

微動観測記録による金沢平野の 表層地盤構造の推定

西川隼人1・池本敏和2・山下順也3・宮島昌克4・北浦 勝5

¹金沢大学大学院自然科学研究科博士後期課程1年(〒920-8667石川県金沢市小立野2-40-20)
E-mail:aducom@excite.co.jp
²金沢大学工学部助手(〒920-8667石川県金沢市小立野2-40-20)
E-mail:tikemoto@t.kanazawa-u.ac.jp
³石川県小松土木事務所(〒923-0811石川県小松市白江町リ61-1)
⁴金沢大学工学部教授(〒920-8667石川県金沢市小立野2-40-20)
E-mail: miyajima@t.kanazawa-u.ac.jp
⁵金沢大学工学部教授(〒920-8667石川県金沢市小立野2-40-20)
E-mail: kitaura@t.kanazawa-u.ac.jp

地盤構造を正確に把握することは精度の高い強震動予測を行なう上で極めて重要である.金沢平野では 過去に地盤調査が行なわれており,おおまかな地盤構造は明らかになっているが,強震動予測において必 要不可欠であるS波速度は不明である.独立行政法人防災科学技術研究所によって微動観測などによる深 部地下構造の推定が実施され,金沢平野の地震基盤までの地盤情報が得られた.しかし,これらの調査で は地震動の高周波数成分に大きく寄与する表層地盤の情報は十分に得られていない.そこで,本研究では 金沢平野の数十箇所の地点で短周期微動計による観測を行ない,得られた記録から表層地盤構造の推定を 試みた.その結果,工学的基盤までの地盤構造を解明することができた.

Key Words : microtremor, Kanazawa plain, surface ground structure, S wave velocity, depth to bedrock, inversion

1. はじめに

地盤構造を把握することは強震動予測を行なう上 で極めて重要である.地盤構造の推定には,地震動 を解析して地盤情報を最適化手法によって求める方 法や実際に現地で調査を行なう反射法地盤探査,深 層ボーリングなどが用いられている.最近では簡便 性の面から,常時微動記録を解析して地盤構造を調 べる方法が大都市などの地盤調査で多用されている. 石川県の県庁所在地である金沢市では過去に地盤調 査が行なわれており¹⁾,深さ数十mまでの地盤構造 が明らかになっている.金沢市のおおまかな地盤構 造は図-1に示すとおりである.また,金沢市では市 内のボーリングデータを収集し,データベース化し ており,地盤に関する情報は増えつつある.しかし, これらの調査でN値は明らかになっているものの, 強震動予測において不可欠な速度構造は不明である.

金沢市を南北に縦断する森本・富樫断層に起因と する M 7クラスの地震の起こる確率が全国的にみ て高いことを受け,独立行政法人防災科学技術研究 所はこの断層を想定した強震動予測を行った.その 一環として微動観測などによる深部地下構造の推定 が行なわれ,金沢平野の地震基盤までの地盤情報が 得られた²⁾.しかし,これらの調査では地震動の高 周波数成分に大きく寄与する表層地盤の情報は十分 に得られていない.そこで,本研究では金沢市内の 数十箇所の地点で短周期微動計による観測を行い, 得られた記録から表層地盤構造の推定を試みる.

2. 微動観測の概要

今回,常時微動観測を行った地点は金沢市中心部を 中心とした東西約12km,南北約10kmの範囲である.微 動観測は携帯用振動計(東京測振 SPC-35N)と サーボ型速度計(東京測振 VSE-15D)を用いて 行った.携帯用振動計はA/D変換部とノートパソコ ン部より成っている.A/D変換部ではハイパスフィ ルターにより0.1Hz以下の信号成分を除去している. サンプリング周波数は100Hzである.サーボ型速





度計は最大測定範囲が 10kine である. 周波数特性 は 0.2Hz までは振幅値が 100%であるが、0.1Hz に なると 50%にまで低下する. 観測時間は 1 点につ き 10 分間とした. 観測波形からノイズが少ないと 考えられる部分 20.48 秒を1 単位として 10 組抽出 した. 各データは高速フーリエ変換により周波数領 域に変換し、フーリエスペクトルを求めた.得られ た 10 組のフーリエスペクトルを加算平均したもの に 0.3 Hz の Parzen window を施して平滑化した. これは加算平均しても、ピーク周期が明瞭でないデ ータもあったためである. 平滑化したフーリエスペ クトルの水平成分は EW, NS の 2 成分を相乗平均 して求めた. なお,水平2成分のスペクトル特性は ほぼ等しい以上のようにして求めた水平成分のフー リエスペクトルを上下成分のフーリエスペクトルで 除することにより、水平鉛直スペクトル比(以降 H/V と略す)を求めた.

3. H/V の卓越周期分布

微動観測によって得られた H/V の卓越周期の分 布を図-2 に示す. なお,明確なピークが現れず, 卓越周期を判断できなかった観測点は図-2 から省 いた. 図-2 から表層地質と卓越周期の関係をまと めると以下のようになる.

・沖積層と洪積層の境界付近のような沖積層の薄い 所では卓越周期が0.4秒以下と短い.

・沖積層と洪積層の境界付近から沖積層厚が大きく なるにしたがって卓越周期が大きくなり,沖積層厚 と卓越周期には相関があることを示している.

・沖積層厚が30m付近の地点では卓越周期の分布が 一様でない.これは,沖積層厚が30m付近では工学



図-5 金沢市内の基盤深度の分布

的基盤までの深度が急激に変化している箇所がある ためと考えられる.

4. 微動記録の逆解析

微動は実体波から成り立っているとする研究³⁾ と 表面波が主成分であるとする研究⁴⁾がある.本研究 では後者に従い,微動が主にレイリー波から成り立 っているものと仮定し,一部の観測点の地下構造の 推定を行なう.微動がレイリー波の基本モードから 成り立っているとし,微動 H/V と理論 H/V がフィ ットする地下構造を求める.理論 H/V は Haskell の方法⁵⁾より求める.また,解析するに当たり表層 地盤が 3 層構造であることを仮定する.これは金沢 の地盤図では工学的基盤に対応すると考えられる洪 積層上面に上部沖積層と下部沖積層が存在するためである.最下層,すなわち,基盤のS波速度は工学的基盤での値に相当する 400m/s に固定する.同定するパラメータは 1,2 層のS波速度,及び,層厚とする.P波速度は $V_P = \sqrt{3}V_s$ という関係式⁶より求める.密度 ρ は小林ら⁷⁾がボーリングデータより求めた次に示す関係式より計算する.

$$\rho = 0.67\sqrt{V_s} + 1.40 \tag{1}$$

地盤パラメータの同定は次の指標の最適値を求める ことにより算出する.

$$S = \sum_{i=T_{\min}}^{I_{\max}} \left\{ A_{obs}(i) - A_{the}(i) \right\}^2$$
(2)

 $A_{abs}(i)$ は微動記録より求めたH/V, $A_{bs}(i)$ は理論的 に計算したH/Vである. T_{\min} , T_{\max} はH/Vにおいて, 解析対象とする下限と上限の周期であり、ノイズを 考慮して、下限値を0.1秒、上限値を2秒とする.最 適化には非線形最小二乗法の1つである準ニュート ン法を用いた.準ニュートン法では初期値の設定に よって最適解が変動するので、初期値を変動させて パラメータSが最小になるものを最適解とした.最 適化を行うにあたり、次の事を考慮した.S波速度 については1層目は50~150m/s, 2層目は100~ 300m/sの間で探索した. 基盤深度は微動H/Vのピ ーク周期が地盤の卓越周期にほぼ等しいという研究 結果³⁾に基づき推定する.卓越周期は層厚とS波速 度から1/4波長則により求められる.この関係から 地盤を基盤を含めた2層地盤と仮定し、表層地盤の S波速度を200m/sとして、基盤深度を求める.この 基盤深度を考慮して、1層目と2層目の層厚を推定 する. 図-3に最適化の結果得られた理論H/Vの一部 を微動のH/Vと合わせて示す. 図中の実線は観測値, 破線は理論値を表している. 北部の一部の観測点で は両者があまり一致しないが、全体的には対応して いる.一部の観測点で対応がよくなかったのは最下 層のS波速度を400m/sに固定したことや、実際には 4層以上の多層構造であるにもかかわらず,3層構 造を仮定して同定したことによると考えられる.

同定により得られた深さ方向の速度構造の変化を 一部の観測点について図-4に示す.ここで示してい るように1層目でのS波速度は80~150m/s,2層目 は140~220m/sとなった.1層目のS波速度は上部 沖積粘土層 (N \leq 2~3)の速度に対応し,2層目の S波速度は下部沖積粘土層 (5<N<20)かN値が 25~40の下部沖積砂層の速度に対応していると考 えられる.次に最適化によって求められた各観測点 の基盤までの深度を図-5に示す.図-5によれば金沢 市の南部では沖積層厚さは0となっているが、実際 には段丘堆積物が分布しているので図-4の(d)に示 すように基盤までの深さは0ではない.基盤深度と 沖積層厚のコンターラインと比較してみると、深度 が0~10mの地点ではコンターラインが0mの付近や 洪積地盤付近に分布している.基盤深度が10~20mのそれらの地点よりも北にあり,沖積層厚が10,20mのコンターライン付近で分布しており,その北部や西側の洪積地盤付近に深度が20~30mの地点がある.基盤深度が30~40mの箇所は沖積 層厚が30,40mのコンターラインの間に分布している.深度が40~50mの地点は沖積層厚が40mのコンターラインの間に分布している.その対応がよくない箇所もあるが,全体的にみれば沖積層厚と基盤深度は対応しており,北部ほど深度が深くなる傾向にある.

5. 結論

本研究では金沢平野の表層地盤構造を調べるため に短周期微動計によって得られた観測記録を用いて, 地下構造の推定を試みた.解析した結果,工学的基 盤までの深さは金沢市の北部ほど大きくなる傾向と なった.これは沖積層の厚さの分布と対応するもの である.また,工学的基盤の深度と沖積層の厚さが 対応していたことより,洪積層の最上面が S 波速 度 400m/s と仮定した層に相当すると考えられる.

今回は約40地点での微動記録を用いて,表層地 下構造の推定を行い,今まで明らかでなかったS波 速度構造を求めた.今後は微動観測を行なった他の 地点でも地盤構造の同定をする予定である.また, 観測H/Vと理論H/Vの対応が悪かった地点について は4層以上の地盤構造を仮定するなどして,より精 度の高い逆解析を進める予定である.

謝辞:本研究における微動観測を御助力頂いた東京工業大 学大学院(当時金沢大学学生)の長井俊樹君に感謝致し ます.また,本研究の一部が財団法人前田記念工学振興 財団から第2著者が受けた研究助成金によるものであるこ とを記し,深謝します.

参考文献

- 1) 絈野義夫:石川県地質図,石川県北陸地質研究所, 1982.
- 神野達夫,森川信之,先名重樹,成田章,藤原広行: 森本・富樫断層帯周辺の深部地盤モデル,日本地震学 会 2002 年秋季大会,P030, 2002.
- 中村豊:常時微動計測に基づく表層地盤の地震動特性の推定,鉄道総研報告, pp.18-27, 1988.
- 4)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推定,日本建築学会構造系論 文報告集, No.439, pp.81-87, 1992.
- 5) Haskell, N. A.: The dispersion of surface waves on multi-layered media, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.43, pp.17-34, 1953.
- 6) 金森博雄: 地震の物理, 岩波書店, p.32, 1991.
- 7)小林喜久二,阿部康彦,植竹富一,真下 貢,小林 啓美:地震動初期微動部の上下動・水平動スペクトル 振幅比の逆解析,日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.307-308, 1995.

(2003.7.8 受付)





ESTIMATION OF SURFACE GROUND STRUCTURE IN KANAZAWA PLAIN BY USING MICROTREMOR

Hayato NISHIKAWA, Toshikazu IKEMOTO, Junya YAMASHITA, Masakatsu MIYAJIMA, and Masaru KITAURA

We observed microtremor at several sites to estimate a shear-wave-velocity structure in Kanazawa plain. Then we determined the shear-wave-velocity structure and depth to engineering bedrock by using inversion technique in comparing a horizontal to vertical spectral ratio (H/V) of observed microtremor and a theoretical H/V. As a result shear-wave-velocity structure from surface to engineering bedrock in Kanazawa plain were discussed.