

2004年新潟県中越地震における被害地域の地盤特性評価

長岡技術科学大学 浅間美萌沙
長岡技術科学大学 池田 隆明

1. はじめに

日本は地震の発生が非常に多い国であり、地震は土砂災害や家屋の倒壊など人命や生活を脅かすため、被害原因の究明とその対策は日本にとって重要である。2004年10月23日に発生した新潟県中越地震では、計測震度が導入された1996年以降初めて震度7が観測された。震度7を観測した旧川口町では、多くの家屋被害が発生した。家屋被害の状況はエリアによって異なることから¹⁾、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。そこで、物理探査手法である微動計測を用いて被害地域の地盤特性の評価を行う。

2. 対象地域および家屋被害

対象地域を図1に示す。対象地域は、中越地震で震度7の揺れが発生した新潟県の旧川口町武道窪(以降武道窪とする)とする。新潟県は日本有数の活褶曲地帯であり、旧川口町はこの活褶曲地帯に含まれているため脆弱な地盤である²⁾。旧川口町は地震発生時に土砂災害により一時的に町が孤立するなど大きな被害を受け、家屋の大破・中破も数多く発生した³⁾。図2に旧川口町各地区の倒壊率を示す。田麦山など全壊率が高い地区があることに対し、武道窪では全壊率が半分程度である。おおよそ直下で発生した地震であるにもかかわらず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。全壊率の高い田麦山では地すべりが被害の原因であることに対し、武道窪では地震動が原因であると考えられる。また、産業技術総合研究所の調査⁴⁾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エリアによって異なっていた。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。

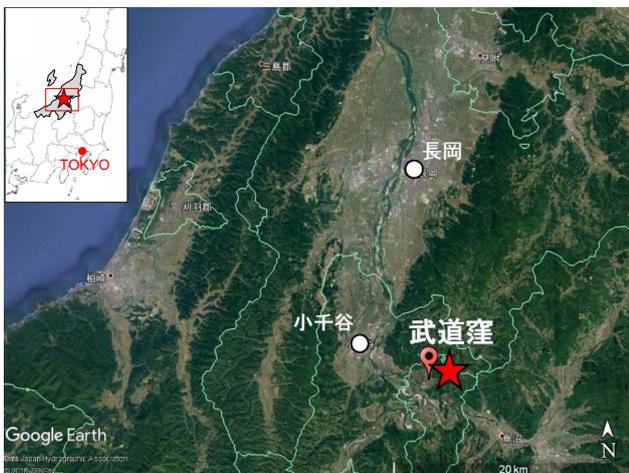


図1 対象地域

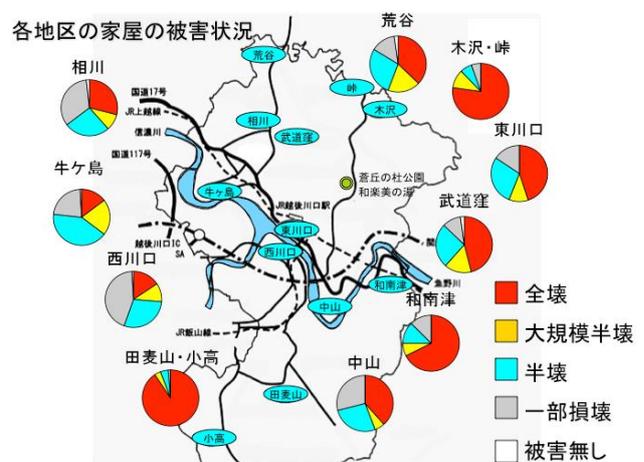


図2 被害状況³⁾

3. 研究方法

本研究では、対象地域において被害地域を横断するように地盤特性の評価を行う。地盤特性の評価は常時微動観測によって行う。微動計測では、微動計C V374を用いて水平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30分間計測する。図3に計測地点を示す。計測地点は21箇所、約100~150m間隔とし、側溝等のないアスファルト上で計測するものとする。図4に実際の計測の様子を示す。微動計は風や人の振動の影響を受けることから、風よけを設置し離れた場所で椅子に座りながら計測を行う。微動データから車等の振動による乱れの少ない40.96秒間のデータを4~5区間抽出し、H/Vスペクトルを算出する。H/Vスペクトルとは、 f を振動数としたとき、水平方向の微動スペクトル $H(f)$ と鉛直方向の微動スペクトル $V(f)$ の関係を $H(f)/V(f)$ で表したものである。H/Vスペクトルが最大のときの振動数はその地点の卓越(1次)振動数となる^{4),5),6)}。表層地盤の物性値が一定の場合、卓越振動数が低いほど表層厚は厚く揺れやすい地盤となり、卓越振動数が高いほど表層厚は薄く揺れにくい地盤となることから、卓越振動数を比較することによって地盤特性の評価ができる。本研究では、地すべりで形成された地域であるため表層地盤の物性値を一定と仮定し、卓越振動数によって地盤特性の評価を行う。なお、卓越振動数が読み取りにくいことから、バンド幅0.244Hz(両振幅)で平滑化を行い、40.96秒間のデータ4~5区間を平均したものをその地点のH/Vスペクトルとする。また、家屋と地盤の固有振動数が一致する共振が被害分布を支配した可能性があることから、家屋と地盤の固有周期について検討を行う。しかし、木造家屋の固有振動数は一般に2~10Hz⁷⁾と地盤に対して大きな幅があることから、常時微動観測によって家屋の固有振動数の評価を行う。評価は伝達関数を用いて行う。伝達関数とは、入力波形と出力波形の比からその増幅特性を示したもので、 f を振動数としたとき、2階の水平方向微動スペクトル $2F(f)$ を地上の水平方向微動スペクトル $G.L.(f)$ で除した $2F(f)/G.L.(f)$ で算出する。微動計測では、微動計C V374を用いてサンプリング周波数100Hzで地上階と2階で同時に1戸当たり10分間行う。対象家屋は旧川口町内の旧耐震基準4戸(地震後増築1戸)、新耐震基準3戸であり、地震前に建築された家屋が6戸、地震後に建築された家屋が1戸である。微動データから乱れの少ない300秒間のデータを抽出し、伝達関数を算出する。卓越振動数を読み取りやすくするため、バンド幅0.200Hz(両振幅)で平滑化を行う。

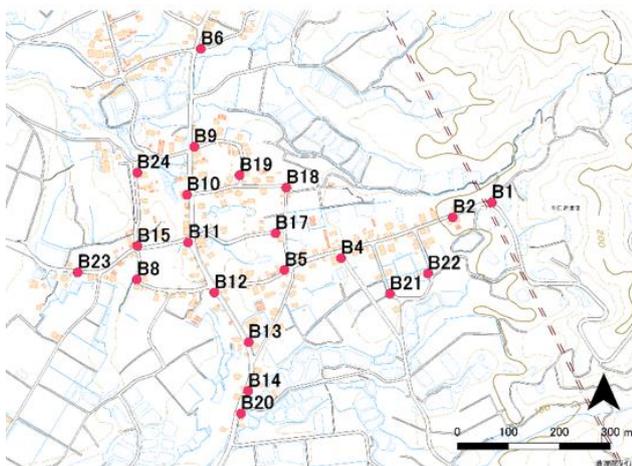


図3 計測地点



図4 計測の様子

4. 分析結果

図5に武道窪のH/Vスペクトルの一例を示す。家屋被害を被害大と被害小の2つのエリアに分けたとき、図5(a)は被害大エリアのH/Vスペクトルで、卓越振動数は2.17Hzである。図5(b)は被害小エリアのH/Vスペクトルで、卓越振動数は3.25Hzであり、被害大エリアよりも高い振動数となっている。図6に各地点の卓越振動数と家屋被害状況を示す。ただし、境界部は明瞭ではない。卓越振動数は北東側が2.5Hz以下、南西側が3.0Hz以上となっており、東側が小さく西側が大きいという傾向がある。被害状況と比較すると、被害大のエリアは2.5Hz以下の範囲とおおよそ一致しており、被害小のエリアは3.0Hz以上の範囲とおおよそ一致している。一致していないのは境界部である。このように家屋被害と卓越振動数には相関が見られた。図7に家屋の固有振動数の結果を示す。旧耐震基準と新耐震基準では強度が大きく変わっているにもかかわらず、家屋の固有振動数の差は小さく、建築年代による傾向もみられない。さらに、被害大エリアの卓越振動数が2.5Hz以下だったことに対し、家屋の固有振動数は4.50~6.16Hzであり、地盤の卓越振動数と家屋の固有振動数は一致しなかった。このことから、共振が被害状況を支配した可能性は低いと考えられる。

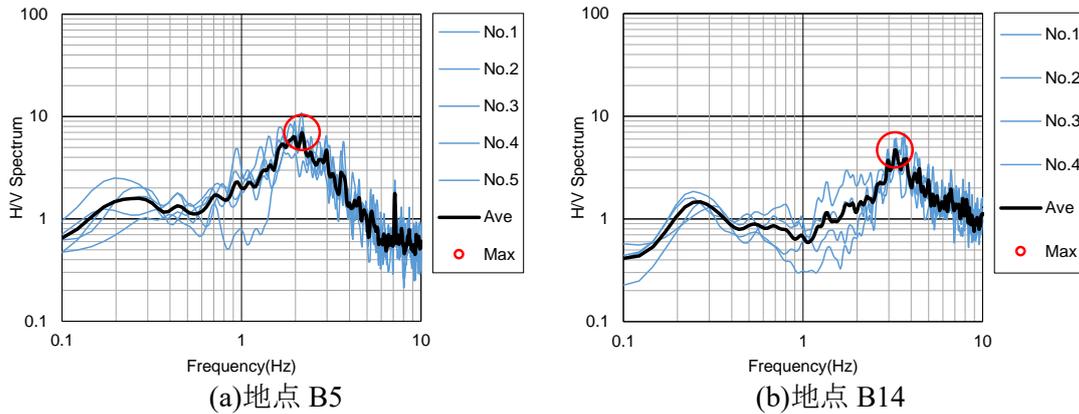


図5 H/V スペクトルの一例

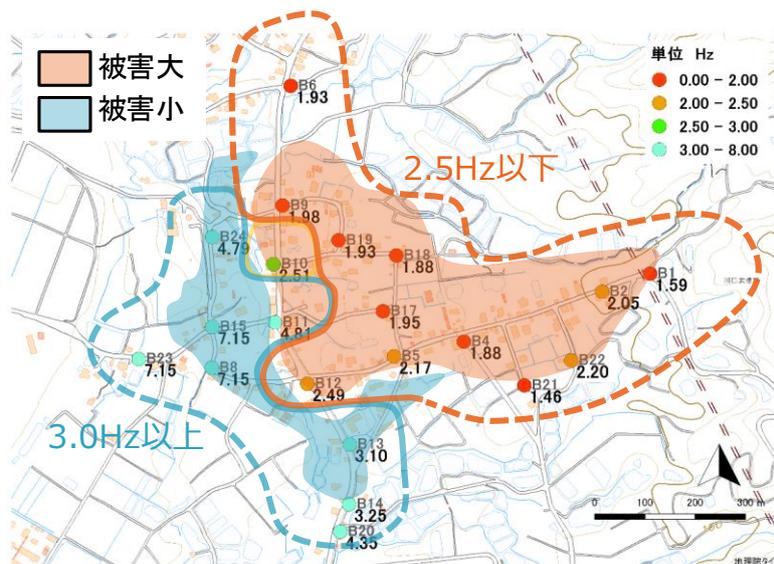


図6 卓越振動数と家屋被害状況

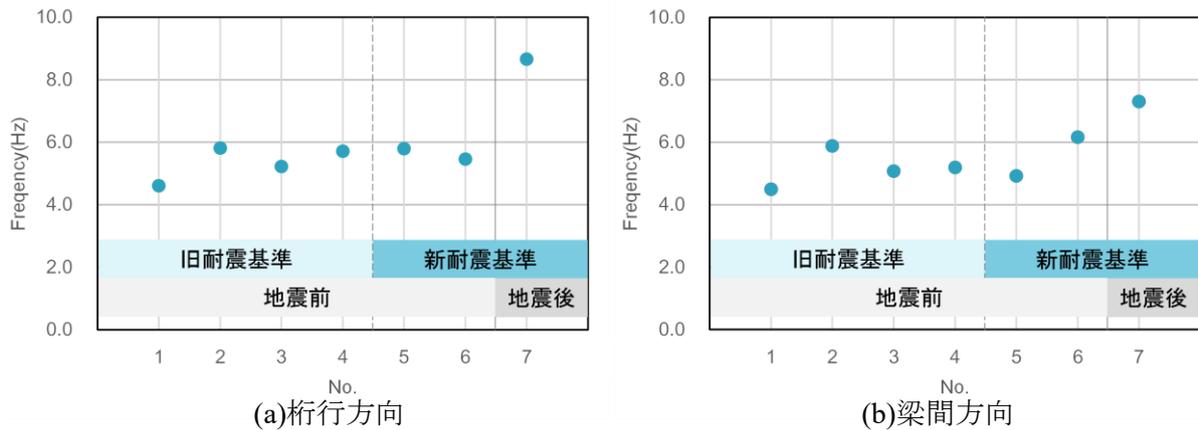


図7 家屋の固有振動数

5. まとめ

新潟県中越地震で震度7を観測した旧川口町武道窪では、狭い範囲の中で家屋被害はエリアによって異なっていた。そこで、微動探査を用いて地盤特性を評価したところ、家屋被害が大きいほど卓越振動数は低く、被害が小さいほど卓越振動数は高いという相関がみられた。この理由として地盤の揺れやすさの違いと、共振が発生していた可能性が考えられる。そのため、常時微動観測を用いて対象地域の家屋の固有振動数を評価したところ、表層地盤と家屋の固有振動数は一致しなかった。また、家屋の固有振動数の差は小さく、建築年代による傾向は見られなかった。これらのことから、共振が被害分布を支配した可能性は低いことがわかった。ボーリング調査結果を収集することや、地形変状を評価することなど、総合的に地盤を評価することが今後の課題である。また、エリアを分ける際の境界部や、卓越振動数が読み取りにくい地点の扱い方についても検討が必要である。

6. 参考文献

- 1) 新潟県中越地震被害調査速報,産業技術総合研究所,2004
https://staff.aist.go.jp/yoshimi.m/damages_hp/index.html (参照2018-09-26)
- 2) 新潟県中越地震の地質学的背景,宮下純夫,豊島剛志,小林健太
http://dspace.lib.niigata-u.ac.jp/dspace/bitstream/10191/1216/1/25_0004.pdf (参照2018-09-26)
- 3) 内閣府防災情報のページ 2004年(平成16年) 新潟県中越地震・川口町
http://www.bousai.go.jp/kaigirep/houkokusho/hukkousesaku/saigaitaiou/output_html_1/case200407.html
(参照2018-12-07)
- 4) Hiroshi Arai and Kohji Tokimatsu: S-Wave Velocity Profiling by Joint Inversion of Microtremor Dispersion Curve and Horizontal-to-Vertical (H/V) Spectrum, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 95, No. 5, pp. 1766–1778, 2005.8
- 5) 大町達夫, 紺野克昭, 遠藤達哉, 年縄巧: 常時微動の水平動と上下動のスペクトル比を用いる地盤周期推定方法の改良と適用, 土木学会論文集, No.489/ I -27, pp.251-260, 1994. 4
- 6) 若松邦夫, 安井譲: 短周期微動の水平上下スペクトル比による地盤増幅特性評価の可能性に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, No.471, pp.61–70, 1995.5,
- 7) 公益社団法人日本地震学会: 強震動地震学基礎講座 第3回 強震動予測で対象となる周期,
http://www.zisin.jp/publications/document02_03.html (2019.01.27 閲覧)