

令和6年能登半島地震による 土構造物の被害事例とその考察

藤本 哲生¹⁾・鈴木 素之²⁾・河内 義文³⁾・酒井 直樹⁴⁾

¹⁾大阪工業大学, ²⁾山口大学大学院, ³⁾ケイズラブ, ⁴⁾防災科学技術研究所

1. はじめに

石川県能登地方では令和2年(2020年)12月から地震活動が継続し、令和6年(2024年)1月1日16時10分頃には深さ16kmを震源とするマグニチュード7.6の地震により輪島市、羽咋郡志賀町において国内7度目となる震度7が観測された¹⁾。この地震による地盤の特徴的な被害として、能登半島北側沿岸部の地盤隆起、河北郡内灘町の埋立地における液状化現象などが確認され、社会基盤や建築構造物に甚大な被害が発生した²⁾。本文ではこの地震により被災した土構造物の被害事例とその考察について述べる。



図1 調査位置図³⁾に加筆

2. 地震被害調査の概要

本調査は2024年3月29日から5月1日まで断続的に実施した。図1に、調査位置図を示す。本文では、石川県輪島市杉平町および珠洲市馬縷町の切土のり面、輪島市河井町の補強土壁、珠洲市若山町の大谷トンネルの計4箇所土構造物を対象とした被害調査結果を述べる。なお、本調査では対象土構造物の被害状況を目視により観察するとともに、一部の箇所において攪乱試料採取を行い、室内土質試験により採取土の物理特性を確認した。

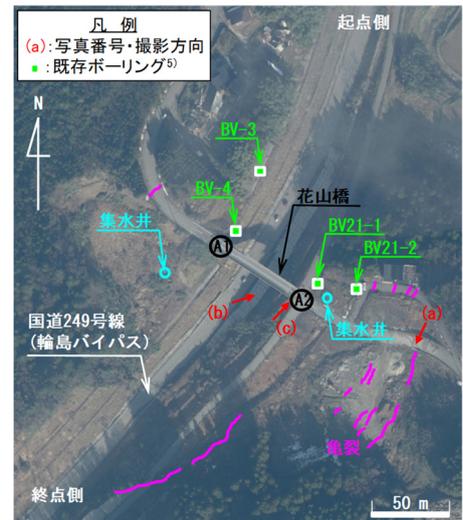


図2 現地概況図(切土のり面1)⁴⁾に加筆

3. 調査結果および考察

3.1 切土のり面1(輪島市杉平町)

図2に示すように、当該切土のり面は国道249号輪島バイパス(2009年12月供用開始)の本線に面し、上り線側、下り線側ともにのり面勾配は1:1程度、のり高の最大は18m程度であり、のり面内に跨道橋である花山橋(鋼橋)の橋台を有している。既存ボーリング柱状図⁵⁾によると、当該地の地質は表層から深部まで泥岩が分布しており、その硬さは上り線側ではGL-20mまでN値<20、下り線側ではGL-30~36mでN値34~58となるものの、その他はN値<30の軟質な岩盤である。当該切土のり面は、供用開始時には上り線側、下り線側ともに5段のグラウンドアンカー(受圧板:スクエアタイプ)が施工されていたが、下り線側は供用後の2015年7月頃に5段のグラウンドアンカーおよびコンクリート製砕工(厚さ60cm)、水抜きボーリングが追加されている。また、施工時期は不明であるものの、供用後の2014年11月には下り線側の切土のり面の背後地盤に集水井が設置されている。なお、当該切土のり面では、建設中の2007年3月25日に発生した平成19年(2007年)能登半島地震により花山橋周辺において斜面崩壊が発生したことから、花山橋の支承の取り換えや桁端部の切断が行

われた⁶⁾。

写真1に、被害状況写真を示す。なお、写真撮影位置および方向は図2を参照されたい。当該切土のり面は上り線側および下り線側ともに背後斜面からすべり破壊を生じ、前面側へ孕み出している。その規模については下り線側の方が上り線側よりも大きく、下り線側のすべりの頭端部は切土のり肩から80m程度背面側の位置、すべりの末端部は切土のり尻付近であることから大きな地すべりブロックが滑動したと推察される。また、これらから推定されるすべり面の角度は10°前後であり、低角度のすべりであることが推察される。このすべり破壊に伴い、下り線側の切土のり面に施工された当初および追加のグラウンドアンカーは両者ともにテンドンの破断によると思われる前面側への飛び出しが多くみられる。なお、調査時には応急的な安定性向上のため、幅7m程度、高さ3mの押え盛土が設置されていた。ここで、当該切土のり面のグラウンドアンカーの仕様は不明であるものの、飛び出したPC鋼より線の直径(約30mm)から推定される摩擦型アンカーとしての常時の許容荷重は約430kN/本であることから非常に大きな抑止力を期待していたことが伺える。しかし、当該地から北西約1.1kmに位置する地震計(K-NET 輪島)における観測地震動の三成分合成値が1,632Gal⁷⁾と大きな加速度であったこと、前述したように滑動した地すべりブロックが大規模であったことから、軟質な岩盤に定着を取ったグラウンドアンカーでは地震時の滑動力を抑止することが困難になった可能性が示唆される。なお、当該切土のり面の前面側への孕み出しにより花山橋のA1, A2橋台がともに転倒し、ゴム支承が全て破断するとともに橋台が鋼製主桁と衝突して下フランジに座屈がみられる。これに伴い、鋼製主桁がすべりに抵抗するストラットのような状態となっていることから、復旧工事の際には鋼製主桁と橋台との縁切り前に鋼製主桁に作用する圧縮応力などの状態を確認するとともに、すべりの再滑動防止のために必要に応じて押え盛土を追加するなどの対応が必要である。

3.2 切土のり面2(珠洲市馬縹町)

図3に示すように、当該切土のり面は国道249号大谷道路(2014年4月供用開始)の本線に面し、上り線側、下り線側ともにのり面勾配は1:1程度、のり高の最大は25m程度である。既存ボーリング柱状図⁵⁾によると、当該地の地質は表層から深部まで泥質凝灰岩が分布しており、その硬さは孔底のGL-23mまでN値58~127(平均N値97)であることから軟質な岩盤である。当該地では2005年度から2008年度までの試験切土の際に上り線側において地すべりが発生したため、2010年度に対策工(砕工およびグラウンドアンカー、集水井、押え盛土)が実施されたが、その後の本線切土後に新たに追従すべりが発生したため2011年度に押え盛土および頭部排土を行い、地すべりを一時的に止めて2012年度に再度対策工の検討がなされた⁸⁾。その結果、当初より



(a) すべり頭端部の亀裂



(b) グラウンドアンカーの飛び出し



(c) 主桁下フランジの座屈(A2側)
写真1 切土のり面1の被害状況

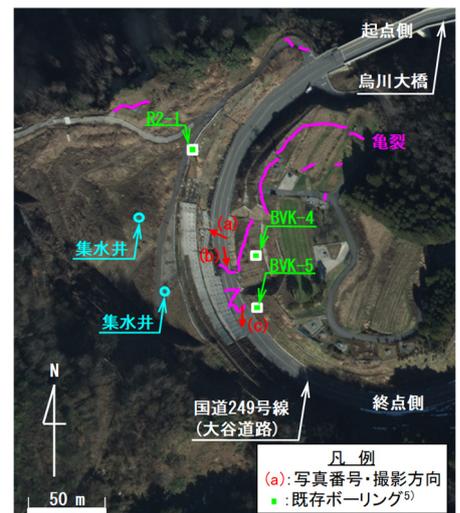


図3 現地概況図(切土のり面2)⁴⁾に加筆

も長尺のグラウンドアンカーを枠工とともに増打ちするほか、追加集水ボーリングが実施された⁸⁾。

写真2に、被害状況写真を示す。なお、写真撮影位置および方向は図3を参照されたい。当該地では上り線側の切土のり面がすべり破壊を生じ、道路面において前面側へ4m程度の孕み出しがみられる。また、このすべり破壊に伴い、当初および増打ちされた枠工の崩壊、グラウンドアンカーのテンドンの破断によると思われる前面側への飛び出しが多くみられる。ここで、前述したグラウンドアンカー(増打ち分)については、施工時の課題として軟質な泥質凝灰岩への確実な定着が挙げられており、周面摩擦力不足を解消するために削孔径のランクアップがなされている⁸⁾。また、当該地から北西約0.4kmに位置する地震計(K-NET 大谷)における観測地震動の三成分合成値が1,469 Gal⁷⁾と大きな加速度であったことから、前述した輪島市杉平町の切土のり面1と同様に、軟質な岩盤に定着を取ったグラウンドアンカーでは地震時の滑動力を抑止することが困難になった可能性が示唆される。したがって、切土のり面の安定性評価時にどのように地震力を考慮するのが今後の課題であると考えられる。



(a) 枠工の崩壊



(b) 路面の変状(側方変形・隆起)



(c) グラウンドアンカーの飛び出し
写真2 切土のり面2の被害状況

3.3 補強土壁(輪島市河井町)

図4に示すように、当該補強土壁は前面に輪島中学校、背面に航空自衛隊輪島分屯地が位置しており、天端が市道として利用されている壁高8m程度の直壁である。当該補強土壁の施工時期は不明であるものの、空中写真の変遷⁹⁾から市道が現在の線形となったのは1991年前後であるため、その際に施工されたと推察される。

写真3に、被害状況写真を示す。なお、写真撮影位置および方向は図4を参照されたい。当該地では、壁体前面の輪島中学校グラウンド(造成地盤、GL-2.0mの攪乱試料の物理特性：土粒子密度 $\rho_s=2.59\text{ g/cm}^3$ 、砂分含有率98%、最大粒径 $D_{\max}=9.5\text{ mm}$ 、均等係数 $U_c=2.2$ 、土質分類：砂(S))において側方流動が発生し、南西方向へ大きく変形している。その影響により、側方流動の発生境界付近に位置する補強土壁が前面側へ孕み出し、背面地盤が沈下している。なお、グラウンド(造成地盤)は標高約40m程度の段丘面上に位置しており、現時点で切盛境界や側方流動の発生原因は不明である。当該地の被害事例のように沖積平野以外の高地において補強土壁を計画する際、その基礎地盤の評価においてどのように側方流動の発生を予測するかが今後の課題であると考えられる。

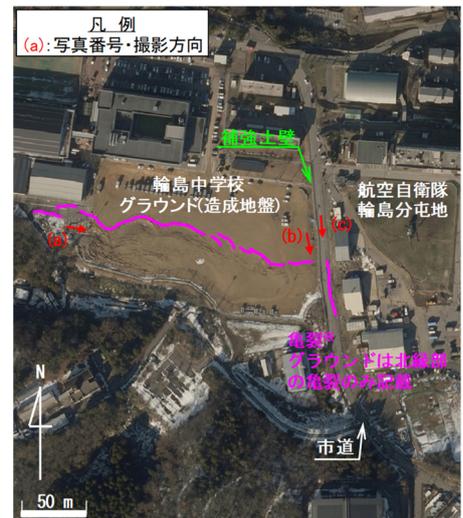


図4 現地概況図(補強土壁)4)に加筆

3.4 大谷トンネル(珠洲市若山町)

大谷トンネル(1997年12月竣工)は、国道249号の大谷峠下に建設されたNATM工法による山岳トンネルであり、延長782m、高さ4.7m、全幅員9.75mである。図5に示すように、当該トンネル周辺の基礎盤岩には新第三紀中新世の泥岩、その上位に崩積土が分布しており、南側坑口付近に泥岩と崩積土との



(a) グラウンドの側方流動



(b) 壁面の前面側への孕み出し
写真3 補強土壁の被害状況



(c) 壁体背面地盤の沈下

境界をすべり面とする地すべりブロックが確認されたため、トンネル掘削前に地すべり対策工としてトンネル西側にアンカー付鋼管杭工(口径 508 mm, 肉厚 20 mm, 24 本)が施工されたほか、トンネル掘削時には上半の支持力不足対策としてウィングリブ付き鋼製支保工、湧水対策として排水ボーリング、切羽・天端の安定対策として注入式フォアボーリングが適用されている¹⁰⁾。

写真4に、被害状況写真を示す。当該トンネルでは南側坑口から5スパン目以北の数スパンにおいて、覆工コンクリート(厚さ 300 mm)に亀裂や崩落がみられる。なお、覆工コンクリートや防水シートの変形状況からアーチ部に西側から力が作用したことが伺える。また、コンクリート舗装については南側坑口から5スパン目と6スパン目間の継目に変状がみられ、6スパン目が5スパン目に対して北西側へ変形(北側へ0.6m程度、西側へ0.6m程度)し、ダウエルバーの引き抜けや舗装下部の陥没(0.8m程度)がみられる。これらの覆工コンクリートやコンクリート舗装の被害の発生箇所は、前述した地すべり対策工の施工区間と概ね一致していることから地震により地すべりブロックが再滑動した可能性が示唆される。なお、覆工コンクリートとコンクリート舗装の変形の向きが異なる(逆方向)ことから、複数の地すべりブロックが関係している可能性がある。

4. おわりに

南海トラフの巨大地震や首都直下地震など、近い将来に発生が予測されている大規模地震による土構造物の被害の軽減に資するため、今後も実地震後の被害調査により事例を蓄積するとともに、その発生原因の究明ならびに復旧・復興に向けた各種検討に尽力したい。

参考文献

- 1) 金沢地方気象台：令和6年能登半島地震の地震活動と防災事項ポータルサイト, <https://www.data.jma.go.jp/kanzawa/shosai/notojishinportal.html> (2025.2.9 閲覧)
- 2) 内閣府：令和6年能登半島地震に係る被害状況等について(令和7年1月28日14:00現在), https://www.bousai.go.jp/updates/r60101notojishin/r60101notojishin/pdf/r60101notojishin_55.pdf (2025.2.9 閲覧)
- 3) 産業技術総合研究所：地質図 Navi, <https://gbank.gsj.jp/geonavi/> (2025.2.9 閲覧)
- 4) 国土地理院：空中写真, https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/20240101_noto_earthquake.html (2025.2.9 閲覧)
- 5) 一般財団法人国土情報センター：災害復旧支援地盤情報緊急公開サイト, <https://publicweb.ngic.or.jp/emergency-1/> (2025年2月9日閲覧)
- 6) 北都鉄工：橋を架けた人・直した人・これから直す人, <https://k-hokuto.co.jp/news/2148/> (2025.2.9 閲覧)
- 7) 防災科学技術研究所：2024年01月01日令和6年能登半島地震による強震動, https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/topics/html/20240101160813/main_20240101160813.html (2025.2.9 閲覧)
- 8) 大代昇平：一般国道249号大谷道路(大谷工区)完成について、北陸道路研究会会報「北陸路」(平成26年度), pp.18-21, 2014.
- 9) 国土地理院：地図・空中写真閲覧サービス, <https://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1> (2025.2.9 閲覧)
- 10) 鶴井秀樹, 今井洋, 金田登志昭, 甘利哲夫：能登半島の地すべり地帯を NATM で貫く 国道249号大谷トンネル, トンネルと地下, Vol.29, No.4, pp.315-321, 1998.

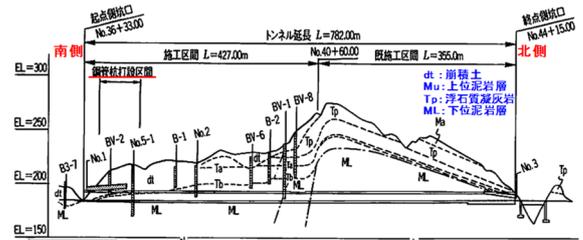


図5 大谷トンネルの地質断面図¹⁰⁾に加筆



(a) 覆工コンクリートの崩落(南側から6~7スパン目, 北向きに撮影)



(b) コンクリート舗装の継目の変状(南側から5~6スパン目, 西向きに撮影)
写真4 大谷トンネルの被害状況