

新潟県中越地域における表層地盤特性に着目した地震動特性の検討

長岡技術科学大学 大学院 非会員 ○西尾 陽丸
長岡技術科学大学 正会員 池田 隆明
長岡技術科学大学 正会員 志賀 正崇

1. はじめに

日本は世界的に見ても地震発生が非常に多い国である。近年でも多くの人的・物的被害をもたらす地震が発生しており、その被害原因の解明は災害軽減において非常に重要である。2024年1月1日に発生した能登半島北東部を震源とした M7.6 の地震（以下、本地震と呼ぶ）においても震源付近である石川県内でも斜面崩壊や液状化が発生し、多大なる被害をもたらした。震度に着目すると最大震度 7 が輪島市門前町走出と志賀町香能で観測するとともに、震度 6 強も県内 9 地点で観測された。新潟県内においても新潟市内の旧河道や砂丘の麓を中心に液状化が発生するなど道路や家屋などに対して大きな被害が発生し、最大震度 6 弱、震度 5 強を 31 地点で観測した。本研究では、表層地盤の増幅特性などに着目し、本地震における新潟県中越地域の地震動特性について考察する。

2. 震度分布

図 2-1 に本地震における新潟県及び周辺の震度分布を示す。新潟県内最大震度 6 弱（計測震度 5.5）を観測した地点は長岡市北部に位置する

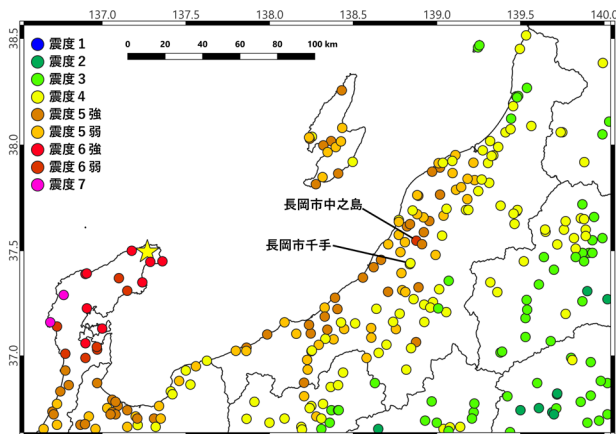


図 2-1 2024 年能登半島地震における新潟県及び周辺の震度分布

中之島である。県内の震度分布に着目すると概ね距離減衰特性に応じた分布をしているが、震度 6 弱を観測した中之島と震源距離がほぼ同じであり、中之島から約 12km 離れた地点にある長岡市千手では震度 4 を観測しており、距離減衰特性のみではこの差を説明することは難しい。地表面の地震動は震源特性、伝播経路特性、サイト特性（表層地盤の増幅特性）の影響を受けるが、その中でもサイト特性の影響が大きいことが知られている。そのため、図 2-2 に震度と表層地盤の増幅特性（以降 ARV^{3) 4)}）との関係を示す。中之島と長岡市千手の ARV を比較すると、それぞれ 2.18 と 1.29 でありこの差が主な原因となって震度の差が表れたと考えられる。図 2-3 に新潟県内で震度 5 強が計測された 31 地点の震央距離と ARV の関係を示す。震央距離は新潟県に近く影響の大きいと考えられる F4²⁾ の中心からの距離とした。全体的に震央距離が大きくなるに従い ARV も大きくなる傾向を示しているが、薄い赤色で示している範囲の震央距離が 100km 以上で ARV が 1.0 前後の 5 地点（長岡市小国町、妙高市田口、長岡市山古志、南魚沼市六日町、阿賀町鹿瀬）については ARV と震央距離に相関

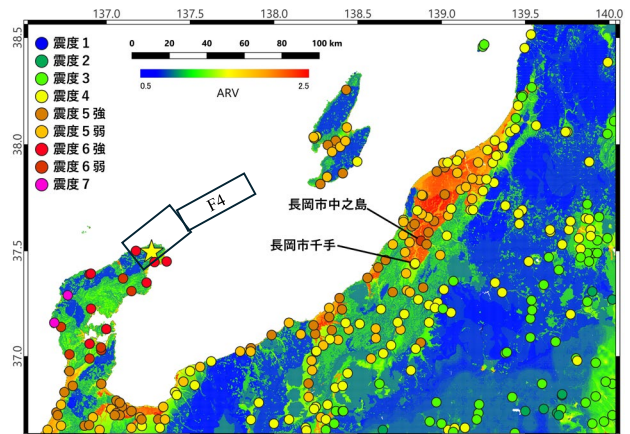


図 2-2 2024 年能登半島地震における震度分布と表層地盤の増幅特性 (ARV)

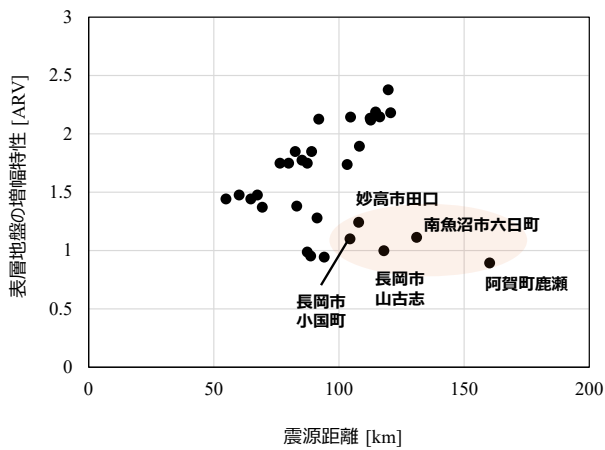


図 2-3 新潟県内で震度 5 強が観測された地点の震央距離と ARV の関係

が見られないため、現地調査などから ARV を評価するとともに、震度が大きく表れた理由について他の要因を含めた検討が必要である。

3. 各地点の地震動特性

震度 6 弱を観測した中之島の地震動記録に着目する。図 3-1 に中之島の、図 3-2 に長岡市千手の時刻歴波形（加速度・速度）と加速度応答スペクトル（ $h=5\%$ ）を示す。2 地点の波形を比較すると、長岡市千手の加速度波形は紡錘状の包絡形状を有しているのに対し、中之島では S 波到

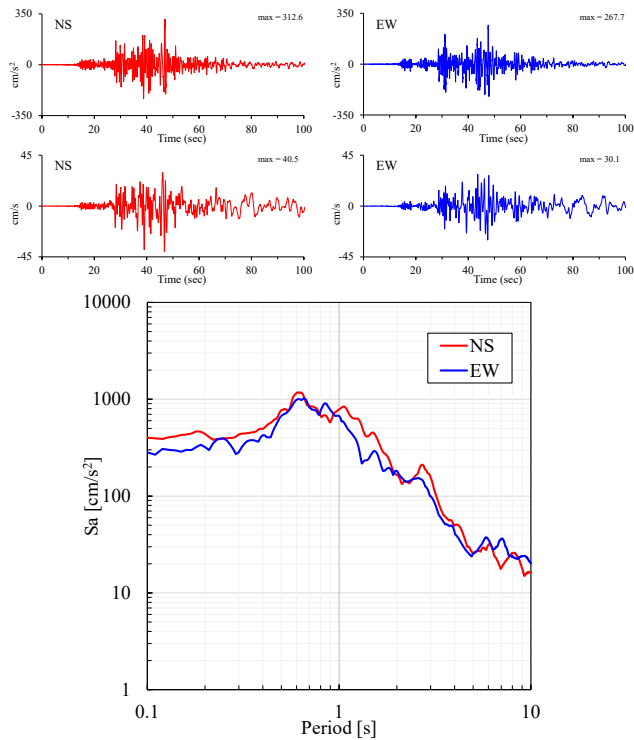


図 3-1 中之島の時刻歴波形と加速度応答スペクトル($h=5\%$)

達直後に振幅が急激に増加していることが確認された。加速度応答スペクトルの概形にも違いが見られ、中之島では周期約 0.5 秒～1 秒において応答が顕著でありその後は減少していつている。それに対し長岡市千手では短周期（約 0.2 秒付近）にピークがあるが、中之島のピークに比べ顕著な応答とはなっていない。それぞれの観測点の表層地盤に着目すると、せん断速度は長岡市千手では 100 m/s、中之島の観測点周辺では 110m/s 程度と軟弱であるが、長岡市千手では深度 3m 程度までが軟弱層となっているのに対し、中之島では 18m 程度と厚く堆積しているため、非線形性の影響が強く表れていると考えられる。

4. 表層地盤の影響の検討

表層地盤による影響を比較するため、中之島と長岡市千手を対象に地震応答解析を行い、耐震設計上の基盤面（工学的基盤）における波形を推定し検討を行う。地震応答解析は等価線形解析（Dyneq）を使用した。長岡市千手は防災科学技術研究所設置の観測点（K-NET 長岡）であるため地盤調査結果が公開されている⁵⁾が、中之島は地方自治体設置の観測点であるため地盤調

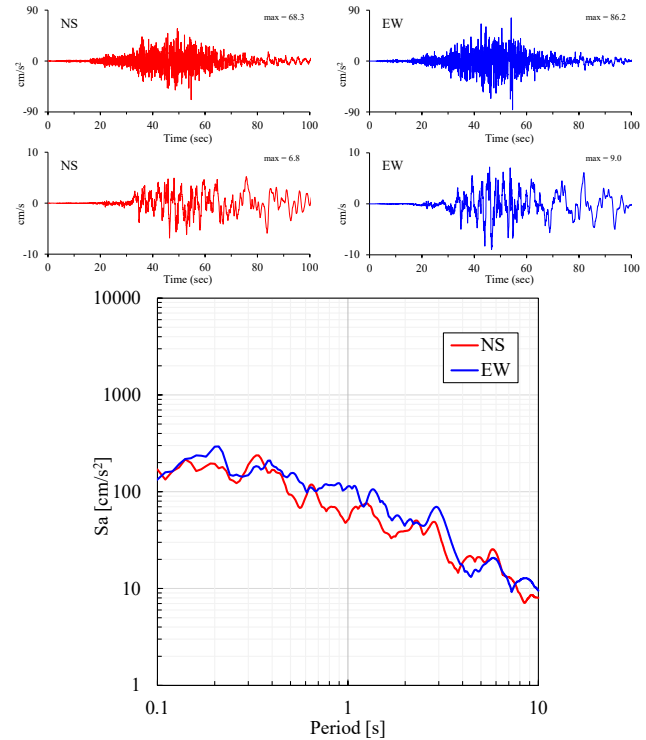


図 3-2 長岡市千手 (K-NET 長岡) の時刻歴波形と加速度応答スペクトル($h=5\%$)

表 4-1 長岡市千手の地盤モデル

No	土質	層厚 (m)	せん断波速度 V_s (m/s)	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)
1	粘性土	3.0	100	16.0
	工学的基盤	-	400	19.0

表 4-2 中之島の推定地盤モデル

No	土質	層厚 (m)	せん断波速度 V_s (m/s)	単位体積重量 γ_t (kN/m ³)
1	粘性土	2.1	100	14.0
2	砂質土	2.5	110	17.0
3	粘性土	2.2	160	14.0
4	砂質土	3.1	150	17.0
5	砂質土	6.1	250	19.0
6	粘性土	0.9	190	14.0
7	砂質土	1.6	250	19.0
	工学的基盤	-	400	19.0

査結果が存在しない。そのためほくりく地盤情報システム⁶⁾で公開されている付近の調査結果を参考にして地震応答解析に使用する地盤モデルを作成した。それぞれの観測点における作成した地盤モデルを表 4-1、表 4-2 に示す。中之島の調査では PS 検層が行われていないため、道路橋示方書に記載の推定式(1)を使用し求めた⁷⁾。

$$\text{粘性土} : V_s = 100N^{1/3} \quad (1-a)$$

$$\text{砂質土} : V_s = 80N^{1/3} \quad (1-b)$$

また、単位体積重量、動的変形特性についても試験結果がないため、単位体積重量は道路橋示方書記載の一般値⁷⁾を、動的変形特性については建築物の構造関係技術基準解説書の一般値⁸⁾を用いた。

5. 検討結果

地震応答解析を行った結果を用いて、加速度応答スペクトルの比較を行う。長岡市千手の比較を図 5-1 に、中之島での比較を図 5-2 に示す。各図は表層地盤の増幅が視認しやすいよう NS、EW それぞれ別のグラフとし、表層と基盤面両方

の加速度応答スペクトルをプロットした。長岡市千手の結果に着目すると周期 0.6 秒ほどまで増幅が確認され、それ以上の周期では基盤と地表の応答がほぼ一致している。一方、中之島の結果では、長周期域での応答は同様に一致しているが、増幅が確認される周期が約 1 秒までと、長岡市千手に比べ長周期側にわたってのスペクトルの増幅が続いている。また、中之島では長岡市千手に比べて全体的にスペクトルの増幅が大きく、特に長周期でも増幅も確認される。これは、中之島において表層地盤が厚いため、地震動の長周期成分に対する影響が顕著に表れたと考えられる。

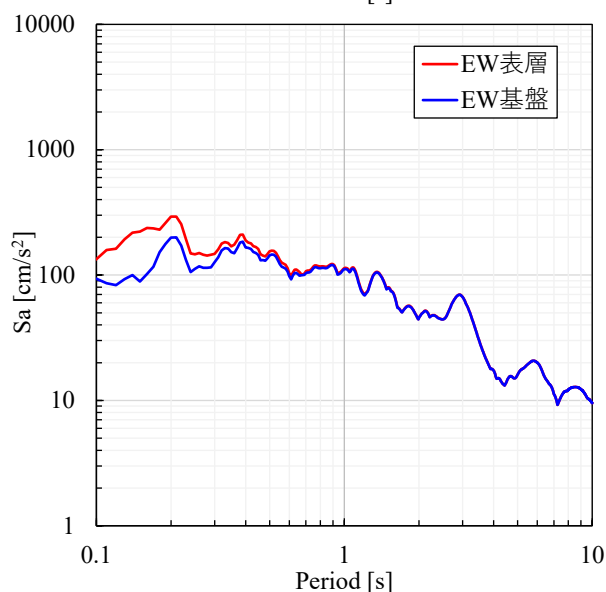
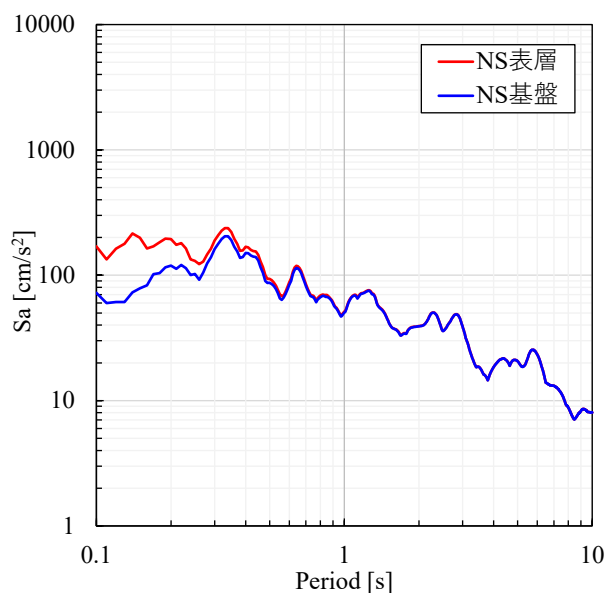


図 5-1 長岡市千手の表層と基盤における加速度応答スペクトル(h=5%)

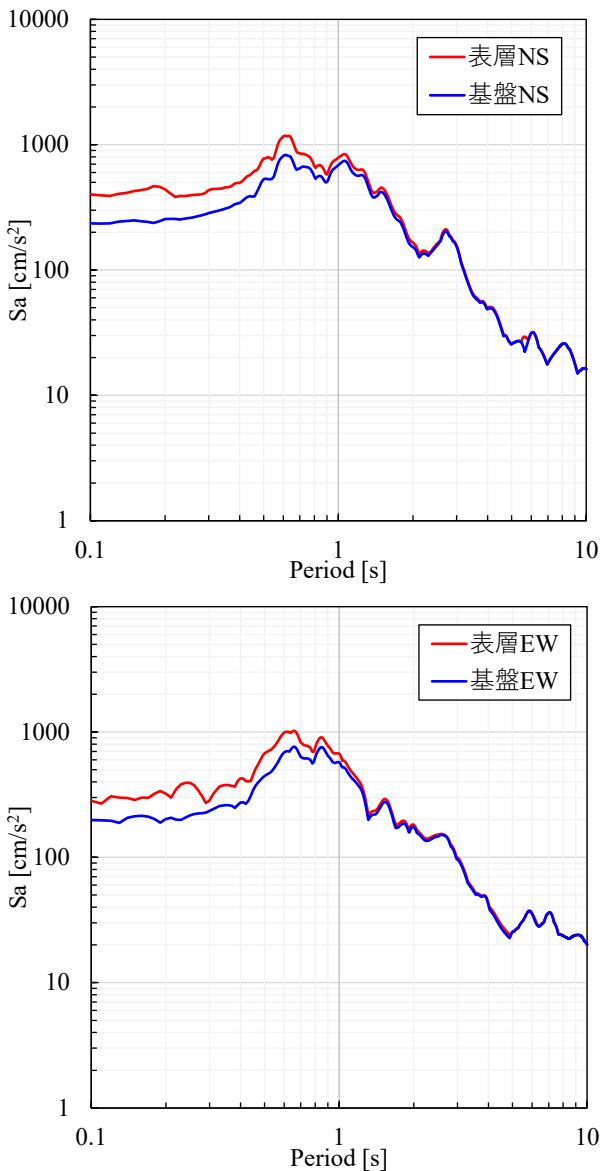


図 5-2 中之島の表層と基盤における
加速度応答スペクトル(h=5%)

6. まとめ

新潟県中越地域においては、震源からの距離・方位がほぼ同程度であるにも関わらず、震度階が 3 階級異なる地点が存在した。本研究では表層地盤の増幅特性に着目し、当該地域において地震応答解析を用いた検討を試みた。その結果、表層地盤の厚い中之島では長岡市千手に比べて増幅が顕著であることが確認された。

今後、常時微動観測などの現地調査による表層地盤の増幅特性の評価を行い、地震動特性の詳細検討を行う予定である。

謝辞

本研究では、ほくりく地盤情報システムの地盤情報、地震応答解析プログラム Dyneq、防災科学技術研究所・気象庁が公開している強震観測データを使用させていただきました。

【参考文献】

- 1) 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>（2024年9月24日閲覧）
- 2) 京都大学防災研究所地震動研究分野：強震波形記録による令和6年能登半島地震の震源過程（暫定），https://sms.dpri.kyoto-u.ac.jp/topics/2024noto_source_20240115.pdf（2024年9月24日閲覧）
- 3) 若松加寿江・松岡昌志(2013)：全国統一基準による地形・地盤分類 250m メッシュマップの構築とその利用，地震工学会誌 No.18, pp.35-38.
- 4) 防災科学技術研究所：地震ハザードステーション J-SHIS, <https://www.j-shis.bosai.go.jp> (2024年9月25日閲覧)
- 5) 防災科学技術研究所：強震観測網（K-NET, KiK-net），<https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>（2024年9月25日閲覧）
- 6) 北陸地盤情報活用協議会：ほくりく地盤情報システム，<https://www.hokuriku-jiban.info/>（2024年9月25日閲覧）
- 7) （社）日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編, 2017年11月
- 8) 国土交通省国土技術政策総合研究所，建築研究所：建築物の構造関係技術基準解説書，2007年8月
- 9) 吉田望：DYNEQ A computer program for DYNAMIC response analysis of level ground by EQUIVALENT linear method, Version 4.01 2021, 関東学院大学