

常時微動測定におけるデータ処理プロセスの高度化に関する一考察

国立研究開発法人土木研究所 正会員 ○大坪 正英, 上田 和也, 谷本 俊輔, 佐々木 哲也

1. はじめに

地盤の固有周期を評価する簡便な手法の一つに地表一点で行う常時微動測定がある(写真1)．水平方向と鉛直方向の応答スペクトル比(H/V)を算出し、H/Vの最大値に対応する卓越周期が得られる．近年、H/Vスペクトル比と地盤の増幅特性の関係に着目した研究が行われており^{例えば1)2)}、著者らも河川堤防の耐震点検の一手法として常時微動の活用を検討している．簡便な調査手法である利点を活かすためには自動化されたデータ処理が必須となる一方、スペクトル比の算出過程では複雑なシグナル処理プロセスがあるため、客観的で高精度な手法が求められる．そこで、本報では、単点微動データ処理プロセスの高度化を目的とし、①水平成分の合成、②平滑化、③外的影響を受けたデータの除外手法について検討した結果を報告し、提案手法について紹介する．

2. 測定・データ解析の条件

常時微動測定では地盤の固有振動特性を推定できるが、対象とする周期帯に応じて計測時間を調整する必要がある．本検討では、比較的浅い地盤を対象とし、最大2秒付近の周期帯までのデータを得るために、1波形分の計測時間を40.96秒間とした．約10分間の計測データを40.96秒毎に切り出すと約15波形を得る．本報で扱う例では、16波形の微動データ(図1)を対象とし、Pythonを用いてデータ解析を行った．

3. 水平成分の合成

水平(H)スペクトルを得るためには、水平方向の直交2成分(X,Y)を合成させる必要がある．一般的な手法として、両者のスペクトルに対する二乗和平方根(RMS)を用いる手法がある．しかし、実計測においてXとYの位相が完全に一致することはないため、RMSを用いると水平スペクトルの過大評価となる³⁾．本検討では、各(単一)周期成分に対する水平面での楕円軌跡を考慮し(図2)、その半長軸を水平方向の振幅とした．RMSと半長軸を考慮した2手法を比較するため、後述する平滑化処理後のH成分を図2に比較する(参考にV成分も示す)．全体的な形状は同様であるが、長周期帯では有意な差が確認され、RMSではH成分を過大評価することを確認した．本解析では、半長軸を考慮した手法を採用した．



写真1. 河川堤防における常時微動測定時の様子

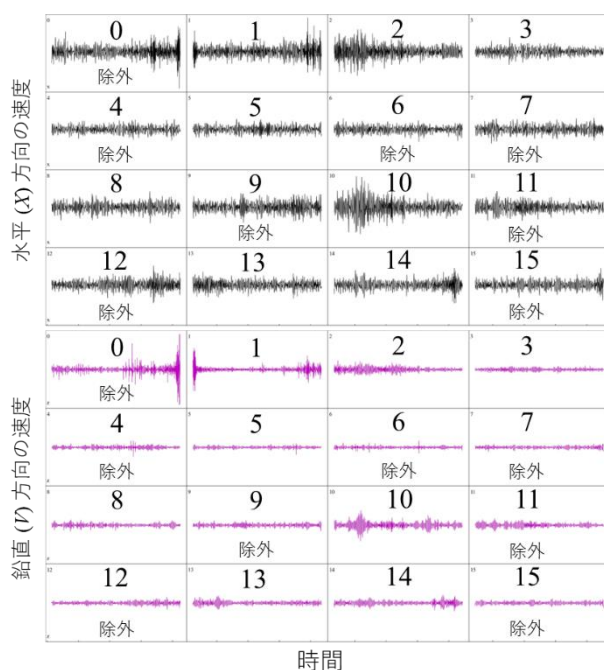


図1. 微動データの例 (上: 水平 X, 下: 鉛直 V)
(全16波形のうち、8波形は除外)

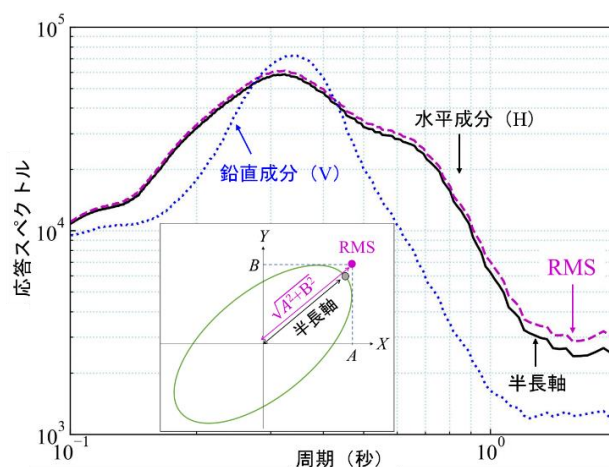


図2. 合成手法の違いによる水平スペクトルへの影響

キーワード 常時微動, 現地調査, データ解析

連絡先 〒350-8516 茨城県つくば市南原1-6

(国研) 土木研究所 地質・地盤研究グループ 土質・振動チーム TEL 029-879-6771

4. 平滑処理（スムージング）

微動データに混在するノイズの除去および平滑化は必須である。スペクトルと窓関数の重畳積分による手法が一般的であるが、広く使用される Parzen 型窓関数²⁾では、長周期側ほど平滑化の程度が増す傾向にあり、卓越周期の検出精度に影響を及ぼす可能性がある。これに対して、紺野ら¹⁾は対数型の窓関数を提案しているが、フィルター幅が狭く、局部的に平滑化が不十分であると指摘されている²⁾。本検討では、Parzen 型の窓関数を基本とし、窓掛けする中央周期に応じて線形的にバンド幅を変化させる手法を新たに考案した。Parzen 型、対数型、提案手法の3手法を用いて、H と V の両スペクトルを平滑化した後に算出した H/V スペクトル比を図3に比較する。対数型と提案手法は概ね同様の結果であるが、既報²⁾同様、対数型では局所的なノイズが確認されたのに対し、提案手法では確認されなかった。

5. 外的影響を受けたデータの除外

測定データに交通振動などの外的振動を含む場合、波形の除外が必要となるが、処理を自動化させるためには客観的な判断に基づいて行う必要がある。本例では、同一計測箇所での全16波形の H/V スペクトル比に対し、すべての組み合わせの（ピアソン積率）相関係数（R 値）、および、各スペクトルに対する平均 R 値を算出した（図4）。平均 R 値が最小の波形を除外した後、残存スペクトル比に対する R 値を再計算し、それらの全平均 R 値が閾値（本例では 0.9）を超えるまで同処理を繰り返した。閾値を超えた時点の残存スペクトル比（本例では 8 波形）をスタッキングすることで平均スペクトル比を得た（図5）。明らかに他とは異なる性状を持つ（相関の弱い）波形は適切に除外されていることが確認できる。なお、提案手法では逐一更新される全平均 R 値に対応した H/V の最大値および卓越周期を記録できるため、閾値の変化に対する結果の感度を分析することができる（図6）。閾値の客観的な設定方法については検討を続けたい。

6. おわりに

本報では、微動データの解析手法における①水平成分の合成、②平滑化、③外的影響を受けたデータの除外手法について新たな手法を提案した。引き続き河川堤防での調査を重ね、微動データ処理プロセスの更なる高度化を図りつつ、地盤の増幅特性と堤防の地震被害の関係を明らかにしていきたい。

参考文献：1) 紺野克昭，大町達夫（1995）常時微動の水平／上下スペクトル比を用いる増幅倍率の推定に適した平滑化とその適用例，土木学会論文集，No. 525/I-33，pp. 247-259. 2) 先名重樹，翠川三郎，若松加寿江（2008）常時微動の H/V スペクトル比と地形・地盤分類を用いたスペクトル増幅率の推定，日本地震工学会論文集，第 8 巻，第 4 号，pp. 1-15. 3) 井上和真，渡辺和明，五十嵐晃，畑明仁（2016）標準波一相補直交成分波の組合せによる橋梁の耐震照査用水平 2 方向入力地震動，土木学会論文集 A1（構造・地震工学）68 巻，I_458-I_469.

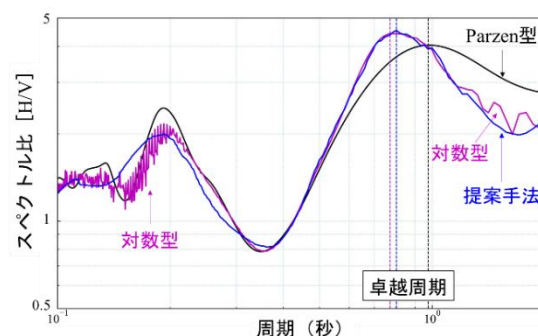


図3. H/V スペクトル比に及ぼす平滑手法の影響

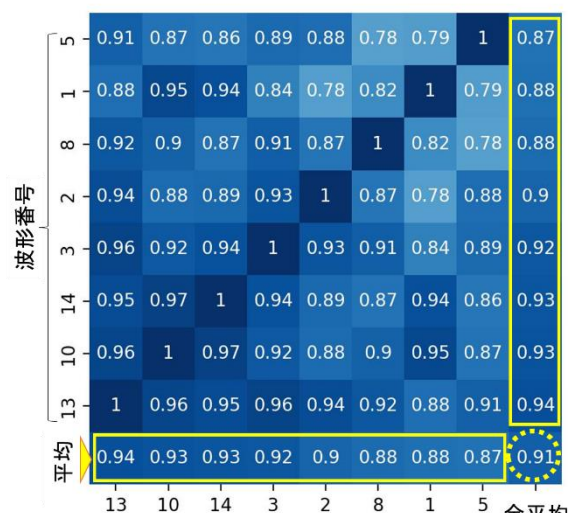


図4. H/V スペクトル比に対する相関係数（R 値）

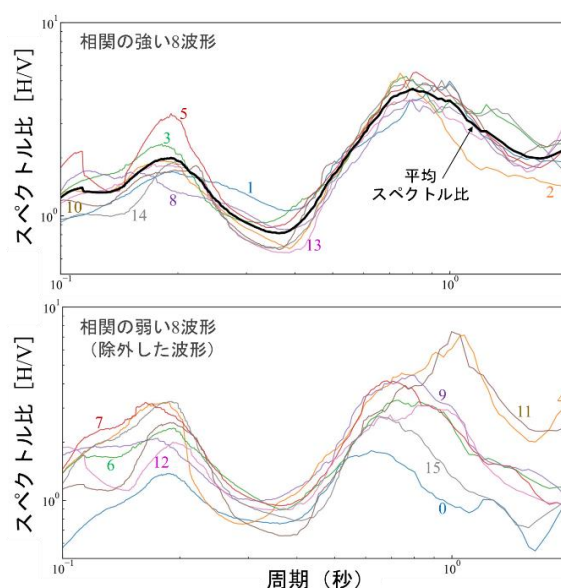


図5. 平均スペクトル比と各波形の比較

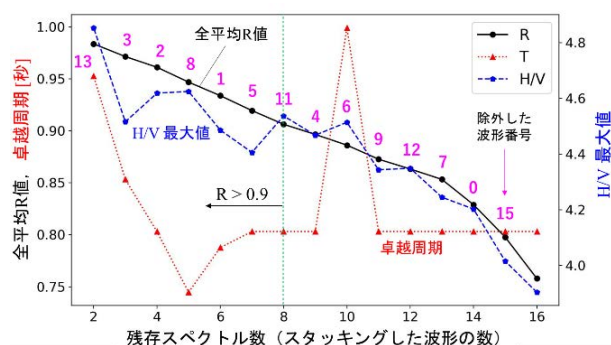


図6. 残存スペクトル数に対する結果の変化