

I-A 209

2箱桁／1箱桁を併用した超長大吊橋の開発（その1：構造特性）

川崎重工 正員 小川 一志

同上 正員○橋本 靖智

同上 正員 岸田 和人

1. はじめに

現在、国内外では多くの海峡横断プロジェクトが計画されているが、瀬戸内海よりも海峡幅が広くスパンは従来よりも長大化して2000m以上の超長大橋の実現が不可欠となる。このため、従来よりも耐風性および経済性に優れた橋梁形式が望まれ、ケーブルシステムおよび桁断面について多くの提案がなされている。筆者らは、トラス桁に比べて抗力係数の小さい流線型箱桁に着目し、耐風性の影響の大きいスパン中央部は中央開口部を有する2箱桁、塔付き部は塔柱間隔を狭くして下部工への負担を減ずるよう従来タイプの1箱桁を併用した超長大吊橋の検討を行ってきた¹⁾。ここでは、この2箱桁／1箱桁を併用した超長大吊橋の構造特性として荷重を載荷した場合の挙動および固有振動特性について解析検討を行った内容を報告する。

2. 解析条件

本論文で対象としている超長大吊橋の概要図を図1に示す。ここに示すように、ケーブル間隔は2箱桁の中央開口部の幅に合わせて7mとし、2箱桁部は鉛直に、1箱桁部は斜めにハンガーを吊るものとする。また、解析条件を表1に、側面図を図2に示す。ここで、区間(A)は2箱桁部、区間(B)は1箱桁部である。また、表1では解析比較のため、「1箱桁」のみおよび「2箱桁」のみのケースも合わせて示す。箱桁諸元を表2に、また死荷重を表3示す。ここで使用している2箱桁断面は、水平連結トラスを開口部に設置しているので、水平断面2次モーメントおよびねじり定数は、水平連結トラスをブライヒの換算板厚に置き換えて計算したものである。

表2 箱桁の諸元

桁断面	1箱桁 (B)	2箱桁 (A)
ハンガー間隔	14.000m	14.000m
桁高	6.000m	6.000m
中央開口部間隔	—	7.000m
桁幅（総幅）	40.980m	47.980m
断面積	1.289m ²	3.516m ²
鉛直断面2次モーメント	9.52m ⁴	9.660m ⁴
水平断面2次モーメント	133.333m ⁴	263.326m ⁴
ねじり定数	19.763m ⁴	20.979m ⁴

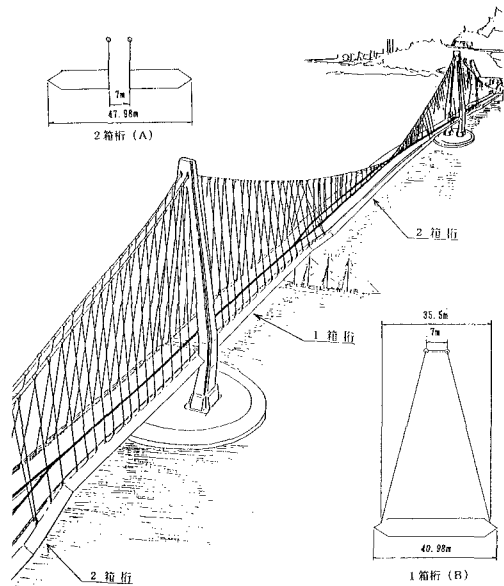


図1 2箱桁／1箱桁を併用した超長大吊橋（検討案）

表1 解析条件

解析ケース	1箱桁	2箱桁	2箱桁／1箱桁
スパン割	ケーブル	1250m + 2500m + 1250m	
桁	1232m + 2464m + 1232m		
ケーブルサグ比	1/9		
ケーブル間隔	35.5m	7m	7m
車線数	6車線		
ケーブル断面積(1/20r)	0.615m ²	0.715m ²	0.685m ²
ケーブル許容応力	100kgf/mm ²		

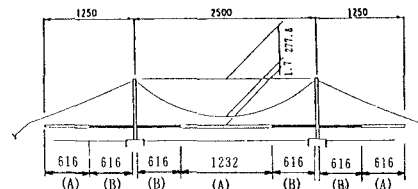


図2 解析対象とした超長大吊橋の側面図

表3 死荷重

桁断面	1箱桁	2箱桁	2箱桁／1箱桁
			1箱桁(B) 2箱桁(A)
吊橋構造部	橋面上	4.86t/m	4.86t/m
	補剛桁	13.99t/m	17.82t/m
	耐風安定化部材	2.09t/m	4.86t/m
	ハンガー関係	0.50t/m	0.50t/m
	その他	2.10t/m	2.10t/m
ケーブル	合計	23.54t/m	23.54t/m
	主ケーブル	9.60t/m	10.75t/m
	その他	1.40t/m	1.40t/m
	合計	11.06t/m	12.15t/m
全合計	34.60t/m	40.60t/m	35.69t/m
吊橋構造部構造性モーメント	2796t・m/m	5100t・m/m	2796t・m/m

3. 風荷重に対する挙動

解析に用いた空気力係数は、風洞試験によって1箱桁および2箱桁それぞれについて求めたものを使用した。解析結果として、中央径間中央の桁の回転変位及び鉛直変位を図3に示す。この結果から以下のようなことが言える。①回転変位が空気力係数の測定の上限值である 14° を超える風速は、「1箱桁」は90m/s、「2箱桁」は70m/s、「2箱桁／1箱桁」は85m/sである。いずれにしても箱桁では回転変位に対してクロスハンガーなどケーブルシステムによって、吊橋全体のねじり剛性を高めるとか、フェアリング形状などの桁断面の工夫によって負迎角領域の空力モーメントを小さくするような検討が必要と思われる。

2) ②鉛直変位は2箱桁断面を採用した方が、1箱桁断面に比べて大きくなりにくいことがわかる。

4. 固有振動特性

固有値解析を実施した結果として鉛直振動及びねじれ振動の低次モードの振動数および等価質量・等価極慣性を表4及び表5に示す。この結果より、「2箱桁」は1箱桁に比べてねじれ1次モードの振動数が低く、等価極慣性も低い。これに対し、「2箱桁／1箱桁」は「1箱桁」に比べてねじれ1次モードの固有振動数は変化がないが、等価極慣性は約7割大きくなる。また、「2箱桁／1箱桁」を採用することによって、橋軸方向のねじれ振動特性が変化する関係からねじれ振動モードと鉛直振動モードとの直交関係が大幅にはずれて一般化連成空気力が小さくなることが予想される。これらは「2箱桁／1箱桁」のフラッタ風速の向上につながると思われるが、具体的には多自由度フラッタ解析によりフラッタ風速を確かめる必要がある³⁾。

5. まとめ

以上の結果から、2箱桁／1箱桁を併用した超長大吊橋は、風荷重によって回転変位が大きくなりやすい傾向にあるが、鉛直変位および水平変位に関しては問題はなく、また、振動特性に関しては従来の1箱桁よりもねじり振動については良好であることがわかった。今後、風荷重による回転変位を小さくする対策として、①吊橋全体のねじり剛性を上げるためのクロスハンガーの設置の検討②フェアリング形状など桁断面の工夫によって負迎角領域での空力モーメントを小さくする検討を実施する所存である。なお、本検討は、建設省土木研究所、本州四国道路橋公団、(財)土木研究センターおよび民間企業8社からなる「耐風性および経済性に優れた超長大橋の開発に関する共同研究」の一環として実施したものである。

参考文献

- 1) 小川、下土居、磯江、橋本：新形式の超長大吊橋の振動特性に関する一考察、第50回土木学会年次学術講演会、1995
- 2) 小川、下土居、橋本、野上：2箱桁及び1箱桁を組み合わせた新形式の超長大吊橋の構造特性、本州・北海道架橋シンポジウム、1996
- 3) 下土居、小川、野上：2箱桁／1箱桁を併用した超長大吊橋の開発（その2：フラッタ特性）、第51回土木学会年次学術講演会、1996

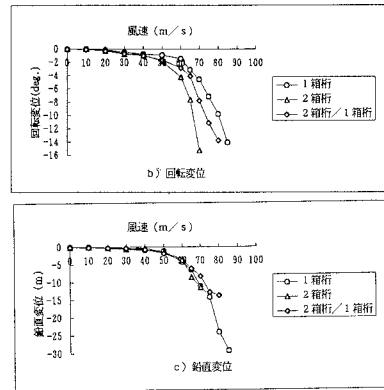


図3 風荷重による中央径間中央の桁の変位

表4 鉛直振動モードの固有振動数と等価質量

1箱桁			2箱桁			2箱桁／1箱桁		
次数	固有振動数 (Hz)	等価質量 ($t \cdot s^2/m$)	次数	固有振動数 (Hz)	等価質量 ($t \cdot s^2/m$)	次数	固有振動数 (Hz)	等価質量 ($t \cdot s^2/m$)
2次	0.0528	3.548	2次	0.0526	4.175	2次	0.0531	4.003
6次	0.0694	3.546	6次	0.0690	4.172	6次	0.0701	3.902
7次	0.0839	3.818	7次	0.0837	4.481	7次	0.0845	4.182
9次	0.1005	3.569	8次	0.1000	4.197	9次	0.1023	3.930
10次	0.1369	3.580	11次	0.1359	4.207	10次	0.1354	3.894
11次	0.1385	3.632	12次	0.1375	4.269	11次	0.1404	3.968
12次	0.1389	3.648	13次	0.1378	4.284	12次	0.1405	3.983
13次	0.1389	3.633	14次	0.1379	4.286	13次	0.1405	4.002
26次	0.2088	5.217				18次	0.1781	3.896
						23次	0.2144	3.959
						24次	0.2149	3.974
						25次	0.2171	3.962

表5 ねじれ振動モードの固有振動数と等価極慣性

1箱桁			2箱桁			2箱桁／1箱桁		
次数	固有振動数 (Hz)	等価極慣性 ($t \cdot m^2/s^2$)	次数	固有振動数 (Hz)	等価極慣性 ($t \cdot m^2/s^2$)	次数	固有振動数 (Hz)	等価極慣性 ($t \cdot m^2/s^2$)
17次	0.1514	754.862	10次	0.1336	563.482	14次	0.1531	1726.880
22次	0.1668	6395.905	22次	0.1682	14513.904	17次	0.1546	1287.621
24次	0.1695	53246.287	26次	0.2371	556.977	22次	0.1589	1120.140
26次	0.2068	18741.853	27次	0.2388	566.847	26次	0.2547	1736.225
27次	0.2240	1405.056				27次	0.2665	1973.930
28次	0.2307	1265.897						

注) アンダーラインは1次モード