

高知自動車道における軟弱地盤の卓越周期の測定と数値解析

愛媛大学工学部 学生会員○佐伯 嘉隆

愛媛大学工学部 フェロー 森 伸一郎

愛媛大学大学院 学生会員 和仁 晋哉

1. はじめに

構造物の耐震設計において建設地点の表層地盤の地震応答特性を正しく評価することが性能設計では何より重要である。表層地盤の振動特性は地盤のせん断波速度構造を適切に評価することが重要である。そのためには PS 検層や常時微動測定などの実施が望まれる。しかし、現実には N 値による経験式で評価されることが多い。今回、高知自動車道における土佐市を中心とする軟弱地盤地帯において PS 検層（1 地点）や常時微動測定（35 地点）を行い、ボーリングデータのある 27 地点に対して N 値を基にした地震応答解析を実施して、両者を比較することにより当該地盤での N 値によるせん断波速度の経験式の適用性について検討した。

2. 常時微動測定とその解析方法

測定および数値解析の対象区間は高知自動車道 伊野 I.C. から須崎東 I.C. まで約 10 km 区間である。常時微動測定には、24 ビット AD 変換の振動測定器 GEODAS と 0.5~20 Hz で平坦な利得特性を有する速度計 CR4.5-2S を使用した。測定は道路盛土法肩と法尻近くの平坦な地表面の 2 点同時測定とし、35 地点 40 箇所を対象とした。1 箇所では 100Hz サンプリングで約 200 秒間のデータを取得し、時刻歴データはドリフト補正を施した後に 20.48 秒間のセグメント 8 つに分割してフーリエスペクトルやその比を算出した。さらに、それらにバンド幅 0.5 Hz の Parzen ウィンドウを施した。地表面の上下方向に対する水平方向のフーリエスペクトル比（以降、H/V スペクトル比と呼ぶ）から表層の 1 次卓越振動数を読み取った¹⁾。

3. 地盤の地震応答解析

地震応答解析には、一次元重複反射理論による周波数応答のプログラム SHAKE²⁾を使用した。常時微動測定と比較するため線形解析とした。測定 35 地点のうち地盤柱状図のある 27 地点を対象とした。地盤物性は対象区間の 40 地点のボーリング柱状図と地盤調査・試験結果に基づき、土質に対して統一的に湿潤密度をモデル化した。せん断波速度 V_s は N 値による経験式³⁾に基づき算定した。表層地盤の伝達関数（地表/露頭基盤）を求め、それから 1 次卓越振動数を読み取り、微動による H/V スペクトル比のそれと比較した。対象区間では、軟弱地盤ではあってもボーリングは岩に到達していることが多く、解析では、基盤層を弾性基盤とした。

4. 検討結果と考察

図-1 にある地点の(a)常時微動の H/V スペクトル比と(b)数値解析による伝達関数を示す。1 次卓越振動数はそれぞれ 1.9Hz と 2.0 Hz である。前者は Rayleigh 波の medium response に対応するもの、後者はせん断波 (SH 波) の鉛直下方入射の露頭基盤に対する伝達関数であるので、形状は異なるが、卓越するピークの出現する振動数が等しいことがわかる。

図-2 に表層地盤層厚 H と地盤の卓越周期 T との関係を示す。ばらつきはあるが明瞭な正の相関を示し、表層厚が厚いほど 1 次卓越周期が長くなる。原点を通る線形回帰式は、 $T=0.03H$ である。表層の平均せん断波速度を V_s とすると、1/4 波長則に従えば、 $T=4H/V_s$ であるので、この傾きは $4/V_s$ に等しい。 $V_s=130$ (m/s)である。ばらつきは地盤構成の違いによるが、平均 V_s が 100m/s を下回る軟弱な地盤が少なくないのが特徴である。

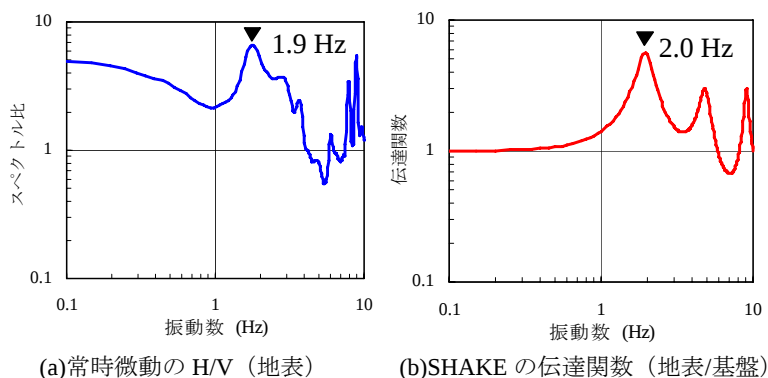


図-1 常時微動の H/V 比と解析の伝達関数

キーワード 軟弱地盤、せん断波速度、固有周期、常時微動

連絡先 790-8577 愛媛県松山市文京町3 愛媛大学大学院理工学研究科 環境建設工学コース mori@dpc.ehime-u.ac.jp

図-3 に数値解析による表層厚と 1 次卓越周期の関係を示す。原点を通る回帰線の傾きは約 0.03 であり、前者と等しい。したがって、土佐市の軟弱地盤の平均的なせん断波速度はおよそ $V_s=130$ (m/s) であること、常時微動による卓越振動数は地盤の固有振動数を検出できること、総体的には経験式によるせん断波速度推定法はこの地域に有効であることがわかる。

次に、個々の地点について測定値と解析値を比較して精度を検討する。図-4 に全 27 地点における 1 次卓越周期に関する測定と解析の関係を示す。1 対 1 の直線上にあれば測定と解析は同じである。多少ばらつきはあるが、ほぼ測定と数値解析結果は同じである。これにより数値解析によって表層の 1 次卓越周期をある程度把握できるものと考えられる。ただし、微動測定点と比較すべき地盤調査地点が離れているものや N 値ゼロが複数深さある地点などの場合に合致度が悪い点については平均的な回帰直線から離れることが多い。特に、N 値ゼロが複数深さある地点などで、 $V_s=50$ m/s とする規定³⁾を無条件に使うと実測と合わないのに注意が必要である。

そこで、この比較に不適切な点を除いたものを図-5 に示す。すなわち、地盤調査（数値解析）と微動測定が近い地点で、N 値ゼロが複数以上連続する地点を除くと、実測と解析はかなり近くなる。

5. 結 論

高知自動車道の軟弱地盤区間を対象に常時微動測定と重複反射理論について、地盤の卓越周期（固有周期）の観点から検討した結果、次の知見を得た。

- (1) 軟弱地盤での常時微動の H/V 比による地盤の卓越周期の検出は有効で、重複反射解析の結果とほぼ一致する。
- (2) 対象区間の平均的なせん断波速度は 130 m/s であり、さらに低速度の軟弱な地盤も少なくない。
- (3) N 値に基づくせん断波速度の推定式（道路橋示方書）は有効である。N 値がゼロの場合に一律に $V_s=50$ m/s などと決めるのは適切でない。

謝 辞：本研究は、その一部を地盤工学会四国支部内に設けられた JH 四国耐震性評価手法検討委員会（委員長 矢田部 龍一 愛媛大学教授）の研究の一環として実施しました。実施に当たっては、西日本高速道路(株)四国支社の関係者の皆様には大変お世話になりました。また、常時微動測定とデータ整理では愛媛大学卒業生（現・前田道路）の福村 耕平氏によるところが大きい。記して感謝します。

参考文献

- 1) 森 伸一郎, 俵 司：常時微動測定による松山平野の三次元地盤構造の推定, 構造工学論文集, Vol.47A, 2001.3
- 2) Schnabel, P.B., Lysmer, J. and Seed, H.B.: SHAKE - A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites -, University of California Berkeley, Report NO.EERC 72-12, pp.1-54, 1972.
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説（V 耐震設計編），2002

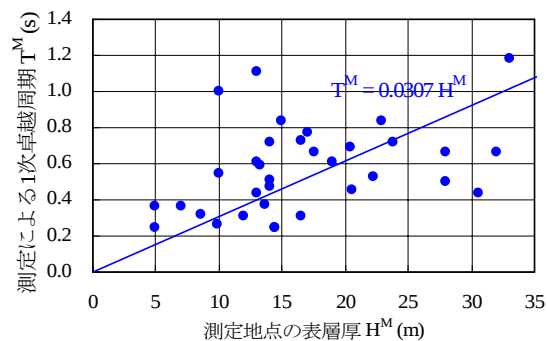


図-2 表層厚と常時微動 1 次卓越周期の関係

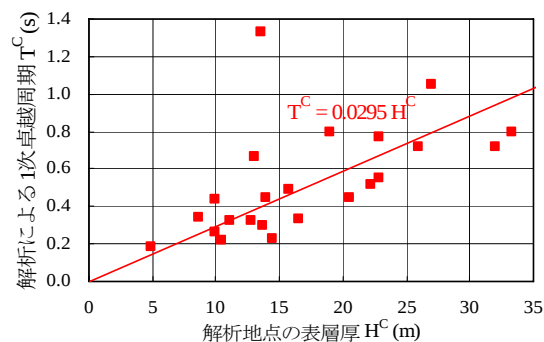


図-3 全 27 地点における表層厚と数値解析による 1 次卓越周期の関係

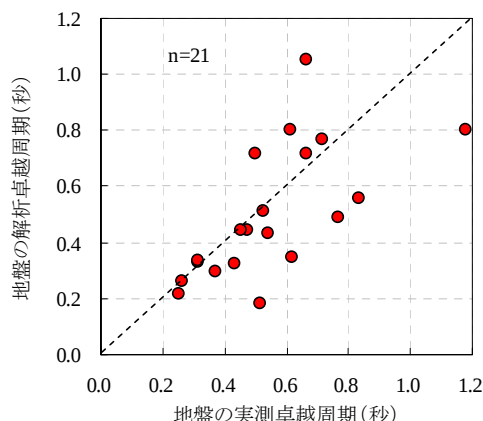


図-4 測定と地盤調査が近い地点における測定と解析による地盤の 1 次卓越周期

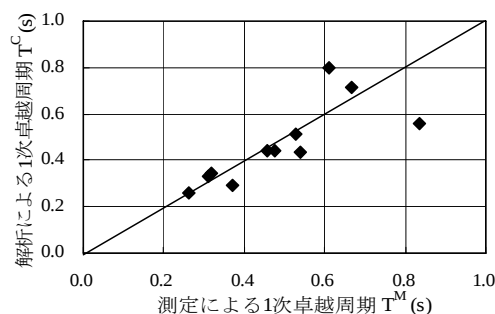


図-5 測定と地盤調査が近い地点における測定と解析による地盤の 1 次卓越周期