

## 2つの能登半島地震で生じた道路被害の分析と類似性の検討

長岡技術科学大学大学院 武藤 夏歩  
池田 隆明  
志賀 正崇

### 1. 序論

2024年1月1日16時10分、石川県能登半島北部を震源とする、深さ16 km、 $M_j$  7.6の地震が発生した<sup>1)</sup>。この2024年能登半島地震の影響により、死者605人（うち、災害関連死377人）、行方不明者2人、負傷者1,270人（うち、重傷者394人、軽傷者876人）の人的被害が生じた<sup>2)</sup>。石川県内のインフラ構造物の被害も顕著である。石川県金沢市と能登半島を結ぶ、全長約90 kmの自動車専用道路「のと里山海道」では、橋梁アプローチ部を含む盛土・切土の崩落や路面の亀裂が多数発生し、道路機能の低下により、救援・復旧に大きな影響を及ぼした（図-1(a)）。

能登半島では、2024年能登半島地震以前にも大規模な地震が発生している。その代表例として、2007年能登半島地震が挙げられる。2007年能登半島地震は、2007年3月25日9時41分、能登半島沖（輪島市の南西約25 km）を震源とする、深さ11 km、 $M_j$  6.9の地震である<sup>3)</sup>。死者1名、負傷者356名<sup>4)</sup>と人的被害は2024年より少ないが、この地震の影響により、「能登有料道路（現・のと里山海道）」では盛土崩落や路面の激しい損傷などの被害が生じた（図-1(b)）。

これらの背景から、盛土構造物の地震被害が繰り返し発生していることが指摘されている。そこで本研究では、2つの能登半島地震の影響で同様な被害が確認されている「のと里山海道」を研究対象とし、のと里山海道における道路被害の発生メカニズムの解明に向けて、道路被害と被害要因として想定される各種条件との関係を分析すること、そして、2つの地震における被害を比較することで、被害の類似性を検討することを目的とした。

はじめに両地震で被災した地点を特定し、被害位置、被害状況を把握した。その後、横断面形状、小段数及び地震動を抽出し、被害との関係を分析した。また、被害と地形との関係を定量的に把握する準備として、3次元地形モデルの作成を実施したため、報告する。



(a) 2024年の切土法面の崩壊



(b) 2007年の盛土法面の崩壊

図-1 能登半島地震によるのと里山海道の被害

## 2. 現地調査

本研究では、のと里山海道における道路盛土の被害状況を直接確認することと、被害箇所と周辺地形との関係を把握することを目的として、2024年10月5日に千鳥台から穴水ICまでの約80km区間<sup>5)</sup>について現地調査を実施した。のと里山海道の概要図を図-2に示す。

現地調査は、のと里山海道を走行する車内から実施した。車内では、車窓から確認可能な被害箇所を主な対象とし、被害箇所の写真及び動画を撮影した。写真撮影にはスマートフォンを使用し、助手席の車窓から撮影を実施した。動画撮影にはGoProを使用し、車両のダッシュボード上にGoProを設置して走行中の映像を記録した。撮影の様子を図-3(a)に示す。また、のと里山海道及び周辺地形の三次元的な把握を目的として、LiDAR SLAM<sup>6)</sup>計測のできる機材を用いた道路周辺の点群データの取得も試みた。運転席側の後部座席から測定機材を窓の外へ僅かに出した状態で計測した。点群データの取得の様子を図-3(b)に示す。

現地調査を実施した結果、千鳥台から徳田大津ICまでの区間では顕著な被害は確認されなかったため、本節では徳田大津ICから穴水ICまでの区間における調査結果について報告する。徳田大津ICー横田ICでは、大規模な盛土崩落が確認された。また、道路線形の曲率半径が大きい箇所、中小規模の被害が発生している地点を確認した。横田ICー別所岳SAでは、長距離に及ぶ盛土崩落や2007年地震時の被害地点近傍での新たな盛土崩落が確認された。別所岳SAー越の原ICでは、長距離のクラックや舗装の損傷が特に目立つ傾向が見られた。越の原ICー穴水ICでは、盛土崩落や広域な舗装の損傷は見られなかったが、中小規模の被害を確認した。



図-2 のと里山海道の概要図<sup>5)</sup>



(a) 被害の写真・動画撮影



(b) 道路周辺の点群データの取得

図-3 現地調査の様子

### 3. 被害箇所の特定制法と結果

本研究では、実際の被害を目視し、独自の基準を持って判断することを重要視した。そこで、両年の被害箇所の特定制法を実施したため、その方法を説明する。なお、特定区間は被害が多数指摘されている徳田大津 IC-穴水 IC とした。

はじめに、2024 年の被害箇所の特定制法について説明する。まず、先述した現地調査前に、上空から判読可能な被害の緯度経度を特定するため、2024 年地震後のオルソ画像<sup>7)</sup>を目視確認した。このオルソ画像を用いた特定により、大規模な盛土崩落の位置が複数確認された。しかし、現地調査により緯度経度が未特定の舗装の損傷が複数確認されたため、GoPro で撮影した動画などを用いることで、地上から見えるような被害の特定制法を実施した。これにより、オルソ画像では補修跡や影として認識されていた小規模被害を追加で特定した。

2007 年の被害箇所については、はじめに国土技術政策総合研究所が公開する被災状況図<sup>8)</sup>を確認することで被害箇所の位置の把握を試みた。しかし、被災状況図<sup>8)</sup>に記載されていたのはキロポスト情報のみであり、緯度経度は示されていない。そこで、地震直後の状況を目視し、被害箇所の緯度経度を特定するための 2007 年地震後のオルソ画像が必要となったが、公開されているオルソ画像は存在しなかったため、本研究で作成した。撮影されたカラーの tiff 画像 300~400 枚程度（中日本航空株式会社が 2007 年 3 月 26 日午後、高度約 2600~2700 m から撮影）を用い、複数枚の画像から三次元形状を復元する技術である SfM/MVS 手法（本研究では Metashape を使用）により、オルソ画像（図-4(b)中の濃い緑色の複数の長形状の画像）を作成した。そして、作成したオルソ画像や当時の被害調査で撮影された写真を基に特定した。

両年の被害箇所を特定した結果を図-4 に示す。図-4 では、両年とも大規模被害箇所については赤い点で表示している。なお、本研究では「大規模被害」を盛土の滑動崩落による道路の欠壊、道路舗装の広範囲な破損が認められるものとした。この被害は航空写真でも明瞭に確認できる。2007 年と 2024 年の被害箇所数、大規模被害数を各区分別に整理したものを表-1 に示す。表-1 より、総被害件数と大規模被害の件数は 2007 年よりも 2024 年が増加していることが明らかになった。総被害件数は 44 件から 97 件、大規模被害件数は 11 件から 29 件と、ともに 2007 年の 2 倍程度の値である。また、各区分別の全体の被害件数を調査した結果、2007 年は横田 IC-別所岳 SA の被害割合が

47.7%と被害が集中していることが判明した。一方、2024年は2007年ほど被害が集中している区間が確認されなかったが、大規模被害の各区間別の被害件数に限定すると、横田IC－別所岳SAの被害割合が55.2%と、最も大規模被害が集中していたことが判明した。したがって、横田IC－別所岳SAは他の区間と比較して、地震による被害が発生するリスクが高いと考えられる。

表-1では、2007年と2024年の被害の同一箇所についても整理した。同一箇所は「2007年と2024年の被害箇所が道路の幅員の3倍程度の距離以内に位置するとオルソ画像等の目視により判断したもの」と定義した。同一箇所の全体の被害数、大規模の被害数を見ると、横田IC－別所岳SAの割合が高く、両年、同様な箇所での被害の発生が窺える。

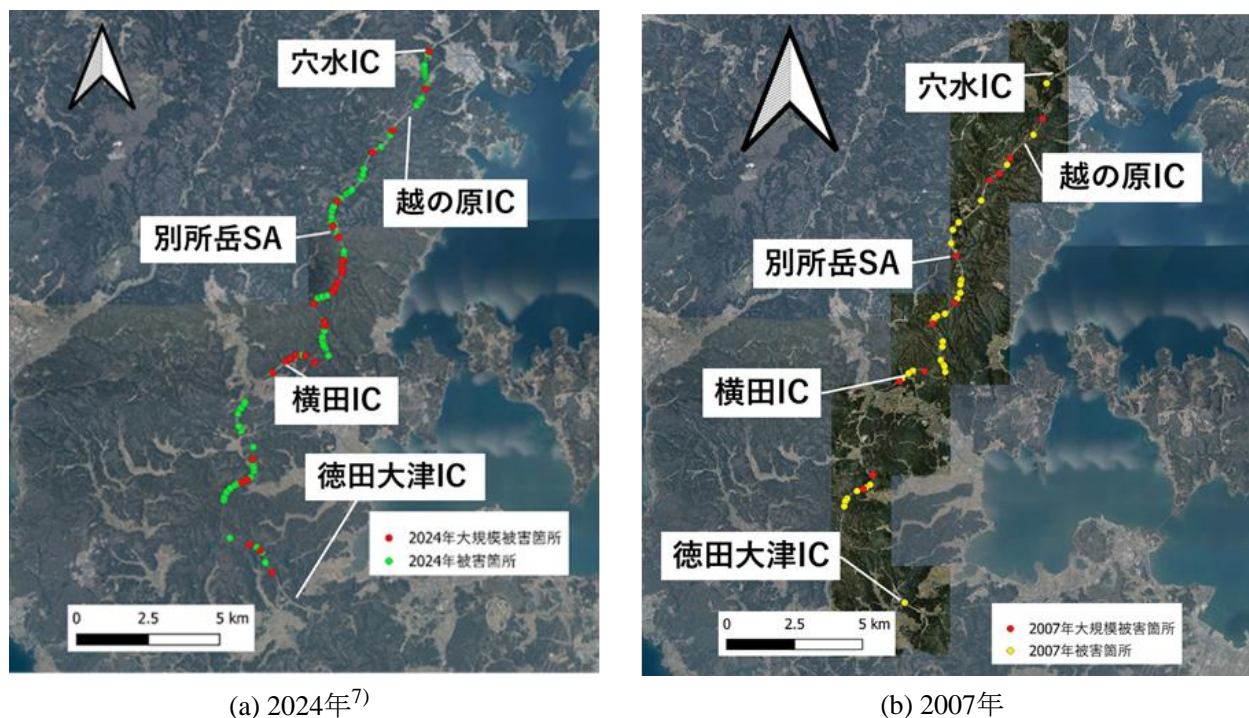


図-4 両年の被害箇所の特定結果

表-1 各区間別の被害箇所数

		2007年		2024年		同一箇所	
		被害数	大規模	被害数	大規模	被害数	大規模
総被害件数		44	11	97	29	28	5
区間別	徳田大津IC －横田IC	11 (25.0%)	3 (27.3%)	31 (32.0%)	7 (24.1%)	6 (21.4%)	1 (20.0%)
	横田IC －別所岳SA	21 (47.7%)	4 (36.4%)	30 (30.9%)	16 (55.2%)	12 (42.9%)	1 (20.0%)
	別所岳SA －越の原IC	9 (20.5%)	3 (27.3%)	20 (20.6%)	4 (13.8%)	7 (25.0%)	2 (40.0%)
	越の原IC －穴水IC	3 (6.8%)	1 (9.1%)	16 (16.5%)	2 (6.9%)	3 (10.7%)	1 (20.0%)

#### 4. 3次元地形モデルの作成・取得と比較

地形条件を比較するためには、能登有料道路の建設前、2007年地震後、2024年地震後の地形モデルが必要となるため、3年代の地形モデルの取得を実施した。

能登有料道路施工前（1963年）の地形モデルは、「地図・空中写真閲覧サービス<sup>9)</sup>」から取得した1963年撮影の空中写真を用いて、SfM/MVS手法により、解像度1.37m/pixのDSMを作成した。2007年地震後の地形モデルは、先述した2007年地震後のオルソ画像作成に用いたもので、解像度0.222m/pixのDSMを作成した。なお、2024年地震後のモデルについては、林野庁により0.5m解像度のDEMが公開されていたため、これを利用することとした<sup>10)</sup>。

これらから、地震前後で大規模な地形改変が生じていないかを確認する作業を実施した結果、道路周辺には顕著な地形改変は認められなかった。

#### 5. 構造形式の分類

構造形式と被害の関係を検討するため、本研究室で保管されていた、のと里山海道の図面計47枚を用いて、各区間の構造形式の分類を実施した。

まず、図面上で盛土、切土、橋梁といった構造が切り替わる位置に、**図-5**の赤線のような分割線を引いた。次に、分割した各区間に固有の名称を付与するため、付箋に区間名を記入し、図面上の該当箇所には貼付した。区間名を付与する際には、独自に命名規則を設定した。具体的には、Cを切土、Fを盛土、BRを橋梁、TNをトンネル、BXをボックスカルバート、Dを排水管、P0を平坦部とし、Cが2段あればC2、Fが3段あればF3と表した。法面記号とは郵便マーク（〒）に類似した形状で、横線が2本描かれている側が斜面の高い側、縦線1本のほうが斜面が低い方を表す。各区間名は「下り線側の構造形式ー上り線側の構造形式ー排水管の有無」の順で表記した。その後、図面を電子データ化し、構造形式を被害地点等とともにGIS上で確認することが可能となった。また、小段数の最大値は法面記号同士の間には描かれた二重線の数から求めた。

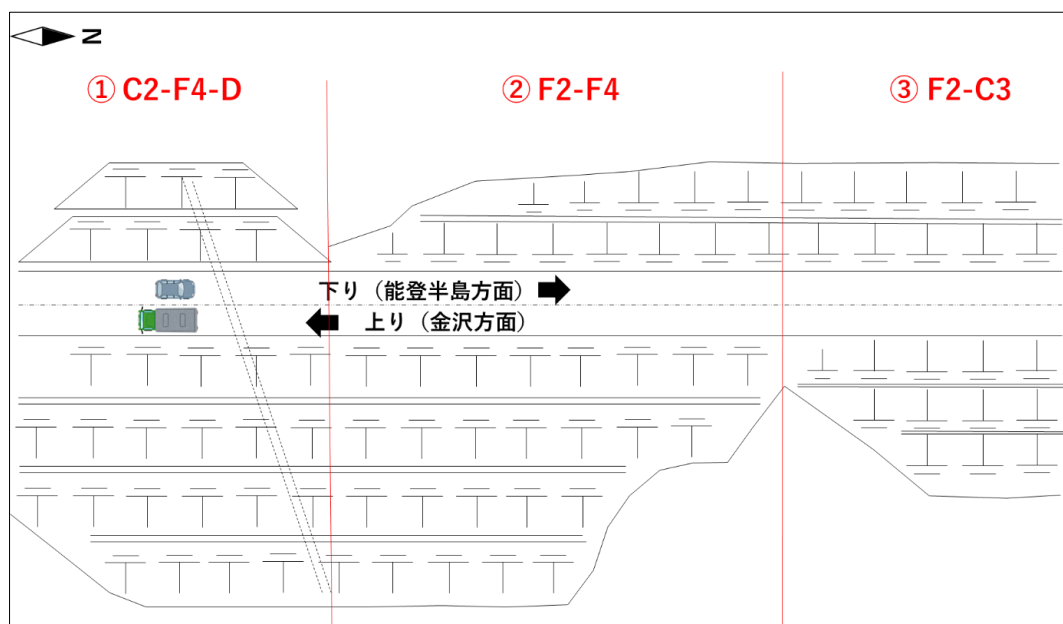


図-5 図面（平面図）のイメージ

## 6. 地震動の空間分布の作成

2007年と2024年の能登半島地震はいずれも最大震度が大きく、強い地震動が道路盛土の被害発生に与えた影響は無視できない。そこで、地震動についても可能な範囲で定量的な評価を実施し、被害との関係を検討することとした。道路の被害地点での地震動（PGA/PGV）を推定するため、最大地震動の空間分布を作成した。両年のPGA分布を図-6、PGV分布を図-7に示す。これらは、観測された地震動データを基に、のと里山海道専用の距離減衰式を作成することで出力したものである。図-6と図-7から、2024年のほうがPGA/PGVが増加しているように見受けられる。被害地点とPGA/PGVの詳細な関係は、後述する。

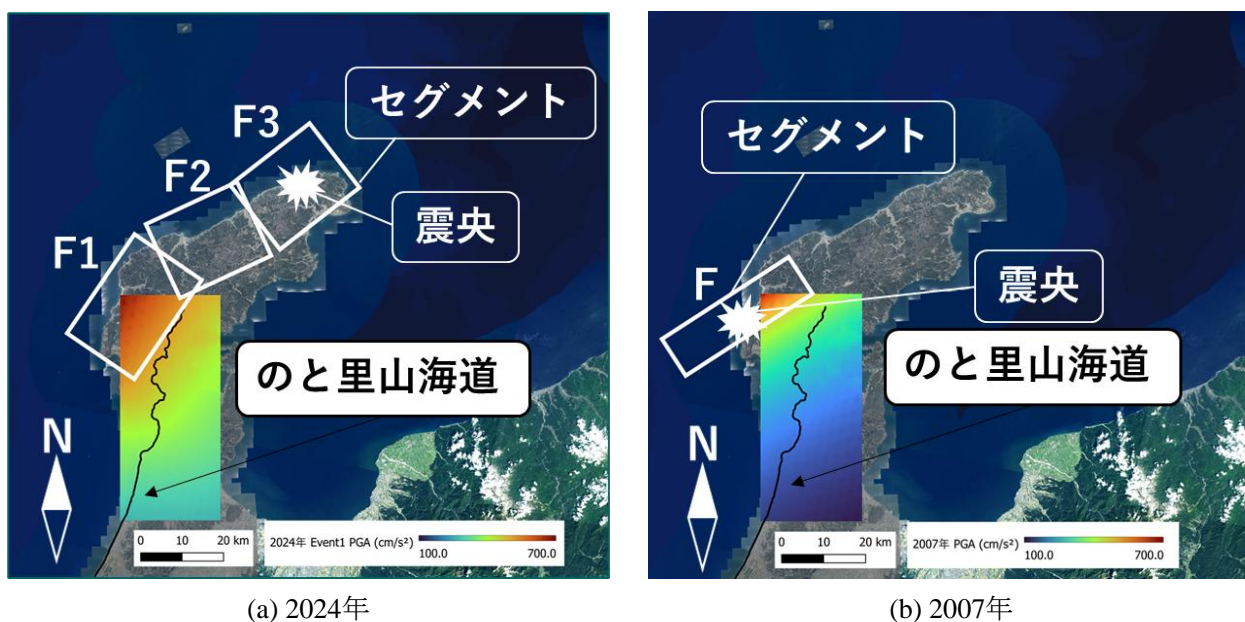


図-6 両年のPGA分布

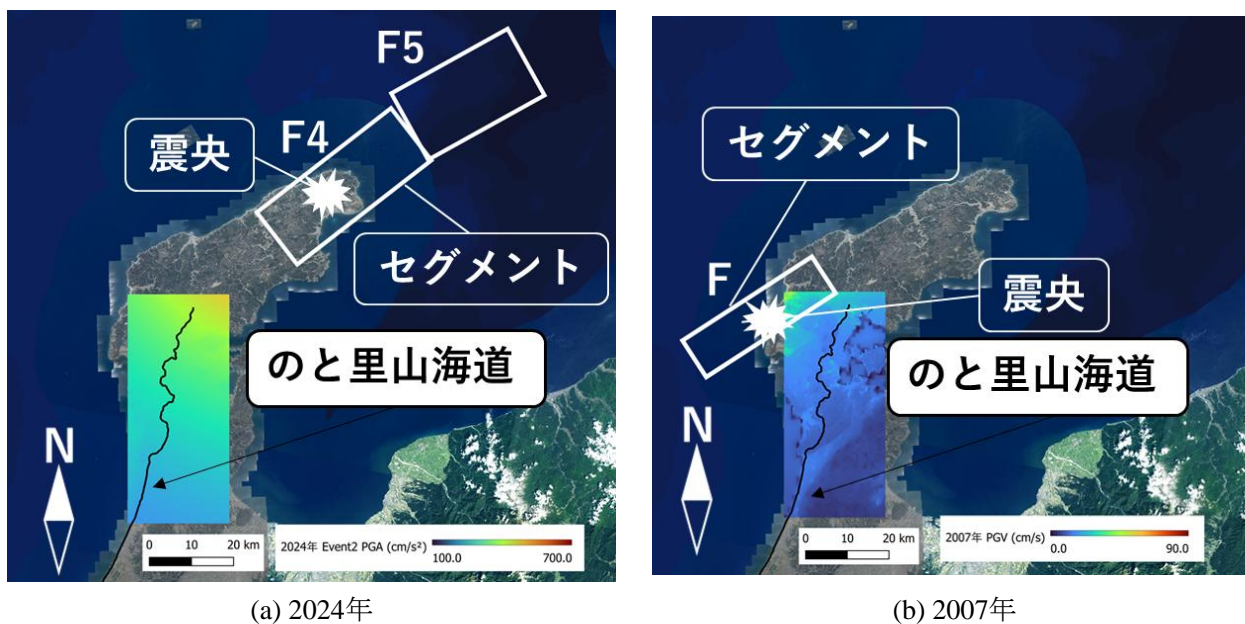


図-7 両年のPGV分布

## 7. 被害箇所と各種条件の分析結果及び考察

両年の被害地点の道路横断面形状を整理した結果を図-8、図-9に示す。ここでは、CやFが混在する区間はMixの頭文字Mを用いて表記した。比較した結果、両年、F-Fの両盛土、片方がFの片盛土で被害が多く発生する傾向が見られ、盛土部での被害が多いことが確認された。

両年の小段数を整理した結果、2024年は小段が3段以上の場合、大規模被害が目立つ傾向にあることが判明した(図-10)。また、横田IC-別所岳SAの被害箇所総数の約66.7%が小段3段以上であることが明らかになった。2007年は小段が2段以上の場合、大規模被害が目立つ傾向にあり、横田IC-別所岳SAと別所岳SA-越の原ICの被害箇所総数の約66.7%が小段2段以上であることが明らかになった(図-11)。

図-12に両年の被害箇所のPGAのグラフを示す。両者を比較すると、2007年に比べて、2024年のPGAが全体的に大きい値を示した。したがって、2024年の被害数の増加には、PGAの増大が一因として影響した可能性がある。また、どちらも南部(徳田大津IC側)のPGAよりも、北部(穴水IC側)のPGAのほうが大きい。図-6を確認すると、どちらも千鳥台側に向かうにつれてPGAは小さくなっていることから、全体的にのと里山海道北部に被害が集中する要因の1つに北部のPGAの増大が挙げられる。

図-13に両年の被害箇所のPGVのグラフを示す。PGVもPGAと同様に2024年のほうが大きい傾向が見られたため、被害数の増加にPGVの増大も関与していると考えられる。一方、本検討では被害規模とPGVの間に明確な相関は認められなかった。

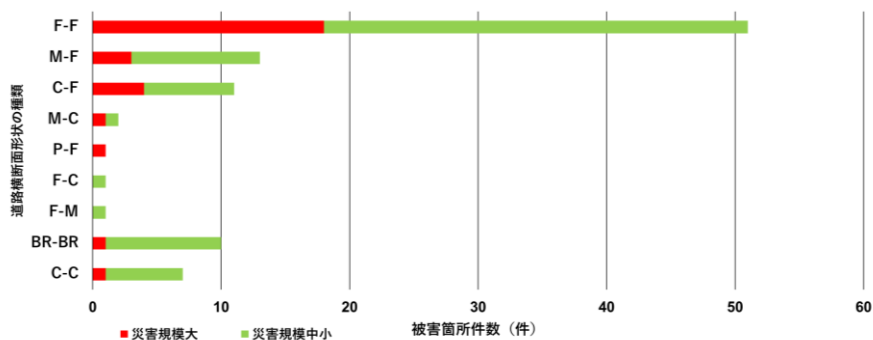


図-8 2024年被害箇所の横断面形状の関係

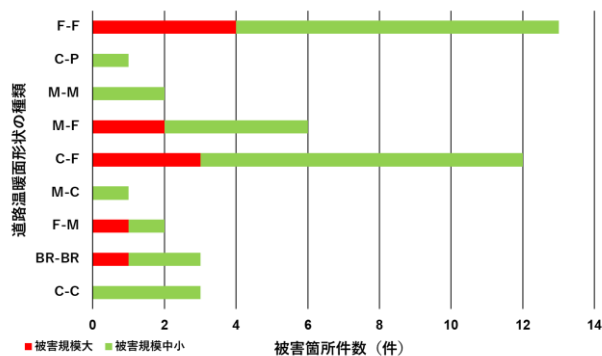


図-9 2007年被害箇所の横断面形状の関係

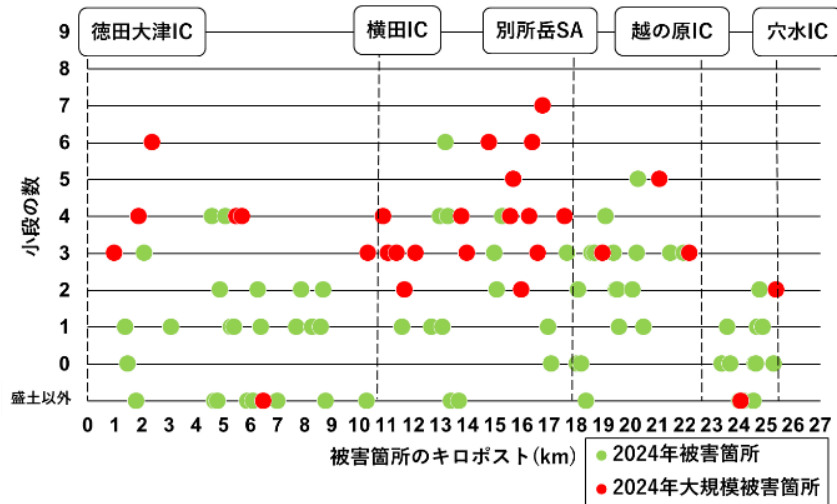


図-10 2024年の被害箇所と小段の関係

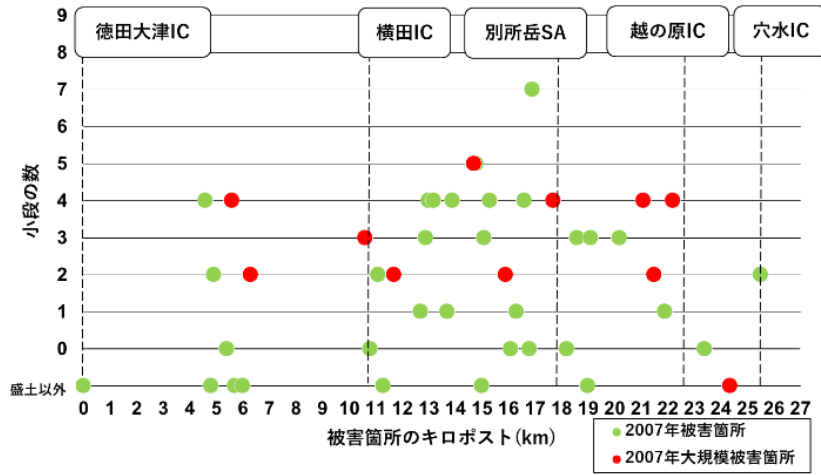


図-11 2007年の被害箇所と小段の関係

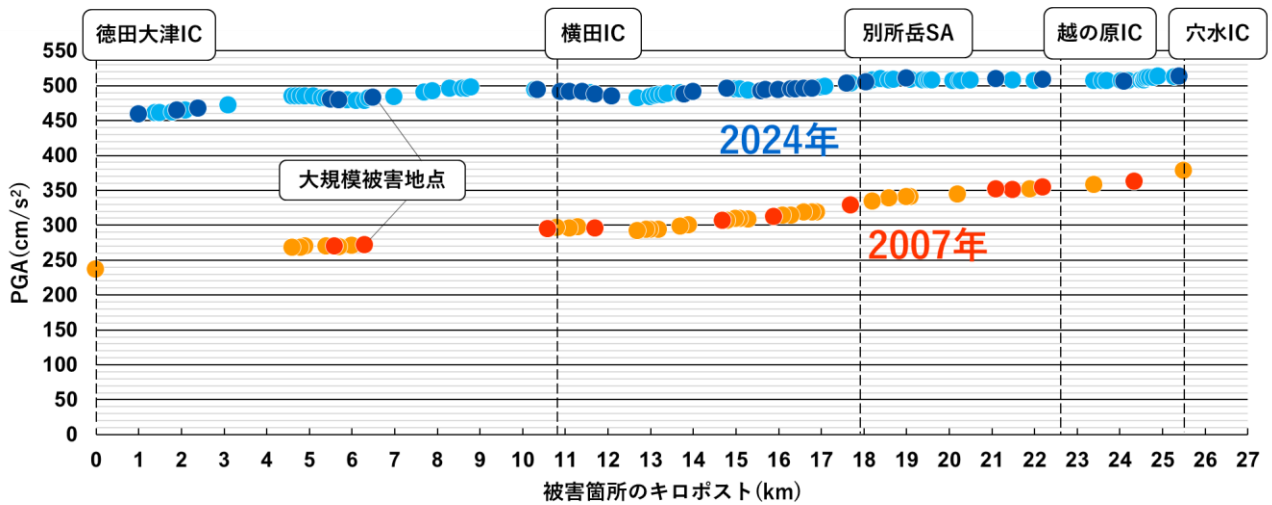


図-12 両年の被害箇所とPGAの関係

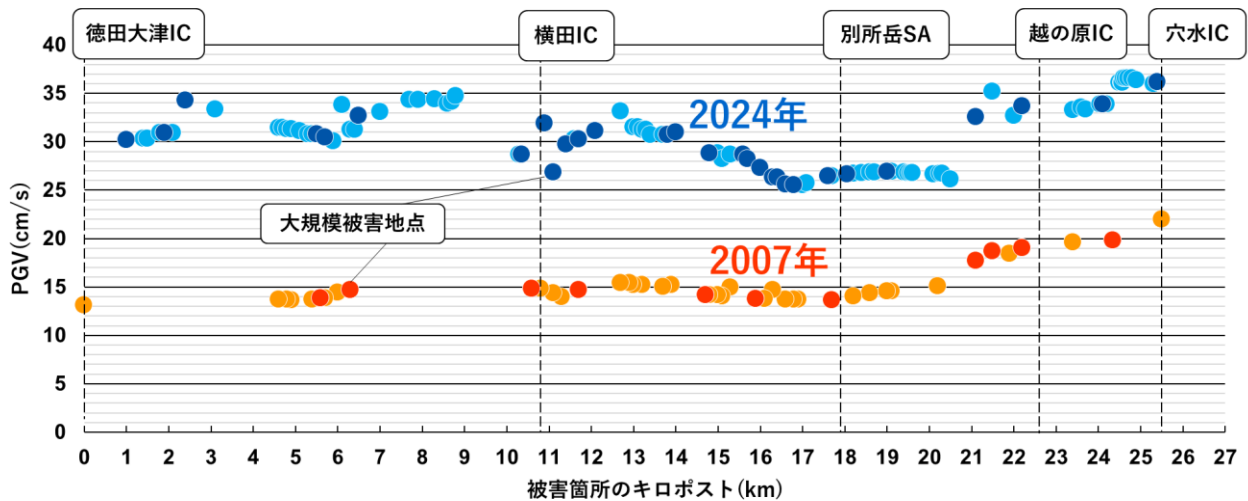


図-13 両年の被害箇所とPGVの関係

## 8. 結論及び今後の展望

本研究では、2007年と2024年の能登半島地震で被害を受けた「のと里山海道」に着目し、のと里山海道の被害と、被害と相関があると考えられるパラメータである横断面形状、小段数、地震動(PGA/PGV)との関係について検討した。

はじめに被害箇所を特定した結果、全体の被害件数、大規模被害件数は、2007年よりも2024年のほうが多いことが明らかとなった。また、各区間別の全体の被害件数を調査した結果、2007年は横田IC－別所岳SAの被害割合が約47.7%と被害が集中していた。2024年は大規模被害の各区間別の被害件数に限定すると、横田IC－別所岳SAの被害割合が約55.2%と、最も大規模被害が集中していた。そのため、横田IC－別所岳SAは道路被害が発生するリスクが高いと考えられる。

続いて、作成したのと里山海道の建設前のDSM、2007年地震後のDSMと、2024年地震後のDEMを陰影図として可視化し、地震前後で大規模な地形変化が生じていないかを目視で確認する作業を実施した結果、道路周辺に大規模な地形変化は認められなかった。

また、のと里山海道の図面を用いて、2024年の被害箇所の横断面形状を整理した結果、両側盛土のF-F、片側盛土のM-F、C-Fの場合、被害件数が多かった。2007年の場合は、F-F、C-F、M-Fの順に被害が多かった。2024年と同様に盛土部での被害が顕著であることが示された。

道路被害地点の小段数を算出することで、2024年は小段3段以上の場合、大規模被害が目立つ傾向にあることが明らかになった。また、横田IC－別所岳SAの被害箇所総数の約66.7%が小段3段以上であることが判明した。2007年は小段2段以上の場合、大規模被害が多く発生する傾向が認められた。また、横田IC－別所岳SAと別所岳SA－越の原ICにおける被害箇所総数のうち、約66.7%が小段2段以上であることが明らかとなった。以上より、小段が多い盛土構造では被害が発生しやすい、あるいは被害が拡大しやすい傾向があることが明らかになった。

道路被害地点の地震動を推定した結果、全体的に2007年の被害地点のPGAよりも2024年のPGAのほうが大きいことが明らかになった。2024年の被害数の増加にはPGAの増大が一因として影響した可能性がある。両年のPGAを見ると、どちらも南部(徳田大津IC側)のPGAよりも、北部(穴水IC側)のPGAのほうが大きい。また、両年のPGA分布を確認すると、どちらも千鳥台側に向かうにつ

れてPGAは小さくなっていることから、全体的にのと里山海道北部に被害が集中する要因の1つに北部のPGAの増大が挙げられる。また、全体的に、PGVも2007年より2024年のほうが大きいことが明らかになった。2024年の被害数の増加には、PGVの増大も一因として影響した可能性がある。しかし、高いPGVであっても大規模被害が発生していない地点が複数確認される一方、大規模被害地点において特に高いPGVが集中する傾向が認められなかったため、本検討では、被害程度とPGVとの間に明確な相関は認められなかった。

本研究で得られた結果を踏まえ、今後は道路全体における盛土の分布や件数を把握するため、全数調査を実施する必要がある。また、DSM/DEMを用いて集水面積を抽出・分析することで、さらなる知見が得られると考えられる。さらに、推定した地震動からニューマーク法によるすべり円弧の数値解析を実施することで、盛土の耐震安定性を定量的に評価することが可能である。

## 参考文献

- 1) 内閣府：防災情報のページ,  
[https://www.bousai.go.jp/updates/r60101notojishin/r60101notojishin/pdf/r60101notojishin\\_50.pdf](https://www.bousai.go.jp/updates/r60101notojishin/r60101notojishin/pdf/r60101notojishin_50.pdf)  
(2025.06.25 閲覧)
- 2) 石川県：令和6年能登半島地震の被害の概要（令和7年6月30日時点）  
<https://www.pref.ishikawa.lg.jp/kouhou/hot/motto-2024summer/documents/gaiyou.pdf>  
(2025.11.19 閲覧)
- 3) 気象庁：平成19年（2007年）能登半島地震,  
<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/kenshin/vol72p027.pdf> (2025.06.25 閲覧)
- 4) 国土交通省 北陸地方整備局：能登半島地震記録集：北陸地方整備局の取り組みと地域支援 第1章 能登半島地震の概要,  
[https://www.hrr.mlit.go.jp/bosai/ното-chuetsuoki\\_jishin/kirokushi\\_pdf/hp\\_005-012\\_noto\\_1.pdf](https://www.hrr.mlit.go.jp/bosai/ното-chuetsuoki_jishin/kirokushi_pdf/hp_005-012_noto_1.pdf)  
(2025.11.27 閲覧)
- 5) 石川県：のと里山海道の紹介,  
<https://www.pref.ishikawa.lg.jp/nakanotopublic/notosatoyama/syokai.html> (2025.06.25 閲覧)
- 6) TPホールディングス：LiDAR SLAM system,  
[https://www.tphd.co.jp/wp-content/themes/template/images/catalog/LiDAR\\_SLAM\\_system.pdf](https://www.tphd.co.jp/wp-content/themes/template/images/catalog/LiDAR_SLAM_system.pdf) (2025.11.20 閲覧)
- 7) 国土地理院：地理院地図 能登地区全域（4/5～4/26撮影）オルソ画像,  
[https://maps.gsi.go.jp/#10/37.096812/136.827850/&base=std&ls=std%7C20240102noto\\_0405\\_0426do&blend=0&disp=11](https://maps.gsi.go.jp/#10/37.096812/136.827850/&base=std&ls=std%7C20240102noto_0405_0426do&blend=0&disp=11) (2025.11.27 閲覧)
- 8) 国土交通省 国土技術政策総合研究所：平成19年（2007年）能登半島地震被害調査報告 図-7.2.1,  
<https://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryoutnn/tnn0438pdf/ks043811.pdf> (2025.6.25 閲覧)
- 9) 国土地理院：地図・空中写真閲覧サービス,  
<https://service.gsi.go.jp/map-photos/app/map?search=history> (2025.6.25 閲覧)
- 10) G空間情報センター：林野庁・数値標高モデルDEM0.5m（能登地域2024）,  
<https://www.geospatial.jp/ckan/dataset/rinya-dem-noto2024> (2025.7.15 閲覧)