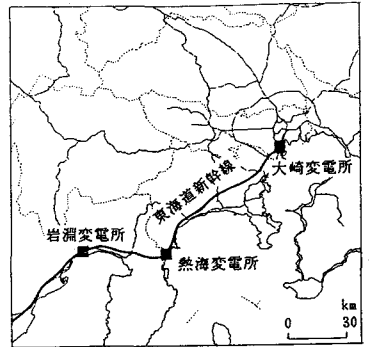


(34) 強震観測データを用いた表層地盤の地震動特性の推定

(財) 鉄道総合技術研究所 中村 豊
 (財) 鉄道総合技術研究所 佐溝昌彦

1. はじめに

表層地盤の地震動増幅特性を的確に把握することは、耐震工学上からも地震防災上からも非常に重要な問題である。表層地盤の地震応答特性を常時微動を用いて推定する方法を別途検討しているが、実際の地震動は常時微動よりはるかに大きい振幅であり、地盤の非線形特性の検討を欠かすことができない。こうした地震時の表層地盤の挙動を把握する目的で、JR東海の協力のもとに東海道新幹線沿線において地表面と基盤面の地震動を同時に観測している。ここでは、地表面と地中で同時に得られた強震記録を基に推定した表層地盤の伝達関数と、地表面の地震動観測データだけを用いて推定した伝達関数を比較する。さらに地表面での強震記録を用いて表層地盤の歪依存性を調査する手法について検討する。



2. 地震観測地点

ここでの解析に用いた強震記録は、東海道新幹線沿線に設置された強震計SMACまたは警報地震計NEWS改により記録されたものである。後者は1985年6月に前者の後継地震計として設置された。このとき、表層地盤の地震動特性を把握する目的で、N値が50を超える地層に地中地震計を埋設した。NEWS改設置以来の大きな地震は千葉県東方沖地震くらいであり、まだ系統的な検討が行えるほどNEWS改のデータは収集されていない。しかし、それ以前のSMACによる記録は比較的集積されている。ここでは、これらの記録のうち表層地盤がほぼ一層から成ると考えられる、大崎、熱海および岩淵の3地点について検討を行なう。

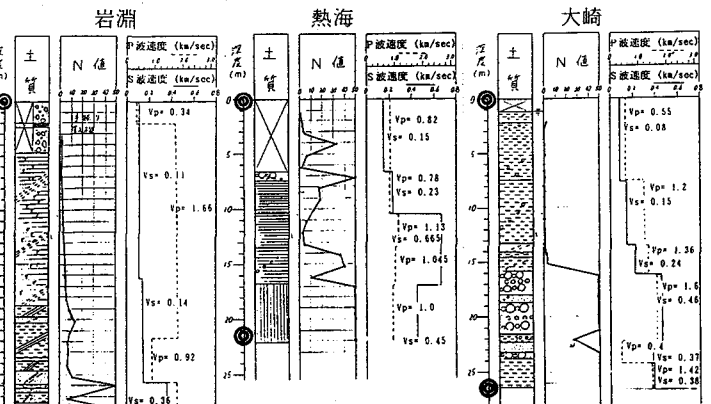


図1 検知点位置とボーリング調査結果 (◎センサ位置)

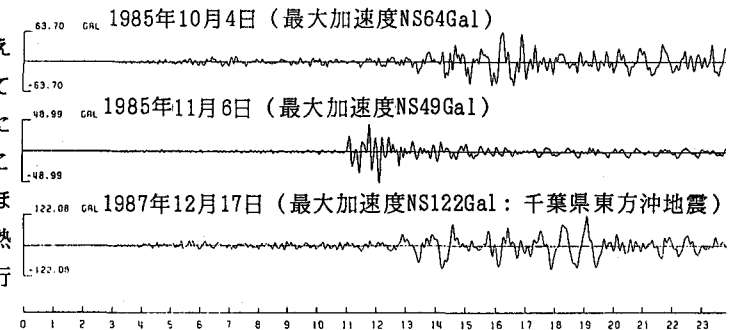


図2 解析に用いた地震波形

図1にこれらの検知点の位置と表層地盤のボーリング調査結果およびセンサ位置を示す。

大崎地点は図1に見られるように、シルト層が約15m続き、その下は洪積砂礫地盤が続いている。表層地盤の平均S波速度はおおよそ120m/sである。これから推定される表層地盤の卓越振動数は約2Hzとなる。

熱海地点の表層地盤は厚さ6m程度の客土の層（トンネルのずり）と約4mの砂混じり沖積砂層および約7mの

沖積礫層から成っている。S波速度構造を見ると、150m/s～200m/s（平均180m/s）の層が10m程度続き、その下はS波速度600m/s以上の層が広がっている。推定卓越振動数は4.5 Hzとなる。

岩淵地点の表層地盤は、表土5m、腐食土混じりの沖積粘土層10mおよび洪積粘土層10mの合わせて25mである。そのS波速度は110m/s～140m/s（平均120m/s）である。卓越振動数は1.2Hzと推定される。

3. 実測伝達関数と簡便な推定法¹⁾による伝達関数の比較

NEWS改が設置されてから比較的大きな地震が観測された大崎地点の地表と地中の強震記録を用いて表層地盤の増幅特性を推定する。解析には1985年の10月4日（最大加速度NS64Gal）と11月6日（最大加速度NS49Gal）および1987年12月17日（最大加速度NS122Gal：千葉県東方沖地震）の3地震を用いた。図2に各々の地震波形を示す。

図3はNS成分について主要動部分の地表/地中スペクトル比を示したものである。3地震分を重ねて表示している。推定された伝達関数は3地震ともよく一致しているが、卓越振動数はボーリング調査結果に基づく推定伝達関数（点線）の卓越振動数より低い。地表面の観測データだけを使って表層地盤の伝達関数を推定¹⁾した結果が図4である。図4は図3に較べて1Hz以下の部分で食い違っていたり、4Hz以上の部分のスペクトル値がやや小さかったりするものの、両者のスペクトル形状は概ねよい一致を示している。1Hz以下の部分は図1に示したのより深い地層構造に起因している可能性がある。

4. 簡便な推定伝達関数を用いた卓越振動数と増幅倍率

図5、図6および図7は、それぞれ、大崎地点、熱海地点および岩淵地点での観測波形のNS方向成分の主要動を最大加速度の順に並べて例示したものである。図中にはそれぞれに地震のマグニチュード等も示した。これらの波形をみると、波形特性は地点毎にほぼ一定しているが、地震によって波形特性が異なることもわかれる。大崎地点で観測された波形特性が大きく異なるふたつの地震観測記録波形（地表面）を用いて簡便法による伝達関数を比較したものが図8である。これをみると、記録波形の周波数特性はかなり異

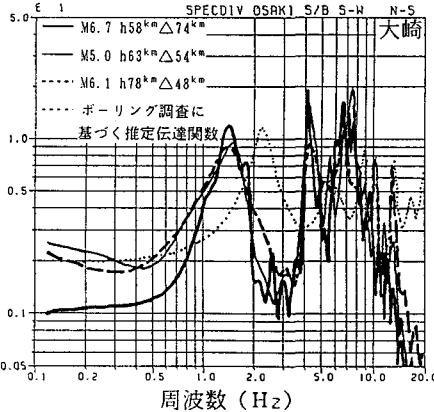


図3 主要動部分の地表/地中スペクトル比

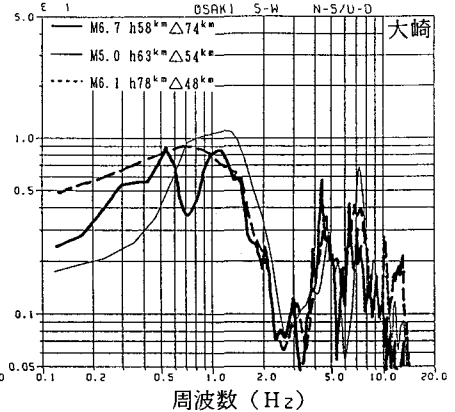


図4 表層地盤の伝達関数（推定）

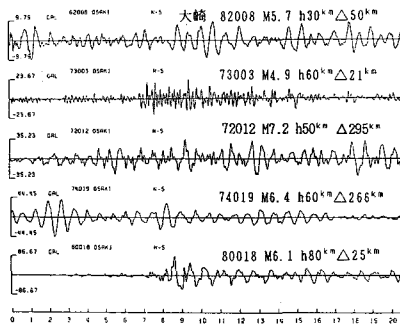


図5 観測波形（大崎）

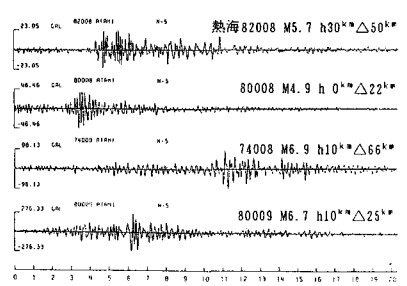


図6 観測波形（熱海）

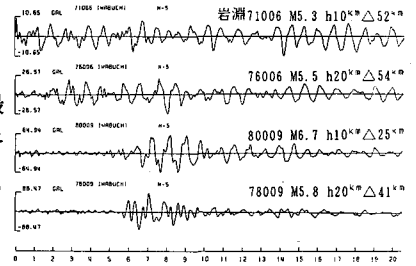


図7 観測波形（岩淵）

なるものの、推定伝達関数は両者でよく一致している。推定伝達関数には震源の周波数特性が除去されていることがわかる。

地震毎に簡易推定伝達関数を用いて表層地盤の卓越振動数 F と増幅倍率 A を推定し、これらが最大加速度によってどのように変化しているか検討した。図9～図11は地点毎に結果を示したものである。岩淵や大崎では卓越振動数は変化せず、熱海だけ最大加速度の増大とともに卓越振動数や増幅倍率が低くなる傾向が認められる。

図12は熱海の卓越振動数と増幅倍率が震央距離やマグニチュードの変化にともなってどのように変化するか見たものであるが、いずれも震央距離やマグニチュードが大きくなると、大きくなる傾向が認められる。これは用いたデータが、震央距離やマグニチュードが大きくなると最大加速度が小さくなる特性を持っているため、みかけ上あらわれたものであろう。

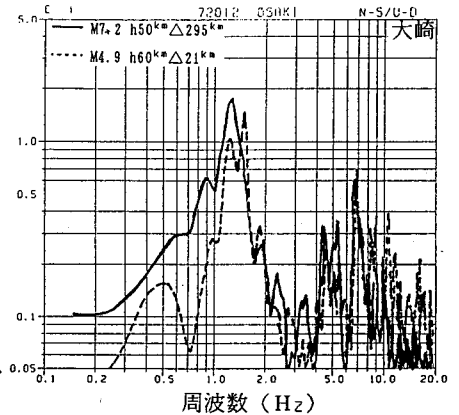


図8 伝達関数の比較

5. 卓越振動数・増幅倍率を基に推定した剛性率と減衰定数の歪依存特性

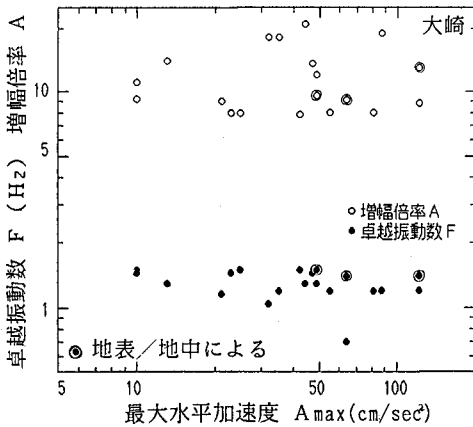


図9 卓越振動数、増幅倍率と最大加速度（大崎）

最大加速度は表層地盤に発生しているせん断歪と密接に関連している。地震動の卓越振動数 F と最大加速度 A_{max} を用いて、地表面の変位 d を次のように推定する。

$$d = A_{max} / (2\pi F)^2$$

これを使って、層厚 H の表層地盤に発生したせん断歪 γ を次のように推定する。

$$\gamma = d / H$$

これから観測データは、大崎では $0.8 \times 10^{-4} \sim 10^{-3}$ 、熱海では $0.7 \times 10^{-5} \sim 0.6 \times 10^{-3}$ 、岩淵では $10^{-4} \sim$

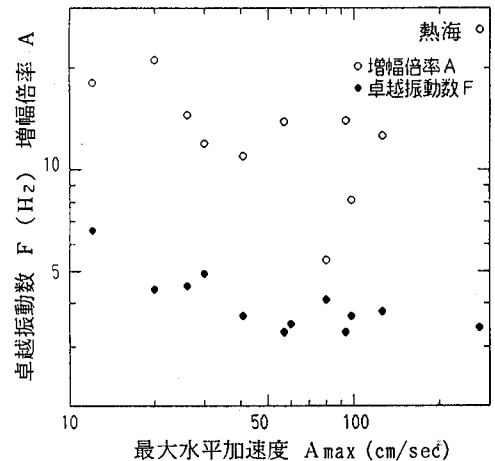


図10 卓越振動数、増幅倍率と最大加速度（熱海）

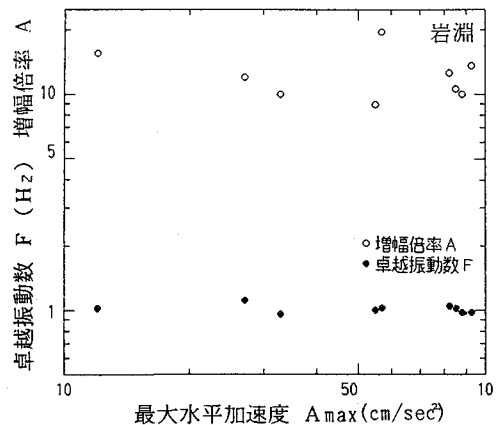


図11 卓越振動数、増幅倍率と最大加速度（岩淵）

10^{-3} の歪に対応するものと考えられる。最大加速度に対する卓越振動数の変化が比較的大きかった熱海のデータについて、

減衰定数 h と剛性率比 G/G_0 の歪依存性を検討する。みかけの減衰定数 h と剛性率比 G/G_0 は次のようにして推定した。

$$h = 1/(2A),$$

$$G = kF^2,$$

k : 比例係数

G_0 としては、

いちばん小さな最大加速度値を示すデータ(推定せん断歪 $\approx 0.7 \times 10^{-5}$)をとった。

図13は剛性率比と減衰定数のせん断歪に対する変化を示したものである。こ

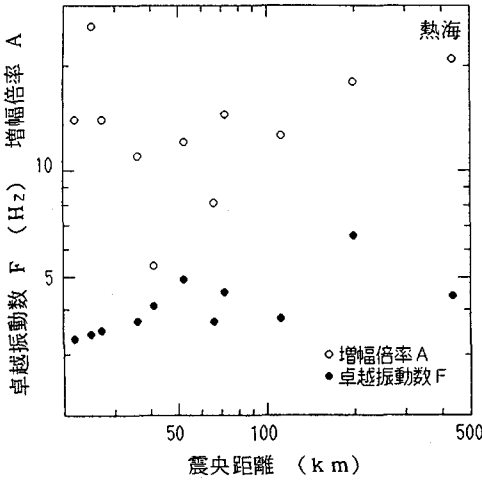


図12 卓越振動数、増幅倍率と震央距離、マグニチュードの関係

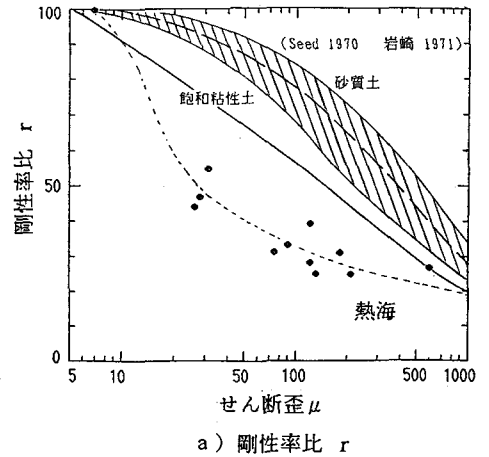
熱海地点の表層地盤の平均的な剛性率の比は砂や飽和粘土に対する室内試験の結果(図中に表示)より下回っている。また減衰定数についてはほぼこれまでの室内試験のデータの範囲内にある。

6. おわりに

ここでは、地表面の強震記録を用いて推定した表層地盤の伝達関数の正しさを確認した後、各地震毎の推定伝達関数から読みとった卓越振動数と増幅倍率が最大加速度の大きさによってどのように変化するか検討した。また、強震記録を用いて表層地盤の剛性率や減衰定数の歪依存性を検討する方法について検討した。今後、小さい加速度を含む強震データを蓄積して地震動についての知見を深めるとともに、強震記録を用いて表層地盤の動的特性を把握するための諸検討を行なう。

謝辞：強震観測に協力していただいているJR東海をはじめとするJRの関係者に感謝します。

参考文献：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1988.4.



a) 剛性率比 r

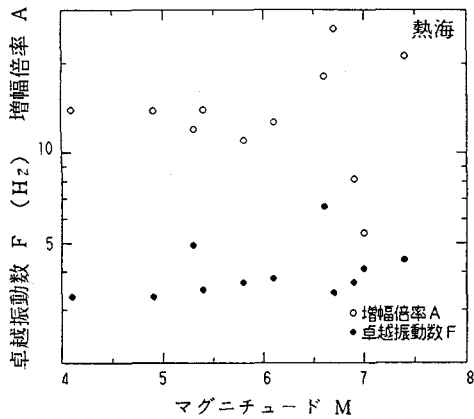
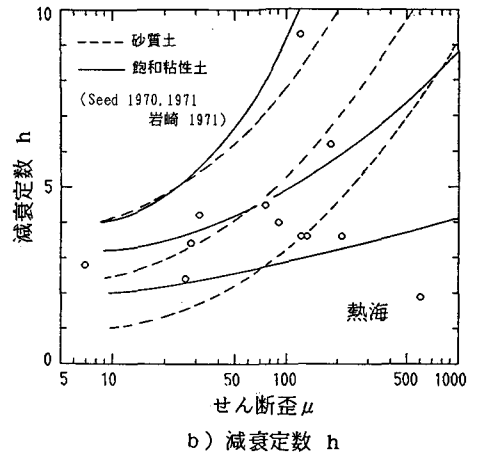


図12 卓越振動数、増幅倍率と震央距離、マグニチュードの関係



b) 減衰定数 h

図13 地表面の強震観測データに基づく表層地盤の歪依存性