

I-A 208

超長大吊橋の偏平箱桁の耐風性改善策

日立造船 正会員 植田利夫 正会員 田中 洋 正会員 松下泰弘

1. まえがき

国内外の海峡横断プロジェクトの橋梁案の中には、明石海峡大橋の中央支間1990mを凌ぐ、いわゆる超長大吊橋が計画検討されている。これらの超長大吊橋では、耐風安定性、とくに、耐フラッター性能の確保が最重要課題である。その解決策として、桁自身の空力特性をできるだけ良好なものとする、および、全体のねじれ剛性を大きくするためにケーブルシステムに工夫をこらすことが考えられている。ここでは、できるだけ軽量化した偏平箱桁を対象にフラッター特性改善策として、図1に示すように、中央部に開口部(上下に水平結合トラスを施す)を設けた鉛直スタビライザーを活用する案を採用し、ばね支持風洞試験により改善性能を検討した。なお、今回のケーブルシステムは、明石海峡大橋と同様、通常的方式とし、特別な工夫を施していない。

2. 構造諸元

著者等は、文献(1)において、明石海峡大橋の試験検討段階で、桁高7mおよび5mで空間幅7mを対象に風洞試験を実施したが、桁重量はトラス桁と同程度で、桁のねじれ剛性はできるだけ大きくなるように設定した。今回は、桁高5mを対象とし、できるだけ軽量化を図った。空間幅Sは、3・5・7・9mの4種を想定した。各構造諸元を表1に示す。

なお、基本条件は、ケーブル支間:1250+2500+1250m, サグ比:1/9, ケーブル許容応力度:100kg/mm², 車道幅員:14.5m×2(6車線), 舗装厚:65mm, 高欄地覆:1t/m, 公共添加物:2t/m, 付属物:1t/mである。

3. 風洞試験結果

当社所有の風洞設備を使用し、風洞模型は、縮尺1/80・長さ1.8mとした。回転中心はせん断中心に合わせ、構造減衰は $\delta=0.02$ とした。風洞試験は、各空間幅に対して、① 空間部閉塞状態(断面A)、② 空間部開口状態(断面B, 水平結合トラス相当の模型は設置せず:文献(1)で影響が少ないことを確認済み)、③ ②に鉛直スタビライザーを設置した状態(断面C, 文献(1)において選定した耐風性改善効果があった寸法の鉛直スタビライザー:路面上部突出高 $h_u=1.5m$, 下フランジ下部突出高 $h_l=1.5m$, 図1参照)の3種とした。試験は、すべて一様流中で、迎角 α は 0° , $\pm 3^\circ$ とした。

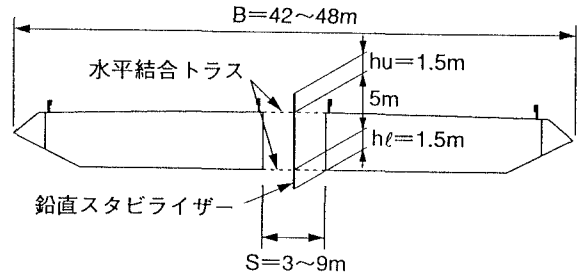


図1 対象桁断面

表1 構造諸元と振動諸元、および V_{FS}

基本寸法 (m)	空間幅 S	3	5	7	9
	全 幅 B	42	44	46	48
	ケーブル間隔	37	39	41	43
重量 (t/m)	吊構造	25.1	25.4	25.8	26.2
	ケーブル	12.8	12.8	12.8	12.8
	合 計	37.9	38.2	38.6	39.0
断面積 (m ²)	吊構造	1.37	1.37	1.37	1.37
	ケーブル	1.40	1.40	1.40	1.40
	合 計	2.77	2.77	2.77	2.77
極慣性 モーメント (tmi/m)	吊構造	3182	3651	4165	4724
	ケーブル	4381	4867	5379	5917
	合 計	7563	8518	9544	10641
桁剛性	鉛直曲げ (m ⁴)	6.5	6.5	6.5	6.5
	水平曲げ (m ⁴)	179.6	208.0	239.2	273.2
	単純ねじれ (m ⁴)	15.2	15.2	14.9	14.5
	曲げねじれ (m ⁶)	475.9	622.4	795.7	980.6
振動数	たわみ f_z (Hz)	0.052	0.052	0.052	0.052
	ねじれ f_θ (Hz)	0.137	0.133	0.128	0.123
	振動数比 (f_θ/f_z)	2.632	2.547	2.456	2.349
換算マス (t/m)		38.1	38.5	38.9	39.2
換算極慣モーメント (tmi/m)		8824	9360	10866	12215
Seiberg式によるフラッター限界風速 V_{FS} (m/s)		50.1	47.9	46.7	44.7

3.1 フラッター発生風速

いずれの断面も連成フラッターが発生した。その発生風速 V_F を、表1に示すSelberg式によるフラッター限界風速の計算値 V_{FS} で無次元化した値 $K = V / V_{FS}$ で表すと図2の通りである。断面Aでは、 $K = 0.95 \sim 0.98$ で、フラッター発生風速が高いとされる翼断面のフラッター発生風速とほぼ同等である。これに対し、断面Bでは、 $\alpha = 0, -3^\circ$ で $k = 1.1 \sim 1.3$ で、空間幅 S が大きいほど K 値が大きくなる傾向がある。 $\alpha = +3^\circ$ では、 $S = 3.9\text{m}$ で $K < 1.0$ である。一方、断面Cでは、 $\alpha = 0, +3^\circ$ で S が大きくなるにつれて、 K 値が大きくなる傾向にあり、 $K = 1.1 \sim 1.5$ である。 $\alpha = -3^\circ$ では、 $S = 3\text{m}$ で $K = 0.66$ である以外は、 K 値はさらに大きくなり、 $S = 9\text{m}$ で $K = 1.63$ 、 $S = 5, 7\text{m}$ では風洞試験風速範囲内でフラッターは確認されなかった。想定している吊橋のフラッター限界風速は 80m/s であり、空間幅 $S = 5, 7\text{m}$ の $\alpha = -3^\circ$ はこの条件を満たしているが、 $\alpha = 0^\circ$ で 67m/s 、 $\alpha = +3^\circ$ で 62m/s で条件を満たしていない。

3.2 渦励振動

断面Cでは、鉛直スタビライザー設置により、図3に示すように、実橋風速 $7 \sim 11\text{m/s}$ の範囲で約 2° 以下のねじれ渦励振、実橋風速 $2 \sim 3\text{m/s}$ で 40cm 以下のたわみ渦励振が発生している。今後、乱流中の風洞試験で応答の変化を検討していく予定である。

4. あとがき

桁高 5m では、空間幅 $S = 5\text{m}$ 、あるいは、 7m で耐フラッター特性の良好な鉛直スタビライザーの存在を確認できたが、迎角 $\alpha = 0^\circ, +3^\circ$ では必ずしも目標とする設計限界風速 80m/s を満たしていない。しかし、最終的な耐風性の評価は、一樣流中の3次元全橋模型風洞試験、さらには、境界層乱流中の試験により判断する必要があるだろう。それ以前の補完的検討として、三分力試験および非定常空気力測定試験を実施の上、有風時の静的変形を考慮したマルチモード連成フラッター解析を行い、フラッター性能を詳細に検討していく予定である。また、場合によっては、ケーブルシステムの工夫も検討していきたい。なお、本研究は、建設省土木研究所、本州四国連絡橋公団、(財)土木研究センターおよび民間企業8社からなる共同研究「耐風性および経済性に優れた超長大橋の開発」の一環として実施したものである。

参考文献

- (1) 保田雅彦, 中垣亮二, 植田利夫: 超長大吊橋補剛桁の耐フラッター特性改善対策, 土木学会第42回年次学術講演会概要集, I-341, 昭和62年9月

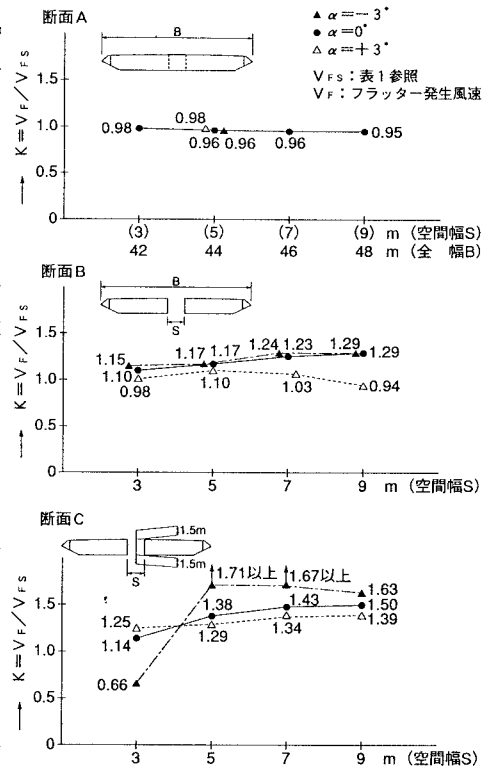


図2 フラッター発生風速比率 $K = V_F / V_{FS}$

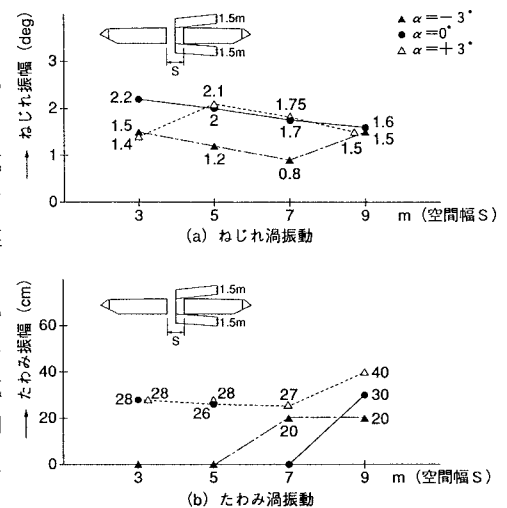


図3 渦励振応答振幅 (断面C)