

首都高速道路公団 西山啓伸  
 矢作 柁  
 ○(株) 応用地質調査事務所 吉村正義

1. 首都高速道路公団では、代表的な高架橋において、強震計あるいは通常型の地震計を設置し、数年来地震観測を続けてきた。そのうち、一の橋インターチェンジおよび池袋(高速5号線、池袋1丁目付近)で観測された記録について若干の考察を試みた。

一の橋では、地表および橋脚上に強震計(SMAC)を設置してある。池袋では、半導体ゲージを用いた東大生産研型加速度計を橋脚上、地表(GL-1.5m)に設置してある。この他に池袋には、地中(GL-18m)、ケーソン、箱桁内に同型の地震計を設置してあるが、これらは一応今回の考察から除外する。

解析に用いた地震のリストを表-1に示す。

2. 橋脚上と地表の地震動のスペクトル比が、構造物の応答特性を表わすものと直感的には期待できる。しかし実際に計算してみると、個々の地震によってかなり変動のある結果となり、一義的に応答特性を定めることは無理なようである。

図-1は個々の地震のスペクトル比の積をとったものである。こうすることによって、橋脚上で増幅され難い振動数はスペクトル比が1以下であることから積は0に近づき、増幅され易いものだけが残るから、橋脚などの振動数で大きな増幅になるかということがわかる。

この図から、池袋では2.4 c/s、一の橋では橋軸方向が1.4 c/s、橋軸に直角な方向で2.4 c/sが橋脚上で増幅され易いことがわかり、そしてこれらの振動数は橋脚の固有振動数に当るものと推定される。

ところで、橋脚の運動を次のように定義すると

$$\ddot{x} + 2\beta n \dot{x} + n^2 x = f(t)$$

f(t)のパワースペクトルをF(ω)とすればxの自己相関関数φ(τ)は

$$\phi(\tau) = \frac{\pi F(n)}{2\beta n^3} e^{-n\beta\tau} (\cos\sqrt{1-\beta^2} n\tau + \frac{\beta}{\sqrt{1-\beta^2}} \sin\sqrt{1-\beta^2} n\tau)$$

年月日 時刻	場所	緯度	経度	深さ	マグニ チュード	震度	観測地
43年3月6日 9時12分	茨城県南西	36°03'	139°55'	50 km	5.2	Ⅲ	一の橋
43年7月1日 19時45分	埼玉県中部	35 59	139 26	50	6.1	Ⅳ	〃
43年10月8日 9時50分	千葉県中部	35 31	140 09	70	5.5	Ⅱ	〃
45年1月29日 15時03分	銚子付近	35 53	140 35	60	5.1	Ⅱ	池袋
45年2月10日 19時49分	茨城県南西	36 13	140 09	70		Ⅲ	〃
45年5月27日 21時07分	小笠原近海	27 22	140 44	440		Ⅲ	〃
45年9月14日 18時45分	岩手県沖	38 44	142 20	40	6.2	Ⅲ	〃
45年9月30日 04時26分	東京湾多摩川下流	35 29	139 38	40	4.8	Ⅱ	〃
46年1月6日 15時04分	茨城県沖	36 22	141 09	40	5.5	Ⅱ	〃
46年1月29日 15時35分	茨城県南西部	36 03	139 47	90		Ⅱ	〃
47年2月29日 18時23分	八丈島	33 11	141 16	70	7.0	Ⅳ	池袋 一の橋

表-1 地震リスト

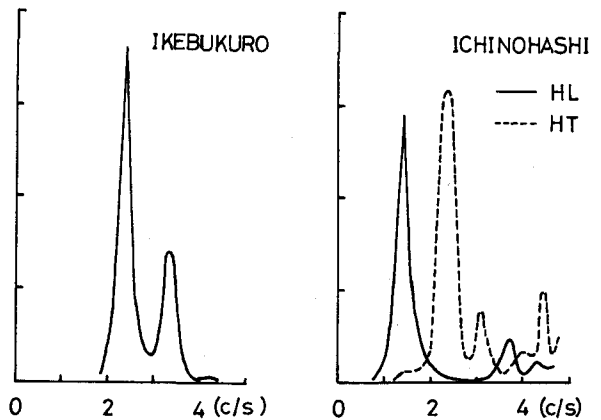


図-1 スペクトル比(橋脚上/地表)の幾何平均

となる。ただし、 $F(\omega)$ の変化はゆるやかと仮定する。

この式で明らかのように、橋脚上での地震記録の自己相関を計算すれば、固有振動数 $n$ と減衰定数 $\delta$ が求められる。実際にこれを計算してみると、いつでも、式から予想できるようなきれいな減衰振動とはならないが、一の橋では3つの地震、池袋では4つの地震が一応 $n$ と $\delta$ を決めることのできる結果を与えた。その結果を平均すると次のようになる。

	固有振動数	減衰定数
一の橋 橋軸方向	1.6 c/s	0.085
' 直角方向	2.0 "	0.074
池袋 橋軸方向	2.4 "	0.04

固有振動数は図-1の結果とほぼ一致し、したがってこの値はより確からしいと言えよう。減衰定数の値についてはあまり精度はなく、大体の目安を与える程度である。

3. 加速度応答スペクトルを計算すれば、固有振動数と減衰定数が定まっているから、入力が橋脚上での程度増幅されるかが計算上わかる。これが実測と合うなら、応答スペクトルをもとに構造物の固有振動数を考慮して設計震度を定めることも充分根拠がある。

図-2は以上のような観点から、橋脚上と地表の最大加速度の比と、加速度応答スペクトルから得られる増幅度を比較したものである。縦軸が応答スペクトルから得られる増幅度で、これには自己相関々数から得られた固有振動数を用いている。なお、減衰定数の値は一の橋は2方向とも0.04、池袋は0.08とした方が実測と合うので、その値を採用している。

この図でわかるように結果はかなりばらつきが大きく、したがって応答スペクトルから得られる増幅度はあまり精度の良いものとは言えない。しかし、平均値(●印)でみる限り、実測と橋脚を1質点系として扱ったときの最大振幅は一致する。

ところで、橋脚の振動を1質点系ではなく、棒の曲げ振動と近似すれば、その棒を伝わる振動の速度は  $V=4Hf$ 。(ただし、 $H$ は高さ、 $f$ は固有振動数)となる。橋脚をこ

のような速度を持つ1つの地層のように考えれば、いわゆるS波の重複反射理論と呼ばれる波動論が適用できる。この理論によって、橋脚上の波形から地上の波形を計算してみると、波形そのものは実測と合わない場合が多いが、振幅については良い一致をみせる。橋脚上の波形の最大振幅を地上の波形の最大振幅で除したものと計算上のそれと除したものを比較したのが図-3である。図-2にくらべると実測と計算の間のばらつきが大分減っているのがわかる。つまり、構造物の $f$ と $H$ を与えて重複反射理論で応答振幅を計算した方が、応答スペクトルから橋脚上の振幅を求めるより精度が良いことになる。何故重複反射理論の方が良いのかなど、データ数が不足で不明な点が多いが、今後データの集まるのを待つてさらに検討したいと考えている。

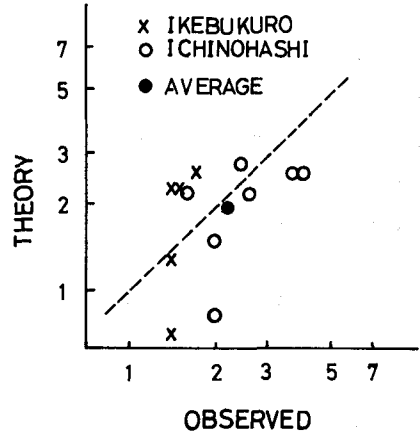


図-2 増幅度の比較(実測と応答スペクトル)

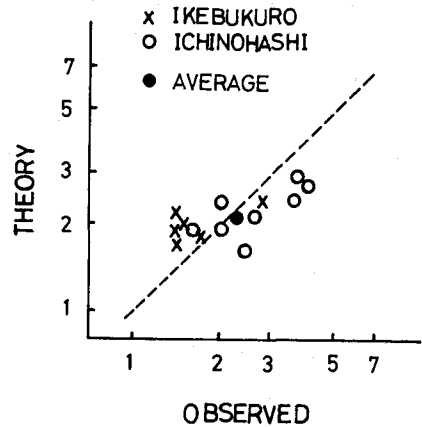


図-3 増幅度の比較(実測と波動論)