

常時微動探査による地盤の卓越周期と表層地盤增幅率の傾向 ～第三種地盤の評価及び能登半島地震における被害特性に着目して

常時微動, S 波速度, 軟弱地盤

Be-Do／だいち災害リスク研究所 正会員 ○横山 芳春
Be-Do 戸成 大地
M's 構造設計 佐藤 実
M's 構造設計 堤 太郎
西日本住宅地盤事業協同組合 西村 伸一
防災科学技術研究所 正会員 先名 重樹

1. はじめに

地盤の周期特性および增幅特性等を把握する調査手法として、地盤の常時微動探査は有効な手法の一つである。国際規格が承認され、住宅の敷地における宅地地盤の地震動特性や生活振動に対する調査として活用が進んでいる。

本稿では、常時微動探査で得られる地盤の卓越周期および表層地盤增幅率（以後、增幅率と呼ぶ）を、宅地の地震防災に利活用することを目的として、過去に宅地等や能登半島地震等の地震被災地¹⁾で測定を実施した結果を集計、その傾向および関係性を精査することで、特に第三種地盤の評価や、地震による被害特性について検証することを試みた。

2. 測定・解析および集計方法

常時微動探査は国際規格 ISO24057:2022²⁾に準拠し、4台の微動計を中心に1台、60cm半径の円周上に120度の位置に正三角形状に3台を配置する配置（極小アレイ探査）、②3~10m間隔で3台を配置（不規則アレイ探査）し、各16分間測定した。測定したデータは、国立研究開発法人防災科学技術研究所の「微動クラウド解析システム（BCAS）」を用いて解析を行い、従来のSPACやCCA法など³⁾により表面波の分散関係を求めたのち、SPMおよびSIMによる30m平均S波速度（AVS30）を得て、それらの平均値から藤本・翠川（2006）⁴⁾の8-1式を参考として算出した。

宅地等および地震被災地で得られた日本国内の594地点に加えて、先名（2024）⁵⁾による石川県輪島市街の58地点、計652地点を用いた（測定期間：2019年9月～2025年2月）。各地点で常時微動探査によって得られた增幅率、H/Vに基づく地盤の卓越周期、地盤種別⁶⁾の区分、地形区分（地理院地図「地形分類」を参考）について集計した。

3. 全地点および地域別の傾向

全地点と東日本（北海道・東北・関東）、中日本（東海・中部）、西日本（関西・中四国・九州）で集計した結果を示す。地盤の卓越周期と增幅率は正の相関を示し、全地点の相関係数rは0.807、決定指標R²は0.642であった。

平均値は、全地点では地盤の卓越周期は0.33秒、增幅率は1.44であった。中日本でやや卓越周期が長く增幅率が大きい、西日本ではやや卓越周期が短く、增幅率が小さい傾向があった。

全地点で得られた地盤の卓越周期T(秒)と增幅率Aとの関係性は、以下の式(1)に示すことができる。

$$A = 1.56 \cdot T + 0.923 \quad (1)$$

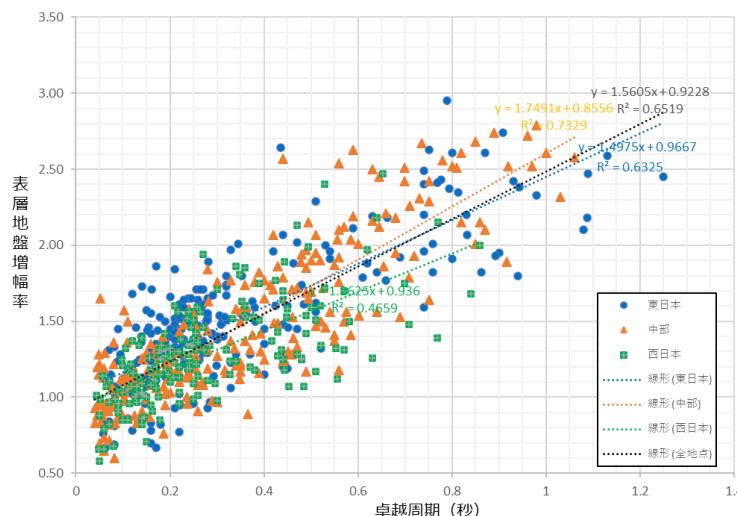


表1 地域別の計測結果の平均値

	全地域	東日本	中日本	西日本
観測された地盤周期の平均値(秒)	0.33	0.34	0.36	0.28
観測された表層地盤增幅率の平均値	1.44	1.50	1.48	1.29
地点数	652	234	239	179

図1 地域別の計測結果（卓越周期・增幅率）および近似曲線

A Note on the Relationship between site amplification and predominant period based of the ground by microtremor survey.

YOKOYAMA, Yoshiharu, TONARI Daichi (Be-Do), SATO, Minoru, TSUTSUMI, Taro (M's Structure Design), NISHIMURA, Shinichi (WGP) and SENNA, Shigeki (NIED)

4. 地形区分ごとの周期・増幅特性

全地点の地形区分ごとの卓越周期（地盤種別として表示）および、増幅率（J-SHIS のランク⁷⁾として）の結果を示す。地盤種別では、周期 ≤ 0.2 秒を第1種地盤、 $0.2 < \text{周期} \leq 0.75$ 秒を第2種地盤、 $0.75 > \text{周期}$ を第三種地盤⁶⁾として示した。第三種地盤に相当する地点は全体の7.8%（51地点）に及び、特に低地側ほど頻出していた。サンプル数は少ないが旧河道、後背低地・湿地、埋立地、また氾濫平野等で多く、低地側地形の合計では17.3%に及んでいた。

増幅率では、低地側地形ほど増幅率が高いランクが多い傾向が顕著である。揺れやすい側とされるランクD（増幅率1.8~2.3）とランクE（増幅率2.3以上）は低地側で41.4%と多いが、台地部でも5.5%ほど存在していた。

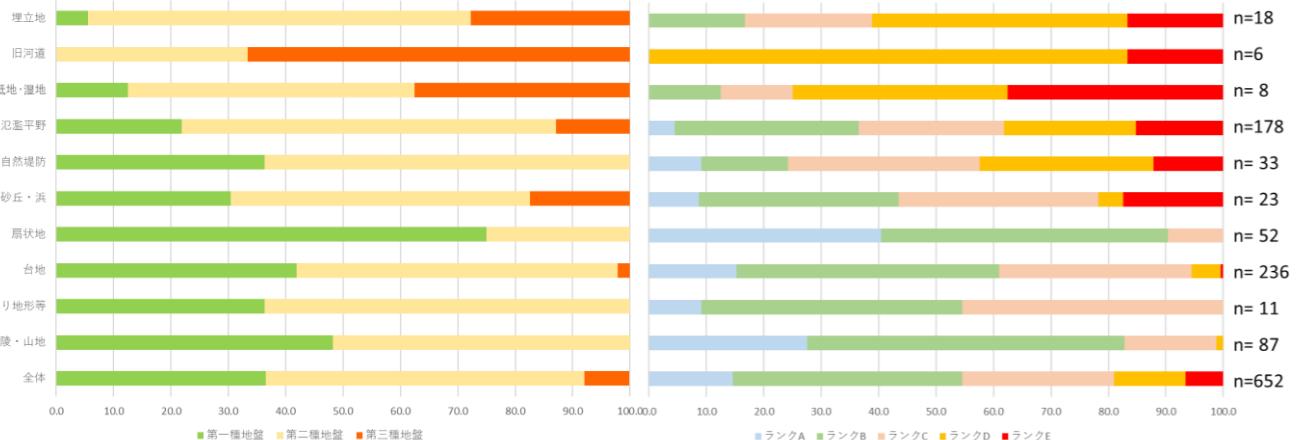


図2-1 地形区分ごとの地盤種別

図2-2 地形区分ごとの増幅率

5. 能登半島地震における被害特性との関係性

能登半島地震で住宅被害の著しかった、石川県輪島市街では、先名（2024）⁵⁾による58地点（250mメッシュ単位）における地盤の卓越周期・増幅率と、現地の目視で得た木造住宅の被害傾向の著しいメッシュを示した。

その結果、木造住宅被害の著しいエリアは、概ね地盤の卓越周期0.6秒以上、かつ増幅率2.1以上のメッシュに集中していた。輪島市横地町の地点は、被害が大きな地点から離れたメッシュ中心付近で測定しているため、今後被害が大きかった地点近傍での測定を試みたい。

木造住宅被害が限定的なエリアは、とくに卓越周期0.4秒以下で増幅率1.2以下のメッシュに集中していた。

6. まとめ

地盤の微動探査によって得られた卓越周期と増幅率には一定の相関性や、地形区分との関連性が得られた。ただし、ある卓越周期における増幅率の値は最低でも ± 0.5 程度の差がみられることから、卓越周期からの換算のみで増幅率を評価しようとするには若干レンジが広く、個別宅地において増幅率を得る際には宅地ごとに計測をすることが望ましい。

地盤種別のうち、第三種地盤に相当する周期の地点は、全国の計測で少なくとも7.8%、低地側の地形区分では17.3%でみられた。第三種地盤に指定されている地域は国内でほぼ存在していない現状にあるが、能登半島地震の輪島市街において被害が大きな地点が目立つことなどを鑑みると、宅地防災の優先度や家屋の耐震性向上（建築基準法が求めている著しく軟弱な地盤割増しとして、木造住宅の必要壁量の1.5倍）に、増幅率と併せて活用することが望ましい。

文献

- 1) 横山・戸成・佐藤・堤・西村・先名、令和6年能登半島地震における地盤の增幅・周期特性の傾向、地盤工学会関東支部発表会、防災5-3、2024.
- 2) ISO, ISO 24057:2022 Geotechnics - Array measurement of microtremors to estimate shear wave velocity profile, 2022.
- 3) Cho, I., Senna, S. and Fujiwara, H., Miniature array analysis of microtremors, GEOPHYSICS, 78 No.1, P. KS13-KS23, 2013.
- 4) 藤本・翠川、近接観測点ペアの強震記録に基づく地盤増幅度と地盤の平均S波速度の関係、日本地震工学会論文集第6巻、第1号、pp 11-22、2006.
- 5) 先名、令和6年能登半島地震における液状化等の被害と地盤増幅度特性、地震学会2024年度秋季大会、2024.
- 6) 2020年版建築物の構造関係技術基準解説書（国交省国総研・建研監修），2020.
- 7) 防災科研 J-SHIS 地震ハザードステーション、地震ハザードカルテの見方、<https://www.j-shis.bosai.go.jp/karte-manual>