

一箱／二箱併用斜張吊橋（モノデュオ形式）大型全橋模型風洞試験

土木研究所 正会員 麓 興一郎 土木研究所 正会員 村越 潤
 本州四国連絡橋公団 正会員 楠原 栄樹 本州四国連絡橋公団 正会員 秦 健作
 三井造船（株） 正会員○出野 麻由子 三菱重工業（株） 正会員 岸 明信

1. はじめに

次世代の海峡横断道路プロジェクトの一つである、中央支間 2000m 超の超長大吊橋を実現するためには、フラッター発現風速 80m/s 以上を満足する優れた耐風安定性の確保と共に、経済性の向上も重要な課題である。著者らは、上記の要請に対応し、その設計案の一つとして、一箱／二箱併用斜張吊橋を提案し、解析・実験の両面から検討を進めてきた。一昨年実施した、一箱／二箱併用斜張吊橋の大型全橋模型試験^{1) 2) 3) 4)}では、フラッター発現風速 80m/s 以上の耐風性能を確認したものの、静的変形量（特にねじれ変位）が大きく、課題として残った。そこで著者らは、静的変形特性を向上させた更なる耐風安定断面を求め、外吊式のケーブル形式（以下モノデュオ形式）を提案し、3次元全橋模型による一様流中の対風応答試験を実施した。本稿はその試験結果について報告するものである。

2. 全橋模型

模型は、中央径間 2800m、全長 5000m の超長大橋を縮尺 1/125 で Froude 相似則を満足するよう設計した 3 次元全橋弾性模型である（図 1）。桁断面形状を図 2 に、耐風安定化部材形状を図 3 に示す。また、模型諸元を表 1 に示す。主ケーブルの吊位置はこれまでの二箱桁開口部位置（以下内吊形式）から、二箱桁部外側に広げたモノデュオ形式とすることで、静的変形量を抑える構造としている（図 4）。なお、対風応答試験は（独）土木研究所構内の大型風洞実験施設（本州四国連絡橋公団所有）を用いて一様流中、気流傾斜角 0° で行った。試験状況を写真 1 に示す。

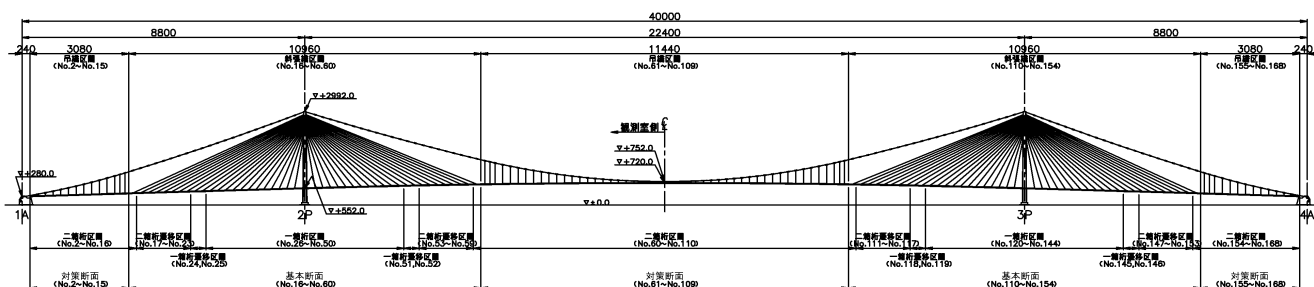


図 1 大型全橋模型一般図

表 1 各モードの振動諸元

振動モード	固有振動数 (Hz)			対数減衰率 計測値
	解析値	計測値	偏差 (%)	
1 水平曲げ対称1次モード	0.352	0.341	-3.0	0.014
2 水平曲げ非対称1次モード	0.504	0.472	-6.3	0.019
3 鉛直曲げ対称1次モード	0.740	0.735	-0.7	0.011
4 鉛直曲げ非対称1次モード	1.378	1.358	-1.4	0.012
5 鉛直曲げ対称2次モード	0.675	0.686	1.7	0.018
6 鉛直曲げ非対称2次モード	1.180	1.160	-1.7	0.017
7 ねじれ対称1次モード	1.724	1.731	0.4	0.015
8 ねじれ非対称1次モード(1)	2.002	1.964	-1.9	0.008
9 ねじれ非対称1次モード(2)	2.644	2.628	-0.6	0.007

※偏差 (%) = (計測値-解析値) / 解析値 × 100

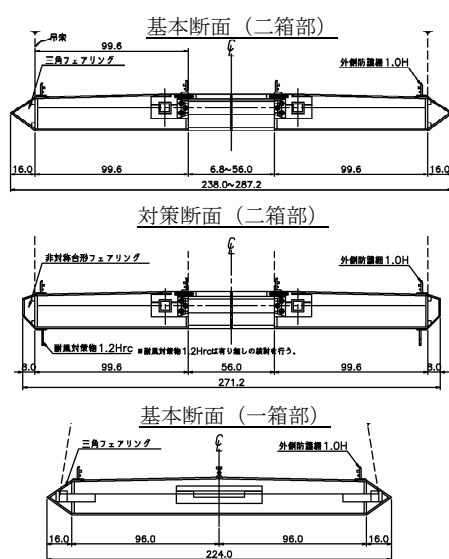


図 2 桁断面形状



図 3 対風安定化部材

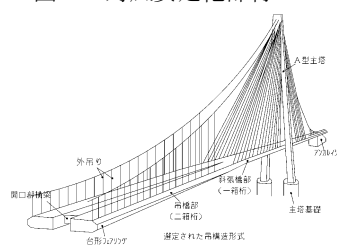


図 4 モノデュオ形式

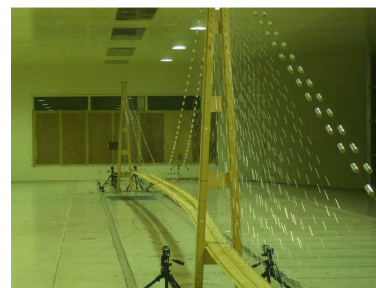


写真 1 試験状況（実橋換算風速 86.2m/s）

キーワード 超長大橋、大型全橋模型、一箱／二箱併用斜張吊橋、モノデュオ形式、フラッター

連絡先 〒104-8439 東京都中央区築地 5-6-4, 三井造船（株） TEL03-3544-3246、FAX03-3544-3033

3. 試験結果

静的変形計測結果を図5に示す。風洞風速 7.3m/s(実橋換算風速 82m/s)で中央径間中央(No. 85)の水平変位量は桁幅の約85%に相当する229mm(実橋換算変位 28.6m)程度であり、内吊形式の結果(82m/sで278mm(同34.8m))に比べて小さくなっている。また、鉛直変位量も同様の風速で、66.3mm(同8.3m)程度であり、内吊形式(82m/sで82mm(同10.3m))よりも小さい。さらに、内吊形式でその大きさが問題となった、桁の静的ねじれ変位量は、モノデュオ形式では、同様の風速で、 -5.6° (頭下げ)であり、内吊形式の -14.0° (82m/s)と比べると格段に小さくなっている。静的ねじれ変位量の減少は、ケーブルの吊り方をモノデュオ形式にしたことにより、橋全体のねじれ剛性が向上した効果の現れであると言える。また、中央吊橋区間(No. 70, 85, 100)と斜張橋区間(No. 58)の静的変形量を比較すると、吊橋区間がかなり大きいことが分かり、これは内吊形式の結果と同様の傾向である。実験では風速毎に振動モード別の加振・減衰を行い、振動モード別に、風速-応答振幅-対数減衰率の関係を明らかにした。図6~8にねじれ対称1次モードの風速-振幅、風速-対数減衰率、風速-振幅-対数減衰率の関係を示す。ねじれ対称1次モードでは風洞風速 4.6~6.5m/s(実橋換算風速 52~73m/s)で、不安定振動が励起される空気力形成となり、負減衰は $\delta = -0.01$ 程度と小さいものの、風速限定型の発散振動が確認された。この風速域よりも高い風速では、発散振動は収まり、風洞風速 8.1m/s(実橋換算風速 90.8m/s)に至っても、フラッターの発現は見られなかった。

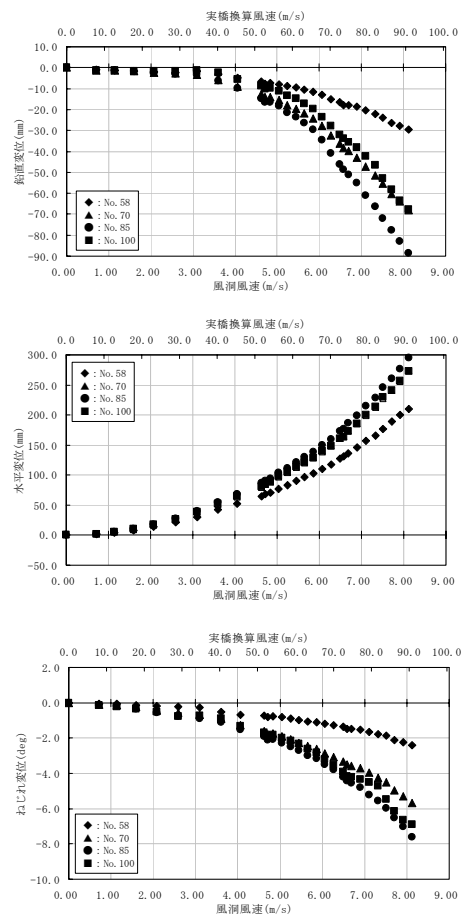


図5 静的変形状況

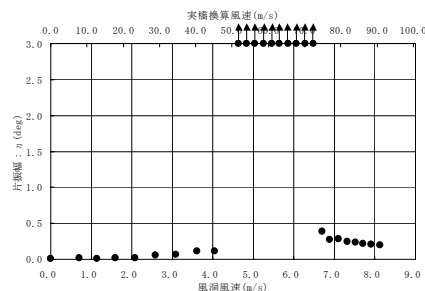


図6 風速-振幅(ねじれ対称1次)

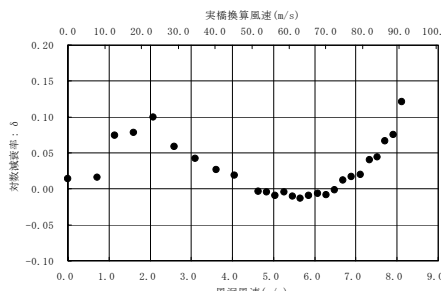


図7 風速-対数減衰率(ねじれ対称1次)

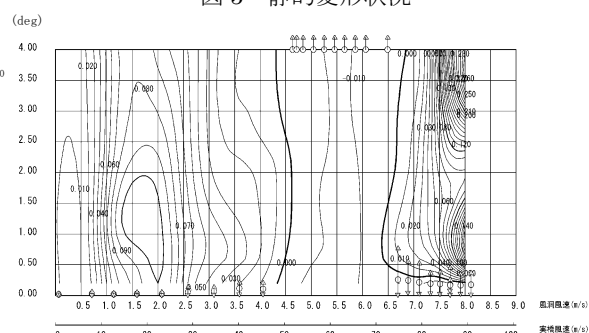


図8 風速-振幅-対数減衰率(ねじれ対称1次)

4. まとめ

経済性を考慮した超長大橋の実現に向けて、一箱／二箱併用斜張吊橋全橋模型において、ケーブルシステムにモノデュオ形式を適用して、一様流中の対風応答試験を実施した。試験の結果、静的変形特性についてはモノデュオ形式にしたことで、内吊形式よりも大幅な向上が図れることが確認された。しかし、耐風性能として必要とされるフラッター照査風速 80m/s より小さい風速でフラッターと見られる、負減衰の小さい発散振動が確認された。この振動は風速を上げていくと収まった。この振動のメカニズム解明や、これを抑制する耐風対策については、別途報告⁵⁾の桁形状検討で向上の一例を示しているが、この事例含め、今後の課題として引き続き検討を行う予定である。

なお、本研究は、(独) 土木研究所、本州四国連絡橋公団、(財) 土木研究センター、(財) 海洋架橋・橋梁調査会、及び民間9社(著者2社、石川島播磨重工業、川崎重工業、川田工業、清水建設、JFE、住友重機械工業、日立造船)による「経済性を考慮した超長大橋の耐風設計法に関する共同研究」の一環として実施されたものである。

参考文献

- 1) 麓、尾立、村越、須澤ほか：新たな形式の超長大橋，第59回土木学会全国大会年次学術講演会，I-635，2004
- 2) 須澤、村越、麓、秦ほか：一箱／二箱併用斜張吊橋の桁形状検討，第59回土木学会全国大会年次学術講演会，I-636，2004
- 3) 尾立、村越、麓、秦ほか：一箱／二箱併用斜張吊橋大型全橋模型の特性，第59回土木学会全国大会年次学術講演会，I-637，2004
- 4) 白井、村越、麓、秦ほか：一箱／二箱併用斜張吊橋大型全橋模型の特性，第59回土木学会全国大会年次学術講演会，I-637，2004
- 5) 麓、村越、楠原、秦ほか：一箱／二箱併用斜張吊橋の桁形状と耐風応答特性，第60回土木学会全国大会年次学術講演会(投稿中)，2005