

本州四国連絡橋公団 正員 大橋昭光
 建設省土木研究所 正員 成田信之
 建設省土木研究所 正員 池村雅司

1. まえびき

関門橋は昨年11月14日に開通式を迎え、本州と九州と結ぶ幹線道路として供用されている。本報告は開通式の直前に実施した振動特性試験の結果をとりまとめたものである。試験は起振機により本橋上部工を励振し、其振動数、振幅、振動減衰能を計測する振動試験、重量車両による走行試験に大別される。また、試験の前半には風による振動も観測されたので、その結果についても述べる。なお、本試験に先立ち静的載荷試験も実施された。本報告ではそれについては触れないこととする。

2. 振動特性試験の概要

云々までもなく、橋梁設計では想定される荷重に対して構造物にその耐用期間を通じてその性能を十分に發揮できるように考慮して行われるが、その際には幾つかの仮定が含まれるのが当然であろう。今回の振動特性試験では、本橋の共振振動数、振幅、振動減衰能などが求められたが、これらはいずれも設計に關連して行なわれた試験実験において重要な役割を果たした事項であり、特に耐震設計の見地からは、これらの項目の重要性は認識される。また、本橋は我が国最大の吊橋であり、その外力に対する応答、例えば暴風時の挙動を知ることには本橋の維持管理の面のみならず、将来の同種の長大吊橋の設計のために重要である。そのために本橋には暴風時、強震時の本橋の挙動を把握するための大規模な長期観測システムが設置されている。このよりな事情から、本試験の目的として、つぎの諸事項がとらえ上げられた。すなわち、(1) 本橋の振動特性と実験的に求め、設計の妥当性を検証すること、(2) 重量車両の走行による吊橋上部の応答を検証すること、(3) 長期観測システムによる計測装置の記録およびその解析に必要な資料と収集すること、のう点である。動的特性を求めるためには何らかの方法により上部構造を励振する必要があり、回転式起振機、ワイヤ噴射装置などの利用が検討された。また、一般交通あるいは風による構造物のランダム振動の記録から統計処理により動的特性を求める方法(AVS法)も検討された。数種の橋梁についての予備試験の結果、低振周波数の厳密な制御・重力に抗した重錘の正弦運動の確保などの特性を具備している油圧サーボ機構を有する重錘上下式の大型振振機と製作し使用することとした。起振機はピストンの最大ストローク1m、最大可動部重量2tonとし、振振周波数は0.15~1.0 Hzとした。同じ仕様に加振機も2台製作し、中央径間の1/2点または1/4点の橋床の両端に設置し、同位相または逆位相に励振して釣合ねた振動またはねじれ振動を励起させることとした。走行試験では重量約20tonのダンポトラフ2台または4台と下りの内側車線または上下の内側車線を走行させ、吊橋上部各位置での応答を記録することとした。走行速度は40~70 km/hで4段階とした。推定によれば、起振機および走行車両により励起される吊橋上部各点での応答値は微小であり、これを正確に記録するためには計測装置に十分な精度が要求されることが判った。予備的な計測では得られる振動の速度は高々数gal程度と予想されたため、振振器としては現状で最も精度が高いとされているサーボ型加速度計を用いることとした。また、雑音成分を低くするため、低周波滤波器(遮断周波数5 Hzおよび10 Hz)を用いた。記録は無線像オシロスコープでモニターすると同時にデータレコーダに収録した。本橋はその規模が大きいため信号の無線送信も検討されたが、雑音の除去に不安が残ったため見送り、信号はキヤプタイユードで記録器まで導かれた。また、記録の同期性を確保するため、記録器には同期信号が同時に記録された。なお、試験期間中に風による応答も記録されたが、計測器の配置、計測方法は加振試験と同様であった。

3. 試驗結果

(共振振幅数)起振機による共振試験により得られた共振振幅数も表-1に示す。表中の鉛直たわみ振動の材料3次および逆材料2次に相当する固有振動数は今回の試験では求められなかったが、その理由は明らかではない。また、表中には同による応答記録のバワースペクトル(図-1)より求められた振動数も併記しているが、両者は極めてよい一致を示していることが判る。すなわち、共振振動の記録から統計処理して振動特性を求める方法は固有振動数については有効な手法であるといえよう。表中の計算値はブライヒの方法により算出されたものであるが、実測値との差はかなり大きいことが判る。今後の検討課題としたい。

(振動減衰能)各振動数に対応する減衰率の
実測値を表-1に、また、振動数と減衰率との
関係を図-2に掲げる。それらによると振動減衰能
は振動次数が高くなるほど減衰して行くように見え
る。計測時の風速は3%以下程度であったので、
風による影響はそれほど大いとは思われない。

(振動波形) 共振時の振動波形が計測されたが理論値との対応はよいものであった。

(走行試験) 重車輛が走行した際の橋面に生ずる振動加速度は走行速度の増加と共に漸増するが 70 km/h 付近で最大となり、それ以後は再びおのづから減少する傾向が見られる。発生加速度は高々 4 gal (r.m.s 値) 程度であった。台数が影響度は右速度とも 4 台並進走行は 2 台並進走行の場合の 15~20 % 増の加速度増として記録された。

(長期観測システムなど) 今回の試験では長期観測システムは未だ本格的運転に入っていないので、実測値による対応などの検討は不十分であったが、その後の現地観測資料より本システムは順調に作動していることが確認された。今後有用な観測資料が得られるものと期待される。また、本橋の耐風性について従来の風洞実験に使用して来た固有振動数に比べて実測値は約4%低いことが明らかになった。また、構造減衰率は予想値に比べて可成り小さい値が観測されたが、微小振動の範囲で得られたものであるため、実測値と多少に耐風性と修正することは妥当ではないと思われる。

あとがき：本試験に際しては日本道路公団、土木研究所等の関係者に多大の御援助をいただいた。心より感謝の意を表する次第である。

〔参考文献〕 閩門橋振動試驗報告書，昭和49年3月 建設省土木研究所 構造研究室（ST-12）

Mode of vibration	Symmetry	Order	Natural frequency (C/S)			Logarithmic decrement
			Theoretical	Observed (1)	Observed (2)	
Vertical bending	Symmetric	1	0.200	0.212	0.213	0.0313
		2	0.270	0.298	0.296	0.0280
		3	0.429	-	0.450	-
		4	0.528	0.570	0.579	0.0090
		5	0.914	0.918	0.919	0.0087
	Antisymmetric	1	0.152	0.180	0.178	0.0501
		2	0.375	-	0.414	-
		3	0.705	0.740	0.739	0.0125
Torsional	Symmetric	1	0.384	0.387	0.388	0.0129
		2	0.766	0.717	0.721	0.0126
	Antisymmetric	1	0.492	0.472	0.468	0.0162

(Note) Theoretical natural frequencies were calculated by Bleich's method.

Observed (1): field experiment with excitors

Observed (2): wind induced vibration

表-1 閘門橋の固有振動数と対数減衰率

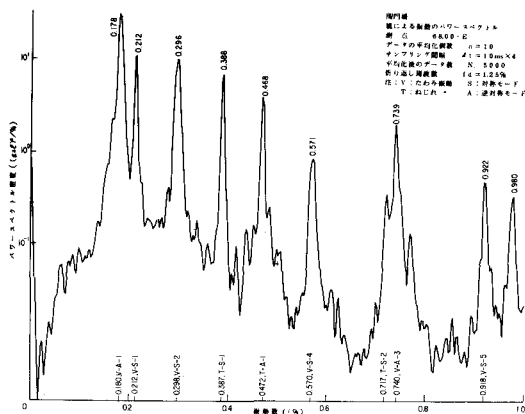


図-1 風圧応答のハーフ-スパントル(門司側1/4点東側)

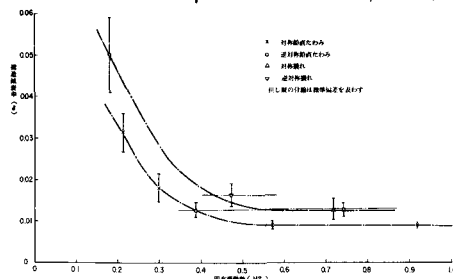


图-2 共振之振幅与对数减衰率