

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 林 祐一, 正会員 吉村 健, 学生会員 田中 孝久
学生会員 井上 宗久, 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。ここでは, 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PC3室の逆梯形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 $B=23.74 \sim 25.55\text{m}$ の範囲でそれぞれ変化する(表-1)。

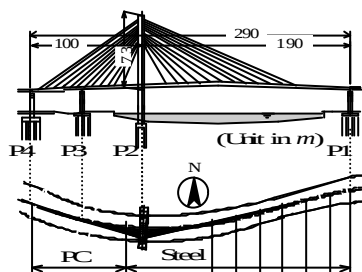


図-1 本橋の側面図と平面図

表-1 主桁の主な諸元

Portion	$i(\%)$	Steel/PC	$B(\text{m})$	$w(\text{kN/m})$
0		Steel	23.74	141.5
3		Steel	24.12	151.3
6		Steel	25.13	161
9		Steel	25.55	170.4
9		PC	25.55	509

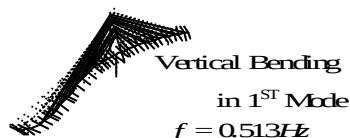


図-2 一次の固有モードと固有振動数

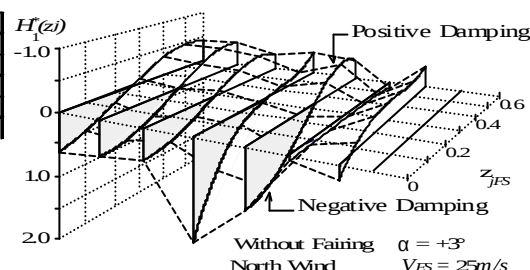


図-3 $H_1^*-z_j$ 曲線の一例

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, 不動の側径間を除く ~ 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 ~ ; , , , ; , , ; , 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。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, 節点変位振幅' z_j 'の非線形関数で表される(図-3) 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。

$$h_a = 0.5 \cdot r_a \sum_j B_j^2 \cdot H_1^*(z_j) \cdot f_j^2 \cdot \Delta s_j / \left(\sum_i \sum_j M_{ij} \cdot f_i \cdot f_j \right) = -\frac{d_a}{2p} \quad \dots (1)$$

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- δ 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。

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)とこの図の間に全く差異はない．一方，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．

図-7 に，式(2)と(4)を用いた系に対する空気力の時刻歴応答の例を示す．式(2)では，大振幅から減衰振動するが，一方，式(4)によれば，なおも発散振動するといった誤った結果が得られることが図より理解できる．

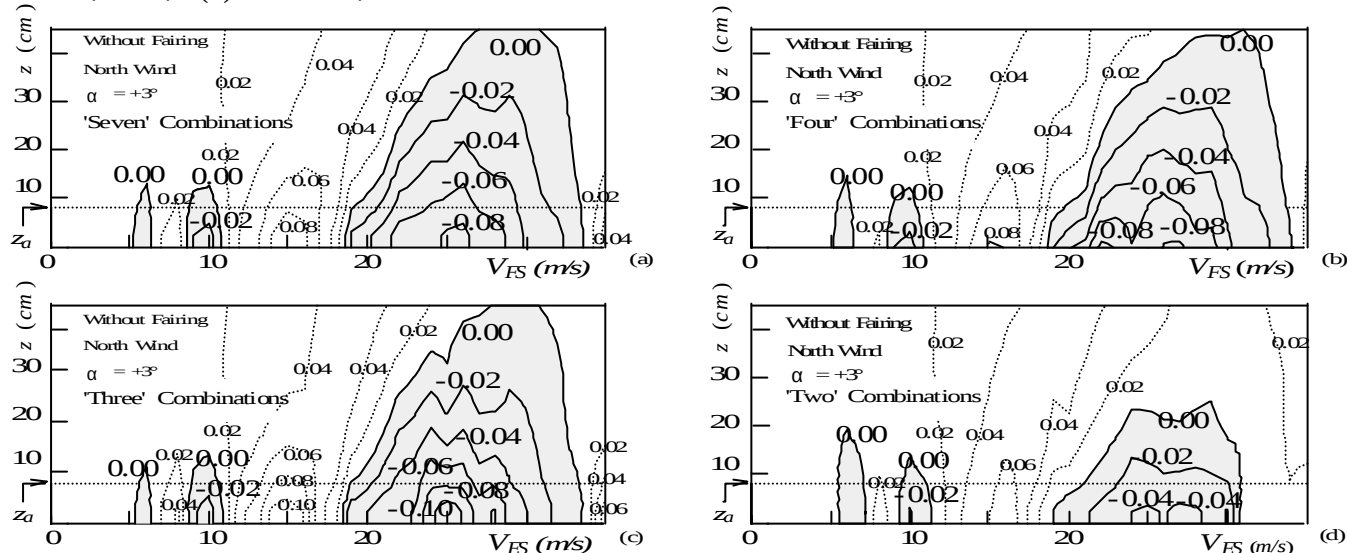


図-4 定常振動解で得られた V - A - δ 曲線，断面数は(a)～(d)で 7,4,3 および 2．

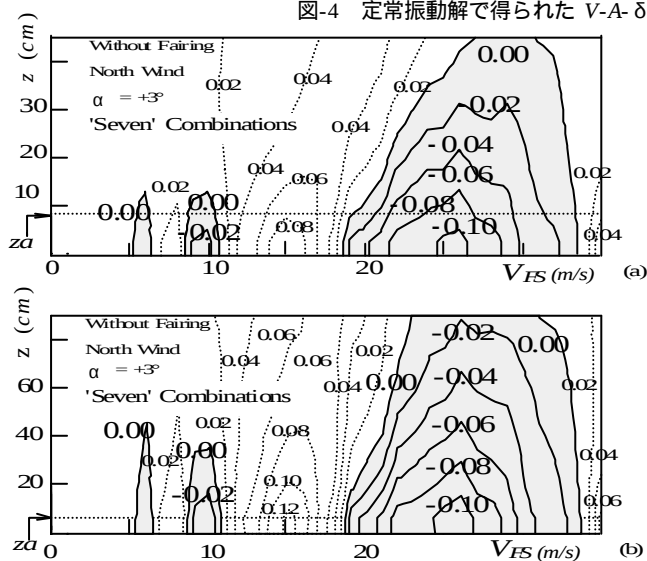


図-6 時刻歴応答解析で得られた V - A - δ 曲線．断面数は(a),(b)いずれも 7．

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

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

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

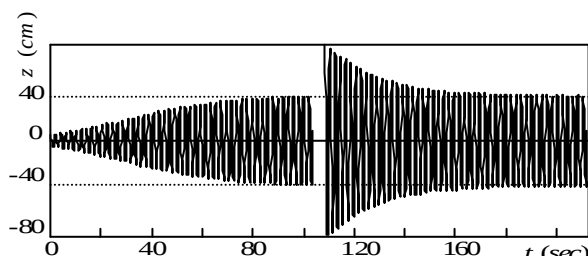


図-5 時刻歴応答解析による変位波形の例

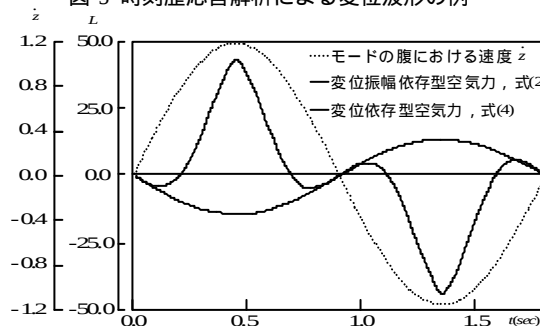


図-7 変位振幅 37cm における空気力の時刻歴応答．

6. まとめ 以上の結果をとりまとめると，以下ようになる．

- (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 曲線の間には全く差異はない．

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. WindEngineering and Industrial Aerodynamics, to be published.