

I-159南港連絡橋(長大カンチレバートラス橋)の振動特性について

京都大学工学部 正員 山田 善 一
 阪神高速道路公団 〃 松本 忠 夫
 〃 〃 〇江見 晋
 〃 〃 古池 正 宏

1. ま え が き

現在架橋中の南港連絡橋は中央径間 510 m、橋長 980 m の長大カンチレバートラス橋である。本橋の耐震設計は応答を考慮した修正震度法によるものとしているが、この設計法は応答スペクトル図より求めた基本応答震度に地震の最大加速度、他のモードの影響による補正を行ない設計震度を定め、トラスを静的に解析する方法である。この設計法においては、橋梁全体の固有周期を算定する固有値解析が基本となるものでありそのためにはそのモデル化が重要な要素となる。本橋の場合橋梁全体を多質点系の棒系モデルに置換しているが、そのモデル化が果して立体構造である実橋に適しているかが問題となる。

この報告は設計に用いた多質点系の棒系モデルおよびその比較のために用いた立体モデルによる振動解析と縮尺 $\frac{1}{200}$ の模型実験により主としてその振動モデル化の問題に着目してカンチレバートラスの振動特性を把握しようとするものである。

2. カンチレバートラスの振動解析

2-1 棒系モデルによる振動解析

(1) 振動モデル

上下部構造全体を多質点系の振動モデルに置換した。橋軸直角方向のモデルの軸線はトラス断面を上下横構面と腹材で構成され、四隅に上下弦材の集中断面を有する箱桁断面としそのせん断中心を連ねたものとした。(図-1)また橋軸方向のモデルの軸線はその重心を連ねたものとした。基礎工ケーソンは並進と回転の2自由度系の振動モデルとした。なお振動解析の式の詳細については省略する。

(2) 固有周期、振動モード

図-2,3に橋軸直角方向、橋軸方向の代表的な振動モードおよびその固有周期を示す。図-2において1,2次モードは長周期で中央径間全体の振動である。3(又は4)次モードは定着径間の主なる振動であり、ケーソン基礎のロッキング振動による影響が大きい。10次モードは特に吊桁部の振動が著しい。

図-3において1,2次モードは逆対象および対象の上部工の振

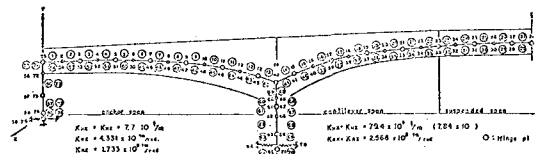


図-1 橋軸直角方向棒系モデル

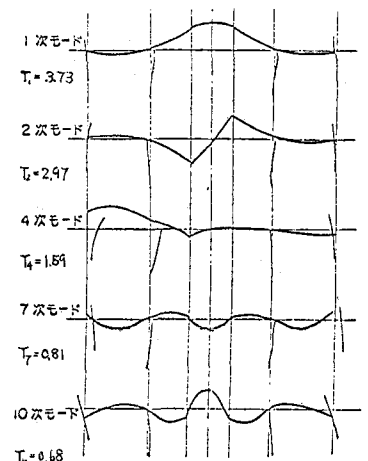


図-2 橋軸直角方向モード図

動であり、このうち2次モードは鉛直振動の1次に相当するものである。3次モードは基礎工のロッキング振動の影響が大きく、上部工全体が橋軸方向に並進運動するとともに中央径間に鉛直振動する。

2-2 立体モデルによる振動解析

(1) 振動モデル

電子計算機の許容しうる範囲での立体骨組振動モデルとした。モデルは2あるいは3パネルの骨組を1パネルに減らし、各点対応する面での換算板厚が等しいという条件より部材断面を定めた。なお吊桁部は1本の棒に置換した。図-4に橋軸直角方向の振動モデルを示すが、橋軸方向モデルは慣性力の方向が異なるだけで骨組については同一である。トラスの上下弦材、腹材はすべて両端剛結合とし、横構、対傾構は両端ピン結合とした。また下部工のモデルは棒系モデルと同一とした。

(2) 固有周期、振動モード

図-5.6に橋軸直角方向、橋軸方向の代表的な振動モードおよびその固有周期を示す。図-5において立体振動モードの形は棒系の振動モードの形と非常によく似ていると言えるが、固有周期の値には相当の差があり、立体モデルの方が長周期となっている。図-7に上下弦格点の加速度応答を示すが、この図より明らかなように1次モードは並進的な振動をするが、高次モードになると上下弦格点でかなりの動きの差が見られ立体的な性状を示す。3次モードでは上弦格点が大きく、7次モードでは逆に下弦格点が大きくなり、11次モードになると部分により上弦、下弦格点が交互し、すなわち、わけれ振動の現象を示す。図-6において立体振動モードの形、固有周期は棒系の振動モード、固有周期とほとんどと言っていいほどの一致を示している。

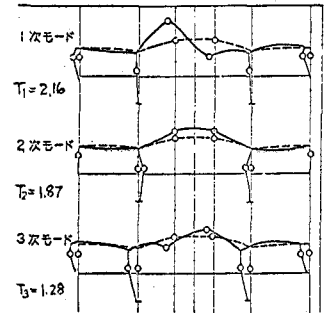


図-3 橋軸方向モード図

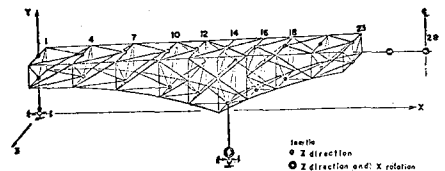


図-4 橋軸直角方向立体モデル

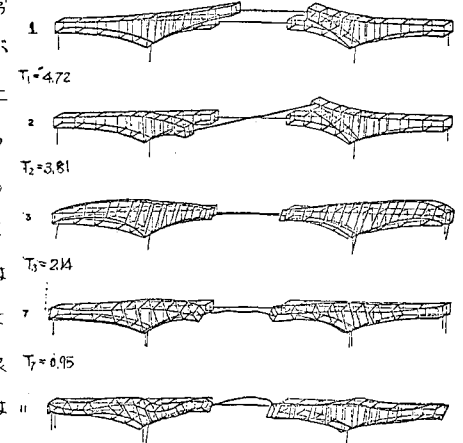


図-5 橋軸直角方向モード図

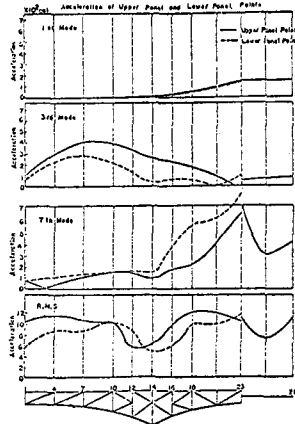


図-7 橋軸直角方向立体モデル加速度応答図

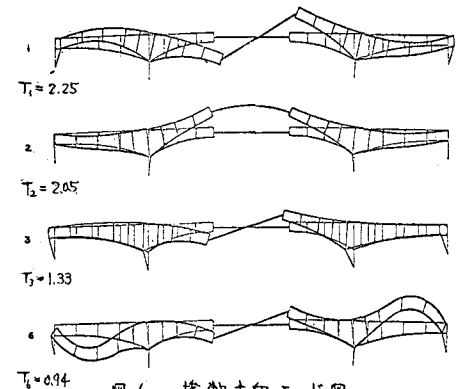


図-6 橋軸方向モード図

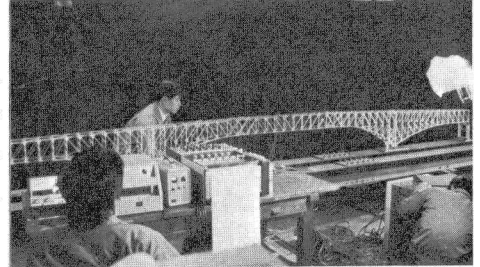
3. 模型実験

3-1 実験の概要

本橋の耐震性状を明らかにするため縮尺 $\frac{1}{200}$ の橋梁全体の模型を作成し、橋軸直角方向の水平、上下の自由、強制振動および静的水平載荷実験を行なった。(写真1)

模型の材料はメタアクリル酸樹脂を用いた。

模型の相似律として当初の計画では長さの縮尺 $\frac{L}{L_m} = 200$ 、時間の縮尺 $\frac{T}{T_m} \cong 20$ になるように設計したが、そのためにはアクリル酸樹脂の重量の他に付加する重量が過大となるため、結果的には $\frac{T}{T_m} = 31.95$ (室温 12.5℃)となっている。



測定方法として自由振動実験は電気ひずみ計、加速度計で振動を記録し、加振方法は糸を引張る方法、ピンで格点を突く方法を用いた。強制振動実験では振動機械の加振装置を用い、振動テーブルの水平振動をワイヤー、ゴムによってモデルに伝播させた。上下方向の加振には特に真ちゅう製の滑車を用いた。測定は同じく電気ひずみ計、加速度計を用いた。また静的水平載荷実験は静的な水平荷重を受ける桁の横たわみを測定した。

写真1. 自由振動実験

3-2 実験結果

(1) 自由振動実験

自由振動実験により橋軸直角方向の水平、上下両方向の第1次モード、周期が測定された。図-8に水平自由振動のモード図を示す。

水平方向の固有周期は室温 12.5℃において $(T_{H1})_m = 0.120 \text{ sec}$ 、上下方向は $(T_{V1})_m = 0.058 \text{ sec}$ である。

また模型の減衰定数は水平方向が $(B_{H1})_m = 0.0406$ 、鉛直方向が $(B_{V1})_m = 0.0423$ であった。

(2) 強制振動実験

水平方向の強制振動実験により一次、二次の振動モード、固有周期が、上下方向の強制振動実験により一次の振動モード、固有周期が測定された。図-9に水平強制振動のモード図を、図-10に上下方向強制振動モード図を示す。

水平方向の固有周期は室温 23.8℃において $(T_{H1})_m = 0.125 \text{ sec}$ 、 $(T_{H2})_m = 0.089 \text{ sec}$ である。また上下方向の固有周期は室温 24℃において $(T_{V1})_m = 0.060$ である。

以上の固有周期を相似律を用いて実橋のものに換算したものが表-1である。自由振動と強制振動の結果は水平、上下方向共室温の差はあるがほとんど一致している。

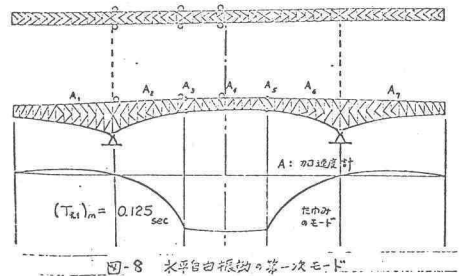


図-8 水平自由振動の第1次モード

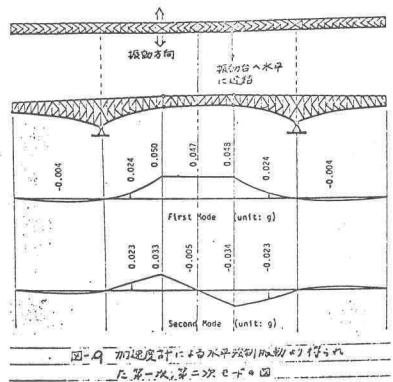


図-9 加速度計による水平強制振動のモード図

方 向	振動方法	固有周期 (sec)		備 考
		模型 T _m	実橋 T _p	
水 平	自 由	1次 0.120	3.84	12.5°C
		2次 0.125	3.86	23.8°C
	強 制	2次 0.089	2.74	〃
上 下	自 由	1次 0.058	1.86	12.5°C
	強 制	2次 0.060	1.94	24.0°C

表-1 減速実験固有周期

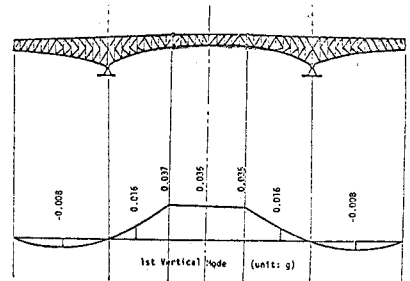


図-10 上下一次振動モード (加減速設計用)

4. 考 察

振動解析、模型実験の結果よりその固有周期を比較しモデル化についての考察を行なう。表-2に各モデルでの理論値および実験値の比較を示す。表中()内の数字は実験値と対応させるため下部工を固定とした値である。理論値の棒系モデルと立体モデルを比較すると橋軸方向ではほぼ一致しているにもかかわらず、橋軸直角方向ではかなりの差が生じている。この原因として次のことが考えられる。立体の振動モデルの簡略化を行なう際に換算板厚が等しいという条件で断面を決定したが、その結果橋軸直角方向にはやや剛性が低く鉛直方向はほぼ等価な剛性となっている。また棒系モデルでは格子構造の面外振動と見なしたため立体モデルと比較し拘束自由度がありその影響で全体的に剛に評価されていることも考えられる。次に理論値の棒系モデルと実験値を比較すると橋軸直角方向で弱干の差があるが橋軸方向(鉛直方向)ではほぼ一致している。実験値との対応は低次であるが高次においても理論値の棒系モデルと立体モデルとの比率が低次と高次でほぼ一定であることより裏付けられよう。したがってこれらの比較より現在設計に用いている棒系モデルはおおむね妥当であると言えよう。ただし立体モデルの振動解析で明らかのように高次振動においてはトラスは立体的な振動性状を示し高さ方向の震度分布は一様でない。これらの現象を忠実にとらえるには棒系モデルでは不十分であり立体モデルでの解析が必要とされる。

振動方向	次 数	理 論 値 (sec)		実 験 値 (sec) (強制振動)
		棒系モデル	立体モデル	
橋 軸 直 角	1	3.73 (3.48)	4.72	3.86
	2	2.97 (2.72)	3.81	2.74
	3	1.59 (1.11)	2.14	—
	7	0.81 (0.57)	0.95	—
	10	0.68 (0.46)	0.85	—
橋 軸	1	2.16	2.25	—
	2	1.87	2.05	1.94
	3	1.28	1.33	—

表-2 理論値実験値比較

以上応答解析による耐震設計上特に問題となる振動モデル化について理論値と実験値とを比較検討し、本橋のような立体性をもつトラス構造にも本例で示したような多質点系の棒系モデルは一応妥当であるとの結論を得た。しかし橋軸直角方向の高次振動を対象とした場合は問題があり、したがってこれについては、今後部分模型による強制振動実験による検討を予定している。

5. む す び

以上応答解析による耐震設計上特に問題となる振動モデル化について理論値と実験値とを比較検討し、本橋のような立体性をもつトラス構造にも本例で示したような多質点系の棒系モデルは一応妥当であるとの結論を得た。しかし橋軸直角方向の高次振動を対象とした場合は問題があり、したがってこれについては、今後部分模型による強制振動実験による検討を予定している。

参考文献

- 1) 土木学会、本州四国連絡橋耐震研究小委員会「本州四国連絡橋耐震に関する調査研究報告書」昭和47年3月
- 2) 昭和46年度受託研究報告書「南港連絡橋主橋梁部の耐震性に関する研究」昭和47年3月 京都大学工学部 山田善一