安定性を満足するアンカー付き法枠工を採用した。

4. R5地震と調査結果、対策工検討

(1) R5地震による被災状況と調査結果

“ゆるみ1”範囲の排土工が約8割完成した斜面で、R5地震によって二度目の崩壊が発生した。調査はR4年と同様に調査ボーリングとボアホール調査を組み合わせる実施した。図-3にR5年度調査結果を反映した断面図・3Dモデル図を示す。排土工が進んだ斜面では上下2つのR5崩壊が発生した(図-3参照)。2つの崩壊はいずれも地質構造に起因した低角10~30°の流れ盤亀裂面をすべりの底面として崩落した。その背後には、図-3上に示すようにR5地震によって“ゆるみ2”を含む表層から15m程度の厚さまでの岩盤ゆるみの進行が明らかとなった。

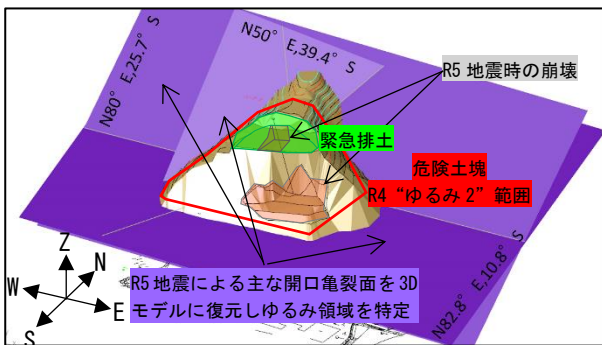


図-3 R5年度調査結果 (3Dモデル) と対策工断面概念図

(2) R5年度対策工検討

業務中および対策工施工中の余震や気象庁の地震活動に関する報道発表^{1) 2)}に加えてR5地震が発生したことを受けて、「群発地震による地震の影響を考慮した対策工設計とすべきではないか」という考えに基づいて、一般的には実施しない地震時の斜面安定工の検討要否も発注者と協議した。協議の主題となったのは①地震が頻発する中で、余震等によって斜面形状が変化する可能性が通常に比べて高い状況下にあること、②抑止工は地震時の検討をすると規模が大きくなり現実的でないことに加えて①を考慮すると設計段階からの手戻りが非常に大きいことである。そこで設計段階からの大きな手戻りの防止と、設計変更比較的柔軟な対応が可能な土工主体の対策工を提案した。一方で、土工主体となると令和4年度の対策工設計の通り、用地制約条件によって採用不可となる可能性もあったが、群発地震と施工中ののり面崩壊を受けて、図-3上のような3次元モデル化した説明資料も用いて発注者側での献身的な用地交渉の結果、排土工の採用に

必要な用地条件である「対策工範囲の拡大」が可能となった。結果的に、対策工費用は概算で令和4年度設計の1/3程度に収まると見積もられる。

5. R6地震と現在

(1) R6地震による被災と調査結果

図-4にR6地震直後の斜面状況を示す。排土工を2割ほど進めた段階で被災し、“R4ゆるみ領域”は亀裂面が大きく開口して崩壊した。調査は対策工範囲の背後で1本の調査ボーリング並びにボアホールスキャナ観測・解析を実施した。その結果“R5ゆるみ領域”の岩盤ゆるみが拡大していないことを確認した。

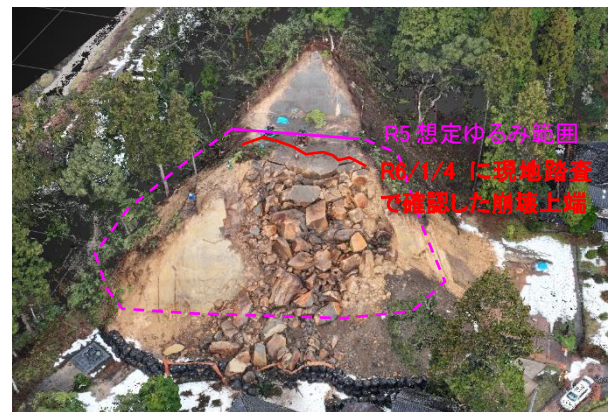


図-4 R5年度調査結果と対策工

(2) 現在の対策工進捗状況

“R5ゆるみ領域”の背後にさらなる岩盤ゆるみの進行はなかったため、対策工に大きな変更はなくR6/5/31現在で排土工の8割が完了し順次押え盛土工が計画されている。

6.まとめ

対策工設計において、構造物配置や規模等は用地の与条件に基づいて検討を進めることが多いが、その与条件は場合によっては対策工費用やその後の対応に大きな影響を与えるものである。本現場では現地の地形地質と「群発地震」という現在の状況を十分に考慮して用地条件をいったん考えずに復旧案を提案し、発注者と協議を重ね現場特性に応じた柔軟な対応へつなげた。今もまだ能登地方では群発地震が続く中で様々な箇所斜面災害の復旧は進められているが、通常の斜面安定工での対応にとらわれずに本現場での経験も活かしていきたい。

《引用・参考文献》

- 1) 気象庁：石川県能登地方の地震活動に関する「地震調査委員長見解」(2022年7月11日公表)
- 2) 気象庁：特集 石川県能登地方の地震活動，2023年5月地震・火山月報(防災編) pp. 67-98
- 3) 気象庁：特集 石川県能登地方の地震活動，2024年1月地震・火山月報(防災編) pp. 55-114