

超長大橋梁の耐風安全性に関する大型風洞試験

Big Boundary Layer Wind Tunnel Study

on Aerodynamic Stability of Very Long-span Suspension Bridges

勝地 弘^{*1} 宮田 利雄^{*2} 横山 功一^{*3}

Hiroshi Katsuchi Toshio Miyata Koichi Yokoyama

金崎 智樹^{*4} 保田 雅彦^{*5} 鈴木 周一^{*6}

Tomoki Kanazaki Masahiko Yasuda Shuichi Suzuki

Big boundary layer wind tunnel study is in progress. The purpose of this study is to verify the aerodynamic stability of very long-span suspension bridges, and is to establish the rational methods of wind tunnel tests. Firstly, the Akashi Kaikyo bridge which has center span length 1990m is being tested. In order to carry out this test, a big boundary layer wind tunnel facility whose test section has width 41m, height 4m and length 30m was constructed, and a large scale(1/100) full aeroelastic model was designed.

This paper describes characteristics and performance of the wind tunnel, and design methods and performance of the full model similar to actual bridge's properties accurately.

1. まえがき

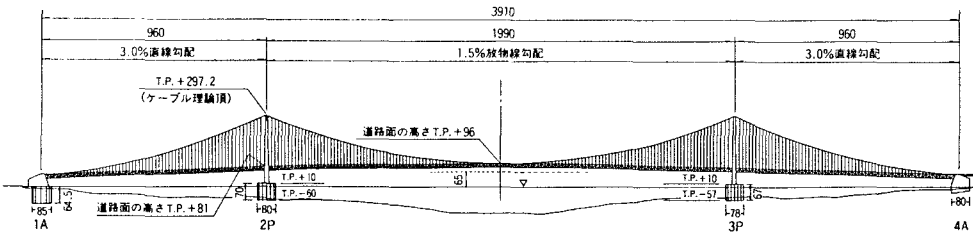
現在、本州四国連絡橋明石海峡大橋の建設工事が本格化している。明石海峡大橋は、中央支間長1990m、全長3910mのトラス補剛桁を有する超長大吊橋であり、極めて可撓性に富む構造物となっている。このため、本橋の耐風設計は、従来の長大吊橋に比べて一段と重要となり、また難しくなっている。例えば、フラッターに対する安全性を照査する限界風速を無次元風速と比較すると、従来の1000m級の吊橋が7～8であるのに対し、本橋のそれは約15となり、これまでにない高風速領域での安定性が求められることとなる。^{1), 2), 3)} また、本橋の補剛桁断面は、そのほとんどが風荷重によって決まっており、設計基準風速60m/s時にセンタースパン中央で約30mの水平たわみが生じる。

このことから、本橋の耐風設計においては、部分模型風洞試験ではとらえきれない振動モード形の影響、風荷重による静的変形の影響、気流や構造特性の橋軸方向分布、変化の影響といった、3次元的な影響を考慮したより精度の高い耐風性の評価が必要であると考えられたため、実橋をできる限り忠実に再現した全橋模型を用いて、耐風安全性を検証することとしたものである。

-
- *1 本州四国連絡橋公団 設計部 設計第一課 (〒105 東京都港区虎ノ門5-1-5)
 - *2 工博 横浜国立大学教授 工学部建設学科 (〒240 横浜市保土ヶ谷区常盤台156)
 - *3 工修 建設省土木研究所 構造橋梁部 構造研究室長 (〒305 つくば市大字旭1)
 - *4 工修 " " 構造研究室主任研究員 (〒305 つくば市大字旭1)
 - *5 本州四国連絡橋公団 設計部 設計第一課長 (〒105 東京都港区虎ノ門5-1-5)
 - *6 " " 設計第一課長代理 (〒105 東京都港区虎ノ門5-1-5)

風洞試験に先立ち、まず全橋模型の検討を行い、その結果、実橋の空力特性を忠実に再現するように模型化を行うためには、補剛桁の縮尺選定がクリティカルとなり、最小でも1／100の縮尺が必要となることがわかった。これを受け、全橋模型の詳細検討を行った。一方、縮尺1／100の全橋模型を考えると、その大きさは長さ40m、高さ3m程度となるが、国内にはこのような大きい模型が実験できる大規模な構造物用風洞施設がないため、新たな風洞施設が必要となった。そこで、この全橋模型試験が実施可能な大型風洞施設（測定部寸法：幅41m×高さ4m×長さ30m）を建設省土木研究所構内に設けることとした。

本論文では、大型風洞施設の概要、縮尺1／100全橋模型の設計検討と性能確認試験の結果を中心に述べるものとする。全橋模型による耐風安全性の各種風洞試験結果及び解析的検討については、現在実施途中であるので改めて報告することとしたい。



2. 大型風洞施設

図－1 明石海峡大橋一般図

(単位：m)

2. 1 基本諸元

大型風洞施設の基本諸元の決定にあたっては、明石海峡大橋の縮尺1／100全橋模型を対象とした。風洞測定部の寸法としては、模型の全長から幅41m、主塔の高さから高さ4m、さらに長さは境界層乱流の発達を考慮して30mとした。風洞風速の最大値はフルード数相似を考えると、風速倍率は1／10となるため、最高風速を明石海峡大橋のフラッター照査風速78m／sに乱流発生時の余裕などをみて、12m／sとした。また、気流特性としては、これまでにない大断面となることから、平均風速分布として偏差±3％以内、乱れ強さ1％以内を目標として、計画を進めた。風洞形式は、基本的には吸い込みタイプの開回路型であるが、風洞上部の建屋空間を気流の還流用空間とする鉛直方向の回流形式としている。

表－1 大型風洞施設基本諸元

型 式	建屋内還流型吸い込み方式
建 屋 寸 法	75.4m×53m×19.5m
測 定 部 寸 法	41m(B)×4m(H)×30m(L)
風 速 範 囲	0.5～12 m/s
風速分布偏差	±3％以内
乱 れ 強 さ	1％以内
気流整流装置	コーナーベン＋整流金網
縮 流 比	2.0
金網枚数	2枚＋7枚にカム
送 風 機	口径1.8m×36台(2段×18列)
電 動 機	交流電動機、出力45KW、インバータ制御

これらの基本条件をもとに、所要の気流特性が確保できる建屋最小寸法、縮流胴仕様（縮流比、形状、整流金網枚数）、コーナーベンなどの最適諸元を調査するため、実物風洞の縮尺1／16の模型風洞を使って、事前検討を行った。検討の結果、建屋寸法では、風洞前面、背面の距離及び高さの必要最小値を把握した。気流整流装置では、コーナーベン、整流金網は風洞上流側のみでよく、整流金網は、金網2枚とハニカム1枚の構成で所要気流特性を満足することがわかった。また、縮流比は2.0と2.5の両方を想定したが、2.0でも所要気流特性が得られることがわかったため、2.0としている。その他、複数の送風機を用いることもシミュレートしたが、気流特性へ与える影響は少ないことなどを確認した。決定した風洞基本諸元を表－1、図－2に示す。

模型設置位置は、図-2に示す3箇所の設置位置を設けている。中間の斜風試験位置では、6°ピッチで最大36°までの斜風試験が出来る模型回転台を設けている。また、送風機は口径1.8mのものを上下2段に合計36台配置して、1台ずつインバータによる回転数制御を行っている。

2.2 風洞性能

大型風洞施設の性能について、平均風速分布、乱れ強さ、静圧分布、壁面境界層の厚さなどについて測定を行い確認した。その結果、

①平均風速分布(偏差)は、1.5 m/s以下の低風速域で悪くなる傾向がみられたが、概ね表-1に示す基本諸元値±3%以内に収まっている。

②乱れ強さは、1.5~12 m/sの風速域において、主流方向で0.5%程度以下である。

③その他の項目についても、設計諸元値内あるいは風洞試験精度に悪影響を与えない範囲内である。

ことが確認された。一例として、風速6 m/sでの一様流試験位置における平均風速分布の偏差、乱れ強さの測定結果を図-3に示す。

3. 模型設計検討

3.1 概要

全橋模型の設計にあたってトラス補剛桁の剛性相似は、極めて重要な問題点である。種々の検討の結果、実橋の空力特性をできる限り忠実に再現するため、従来用いられてきた実在しない剛性棒による方法でなく、新しい試みとして3.2で述べる「剛体ブロック+V字バネ」構造とすることとした。また、縮尺については補剛桁の厳密な重量相似が可能となること及び部材が試験に耐え得る強度を有することなど

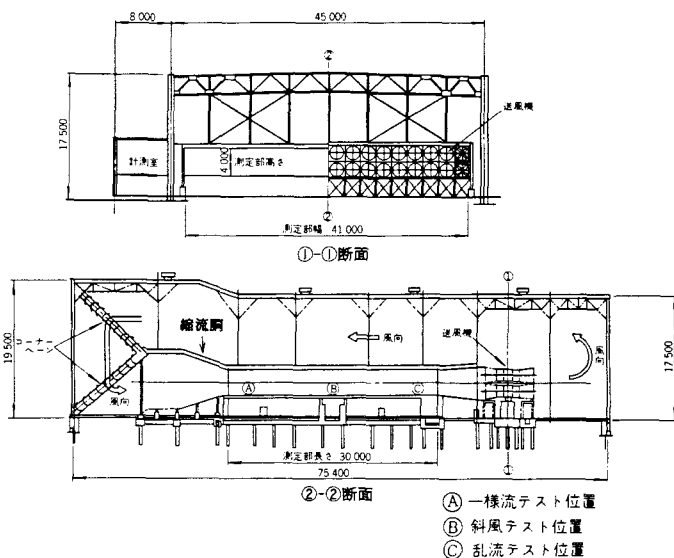


図-2 大型風洞施設一般図 (単位: mm)

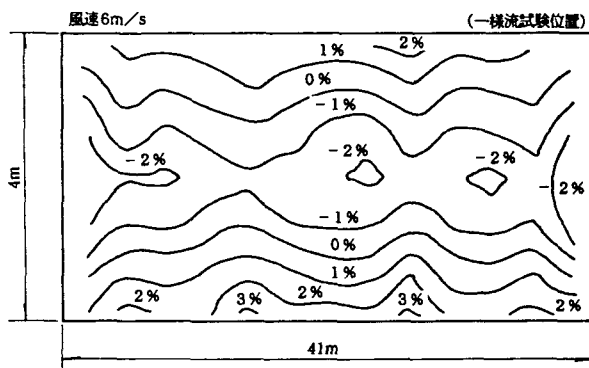


図-3(a) 平均風速分布の偏差 (V = 6 m/s)

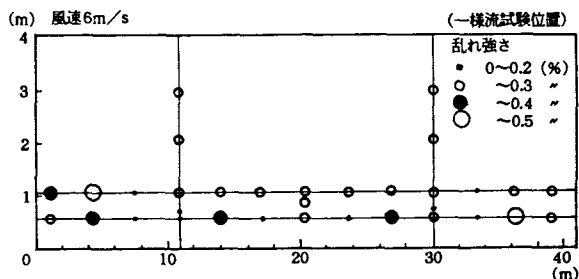


図-3(b) 乱れ強さの分布 (V = 6 m/s)

の条件から、最小でも1/100とする必要があることが判明し、これを受けて模型全体の縮尺を1/100と決定した。

3.2 補剛桁

1) 基本方針

補剛桁の模型化にあたっての基本条件は、種々の検討の結果、以下のとおりに定められた。

- ①剛性相似：空力特性相似を極力忠実に再現するため、剛性棒は使わずに曲げ剛性とねじれ剛性を相似する。ねじれ剛性相似では、模型のせん断中心は実橋と同じトラス中心に位置するものとする。
- ②質量相似：質量、極慣性モーメント、重心を相似する。せん断中心と重心を相似することで回転中心の橋軸方向変化を再現する。
- ③減衰相似：補剛桁模型単独での対数構造減衰率を「明石海峡大橋耐風設計要領」で規定する曲げ振動に対して0.03、ねじれ振動に対して0.02以下に抑える。
- ④模型耐力：高風速での挙動を調査するため、フラッター照査風速78m/s相当の風荷重状態で片振幅5°のねじれ振動、さらに90m/sでも片振幅2°のねじれ振動を照査できる余裕耐力をもたせる。

2) 模型構造

補剛桁模型は、図-4に示すように実橋トラスの4パネル分を1ブロックの剛体模型とし、ブロック間をそれぞれ4本のV字型のバネで結合した【剛体ブロック+V字バネ】構造とした。剛体ブロックをできる限り剛な構造としたうえで、実橋補剛桁のたわみ、ねじれ、水平曲げの剛性をV字バネの剛性で相似するものである。模型材料は、従来外形材として用いられていた桧に替えて、トラス材は軽量で剛性の高い複合材（0.3mmカーボンファイバープレート+発泡アクリルフォーム）で構成し、床版路面及びブロック端部はアルミ材で構成している。また、V字バネはりん青銅製である。

質量、極慣性モーメント、重心の3つを同時に相似するためには、模型断面の質量分布を実橋のそれに近いものとする必要があるが、トラス材に軽量で剛性の高い複合材を、また床版路面に比重の大きいアルミを使うことで、この条件を満足させている。また、4本のV字バネは、いずれもトラス中心に向けることによって、せん断中心をトラス中心とすることが出来る。

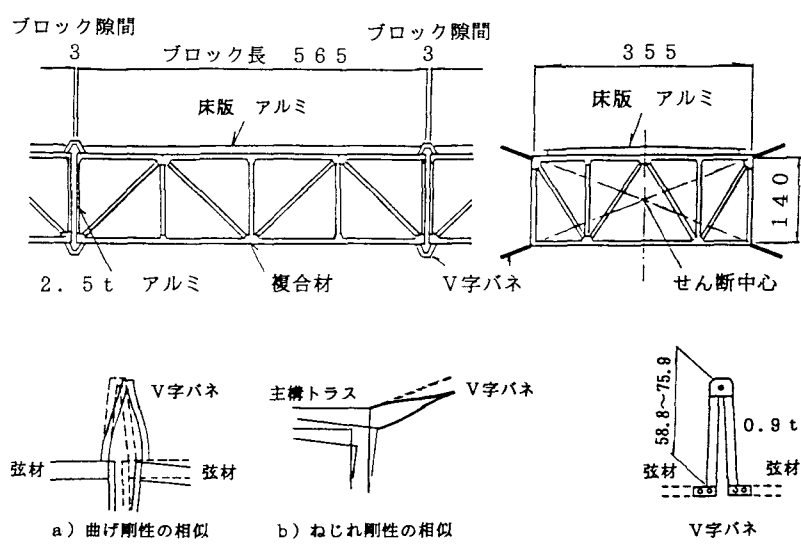


図-4 補剛桁模型化の概要 (単位：mm)

また、模型設計の便宜を考えて、実橋の曲げ剛性、ねじれ剛性の橋軸方向分布を3段階に単純化して剛性を相似させるため、V字バネは3種類のものを用いている。この剛性の単純化による固有振動性状と風荷重変形量の誤差は、概ね3%程度であり、影響は小さいことを確認している。

3) 構造性能及び空力性能

まず、剛性の確認を行った。計測は、5ブロック長さの補剛桁模型を吊りバネで支持した片持ち梁状態にし、その先端にモーメント及びトルクを载荷した際の模型先端変形量を計測することで行った。表-2に所要値との比較を示す。曲げ剛性、ねじれ剛性とも所要値に対して、10%以内の誤差となっている。

質量関係については、質量はブロック全数(70ブロック)を対象に、極慣性モーメント及び重心は代表的な8ブロックを対象に測定を行った。その結果、いずれの項目についても2%程度の誤差に収まっていることが確認された。

次に空力性能の確認を行った。今回の模型では、①模型材料に複合材を使っていること、②V字バネが存在すること、③ブロック間に隙間が存在することが従来の補剛桁模型とは異なる点である。そこで、これらが空力性能にどの程度影響を与えるかについて、縮尺1/100の部分模型(L=1.35m)を用いたバネ支持試験によって確認した。ここで、V字バネ付き部分模型は中間2ヶ所にV字バネ構造を持たせている。

この結果、複合材、V字バネ、ブロック隙間の補剛桁空力特性に与える影響はあまり大きくないことがわかった。

このうち、V字バネの有無によるフラッター特性、ならびに3分力特性の違いを図-5に示す。迎角+3°におけるフラッター限界風速に5m/s程度の差が生じているが、明石海峡大橋の補剛桁空力特性の微妙さ³⁾を考えると、この差は小さいものと判断した。

表-2 補剛桁剛性の所要値比 (剛性の単位: $\text{kg}\cdot\text{cm}^2$)

		バネ I	バネ II	バネ III
所要	水平曲げ EI_H	2.68×10^6	2.50×10^6	3.13×10^6
	鉛直曲げ EI_V	4.49×10^5	4.21×10^5	5.25×10^5
剛性	ねじれ GJ	1.36×10^5	0.93×10^5	1.02×10^5
所要 値と の比	水平曲げ EI_H	0.982	0.916	0.966
	鉛直曲げ EI_V	1.056	0.991	1.042
	ねじれ GJ	0.913	0.904	0.991

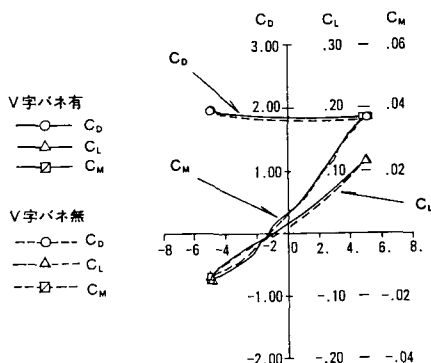


図-5-1 V字バネの有無による三分力係数の違い

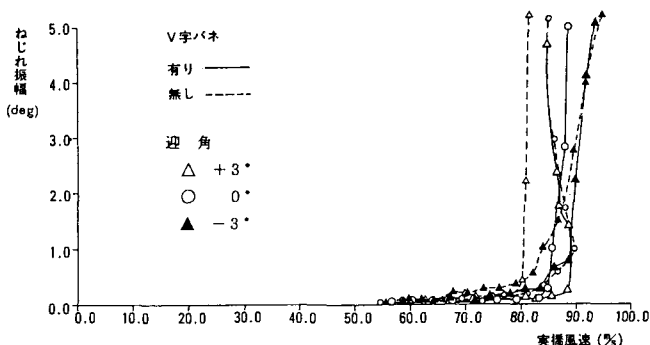


図-5-2 V字バネの有無によるフラッター特性の違い

図-5 V字バネの有無による空力特性の違い

3.3 ケーブル

1) 基本検討

ケーブルの模型化では、伸び剛性、重量及び抗力の3つの条件を相似することとした。この3条件を同時に、軸方向に一樣な円形断面で実現できる材料が見当たらないため、ここでは伸び剛性を相似する線材と抗力及び重量を相似する重錘を離散的に取り付けた分離重錘模型とした。重錘の形状としては、方向性のない球及び円筒の2種類を検討したが、球では単位重量、直径が模型として現実的な値とならないため、円筒形を選定した。図-6にケーブル模型化の概要を示す。

重錘諸元の決定では、重量密度を仮定し、抗力に関してストリップ理論を適用して、以下に示す抗力及び重量の相似条件から重錘の直径と取付率を解析的に求めた。

- 重量の相似条件 $\phi \pi \rho D^2 / 4 = W$ 。
- 抗力の相似条件 $(1 - \phi) C_{d\omega} d + \phi C_{d\omega} D = (C_d A)$ 。

ここで、 $(C_d A)$ ：抗力係数×単位長さあたりの重量の所要値

$C_{d\omega}$ ：円柱の抗力係数（模型値）、 W ：単位長さあたりの重量の所要値

D ：重錘直径、 d ：線材直径、 ϕ ：重錘の取付率 ρ ：重錘の重量密度

図-7にこれらの関係を示すが、重錘直径、取付率、及び使用材料を勘案して、重量密度は 6 gf/cm^3 、材料は鋼とし、中空円筒とすることで見掛けの密度を調整することとした。

次に線材については、材料の均一性、応答の線形性、入手の容易さ及び風洞試験での実績を勘案して、直径 1.2 mm 、素線構成 1×19 のステンレスより線ワイヤとした。なお、素線に関して、破断強度、定着構造、疲労強度などについて検討を行って、模型材料としての耐久性に問題のないことを確認している。素線の伸び剛性は所要値の約 84% 、破断強度は模型設計張力の約 3 倍であった。素線の伸び剛性が所要値を下回ることについては、市販材料を用いるという点からは一応許容範囲内と考え、ケーブル架設形状、模型振動特性などへ与える影響については、全体系に組み立てた状態で確認することとした。

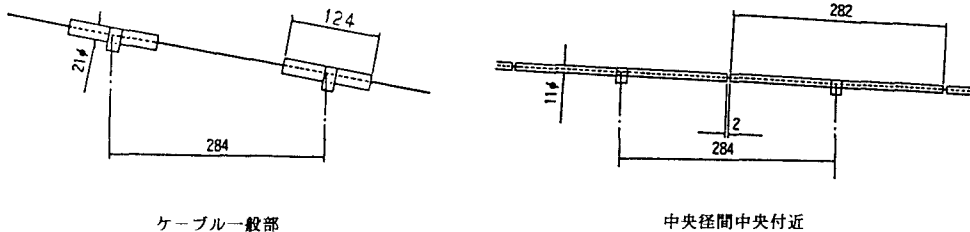


図-6 ケーブル模型化の概要

(単位：mm)

2) 構造性能及び空力性能

分離重錘については、重錘端部の気流の回り込みや重錘相互の空力的干渉などが抗力に及ぼす影響、さらには斜風時の抗力、横力の影響などが問題点と考えられたので、線材と重錘の1ユニット分を模型化した2次元剛体部分模型による3分力の測定を行って検討した。模型の縮尺は、 $1/100$ 模型の5倍、すなわち $1/20$ としている。

重錘長さを変化させた場合の抗力の測定結果を図-8に示すが、抗力が所要値になる取付率は 44% であった。解析（図-7）から求めた取付率は 32% であったが、分離重錘模型では重錘相互の空力干渉による抗力増加より、3次元効果による抗力低下の方が大きいため、取付率が増加したと考えられる。なお、取付率が増加することによる重量相似条件への対応は、重錘の中空円筒容積、すなわち見掛けの密度で調整することとした。

さらに、詳細な検討を行うため、長さ約4mの縮尺1/100のケーブル模型を用い、3次元風洞試験を行った。この結果、抗力は2次元試験の結果とよく一致しており、また横力係数は極めて小さいことがわかった。また、ケーブル模型自体の構造減衰を測定したが、対数減衰率で0.004以下であり、十分小さいことを確認している。

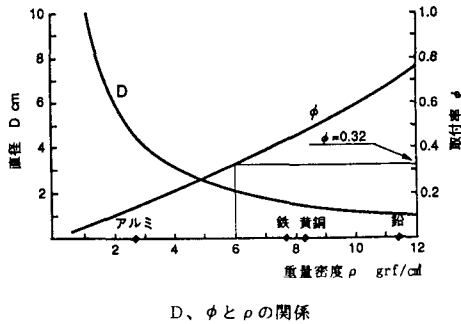


図-7 直径、取付率、密度の関係

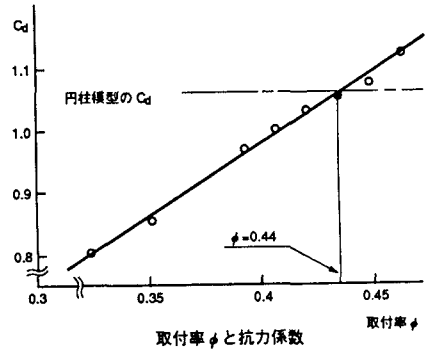


図-8 取付率と抗力係数

3) 補剛桁との空力干渉の検討

中央径間中央付近でケーブルが補剛桁と近接する部分について、相互の空力干渉が予測されたため、ケーブルと補剛桁を剛体的に模型化したバネ支持部分模型試験を実施し、補剛桁のフラッター特性を調査した。この結果、

①分離重錘を配した模型では、実橋ケーブル形状を相似したケーブル付き模型に比べて、フラッター限界風速が大幅に下がる。(例えば、迎角0°の場合65→40m/s)

②この限界風速の低下は、ケーブルと補剛桁の距離が補剛桁高さと同程度になるまで認められる。ことなどから、ケーブルが補剛桁のフラッター特性に与える影響が無視できないことがわかった。このため、中央径間中央付近の32パネル間は、分離重錘方式による抗力相似をあきらめ、実橋ケーブル形状を相似した形状相似ケーブル模型とせざるを得なかった。(図-6参照)

3.4 主塔

1) 基本方針

主塔の模型化にあたっては、主塔単独での静的、動的挙動に加えて、吊橋全体系としての挙動についても影響が大きいためこれらを検討した。これらは、立体骨組による数値解析によっている。静的、動的特性の相似検討に加えて、風洞試験中の風荷重を受け、かつ振動している模型の耐力についても検討した。

2) 模型構造検討

模型の剛性相似において、主塔各部材(塔柱、斜材、水平材)の面外曲げ(IY)、面内曲げ(IZ)、ねじれ(J)、伸び(A)の各剛性全てを同時に相似させることは難しいため、解析によって剛性、質量分布などのパラメータが主塔の振動特性に与える影響度合いを調べ、影響の大きいパラメータを優先的に相似

表-3 主塔各断面定数の振動数への影響

モード	塔 柱				水 平 材				斜 材			
	A	J	IY	IZ	A	J	IY	IZ	A	J	IY	IZ
面外1次	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×
ねじれ1次	×	○	○	×	×	△	△	×	×	×	○	×
面内1次	○	×	×	○	×	×	×	△	○	×	×	△

○：振動数に大きく影響する

△：振動数に若干影響する

×：振動数に影響しない

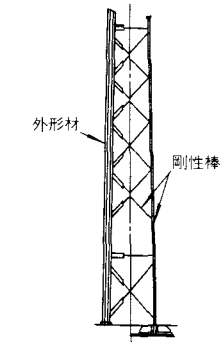
させていくこととした。解析結果の一例を表－3に示す。検討の結果、塔柱は面外曲げ、面内曲げ及びねじれ剛性を、斜材、水平材は面外曲げと面内曲げ剛性をそれぞれ相似させることとした。

このモデルを対象に吊橋全体系での静的解析を行った結果、主塔面内変形量とこの影響による補剛桁横変形量に誤差が生じることが判明した。これは、塔柱及び斜材の伸び剛性の相似を行わなかったことによるが、塔柱断面積は他の相似要因から変更できないため、斜材交差部を一部切り離すことによって見掛け上面内剛性を合わせることにした。図－9に主塔模型化の概要を示す。

3) 模型性能解析及び試験

まず、解析によって模型化の妥当性を検証した。表－4に示す静的変形特性において、実橋風速80 m/s相当時の補剛桁中央点でのねじれ変位に約0.7°の誤差が生じることがわかったが、この誤差要因である塔柱の伸び剛性は変えられないため、避けられないものとして容認せざるを得なかった。また、無風時及び実橋風速80 m/s相当時の模型固有値を実橋値と比較した。表－5に結果を示すが、いずれのモードにおいてもよく一致していることが確認された。さらに、実物主塔模型の製作後、静的変形特性及び動的振動特性の確認試験を行った結果、満足のいく精度で相似されていることを確認した。

		所要値	模型値	差	
中央 径間 中央	水平変位	500.8	501.9	1.1	
	鉛直変位	44.6	44.4	-0.2	
	ねじれ変位(°)	-3.6	-4.3	-0.7	
塔頂	橋軸 方向	風上	2.7	2.9	0.2
		風下	0.5	0.3	-0.2
	橋軸直 角方向	風上	19.3	20.2	0.9
		風下	19.3	20.2	0.9



図－9 主塔模型化の概要

表－5 模型の振動特性 (Hz)

モ ー ド		V = 0 m/s			V = 80 m/s		
		①所要値	②模型値	比 ②/①	①所要値	②模型値	比 ②/①
固有 振 動 数	水平曲げ対称1次	0.388	0.387	1.00(1.00)	0.395	0.396	1.00(1.00)
	〃 逆対称1次	0.776	0.777	1.00(1.00)	0.788	0.791	1.00(1.01)
	鉛直曲げ対称1次	0.639	0.639	1.00(1.00)	0.642	0.642	1.00(1.00)
	〃 逆対称1次	0.750	0.750	1.00(1.00)	0.762	0.762	1.00(1.02)
	ねじれ対称1次	1.473	1.476	1.00(1.00)	1.468	1.471	1.00(1.00)

3.5 全橋模型の諸特性

全橋模型風洞試験に先立ち、大型風洞施設内の一様流試験位置において、全橋模型の静的変形特性、動的振動特性の把握を行った。

1) 静的変形特性

静的変形特性は、模型に重錘を載荷することで把握した。載荷パターンは実橋活荷重強度に相当する荷重を鉛直曲げ載荷及びねじれ載荷するパターン、さらに設計風荷重強度に相当する荷重を水平曲げ載荷する3パターンとした。測定値を全橋模型の「剛体ブロック+V字バネ」構造を忠実に再現したモデルを用いて解析した値と比較した結果を表－6に示す。ねじれ載荷で模型の剛性が高くなっている傾向が見られるが、鉛

直曲げ及び水平曲げ載荷は比較的良好一致していることが確認された。

2) 動的振動特性

固有振動数は、低次モードから鉛直曲げ4モード、ねじれ2モード、水平曲げ2モードを対象として測定した。それぞれ最低次モードの測定結果を表-7に示す。計算値は、実橋を対象とした立体モデルで解析した値を模型所要値に置き換えたものである。測定の結果、ねじれ対称1次モードで4%程度計算値より高くなっているが、他のモードでは計算値と比較して、いずれも1~2%の誤差内であることがわかった。ねじれの値が所要値より大きい点については、最終結果の評価の段階で考慮すればよいものと考えられる。振動モードについては、いずれのモードについても計算値とよく一致していることが確認された。

また、減衰については、鉛直曲げ対称1次モードで対数減衰率0.032、ねじれ対称1次モードで同じく0.029となっている。「明石海峡大橋耐風設計要領」で規定する値に対してねじれモードでわずかに高くなっているが、概ね許容範囲に入っているものと考えられる。全橋模型としてはこれ以上低下させることは多くの難しい問題があると判断される。

4. 全橋模型試験

明石海峡大橋の全橋模型風洞試験については、現在なお実施中である。試験は、一様流、斜風及び境界層乱流で行うこととしており、一様流試験では迎角0°の他に+3°のケースも行うこととしている。さらに、補剛桁架設系の試験も行っており、総合的に耐風安全性を検証することとしている。

全橋模型試験によって得られた結果は、これまでに行われた部分模型試験の結果と対比するとともに、全橋モデルに対するフラッター解析、ガスト応答に関する種々の解析、その他を実施することにより、部分模型試験の精度と限界を定量的に評価することができると考えている。

写真-1、2に現在行われている明石海峡大橋の全橋模型風洞試験の実施状況を示す。写真-1は大型風洞施設の外観、写真-2は全橋模型風洞試験の実施状況で風によって補剛桁が横たわみしている状況である。これまでに一様流中での試験が終了しており、試験は順調に進捗している。

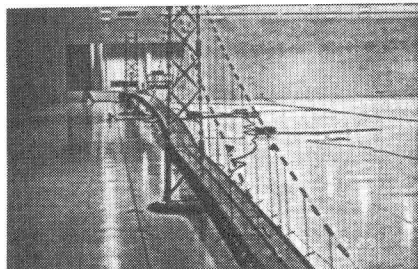
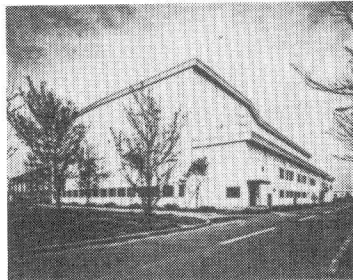


写真-1 大型風洞施設外観

写真-2 風によって横たわみしている全橋模型

表-6 全橋模型静的変形特性 (mm)

		①計算値	②測定値	比 ②/①
中央径間	水平変位	217.9	232.5	1.07
	鉛直変位	47.2	47.6	1.01
中央	ねじれ変位(°)	2.8	2.2	0.79

*中央径間のみに載荷したケースを示す。

表-7 全橋模型固有振動数 (Hz)

モード	計算値①	測定値②	比 ②/①
鉛直曲げ対称1次	0.638	0.647	1.01
〃 逆対称1次	0.745	0.757	1.02
〃 対称2次	1.213	1.245	1.03
ねじれ対称1次	1.494	1.560	1.04
〃 逆対称1次	2.077	2.075	1.00
水平曲げ対称1次	0.387	0.391	1.01
〃 逆対称1次	0.775	0.781	1.01

5. 結論

本研究によって、これまでに得られた結論をまとめると、以下のとおりである。

- (1) 測定部寸法として、幅41m、高さ4m、長さ30mの大断面をもつ大型風洞施設の開発を行った。
大断面にもかかわらず、気流特性として、平均風速分布偏差±3%、乱れ強さ0.4%の性能を得ることができた。
 - (2) 明石海峡大橋の構造力学的、空気力学的特性をできる限り忠実に再現した縮尺1/100の全橋模型の設計検討を行った。特に、補剛桁では、主構部材にカーボンファイバープレート+発泡アクリルフォームの複合材を用いたり、剛性をV字型のバネで再現するなどの新しい試みを行ったが、良好な成果を得ることができた。
 - (3) 全橋模型での性能確認試験を行った結果、ねじれ対称1次モードの振動数で4%程度の誤差が生じたが、その他の静的変形特性、動的振動特性は全橋模型としては、概ね満足のいく結果が得られた。
- 引き続き、明石海峡大橋の全橋模型風洞試験を実施中であるが、明石海峡大橋の試験終了後、本州四国連絡橋の多々羅大橋、来島大橋についても実施する予定である。

以上に述べた大型風洞施設を用いた全橋模型風洞試験は、(財)海洋架橋調査会耐風委員会(委員長:宮田利雄横浜国立大学教授)及び同風洞試験作業班(主査:横山功一建設省土木研究所構造研究室長)の指導、助言のもとに行われている。特に、全橋模型の設計検討にあたっては、IHIの樋上秀一氏、NKKの藤澤伸光氏、住友重機械工業(株)の宮崎正男氏に協力をいただいた。ここに記して謝意を表します。

また、本試験は建設省土木研究所と本州四国連絡橋公団の共同研究として実施しているものである。

参考文献

- 1) 岡内、宮田、飯島、竹内: 明石海峡大橋の耐風設計に関する考え方、第10回風工学シンポジウム論文集、1988.12
- 2) 宮田、岡内、白石、成田、奈良平: 明石海峡大橋の耐風設計に関する予備的検討、土木学会構造工学論文集、1987.4
- 3) 大橋、宮田、岡内、白石、成田: 明石海峡大橋の耐フラッター性に関する予備的検討、第10回風工学シンポジウム論文集、1988.12
- 4) 宮田、横山、辰巳、樋口、金崎: 全長40mの長大吊橋模型による大型風洞試験について、第11回風工学シンポジウム論文集、1990.12
- 5) 勝地、宮田、横山、金崎、保田: 超長大橋梁の全橋模型風洞試験計画 - 大型風洞施設の概要 -、土木学会第46回年次学術講演会講演概要集 I-250、1991.9
- 6) 荒居、宮崎、宮田、横山、勝地: 超長大橋梁の全橋模型風洞試験 - 主塔模型の設計検討 -、土木学会第46回年次学術講演会講演概要集 I-251、1991.9
- 7) 藤澤、宮田、横山、鈴木: 超長大橋梁の全橋模型風洞試験 - ケーブルの設計検討 -、土木学会第46回年次学術講演会講演概要集 I-252、1991.9
- 8) 鈴木、樋上、宮田、横山、保田: 超長大橋梁の全橋模型風洞試験 - 補剛桁模型の設計検討 -、土木学会第46回年次学術講演会講演概要集 I-253、1991.9
- 9) 本州四国連絡橋公団: 明石海峡大橋耐風設計要領・同解説、1990.2

(1991年9月30日受付)