

令和6年能登半島地震 被害調査報告

技術研究所 地震被害調査チーム

Report of Damage Survey for the 2024 Noto Peninsula Earthquake

Earthquake Damage Survey Team of TRI

Abstract

The 2024 Noto Peninsula Earthquake occurred on January 1, 2024, and it recorded a seismic intensity of 7 in Wajima City and Shika Town in Ishikawa Prefecture. Consequently, severe damage was caused over a wide area, especially on the Noto Peninsula. In order to help reduce earthquake damage in the future, we carried out the damage survey for this earthquake through information gathering and field investigation. This report is a compilation of those results.

概要

2024年1月1日に発生した令和6年能登半島地震では、石川県輪島市および志賀町で震度7を観測し、能登半島を中心に広域にわたり甚大な被害を生じる結果となった。この地震による教訓を将来の地震被害軽減に役立てることを目的として、技術研究所では公表された被害情報を収集して地震災害の全体像の把握に努めるとともに、現地での被害調査を実施した。本報はそれらの結果を取りまとめたものである。

1. はじめに

新年を迎えた2024年1月1日の夕方、お正月の和やかな一家団欒のひとつに発生した令和6年能登半島地震により、震源となった能登半島では輪島市、志賀町の震度7をはじめ、多くの地域で震度6弱以上の激しい揺れを観測した。地震の揺れにより家屋の倒壊や盛土の崩壊、大規模な液状化など、甚大な被害が生じた。またこ

の地震では、揺れだけでなく津波や顕著な地盤の隆起も発生し、それに伴う被害や、産業・生活への深刻な影響も生じている。

Table 1 にこの地震と被害の概要を示す。災害関連死を含めた死者・行方不明者は404名（2024年10月1日現在）と2016年熊本地震の277名を上回り、21世紀に入ってから国内の地震災害では2011年の東北地方太平洋沖地震に次いで2番目に犠牲者の多い地震となった。また、死者・行方不明者は石川県に集中しているものの、負傷者や建物の被害は石川県・富山県・新潟県を中心に1府8県にわたり²⁾、影響は広域に及んでいる。

この地震では、半島という地形のために被災地への交通アクセスが限られていたため、復旧・救援活動の妨げにならないよう、公的機関から公表された被害調査結果を収集・分析することで被害の全体像を把握するべく努めてきたが、一部アクセスが改善されたため、併せて現地調査を実施した。本報ではそれらの結果を取りまとめ、将来の地震被害軽減に役立てるよう、様々な視点から分析を行っている。

2. 震源断層と地震動

2.1 震源断層の概要と地震活動

Fig. 1 に、防災科学技術研究所により推定された震源断層（2024年1月12日公開³⁾を、2020年12月から2024年3月に発生したマグニチュード(M)2以上の地震の震央分布⁴⁾と合わせて示す。震央分布は、本震以後に発生した地震（余震）を緑色とした。余震分布は本震の断層面と対応し、断層面の大きさは走向方向（長さ）に

Table 1 令和6年能登半島地震の概要
Outline of the 2024 Noto Peninsula Earthquake

地震の概要	
発生日時	2024年1月1日16時10分
震源	石川県能登地方（深さ約16 km）
マグニチュード	M7.6
最大震度	震度7（石川県輪島市、志賀町）
人的被害	
死者・行方不明者	404名
負傷者	1,336名
住家被害	
全壊	6,421棟
半壊	22,823棟
一部損	103,768棟
床上・床下浸水	25棟
非住家被害	
公共建物	131棟
その他	35,654棟

※地震の概要は気象庁資料¹⁾による

※被害の概要は総務省消防庁資料²⁾による（2024年10月1日現在）

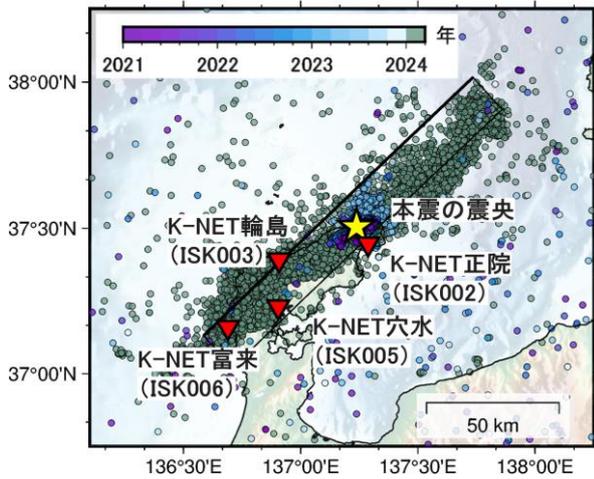


Fig. 1 震源断層と震央分布
Source Fault and Epicenter Distribution Map

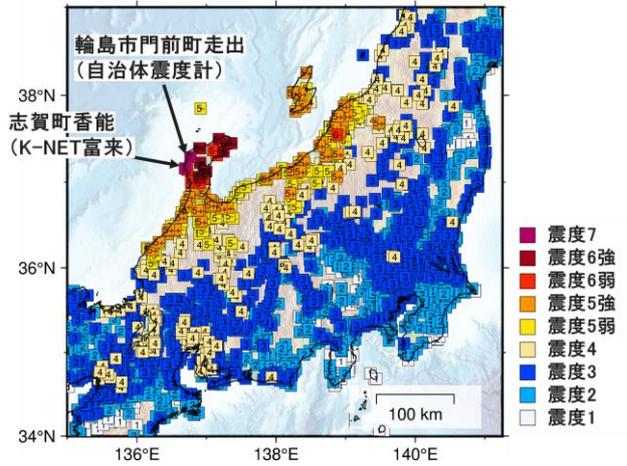


Fig. 2 震度分布図
JMA Seismic Intensity Distribution Map

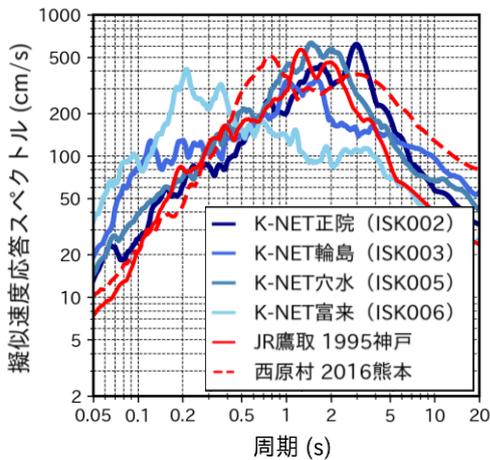


Fig. 3 擬似速度応答スペクトル
Pseudo Velocity Response Spectrum

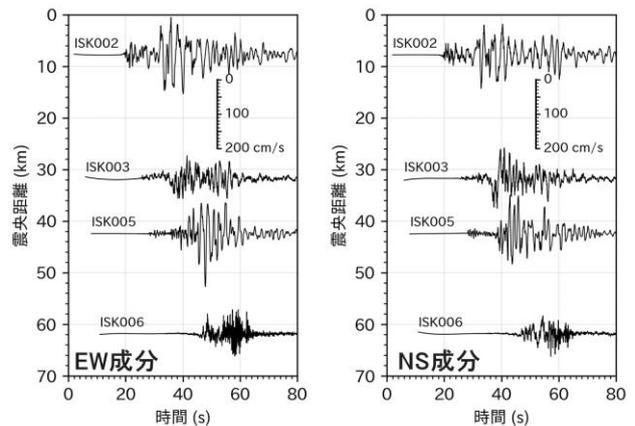


Fig. 4 強震観測記録の速度波形
Velocity Waveform of Strong Motion Records

144km, 傾斜方向(幅)に24kmで、傾斜角は南東下がりの46度である。この地震は地殻内で発生し、発震機構は北西-南東方向に圧力軸を持つ逆断層型である。また、震央分布から、能登半島北東部では本震以前から多数の地震が発生していたことがわかる。気象庁が指摘するように、石川県能登地方では、2020年12月から地震活動が活発になっていた。気象庁はこの一連の地震活動について、名称を「令和6年能登半島地震」と定めている。

2.2 観測された地震動

Fig. 2に、震度分布図⁹⁾を示す。石川県輪島市および志賀町で震度7を観測し、奥能登の広域で震度6強以上の激しい揺れを観測した。新潟県から福井県にかけての沿岸部では震度5弱以上の揺れを観測した。震度2以上の地域は東北地方から九州地方におよび、有感範囲は非常に広い。長周期地震動階級¹⁰⁾は、石川県能登で階級4を観測し、東北地方から中国・四国地方にかけて階級3~1を観測した。また、震源から200km以上離れた関東平野

や濃尾平野、大阪平野の観測点で階級2を観測した。

Fig. 3に、震源近傍の強震記録⁷⁾の擬似速度応答スペクトル(減衰5%)を、近年の被害地震の代表的な強震記録と比較して示す。Fig. 1に位置を示すK-NET正院やK-NET穴水では、過去に震度7を観測した1995年兵庫県南部地震のJR鷹取や2016年熊本地震の西原村と同等、もしくはそれ以上の応答を記録した。これらの観測点では周期1~2秒付近の応答が大きく、木造家屋の甚大な被害との相関が示唆される⁸⁾。震度7を観測したK-NET富来(震度観測点名称は志賀町香能)では、最大加速度2,828cm/s²を記録したが、卓越周期は0.2秒であった。

Fig. 4に、強震記録の速度波形を震央からの距離で並べて示す。いずれの記録も揺れの継続時間が長く、震源断層の破壊に要した時間の長さを反映している。震央付近のK-NET正院(ISK002)では、100cm/s程度の激しい揺れが30秒以上続いた。強震動の継続時間の長さは、今回の地震における甚大な被害の一因と考えられる。

3. 地盤の被害

3.1 地盤被害の概要

国土交通省は、新潟県・富山県・石川県の3県で、土砂災害による人的・人家被害が判明した箇所数が計456件と報告している⁹⁾。

また、今回の地震では広範囲で液状化が発生したことも特徴の一つである。専門家の調査では、石川県・福井県・富山県・新潟県の34市町村の計2,000箇所以上で液状化現象が確認され、2011年東北地方太平洋沖地震に次ぐ規模であったことが明らかとなった¹⁰⁾。

次節以降に地盤関連の現地調査結果を示す。

3.2 土砂崩壊による被害

3.2.1 能登半島の地形・地質の概要 能登半島の地質図¹¹⁾をFig. 5に示す。能登半島北部の地形は、東北東-西南西方向の稜線や海岸線で特徴付けられる。能登半島北部は標高300~500mの山地で、その北縁は主に崖や岩礁からなる海岸となっている。また、全体として南南東~南東方向へ標高は低下し、飯田湾沿いでは丘陵や台地が発達する。

能登半島に広く分布する新第三紀の火山岩類は、日本海の形成時期である中新世前期の火成活動によるものとされ、安山岩やデイサイト、流紋岩質の溶岩や火砕岩として分布する。国土地理院は斜面崩壊発生箇所をポリゴンデータ (Fig. 6)¹²⁾として公開しているが、産業技術総合研究所がシームレス地質図と重ねて分析した結果、崩壊箇所の3割はこの中新世のデイサイト・流紋岩の火砕岩であった¹³⁾。この地域の火砕岩は他の岩石よりも風化帯が発達している可能性が報告されている。

また、日本海の拡大停止後の中新世中期~後期では、能登半島沿岸部は徐々に沈降して海域が拡大し¹⁴⁾、それに伴って主に能登半島北西部と北東部に汽水成~海成の堆積岩類が形成されたとされる。後述する国道249号線沿いの地質は崩壊箇所の1割が珪質泥岩であった。

3.2.2 土砂崩壊・斜面崩壊の被害 以下に、大林組が2024年5月に現地踏査を行った箇所のうち、土砂崩壊・斜面崩壊による代表的な5つの被害事例を示す。

Photo 1に輪島市杉平町付近のグラウンドアンカーの引抜け状況を示す。当該地点は、コンクリート張工とグラウンドアンカー工で対策された切土法面であった。地震に伴いグラウンドアンカーの破断・引抜けが生じたと考えられ、法面全体が写真右側(道路側)に変状しているのが確認された。幅約150mの法面に、アンカーの段数3~5段で合計200~250本程度のアンカーが施工されていたが、このうち、概ね2割程度のアンカーに引抜けが生じていた。

Photo 2に珠洲市馬縹町付近のコンクリート受圧板の崩壊状況を示す。既往の文献によれば当該地点は地すべり地形であり、施工中に不測の地すべりが発生したことにより対策を追加し、コンクリート受圧板やグラウンド

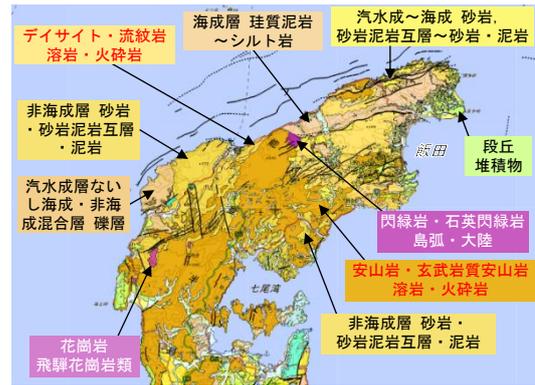


Fig. 5 能登半島の地質図¹¹⁾

Geological Map of Noto Peninsula



Fig. 6 能登半島内斜面崩壊発生箇所¹²⁾

Slope Failures Locations on the Noto Peninsula



Photo 1 グラウンドアンカーの引抜け状況 (輪島市杉平町)

Ground Anchors Rupture (Sugihira, Wajima City)



Photo 2 コンクリート受圧板の崩壊 (珠洲市大谷地区)

Collapse of Concrete Pressure Plate (Otani, Suzu City)

アンカーで補強した経緯がある¹⁵⁾。本地震によりコンクリート受圧板の崩落や路面の段差亀裂、グラウンドアンカーの破断など大きな被害が発生した。

Photo 3 に穴水町の補強土壁の崩壊状況を示す。当該地点は、のと里山海道へのランプ部であり、補強土壁の上部には嵩上げ盛土が施工されていた。今回の地震により補強土壁上部の補強材が引き抜けており、嵩上げ盛土を含む大規模なすべり崩壊が発生したものと推察される。

Photo 4 に珠洲市若山町で発生した断層の隆起状況を示す。若山町では、上下変位量約 1.7 m の地表変位が認められた。断層周辺では、道路の隆起や断層をまたぐように設置されていた U 型側溝が大きく傾斜している状況を確認した。

Photo 5 に輪島市渋田町の斜面崩壊状況を示す。国道 249 号線の大川浜地区～三ツ子浜地区では、大規模な地すべりや斜面崩壊が発生し、道路が寸断されている箇所が多数みられた。切土法面に設置されている法枠工の崩落や海岸沿いに設置されている擁壁の倒壊、幅約 130m に及ぶ地すべりなどの様々な崩壊形態を確認した。また、令和 5 年奥能登地震の復旧工事では施工中の鋼矢板がはらみ出すなどの大きな変位が生じており、復旧工事における要求性能の設定の難しさを痛感することとなった。

Fig. 7 に国道 249 号線で生じた斜面崩壊の点群データを示す。点群データの取得には地上型のレーザースキャナーを用い、2 地点を約 30 分で取得した。取得した点群データから、崩壊箇所の斜長は 70.3m、幅は 81.7m、主滑落崖の滑動量は 26.8m、崩壊角度は約 30°であることを確認した。斜面災害箇所での点群データの取得は崩壊規模を 3 次元的に把握することが可能となるため、崩壊形態や復旧対策の検討に有益な情報になると思われる。

3.3 液状化による被害

液状化は揺れの大きかった奥能登地域だけでなく、最大震度が 5 弱～5 強程度の地域でも発生した。特に石川県内灘町や新潟県新潟市などでは、海岸に沿って発達した砂丘の内陸側で側方流動を伴う大規模な被害が見られた。これまであまり注目されてこなかった被害形態であり、詳しいメカニズムの解明が進められている。



Fig. 7 国道249号線で生じた斜面崩壊の点群データ
Point Cloud of Slope Failure on National Highway 249

新潟市では西区を中心に液状化が発生した。同区寺尾の新潟西郵便局では、周辺地盤の液状化の影響で建物との間に数十 cm の段差が生じ、本来地中に埋設されているはずの配管が地上に表れていた(Photo 6)。内灘町の被害状況については 4.2 で述べる。



Photo 3 補強土壁の崩壊状況 (穴水町)
Collapse of the Steel Reinforced Earth Wall
(Anamizu Town)



Photo 4 断層の隆起状況 (珠洲市若山町)
Fault Uplift (Wakayama, Suzu City)



Photo 5 斜面崩壊の一例 (輪島市渋田町)
Example of a Slope Failure (Shibuta, Wajima City)



Photo 6 新潟西郵便局 (新潟市西区) の液状化被害
Damage due to Liquefaction (Nishi, Niigata City)

4. 建築物の被害

4.1 建築物被害の概要

今回の地震では、大きな揺れにより震源に近い石川県・富山県・新潟県で12万棟を超える住家被害が生じた。全壊棟数は8,429棟で、2016年熊本地震の8,667棟¹⁶⁾と同程度の規模となっている。一方で、大規模な建築物は都市部ほど多くなく、実際の被害状況を把握するため、現地調査を行った。

調査エリアは、広範囲で液状化被害があった石川県の内灘町およびかほく市（最大震度5弱）、最大震度6弱から7の大きな揺れを観測した石川県の輪島市・七尾市の市街地および珠洲市近郊である。

4.2 基礎構造

基礎構造に要求される性能は、上部構造に有害な傾斜・沈下を生じさせないことである。基礎構造は地中において基礎形式・形状および破壊状況の目視調査が難しいため、被害調査では建物の傾斜や沈下、周辺地盤の状況に着目した。

いずれの調査エリアでも、地盤の液状化などで地盤と建物間に生じた段差により上下水道などの配管破断が散見された(Photo 7)。BCP（事業継続計画：Business Continuity Plan）の観点から、建物だけでなく周辺地盤を含む広域的な耐震対策の重要性が浮き彫りになった。

地盤条件に起因した被害の地域性も認められた。金沢近郊の内灘町およびかほく市では、砂丘内陸側の低地部に位置する幹線道路付近で地盤の液状化による被害が広範囲に生じた。その範囲は長さ約10kmにわたっており、Photo 8のように液状化に伴い流動した地盤が大きく波打ち、多くの低層住宅や擁壁が基礎構造ごと変形・倒壊した¹⁷⁾。建物直下に柱状地盤改良を施した戸建住宅では、周辺地盤が流動により消失し、地盤改良部が露出したケースもあった。中能登の七尾湾南岸に位置する温泉街では、海岸沿いに建ち並ぶ高層の宿泊施設において護岸の変状に伴う建物傾斜が発生した (Photo 9)。

輪島市街では、杭基礎を有する7階建てRC造建物が転倒し、下敷きとなった隣家で人命が失われた(Photo 10)。地上に露出した転倒方向とは反対側のフーチングは、地中の杭と完全に切り離れていた。この建物の周辺エリアには、上部構造に大きな被害はないが、目視でも大きな傾斜と沈下が認められる中層建物もあった。

4.3 上部構造

液状化による側方流動が生じていないエリアでは、上部構造の被害程度には建物の建築年代による大きな違いが見られた。

RC造建物としては、1971年以前に建築されたと考えられる某医院 (Photo 11) が、ピロティ部分の柱のせん断破壊によって倒壊に至った。1971年から1981年の間に建てられた建物では、杭の損傷や地盤沈下に伴う建物全



Photo 7 杭基礎建物の外構の配管破断（内灘町）
Pipe Breakage around Building (Uchinada Town)



Photo 8 液状化による被害（内灘町）
Damage due to Liquefaction (Uchinada Town)



Photo 9 海側に傾斜したRC造建物（七尾市）
Damage to RC Buildings (Nanao City)



Photo 10 転倒した建物（輪島市）
Overturned Building (Wajima City)

体の沈下・傾斜 (Photo 9), 非構造壁のせん断破壊が散見された。例えば, Photo 12 に示す宿泊施設では, 客室の窓間の非構造壁にはっきりとしたせん断ひび割れが確認された。被害が確認された建物は 10 階建て前後であり, 調査範囲の中では高層の建物であった。一方で, 主構造部材の顕著な損傷は観察されなかった。また, 1981 年以降に建てられた建物では, 強震による上部構造の被害はほとんど見られなかった。Photo 13 に示す 2021 年に開業した宿泊施設は Photo 9 と同じ温泉街の海岸沿いに存在するが, 外観からは目立った被害が確認できないほどの軽微な被害であった。

木造建物においては, 建築年代が古い家屋で Photo 14 のように倒壊や大破, 層崩壊などの甚大な被害が発生した。一方で, RC 造と同様, 建築年代が新しい建物では強震による損傷が比較的軽微であった¹⁸⁾。

建築年代によって, このような被害の差が見られた理由としては, 建設当時の耐震基準の違いが考えられる。1971 年の耐震基準改正では, 新潟および十勝沖地震で多く見られた RC 柱のせん断力に対する耐力, 靱性の不足による被害を勘案し, RC 柱梁の必要せん断補強筋量の抜本的な見直しが行われた。また, 1981 年の耐震基準改正では, 保有水平耐力設計 (二次設計) の追加や, 木造建物における必要壁量の増加により, 震度 6 弱~6 強相当の大規模地震においても倒壊しない設計が義務付けられた。さらに, 2000 年の耐震基準改正では, 兵庫県南部地震の被害を受け, 木造建物を対象に, 接合部の仕様や壁配置のバランスに関する規定が追加された。このように建物構造に関する要求性能が時代とともに向上したことが, 今回の被害状況にも表れたものと推察される。

4.4 免震建物

免震構造を有する建物としては, 七尾市にある消防署 (Photo 15) では免震機能が正常に働いたと考えられる。隣接道路の電柱には傾斜が見られ, 周辺地盤の沈下により建物外周には地盤との段差が生じた場所もあったが, 建物に大きな被害は見られなかった。災害時に拠点となる重要建物について, 免震化の重要性が再確認された。



Photo 11 柱がせん断破壊したRC造建物 (輪島市)
RC Building with Shear Failure of Columns
(Wajima City)



Photo 12 壁にせん断ひび割れが生じたRC造建物
(七尾市)
RC Building with Shear Cracks in Walls
(Nanao City)



Photo 13 被害が軽微であったRC造建物 (七尾市)
RC Building with Minor Damage (Nanao City)



Photo 14 木造住宅の被災状況 (珠洲市)
Damage to Wooden Houses (Suzu City)



Photo 15 免震建物 (七尾市)
Seismically Isolated Building (Nanao City)

5. 交通インフラ構造物の被害

5.1 交通インフラ構造物被害の概要

道路・鉄道・空港施設・港湾施設などの交通インフラ構造物は、人や物の輸送に欠かせない。震災によって被害を受けると人の移動、物資の輸送が困難となるため、震災直後の避難・救助活動からその後の復旧に至るまでの各段階において、交通インフラ構造物の健全性は非常に重要である。特に今回の能登半島地震では、金沢・富山エリアから震源である能登半島先端の奥能登エリアまでの道路ネットワークに多くの被害が生じて使用不能となり、避難・救援活動・復旧工事等に多大な影響を及ぼした。ここでは、能登半島地震における交通インフラ構造物の被害状況の概要¹⁹⁾を示す。

金沢から能登半島を接続するのと里山海道は、谷部を埋める高盛土を中心に多くの盛土が崩壊し通行止めを余儀なくされた。また、半島の海沿いを通る国道249号線では、特に地盤が大きく隆起した半島北側を中心に各所で土砂崩れ等が発生するとともに、大谷トンネルが崩落しており、5月末時点でも通行止めが続いていた。大谷トンネルのさらに北側にある鳥川大橋では、橋台背面土が大きく崩れた。また3章でも報告したように、北側海岸から鳥川大橋に至るアプローチループ道路の切土部で切土法面を押さえるコンクリート受圧版を固定しているグラウンドアンカーに破断や引抜けが生じるとともに、路面が大きく波打っていた。能登島と本土を接続するツインブリッジのとは、斜張橋本土側端部の支承が脱落し、橋台部との間に大きな段差が生じた。また、斜張橋部から能登島方面に接続している連続橋部分の橋台ではPCケーブルの定着部の損傷が激しく、2024年6月時点で暫定復旧に1年以上かかる見込みとなっている。

鉄道は、JR七尾線のとと鉄道七尾線が大きな被害を受けた。特に北側ののと鉄道の被害が大きく、線路そばの斜面の崩壊や地盤沈下が発生するとともに、線路に大きなゆがみや破断が発生した。JR七尾線は1月に、のと鉄道の能登中島駅までの南半分は2月に、穴水駅までの全線は4月6日に復旧している。

港湾施設は、七尾港・輪島港・飯田港・小木港・宇出津港・穴水港などの主要な港湾において、岸壁の変位や岸壁背後の沈下・液状化が確認された。救援物資の大量輸送を実現するため、輪島港では沈下した岸壁背後を砂利で埋め立て車両のアクセス経路を確保したりするなど、各港湾施設において応急復旧が実施され、救援物資の輸送に活用された。

能登空港の滑走路は、深さ約10cm、長さ約10m以上の亀裂が4～5カ所発生した。ターミナルビル内でもガラスや階段壁面の損傷・剥落等が発生した。

次節以降に大林組が2024年5月に実施した能登半島における代表的なインフラ構造物の現地調査結果を紹介する。



Photo 16 のと里山海道14.7kp 盛土の大規模崩壊
Embankment Failure at Noto-Satoyama Expressway 14.7kp



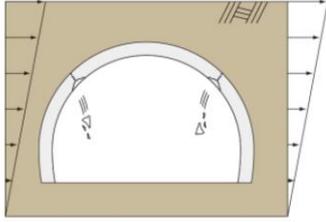
Photo 17 おさよトンネルの被害
Damage of Osayo Tunnel

5.2 道路土構造物の被害

のと里山海道横田IC～越の原IC間の13.5kp～22.7kpでは、合計9か所に及ぶ盛土の大規模崩壊が生じた。Photo 16に14.7kpにおける盛土の大規模崩壊の様子を示す。大規模崩壊箇所の特徴として、谷埋め盛土であることが挙げられ、その崩積土は含水比が高く軟らかい礫混じり砂質シルトが多数を占めた。これら大規模崩壊箇所の中には滑落崖下から湧水が認められる、あるいは末端部に池が形成されているといった、水が影響している箇所も確認できた。また、これら9か所以外にも、路面クラックや橋台背面地盤の沈下といった小～中規模程度の崩壊が多数発生していた。

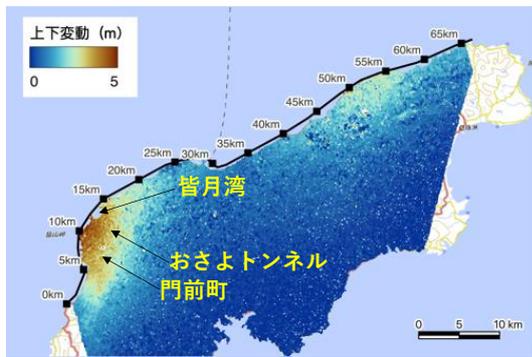
5.3 山岳トンネルの被害

Photo 17におさよトンネルの被害状況を示す。おさよトンネルは、輪島市門前町中心部と七浦地区・皆月湾方面とを接続する市道に設けられた山岳トンネルである。北側(皆月湾側)坑口から3ブロック目(約30m)まで、南側(門前町側)坑口から5ブロック目(約50m)まではトンネル軸方向にひび割れが生じていた。これに対して、より坑内側のブロックでは周方向のひび割れが生じ、特に北側坑口から180mほどの位置では、内空側の二次覆工が損傷して崩落し、二次覆工と一次覆工の吹き付けコンクリートとの間の防水シートが露出していた。防水

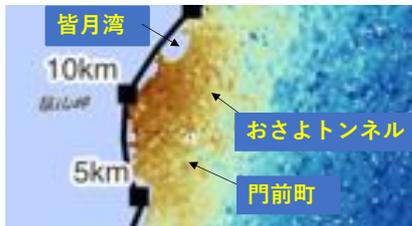


Type-I: 地山のせん断変形にともなう覆工両肩部の引張破壊または圧縮破壊

Fig. 8 山岳トンネルの覆工両肩部破壊モード²⁰⁾
Failure Mode at Both Shoulders of Lining Concrete in Mountain Tunnel



(a) 能登半島全体



(b) おさよトンネル周辺の拡大図

Fig. 9 能登半島の地盤の隆起²¹⁾に加筆
Ground Uplift at Noto

シートに破損はなく、地山側の一次覆工の損傷は小さいと考えられる。目下らが整理した山岳トンネルの被害モード²⁰⁾によれば、このおさよトンネルの被害は Fig. 8 に示す地山のせん断変形によって覆工両肩部が破壊したモードである。なお、坑口付近とそれ以外でひび割れモードが異なるのは、坑内部の二次覆工には無筋コンクリートが用いられているのに対し、坑口付近では鉄筋コンクリートが用いられている可能性があり、これによるものと推測される。坑口付近で大規模な覆工コンクリートの剥落は生じていないことから、コンクリート中の鉄筋でひび割れが分散するとともに、鉄筋で剥落を防ぐことができたものと考えられる。

Fig. 9 に衛星画像のピクセルオフセット解析から得られた準上下方向の地盤変状の分析結果²¹⁾を示す。おさよ



脱落した支承

(a) A1 橋台側の損傷



(b) A2 橋台側の損傷

Photo 18 ツインブリッジのとの被害
Damage of Twin Bridge Noto

トンネルは、著しい地盤隆起のあったエリアに位置しており、おさよトンネル周辺地盤はおおむね 3m ほどの隆起が生じたことが Fig. 9 から読み取れる。この地盤隆起によって地山がせん断変形し、おさよトンネルに被害をもたらしたものと考えられる。2024 年 5 月時点では、繊維メッシュによる剥落防止措置が取られ、関係車両に限るものの通行ができるよう応急復旧が実施されている。

5.4 橋梁の被害

Photo 18 にツインブリッジのとの被害状況を示す。ツインブリッジのとは、石川県中島町と七尾湾に浮かぶ能登島をつなぐ、1999 年に完成した全長 620m の橋梁であり、本州能登半島側の橋長 450m の斜張橋と能登島側の橋長 170m の PC2 径間箱桁連続橋で構成されている²²⁾。斜張橋の 2 本の主塔(P1, P2)の基礎と、本州側の A1 橋台の基礎は直接基礎であり、能登島側の連続橋部分の橋脚(P3, P4 および A2)の基礎は杭基礎である。A1 橋台の支承が脱落して、桁が浮き上がり、段差が生じていた。また、A2 橋台背面土は大きく崩落しており、連続橋の A2 橋台側桁端部は大きく損傷してコンクリートが剥落し、支承のアンカーと PC ケーブルの定着部が露出していた。A2 橋台と桁が衝突した痕跡はないことから、桁端部の損傷は衝突によるものではなく、桁が本州側に大きく変位したときに支承部がその変位を吸収しきれず、支承部が破損したためと考えられる。

6. ライフラインの被害

6.1 ライフライン被害の概要

今回の地震では、液状化や斜面崩壊等に起因する大規模な地盤変状に伴い、埋設管路の損傷が多数発生したことから、被災地のライフラインにも大きな被害が生じた。

水道については、北陸地方を中心とした6県で最大約137,000戸が断水し、5月末に早期復旧が困難な地区を除いて断水が解消するまでに約5ヶ月を要している²³⁾。

電力については、今回の地震による停電は最大約40,000戸で発生し、安全確保等の観点から電気の利用ができない家屋等を除き3年半ばに停電が解消した²⁴⁾等。主な原因は地震による配電設備の損傷によるものであり、都市部では比較的早期に復旧が可能であったが、道路被害等により復旧作業のためのアクセスが容易でない地域も多く、復旧に時間を要する結果となった。

ガスについては、都市部において液状化による導管の被害等が報告されているが、比較的早期に供給が再開されている。奥能登地方には都市ガスが供給されていないため、導管の被害等による供給支障はなかった。

次節で大林組が2024年5月に実施したライフライン施設の現地調査結果を紹介する。

6.2 ライフライン施設の被害状況

輪島市内では、古くからある市街地（旧市街地）と新しく埋め立てられた新興住宅地との境界を走る道路の旧市街地側の歩道部で、液状化に起因する埋設管路の浮上が見られた（Photo 19）。このような被害は2011年東北地方太平洋沖地震の際に浦安市などでも見られており、液状化による路面の揺動で水平方向の圧縮ひずみによる突き上げが生じ、埋設管路が浮上したものと考えられている。なお被害があったのは旧市街地側のみで、新興住宅地側では目立った被害が見られなかった（Photo 20）。

また珠洲市の熊谷汚水中継ポンプ場でも、周辺の液状化に起因すると思われる機能被害が生じていた。周辺地盤の沈下により、建屋との間に約35cmの段差が生じていることが確認された（Photo 21）。ポンプ場近くのマンホールでは地表面との間に約50cmの段差が見られたことから（Photo 22）、周辺地盤の沈下に加え、マンホールが15cm程度浮き上がった可能性もある。なおポンプ場では、地上配管による応急復旧が行われていた。

6.3 ライフライン機能停止の長期化

今回の地震の特徴のひとつがライフライン復旧の長期化である。2011年東北地方太平洋沖地震や2016年熊本地震の事例と比べると、電力・水道とも復旧に時間がかかっていることが特徴である²⁵⁾。いずれも大規模な地盤変状に伴う埋設管路の被害が多数発生したことから、道路被害等により被災箇所へのアクセスが困難な地域が多く、復旧作業に支障をきたしたことが要因と考えられる。



Photo 19 液状化による埋設管路の浮上（輪島市）
Underground Pipes Damaged by Liquefaction
(Wajima City)



Photo 20 新旧市街地の比較（輪島市）
Comparison of the Old and New City Areas
(Wajima City)



Photo 21 汚水中継ポンプ場の被害状況（珠洲市）
Damage of the Sewage Relay Pump Station
(Suzu City)



Photo 22 マンホールの被害状況（珠洲市）
Damage of the Manhole (Suzu City)

7. 津波による被害

7.1 日本海側で発生する津波の特徴

2011年東北地方太平洋沖地震を受け、日本海側の大規模地震による津波浸水想定整備が進められた。日本海側で最大規模の津波の発生要因となる地震はM7～8の活断層タイプの地震で、太平洋側のM8～9クラスの高溝型巨大地震と比べ規模は小さいものの、近海で発生するため、到達するまでの時間が短く、局所的に甚大な被害をもたらすという特徴が認められている²⁶⁾。

過去の大地震の震源は能登半島周辺から北海道東方沖に及ぶ日本海東縁部に分布し、付近の沿岸では津波の急襲に警戒が必要である。加えて、大津波は、伝播経路や海底地形により能登半島から中国地方沿岸でも局所的な被害をもたらす可能性がある。能登半島周辺は、沖合の日本海浅部や半島地形等の要因により津波が局所化しやすく、度々被害を被ってきた。しかしながら、今回の地震では、日本海東縁部のM7～8クラスの地震と津波が能登半島を中心に発生し、過去に比べ被害の規模は大きく異なるものとなった。

7.2 令和6年能登半島地震による津波の特徴

7.2.1 津波発生の概要 今回の地震による津波は、北陸地方沿岸を中心に、日本海全域で観測された。Fig. 10は震源域と津波による浸水範囲を示す。本震発生後の余震分布から推定される震源域は約150kmの範囲に及び、陸上で最大4mの地殻変動が見られた。Fig. 10①付近の能登半島の北西岸では、新たな海成段丘が形成され、陸化が進行した²⁷⁾。半島北方海域の海底地形調査でも1～4mの隆起が確認されている²⁸⁾。隆起の影響で大きな浸水は確認されていない。

海中の大きな地殻変動に伴い、津波は地震の直後に発生した。第1波は珠洲市に1分以内、七尾市に2分以内、富山市に5分以内に概ね到達したと分析されている。その後も能登半島周辺や日本海沿岸の複雑な海岸線で反射等を繰り返し、長時間潮位の変化が継続した。なお、富山湾では潮位の変化を地震発生から3分で検知しており、地震とは別の波源によるものと考えられている。海底地形が急峻な富山湾内において地震により生じた海底地すべりの可能性が指摘されている²⁹⁾。その一部とみられる崩壊痕が調査によって確認された³⁰⁾。

7.2.2 津波による浸水被害状況 地震後の空中写真や国土交通省や大学等の現地調査から、石川県、富山県、新潟県を中心に広い範囲で浸水し^{31,32,33)}、石川県珠洲市、能登町、志賀町の3市町で少なくとも190haに及ぶ浸水面積が確認されている。Fig. 10②の北東側の飯田湾や三崎海岸沿岸は特に津波が高く顕著な浸水被害に見舞われた。高いところでは4m以上の浸水高となり、一部は地震による損傷・損壊も相まって機能が低下した堤防や護岸を超え海水が浸入し、河川の遡上・溢水、農地・民家へ浸水、家屋等の損壊・倒壊等の甚大な被害が発生した。



Fig. 10 令和6年能登半島地震の津波浸水分布
Inundation by Tsunami of the 2024 Noto Earthquake

珠洲市宝立町では、津波で流された家屋や自動車が浸水域の浅い場所に集積し、何らかの原因で出火し周辺に広がる津波火災が発生した可能性も指摘されている⁴²⁾。Fig. 10②の範囲の港湾や漁港では、津波で防波堤ケーソンや消波工の流出、船舶の転覆、設備や漁具の損傷・流出といった被害も確認されている。

Fig. 10③の志賀町周辺の浸水被害は、床上6床下5の11軒等がある。Fig. 10④及び⑤では、震源から幾分離れたことや、富山湾付近の冬季のうねり性の波浪である寄り回り波を考慮した計画高の高い堤防や護岸が整備された³⁵⁾こともあり、大きな被害は確認されていない。

一方、Fig. 10⑥の新潟県上越市の関川河口付近で、5m以上の遡上高が確認されている。一部は関川の堤防を越水し、標高の低い後背地で床上1軒床下14軒の浸水被害が発生した³²⁾。また上越市の海水浴場の店舗(海の家)が被害を受けた。

7.2.3 人的被害と避難 警察庁の調べによると、今回の津波による溺死者は確認されていない³⁶⁾が、石川県によると津波が直接的な死因で亡くなった人数は2名である³⁷⁾。津波で浸水した地域では、地震の強い揺れで建物が倒壊し下敷きとなった人もおり、その後の津波による浸水が複合的に被害を拡大させた可能性も指摘されている。しかしながら、2011年の東北地方太平洋沖地震を教訓に、総じて地震発生後すぐに避難を開始する人が多かった。日本海沿岸の自治体で事前に今回と同等規模の津波を想定した地域防災計画が策定され、日頃から津波警報を想定した避難訓練が実施されていたこと^{38,39)}など、被災地域の防災意識の高さが人的被害の軽減につながったと考えられる。一方で、倒壊した家屋等による避難経路の利用不可、車両避難による避難所周辺の混雑、要介護者・高齢者避難等、平常時からの取り組みで改善の余地のある社会課題も残されている。

8. 地震火災による被害

8.1 地震火災の概要

Table 2に令和6年能登半島地震における火災の発生状況を示す。新潟県、富山県、石川県で17件の火災が発生している。このうち、津波浸水域での火災が2件(No.10,11)、土砂崩れに伴って発生した火災が1件(No.6)であった(No.はTable 2を参照)。また、複数棟に及んだ延焼火災は3件であった。震度6強以上の地域の世帯数当たりの出火率は0.93件であり、1995年兵庫県南部地震における震度7地域の出火率3.0件よりは小さいが、2011年東北地方太平洋沖地震の0.38件、及び熊本地震の0.24件(いずれも震度6強以上の地域)よりは大きい。地震発生が冬の夕方であり、火気使用が多かったことが影響したと考えられる⁴¹⁾⁴²⁾。

8.2 輪島市の大規模市街地火災

輪島市河井町朝市通り周辺で出火した火災は、焼損棟数256棟、焼損面積が約49,000m²に及ぶ広域火災に発展した(Photo 23)。出火点は延焼エリアの南西部の1カ所であり、火元建物内の電気配線に溶けた痕跡があったことから、電気に起因した可能性が高い⁴³⁾。出火当時は大津波警報の発令下で火災の覚知や初期消火活動が遅れたこと、断水により消火栓が使用できず、地盤の隆起等の影響で河川からの取水が難しかったことなどが延焼拡大を招いた。条件の悪い中でもポンプ車3台による懸命な消火活動がなされ、延焼エリアの東南側への延焼阻止に貢献した。仮に消火活動が行われなかった場合、実際の被害の2倍以上にあたる約11万m²の範囲が焼失するというシミュレーション結果が得られている⁴³⁾。なお、出火時の平均風速は1.3m/sであり、14時間後の鎮圧まで微風の状態が続いた。延焼速度は20~40m/hであり、弱風時の市街地火災(地震火災)であった1995年兵庫県南部地震と同程度、強風時の市街地火災である2016年糸魚川市火災の延焼速度(平均約60m/h)より遅かった⁴⁴⁾。参考までに1995年兵庫県南部地震時の最大焼失面積は長田区(水笠井西公園周辺)の106,241m²(1164棟)、糸魚川市火災の焼失面積は30,412m²(147棟)である。

輪島市の地震火災は火災発生が大津波警報の発令下であり、住民による初期消火の対応が遅れたことや、地盤や道路の隆起等、公設消防の消火活動を阻害する要因が多々あったことに特徴があった。但し、家屋倒壊が多数発生した低層木造住宅が多く含まれる市街地において、弱風下でも同規模の大規模市街地火災が今後も発生しうるとは想像に難くない。

9. 大林組の予測・対策・復旧技術

以上、令和6年能登半島地震の被害調査結果をまとめた。これらを踏まえて、巨大地震に対する大林組の予測・対策・復旧技術をまとめてTable 3に示す。

Table 2 令和6年能登半島地震における火災発生状況⁴⁰⁾

List of Fire Caused by the 2024 Noto Peninsula Earthquake

No.	市町村	火元建物用途	焼損程度*	焼損棟数	焼損面積(m ²)	出火要因
1	金沢市	店舗	全焼	2	81	揺れ(電気配線)
2		その他	-	-	0	揺れ(溶融亜鉛)
3		学校	ぼや	1	0	電気配線
4	七尾市	工場	全焼	1	550	電気配線
5		物置	部分焼	1	10	電気配線
6	輪島市	住宅	全焼	2	638	暖房機器の転倒(土砂崩れ)
7		複合用途	ぼや	1	0	電気配線
8		複合用途	全焼	256	約49,000	電気配線
9		共同住宅	部分焼	1	77	暖房機器
10	珠洲市	住宅	全焼	7	約2,500	津波
11	能登町	調査中	全焼	11	約2,300	津波
12	富山市	病院	部分焼	1	2	揺れ(医療機器)
13		住宅	ぼや	1	若干	暖房機器の転倒
14	高岡市	工場	部分焼	1	19	火気設備等
15	氷見市	その他	-	-	0	電気配線(分電盤)
16	魚津市	高齢者福祉施設	ぼや	1	0	電気配線
17	上越市	工場	ぼや	1	0	揺れによる火花

* : 火元建物の焼損程度



Photo 23 火災被害の状況(輪島市河井町)
Fire Damage (Kawai, Wajima City)

10. 今後の課題

今回の地震では、強い地震の揺れによる建物の倒壊や土砂災害、広域にわたる液状化の発生や地殻変動による地盤の隆起・沈降、また津波の来襲や地震火災など、多様かつ甚大な被害が生じた。同時に免震建物の機能継続や液状化対策による効果も明らかになった。

一方で、地震直後になかなか被災地に支援が行き届かなかったことや復旧の長期化、2024年9月に発生した豪雨による複合的な被害の発生など、地形や交通インフラ事情などによる地域特有の課題も明らかとなった。将来発生が懸念されている南海トラフ巨大地震の被害想定範囲にも、同じような特性を有する地域が少なからずあると考えられる。技術だけで解決することは難しい課題であるが、SDGsの「誰一人取り残さない(leave no one behind)」に基づき、都市部だけでなく全ての地域でサステナブルな生活環境が実現できるよう、社会全体で取り組みを進めていくことが必要である。

Table 3 大林組の巨大地震対応技術の一覧
Technology List Against Mega Earthquake

適用分野	技術の名称	概要・特長
予測	地震動予測シミュレーション 直下地震時の強震動評価	<ul style="list-style-type: none"> ・深層地下構造を考慮した広域地盤の地震動評価 ・各地の地震動を長周期成分から短周期成分まで精密に予測
予測	FINAL@ FINAL-GEO@	<ul style="list-style-type: none"> ・大規模・高速化非線形FEM解析ソフト ・RC 構造物と地盤の非線形連成挙動を高精度に解析
予測	地震被害予測システム QuakeRanger@ 3D	<ul style="list-style-type: none"> ・地震時の地盤の揺れや液状化判定結果を3Dで表示 ・設計・施工や事業継続に向けた効果的な対策立案を支援
予測	建物の地震リスク評価	<ul style="list-style-type: none"> ・直接被害、および事業停止に伴う間接被害を考慮して地震ライフサイクルコストを評価 ・費用対効果の高い地震対策を支援
予測	マルチエージェントモデルによる災害時シミュレーション	<ul style="list-style-type: none"> ・個々の人間などをモデル化し、人間同士の複雑な現象をシミュレーションで再現 ・地震・火災・水害などの災害に対する避難安全性や災害拠点への参集状況などを評価
予測	BCP 対策選定支援システム	<ul style="list-style-type: none"> ・建物や諸施設の耐震性能・復旧性能を基に地震時の復旧時間を定量的に評価 ・復旧工程におけるクリティカル・パスの特定と対策による復旧時間の短縮効果を評価
予測	遠心模型実験装置 3次元振動台	<ul style="list-style-type: none"> ・世界最大規模の遠心模型実験装置による地盤・地中構造物の地震時挙動の再現 ・高精度に3次元の地震の揺れを再現し、地震対策の技術開発や耐震性能評価に活用
対策	ブレーキダンパー	<ul style="list-style-type: none"> ・摩擦力を利用した高性能・低コストな制振装置 ・建物用、橋脚用など、要求性能に応じて豊富なバリエーションを提供
対策	ザクツレスパー工法	<ul style="list-style-type: none"> ・RC壁式橋脚の耐震補強工法 ・中間貫通鋼材が不要な曲げ補強工法
対策	デュアル・フレーム・システム (DFS)	<ul style="list-style-type: none"> ・二重構造による連結制振構造システム ・振動周期が異なる構造体を連結し、地震の揺れを大幅に低減
対策	ラビユタ2D	<ul style="list-style-type: none"> ・スーパーアクティブ制震により地震の揺れを1/30から1/50まで低減 ・究極の「揺れない建物」を実現し、地震時の事業継続性を確保
対策	免震フェンダー@	<ul style="list-style-type: none"> ・免震建物へのフェイルセーフ機構 ・想定以上の地震の際に免震建物に発生する衝撃力を緩和し、建物の安全性を向上
対策	マルチプルナットバー@	<ul style="list-style-type: none"> ・地中構造物の耐震補強工法 ・地中カルバートなどの地下RC構造物を内側から面外せん断補強工法
対策	シートパイル基礎工法	<ul style="list-style-type: none"> ・シートパイルとフーチングを接合することで橋脚基礎の支持力を向上 ・コストを大幅に縮減し、高い耐震性を発揮
対策	側方流動抑止杭工法	<ul style="list-style-type: none"> ・護岸背後に杭を千鳥状に打設し、液状化による護岸近傍の地盤の側方流動を抑制 ・地盤の側方流動による護岸近傍の構造物・施設の被害を軽減
対策	TOFT工法@	<ul style="list-style-type: none"> ・格子状に地盤改良することで、液状化や地盤変形を防止 ・全面改良に比べ工期の短縮と大幅なコスト縮減を実現
対策	ジオフレックスドリル@	<ul style="list-style-type: none"> ・曲線ボーリングを用いて構造物直下に固化材を注入し、地盤を補強 ・施設を供用させたまま、低コストかつ短工期で補強が可能
対策	タフロード@	<ul style="list-style-type: none"> ・液状化地盤上の道路を対象とした安価な耐震補強工法 ・地震時に液状化の発生は許容するものの、道路本体の走行機能は確保
対策	ハイスpekマイクロパイル工法	<ul style="list-style-type: none"> ・小口径径を用いた構造物基礎の耐震補強工法 ・コンパクトで軽量の機械で施工でき、狭いスペースでも施工可能
対策	ハイスpekネイリング工法@	<ul style="list-style-type: none"> ・切土部・盛土部の安価な耐震補強工法 ・補強体を打設シグラウトを加圧注入することで、短期間で盛土法面を増強
対策	皿ばねアンカー工法	<ul style="list-style-type: none"> ・斜面の耐震補強工法 ・皿ばねによりグラウンドアンカーの維持管理コストを縮減
対策	グリグリッド@	<ul style="list-style-type: none"> ・伝統的手法との両立により城郭石垣の崩落を防止する補強材 ・石材の変形を拘束することで大規模地震時の石垣の崩壊を防止
対策・復旧	3Qシリーズ (3Q-Wall@, 3Q-Brace@)	<ul style="list-style-type: none"> ・既存RC建物を対象にした耐震補強工法 ・低騒音・低振動(Quiet)、短工期(Quick)で高性能(High-Quality)な補強を実現
対策・復旧	スリムクリート@ による耐震補強	<ul style="list-style-type: none"> ・超高強度繊維補強コンクリート(UFC)を用いた既存RC構造物の耐震補強 ・被災したRC構造物を対象とした復旧工事にも適用可能
対策・復旧	スムーズボード工法@	<ul style="list-style-type: none"> ・セメントボードによるトンネル覆工内部の地震時剥落防止工法 ・新設・既設を問わず、さまざまな構造物に適用可能
復旧	建物地震被災度即時推定システム	<ul style="list-style-type: none"> ・地震時の建物の被災程度を即時に推定 ・地震後の建物外避難の要否、建物の継続使用の可否などを判定し、事業継続を支援
復旧	ローカル5Gを用いた複数重機連携の遠隔操縦技術	<ul style="list-style-type: none"> ・3D画像と体感型操縦を用いた建設機械による高精度な無人化施工システム ・地震、豪雨、噴火災害など大規模災害の復旧や対策工事に適用可能
復旧	解体コンクリート塊の構造材料への再利用	<ul style="list-style-type: none"> ・解体建物から発生するコンクリート塊から構造体として利用可能な高品質の骨材を再生 ・被災地での復旧工事におけるがれきの有効利用と廃棄物の縮減に貢献
復旧	木材チップ塩成土壌改良工法	<ul style="list-style-type: none"> ・津波による塩害を受けた農地の除塩を促進 ・木材チップを土壌に混ぜ込みかき混ぜることで、除塩と地力回復を低コストで実現
復旧	放射能汚染土壌の分級洗浄処理	<ul style="list-style-type: none"> ・放射性物質が多く付着している特定範囲の径の土粒子を分級して洗浄処理 ・放射能濃度の低減および管理が必要な除去物の減容化に寄与

※Table 3 の名称の青文字部分をクリックすると詳細情報を閲覧可能

なお、本報は以下のメンバーで執筆した。

- 1 章・9 章・10 章：副島 紀代（構造技術研究部）
- 2 章：杉山 充樹（地盤技術研究部）
- 3 章：粕谷 悠紀・梅原 由貴・松崎 晃・友岡亮太郎・三宅 由洋（地盤技術研究部）
- 4 章：鈴木 直子（地盤技術研究部）
中田 幹久（構造技術研究部）
- 5 章：佐々木 智大・加藤 一紀・水谷 由香里・高田 祐希（構造技術研究部）
- 6 章：副島 紀代・加藤 一紀（構造技術研究部）
- 7 章：榎木 康太（都市環境技術研究部）
- 8 章：村岡 宏（都市環境技術研究部）

最後に、この地震で亡くなられた方々のご冥福をお祈りするとともに、地震およびその後の豪雨の影響で今なお不自由な生活を送られている被災地の方々に心からお見舞い申し上げます。

参考文献

- 1) 気象庁，“地震・火山月報（防災編）特集「令和6年能登半島地震」”，https://www.data.jma.go.jp/kanazawa/data/news/202401tokushuu_1.pdf, (参照 2024-5-21)
- 2) 総務省消防庁，“令和6年能登半島地震による被害及び消防機関等の対応状況（第111報）”，2024-10-01, https://www.fdma.go.jp/disaster/info/items/20240101noto_hannoujishinn111.pdf, (参照 2024-10-08)
- 3) 防災科学技術研究所，“強震波形記録を用いた令和6年（2024年）能登半島地震（1月1日16時10分、M7.6）の震源インバージョン解析”，https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/topics/noto_20240101/inversion_v1/inv_index.html, (参照 2024-5-21)
- 4) 気象庁，“一元化処理 震源リスト”，<https://www.hinet.bosai.go.jp/REGS/JMA/jmlist.php?LANG=ja>, (参照 2024-5-21)
- 5) 気象庁，“震度データベース検索”，<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.html?ByPref=34#20240101161022>, (参照 2024-6-24)
- 6) 気象庁，“長周期地震動階級について”，https://www.data.jma.go.jp/eew/data/ltpgm_explain/about_level.html, (参照 2024-6-24)
- 7) 防災科学技術研究所，“防災科研 K-NET, KiK-net”，<https://doi.org/10.17598/NIED.0004>, (参照 2024-5-21)
- 8) 境，瀧瀬，神野：建物被害率の予測を目的とした地震動の破壊力指標の提案，日本建築学会構造系論文集，第555号，pp.85-91，2002.5
- 9) 国土交通省，“令和6年能登半島地震における被害と対応について（第109報）”，2024-10-01, <https://www.mlit.go.jp/common/001766009.pdf>, (参照 2024-10-08)
- 10) 日本放送協会，“能登半島地震 液状化現象 2000 か所以上 東日本大震災に次ぐ規模”，<https://www3.nhk.or.jp/news/html/20240701/k10014497091000.html>, (参照 2024-7-05)
- 11) 産業技術総合研究所地質調査総合センター：20万分の1日本シームレス地質図データベース2005年12月8日版，産業技術総合研究所研究情報公開データベースD8084，産業技術総合研究所地質調査総合センター，2005.12
- 12) 国土地理院，“地理院地図（電子国土 Web）”，2024-06-12, https://maps.gsi.go.jp/#10/37.260027/137.062683/&base=std&ls=std%7C20240112noto_wazimanishi_houkaichi%7C20240106noto_anamizu_houkaichi%7C20240115noto_wazimanaka_houkaichi%7C20240109noto_nano_houkaichi%7C20240106noto_suzu_wazimahigashi_houkaichi&disp=111111&lcd=20240106noto_suzu_wazimahigashi_houkaichi&vs=c1g1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1&d=m, (参照 2024-06-26)
- 13) 地質調査総合センター，“第八報 2024年能登半島地震に伴う斜面崩壊の崩壊箇所と地形・地質との関係（予察）”，2024-02-16, <https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/2024/2024-08.html>, (参照 2024-06-26)
- 14) 田中：北陸・山陰沖の堆積盆地の分布と性格，石油技術協会誌，44巻，5号，pp.76-88，1979.6
- 15) 筒井：道路盛り土の地震被害で明暗，日経コンストラクション，No.804，pp.7-9，2024.3
- 16) 総務省消防庁，“熊本県熊本地方を震源とする地震（第121報）”，2019-04-12, <https://www.fdma.go.jp/disaster/info/items/kumamoto.pdf>, (参照 2024-7-04)
- 17) 防災科学技術研究所，“令和6年能登半島地震被災地調査報告（2回目）”，<https://edefense.notion.site/6-2-d3e5fd9474b14f218da8ccb76f08bf20>, (参照 2024-06-12)
- 18) 国土交通省，“令和6年能登半島地震による木造建築物の被害調査報告（速報）”，<https://www.nilim.go.jp/lab/bbg/saigai/R5/notojishin05.pdf>, (参照 2024-06-10)
- 19) 国土交通省，“令和6年能登半島地震における被害と対応”，<https://www.mlit.go.jp/common/001746116.pdf>, (参照 2024-06-07)
- 20) 日下，菊地，川田，砂金：フェイルセーフの観点を考慮した道路トンネルの耐震対策に関する一考察，土木学会，第50回岩盤力学に関するシンポジウム講演集，公演番号38，2024
- 21) 福島，石村，高橋：令和6年能登半島地震 SAR画像解析による地盤変動の特徴 ALOS-2（だいち2号）衛星データを用いた解析，令和6年能登半島地震速報会，東北大学災害科学国際研究所，2024
- 22) 宮坂，池田，内田，小林：中能登農道橋の施工，プレストレストコンクリート技術協会，第9回シンポジウム論文集，1999

- 23) 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”, 2024-07-01, https://www.bousai.go.jp/updates/r60101notojishin/r60101notojishin/pdf/r60101notojishin_47.pdf, (参照 2024-07-05)
- 24) 経済産業省, “令和6年能登半島地震に伴う被害について(3月15日(金曜日)13:00時点)”, 2024-03-15, <https://www.meti.go.jp/press/2023/03/20240315007/20240315007.html>, (参照 2024-07-05)
- 25) 能島, 加藤, “令和6年(2024年)能登半島地震におけるライフライン復旧概況(時系列編 Ver.1.11)”, 2024-03-28, <https://www1.gifu-u.ac.jp/~nojima/LLEQreport/20240101-NotoHantoEQ-LL-GUNN-ver.1.11-FigOnly.pdf>, (参照 2024-07-05)
- 26) 国土交通省, “日本海における大規模地震に関する調査検討会報告書”, 2014-09, https://www.mlit.go.jp/rivier/shinngikai_blog/daikibojishinchousa/houkoku/Report.pdf
- 27) 国土地理院, “「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”, 2024-01-19, https://www.gsi.go.jp/uchusokuchi/20240101noto_insar.html, (参照 2024-06-25)
- 28) 海上保安庁, “能登半島沖の海底で約3メートルの隆起を確認”, 2024-02-08, <https://www.kaiho.mlit.go.jp/info/kouhou/post-1069.html>, (参照 2024-06-25)
- 29) 今村, “今次津波の特性と被害状況 令和6年能登半島地震に関する速報”, 2024-01-09, https://irides.tohoku.ac.jp/media/files/disaster/eq/Noto-eq_debrief0109_2-1-1_imamura.pdf, (参照 2024-06-25)
- 30) 海上保安庁, “富山湾の海底で斜面崩壊の痕跡を確認”, 2024-01-24, <https://www.kaiho.mlit.go.jp/info/kouhou/post-1066.html>, (参照 2024-06-25)
- 31) 国土地理院, “令和6年(2024年)能登半島地震津波浸水域データ”, https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/20240101_noto_earthquake.html, (参照 2024-06-25)
- 32) 国土交通省, “令和6年能登半島地震新潟県における津波による浸水被害状況(速報)”, 2024-01-23, https://www.mlit.go.jp/river/bousai/240101_noto/pdf/tsunami_shinsui_higai_niigata_240123-0700.pdf, (参照 2024-06-25)
- 33) 日本地理学会 令和6年能登半島地震変動地形調査グループ, “津波浸水範囲の検討結果(1月16日公開)第4報”, 2024-01-16, http://disaster.ajg.or.jp/files/202401_Noto009.pdf, (参照 2024-07-29)
- 34) Yuhi et al.: Post-event Survey of the 2024 Noto Peninsula Earthquake Tsunami in Japan, submitted to Coastal Engineering Journal, 2024-3
- 35) 国土交通省: 富山湾における「うねり性波浪」対策検討技術委員会報告書, 2008.10
- 36) 日本放送協会, “能登半島地震 死因は「圧死」約4割「低体温症」や「凍死」も”, 2024-01-31, <https://www3.nhk.or.jp/news/html/20240131/k10014341451000.html>, (参照 2024-06-25)
- 37) 日本放送協会, “石川県 能登半島地震の死者名を新たに公表 遺族同意の2人”, 2024-01-25, <https://www3.nhk.or.jp/news/html/20240125/k10014334571000.html>, (参照 2024-06-25)
- 38) 新潟県, “平成29年度津波浸水想定(解説書)”, <https://www.pref.niigata.lg.jp/uploaded/attachment/360344.pdf>, (参照 2024-06-25)
- 39) 石川県, “津波浸水想定について(解説)”, 2017-05-31, https://www.pref.ishikawa.lg.jp/bousai/bousai_g/tsunami/documents/tsunami-kaisetsu.pdf, (参照 2024-06-25)
- 40) 総務省消防庁, “輪島市大規模火災を踏まえた消防防災対策のあり方に関する検討会報告書(案)”, https://www.fdma.go.jp/singi_kento/kento/items/post-149/03/shiryu1.pdf, (参照 2024-10-02)
- 41) 廣井(日本火災学会・地震火災専門委員会), “能登半島地震時に発生した地震火災の全体概要”, 火災学会速報会, 2024-02-15, http://www.u-hiroi.net/memo/hiroui_20240215.pdf, (参照 2024-06-13)
- 42) 西野, “2024年能登半島地震に伴う地震火災・津波火災について(速報)”, 火災学会速報会, https://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/contents/wp-content/uploads/2024/01/Nishino_20240122_Fire_following_earthquake_aspects_of_the_2024_Noto_Peninsula_earthquake.pdf, (参照 2024-06-13)
- 43) 総務省消防庁, “令和6年能登半島地震に伴い石川県輪島市で発生した大規模市街地火災に係る消防庁長官の火災原因調査報告書(案)”, 2024-06-28, https://www.fdma.go.jp/singi_kento/kento/items/post-149/02/shiryu1.pdf, (参照 2024-06-13)
- 44) 国土技術政策総合研究所, 建築研究所, “令和6年能登半島地震による建物等の火災被害調査報告(速報)”, 2024-01-19, <https://www.nilim.go.jp/lab/bbg/saigai/R5/notojishin02.pdf>, (参照 2024-06-14)