

2. 地震と地震動

2.1 震央と震度分布

2.1.1 震度7を観測した地震について

令和6年1月1日16時10分頃、石川県能登地方で地震が発生し、石川県輪島市などの複数の地域で震度7が観測された¹⁾。震度7が観測された地震は、「平成30年北海道胆振東部地震」以来となり、現行の震度階級導入から数えて7例目となった。なお、能登半島では、過去に「平成19年（2007年）能登半島地震」が発生し、最大震度6強が観測されている。

気象庁は、令和2年12月以降に能登半島付近で発生した一連の地震活動の名称として「令和6年能登半島地震」と定めている²⁾。これは、令和5年5月5日に気象庁マグニチュード6.5、最大震度6弱の地震が発生するなど、近年、能登半島付近で地震活動が活発であることを考慮したものである³⁾。本稿では、令和6年1月1日16時10分頃に発生したM7.6の地震を「本震」、本震以降発生した地震を「余震」と呼称する。

本震の震度分布と震央位置を図-2.1に示す。図-2.1は、地理院地図に気象庁の震度データベース⁴⁾の情報を重ね合わせたものである。震央は能登半島の北緯37度29.7分、東経137度16.2分に位置⁴⁾しており、能登半島で震度7が数か所で観測されたほか、広い範囲で強い揺れが観測されている。また、本震の発震機構は、北西－南東方向に圧力軸を持つ逆断層型で、地殻内で発生した地震³⁾であるとされている。

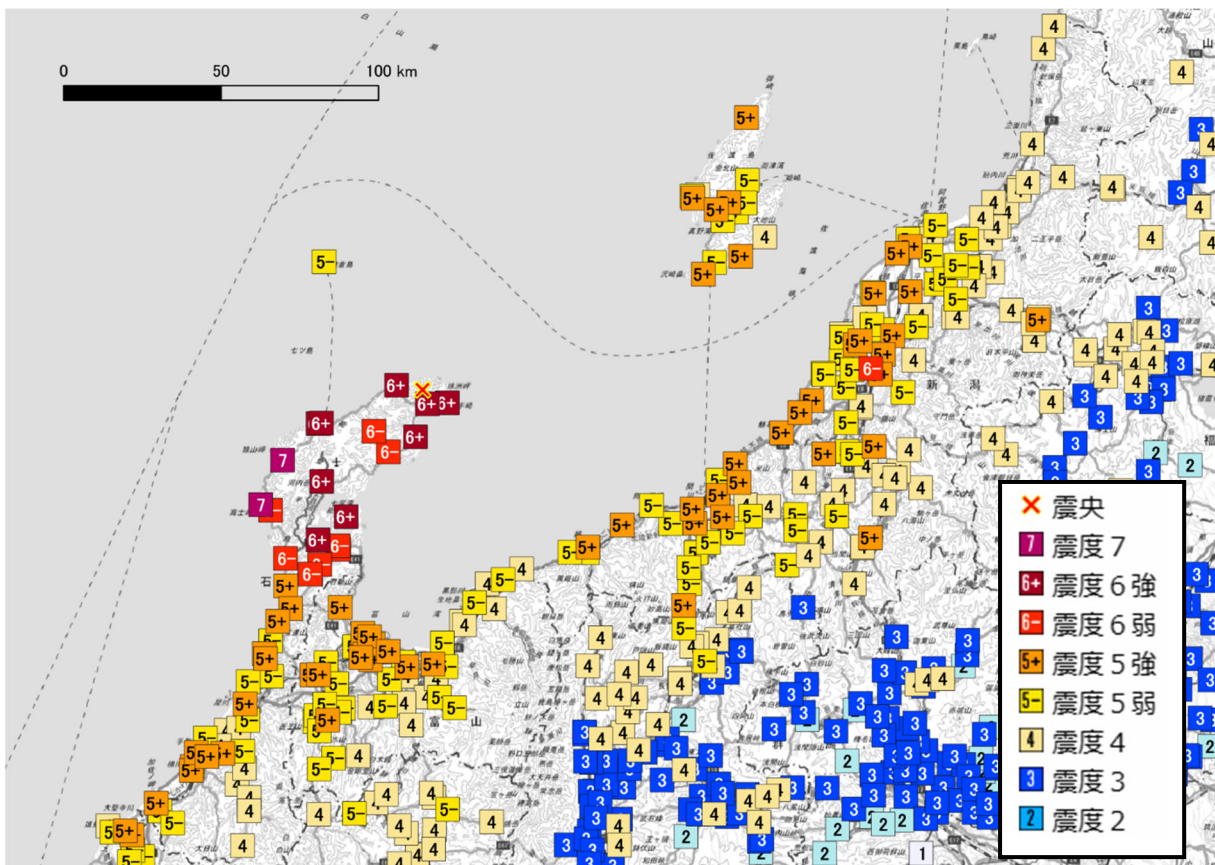


図-2.1 石川県、新潟県およびその周辺の震度分布（地理院地図に加筆）

2.1.2 令和6年能登半島地震の一連の地震活動

令和6年能登半島地震で震度5弱以上を観測した一連の地震の震央分布を図-2.2に示す。図-2.2より、能登半島の広い範囲で長期間にわたり地震が頻発しているとともに、マグニチュード6.0を超える大きな余震も発生していることがわかる。また、令和6年能登半島地震は、図-2.3に示すとおり過去に発生した陸域を震源とする地震と比較して、多くの余震が観測されており¹⁾、図-2.2に示すように余震活動が広い領域で発生している。

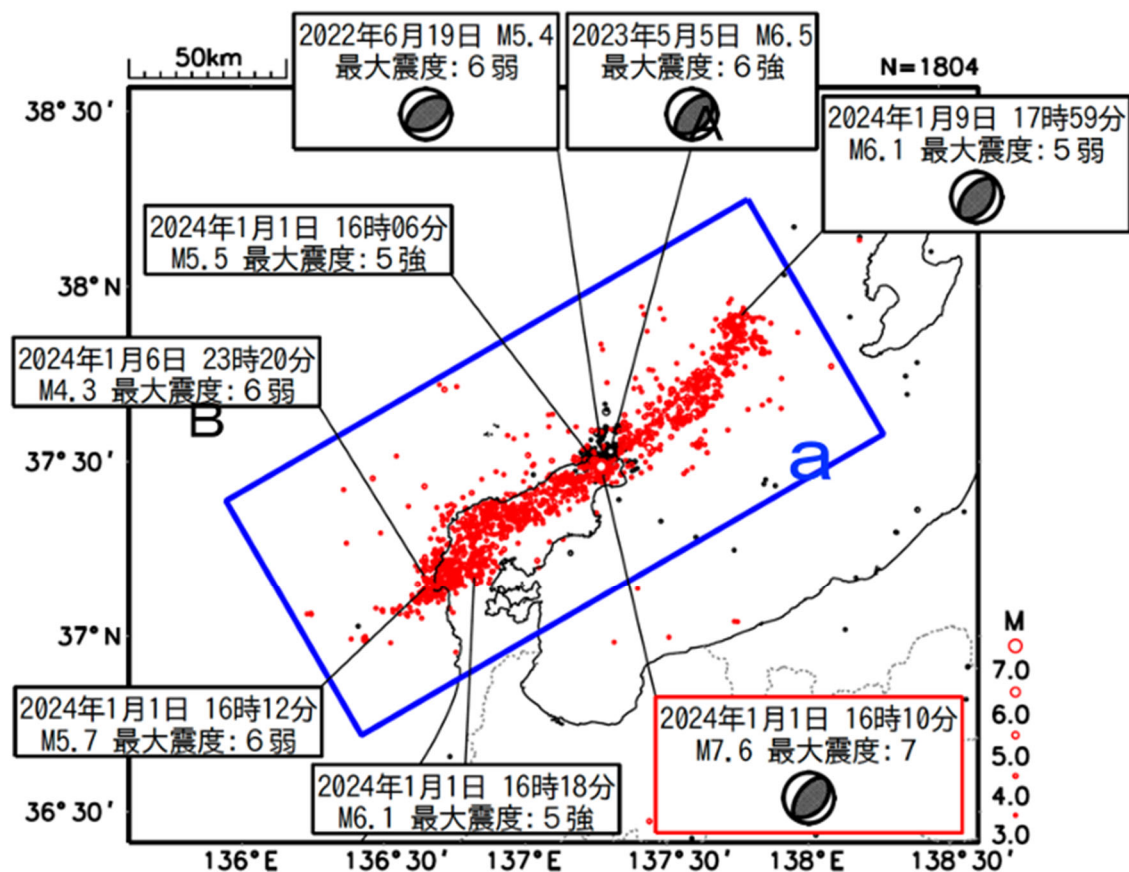


図-2.2 令和6年能登半島地震で震度5弱以上を観測した地震¹⁾

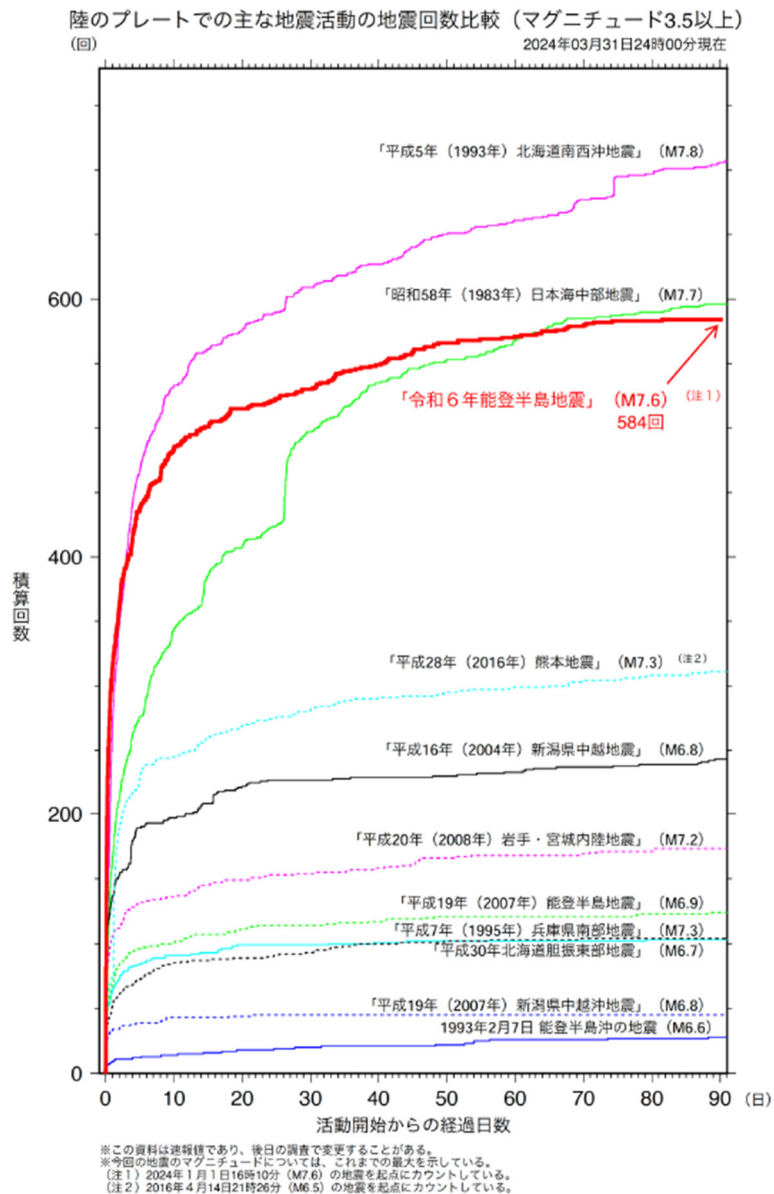


図-2.3 陸のプレートでの主な地震活動の地震回数比較 (M3.5以上) ¹⁾

2.2 地震による津波

本震発生時には、石川県能登に対して大津波警報、山形県から福井県及び兵庫県北部に対して津波警報が発表された¹⁾。津波は、金沢（港湾局）で0.8m、酒田観測点（気象庁）でも0.8mと観測された¹⁾。また、空中写真判読により、石川県珠洲市、能登町及び志賀町の3市町において、合計約190haの津波による浸水が確認され、特に浸水範囲の広い珠洲市における浸水深は、約4mに達したと想定された⁵⁾。さらに、新潟県上越市で5m以上の遡上高が確認されており⁶⁾、広い地域で津波が観測されている。

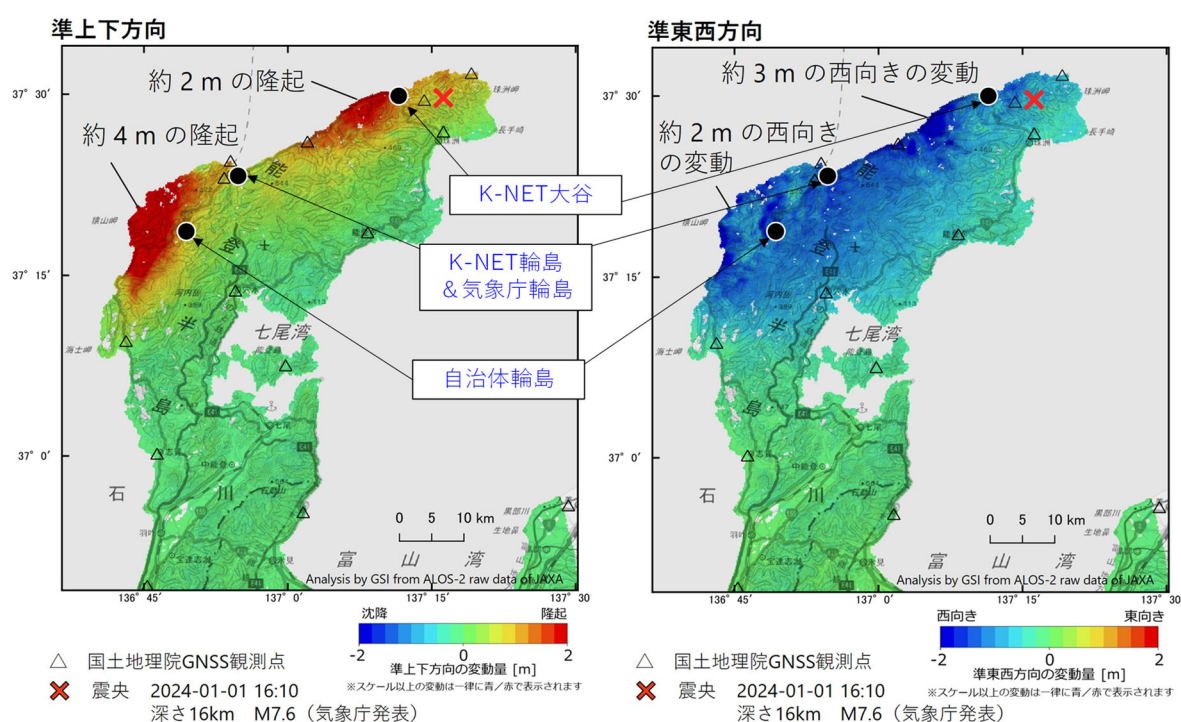
2.3 観測された地震動の特性

2.3.1 加速度波形

国土地理院の電子基準点による観測では、能登半島の海岸付近の観測点で南西方向に2.0m程度の水平変位、1.3m程度の隆起が見られるなど、能登半島を中心に広い範囲で地殻変動が観測されている⁷⁾。さらに、だいち2号の観測データ⁸⁾では、輪島西部の海岸付近で約4mの隆起、珠洲市北部の海岸付近で約2mの隆起が報告されている。また、輪島市で観測された地震波形⁹⁾からも西南西方向や鉛直方向の変位が報告されている。

本稿では、観測された変位の影響を確認するため、地震観測により得られた加速度波形より変位波形を算出した。輪島市では3地点（輪島市門前町走出、輪島市鳳至町（以下「気象庁輪島」という）、K-NET輪島）、珠洲市北部では1地点（K-NET大谷）で地震記録が得られている。だいち2号の観測データ⁸⁾と地震観測点の関係を図-2.4に示す。加速度波形から変位波形の算出には、加速度記録を積分して速度に変換し、速度波形の基線補正を行ったうえで再度積分をした。算出した変位波形を図-2.5～2.8に示す。

その結果、輪島市で得られた波形の変位波形より、水平方向に最大1.5m程度、鉛直方向に最大3m程度、珠洲市で得られた波形の変位波形より、水平方向に2.5m程度、鉛直方向に2m程度であることがわかり、だいち2号の観測結果を概ね整合した。



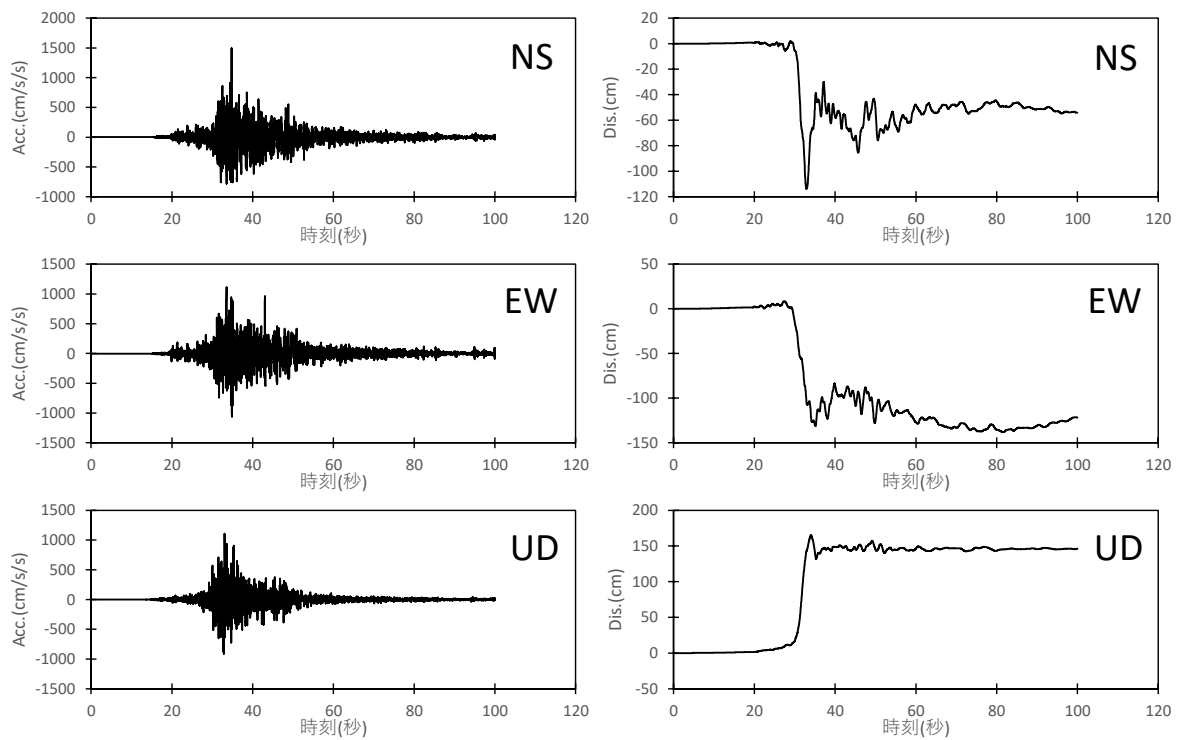


図-2.5 加速度波形および変位波形（輪島市門前町走出）

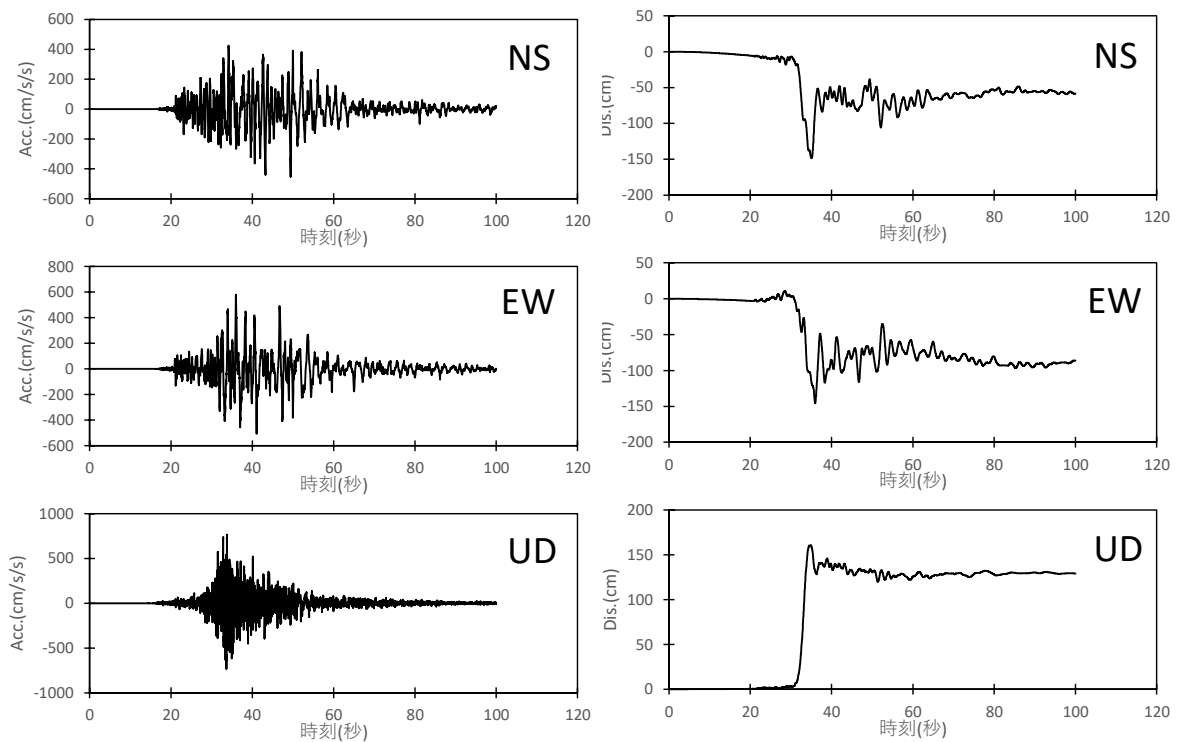


図-2.6 加速度波形および変位波形（気象庁輪島）

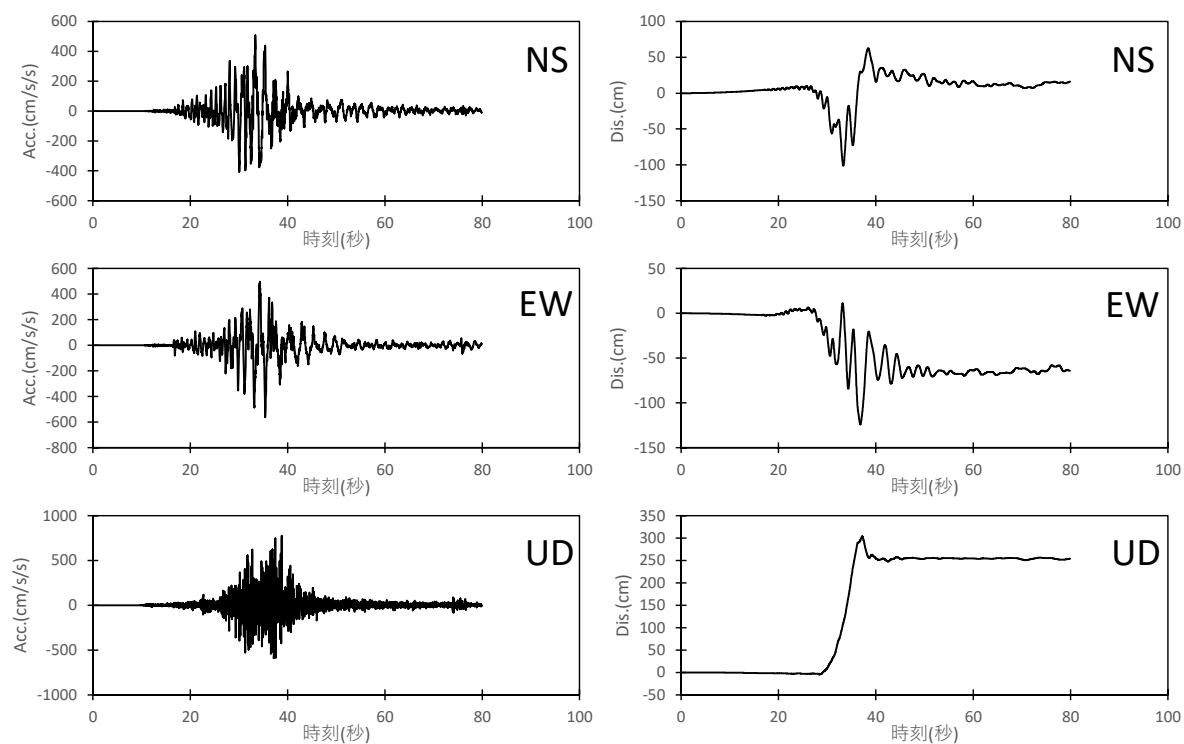


図-2.7 加速度波形および変位波形（K-NET輪島）

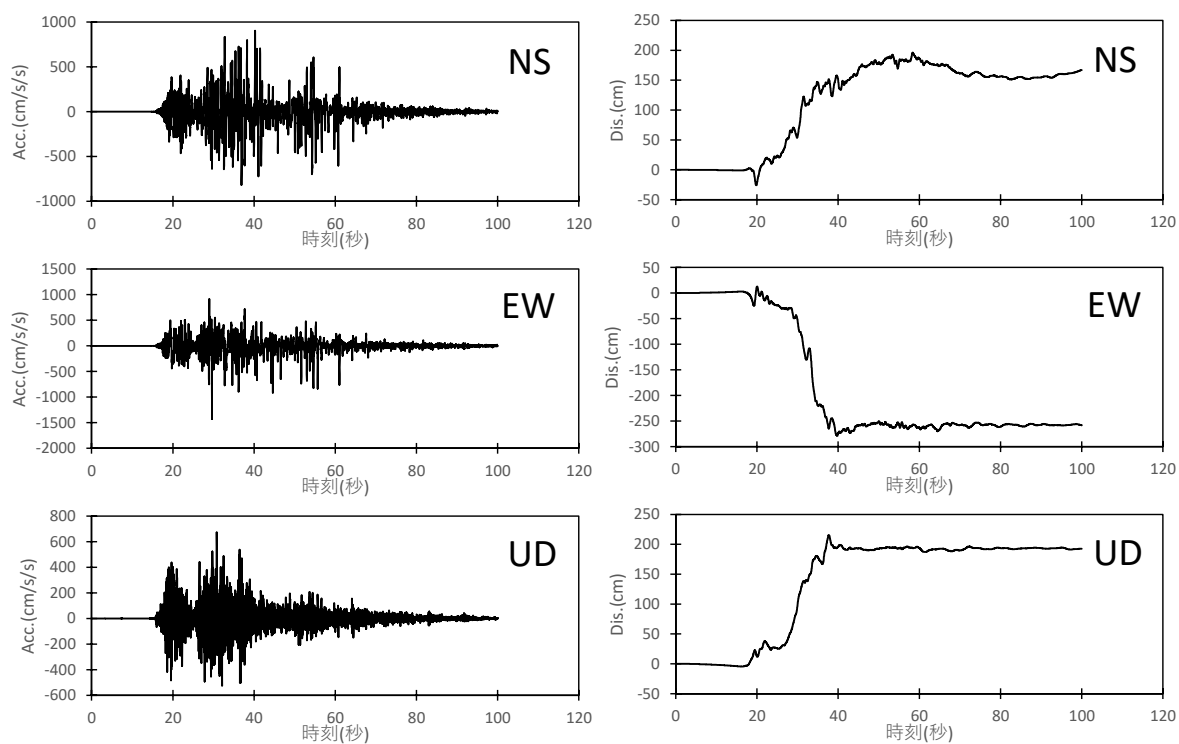


図-2.8 加速度波形および変位波形（K-NET大谷）

2.3.2 距離減衰特性

能登半島地震で観測された地震動の水平方向2成分合成の最大加速度の距離減衰特性として、観測記録の断層面から最短距離を評価した結果を図-2.9に示す。距離減衰特性を算出した観測記録は、気象庁¹⁰⁾、(国研)防災科学技術研究所¹¹⁾の記録を用いた。また、図-2.9には、既往の地震で得られた強震記録の統計解析により求めた地震動の推定式¹²⁾で得られた推定値(モーメントマグニチュード $M_w = 7.44$ ¹³⁾)を示している。なお、本震の断層は、国土地理院が公開しているモデルのパラメータ¹³⁾を用いた。

図-2.9より、本震で観測された地震動の距離減衰特性は、推定結果と全体的には調和的だが、断層面近傍では推定式を上回る記録が多く、原因は今後分析する必要がある。なお、文献¹²⁾の推定式は、適用範囲が $M_w = 4.9 \sim 6.9$ であり、断層面からの最短距離を評価に適用することに留意が必要である。

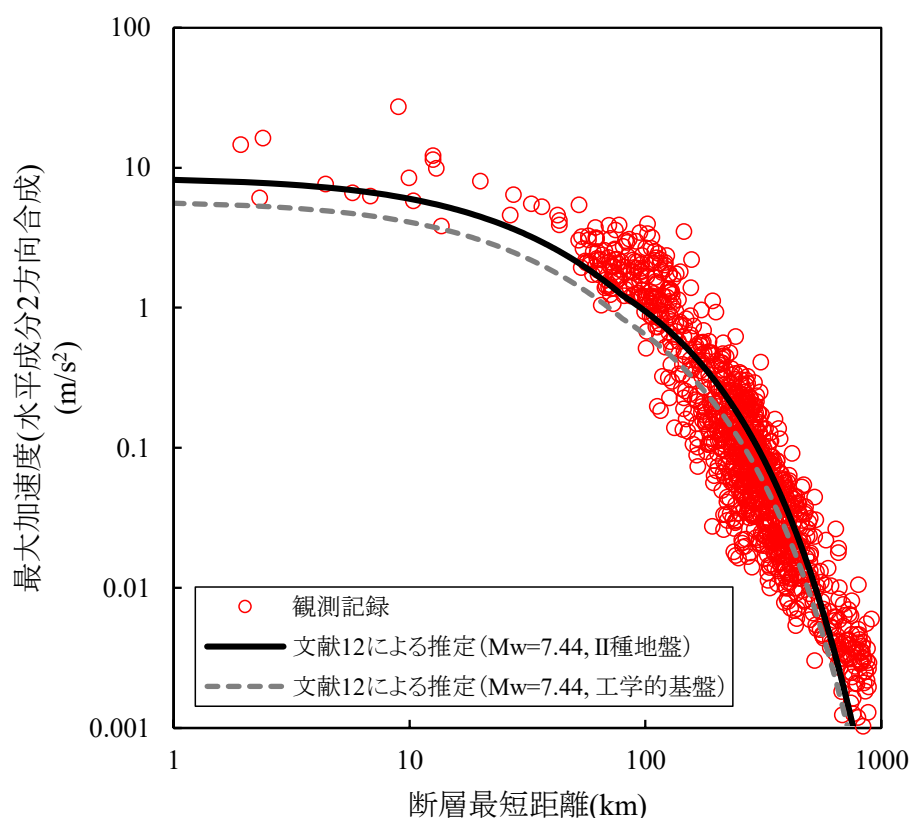


図-2.9 本震で観測された最大加速度の距離減衰特性(断層最短距離)

2.3.3 加速度応答スペクトル

能登半島の各観測点の加速度応答スペクトルを図-2.10に示す。図-2.10より、本震の地震動は、能登半島の広い範囲で観測され、道路橋の耐震照査に用いるレベル2地震動の設計スペクトル¹⁴⁾と同程度であることがわかる。また、震度7を記録した地域等では、一部の周期帯で設計スペクトルを上回ることも報告¹⁵⁾されている。なお、K-NET穴水については、過大な震度が観測される可能性が報告¹⁶⁾されていることに注意が必要である。

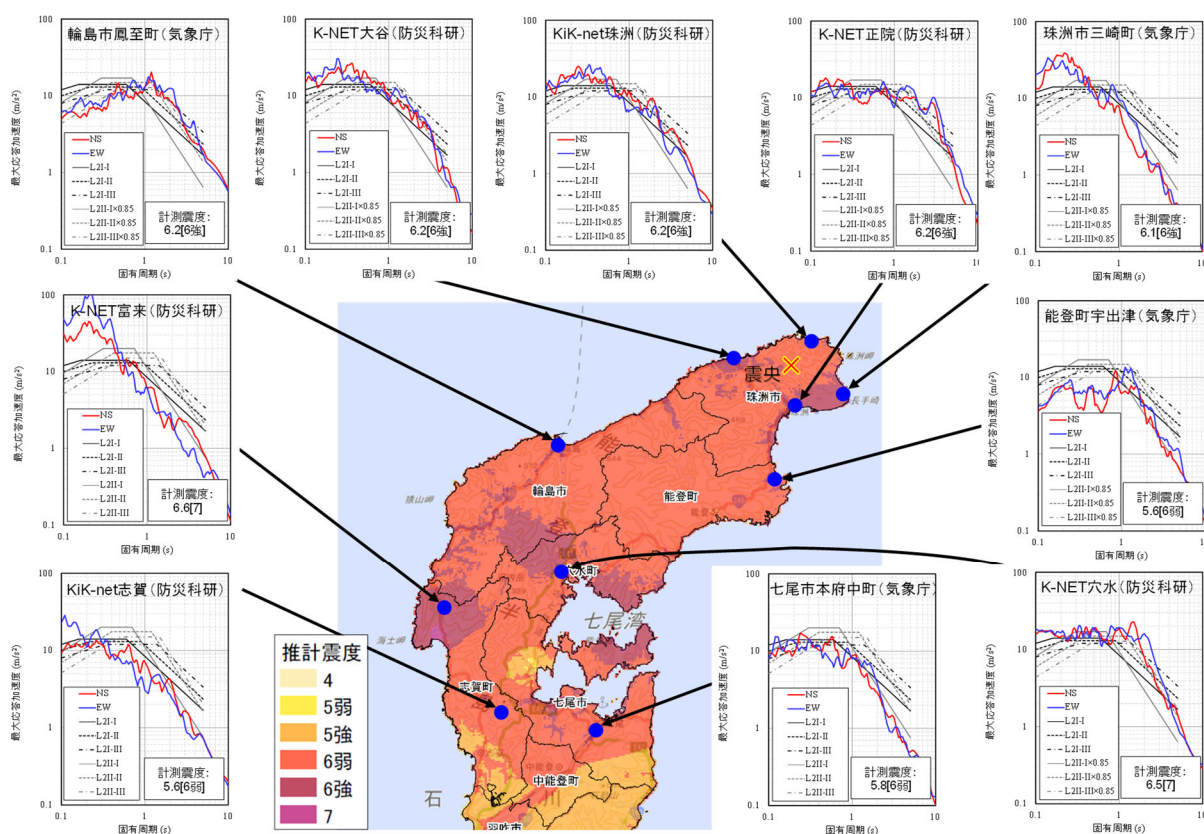


図-2.10 令和6年能登半島地震の本震で観測された加速度応答スペクトル¹³⁾

2.3.4 過去に発生した地震の特性との比較

気象庁輪島で観測された地震動の加速度応答スペクトルと兵庫県南部地震等の過去に発生した陸域を震源とする地震の代表的な観測記録の加速度応答スペクトルを比較した図を図-2.11に示す。図-2.11より、気象庁輪島の加速度応答スペクトルは、周期1秒以上で卓越しており、過去に発生した地震と全体的には同程度であるが、周期4秒以上では上回っている。

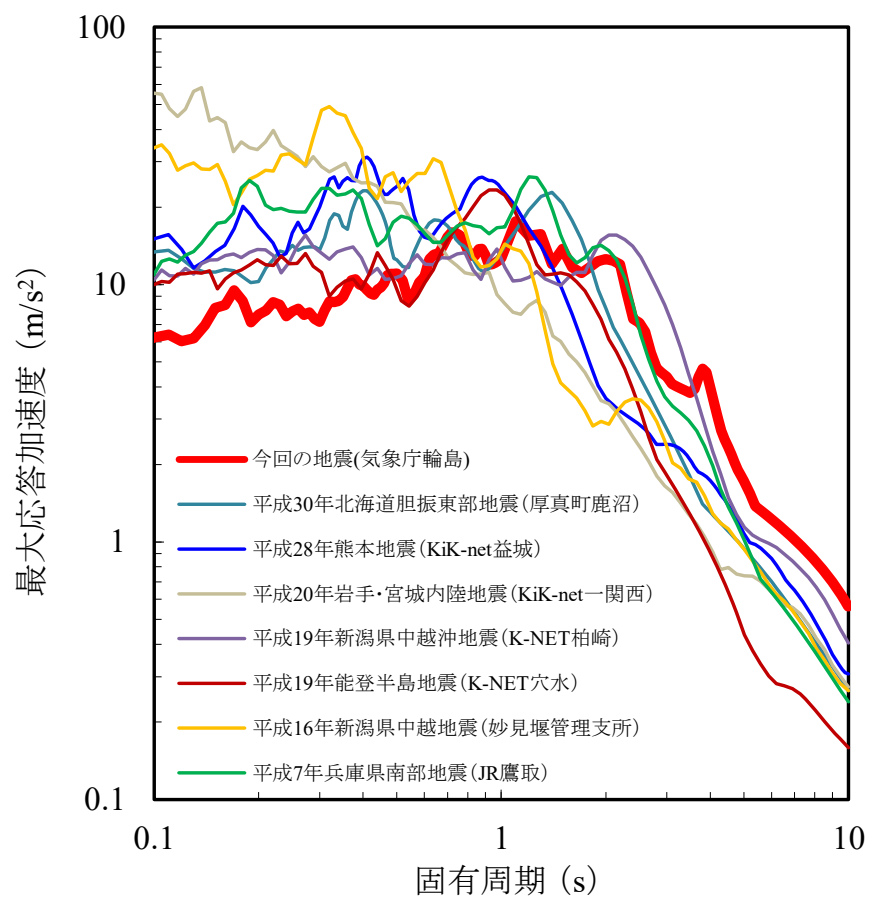


図-2.11 過去に発生した陸域を震源とする地震の加速度応答スペクトルとの比較

本震発生時に気象庁の観測点である気象庁輪島の観測波形（震度6強）を図-2.12に示し、平成7年（1995年）兵庫県南部地震における神戸海洋気象台の観測波形（震度6強）を図-2.13に示す。両者とも震源断層近傍の観測点であり、図-2.13では10秒間程度大きな振幅が確認できるが、図-2.12では40秒間程度連続して大きな振幅が観測されている。本震で観測された地震動は、兵庫県南部地震の地震動と比較して継続時間が長いことがわかる。

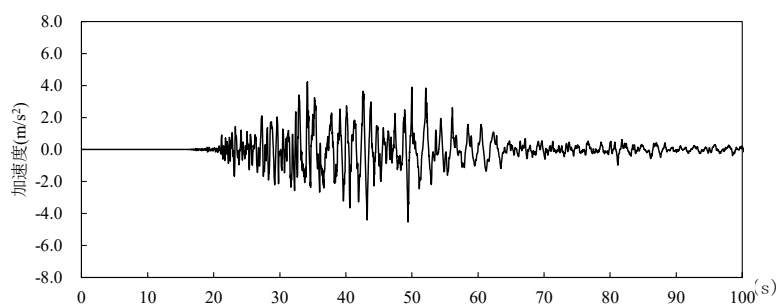


図-2.12 令和6年能登半島地震の本震の観測波形（気象庁輪島）

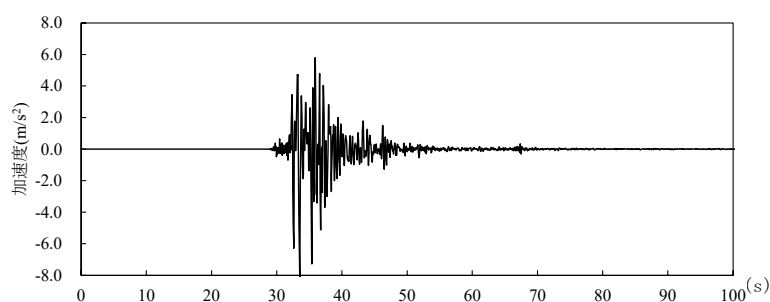


図-2.13 兵庫県南部地震の観測波形（神戸海洋気象台）

2.4 国土交通省の地震観測

2.4.1 地震観測状況

国土交通省では、所管施設の管理や耐震設計法の高度化等を目的として、土木構造物の挙動などを観測するための強震観測を全国の多数の地点で実施している。河川施設及び道路施設を対象とした観測は、約90地点で行っている。本震では、そのうちの8地点が震度5弱以上のエリアに存在し、地震記録が観測された。図-2.1に加筆した地震観測施設を図-2.14に示す。

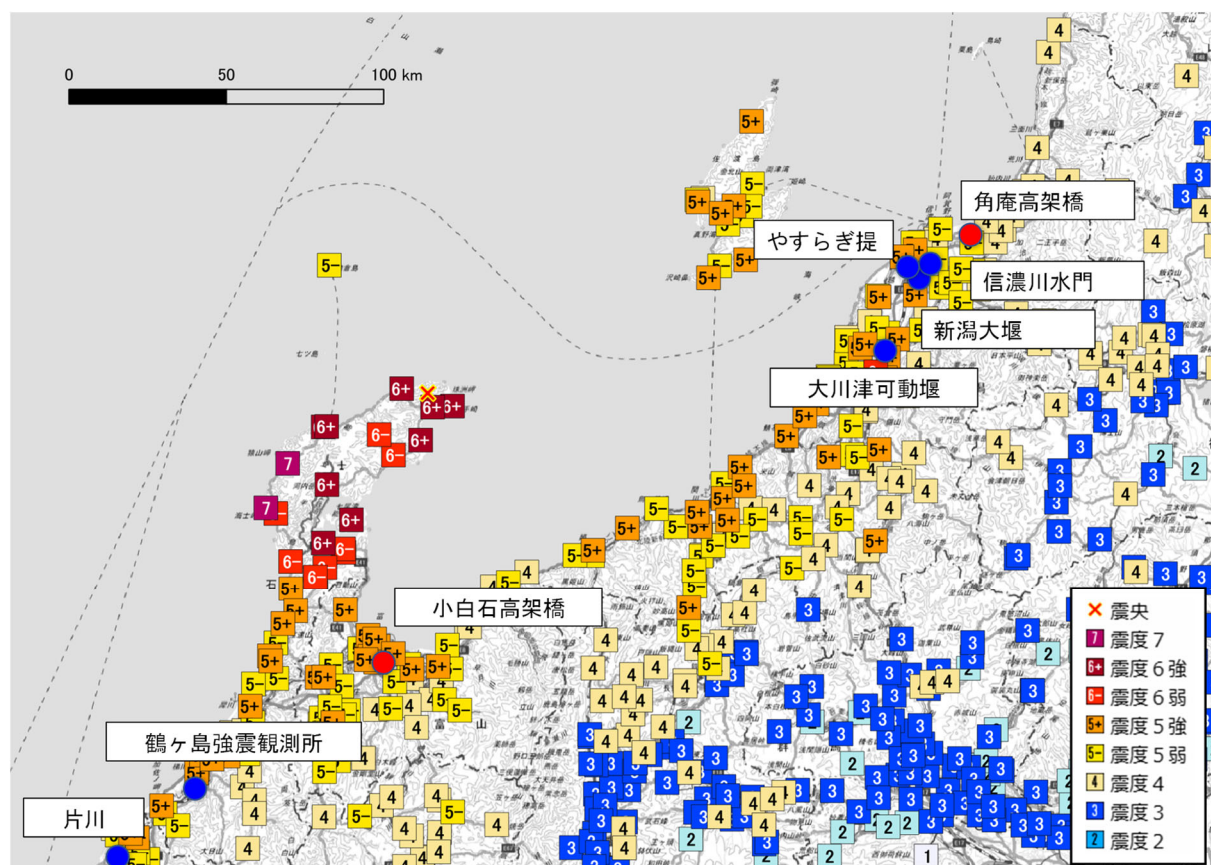


図-2.14 能登半島地震の震源付近の地震観測点

2.4.2 観測された地震記録の例

本稿では、震度5強を観測した地域に位置する信濃川水門で観測された強震記録を紹介する。対象とする地震観測位置を図-2.15に示す。本研究の対象は、信濃川の下流に位置し、右岸側にある水門とその付近の地盤で地震観測をしている。なお、この観測の対岸である信濃川下流の左岸側では、地盤の液状化が発生していることが報告されている¹⁷⁾。

また、鉛直アレー観測は、地表面と工学的基盤である地中位置に地震計を設置している。地震計は、近くにある水門に合わせ、水門の横断方向および縦断方向の2成分と鉛直方向の合計3成分で観測している。地表と地中に設置された地震計の位置は100m程度離れている。また、近傍には、地盤調査がされており、地盤データはKuniJibanで公開¹⁸⁾されており、図-2.15には、N値の分布を示している。なお、地震計は地表面とN値50程度の工

学的基盤相当の地中に設置されている。

地盤調査結果より、既往の算出式¹⁴⁾より対象地盤の固有振動数を算出した結果を表-2.1に示す。対象地盤の固有振動数は、概ね2.18Hzである。

また、地表と地中で観測された記録を図-2.16に示す。観測された地震記録は、地表位置で概ね 1.5m/s^2 程度の最大加速度を示し、主要動と考えられる揺れが40秒程度観測されている。この観測記録の分析結果は、文献19)を参照されたい。

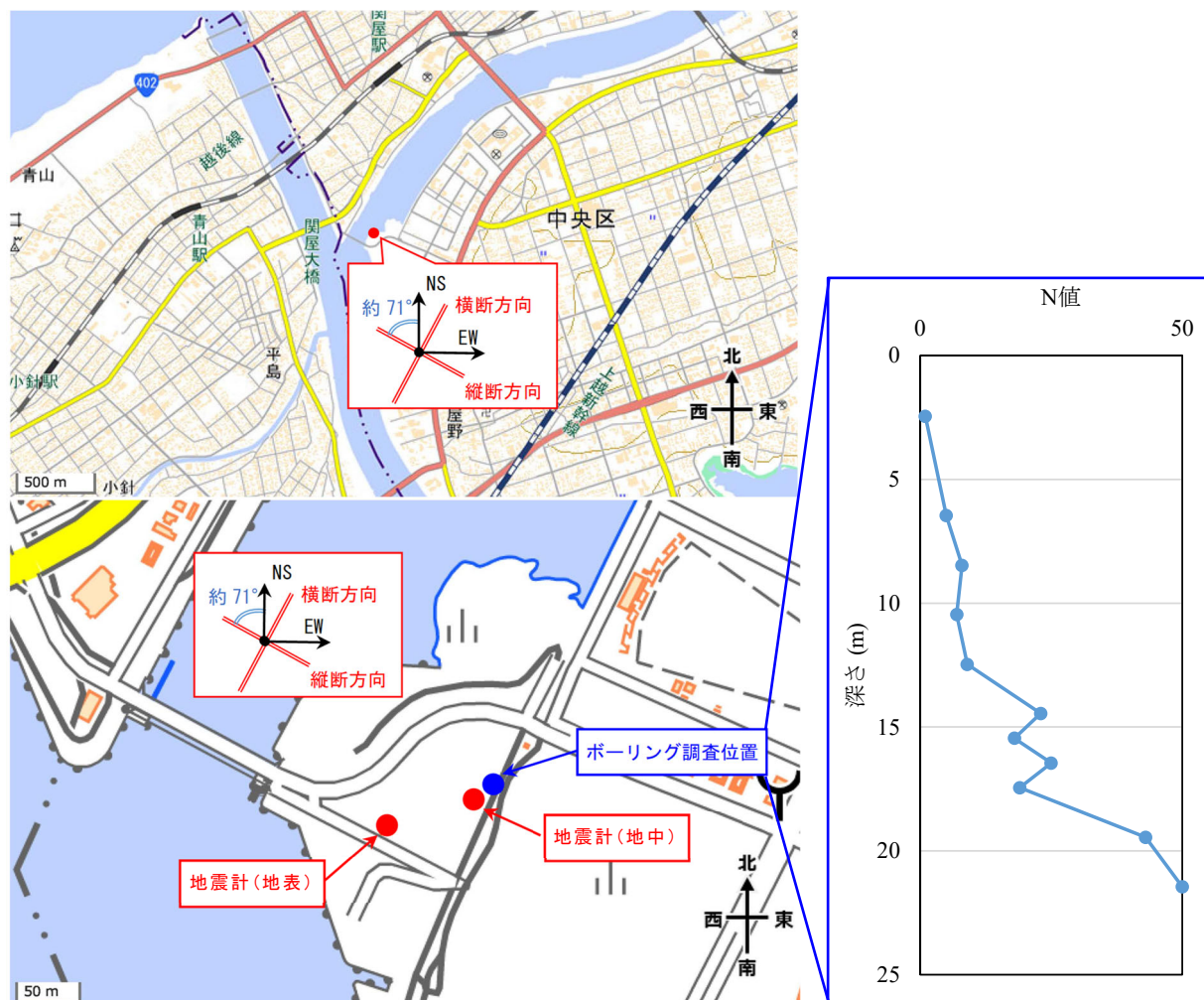


図-2.15 地震計の位置関係と地質調査結果（地理院地図に加筆）

表-2.1 地盤の構造と固有振動数

深度	層厚	土質	N値	Vs換算	Hi/Vi
0.70	0.70	シルト	8	200	0.01
4.20	3.50	砂	8	160	0.09
5.00	0.80	シルト	8	200	0.02
14.70	9.70	砂	8	160	0.24
15.10	0.40	シルト	18	262	0.01
21.45	6.35	砂	38	270	0.09
-	-	工学的基盤	-	300	-

計 0.46 s
固有振動数 2.18 Hz

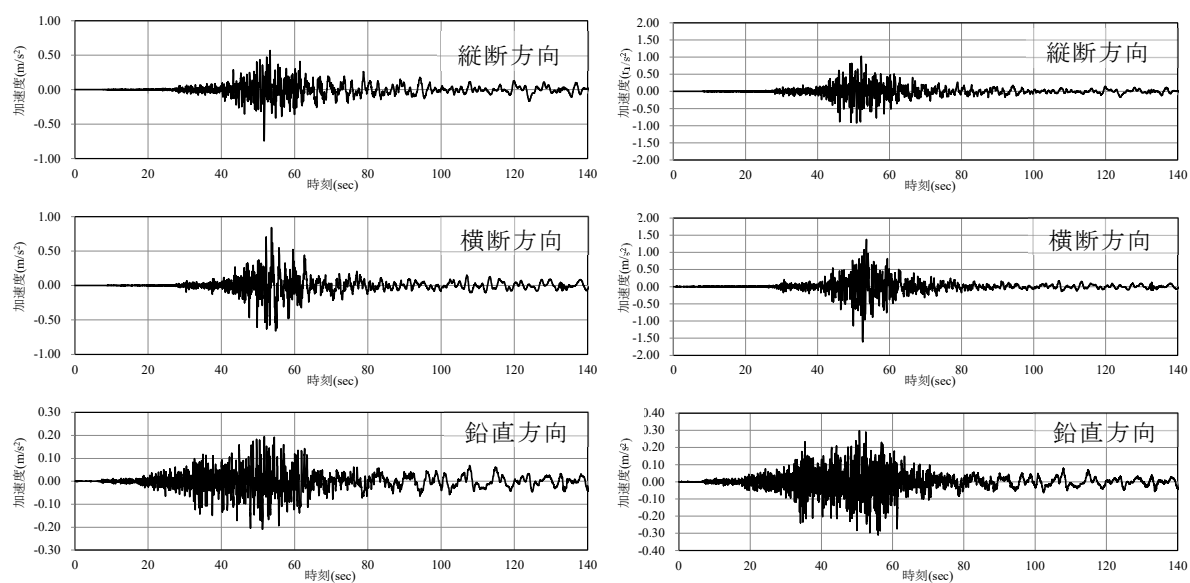


図-2.16 観測記録（左：地中、右：地表）

2.5 スペクトル分析情報

国土技術政策総合研究所では、国土交通省内の災害対応従事者の初動対応を支援するため、地震発生直後の情報空白期に構造物被害の規模感を把握する情報として、スペクトル分析情報の配信を平成29年度より実施している²⁰⁾。スペクトル分析情報は、当該地震で観測された波形の加速度応答スペクトルと、過去の地震での被害経験をもとに設定した目安（以下「被害発生ライン」という）²⁰⁾との関係より、構造物への地震の影響を推定するものである。現在は、国土交通省の災害対応従事者に対して地震発生後約8分を目標に、自動で配信をしている。スペクトル分析情報の詳細は参考文献²⁰⁾を参照されたい。

令和6年能登半島地震の本震のスペクトル分析情報を図-2.17に示す。図-2.17では、多くの観測点で被害発生ライン²⁰⁾を超える地震動が観測されたことで、甚大な被害が生じていることが推定された。これは、インフラや建築構造物に被害を与えた今回の状況と概ね整合していると考えられる。また、配信の遅延や観測点の一部欠落はあったものの、本震発生から約24分後に自動配信した。地震後に実施したスペクトル分析情報のアンケート結果では、地震の規模感の把握に役立ったという意見もあり、地震対応に活用された。

また、図-2.17に示したような従来配信している情報は、能登半島地震のような広い地域で揺れを観測した場合、加速度応答スペクトルと地図上の観測点の関係が読み取れないなど課題があった。そこで、利用者が確認したい任意の観測点の情報をウェブ画面上で強調表示できるなどシステム改良を行っている（図-2.18）。

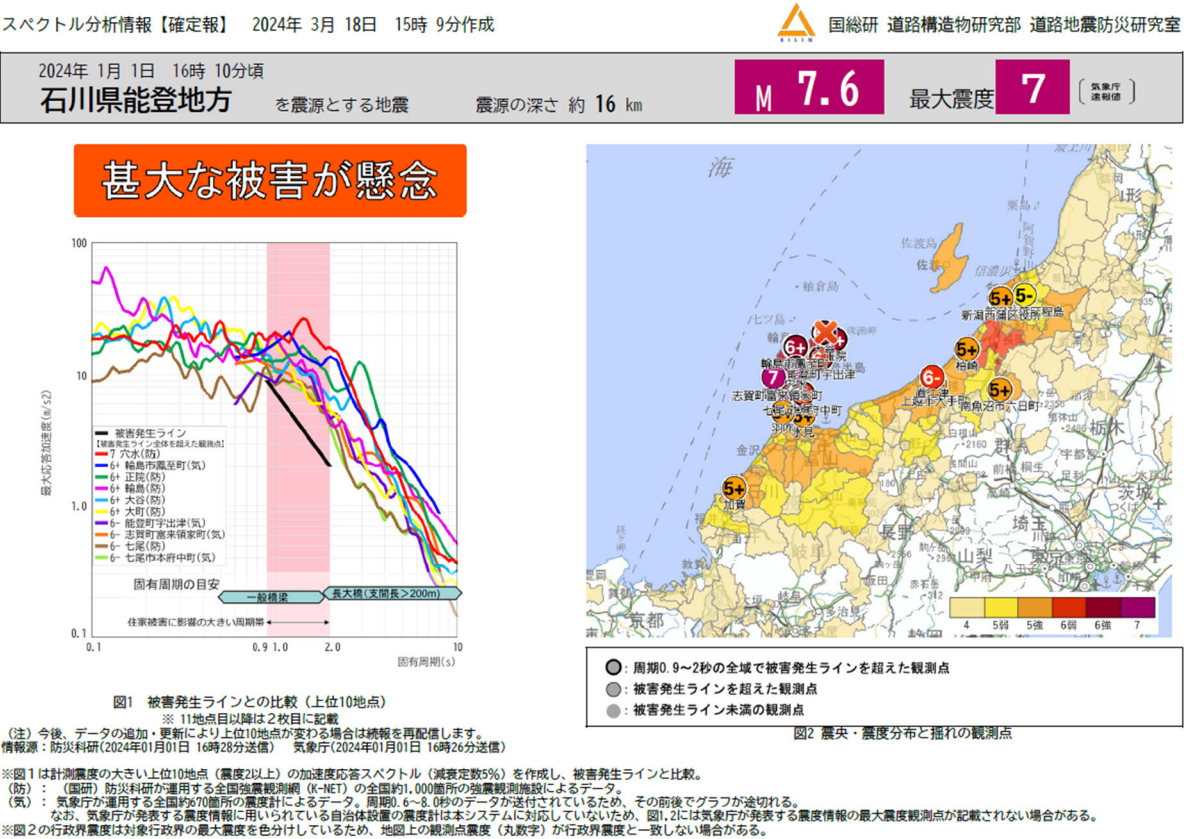
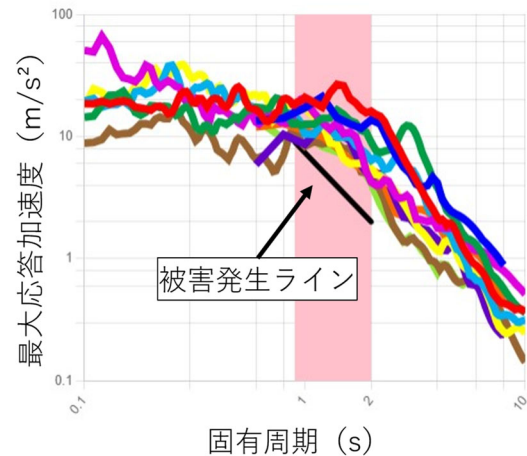


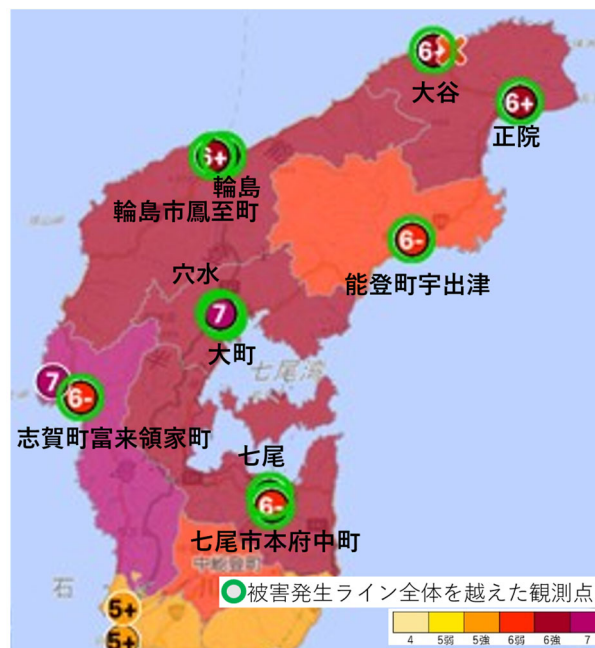
図-2.17 能登半島地震のスペクトル分析情報

凡例	観測点名称	情報種別	震度
☑	穴水	K-NET	7
☑	輪島市鳳至町	気象庁	6強
☑	正院	K-NET	6強
☑	輪島	K-NET	6強
☑	大谷	K-NET	6強
☑	大町	K-NET	6強
☑	能登町宇出津	気象庁	6弱
☑	志賀町富来領家町	気象庁	6弱
☑	七尾	K-NET	6弱
☑	七尾市本府中町	気象庁	6弱

a) 観測点一覧



b) 被害発生ラインとの比較



c) 観測点位置図（強調表示）

図-2.18 ウェブ画面で表示できる令和6年能登半島地震の本震の
スペクトル分析情報の抜粋

2.6 まとめ

令和6年能登半島地震では、複数の地点で強い地震動が観測された。引き続き、観測された地震動の構造物への影響等の分析を進める予定である。

なお、距離減衰特性の断層面近傍における推定値の超過やスペクトル分析情報配信の遅延・観測点の欠落などが見られた。これらを踏まえ、今後は推定式の改良およびスペクトル情報の安定配信といった、今回の地震で発見された新たな課題に取り組む。

参考文献

- 1) 気象庁：災害時地震・津波報告 令和6年能登半島地震、2024. 9. 9.
- 2) 気象庁：令和6年1月1日16時10分頃の石川県能登地方の地震について（第2報）、2024. 1. 1.
- 3) 地震調査研究推進本部：令和6年能登半島地震の評価、2024. 2. 9.
- 4) 気象庁ウェブサイト：震度データベース、<https://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.html#20240101161022>（2024年4月30日閲覧）
- 5) 国土交通省ウェブサイト：令和6年能登半島地震における被害と対応（令和7年1月）、https://www.mlit.go.jp/saigai/saigai_240101.html（2025年3月19日閲覧）
- 6) 気象庁：「令和6年能登半島地震」における気象庁機動調査班（JMA-MOT）による津波に関する現地調査の結果について、2024. 1. 26.
- 7) 国土地理院ウェブサイト：令和6年（2024年）能登半島地震に関する情報、https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/20240101_noto_earthquake.html（2024年5月13日閲覧）
- 8) 国土地理院ウェブサイト：「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年1月19日更新）、https://www.gsi.go.jp/uchusokuchi/20240101noto_insar.html（2024年5月13日閲覧）
- 9) 京都大学防災研究所：令和6年能登半島地震の強震動特性の補足資料、<https://sms.dpri.kyoto-u.ac.jp/eq20240101.html>（2024年5月13日閲覧）
- 10) 気象庁ウェブサイト：強震観測データ、<https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/kyoshin/jishin/index.html>（2024年4月30日閲覧）
- 11) (国研) 防災科学技術研究所ウェブサイト：強震観測網（K-NET、KiK-net）、<https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/quake/>（2024年4月30日閲覧）
- 12) 片岡正次郎、佐藤智美、松本俊輔、日下部毅明：短周期レベルをパラメータとした地震動強さの距離減衰式、土木学会論文集A、Vol. 62、No. 4、pp. 740~757、2006.
- 13) 国土地理院：2024年1月1日 令和6年能登半島地震の震源断層モデル（短形断層）、2024. 2. 29.
- 14) (公社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編、2017.
- 15) 国土交通省：社会資本整備審議会道路分科会第22回道路技術小委員会配布資料、2024. 3. 26.
- 16) 気象庁ウェブサイト：地方公共団体及び（独）防災科学技術研究所震度計の設置環境調査結果について、https://www.jma.go.jp/jma/press/1003/30b/sindokei_hyouka_20100330.htm（2024年10月22日閲覧）
- 17) 新潟大学災害・復興科学研究所：2024年能登半島地震による新潟市域の液状化被害、2024年6月24日.
- 18) (国研) 土木研究所：国土地盤情報検索サイト「kunjiban」、<http://www.kunjiban.pwri.go.jp>（2024年7月29日閲覧）
- 19) 石井洋輔、上仙靖：令和6年能登半島地震で観測された鉛直アレー記録における地盤の液状化の影響、第44回地震工学研究発表会講演論文集、2024.
- 20) 片岡正次郎、大道一步、石井洋輔、青井真、中村洋光、鈴木亘：地震動のスペクトル分析情報の自動配信とその改良、土木技術資料、第62巻、第5号、pp. 8~11、2020.