

## (132) 実橋振動実験結果に基づく吊橋の固有振動特性及び減衰特性

建設省土木研究所 川島 一彦

運上 茂樹

○ 向 秀毅

### 1. まえがき

長大吊橋の上部構造系の耐震設計では、吊桁系の減衰定数に大きな不確定さが存在する。一般に耐震設計では0.02程度の減衰定数を用いることが多いが、実橋の振動実験ではこれよりも小さい減衰定数が得られる場合が多い。減衰定数は長大吊橋上部構造系の地震時の応答及び下部構造に伝達される断面力等に大きな影響を及ぼすものであるため、これを十分検討しておくことが必要とされている。

本文は、既往の長大吊橋で行われた振動実験を収集、整理し、振動実験からみた長大吊橋の減衰特性について検討した結果をとりまとめたものである。

### 2. 解析対象吊橋

表-1は、国内で起振機による振動実験が行われた主要な吊橋を示したものである。我国では、10橋において振動実験が行われている。この他にも、海外等で実橋の振動特性を実験的に求めた事例もいくつかあるが、これらは常時微動測定法によるものであり、起振機を用いた振動実験は行われていない。常時微動測定法により求められる減衰定数は、サンプリングタイムや、データ数等の他、特にウィンドウのかけ方によってハーフパワー法で求められる減衰定数が大きく変化する等の問題がある。このため、同一条件下のデータに基づく減衰定数を解析するために、起振機による振動実験から求められたものに限定した。この中で、最も中央支間長が長いのは、本州四国連絡橋における南備讃瀬戸大橋の1,100mであり、最も短いのは京都府の大峰橋の120mである。また、南備讃瀬戸大橋及び大鳴門橋は、道路鉄道併用橋であり、その他は道路橋である。

耐震設計では橋軸方向及び橋軸直角方向の減衰定数が重要であるが、既往の吊橋の振動実験は、耐風安定性の検討のために行われたものがほとんどで、鉛直曲げ振動及びねじり振動を対象としたものである。

### 3. 吊橋の固有振動特性

図-1は、1次固有振動数と中央支間長の関係を図示したものである。ここには、既往の斜張橋の振動実験から得られた回帰式も示している。固有振動数は当然ながら支間長が長いほど小さくなる。固有振動数と中央支間長には良い相関があり、データ数は必ずしも十分ではないが、両者の関係を1次回帰すると次式のようなになる。

$$\begin{aligned} f_{1}^{BU} &= 31.9 \cdot L^{-0.784} & (r=0.983) \\ f_{1}^{T} &= 240 \cdot L^{-0.965} & (r=0.978) \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、

$f_{1}^{BU}$  : 鉛直曲げ振動の1次固有振動数 (Hz)

$f_{1}^{T}$  : ねじり振動の1次固有振動数 (Hz)

L : 中央支間長 (m)

r : 相関係数

固有振動数と中央支間長の関係について斜張橋の場合と比較してみると、鉛直曲げ振動及びねじり振動ともに、同一の支間長に対して固有振動数は斜張橋の方が高い。これは、吊橋に比較して斜張橋の方がより大きい剛性を有しているためである。

#### 4. 吊橋の減衰特性

図-2は、減衰定数と中央支間長の関係を示したものである。減衰定数としては、起振機による自由振動実験から求められた対数減衰率から算出した平均的な減衰定数を示している。ここで、平均的な減衰定数とは、振幅に応じてある範囲で求められている減衰定数の平均値のことである。なお、ここには、既往の斜張橋の振動実験から求められた回帰式も示している。

鉛直曲げ振動に対する減衰定数では、南備讃瀬戸大橋、大鳴門橋、大島大橋の3橋が他橋に比較してかなり大きい。これらの3橋のうち南備讃瀬戸大橋及び大鳴門橋は道路鉄道併用橋であり、このためではないかと考えられるが検討が必要である。また、ねじり振動に対する減衰定数は中央支間長に反比例して減少する。一応、減衰定数と中央支間長の関係を1次回帰すると次式が得られる。なお、鉛直曲げ振動に関しては上記3橋を除いている。

$$\begin{aligned}\bar{h}^{BU} &= 0.065 \cdot L^{-0.484} \quad (r=0.812) \\ \bar{h}^T &= 0.0965 \cdot L^{-0.436} \quad (r=0.463)\end{aligned}\tag{2}$$

ここで、

$\bar{h}^{BU}$  : 鉛直曲げ振動の減衰定数の平均値

$\bar{h}^T$  : ねじり振動の減衰定数の平均値

減衰定数と支間長の関係を斜張橋の場合と比較してみると、鉛直曲げ振動に対しては、斜張橋では長支間となるほど減衰定数は小さくなる傾向があり、上述した南備讃瀬戸大橋、大鳴門橋、大島大橋の3橋を除くと他の橋ではこれに近い減衰定数を示す。ねじり振動でも長支間となるほど減衰定数が小さくなるという傾向は同一である。

表-2及び図-3は、以上10橋の基本固有周期と減衰定数の関係を示したものである。ここには、従来的一般橋で求められた次式による固有周期と減衰定数の関係も示している。

$$h = 0.02/T\tag{3}$$

鉛直曲げ振動では、明らかに上記3橋の減衰定数は他と比較して大きい。3橋を除けば、あとのデータにはかなりよい相関があるように見える。ねじり振動に対しては、ばらつきが大きく、一定の傾向は見られないように思われる。減衰定数は、式(3)による値よりも右下に位置する場合が多く、吊橋の減衰定数は、一般橋で得られた減衰定数よりも小さいことがわかる。

#### 5. 結論

長大吊橋上部構造の固有振動特性及び減衰特性についてまとめると以下ようになる。

- 1) 固有振動数と中央支間長の間にはよい相関があり、両者の関係は式(1)で与えられる。この関係を斜張橋の場合と比較してみると、鉛直曲げ振動及びねじり振動ともに、同一の支間長に対する固有振動数は斜張橋の方が高く、吊橋に比較して斜張橋の方がより剛性が大きいという橋梁の特性と一致している。
- 2) 実験から求められた減衰定数は、0.0014~0.0184の範囲にあるが、ほとんどは0.01以下であり、一般に動的解析で用いられる0.02程度の減衰定数よりも小さい。減衰定数と中央支間長及び基本固有振動数と減衰定数の間には、明瞭な相関関係は認められず、平均的にばらつく傾向を有している。今回は、分析を行わなかったが、吊橋の減衰定数には、大きな振幅依存性があり、今後、個々の橋梁について減衰定数と振幅の関係を検討し、吊橋の減衰定数の推定方法を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 秋本晴樹：大規模振動実験、橋梁と基礎、Vol.88、No.8、1988年
- 2) 田中淳之、淵田政信、岩屋勝司：大鳴門橋振動実験の報告、本四技報、No.36、1985年
- 3) 清田練次、佐々木保隆、横尾正幸：長大吊橋の実橋振動特性に関する検討、横河ブリッジ技報、No.21、1992年
- 4) 立命館大学理工学部土木工学科、(財)災害科学研究所：北港連絡橋振動実験報告書、昭和62年災害科学研究報告、1988年
- 5) 建設省土木研究所：斜張橋の耐震性に関する研究(その1)、土木研究資料2388号、1986年  
 (連絡先) 建設省土木研究所耐震研究室 〒305 つくば市大字旭1番地、TEL 0298-64-2211

表-1 振動実験が行われた主要な吊橋

橋梁名	① 南備讃瀬戸大橋	② 大鳴門橋	③ 大島大橋	④ 関門橋	⑤ 若戸大橋	⑥ 箱ヶ瀬橋	⑦ 上吉野川橋	⑧ 此花大橋	⑨ 豊原橋	⑩ 大峰橋
完成年	1988	1985	1988	1973	1962	1967	1971	1989	1969	1970
所在地	香川県	兵庫県徳島県	愛媛県	山口県福岡県	福岡県	福井県	高知県	大阪府	群馬県	京都府
管理者	本州四国連絡橋公団	←	←	日本道路公団	←	福井県	高知県	大阪市	建設省	建設省
型式	3径間連続	3径間2ヒンジ	単径間	3径間2ヒンジ	3径間2ヒンジ	3径間2ヒンジ	単径間	3径間モノケーブル自變式	単径間	単径間
径間長(m)	264+1,100+264	320+864+312	140+560+140	178+712+178	89+367+89	30+206+30	32.6+250.8+32.6	120+300+120	136	120
補剛桁型式	トラス(鉄道併用)	トラス(鉄道併用)	箱桁	トラス	トラス	トラス	トラス	箱桁	トラス	トラス
主塔型式	門型	←	←	←	←	門型(ヒンジドタワー)	←	A型	門型(ヒンジドタワー)	←
実験方法	起振機	起振機	起振機	起振機	起振機	起振機	起振機	クレーン車による重錘の加振機	起振機重錘の落下による自由振動	起振機重錘の落下による自由振動
振動方向	上下、ねじり	上下、ねじり	上下、ねじり	上下、ねじり	上下、ねじり	上下、ねじり	上下、ねじり	上下、ねじり	上下、水平	上下、水平

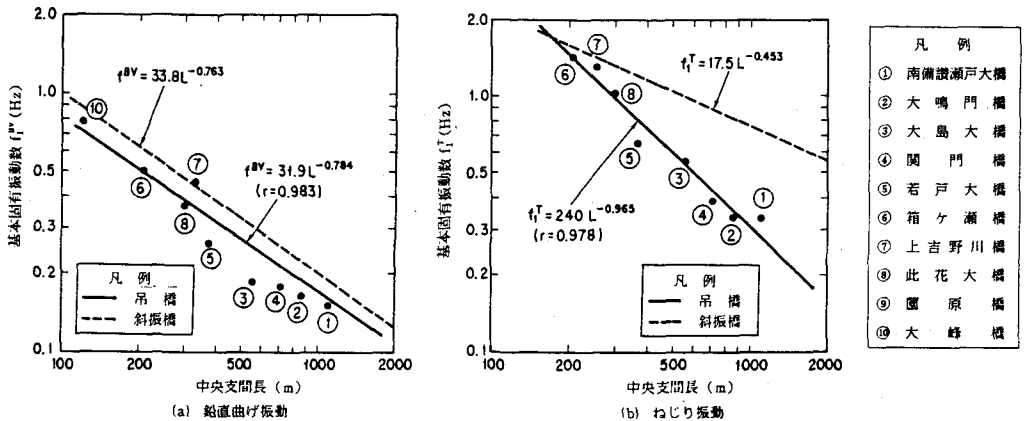


図-1 中央支間長と基本固有振動数の関係

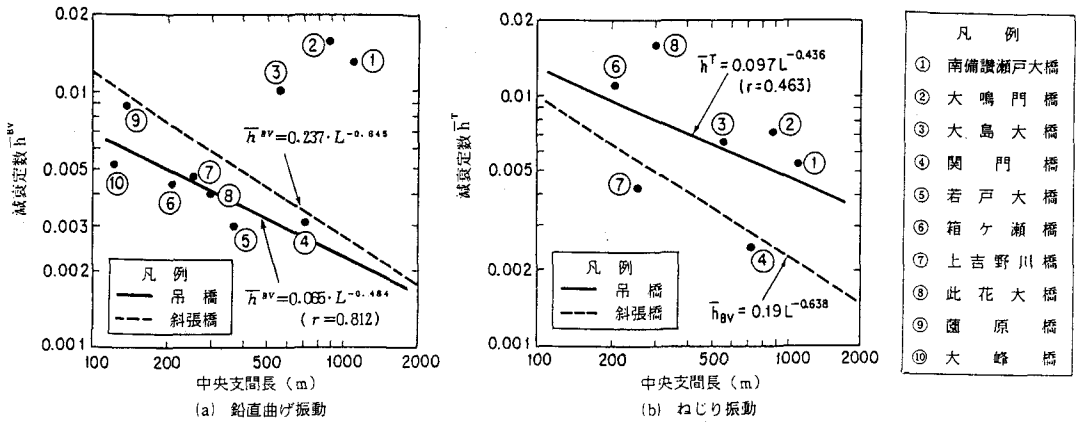


図-2 中央支間長と平均減衰定数の関係

表-2 実験から求められた1次固有振動数と平均減衰定数の関係

橋名	加振方向	鉛直曲げ振動		ねじり振動	
	中央支間長 (m)	1次固有振動数 (Hz)	減衰定数	1次固有振動数 (Hz)	減衰定数
① 南備讃瀬戸大橋	1,100	0.151	0.0131	0.329	0.0054
② 大鳴門橋	864	0.166	0.0159	0.328	0.0072
③ 大島大橋	560	0.189	0.0101	0.552	0.0066
④ 関門橋	712	0.180	0.0031	0.387	0.0025
⑤ 若戸大橋	367	0.261	0.0030	0.647	—
⑥ 箱ヶ瀬橋	206	0.50	0.0044	1.42	0.0116
⑦ 上吉野川橋	253.5	0.46	0.0047	1.32	0.0043
⑧ 此花大橋	300	0.370	0.0040	1.03	0.0159
⑨ 園原橋	136	—	0.0088	—	—
⑩ 大峰橋	120	0.78	0.0052	—	—

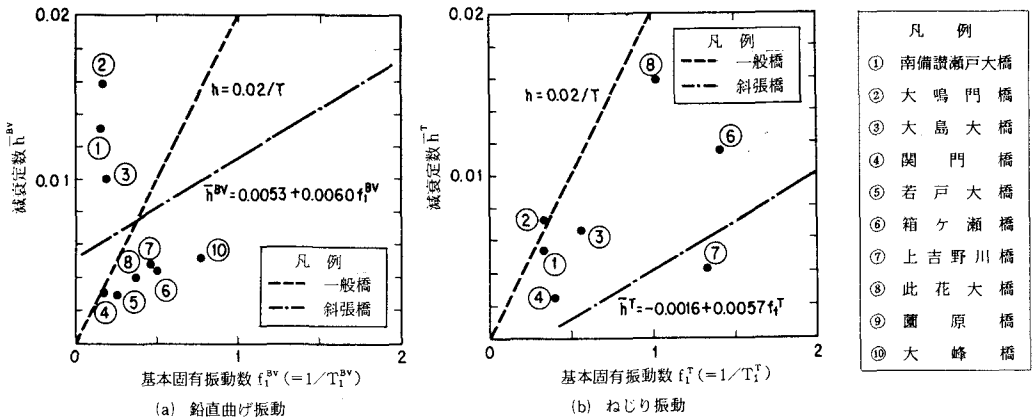


図-3 固有周期と平均減衰定数の関係