

地震応答解析を用いた表層地盤の強震時挙動評価

長岡技術科学大学 大学院 学生会員 ○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

日本は世界的にも地震発生頻度が極めて高い地域であり、近年でも多数の人的・物的被害を伴う地震が発生している。これらの被害要因を解明することは、災害軽減の観点から重要な課題である。地表面の地震動は震源特性、伝播経路特性、およびサイト特性の影響を受けるが、この中でもサイト特性の影響が大きいことが広く認識されている。したがって、構造物の耐震設計における動的解析や地盤の液状化判定に際しては、サイト特有の地震応答特性を適切に考慮する必要がある。このため、工学的基盤（耐震設計上の基盤面）より浅部の地盤をモデル化し、工学的基盤面に地震波を入力する一次元の地盤の地震応答解析が行われることが多い。地震応答解析に用いる地盤モデルは、通常、ボーリング調査などの現地調査結果に基づいて構築されるが、既往調査データが不十分な場合には解析精度に大きな影響を及ぼす可能性がある。

そこで本研究では、既往調査データが限られている条件下においてサイト特性を評価する際に表層地盤の範囲を定義する上で必要となる工学的基盤深度について、既往の地盤調査データに加え、強震観測記録を用いた推定手法についてその適用性について検討する。

2. 推定手法

本研究では、工学的基盤深度の推定手法として以下に示す2種類の比率を用いた。

- 1) 近隣に位置する2地点の同一地震記録に基づくフリエスペクトル比
- 2) 工学的基盤から地表までの地震波の線形増幅を表す伝達関数の比

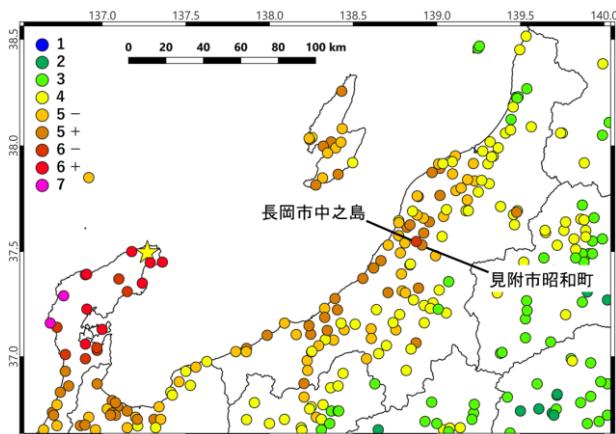


図-1 2024年能登半島地震における新潟県および周辺の震度分布

これら2種類の比率におけるピーク振動数が一致するように地盤モデルを構築することで、工学的基盤深度を推定した。また、この手法は以下の仮定に基づく。ある同一地震に対する地点A及び地点Bの観測記録を考えると、振動数領域における地表での観測記録 $R(f)$ は、震源特性 $O(f)$ 、伝播経路特性 $P(f)$ 、サイト特性 $G(f)$ から、以下の式で表される、

$$\text{地点A: } R_A(f) = O_A(f) \times P_A(f) \times G_A(f)$$

$$\text{地点B: } R_B(f) = O_B(f) \times P_B(f) \times G_B(f)$$

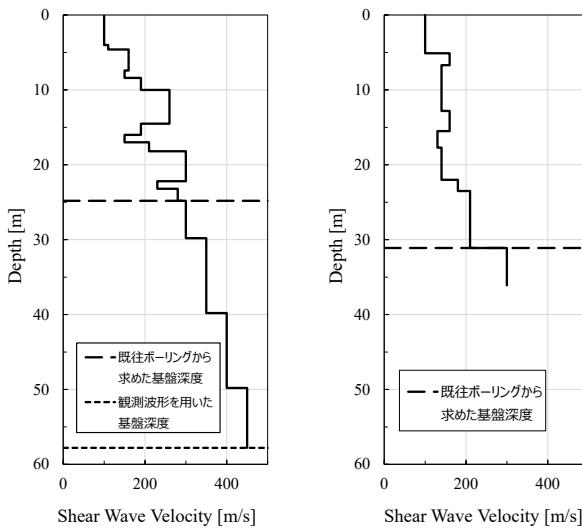
震源から見て地点A,Bの距離・方向がほぼ等しい場合、両地点における震源特性及び伝播経路特性を同一であると仮定できる。この場合、両地点の地表での観測記録の比はサイト特性の比として表すことができる。つまり、2地点のフリエスペクトル比はサイト特性の差異を反映したものとなる。そこで本研究では、サイト特性を各地点の伝達関数で表現することでフリエスペクトル比と伝達関数比の比較を行った。

3. 対象地点

本研究ではケーススタディとして、2024年能登半島地震において新潟県内で最大震度6弱を観測した長岡市中之島（図-1）を対象として基盤深度の推定を行った。また、比較対象として同地点に最も近い強震観測点である見附市昭和町を用いた。両観測点間の距離は約3.5kmである。両地点はいずれも地方自治体によって設置された強震観測点であるため、直下の既往地盤調査結果が存在しない。このため、ほくりく地盤情報システム¹⁾で公開されている周辺のボーリング調査結果を参照して地盤モデルを作成した。作成した地盤モデルは図-2に示す。本モデルにおける工学的基盤深度は、長岡市中之島では図内緑色の線で示した約25m、見附市昭和町は約31mである。

4. 結果及び考察

観測波形を用いた手法により、長岡市中之島の工学的基盤深度は約58mと推定された。推定に用いた地盤モデルのせん断波構造を図-2に示す。また、このモデルから算出した長岡市中之島と見附市昭和町における伝達関数比と、2024年能登半島地震の観測波形から得られたフリエスペクトル比を比較した結果を図-3に示す。どちらの比も長岡市中之島を分子、見附市昭和町を分母として算出した。2つの伝達関数比を比



a) 長岡市中之島

b) 見附市昭和町

図-2 各地点で構築した推定地盤モデル

較した結果、工学的基盤深度をより深部に設定することで約 2.3 Hz であった長岡市中之島における伝達関数のピークが約 1.5 Hz と長周期側へ移動していることがわかる。なお、長岡市中之島においては深度約 25 m 以深の地盤調査結果が存在しないため、深度が 10 m 増加することにせん断波速度が 50 m/s 增加すると仮定して地盤モデルを構築した。

さらに、推定した工学的基盤深度の妥当性を検証するため、各地点において地震応答解析を実施した。観測波形を工学的基盤まで引き戻し計算を行った結果を図-4 に示す。地震応答解析は等価線形解析 (Dyneq) を用い、地盤モデルには図-2 を、観測波形には 2024 年能登半島地震の記録を使用した。工学的基盤におけるフーリエスペクトルの比較結果より、観測波形を用いて推定した工学的基盤波形は、振動数ごとの成分が見附市昭和町の工学的基盤波形により近い傾向を示した。このような結果が得られた原因として、伝達関数比のピークが長周期側へ移動したことにより、最初に構築した地盤モデルに比べて 1 Hz 付近での増幅が顕著となつたためであると考えられる。

加えて、中越地域の地質研究報告書³⁾によると、同地域に広く分布し共通基盤とみなせる沖積層下面深度は、長岡市中之島で約 50 m とされている。このことから、本研究の手法はより高い精度で工学的基盤深度を推定することができたと考えられる。

5. まとめと今後の展望

本研究では、観測波形を用いた工学的基盤深度の推定手法の適用性を検証するため、長岡市中之島を対象とし、既往ボーリングに基づく推定深度との比較を行った。さらに、地震応答解

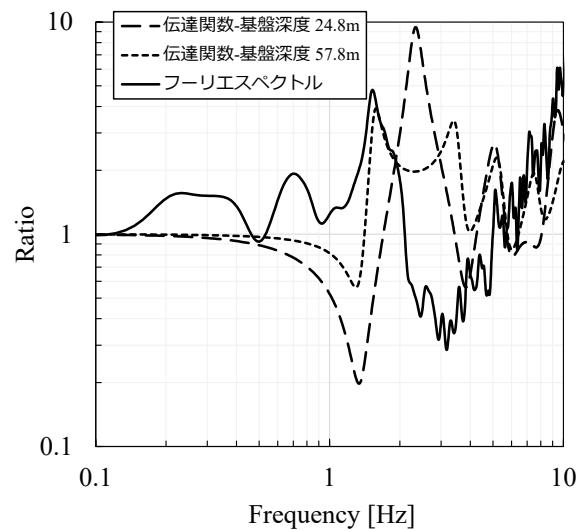


図-3 伝達関数比と観測地震波形のフーリエスペクトル比の比較

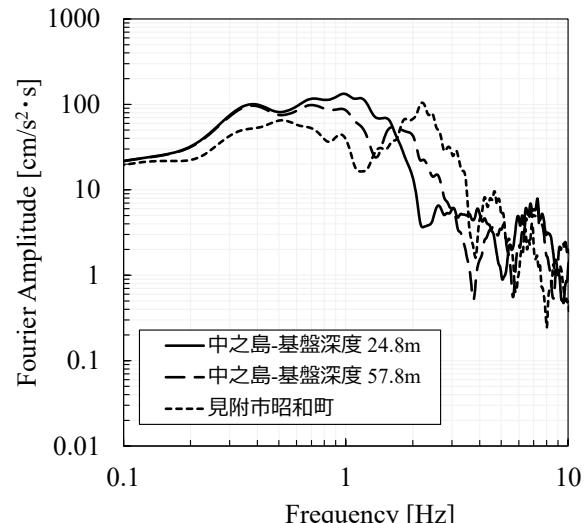


図-4 工学的基盤の推定フーリエスペクトル

析により強震時の工学的基盤波形の再現による比較を行った結果、観測波形に基づく推定の方がより高精度で工学的基盤深度を評価することができた。今後は工学的基盤に引き戻した波形を他地点の基盤入力波として用いた地震応答解析を行い、地表での波形の再現性を検証することで、提案した手法の精度と汎用性の評価や他地点での適用性の検討を行う予定である。

【参考文献】

- 1) 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/> (2025年10月1日閲覧)
- 2) 吉田望：DYNEQ A computer program for DYNAMIC response analysis of level ground by EQUIVALENT liner method, Version 4.01 2021, 関東学院大学
- 3) 産業技術総合研究所：5万分の1 地質図幅 三条 地域 の 地 質 ， https://www.gsj.jp/data/50KGM/PDF/GSJ_MAP_G050_07027_2002_D.pdf(2025年10月1日閲覧)