

強震記録による地盤と構造物の 地震動特性

岡田 佳久¹・中村 正明¹・日比野 潤²

¹正会員 東京都土木技術研究所 地象部 (〒136-0075 東京都江東区新砂1-9-15)
²正会員 東京都建設局西多摩建設事務所 (〒198-0042 東京都青梅市東青梅3-20-1)

東京都土木技術研究所では、昭和50年より強震計を構造物（橋脚、堤防等）とそれに近接した地盤に設置して、地震動を観測している。これまでに得られた強震記録は、小規模地震ではあるが多くのデータが得られている。今回の報告では、現在までに得られている強震記録の中から比較的大きな地震動を抽出し、水平動と上下動のフーリエ・スペクトル比（H/Vスペクトル）を求め、その結果から、地盤の卓越振動数を導き、常時微動測定記録のフーリエ・スペクトル比（H/Vスペクトル）、および、S波、N値から求めた卓越振動数と比較した。また、構造物（橋脚）の強震記録と地盤の強震記録から伝達関数を求め、橋脚の増幅率、固有周期を得た。

Key Words : Strong motion, fourier spectrum, horizontal-to-vertical spectrum ratio, microtremor, transfer function

1. はじめに

阪神淡路大震災時の強震記録が、後の耐震設計に大きな影響を与えたのは言うまでもない。この震災以降、強震計の重要性が改めて見直され、防災科学技術研究所の強震ネット（k-net）を初め、多くの機関で強震計を設置し、鳥取県西部地震のように非常に大きな地震波形も観測されてきている。

東京都土木技術研究所においても、昭和50年より強震計を設置し、現在では、図-1のように都内に19箇所40台の強震計を配置し、地盤と構造物にそれぞれ強震計を設置している。その多くが、東京都東部の沖積低地に設置されている。これらの強震計により、小規模地震であるが多くの強震記録が得られつつある。

今回の報告では、構造物の中から橋脚と地盤の震動特性の検討を行うために、表-1に示した平成元年以降で大手町震度4以上を示した強震記録を用いた。解析法として、強震記録の水平動と上下動のフーリエ・スペクトル比（以下H/Vスペクトル）を計算し、次に、常時微動のH/Vスペクトル、および、重複反射法や道路橋示方書・同解説V耐震設計編¹⁾（以下道示）のN値より求めた地盤の卓越振動数との比較を行う。さらに、橋脚上で得られた強震記録と地盤で得られた強震記録を用いて伝達関数を求め、そこから

橋脚の増幅率、固有振動数を導き、地盤の卓越振動数との比較を行う。

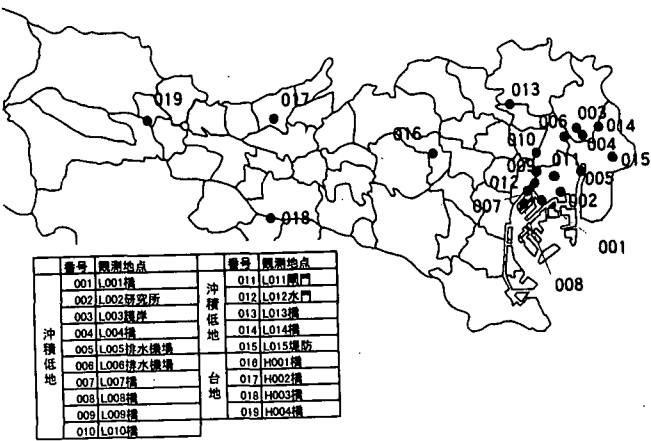


図-1 強震観測地点位置図

表-1 地震諸元

年月日	時間	震源地	マグニチュード	震源深さ	大手町震度
1989/2/19	21:27	茨城県南西部	5.6	55	4
1991/11/19	17:24	東京湾	4.9	81	4
1992/2/2	4:04	東京湾	5.9	92	5
1993/5/21	11:36	茨城県南西部	5.3	61	4
1993/10/12	0:54	東海地方南方はるか沖	7.1	390	4
1998/8/29	8:46	東京湾	5.1	67	4

2. 強震記録のH/Vスペクトル

常時微動のH/Vスペクトルは、一般的に安定し、地盤震動特性を簡易に表すものとして利用されている²⁾。また、このH/Vスペクトルは、強震記録においても安定していると言われている^{3), 4), 5)}。

そこで今回は、強震観測地点19箇所では表-1の強震記録のH/Vスペクトルを用いて安定性について検討を行う。解析は、強震記録の中から、主要動を含む40.96秒間を抽出し、フーリエ・スペクトルを求め、Parzen Window (バンド幅0.4Hz) で平滑化を行う。水平動については、NS, EWでほとんど変動がないため、それらを合成する。合成方法は、離散振動数で求めたNS, EWのフーリエ解析結果を、図-2に示すとおり振動数ごとに長軸を求め、その長さの半分の値を水平動の振幅値とする。この結果を、UD成分のフーリエ・スペクトルで割返し、H/Vスペクトルを求め、各観測地点ごとに比較を行う。

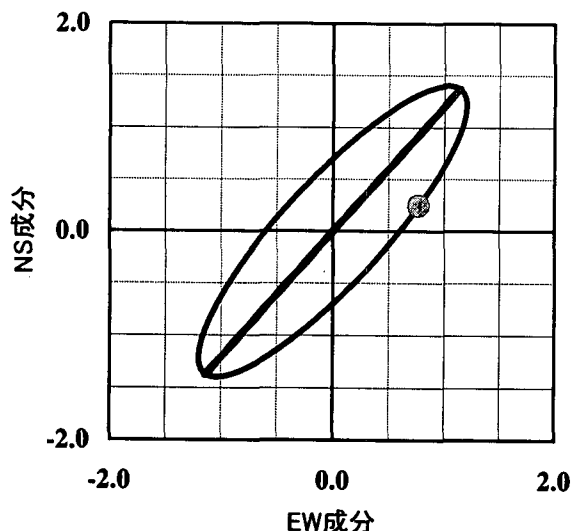


図-2 合成方法

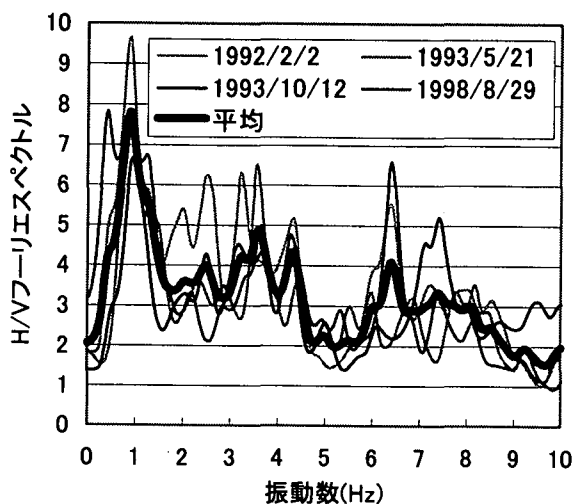


図-3 強震動H/Vスペクトル(L002研究所)

その結果の代表例(L002研究所)を図-3に示すと、地震によらず一次の大きなピークが約1Hz付近に見られる。他のピークも若干振動数やピーク値の違いは見られるが、形状としてはほぼ一致する。この傾向は、他の強震観測地点においても同様であり、地震によらずH/Vスペクトルの形状、スペクトル比、および、卓越振動数は良く一致する。今回解析を行った限り、H/Vスペクトルは地震によらず安定し、強震観測地点毎に、ピーク値やその形状が違ってくるから、強震記録のH/Vスペクトルは、その地点の地盤震動特性を表しているものと考えられる。

3. 各種方法により求めた地盤の卓越振動数の比較

地盤の卓越振動数を以下の3方法により求め、比較を行う。

(1) 強震動H/Vスペクトル

強震観測地点それぞれで地震別に求めた強震記録のH/Vスペクトルを平均化し、その最大値を示す振動数を地盤の卓越振動数とする。

(2) 常時微動H/Vスペクトル

強震観測地点全てで常時微動測定を行った。また、測定時間は、交通振動等を考慮し、1地点当たり深夜30分間とした。その中から、振幅値が比較的安定している40.96秒間を抽出し、さらに、測定データの前後に10%のsin型のテーパウィンドウを施した。解析については、強震記録同様にH/Vスペクトルを求め、その最大値を地盤の卓越振動数とする。

その結果等詳細については、当所年報^{6), 7)}を参照されたい。

(3) S波速度, N値

当所の地質調査資料からPS検層データを行っているものについて抽出し、重複反射法により強震観測地点近傍の地盤の卓越振動数を求める。基盤面深度は、道示を参考に、S波速度で300m/sec²以上を示す層で、その下層に300m/sec²の値を下まわらない層を工学的基盤面とする。物性値については、ボーリング調査のデータを用い、減衰率は地層によらず一律5%に設定し、重複反射法により解析を行い、卓越振動数を求める。また、PS検層データのない地点については、地盤情報システムにより強震観測地点の近傍のデータを検索し、工学的基盤面までの深さを設定する。その際、工学的基盤面深度は、N値50以上の層でその下層部でN値50を割らないような地層

とする．物性値として，S波速度はN値より換算する．これらのデータから，地盤の卓越振動数を道示より地盤の特性値を求め，その逆数により求める．

この3方法で求めた地盤の卓越振動数と，強震観測地点の工学的基盤面深度の関係を図-4に示す．その結果，3方法の地盤の卓越振動数は非常に良く一致し，工学的基盤面深度が深くなるにつれて地盤の卓越振動数が小さくなり，30mを越えると深度によらず，ほぼ一定の1Hzの卓越振動数になった．これより，強震動H/Vスペクトルと常時微動H/Vスペクトルは，道示の工学的基盤面を基準とした地盤の卓越振動数を表していると考えられる．また，強震動H/Vスペクトルと常時微動H/Vスペクトルの卓越振動数の比較を図-5に示す．約2Hz程度までは非常に良く一致するが，それを越えると若干のばらつきが生じた．これについては，k-net等他機関のデータを増やしてその傾向をみたい．また，常時微動H/Vスペクトルについても，30分の計測時間からの1ケース，40.96秒間のみを取り出してしか解析していないので，今後，数ケース解析し，平均して比較してみたい．

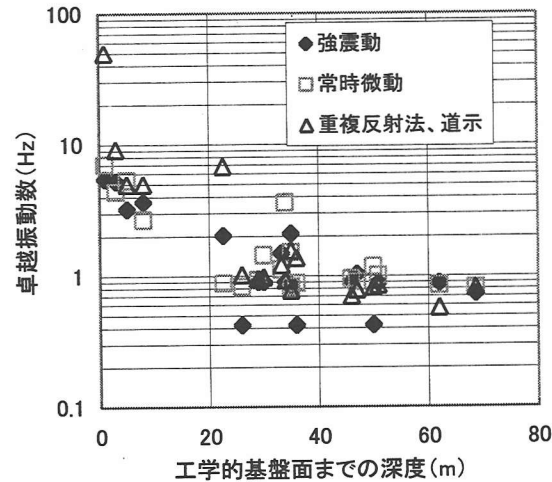


図-4 3手法による比較

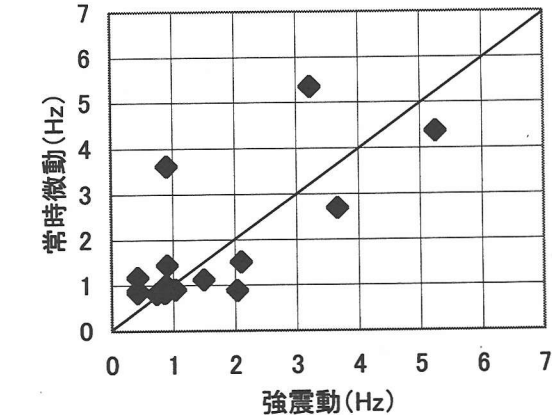


図-5 強震動と常時微動H/Vスペクトルの比較

4. 伝達関数

橋脚の固有の震動特性を求めるため，橋脚上に設置してある強震記録とその近傍の地盤に設置してある強震記録より伝達関数を求める．しかし，橋脚上の強震計の観測方向が，橋軸方向と橋軸直角方向に設置され，地盤上の強震計が南北方向と東西方向に設置されているため，必ずしも橋脚上と地盤で同一方向で観測されていない．そのため，地盤上の強震記録を橋軸方向と橋軸直角方向に回転させた後，主要動を含む40.96秒間を抽出し，フーリエ解析を行い，Parzen Window（バンド幅0.4Hz）で平滑化し，伝達関数を求める．その結果の一例を図-6に示す．

図のとおり橋脚の伝達関数(H003橋)は，地震によらず非常に良く一致していることがわかる．他の橋脚についても同様に良く一致するが，その形状は橋梁により異なっている．次に，橋梁毎，地震別に示した最大増幅率を見ると，図-7に示すとおり，ほとんどが非常に良く一致しているが，数橋で数倍違うものもあった．また，H002橋，L004橋以外は，台地に架かっている橋梁の方が低地に架かっている橋梁よりも増幅率が高い傾向となった．特に，H004橋EW（橋軸直角）方向は，橋梁の中でも非常に大きく，約14～22倍の増幅率を示した．次に，上記の最大増幅率を表した地震毎の固有振動数の変化を図-8に示す．H002橋以外は，台地に架かっている橋梁の方が，沖積低地に架かっている橋梁よりも地震によらず固有振動数が一致する傾向を示した．固有振動数の最大値が変化する橋梁についてもピークが複数有り，それらの振動数は地震によらずほぼ一定であった．

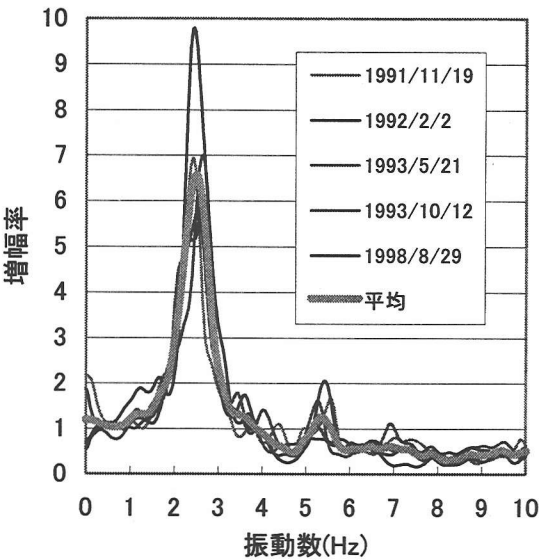


図-6 伝達関数(H003橋橋軸方向)

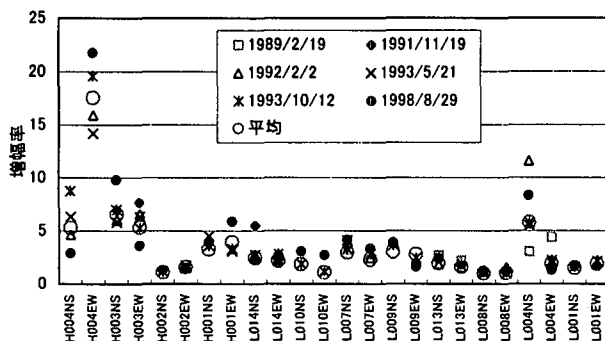


図-7 地震別橋脚の増幅率

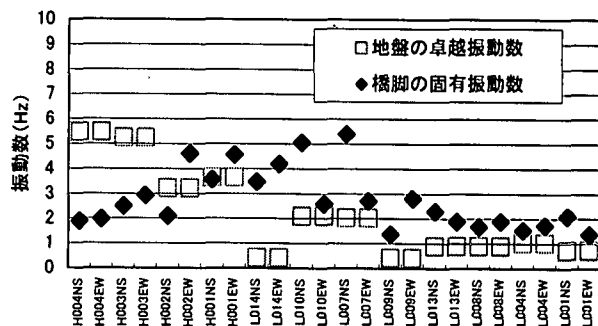


図-9 地盤と橋脚の震動特性

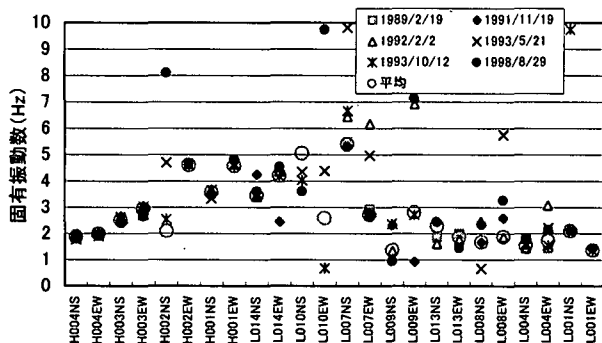


図-8 地震別橋脚の固有振動数

5. 地盤の卓越振動数と橋脚の固有振動数の比較

地盤と橋脚の震動特性の関係について、強震動H/Vスペクトルから求めた地盤の卓越振動数と、伝達関数を平均して求めた橋脚の固有振動数の比較を図-9に示す。

台地にあるH002橋、H001橋は、地盤の卓越振動数と橋脚の固有振動数が非常に近い値を示すが、沖積低地に架かっている橋梁は、L014橋を除き、そのほとんどが、地盤の卓越振動数と橋脚の固有振動数が近い値を示した。全体的に、沖積低地に架かっている橋梁の方が、台地に架かっている橋梁に比べ、地盤の卓越振動数と橋梁の固有振動数は一致傾向となった。

6. まとめ

強震動H/Vスペクトルは地震によらず非常に安定し、強震観測地点固有の形状を示す。そのH/Vスペクトルの最大値から求めた卓越振動数は、常時

微動H/Vスペクトル、重複反射法、道示より求めた地盤の卓越振動数と比較するとほぼ一致した。これより、強震動H/Vスペクトルは、道示の工学的基盤面からの地盤の卓越振動数を表していると考えられる。また、その求めた地盤の卓越振動数は、工学的基盤面までの深さが深くなるほど、卓越振動数が小さくなり、30mを越えるあたりから深度によらずほぼ一定の約1Hzを示し、変化は認められない。

今回、橋脚の震動特性を求めるため伝達関数を用いたが、その伝達関数は地震によらず地盤の強震動H/Vスペクトル以上に安定した。この結果から、橋脚の増幅率、固有振動数を求めた。さらに、橋脚の固有振動数と地盤の卓越振動数の比較から、一部の橋梁を除き、沖積低地の橋梁の方が台地の橋梁に比べ、振動数が一致する傾向となった。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編，1996。
- 2) 中村豊：常時微動計測に基づく表層地盤の地震動特性の推定，鉄道研究報告，No.4，pp.18-27，1988。
- 3) Yamazaki, F. and M.A. Ansary : Horizontal-to-vertical spectrum ratio of earthquake ground motion for site characterization, Earthquake Eng. and Structural Dyn., Vol.26, pp.671-689, 1997。
- 4) 大熊裕輝，原田隆典，山崎文雄，松岡昌志：宮崎県の地震計ネットワークと観測記録の評価，第25回地震工学研究発表会講演論文集，pp.173-176，1999。
- 5) 丸山喜久，山崎文雄，本村均，浜田達也：常時微動のH/Vスペクトル比を用いた地震動推定法の提案，土木学会論文集，No.675/I -55，pp.261-272，2001。
- 6) 中村正明，岡田佳久，日比野潤，中山俊雄，小川好：東京都内地盤の震動特性，東京都土木技術研究所年報，pp.279-290，2000。
- 7) 日比野潤，中村正明，岡田佳久：東京都内地盤震動（常時微動）解析記録，東京都土木技術研究所年報，pp.381-392，2000。

(2001. 4. 25 受付)