

# 表面波探査と常時微動探査を用いた地盤特性の評価

長岡技術科学大学 ○ 大矢永遠  
長岡技術科学大学 正会員 池田隆明

## 1. はじめに (研究背景)

日本は地震発生が非常に多い国である. 1995 年の兵庫県南部地震以降, 2011 年東北地方太平洋沖地震, 2016 年熊本地震, 2018 年胆振東部地震など最大震度 7 を観測する地震も発生し, 家屋の倒壊や斜面災害, 津波などの被害を引き起こし, 多くの犠牲者を出した. このように, 地震は人命や生活を脅かすため, 被害研究の究明とその対策は日本において非常に重要である.

2004 年 10 月 23 日に発生した新潟県中越地震においても最大震度 7 を観測し, 多くの観測点で大きな被害をもたらした. 震度 7 を観測した新潟県旧川口町でも多くの被害が発生した. しかし, 武道窪地区での家屋被害の状況は一集落の 1km<sup>2</sup> 未満という狭い範囲内であるにも関わらずエリアによって被害が異なることが報告され<sup>2)</sup>, 地盤特性が地震被害に影響を与えている可能性が指摘された. 既往研究では当該地域における家屋の被害状況の詳細分析と常時微動を用いた地盤特性の評価が行われた. 家屋の被害状況の詳細分析では, 地震前後での住宅地図の変化や空中写真, 現地での 3 日間のヒヤリング等から家屋の被害情報のアップデートが行われた. 常時微動探査を用いた地盤特性の評価では, 当該地域における複数箇所の地盤の卓越振動数を算出し, その結果と被害分布の比較を行っている. 被害大の領域では 2.5Hz 以下が卓越し, 被害小の領域では 3.0Hz 以上が卓越していることが確認され, 被害が大きくなるほど地盤の卓越周期が長くなる傾向を示し, 表層地盤の卓越周期と地震被害の分布に相関があることを示唆した<sup>3)</sup>. 既往研究による武道窪地区の被害と卓越振動数の関係を図 5-2 に示す. しかしながら, 被害大と小の大まかな相関は示されたものの, 中程度の被害と卓越振動数との関係については不明瞭な結果となった. これは常時微動計による測定では点でのデータしか取得できないためである. そこで本研究ではより詳細な検討を行うため, 各カテゴリの境界部の地盤特性の連続的評価を目的に表面波探査手法を用いて 2 次元 S 波速度構造を推定する. その後, 常時微動探査による表面波探査の結果の妥当性検証と補正を行い, 地盤特性と地震被害の関係についての評価検討を行う.

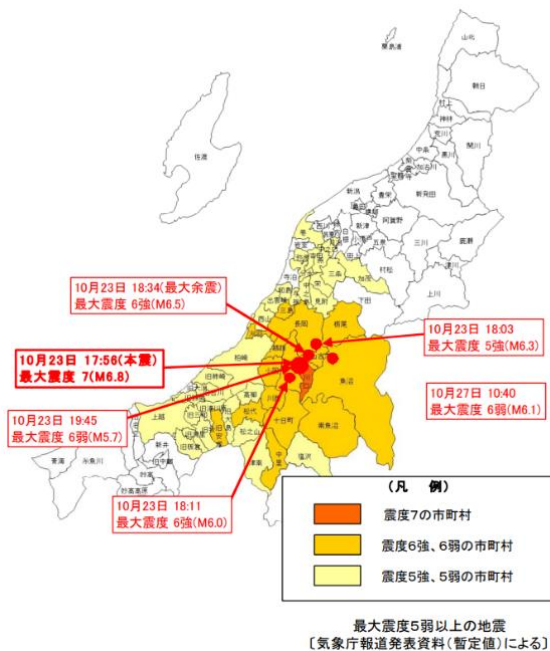


図 1-1 震央分布図<sup>1)</sup>

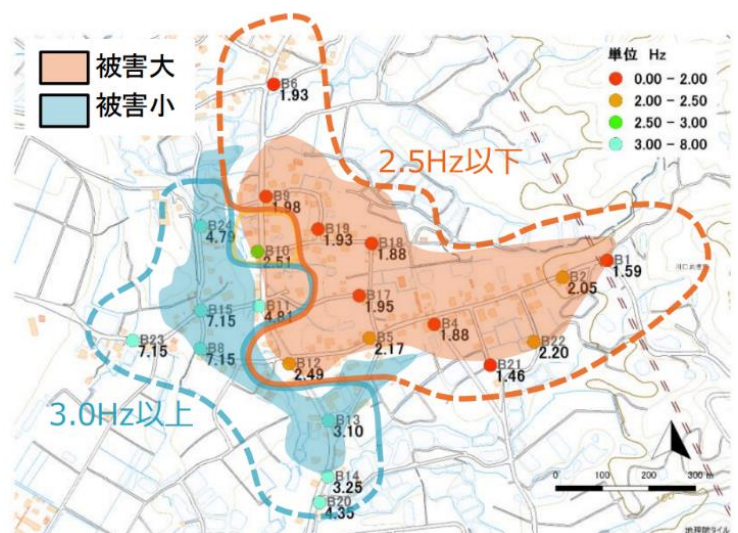


図 1-2 既往研究による武道窪の被害と卓越振動数<sup>3)</sup>

## 2. 対象地域

新潟県武道窪の被害はおおよそ直下で発生した地震であるにもかかわらず周辺地域と被害状況が異なることから、被害原因が異なると考えられる。全壊率の高い地域では地すべりが被害の主な原因である。これに対し、武道窪では地滑りや地盤変形がみられなかったことから、地震動が主な原因であると考えられる。また、図 2-4 に示した産業技術総合研究所の調査によると、武道窪の東側(山側)では大破・倒壊が多く、中央部では中破・小破が多く、西側(平地側)では小破・被害なしが多いという被害状況であり、狭い範囲の中で被害は異なっていた。このような理由から本研究では武道窪を対象地域とする。



図 2-3 武道窪斜面中腹の様子<sup>2)</sup>

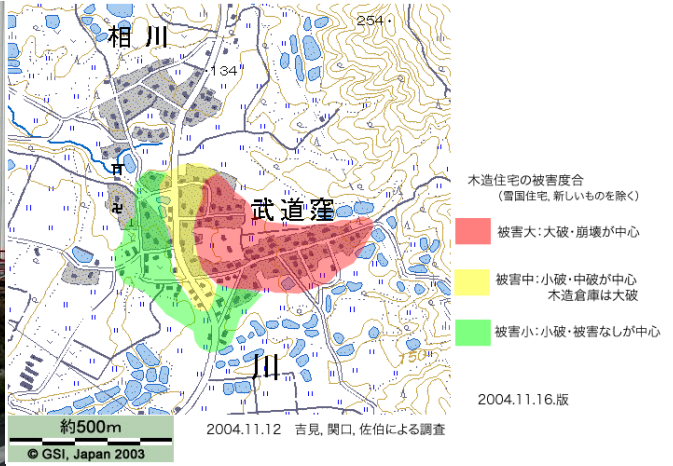


図 2-4 武道窪の家屋の被害状況<sup>2)</sup>

## 3. 研究手法

### 3.1 表面波探査

既往研究で課題となった各カテゴリの境界部の連続的な地盤特性評価を目的に表面波探査を行った。表面波探査の方法・手順は参考文献<sup>5)</sup>に従って行った。測線箇所を以下の図 3-1 に示す。測線は被害の異なるエリアをまたぐように、被害大エリアから被害小エリアに向けての南側に測線 1、北側に測線 4、被害中エリアから被害小エリアに向けての南側に測線 2、北側に測線 5。中央の県道から東に未判定のエリアへ測線 3 に設定した。

### 3.2 常時微動探査

本研究では、表面波探査の解析結果の妥当性検証のために、表面波探査とは異なる方法で地盤特性を評価できる常時微動探査を行った。常時微動探査は 2023 年 8 月 7 日および 9 月 5 日に行った。計測では微動計 CV374 を用い、水平 2 方向と鉛直 1 方向の 3 方向の微動をサンプリング周波数 100Hz で 1 地点 20 分間計測する。図 3-2 に計測地点を示す。計測地点は 49 地点で、表面波探査の測線上を 20m 間隔で、側溝等のないアスファルト上で計測するものとする。常時微動計測は風や歩行等の振動の影響を受けやすいため、風よけを微動計に被せ、微動計から十分に離れて椅子に座り計測する。微動データから車等による振動が無く、乱れの少ない 40.96 秒間のデータを 5 区間抽出し、H/V スペクトルを算出する。

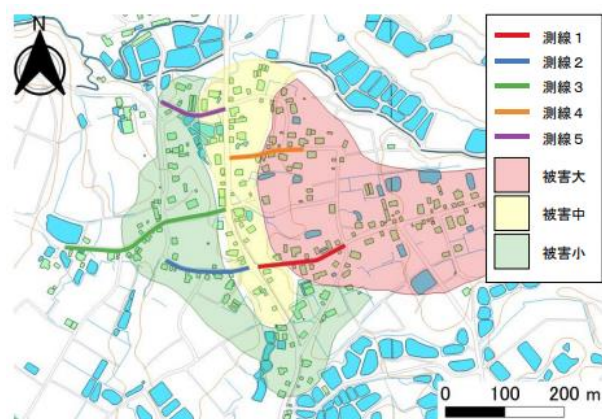


図 3-1 表面波探査測定箇所

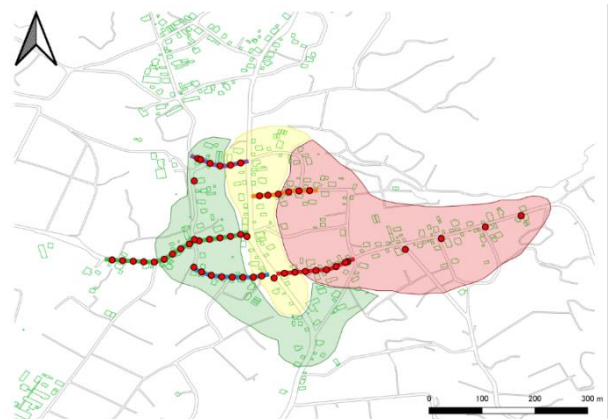


図 3-2 常時微動探査測定箇所

#### 4. 物理探査結果

##### 4.1 表面波探査結果

図 4-1 に表面波探査結果の一例を示す。図 4-1 は測線 5 の結果である。

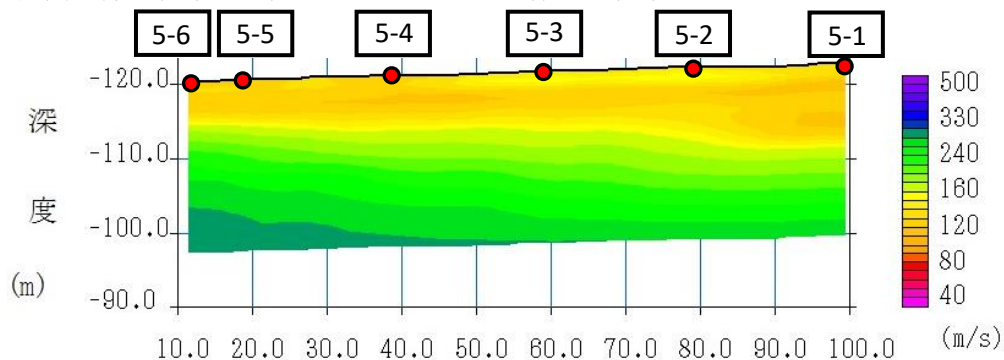


図 4-1 表面波探査結果 測線 5

##### 4.2 常時微動探査結果

図 4-2 に常時微動探査結果の一例を示す。観測地点は図 4-1 と対応している。青色の線は対応する地点の表面波探査から得られた地盤構造を用い、計算により求めた H/V スペクトルの理論値で赤色の線は常時微動探査の観測記録から求めたばらつきの少ない H/V スペクトルを 5 セット抽出した値である。

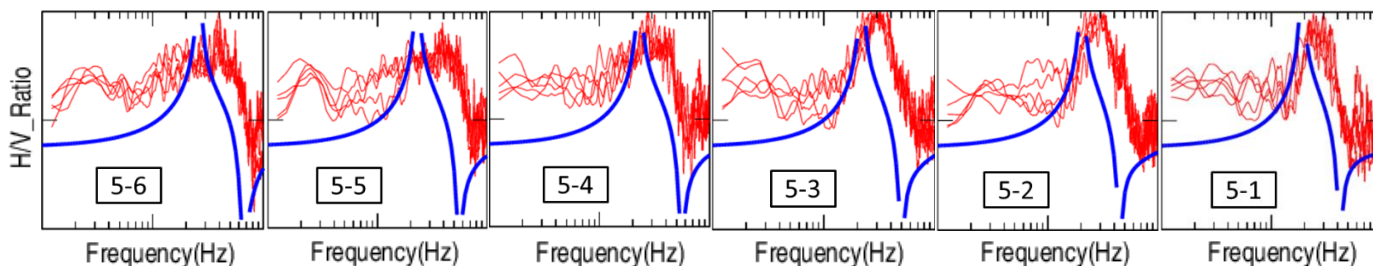


図 4-2 測線 5 上における H/V スペクトル比に対する振動数

#### 5. 表面波探査結果の妥当性検証と補正

妥当性検証と補正は図 4-2 に示す H/V スペクトルを利用する。ここで、表面波探査結果の地盤構造から求めた理論値と常時微動探査の観測記録から求めた H/V スペクトルの概形と卓越振動数が一致していれば表面波探査の解析により求めた地盤構造は妥当性があると考えられる。

表面波探査は S 波速度が深度 2m で 120m/s に対する深度 10m で 240m/s などの比率に強い。これに対し、常時微動探査は絶対的な値を持つという特徴がある。この常時微動探査の値を用い、表面波探査の結果を全体の比率は変えずに卓越振動数が概ね一致するように補正を行う。補正の条件は表面波探査の結果から求めた卓越振動数と常時微動探査結果の抽出した 5 セットを平均化したものの卓越振動数の差が 10%以上であることとする。補正はその地点の地盤構造の S 波速度を 5%ずつ調節する。概形が大きく異なり、卓越振動数の補正が困難な場合は補正不可とし、補正は行わない。

測線 5 では形状は概ね一致しているが、卓越振動数において 1~2Hz ほど差異があることが確認できるため、上記の条件に従って行った。補正結果を図 5-1 に示す。

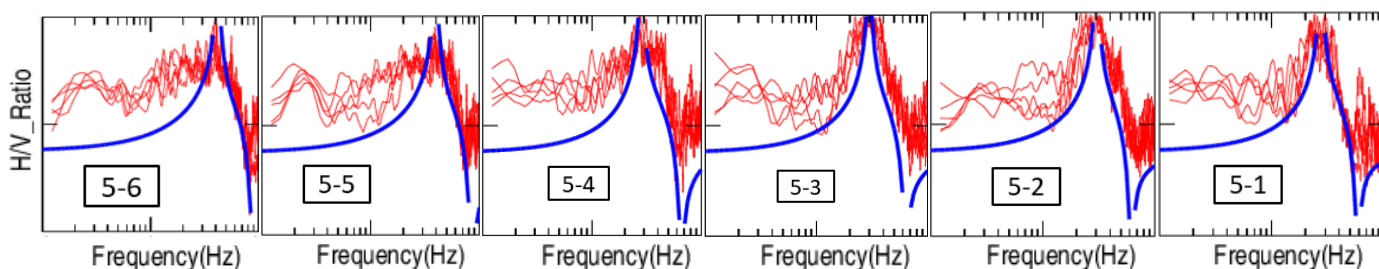


図 5-1 補正後の測線 5 上における H/V スペクトル比に対する振動数

## 6. 補正後の結果

図 6-1 に妥当性検証と補正を行った結果の一例を示す。図 6-1 は測線 5 の結果である。常時微動探査により補正した地点以外の補正はその地点に最も近い補正した 2 点と 2 点への距離に応じて直線補完を行った。補正前の図 4-1 と比較すると全体的に S 波速度が大きくなっていることがわかる。

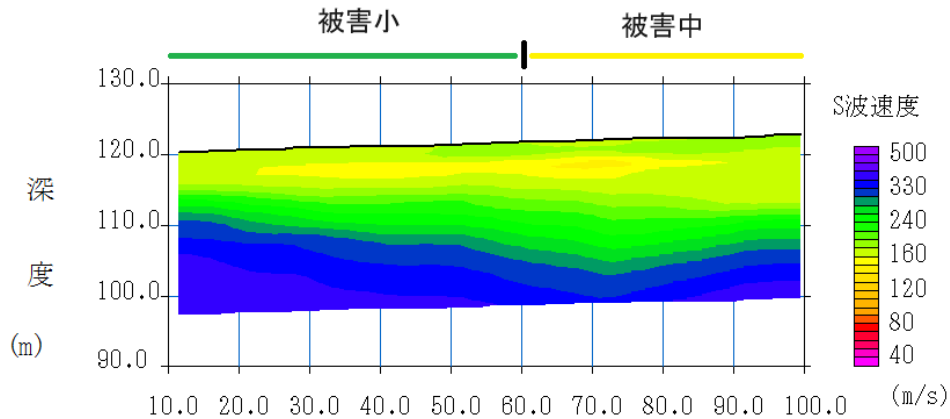


図 6-1 補正後の表面波探査結果

## 7. 考察

図 6-1 から右側に向かうにつれて S 波速度の低い層が厚くなり、S 波速度のより低い層が堆積している。土地の成り立ちから考えても右側の方が S 波速度の低い崩積土が多く堆積している可能性が高いため、この地盤構造は妥当性が高いといえる。

被害は S 波速度構造と同様に右側に向かうと大きくなっていることから S 波速度の低い層が厚く堆積していると被害が大きくなる傾向がみられる。本資料では制限のために図 6-1 以外の測線 1~4 については記載していないが、図 6-1 同様に S 波速度の低い層と被害の傾向は見る事ができた。以上のことから、この地域において異なる地震被害をもたらした原因は表層地盤特性であるといえる。

しかし、全体として定性的な評価であったことと、各被害の境界部において明瞭な差異を見つけ出すことができなかったことが課題として挙げられる。このことから、求めた妥当性の高い地盤構造を用いて地震応答解析を行い、定量的な評価と各カテゴリ境界部の詳細な評価をする必要がある。

## 8. 参考文献

- 1) 新潟県 | 新潟県中越大震災の記録, 閲覧日: 2022/10/07  
[<4D6963726F736F667420576F7264202D2091E682508FCD91E6825090DF8169926E906B82CC94AD90B68FF38BB5816A2E646F63> \(niigata.lg.jp\)](https://www.niigata.lg.jp/0B68FF38BB5816A2E646F63/)
- 2) 産業技術総合研究所: 新潟県中越地震被害調査速報 武道窪,  
[https://staff.aist.go.jp/yoshimi.m/damages\\_hp/index.html](https://staff.aist.go.jp/yoshimi.m/damages_hp/index.html), 閲覧日: 2022/10/07
- 3) 浅間美萌沙: 2004 年新潟県中越地震における被害地域の地盤特性評価, 学士論文, 閲覧日: 2022/10/07
- 4) 地理院地図 | 国土地理院, 閲覧日: 2022/10/09,  
<https://maps.gsi.go.jp/#14/37.294574/138.863754/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1g1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1&d=m>
- 5) 応用地質: 高精度表面波探査システム, 閲覧日: 2022/10/07  
[https://www.oyo.co.jp/oyocms\\_hq/wpcontent/uploads/2014/12/C20141226\\_McSEIS-SW.pdf](https://www.oyo.co.jp/oyocms_hq/wpcontent/uploads/2014/12/C20141226_McSEIS-SW.pdf)
- 6) 時松孝次, 宮寺泰生: 短周期微動に含まれるレイリー波の特性と地盤構造の関係, 閲覧日: 2023/10/10  
[https://www.jstage.jst.go.jp/article/aijsx/439/0/439\\_KJ00004085683/\\_article/-char/ja/](https://www.jstage.jst.go.jp/article/aijsx/439/0/439_KJ00004085683/_article/-char/ja/)
- 7) 中村豊, 上野眞: 地表面での常時微動測定による表層地盤の振動数特性の推定, 閲覧日: 2023/10/10