

S字型曲線複合斜張橋の予備設計段階における渦励振応答の推定

○九州産業大学 学生員 町田 信彦, 九州産業大学 正会員 吉村 健
新構造技術㈱ 正会員 篠原 輝之, 九州産業大学 非会員 井上 宗久

1. まえがき 最近著者らは、S字型の平面線形を有する複合斜張橋の予備設計段階で、主桁の耐風安定化対策の方針決定業務を行なう機会を得た。そこではまず、複数の2次元模型による風洞実験を行い、自由振動法によって非定常空気を測定した。次に、線形化された数値解析法を整備し¹⁾、実験結果を用いた3次元応答解析を行って実機の渦励振応答特性を推定した。その概要を以下に記す。

2. 予備設計における対象橋梁の概要 予備設計段階で提案された橋梁を図-1に示す。190mの主径間と53+47=100mの側径間は、鋼3室箱桁とPC3室箱桁でそれぞれ構成されている。この主桁は、鋼製の塔から一面吊形式のケーブルによって吊られている。平面線形は、曲率半径280mを有するS字型を成している。そのため、主桁の横断勾配と総幅は、それぞれ $i = -9 \sim +9\%$ および $B = 20.2 \sim 25.6\text{m}$ のように大きく変化する。 $i = +9, +6, +3$ および 0% の箇所における鋼主桁の断面図は、図-2(a)～(d)に示すとおりであり、 $i = -9, -6, -3\%$ の箇所におけるそれらは、図-2(a)～(c)を左右逆向きにしたものである。図-2(e)はPC桁の断面図であり、上部工の主な諸元は表-1に記されている。本橋の平面線形と主桁断面は、かつしかハーブ橋²⁾とよく似ている。したがって、主桁の耐風安定化対策についても同橋で検討されたものを参考にして、図-3に示すタイプI～IIの3種の三角形フェアリングを検討対象にした。

3. 検討手順 机上検討の結果、約20m/sの風速で、許容振幅を越える鉛直曲げ1次モードの渦励振を生じることが推定された。そこでまず、鉛直曲げ1自由度系の2次元ばね支持模型を用いた風洞実験を実施した。使用した模型は、図-2(a)～(d)に示した断面形状を有する4種類であり、1/40縮尺とした。図中①～④は、図-1の $i = +9, +6, +3, 0\%$ の箇所が受ける南風を、また⑦～⑤は、 $i = -9, -6, -3\%$ のそれをそれぞれ意味する。これらの模型に対し、自由振動法による空力ダンピングを一樣気流中で計測した。次に、図-4に示す3次元骨組解析モデルを用

いて固有値解析を行った。得られた結果のうち、1次モードのみを図-5に示す。側径間は不動であるので図-2(e)に示したこの部分に関する風洞

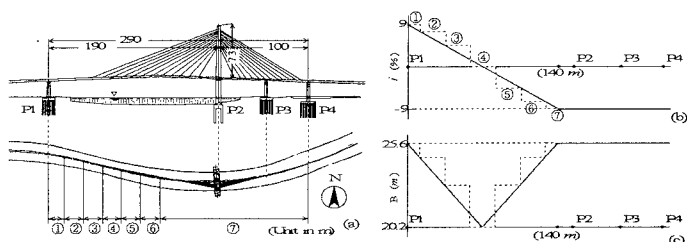


図-1 本橋の側面図と平面図(a)、および主桁の横断勾配(b)と幅(c)

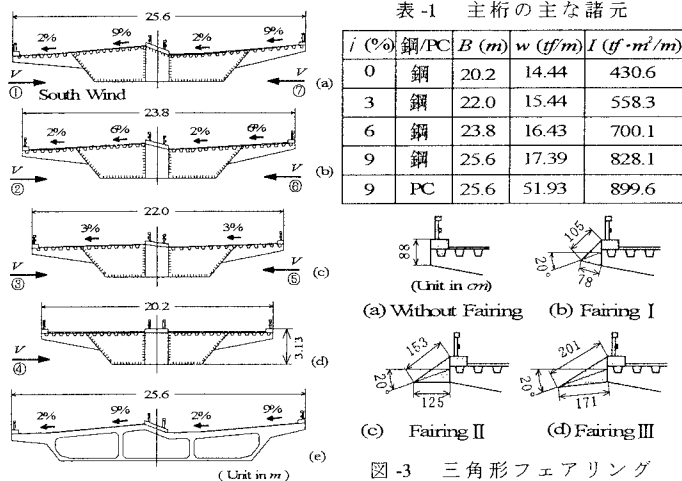


図-2 主桁の断面形状

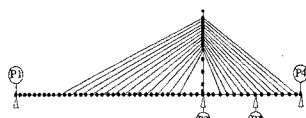


図-4 数値解析モデル

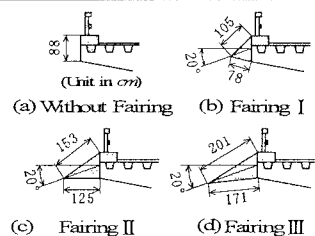


図-3 三角形フェアリング

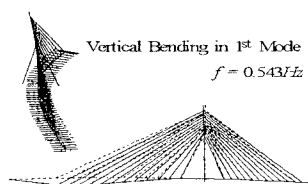


図-5 1次の固有値モードと固有振動数

実験は省いた。以上の実験値を用い、数値解析で実機の渦励振応答を推定した。

4. 解析結果と考察 図-6(a)(b)に、それぞれフェアリングなし断面とタイプIIのフェアリング付断面に対する3次元応答解析の途中結果の例を示す。これらの図は、 $(V_h, Y_k) = (24 \text{ m/s}, 7.4 \text{ cm})$ (7.4 cm は許容振幅 Y_a) に関するものであり、節点 "j" における式 (1) の分子の計算値を各節点の位置に分散してプロットしたものである。図中、網掛け部分が励振力、網掛けなし部分が減衰力を表す。これらの図は、モード外力表示の空力ダンピングの分布を示しており、この分布図を積分してモード質量で除し (式 (1))、式 (2) がゼロとなる構造減衰を求めた。以上の計算をすべての (V_h, Y_k) について実行して、例えば図-7に示す V - Y - δ_{3D} のコンター図を得た。そして、すべてのケースについて得られた許容振幅での δ_{3D} の値を取りまとめて図-8を得た。この図は、渦励振振幅を許容値におさえるために必要な構造減衰の値を示すものであり $\delta_{3D} < 0$ は、もともと正減衰の空気力であることを意味する。図-6～8より、実機の渦励振応答について次のことが推定される。

① $\delta_{3D} = 0.02$ と仮定すると、図-7に太い実線で示すものが実機の応答曲線である。図示していないが、逆向きの南風に対する応答も図の結果とほとんど同一であった。よって、風向きに依らず、フェアリングなし断面の $\alpha = +3^\circ$ の場合、最大変位振幅約 40 cm の渦励振

$$\delta_{a3D} = - \frac{\pi \cdot \rho_a \sum_j B_j^2 \cdot H_i^*(z_j) \cdot \phi_j^2 \cdot \Delta s_j}{\sum_i \sum_j M_{ij} \cdot \phi_i \cdot \phi_j} \quad \cdots (1)$$

$$\delta_{3D} = \delta_{s3D} + \delta_{a3D} \quad \cdots (2)$$

が生じる。この励振は、 $\delta_{3D} = 0.09$ 以上にしないと許容振幅を上まわるものである。②上記①の励振は、タイプIIIに依るまでもなく、より短いタイプIIのフェアリングで十分に抑制できる。③上記①以外のケースについては、 $\delta_{3D} = 0$ でも許容振幅以下の励振しか生じない。④図-6(b)に見るように、タイプIIのフェアリング付断面では空気力そのものが小さくなっているばかり

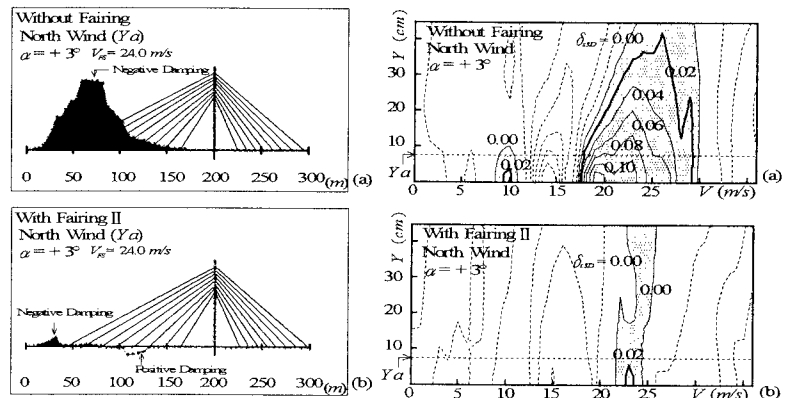


図-6 空力ダンピング分布図の解析例

図-7 V - Y - δ_{3D} の解析例

でなく、横断勾配が正と負の部分で分布空気力の符号が反転しており、相互にキャンセル合って良好な耐風安定性がもたらされている。

⑤図-5のモード図に見たように、側径間是不動である。このため、応答に与える側径間の寄与はない。

5. まとめ 以上の結果をとりまとめると、以下ようになる。

- 1). フェアリングなし断面は、迎角 $\alpha = +3^\circ$ で最大変位振幅約 40 cm の渦励振を生じる。この励振は、構造対数減衰率 (δ_{3D}) を 0.09 以上にしないと許容振幅を越すものである。
- 2). 上記の渦励振は、中間の長さのフェアリングで安定化される。

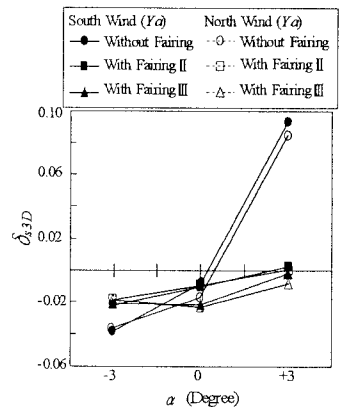


図-8 許容振幅に抑えるために必要な δ_{3D} の解析値

参考文献 1) 吉村 健 ほか：3次元骨組モデルを用いた1自由度フラッタの簡易推定法，本研究発表会講演概要集．2) 戸田 透 ほか：S字型曲線斜張橋の耐風安定性とその防振対策 (その1 完成系)，土木学会第40回年次学術講演会講演概要集第I部，p487-488，1985。