

I-454 トラス補剛吊橋の桁ねじれ剛性とねじれ固有振動数推定値と観測値との比較

横浜国立大学 正員 山田 均
 横浜国立大学 正員 宮田 利雄
 本州四国連絡橋公団 正員 辰巳 正明

まえがき 吊橋の長大化が固有振動数の低下をもたらし、その結果必ずしも高いとはいえない設計風速であっても空気力学的な意味では非常に高い風速まで風による振動に対する安定性が補償されなければならないようになってきている場合がある。中央支間長が2000mにせまる明石海峡大橋の場合が正にそれであり、動的安定性を一様流中の部分模型試験で確認する風速である78m/sは、たとえば大鳴門橋に対する87.6m/sに対してむしろ小さいけれども、無次元風速で見た場合には明石海峡大橋では大鳴門橋の倍以上となる。したがって、後者では比較的容易に耐風安定性を確保できても、前者では非常に多くの工夫と努力を必要とすることになる。この時、ねじれ振動数の若干の変化に耐風安定性が確保されたか否かの判断が左右されることも有り得る。従来これらの基本となる吊橋の動的特性は2次元あるいは3次元の骨組みモデルを使用した構造解析によって求められ使用されているが、トラス補剛桁を有する吊橋の場合補剛桁のねじれ剛性の算定にはいくつかの推定方法があり、耐風設計方法の立場にたつて最も合理的とされている方法を選択することは難しい。本報告では、鉄道との併用橋であったり、道路単独橋であったり、混乱はあるが、本州四国連絡橋公団が建設し、振動試験結果のある大鳴門橋、南備讃瀬戸大橋、因島大橋について3次元骨組みモデルをもちいてねじれ剛性をパラメータとして変化させた固有振動解析を実施し、観測されたねじれ固有振動数¹⁾と比較した結果を示すこととする。

解析対象および解析モデル 解析対象はさきに述べた通り、大鳴門橋、南備讃瀬戸大橋、因島大橋の3橋であり、それぞれスパン長は(93)+330+876+330、274+1100+274そして250+770+250(m)である。解析モデルは補剛桁を1本の梁で代表させたいわゆる魚の骨モデルを使用しており、背骨にあたる補剛桁剛性を代表させた梁を補剛トラスの図心に置き、重心位置に補剛トラス部の質量、極慣性モーメントを配置している。吊橋構造部の梁、ハンガー、主ケーブルについては重力剛性の寄与も大であるのでそれを考慮している。3橋の内、因島大橋については主塔部を主塔塔頂のパネで置換しているが、他の2橋については初期の軸力も考慮した骨組みで主塔を表現した。

桁に与えたねじれ剛性はブライヒ式²⁾、小松式³⁾を基本とし、それに床版剛性の寄与を合成したものの4ケースについて解析を実施している(表1)。

	中央径間中央部の代表的なねじれ剛性 (GJ, $\times 10^8 \text{ t m}^2$)			
	ブライヒ式	同左+床版	小松式	同左+床版
大鳴門橋	0.7689	1.1719	0.6404	1.0434
南備讃瀬戸大橋	1.441	1.809	1.186	1.554
因島大橋	0.2826	0.4056	0.2508	0.3738

表1 解析モデルに与えたねじれ剛性

解析結果 3次元構造解析を実施すると桁に関するねじれの1次対称固有振動モードといっても桁及び主ケーブルの横たわみと連成しその大小で複数の固有モードとして複雑に現れる。これらを桁のみに関する固有モード形状から区別し、桁のねじれに関する等価極慣性モーメントを求め、慣用的に風洞試験に用いられている極慣性モーメントの比で整理すると表2のようになる。慣用値は桁のねじれ振動に対し水平方向の連成

は無視したものであるから比が1からはなれると連成の度合いが大きくなることを示しており、結果は場合によっては少なからぬ水平方向の自由度に関する連成がみられることを示している。これら固有振動モードの固有振動数を観測値と比べると図1のようになる。一般的には等価極慣性モーメントの小さいと推測される純ねじれの固有振動モードを試験対象としているが、必ずしも当てはまらず、また観測値との整合も良好とはいえず試験の対象とする固有振動モードの選択には十分な配慮が必要であろう。

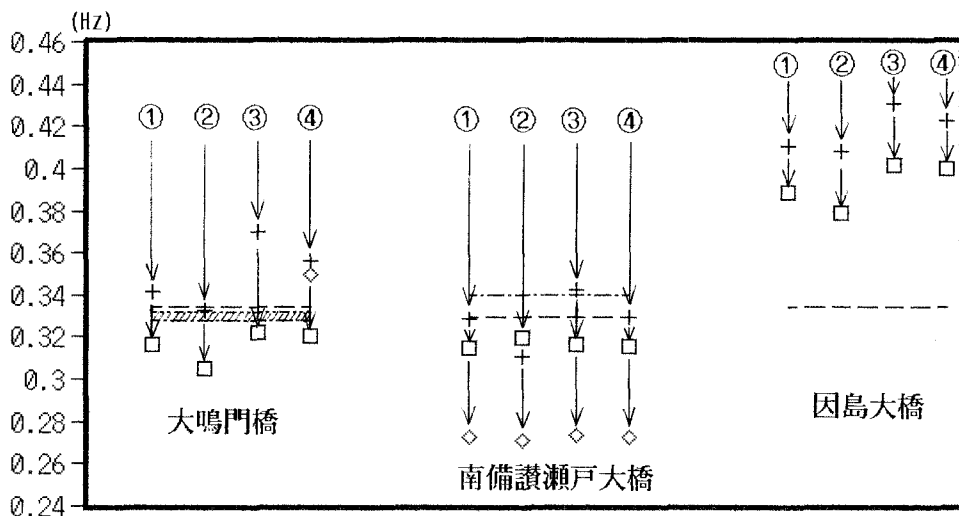
固有振動解析には東京大学大型計算機センターおよび横浜国立大学情報処理センターを使用し、構造解析プログラムSAPⅣを解析目的に合わせ変更して用いた。

参考文献

- 1) 岡内功ほか、大型起振機による長大橋梁の振動観測、第10回風工学シンポジウム論文集、pp295-300、1988。
- 2) Bleich, F. et al., THE MATHEMATICAL THEORY OF VIBRATION IN SUSPENSION BRIDGES, Department of Commerce, 1950.（邦訳：猪瀬ほか、吊橋の振動解析、森北出版、1971）
- 3) 小松定夫、薄肉構造物の理論と計算、山海堂、1969。

	大鳴門橋		南備讃瀬戸大橋		因島大橋	
	横たわみ連成	純ねじれ	横たわみ連成	純ねじれ	横たわみ連成	純ねじれ
小松式①	1.40	3.89	2.94	1.60	1.08	7.16
ブライヒ式②	2.88	1.78	8.41	1.11	1.29	3.51
①+床版合成	6.65	1.88	0.98	1.07	4.41	1.20
②+床版合成	15.03	1.12	37.88	10.98	8.69	1.06

表2 等価極慣性モーメントの変化



- 註) 計算値: □: 水平たわみ連成ねじれ、+: 純ねじれ、◇: ケーブル連成ねじれ
 観測値: 破線: 常時微動でのねじれ、一点破線およびハッチ: 強制振動でのねじれ
 図中の番号: ①: ねじれ剛性はブライヒ式、②: 小松式
 ③: ブライヒ式+床版剛性、④: 小松式+床版剛性

図1 各種ねじれ1次固有振動数と観測されたねじれ振動数との関係