

海洋架橋調査会 正会員 美島 雄士
 本州四国連絡橋公団 正会員 北川 信
 建設省土木研究所 正会員 佐藤 弘史
 海洋架橋調査会 正会員 佐伯 康二
 本州四国連絡橋公団 正会員 勝地 弘

1. まえがき

多々羅大橋は本州四国連絡橋尾道～今治ルート
 の生口島と大三島を結ぶ、中央径間 890m
 の長大斜張橋である。斜張橋はケーブルの振動
 により橋梁全体の振動特性が複雑になることか
 ら、対風挙動に関して十分に検討を行う必要が
 ある。本四公団では本橋の耐風安定性を照査す
 るため、建設省土木研究所構内に設置された大
 型風洞において、全橋模型風洞試験を実施し
 ている。本報告は、この風洞試験
 によって得られた結果のうち、特
 に一様流中の渦励振に着目し、全
 橋模型試験の結果、および別途実
 施された部分模型試験の結果との
 比較検討について報告するもの
 である。なお、一連の試験は建設省
 土木研究所と本四公団とによる共
 同研究の一環として行われたものである。

2. 試験概要

大型風洞試験に用いた全橋模型は縮尺 1/70 の 3 次
 元弾性模型（3D 模型）であり（図 1）、主桁断面
 には図 2 に示す暫定供用系と完成供用系の 2 種類
 の断面を用いた。また、別途実施された部分模型試験
 は縮尺 1/45 の 2 次元剛体模型（2D 模型）を用いて
 おり、全橋模型試験と同様、2 種類の主桁断面を対
 象にして行われた。表 1 に、3D 模型および 2D 模型
 の主要諸元を示す。全橋模型風洞試験は一様流中
 において、気流傾斜角 α を 0° および $+3^\circ$ に設定した
 2 ケースを行った。なお、本試験に用いた大型風洞
 の測定部寸法は幅 41m × 高さ 4m × 長さ 30m である。

3. 試験結果および考察

(1) 風速と振幅の関係

図 3～4 に 3D 模型の風速～応答曲線を示す。
 図の横軸は風洞風速 $V_m(m/s)$ 、縦軸は無次元振幅
 η/B （ η ：応答振幅、 B ：幅員）を表す。図より暫
 定供用系では、 $\alpha = 0^\circ$ および $+3^\circ$ で
 鉛直曲げ対称 1 次
 と逆対称 1 次の渦
 励振が発現してお
 り、完成供用系に
 においては、 $\alpha =$
 $+3^\circ$ で鉛直曲げ対
 称 1 次と、暫定供
 用系では見られな

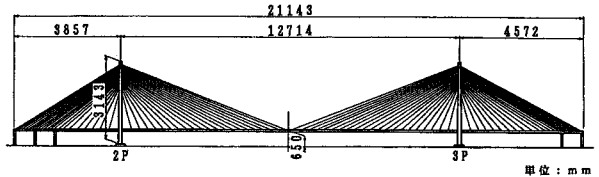


図 1 多々羅大橋全橋模型一般図（縮尺 1/70）

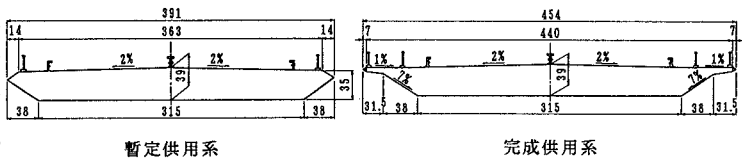


図 2 模型主桁断面

表 1 模型主要諸元

項 目	実 橋 値	全 橋 模 型	部 分 模 型
縮 尺	—	1/70	1/45
幅 員	27.4m	39.1mm	608.9mm
桁 高	2.7m	38.6mm	60.0mm
重 量	20.24tf/m	4.46kgf/m	9.89kgf/m
極慣性モーメント	1319tfm ² /m	0.052kgf ² /m	0.325kgf ² /m
振 動			
鉛直曲げ対称 1 次	0.235Hz	2.000Hz	2.25Hz
鉛直曲げ逆対称 1 次	0.282Hz	2.329Hz	—
ねじれ対称 1 次	0.546Hz	4.504Hz	5.34Hz
減 衰			
鉛直曲げ対称 1 次	—	0.025	0.020
鉛直曲げ逆対称 1 次	—	0.017	—
ねじれ対称 1 次	—	0.021	0.020
縮 尺	—	1/70	1/45
幅 員	31.8m	45.4mm	706.7mm
桁 高	2.7m	38.6mm	60.0mm
重 量	21.25tf/m	4.47kgf/m	10.39kgf/m
極慣性モーメント	1554tfm ² /m	0.064kgf ² /m	0.383kgf ² /m
振 動			
鉛直曲げ対称 1 次	0.216Hz	1.963Hz	2.17Hz
鉛直曲げ逆対称 1 次	0.262Hz	2.256Hz	—
ねじれ対称 1 次	0.501Hz	4.255Hz	4.93Hz
ねじれ対称 2 次	0.953Hz	8.628Hz	—
減 衰			
鉛直曲げ対称 1 次	—	0.031	0.020
鉛直曲げ逆対称 1 次	—	0.020	—
ねじれ対称 1 次	—	0.018	0.020
ねじれ対称 2 次	—	0.021	—

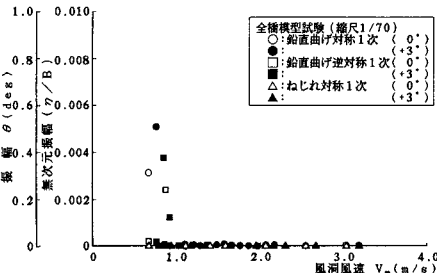


図 3 風速～応答曲線（暫定供用系）

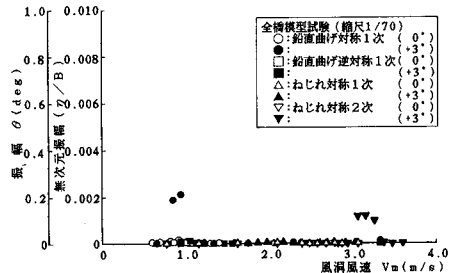


図 4 風速～応答曲線（完成供用系）

かった高次のねじれ対称2次の渦励振が発現している。

(2) 2D模型との比較

気流傾斜角 $\alpha = 0^\circ$ における暫定供用系について、2D模型試験との比較を図5に示す。なお、完成供用系では $\alpha = 0^\circ$ で3Dおよび2Dともに渦励振は発現しなかった。図の横軸は無次元風速 $V_r = V_m / (f \cdot B)$ (f : 固有振動数)を表す。図中には2Dと3Dの比較を行うため、2D模型の振幅を空気力の振幅依存性を無視し、振動モードの影響のみで補正した値(振幅 $\times 4 / \pi$)を併記した。表2には3Dと2D模型のスクルーション数比および渦励振のピーク振幅比を示した。一般的に、応答振幅はスクルーション数に反比例することや、3次元性の影響等を考慮に入れ、渦励振の発現している暫定供用系のたわみに着目すると、図表より、渦励振のピーク振幅比およびその発現風速は、3Dと2Dにおいてほぼ同程度の値となっていると考えられる。しかし、ここで問題なのはねじれの渦励振についてである。2D模型では $V_r = 0.8$ で $\theta = 0.32^\circ$ の振幅が生じているにもかかわらず、3D模型では全く認められない。振幅値自体は問題にならない程度の加速度となるが、この3Dと2Dの現象の差違は、斜張橋の特性であるシステム「ねじれ」や、ねじれと水平たわみ振動の連成の影響等に起因するものと考えられる。本試験の場合は、後者のねじれと水平たわみの連成の影響が強いのではないかと推測された。これは、2D模型の等価極慣性の所要値が、水平たわみの連成を考慮していない固有値解析によるものであるため、このような3Dと2Dの差異が生じたものと考えられた。そこで再度、水平たわみの連成を考慮した固有値解析を行い、その等価極慣性を用いた2次元風洞試験を行った。(表3参照)

(3) ねじれと水平たわみの連成

表3より、連成を考慮した場合の等価極慣性が、考慮しない場合の1.35倍になっており、このため渦励振振幅は0.81倍と小さくなっている。次に、3D模型についてこの連成の影響を調べた結果が図6である。図の横軸には中央径間をとり、縦軸には、各風速毎のねじれの振動振幅に含まれる水平たわみ成分を中央径間 $L/2$ 点のねじれ振幅で除した値の絶対値を比率 r (mm/deg)として示した。また、この図中の実線は固有値計算による解析値である。図より、 $L/2$ 点の水平たわみの比率 r は無風時には解析値とほぼ一致しているのに対し、有風時には無風時よりも大きな値を示しており、特に2D模型においてねじれ渦励振が生じた $V_r = 0.9$ 付近では、かなり水平たわみ成分の割合が大きくなっている。これらの結果より、3D模型においてねじれ渦励振が発現しなかったのは、有風時においてねじれと水平たわみの連成が模型の振動特性に大きな影響を与えているからではないかと考えられる。

4. まとめ

本試験の結果、以下のことが明らかとなり全橋模型試験の有効性が再確認された。

- (1) 全橋模型試験では、部分模型試験で確認できない高次の渦励振が発現した。
- (2) 全橋模型の渦励振ピーク振幅は、部分模型に振動モードのみを考慮して補正を行った値とほぼ同程度となった。
- (3) 全橋模型では、ねじれと水平たわみの連成が主要因となり、ねじれの渦励振が発現しなかった。(参考文献) 山田 均, 田中 宏「部分模型実験の質量相似則とそれに基づく応答予測」, 土木学会論文集, 第380号, 1987.4

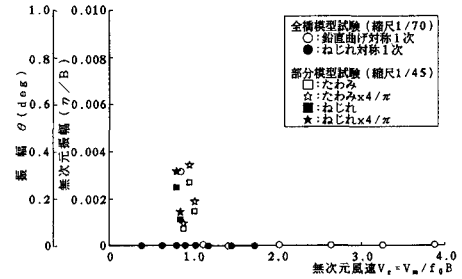


図5 2D模型との比較（暫定供用系）

表2 3Dと2Dの渦励振振幅比

断面	スクルーション数比 $S_{c^{3D}} / S_{c^{2D}}$		渦励振振幅比 $\eta^{3D} / \eta^{2D}, \theta^{3D} / \theta^{2D}$	
	たわみ	ねじれ	たわみ	ねじれ
暫定供用	1.36	0.98	1.09	—
完成供用	1.61	0.88	発現なし	発現なし

*は補正值を示す。

表3 2D模型試験結果（水平連成考慮, $\alpha = 45^\circ$ ）

項目	水平連成無視	水平連成考慮	考慮/無視
振動数			
たわみ	0.235Hz	0.235Hz	1.00
ねじれ	0.546Hz	0.568Hz	1.04
等価質量	20.24tf/m	20.24tf/m	1.00
等価極慣性	1319tfm ² /m	1775tfm ² /m	1.35
渦励			
たわみ(+5°)	$\eta/B = 0.0041$ ($V_r = 1.65$)	$\eta/B = 0.0059$ ($V_r = 1.60$)	1.44
ねじれ(+5°)	$\theta = 0.88^\circ$ ($V_r = 1.17$)	$\theta = 0.70^\circ$ ($V_r = 1.10$)	0.81

表中の値は実験値を示す。

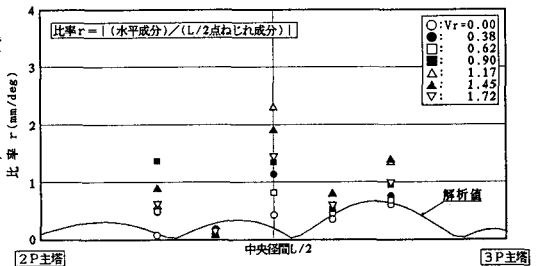


図6 3D模型における水平たわみ連成の比率