

(32) 地表面の常時微動観測結果に基づく表層層厚と基盤S波速度の推定

(財) 鉄道総合技術研究所

中村 豊

(財) 鉄道総合技術研究所

滝沢 太郎

1. はじめに

地震被害の想定は地震防災の基礎である。被害想定を精度よく行うためには、地震力を的確に想定することのほかに、表層地盤や諸施設の地震応答特性を詳しく把握しておく必要がある。しかし、鉄道システムの場合、種々様々な構造物・地形・地盤が連続しており、これらの地震動特性を的確に把握するのは容易なことではない。そこで、常時微動を使って線路沿線の地盤と構造物の地震動応答特性が簡便に調査できる手法の開発を行っている。ここでは、文献1)の方法により表層地盤の卓越振動数と増幅倍率を推定した結果を述べるとともに、これを用いて表層地盤の層厚や基盤S波速度を推定してこの方法による基盤がどの地層に相当しているか検討する。

2. 東海道新幹線沿線の表層地盤の卓越振動数と増幅倍率の推定

運輸省の助成を得て、首都圏JR線沿線の地盤と構造物の常時微動を同時に測定し、地震応答特性を把握する事業を進めている²⁾。これまでに計画の半分に当たる延長約 750kmについて100m間隔で常時微動を測定した。測定器はポータブルなPIC87²⁾を用いている。測定振動数範囲は、0.8Hz～20Hzである。以下の検討には、首都圏での測定結果のうち東海道新幹線 0km～45kmの地表面常時微動データを用いた。新幹線を選んだのは、建設時のボーリング調査を始めとする表層地盤の調査資料が豊富にあるためである。

(1) 推定した卓越振動数・増幅倍率とボーリング調査結果の比較

卓越振動数は常時微動のフーリエスペクトルから読み取られるのが普通である。文献1)の方法では水平動と上下動のスペクトル比を表層地盤の水平動伝達関数とみなして、卓越振動数と増幅倍率を読み取る。図1は、地表面での常時微動の水平動スペクトルと、水平/上下のスペクトル比を比較したものである。スペクトルそのものより、スペクトル比の方がすっきりした形状を示し、卓越振動数も明確に読み取れることがわかる。

スペクトル比を表層水平動の伝達関数とみなす方法は簡便であるが、表層地盤についての定義があいまい

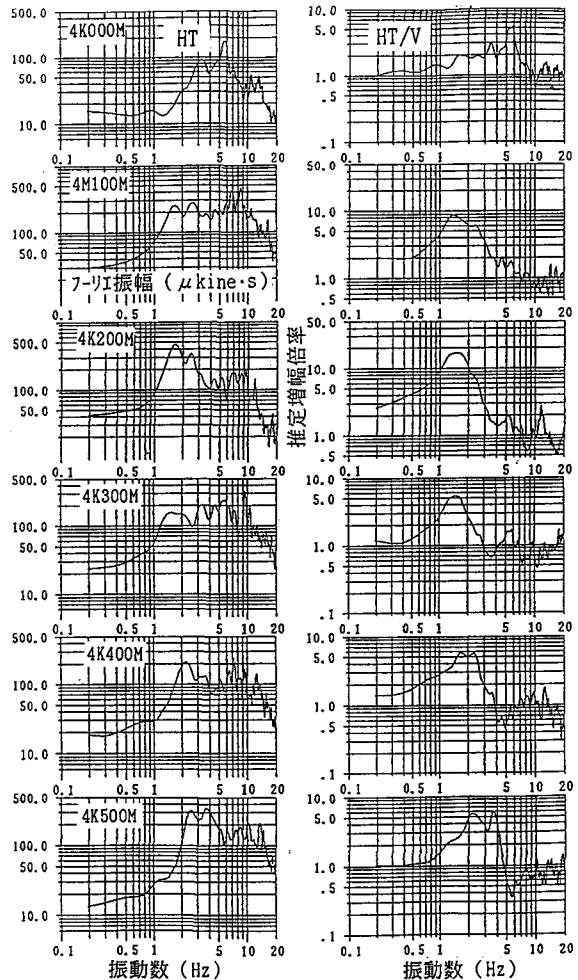


図1 常時微動のフーリエスペクトルと
推定伝達関数の比較(東海道新幹線)

である。そこで、スペクトル比から推定した卓越振動数と増幅倍率とボーリング調査などから推定した地質縦断面図と比較して検討する。

図2は、スペクトル比からもっとも卓越する振動数とその時の増幅倍率を読み取り、これらの対数を線路キロ程に対応させて例示したものである。参考のため、フーリエスペクトルから読み取った最卓越振動数の対数も示している。図3は、これらと対比するためにしめたもので、ボーリング調査結果を基に推定した地質縦断面図である。図2と図3を比較すると、スペクトルそのものから読み取った卓越振動数の変動は地層構造の変化に対応していないが、スペクトル比から読み取った卓越振動数の変動は概ね洪積地盤と沖積地盤の境界面の変化に対応していることがわかる。また、スペクトル比から推定される増幅倍率は沖積粘土層に敏感に反応し、大きな値を示している。すなわち、S波速度のコントラストが大きい境界面の深さの変化と推定卓越振動数の変化が対応し、せん断波速度の小さい地域と推定増幅倍率の大きい地域とが対応していると言える。

(2) 推定された卓越振動数と増幅倍率

図4は、東海道新幹線 0km～45kmの表層地盤の卓越振動数と増幅倍率の推定結果についてその累積頻度を示したものである。測定データの総数は456個である。これによると、地盤の卓越振動数は95%の地点で1Hz～8Hzの間にあり、その中央値は3.3Hzである。この区間での最高卓越振動数は15.4Hzである。また、増幅倍率は95%の地点で2倍～10倍の間にあって、その中央値は4.2倍となっている。この区間で最大の増幅倍率は17倍である。

図5は地盤の卓越振動数と増幅倍率の関係を示したものである。地盤の卓越振動数が高くなると大きな増幅倍率はなくなり、地盤の卓越振動数が低い場合にはかなり大きな増幅倍率になる場合があることがわかる。

3. 表層地盤の層厚と基盤S波速度の推定

ここでは、地表面の常時微動により推定した東海道新幹線の0km～45km区間の表層地盤の卓越振動数と増幅倍率を用いて、基盤までの厚さや基盤のS波速度を推定することを試みる。これにより、文献1)方法で推定される表層地盤の伝達関数がどこを基盤にしているか知ることがで

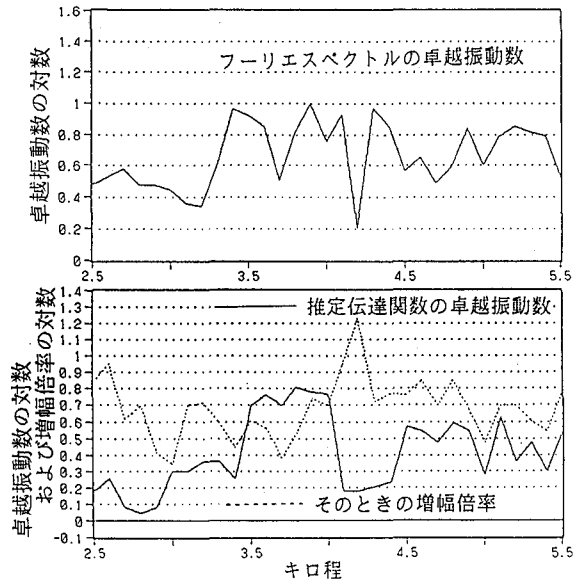


図2 常時微動観測結果から推定した卓越振動数と増幅倍率（常用対数）

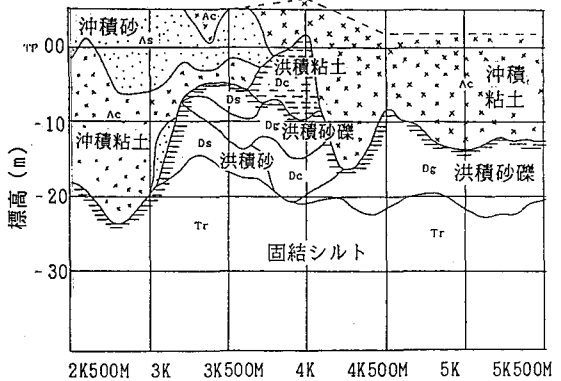


図3 ボーリング調査結果による地質縦断面図

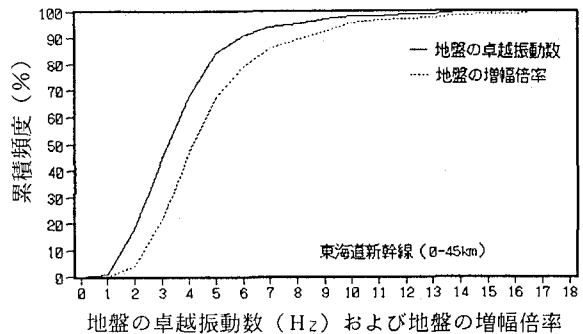


図4 地盤の卓越振動数と地盤の増幅倍率の累積頻度曲線

きる。

(1) 基本的な考え方

まず、図6のような表層地盤と基盤の2層構造を考える。この場合の表層地盤の第1次の卓越振動数Fと増幅倍率Aは次式で与えられる。なお、地盤中の内部減衰は無視する。

$$F = V_s / (4H) \quad (1)$$

$$A = 2(V_B \cdot \rho_B) / (V_s \cdot \rho_s) \quad (2)$$

ここに、

ρ_s, V_s : 表層地盤の密度、S波の伝播速度、

ρ_B, V_B : 基盤の密度、S波の伝播速度、

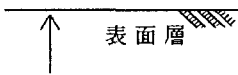
H: 表層地盤の層厚、である。

$\rho_B \approx \rho_s$ と仮定すれば、

$$(1) \text{ から、 } V_s = 4HF \quad (1)'$$

$$(2) \text{ から、 } V_s = 2V_B/A \quad (2)'$$

ゆえに、



H V_s ρ_s

(3) から、

卓越振動数Fと

増幅倍率Aが計測

できれば、Hを仮

定して、(3)'

式により V_B が、

図6 地盤構造モデル

(1)' 式により

V_s が推定できる。Hの代わりに V_B を仮定すれば、(3)式でHが、(2)'式で V_s が推定できることになる。

付近の既存資料からHまたは V_B が推定できれば、地表面での常時微動の測定結果を用いて卓越振動数Fと増幅倍率Aが推定できるので、 V_B またはHおよび V_s を推定することができる。

表層地盤が1層ではなく多層構造の場合には V_s を平均速度と考える。

(2) 表層地盤の厚さHの推定

前項の考え方を適用して、東海道新幹線の0km～45kmの区間について表層地盤の厚さを推定した。表層地盤の卓越振動数と増幅倍率は常時微動により推定したが、基盤のS波速度 V_B は全区間で一定とし、300m/sと500m/s

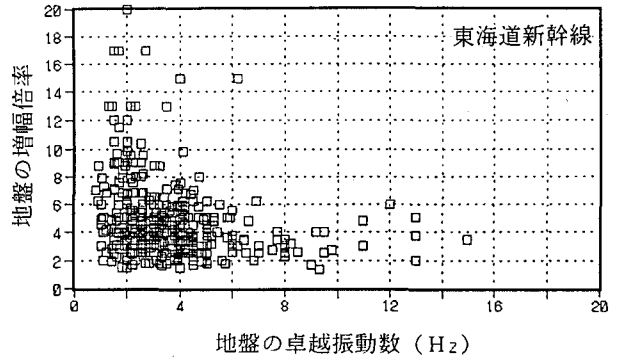


図5 地盤の増幅倍率と地盤の卓越振動数の関係

$$H = V_s / (4F)$$

$$= 2V_B/A / (4F)$$

$$= V_B / (2AF) \quad (3)$$

$$V_B = 2AFH \quad (3)'$$

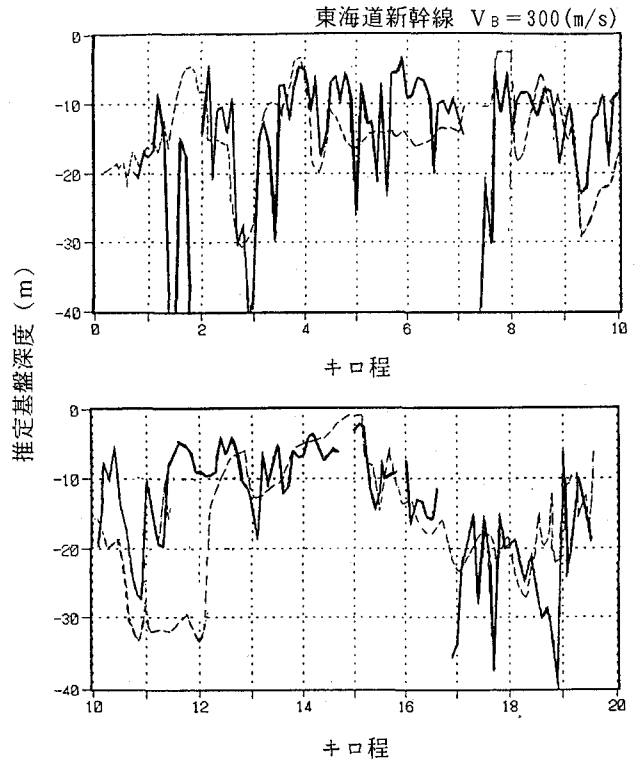


図7(a) 推定基盤深度とボーリング調査結果の比較

のふたつの場合について求めた。図7は $V_B = 300\text{m/s}$ の場合の結果を実線で示したものである。これには、ボーリング調査結果から推定される洪積砂層または第3紀上総層群を基盤として破線で示した。これによると、ばらつきはあるものの常時微動による推定結果とボーリング調査結果とはよく対応していることがわかる。したがって、おおまかな表層地盤の厚さや基盤のS波速度を推定する前節の簡便法は概ね妥当であると考えられ、この区間の基盤の平均的なS波伝播速度は概ね300m/s程度と推定される。これはこの区間にある3変電所におけるPS検層の結果得られた基盤のS波速度よりやや低いものとなっている。これには地盤中の内部減衰を考慮していない影響も考えられる。また、推定層厚のばらつきには、常時微動測定点が地面であったり舗装面であったりなどの影響も関係しているものと考えられる。

4. おわりに

以上、地表面の常時微動を測定するだけで表層地盤の地震動特性を推定する試みに続き、表層地盤の厚さやS波速度を推定する可能性について検討した。この結果、地表面の常時微動から推定される表層地盤の伝達関数はS波速度のコントラストが大きいところを基盤面とした場合に対応しており、この基盤面は概ね洪積地盤に相当していることなどが明らかになった。常時微動を用いた地盤特性の推定法については、さらに詳細な検討を続け、推定結果に及ぼす常時微動測定時のセンサー設置条件や環境の影響などを明らかにしていきたい。なお、簡便な手法は多くの仮定の上に成り立っているものであるため、仮定の正しさや妥当性などについても実際の測定データを基に検討を続けていくつもりである。

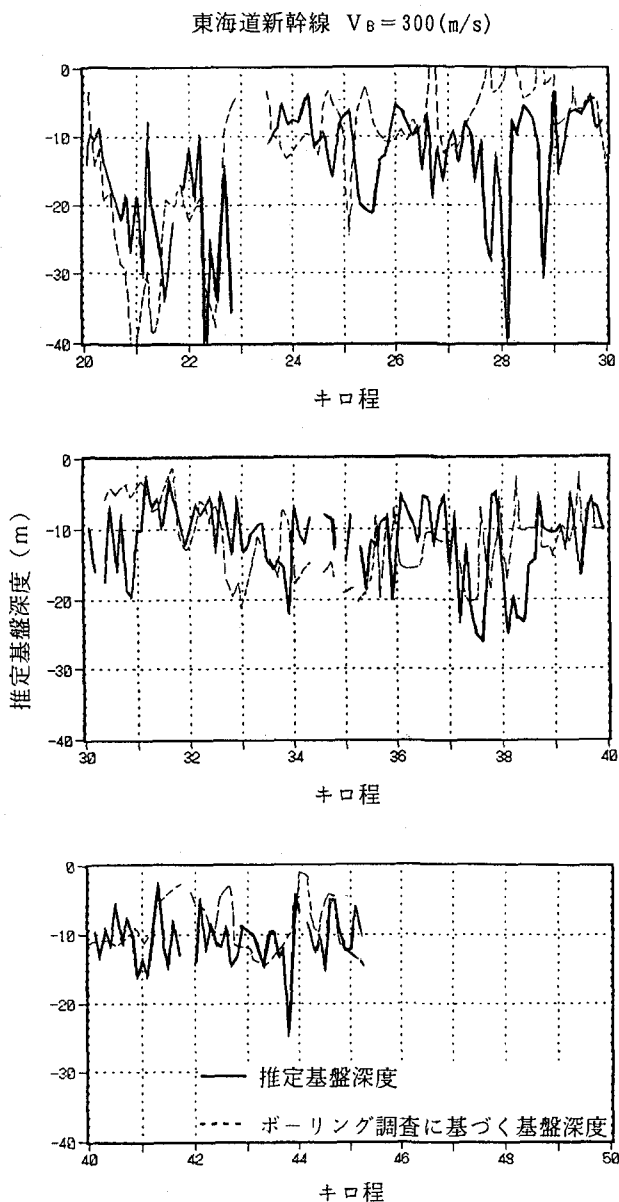


図7 (b) 推定基盤深度とボーリング調査結果の比較

謝 辞：首都圏JR沿線の常時微動測定に対するJR東日本とJR東海の関係者のご協力に感謝します。

参考文献：1) 中村「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Vol.2, No.4, 1988.4

2) 中村「総合地震防災システムのための常時微動を用いた鉄道沿線地盤および構造物の震動特性調査」土木学会第43回年次学術講演概要集I-468、1988年10月