

## 剛体模型を用いた連続斜張橋主塔（橋軸 A 型）の耐風性検討

阪神高速道路株式会社 正会員 ○平山 靖之 正会員 杉山 裕樹 正会員 安積 恭子  
大日本コンサルタント株式会社 正会員 松浦 雅史 正会員 武田 龍國

## 1. はじめに

大阪湾岸道路西伸部では図-1 に示す連続斜張橋を計画しており、主塔は鋼製の橋軸 A 型主塔りである。主塔は、斜張橋の景観を形成する重要な部位であるとともに、耐風安定性も重要な性能となる。そこで、従来に経験のない橋軸方向に A 形状となる主塔に対して、景観性を考慮しつつ、風洞試験により耐風安定性を確認することとした。耐風安定性の確認は弾性模型試験により確認できるが、効率的な試験実施を目指し、ロッキング模型試験によりギャロッピングおよび大振幅の振動が発生しない主塔断面をスクリーニングした後に、弾性模型試験を実施し、主塔形状を決定することとした。本稿では、ロッキング模型試験の検討結果の一部について報告する。

## 2. 試験方法

ロッキング模型試験は、1次の振動モードをロッキングモデルで近似して試験する方法であり、基部にバネを仕込み、モード形状が直線となる剛体模型を用いて、風に対する振動特性を確認する。そのため、2次以上の高次振動は対象外となる。今回対象とする振動モードは、ケーブル補剛効果が小さく有害振動が懸念される完成時の橋軸直角方向（塔面外）の1次モードと主塔が独立状態となり有害振動が懸念される架設時の橋軸方向（塔面内）の1次モードの2ケースである。

対象とする主塔形状を図-2 に示す。案1は基本モデルとし、案2は、面外振動に対する耐風安定性の改善を期待して、塔中間部にスリットを設けたものである。試験パラメータは、

「面取り・隅切り」、「面取り・隅切り寸法  $d/D$ 」、「面取り・隅切り角度  $\theta$ 」、「塔頂部スリット有無」とした。なお、「塔頂部スリット」は、橋軸風に対する耐風性の改善を期待するものである。試験ケースを表-1 に、断面形状の定義を図-3 に、試験条件を表-2 に示す。風向は、橋軸直角方向を風向  $0^\circ$ 、橋軸方向を風向  $90^\circ$  と定義する。許容振幅は、使用性、疲労耐久性、構造安全性の観点から、表-3 のように設定した。ギャロッピングに対する照査風速は  $78.7\text{m/s}$  であるが、余裕を見て  $100\text{m/s}$  まで振動特性を確認した。本試験では、耐風安定性に優れた断面形状のスクリーニングが目的であるため、ギャロッピングや大振幅の渦励振の発生有無について着目する。

キーワード 連続斜張橋、橋軸 A 型主塔、ロッキング模型試験、耐風検討、風洞試験

連絡先 〒650-0023 神戸市中央区栄町通 1-2-10 読売神戸ビル 8F 阪神高速道路（株） TEL 078-331-9820

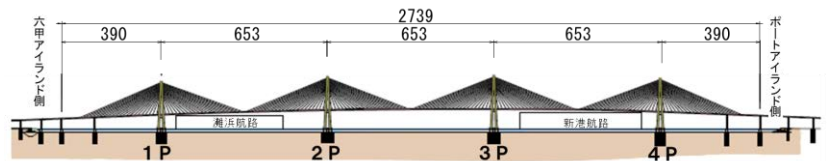


図-1 対象橋梁（単位：m）

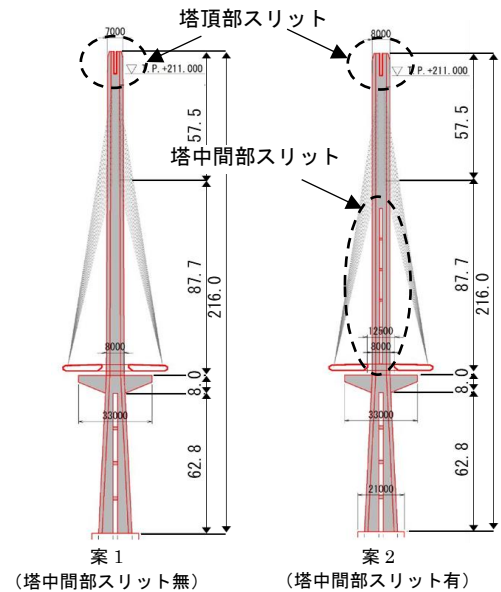


図-2 対象主塔形状（単位：m）

表-1 試験ケース

ケース No.	主塔形状	断面形状	$\theta$ ( $^\circ$ )	d/D	塔頂部スリット	風向
1	案1	面取り	30	0.15	有	$0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 80^\circ, 85^\circ, 90^\circ$
2		隅切り	30	0.10	有	$0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 80^\circ, 85^\circ, 90^\circ$
3		面取り	60	0.15	有	$0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 80^\circ, 85^\circ, 90^\circ$
4		面取り	45	0.20	有	$0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 80^\circ, 85^\circ, 90^\circ$
5		面取り	45	0.20	無	$0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 80^\circ, 85^\circ, 90^\circ$
6		面取り	30	0.20	有	$5^\circ, 10^\circ, 80^\circ, 85^\circ, 90^\circ$
7	案2	面取り	30	0.15	有	$0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 80^\circ, 85^\circ, 90^\circ$

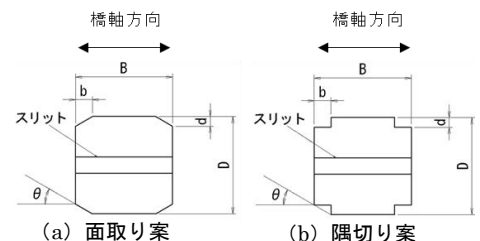


図-3 断面形状（塔頂部付近）

3. 試験結果

試験結果を表-4に示す。断面形状として、面取り、隅切り形状を比較した結果、耐風性に有意な差はないため、維持管理性や景観性の観点から面取り形状を基本とした。面取り形状における塔中間部スリットの有無を比較すると、耐風性に有意な差はないため、維持管理性、景観性の観点から塔中間部スリットは無しを基本とした。塔頂部スリットの有無についても、耐風性に有意な差はなかった。次に面取り寸法について、面取り角度を $\theta=30^\circ$  に固定し、 $d/D=0.10, 0.15$  および $0.20$ を比較したが、耐風性に有意な差は確認されなかったため、景観性に有意な $d/D=0.20$ を基本とし、面取り角度の検討を行った。

面取り角度  $30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$  の試験結果を表-5 に示す。面取り角度  $\theta=30^\circ$  は、面外振動に対して良好な結果であったが、風向  $10^\circ$  において大振幅の渦励振が発生した。面取り角度  $\theta=60^\circ$  については、面内振動に対しては良好な結果であったが、風向  $80^\circ$  において、ギャロッピングが発生した。面取り角度  $\theta=45^\circ$  では、面取り角度  $\theta=30^\circ$  と  $\theta=60^\circ$  の中間的な結果となり、面外振動に対しては良好な結果が得られ、面内振動に対しては、渦励振が生じているが、その振幅は  $\theta=60^\circ$  よりやや大きい、 $\theta=30^\circ$  より小さい結果であった。なお、いずれの面取り角度においても、面外振動にて低風速域（実橋風速 10m/s 付近）で低振幅の渦励振が確認されたが、ジャンプレイノルズ数以下の風速であり、その振幅の評価は行っていない。

以上の結果から、本検討の範囲においては面取り角度  $45^\circ$ 、 $d/D=0.20$  とした断面形状では、面内振動および面外振動ともギャロッピングや大振幅の渦励振がしなかったため、耐風安定性の良好な断面候補として考えられる。なお、今後は塔頂スリット無しとした場合の試験も実施し、耐風性の良好な断面を絞り込む予定である。

4. まとめ

本稿では橋軸 A 型主塔に対して、ロッキング模型試験を実施し、耐風安定性について検討した。その結果、比較的耐風性の良好な断面候補を抽出した。今後は、追加の試験を実施し、さらなる絞り込みを行ったのち、構造検討および景観検討を踏まえ、弾性模型試験を実施し、耐風安定性の良好な主塔形状を検討する予定である。

**謝辞** 本検討においては、大阪湾岸道路西伸部技術検討委員会（委員長：城西大学藤野陽三学長）の委員の方々に貴重なご意見をいただいた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 杉山ほか：大阪湾岸道路西伸部における多径間連続斜張橋の剛性改善に関する検討，土木学会第 76 回年次学術講演会，CS3-32，2021。

表-2 試験条件

主塔形状案	モード	実橋											
		模型 (縮尺1/100)											
		計画値					試験値						
等価質量 (t/m/塔)	固有振動数 (Hz)	等価質量 (t/m/塔)	固有振動数 (Hz)	風速倍率	構造減衰 (対数減衰率 $\delta$ )	スクルートン数 Sc	等価質量 (t/m/塔)	固有振動数 (Hz)	風速倍率	構造減衰 (対数減衰率 $\delta$ )	スクルートン数 Sc		
案1	架設系 面内1次	22.5	0.64	2.25 ( $\pm 2\%$ )	9.60	6.67	0.010 ( $\pm 0.005$ )	1.84~5.74	1.39	9.95	6.43	0.021	4.86
	完成系 面外1次	46.9	0.234	4.69 ( $\pm 2\%$ )	3.51	6.67	0.020 ( $\pm 0.005$ )	11.49~19.92	4.65	3.36	6.96	0.020	15.49
案2	架設系 面内1次	25.2	0.627	2.52 ( $\pm 2\%$ )	9.40	6.67	0.010 ( $\pm 0.005$ )	1.58~4.92	1.66	9.26	6.77	0.021	4.45
	完成系 面外1次	47.6	0.231	4.76 ( $\pm 2\%$ )	3.47	6.67	0.020 ( $\pm 0.005$ )	8.92~15.47	4.73	3.29	7.02	0.021	12.68

表-3 許容振幅 (実橋換算)

振動モード	使用性	風速域	許容振幅	
		作業時		
架設系 面内1次	構造安全性	作業時	~10m/s	0.03m
		作業中指示	10m/s~45m/s	0.19m
完成系 面外1次	構造安全性	疲労耐久性	~63m/s	0.19m
		構造安全性	63m/s~	3.15m

表-4 風洞試験結果

パラメータ	架設系 面内振動	完成系 面外振動	備考	
断面形状	面取り	×	○	$\theta=30^\circ$ $d/D=0.15$
	隅切り	×	○	$\theta=30^\circ$ $d/D=0.10$
塔中間部スリット	有	×	○	$\theta=30^\circ$ $d/D=0.15$ 塔頂スリット有
	無	×	○	
塔頂スリット	有	×	○	$\theta=45^\circ$ $d/D=0.20$ 塔中間部スリット無
	無	×	○	
面取りサイズ $d/D$	0.10	×	○	$\theta=30^\circ$ 塔中間部スリット無 塔頂スリット有
	0.15	×	○	
	0.20	×	○	
面取り角度 $\theta$	$30^\circ$	×	○	$d/D=0.20$ 塔頂スリット有
	$45^\circ$	△	○	
	$60^\circ$	△	×	

○：ギャロッピングまたは大振幅の渦励振が発生しない  
△：中程度の渦励振が発生する  
×：ギャロッピングまたは大振幅の渦励振が発生する

表-5 風洞試験結果 (面取り角度の影響)

