

3 次元数値解析による渦励振応答の解の精度

○九州産業大学 学生会員 井上 宗久, 正会員 吉村 健, 学生会員 田中 孝久
学生会員 林 祐一, 非会員 原田 健彦

1. まえがき

S 字型の平面線形を有する複合斜張橋に対し、一様気流中での渦励振応答特性はすでに調べた。そこでは、主桁の幅・横断勾配の異なる 7 断面に対する非定常空気力を風洞実験によりまず求め、次に 3 次元数値解析で渦励振応答の定常振動解を推定した^{1,2)}。本研究では、より少ない断面で同橋の解析を行い、その解の精度を調べた。更に、時刻歴応答解を求め、上記解との比較検討も行った。その概要を以下に示す。

2. 検討橋梁の概要

図-1 に示すように、本橋は 190m の主径間、53+47=100m の側径間および 70m の主塔を有する一面吊形式の 3 径間連続複合斜張橋である。側径間は、鋼 3 室と PC 3 室の逆梯型箱桁でそれぞれ構成されている。橋長 290m の平面線形は、曲率半径 280m を有する S 字型の曲線を成している。そのため、横断勾配と桁幅と桁幅は、 $i = -9\% \sim +9\%$ と $B = 23.74 \sim 25.55m$ の範囲でそれぞれ変化する(表-1)。

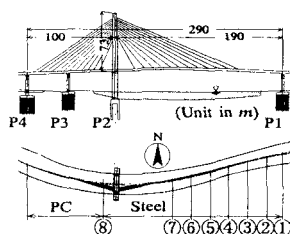


図-1 本橋の側面図と平面図

表-1 主桁の主な諸元

Portion	i (%)	Steel/PC	B (m)	w (kN/m)
④	0	Steel	23.74	141.5
③⑤	3	Steel	24.12	151.3
②⑥	6	Steel	25.13	161
①⑦	9	Steel	25.55	170.4
⑧		PC	25.55	509

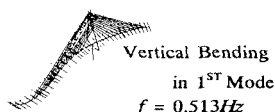
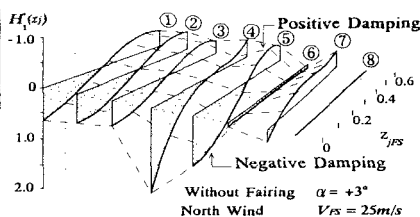


図-2 一次の固有モードと固有振動数

図-3 $H_1^* - z_j$ 曲線の一例

3. 検討手順

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行い、自由振動法による空力ダンピングを一様気流中で計測した。検討対象となる鉛直曲げ 1 次の振動モードと振動数は図-2 に示すとおりであり、不動の側径間⑧を除く①～⑦の 7 断面に対する非定常空気力係数 $H_1^*(z_j)$ を求めた。結果の一例を図-3 に示す。ただし、 z_j は節点 'j' の変位振幅である。次に、各風速における $H_1^*(z_j)$ を用いて、実機の渦励振応答を定常振動解析と時刻歴応答解析で推定した。更に、断面数を減らした場合について同橋の解析を行い、解の精度を比較検討した。組み合わせは①～⑦；①，③，⑤，⑦；①，④，⑦；①，⑦の 4 ケースである。図-3 に破線で示すように、相隣る断面の間における節点の $H_1^*(z_j)$ には、線形補間した近似値を用いた。

4. 定常振動解

定常振動解は次の仮定と手法で求めた。①節点 'j' に入力される非定常空気力は、速度振幅に比例する線形自励外力である。その係数は、節点変位 ' z_j ' の非線形関数で表される(図-3) ②モーダルアナリシスとストリップセオリーを用いる。その場合、全体系の空力減衰定数 h_a (対数減衰率 δ_a) は、式(1)で与えられる。

$$h_a = 0.5 \cdot \rho_a \sum_j B_j^2 \cdot H_1^*(z_j) \cdot \phi_j^2 \cdot \Delta s_j / \left(\sum_i \sum_j M_{ij} \cdot \phi_i \cdot \phi_j \right) = -\frac{\delta_a}{2\pi} \quad \cdots (1)$$

式(1)分母の()内はモード質量である。風速とモードの腹における変位振幅をメッシュ分割して解析し、得られた結果の例をコンター図表示して図-4 の $V-A-\delta$ 図を得た。ただし、図の(a)～(d)は、断面数 7, 4, 3 および 2 に対する結果である。当然のことながら、断面数を減らす程 7 断面の結果と異なってくる。図の結果から、実用上は 3～4 断面でよいと言えよう。

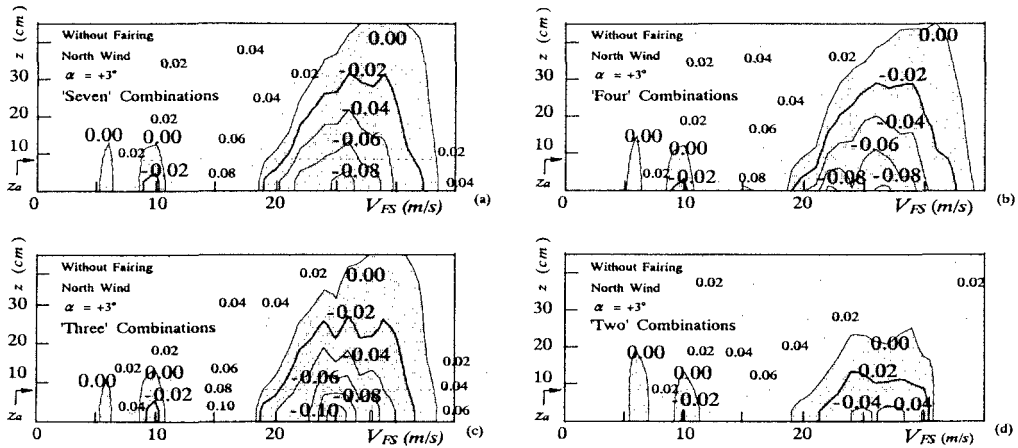


図-4 定常振動解で得られた V - A - δ 曲線, 断面数は(a)~(d)で7,4,3および2.

5. 時刻歴応答解

図-3 に示した各断面の $H_1^*(z_j)$ は式(2)で表されている. 式(1),(2)を用い, 式(3)で示される運動方程式をニューマークの β 法で解析して時刻歴応答を求めた. 図-5 は, モードの腹における変位波形の解析例である. 各風速について得られた結果から, 図-6 (a)に示す V - A - δ 曲線を得た(7 断面使用). 図-4 (a)とこの図の間に大差は認められない.

変位振幅で表した式(2)の代わりに, 時々刻々の変位 $z_j(t)$ で表した式(4)を用いると, 図-6 (b)の結果が得られた. 定性的には図-4 (a)と対応しているが, 定量的には過大評価されている. 図の(a)と(b)の縦座標スケールの違いに注意されたい.

$$H_1^*(z_j) = a_0 + a_1 |z_j| + a_2 z_j^2 + a_3 |z_j^3| \quad \dots (2)$$

$$\ddot{q}(t) + 2(h_s - h_a)2\pi f \dot{q}(t) + (2\pi f)^2 q(t) = 0 \quad \dots (3)$$

$$H_1^*(z_j(t)) = a_0 + a_1 |z_j(t)| + a_2 z_j^2(t) + a_3 |z_j^3(t)| \quad \dots (4)$$

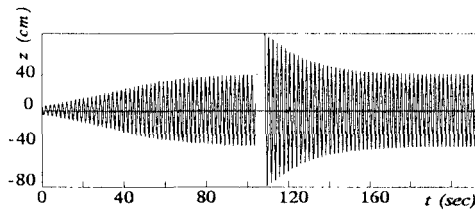


図-5 時刻歴応答解析による変位波形の例

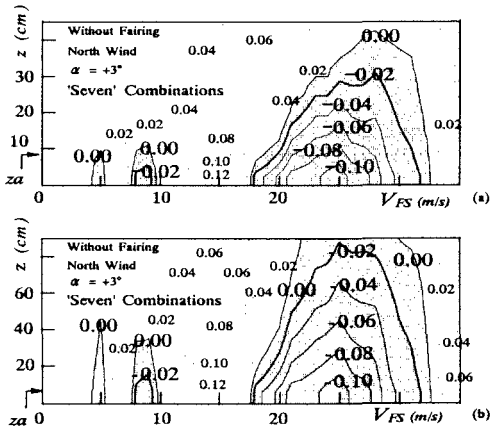


図-6 時刻歴応答解析で得られた V - A - δ 曲線.
断面数は(a),(b)いずれも7.

6. まとめ

以上の結果をとりまとめると, 以下のようになる.

- (1) 7 断面に対する非定常空気力を用いて 3 次元応答解析するまでもなく, 3~4 断面で実用上問題ない.
- (2) 定常振動解析と時刻歴応答解析で得られた V - A - δ 曲線の間には大きい差異はない.

参考文献 1) 吉村 健 : 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, 構造工学論文集 Vol. 46A, pp.1079-1084, 2000.3. 2) Yoshimura, T. et al. : Prediction of vortex excitation response for sine-curved hybrid cable-stayed bridge at preliminary design stage, J. Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, to be published.