

多径間連続斜張橋における橋軸 A 型主塔の境界層乱流条件下での耐風性検討

大日本コンサルタント(株) 正会員 ○松浦雅史 正会員 平山博 正会員 松井哲平
 阪神高速道路(株) 正会員 杉山裕樹 正会員 伊佐政晃 正会員 川田歩美

1. はじめに

大阪湾岸道路西伸部の新港・灘浜航路部に計画される多径間連続斜張橋の主塔形状は鋼製橋軸 A 型主塔であり、塔高は 200m を超える。主塔面外方向（橋軸直角方向）にケーブルで支持されない形式であるため、完成系においても主塔面外に振動しやすく耐風性の確保が課題となる。これまで一様流条件下で 3 次元ロッキング模型¹⁾ および 3 次元弾性体模型²⁾ を用いた風洞試験により耐風性の検討が行われ、図-1 に示す主塔形状（面取り $\theta=35^\circ$, $d/D=0.15$ ）が選定されている。本稿では、一様流中での弾性体模型試験²⁾ に引き続き実施した境界層乱流中の弾性体模型試験の概要および耐風安定性の検討結果について述べる。

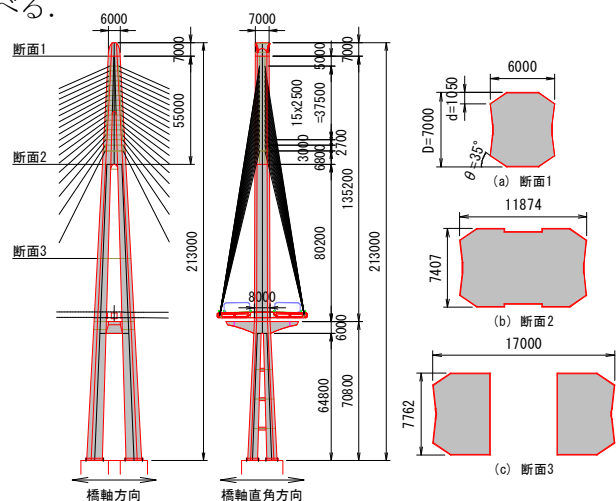


図-1 主塔形状（単位：mm）

2. 弾性体模型試験条件

本稿で述べる弾性体模型試験の対象モードは最も振動数の小さい完成系面外 1 次モード ($f=0.263\text{Hz}$, 等価質量 40.9t/m) である。境界層乱流試験における風方向乱れ強さの鉛直分布は、べき指数 $1/7$, 本四基準（桁高さで乱れ強さ 0.1 ）の式に準拠した。風向の定義を図-2 に示す（風向 90 度が

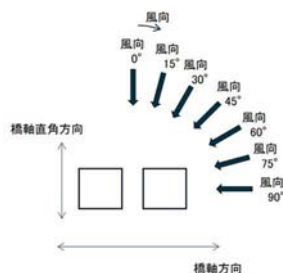


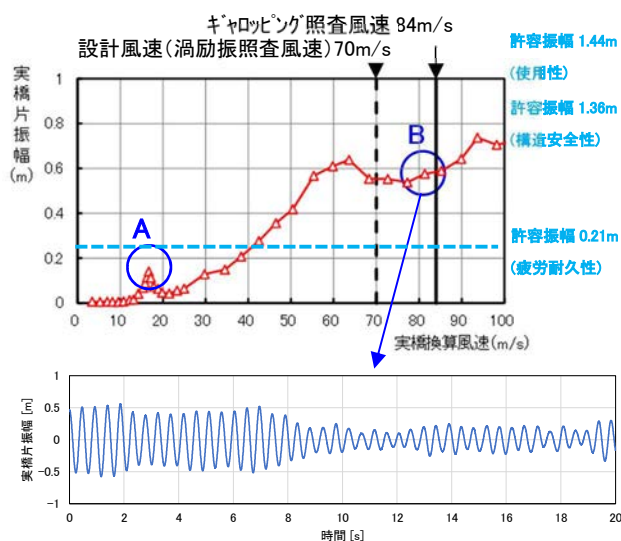
図-2 風向の定義

橋軸風)。

許容振幅は使用性、構造安全性、疲労耐久性に対し設定した。疲労耐久性は打ち切り限界以下となる振幅を設定し、許容振幅を上回る場合は照査期間 100 年として累積損傷度の照査を行う方針とした。

3. 弾性体模型試験（一様流）での課題

一様流条件下で実施した 3 次元弾性体模型試験²⁾ の完成系面外 1 次モード（風向 60 度）の結果を図-3 に示す。低風速域では風向 90 度では振動は発生しないものの、偏角を付けると面取り効果が弱まり風速 15m/s 程度で渦励振が発生する（A 箇所）。渦励振振幅は風向 65 度で最大値 0.28m となり、打ち切り限界から決まる許容振幅 0.21m を超過する。高風速域でも風向 90 度では振動は発生しないが、偏角を付けると徐々に振幅が大きくなる不規則な振動が確認された（B 箇所）。風向 60 度で振幅が最大となるが、構造安全性および使用性の許容振幅は満足し、累積損傷度の照査も満足した。しかしながら、高風速域の振動がバフティング振動の場合、自然の風の乱れを考慮した際に振幅が増加する懸念があり、本振動が境界層乱流条件下においても耐風性照査を満足することを確認する必要がある。

図-3 「一様流」面外 1 次モード（風向 60 度）

キーワード 多径間連続斜張橋, 主塔風洞試験, 境界層乱流, バフティング

連絡先 〒330-6011 さいたま市中央区新都心 11-2 大日本コンサルタント(株) 構造耐震技術センター TEL048-600-6692

4. 境界層乱流試験結果

4-1. 一様流と乱流の比較

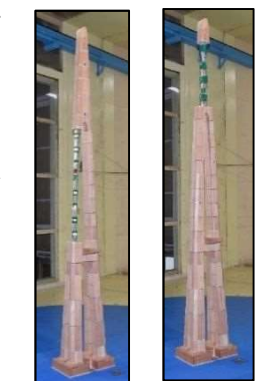
一様流中と境界層乱流中での完成系面外 1 次モード（風向 60 度）の結果を図-4 に示す。低風速渦励振は乱流中では振幅が低下するが、これは乱流によって主塔周辺のカルマン渦の生成が抑制されることにより、渦励振の励振力が抑えられたためと考えられる。高風速域では振幅が増加する不規則な振動が発生し、風速 70m/s 付近から乱流中では一様流中に比べて振動振幅が増加することから、本試験で確認された高風速域の振動は風の乱れによる強制振動（バフティング）の可能性があると考えられる。

風向毎の低風速域のピーク振幅および設計風速（70m/s）付近での振幅を図-5 に示す。低風速域では一様流中と乱流中共に風向 65～70 度付近で振幅が最大となる。高風速域の振動は、一様流中では風向 60 度付近で振幅の増加が確認されたが、乱流中では全ての風向で振幅の増加が確認された。

4-2. 高風速域の振動メカニズムの検証

高風速域の振動メカニズムを検証するため、図-6 のように外形材を外した状態で振動応答を確認した。検証試験での設計風速（70m/s）付近の振幅を図-7 に示す。

2 本柱下流側の外形材を外した場合、一様流中では振動が発生しなくなるため、斜風となることで風



a) 2 本柱下流側 b) 1 本柱部
図-6 外形材外し模型外観

上側の柱で乱された風によって風下側の柱に振動が生じるウェイクバフティングの可能性が考えられる。乱流中では振幅はほぼ変化しないため、ウェイクバフティングの可能性はほとんどなく、その他の部分（1 本柱部および 2 本柱上流側）に起因するバフティング振動が支配的であると考えられる。1 本柱部の外形材を外した場合、風向 0 度、60～70 度と風向 75～90 度では振幅の減少幅が異なる。振動がゼロにはならないことから 2 本柱部も振動に寄与していると考えられる。

参考文献

- 1) 川田, 杉山他: 剛体模型を用いた風洞試験による多径間連続斜張橋の塔断面検討, 風工学シンポジウム講演梗概集 No.27, 2022.11.
- 2) 杉山, 平山他: 多径間連続斜張橋における橋軸 A 型主塔の耐風性検討, 構造工学論文集 Vol.69A, 2023.3.

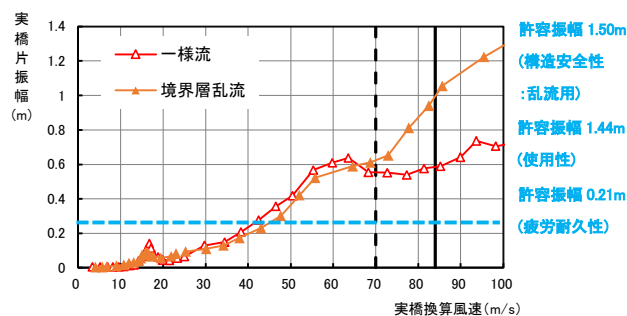


図-4 [乱流] 面外 1 次モード（風向 60 度）

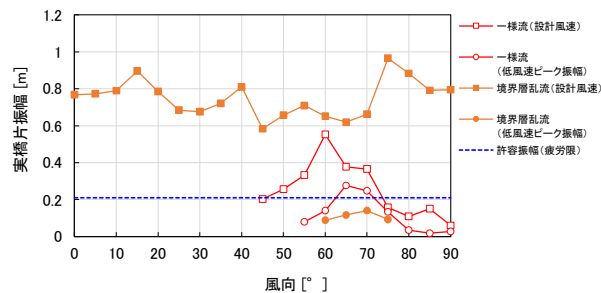


図-5 一様流と乱流の風向毎の振幅

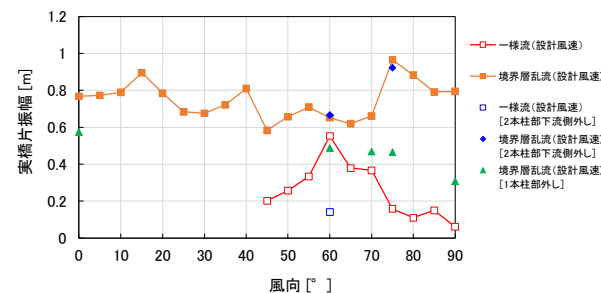


図-7 検証試験での風向毎の振幅

5. 耐風性の評価

本主塔は風向角が付くことで風速 15m/s 程度で渦励振が発生し、高風速域でバフティングが発生する。いずれも構造安全性および使用性の許容振幅は満足し、疲労耐久性も打ち切り限界は超えるが累積損傷度は一様流試験結果で 0.75 (≤ 1.0), 乱流試験結果で 0.36 (≤ 1.0) となり照査を満足する。累積損傷度は架橋位置周辺の観測データから風速の発生頻度分布、風向別頻度を求め、振動回数は V-A 図の最大振幅で定常的に振動すると仮定したため、高風速域はやや安全側の評価となる。ギャロッピング照査風速付近でも発散的な振動は確認されないことから耐風性は問題無いと判断した。

ただし、高風速域のバフティング振動は 1 本柱部や 2 本柱部の風向特性やバフティング振動メカニズムの解明には至らなかったため、今後の課題である。