

九州大学 工学部 正員 小坪清真
九州大学 工学部 学生員 鳥野 清
九州大学 工学部 学生員 ○柳川英明

I. まえがき

著者等は、近年來、常時微動測定による振動性状（固有振動数、振動型、減衰定数）の解析を行ない、その結果を起振試験の結果と比較し、その有効性を明らかにしてきた。従って、固有振動数を識別できれば、その振動数における位相判定とパワースペクトルの平方根から振動型、パワースペクトルの形状から *half power method* 及び最小二乗法より減衰定数を起振試験と同じ程度の精度で求められる。しかし、応答のパワースペクトル $S_y(\omega)$ と入力のパワースペクトル $S_x(\omega)$ の関係は周波数応答関数 $H(i\omega)$ を使って $S_y(\omega) = |H(i\omega)|^2 S_x(\omega)$ で表わされるから、今 $S_y(\omega)$ に特定の卓越振動数を含んでいる場合、その影響が $S_y(\omega)$ に現われてくることが考えられる。その場合には、対象とする構造物の固有振動数による影響と入力の影響によるものとの区別が困難になると考えられる。そこで、今回は入力と応答の関係を明確に把握できるように、5層ラーメンと3スパン連続ばりの模型を作成し、これを振動台の上に設置して、起振試験に対応するものとして加振試験及び振動台による加振試験を行ない、常時微動に対応するものとしてランダム波を入力として振動台で加振させ、入力と応答のパワースペクトルの関係を調べてみた。実際の構造物として、実着橋（宮崎県高千穂町）で常時微動を測定し、入力と応答のパワースペクトルの関係を調べた。

II. 模型実験

図-1、2に5層ラーメン、3スパン連続ばりの模型を示す。ラーメン、連続ばり共に鉄鋼で出来ている。ラーメンは高さ2m、幅0.5mで帯鉄とH型鋼をボルト締めして作りせん断変形を起こし易いような構造にしている。各層に感度 $100 \mu\text{g/gal}$ のゲージ式加速度計を設置し、入力加速度を測定するために基礎に感度 6 mV/gal の電磁式加速度計を置いた。連続ばりは各スパン1mの3スパンで、幅10cm厚さ9mmの帯鉄に板バネを溶接し、橋脚の役目を果たさせている。ヒンジ支点は帯鉄の端に鉄鋼を溶接し、鉄鋼とボールベアリングを組み合わせたことによって作る。図に示す各測点と基礎にラーメンと同様の加速度計を設置した。

図-1 5層ラーメン模型

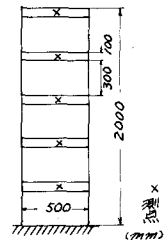
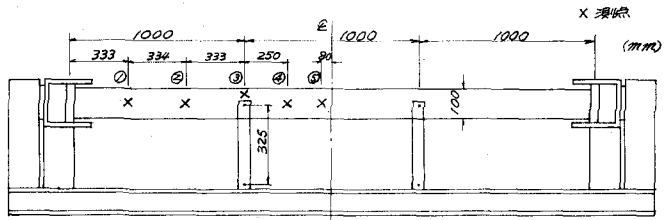


図-2 3スパン連続ばり模型



振動台の加振入力としては、70%以上をカットしたランダム波やランダム波を *band pass filter* に通したものを、入力の振動数域を種々変化させた。図-3、4はこのうち70%以上をカットしたランダム波を入力として振動台で加振したときのデータを、

データ間隔 $1/150$ 秒でAD変換し、データ個数は5層ラーメンでは2048個、連続ばりでは 2048×8 個とりFFT（高速フーリエ変換）で解析した結果得られる入力パワースペクトルと応答パワースペクトルの関係を示したものである。連続ばりの応答パワースペクトルに注目すると、45%付近でパワーが卓越している。これは同じ振動数域で入力パワースペクトルが卓越しているからであり、入力パワースペクトルを一定にするために応答パワースペクトルを入力パワースペクトルで除すと、この卓越パワーはほとんどなくなる。入力パワースペクトルが卓越したのは連続ばりの基礎が振動台と共振

図-3. 5層ラメン 入出力スペクトルの関係

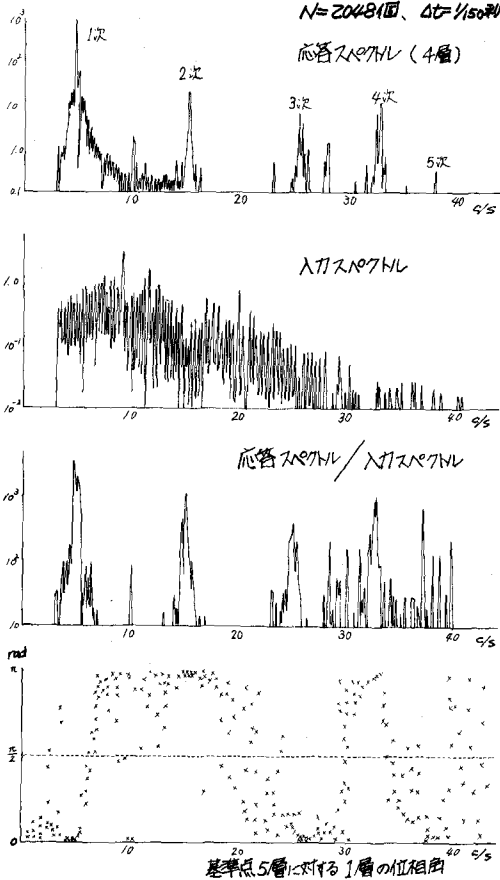


図-4. 3スパン連続はり 入出力スペクトルの関係

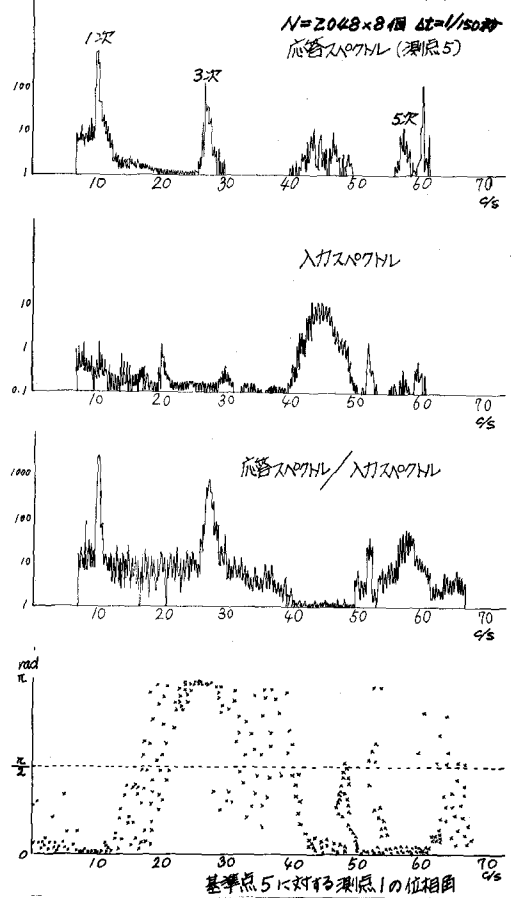


図-5. 5層ラメン 変位モード

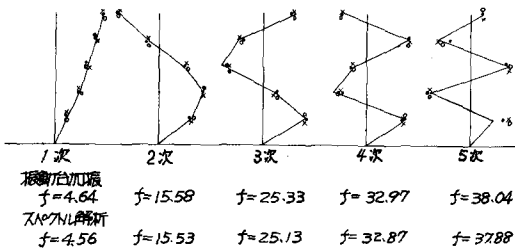
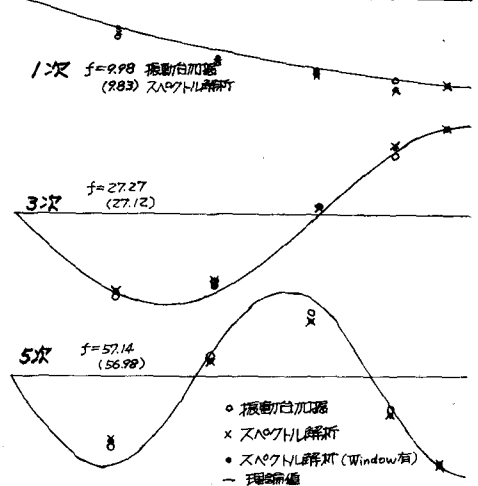


図-6. 3スパン連続はり 変位モード



し、これに依るのだが、この場合応答スペクトルだけでなく固有振動数を求めることは難しい。従って、入力スペクトルも応答スペクトルと同時に求める必要が生じてくる。逆に、応答スペクトルにおいてはパワーが小さいのに、応答スペクトルと入力スペクトルの比を取ったときパワーが大きくなるものもあるが、これは入力スペクトルが小さい過激なからで問題ではない。故に、応答スペクトルで卓越し

ており、且つ入力スペクトルを一定にしたときでも卓越しているパワーに相当する振動数が固有振動数であると云えよう。尚、連続ばりの入力スペクトルがラーメンのそれよりもなだらかなのであるのはデータ個数の違いに依る。卓越周期の近傍で、入力スペクトルの形がなだらかないと応答スペクトルの形もきれくなる。こういう場合には、Window(重み関数)もかけると減衰定数を計算するのに有効であった。

図-3, 4の下方に基準点に対する位相角を示している。卓越周期付近で位相角が0か π ラジアンに集中していることから、位相は割に容易に判定できる。

図-5, 6は各々、5層ラーメンと3スパン連続ばりの変位モードである。振動台加振試験より共振曲線を描いて求めた変位モードとランダム波を入力として振動台で加振させたスペクトル解析で求めた変位モードが良く一致している。連続ばりは中央点が振動しやすいため、逆対称モードは現れていない。

Ⅲ. 野外実験

雲海橋は非対称ローゼ形道路橋で、その一般形状を図-7に示す。

図-7. 雲海橋一般形状

常時振動測定において使用した速度型換振器の感度は2V/kine、周波数特性は0.5%以上平坦である。全測点を同時に測定することが好ましいが、データレコーダーが4chしかなかったため、水平方向は測点8、上下方向は測点14を基準点にとり、この点のパワーと各測点のパワーとの比較により振動モードの大きさを求めた。

入出力スペクトルの関係を調べるために、水平方向は測点0, 8, 11, 22に、上下方向は測点0, 6, 14, 22に換振器を設置し同時に測定した。得られたデータをデータ間隔1/50秒でAD変換し、データ個数を2048個と4096個取り、F.F.Tでパワースペクトルを求めた。

図-8に雲海橋の応答スペクトルと入力スペクトルの関係を示す。入力スペクトルは測点0と測点22でとったが、両者にはいく差は認められなかった。水平方向は測点0の入力スペクトルに対する測点8の応答スペクトルを、上下方向は測点22の入力スペクトルに対する測点6の応答スペクトルを表わしている。

水平方向において、入力スペクトルを一定にすることによってパワーのピークが良く立ち上っている。これは入力スペクトルの影響がなくなったためだろう。上下方向において、1.3%付近に出ているパワー

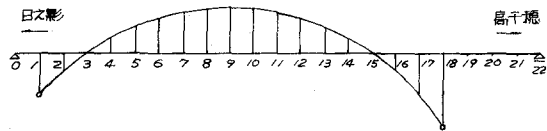
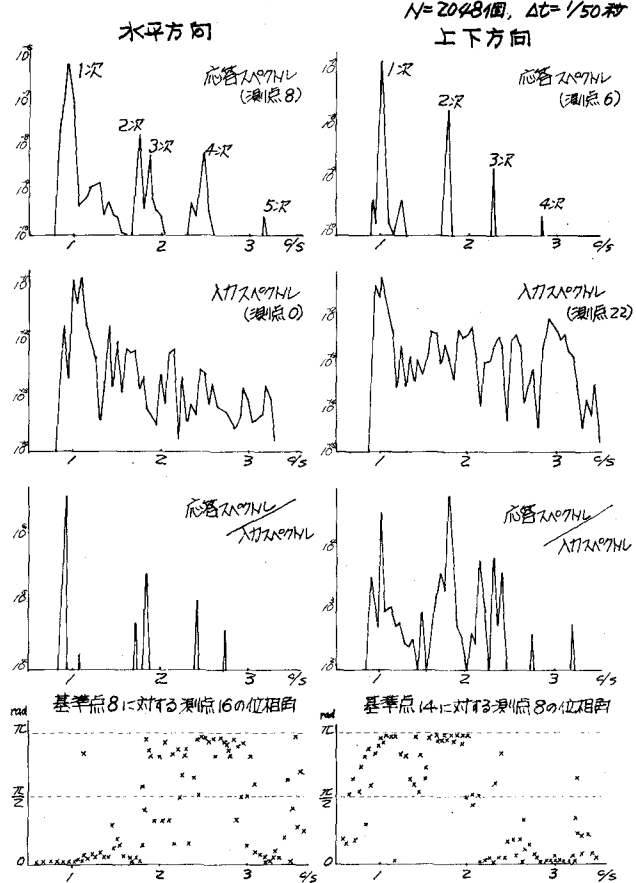


図-8. 雲海橋 入出力スペクトルの関係



も入力スペクトルを一定にすることによって小さくなっている。従って、橋造物の固有振動数と入力スペクトルの影響によるものとを区別するために、応答スペクトルだけでなく入力スペクトルも解析する意義がある。

入力スペクトルの形が応答スペクトルの形と傾向が似ているのは、入力をアバウトで取ったので橋造物の振動の影響が入力にはいったことに依ると考えられる。従って、橋からある程度離れた地盤で入力をとるべきであった。

図-8の下方に基準点に対する位相角を示している。ラーメン、連続ばりと同様に卓越周期付近で位相角が0のラジアンに集中しているから位相は判定できる。

この位相判定とパワースペクトルの平方根から得られた雲海橋の変位モードを図-9に示す。—が起振試験、・印が常時微動測定によるものである。両者は大体一致している。

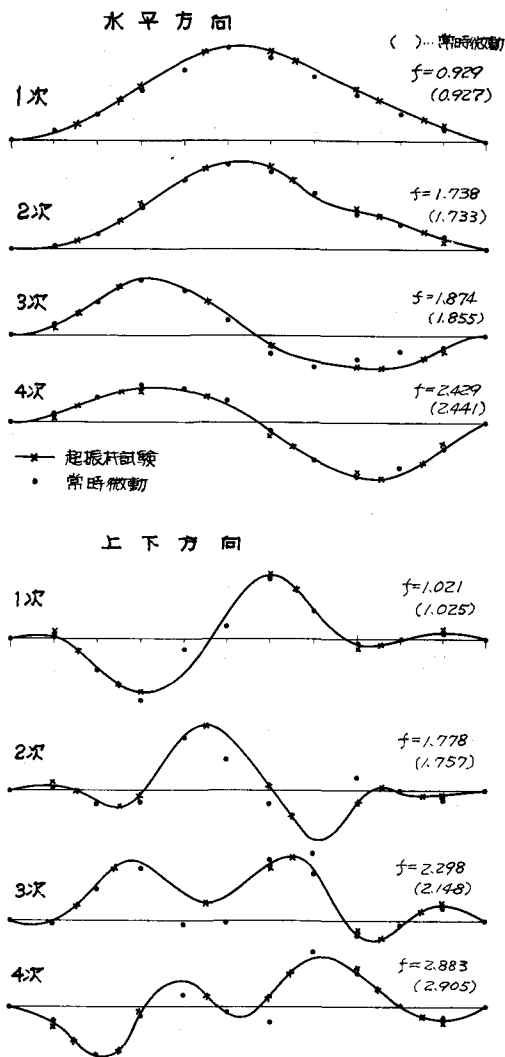
雲海橋の減衰定数を右下の表に示す。パワースペクトルの形がきれいで最大ピーク値がわかる場合には、half power method、他の場合には最小二乗法によって求めた。最小二乗法で求めた方が half power method により求めた方よりも小さい値が出ている。また、データ個数が多い程、減衰定数が小さくなり精度が良くなっている。

IV. まとめ

入力スペクトルに卓越したパワーがあると、応答スペクトルの固有振動数の判別が困難になることが模型実験で明確にされた。実際の橋造物ではそれ程顕著でないが、そういう現象が起こる可能性があるともいえる。一般に、橋梁などの橋造物には、地盤からの入力だけでなく風などの入力もあるが、少なくとも地盤からの入力をもって応答と入力との関係を調べて、固有振動数判別の目安にする必要があろう。

減衰定数が大きい場合には、応答スペクトルのピークが直ちに小さくなるが、このときの固有振動数の判別をいかにするかは今後の問題点がある。

図-9 雲海橋 変位モード



雲海橋 減衰定数

		常時微動				起振試験	
方向	次数	half method	power	二乗法		共振 曲線	自由 減衰
		2048	4096	2048	4096		
上	1	1.25	0.61	—	0.63	0.70	0.35
	2	0.85	0.46	0.46	—	0.37	0.21
	3	0.79	0.32	0.45	0.41	0.86	0.49
	4	0.64	0.29	0.48	—	0.35	1.03
下	5	0.57	0.28	—	0.14	0.37	0.39
	1	1.65	0.81	1.22	0.35	0.73	0.39
	2	0.84	0.44	0.45	—	0.44	0.21
	3	0.77	0.44	—	—	0.44	0.44
水平	4	0.52	0.33	0.20	0.30	0.74	0.67
	5	0.58	0.24	—	0.16	—	—