

微動水平上下スペクトル比の異方性に着目した表層地盤構造の不整形性検出手法に関する研究

名古屋大学工学部環境土木・建築学科建築学プログラム

護研究室 西山紗代

1. 研究の背景と目的

地盤構造が不整形である場合、兵庫県南部地震で現れた「震災の帯」のように、平行成層構造ではみられない特有の現象を生じ、地表の地震動に大きな影響を及ぼすことがある。このような現象による被害を防ぐために不整形な地盤構造を正確に推定することが大切である。現在、地盤構造を推定する手法として広く活用されているのが微動水平上下スペクトル比（以降、H/V スペクトル比と呼ぶ）である。一般的にH/V スペクトル比は水平成分として直交する2方向の水平成分の二乗和平方根を用いて算出する。しかし、地盤が不整形な場所においては、H/V スペクトル比の水平成分を直交する2方向成分で使い分けると、異なる形のスペクトル比が得られることが報告されている。これに基づいて、萩原・野畑 (2017)²⁾ は、1方向に傾斜した地盤で不整形性検出の検討を行っている。本研究では、谷や尾根が入り組んだ不整形地盤において、不整形性を検出することができるのか検討を行う。また、この方法に基づいて不整形性の大きさの評価を試みる。

2. 検討対象地域とその特徴

本研究では地盤構造の不整形性に着目するため、地盤構造の不整形性が異なると考えられる半田市横山町、港区土古公園、名古屋大学東山キャンパスの3つの地域において常時微動観測を行い、その結果を用いて不整形性の検討を行った。半田市横山町は旧地表面が不整形、港区土古公園は平行成層、名古屋大学東山キャンパスは工学的基盤がやや不整形と考えられる地域である。

3. 地盤構造の不整形性の推定手法に関する検討

3.1 地盤構造の不整形性が H/V スペクトル比に及ぼす影響

不整形な地盤構造の例として、図1のような2層地盤で物性値境界面が1方向に傾いている地盤について考える。このとき傾いている物性値境界面は平面であるとし、常時微動の加振源は全方向に様に分布しているとする。このような地盤の場合、微動水平成分の物性値境界面傾斜方向に沿う成分とそれに直交する微動水平成分とはそれぞれへの傾斜の影響が大きく異なる。このような場合の微動観測結果による H/V スペクトル比の例を図2左図に示す。廣川ら (2011)¹⁾ は、ピーク振幅の大きい方が傾斜直交方向、ピーク振動数の大きい方が傾斜方向となることを指摘している。逆に、物性値境界面の傾斜方向に対して45°の角をなす方向とその直交方向の成分に対しての傾斜の影響は等しくなる。このような場合の微動観測結果による H/V スペクトル比の例を図2右図に示す。そのため、このとき直交する2方向の水平成分のそれぞれを

水平成分とする2つの H/V スペクトル比の差は小さくなる。この性質を利用して、観測地点直下における物性値境界面の傾斜方向を推定する。まず、2つの H/V スペクトル比の差が小さくなる方向、つまり、物性値境界面の傾斜の影響が等しくなる方向を見つける。図3に示すように軸の定義を行う。座標回転角 θ を 0° から 85° まで 5° ずつ変化させていき、 X'/Y' 、 Y'/V' スペクトル比を求める。ここで2つのスペクトル比の比、つまり X'/Y' スペクトル比を $R(\omega)$ とする。縦軸に $\log_{10} R(\omega)$ をとり、回転角ごとの $\log_{10} R(\omega)$ のグラフを図4に示す。そこで、着目する振動数域で各 θ における $\{\log_{10} R(\omega)\}^2$ を積分したものを $P(\theta)$ を2つのスペクトル比の不一致の指標とし、 $P(\theta)$ が最小となるときの回転角 θ を求める。この回転角 θ のときの X' 、 Y' 方向が物性値境界面の傾斜の影響が等しくなる方向となる。次に、その方向から 45° の角をなす方向のどちらが傾斜方向であるかを廣川ら (2011) に基づいて推定する。

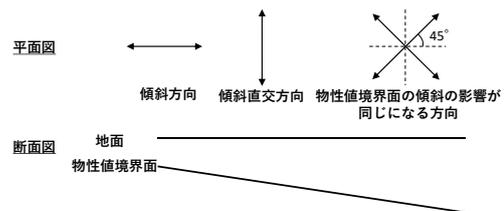


図1 物性値境界面の傾斜の影響

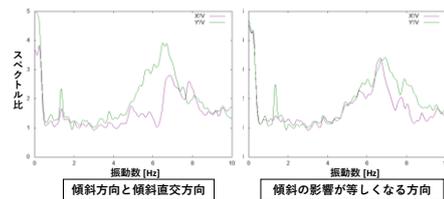
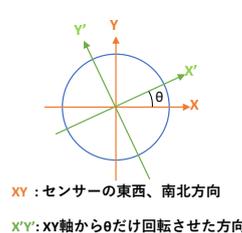


図2 2方向のみを水平成分とした H/V スペクトル比



XY: センサーの東西、南北方向
X'Y': XY軸から θ だけ回転させた方向

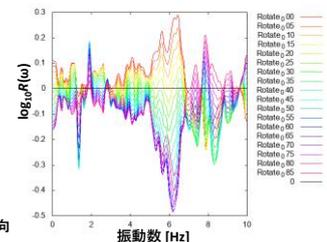


図4 $\log_{10} R(\omega)$ のグラフ

図3 座標軸の定義

3.2 物性値境界面の不整形性の評価

3.1 で述べた $\log_{10} R(\omega)$ のグラフを用いて不整形性を評価する。座標回転角に対する $\log_{10} R(\omega)$ の変化率が大きいと物性値境界面の傾斜角が大きいと考えられる。半田市横山町と名古屋大学東山キャンパスの旧地形図と $\log_{10} R(\omega)$ のグラフをそれぞれ図5に示す。この2つの地域を比較す

ると、表層地盤に由来する高振動数域において半田市横山町の方が座標回転角に対する $\log_{10} R(\omega)$ の変化率が大きい。半田市横山町の方が表層地盤の不整形性の大きな地域であることが分かる。さらに、旧地形図からも半田市横山町の方が旧地表面の不整形性が大きいことが分かり、不整形性の評価の結果が妥当なものであるといえる。

次に、土古公園の各観測点における $\log_{10} R(\omega)$ のグラフを図6に示す。この地域は平行成層であるにも関わらず座標回転角に対する $\log_{10} R(\omega)$ の変化率が大きい観測地点がある。この原因として、観測地点の西側にある交通量の多い道路に近い観測点ほど座標回転角に対する $\log_{10} R(\omega)$ の変化率が大きいことから、交通振動の影響を反映していると考えられる。よって、交通振動の影響を大きく受ける地域においては、一概にこの方法で不整形性を評価することは困難であり、交通量の少ない時間帯に微動観測を行うなどの工夫が必要であることが分かる。

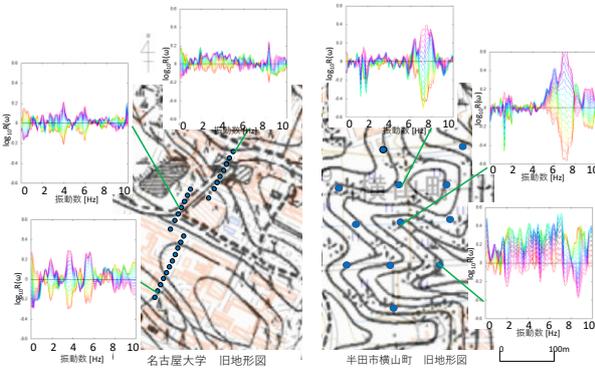


図5 名古屋大学・半田市横山町の不整形性評価結果³⁾

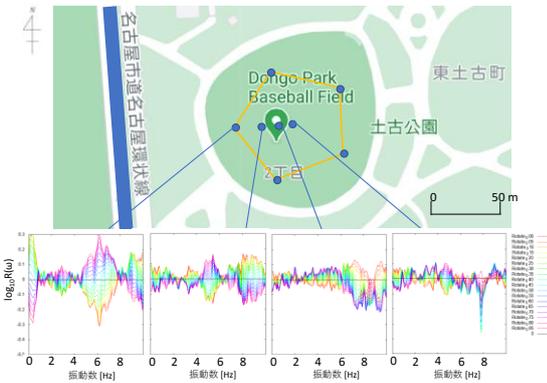


図6 土古公園における不整形性評価結果⁴⁾

3.3 物性値境界面の傾斜方向の推定結果

図7に半田市横山町における旧地表面の推定傾斜方向と旧地形図を示す。盛土を赤、切土を青で示す。概ね4 Hz以上で H/V スペクトル比が卓越している振動数に着目した。これらを比較すると、盛土では旧地表面の傾斜方向と推定結果が対応しており、切土では対応している点、していない点どちらも存在する。これは、切土において傾斜方向を推定した物性値境界面が旧地表面ではなくそれより深い部分にある物性値境界面であるためであると考えられる。図8に名古屋大学東山キャンパスの工学的基盤の推

定傾斜方向と工学的基盤分布を示す。H/V スペクトル比が卓越している 1-2 Hz に着目して推定を行った。これらを比較すると、谷の部分は谷筋方向が推定されている。谷筋方向も一種の傾斜方向であるため、工学的基盤の傾斜方向と推定結果は対応していると捉えられる。しかしこの結果が、谷底でない傾斜面と同様に推定された結果であるのか、それとは別の谷という地盤構造が常時微動に及ぼす影響が作用した結果であるのかを検討する必要があると考えられる。谷でない部分に関しては、工学的基盤分布と比較しても対応しているかどうか判別するのは困難であった。

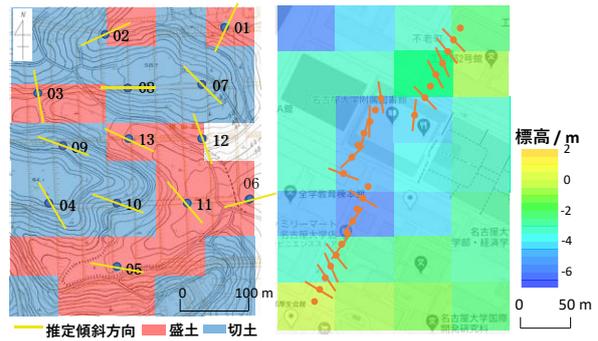


図7 半田市横山町の推定結果と旧地形図⁵⁾ 図8 名古屋大学の推定結果と工学的基盤分布⁴⁾

4 まとめ

地盤の不整形性を H/V スペクトル比から推定できる可能性が示された。しかし、不整形性の評価は交通振動の影響を大きく受けるため交通量の少ない時間帯に微動観測を行う必要があることが分かった。

本研究では実際の微動観測結果に基づいて、物性値境界面の傾斜方向の推定や表層地盤の不整形性の評価を行った。しかし、微動計測結果には交通振動源の局在の影響が含まれていたりすることなどから、今後は有限差分法を用いて理論的な検討を行う必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 廣川貴則, 松島信一, 川瀬博: 微動 H/V スペクトル比の方位依存性と基盤の不整形性, 日本建築学会大会学術講演概要集, pp.155-156, 2011 年
- 2) 萩原由訓, 野畑有秀: 単点常時微動観測を用いた基盤の傾斜方向推定に関する研究, 日本建築学会大会学術講演概要集, pp.307-308, 2017 年
- 3) 谷謙二: 今昔マップ, <http://ktgis.net/kjmapw/> (最終閲覧日: 2021 年 1 月 17 日)
- 4) Google マップ, <https://www.google.co.jp/maps> (最終閲覧日: 2021 年 1 月 17 日)
- 5) 半田市, 半田市都市計画基本図, 昭和 36 年測量 (1961)
- 6) 高橋広人, 福和伸夫, 岸浦正樹: 表層地盤モデルに基づく 1944 年東南海地震による名古屋市在住家被害と震動特性に関する研究, 日本地震工学会論文集, 第 16 巻, 第 9 号, pp.46-66, 2016 年