

一本塔柱形式斜張橋主塔の耐風性に関する検討

本州四国連絡橋公団 正員 秦 健作 日立造船(株) 正員 猪原 茂
 本州四国連絡橋公団 正員 山田 和彦 (株)ニチワテック 正員 南条 正洋
 (株) 総合技術コンサルタント 佐野 学

1. まえがき

一本塔柱形式(一面ケーブル)の斜張橋では橋梁完成系の状態でも主塔の橋軸直角方向(ケーブル面外方向)に対する剛性が比較的小さい。したがって橋軸方向の風による主塔の橋軸直角方向振動が低風速で発生する可能性を持っており耐風安定性の面で十分な対処が必要である。本研究は、矩形断面を原設計案とした一本塔柱形式斜張橋の主塔を対象として、風洞実験による耐風性の確認と空力的な制振対策の検討を行うものである。今回の実験は耐風性検討の第一ステップとして二次元剛体模型を用いた弾性支持実験を実施した。

2. 風洞実験の概要

対象とした橋梁は、図1に示す3径間連続鋼斜張橋(一面ケーブル)である。主塔の原設計断面は、 $b/d=1.4$ (橋軸方向長さ $b=2.8\text{m}$ 、橋軸直角方向長さ $d=2.0\text{m}$)の矩形である。また、主塔高さは 34.3m である。実験では、風向偏角 β をパラメータとして $0^\circ \sim 45^\circ$ の範囲で変化させた。ここに、橋軸方向の風を風向 $\beta=0^\circ$ と定義した。なお実験は一樣流で行った。その他の実験条件を以下に示す。

①振動特性：主塔の橋軸直角方向振動が卓越する振動モードを図2に示す。

実験は、図示の振動モードを対象とした。表1に振動数、等価質量、質量減衰パラメータの値を示す。この場合の等価質量は、橋軸方向の風により2本の塔柱に同時に橋軸直角方向の起振力が発生すると考えて求めたものである。

②減衰率等：対数減衰率は $\delta=0.01$ とした。模型は縮尺 $1/20$ (模型長 1.8m)、上下1自由度バネ支持の条件とした。

③空力的制振対策：隅切り、面取り、コーナー、デフレクターを考慮した。図3に各対策の概要を示す。

3. 風洞実験の結果

①原設計断面：図4に風速と振動応答の関係(V-A図)を示す。図より風向 $\beta=0^\circ$ では風速 $V=20\text{m/s}$ 付近からキャロビンガが発生することがわかる。風向 10° 以上では $V=20\text{m/s}$ 付近で実橋 7cm 程度の渦励振が発生し、キャロビンガは高風速へ移行もしくは消滅する。参考までに『Bridge Aerodynamics』によるキャロビンガ発生風速を求めると約 33m/s となる。またストローハル数を 0.12 と考えた場合の渦励振発生風速は約 22m/s である。図4の

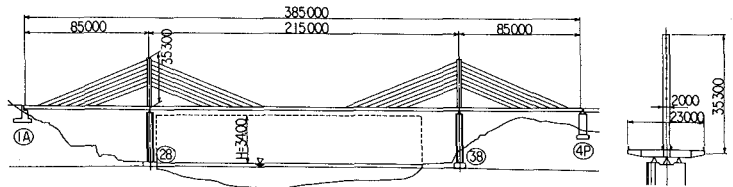


図1 一本塔柱斜張橋 一般図

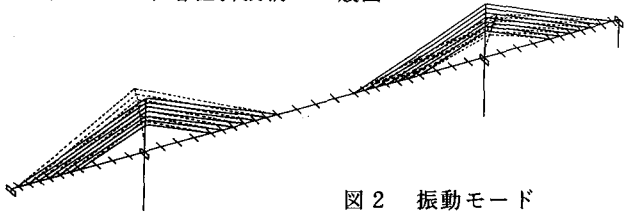


図2 振動モード

表1 実橋主塔の振動諸元

等価質量($\text{t} \cdot \text{s}^2/\text{m}^2$)	0.6165
面外曲げ振動数(Hz)	1.336
質量減衰パラメータ	12.3

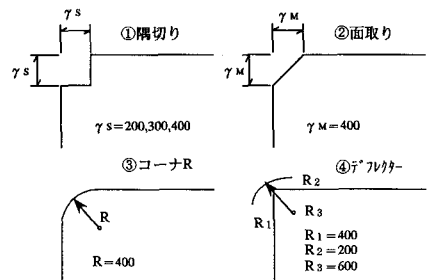


図3 空力的制振対策

$\beta=0^\circ$ 付近の γ プロットは渦励振と一体となっている可能性がある。なお風洞実験におけるレイノルズ数は、見附幅 d を代表長として渦励振発生風速域で 3.7×10^4 であった。

②隅切り断面：矩形断面の四隅を正方形もしくは長方形に切り欠くもので、実験では正方形隅切りを中心とし、一部長方形隅切りも対象とした。以下では正方形隅切りの結果を示すが、たとえば実橋 $300\text{mm} \times 300\text{mm}$ の隅切りのケースでは $\gamma_s=300$ と記した。図5に $\beta=0^\circ$ でのV-A図を示す。 $\gamma_s=300$ の場合、 $V=20\text{m/s}$ 付近から γ プロットが発生する。 $\gamma_s=400$ では $V=20\text{m/s}$ 付近から γ プロットと類似の大振幅の振動が発生するが、この場合には $V=40\text{m/s}$ 付近で振幅が減少し、それ以上の高風速域では振動は抑制となる。一方、 $\gamma_s=200$ の場合には γ プロットは抑制されており、高風速まで顕著な振動の発現は見られない。図6は $\gamma_s=200$ の場合について風向偏角 β の影響を調べた結果である。 γ プロットの発生はないが、 β の増加とともに渦励振が大きくなる傾向でありなお検討の余地が残される。 $\gamma_s=300$ の場合に γ プロットが発生し、 $\gamma_s=400$ の場合の振動が見かけ上限定振動となるメカニズムについては現時点では明らかでないが、隅切りによる隅角部での剥離流のコントロールがかなりデリケートであることがうかがえる。

③面取り断面：図7に結果を示す。面取り寸法 $\gamma_M=400$ 、 200 とも $\beta=0^\circ$ で γ プロットが発生する。発現風速は $\gamma_M=200$ の方が高風速である。 $\gamma_M=200$ の場合、 $\beta=10^\circ$ 以上では γ プロットは抑制されるが、この場合も渦励振が発生し、その振幅は β の増加とともに増大する傾向である。

④コーナー断面、デフレクター付き断面：図8にV-A図を示す。コーナー断面($R=400\text{mm}$)の場合、 $\beta=0^\circ$ で渦励振と γ プロット、 $\beta=10^\circ$ では渦励振のみとなる。また、デフレクター付き断面の場合、 $\beta=0^\circ$ 、 20° とも γ プロットの発生はなく、渦励振の規模も小さい。

4. まとめ

- ①基本矩形断面では、 γ プロットの発生可能性が高いため何らかの対策が必要と考えられる。
- ②空力的な対策を行えば、 γ プロットの抑制は可能となるが、風向水平偏角がある場合には、低風速で渦励振が発生し、偏角の増加とともに振幅が増加する傾向である。

今後、渦励振に対しては、許容振幅との比較や、3次元性を考慮した振幅の評価を行っていく必要がある。

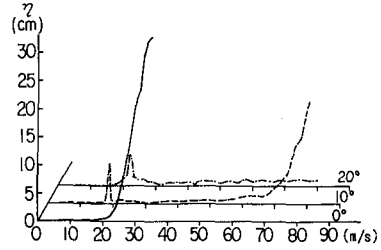


図4 V-A図(矩形断面)

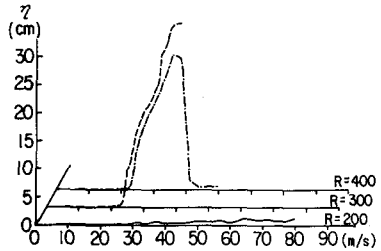


図5 V-A図(隅切り断面 $\gamma_s=300$)

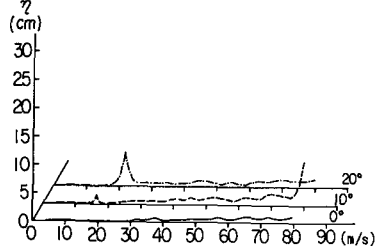


図6 V-A図(隅切り断面 $\gamma_s=200$)

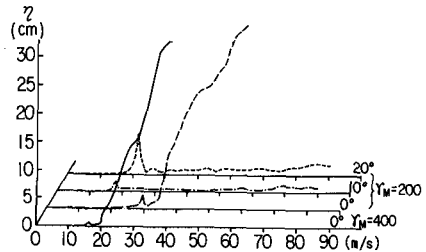


図7 V-A図(面取り断面 $\gamma_M=200$)

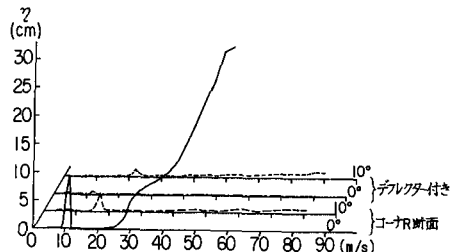


図8 V-A図(コーナー断面・デフレクター付き)