

I-349

自然風による斜張橋のガスト応答に関する一考察

建設省土木研究所 正員 東久保正徳
建設省土木研究所 正員 横山 功一
建設省土木研究所 正員 佐藤 弘史

1. まえがき

自然風の風速は時間的および空間的に変動しており、このため自然風中の構造物は自然風の風速変動に起因する変動空気力の作用を受け、不規則に振動する。この現象はガスト応答と呼ばれており、風速の変動特性より不規則振動論にもとづき推定する手法(ガスト応答解析)が研究されている。現地で観測された風速のパワースペクトル密度関数(P.S.D.F.)より、橋の振動変位のP.S.D.F.を推定し、実橋において観測された橋の振動変位のP.S.D.F.との比較を行った。対象とした橋梁は、愛知県の名港西大橋であり、流線型箱桁を持つ3径間連続鋼斜張橋(175+405+175m)である。

2. 観測方法

風および風による橋の振動を計測するために、観測測器が中央径間1/2点の図-1に示す位置に取付けられている。

3. ガスト応答解析の計算

中央径間1/2点における水平たわみ変位(z)ならびに鉛直たわみ変位(y)を計算対象とした。これらのガスト応答に対しては、それぞれの第1次モード成分の寄与が支配的であるため、第2次モード以降の高次モード成分は近似的に無視しえる。準定常理論に従い次式を用いた。

水平たわみガスト応答

$$(\bar{z}/D)^2 = \int_0^\infty S_{z/z}(f) df$$

$$S_{z/z}(f) = \frac{U_r^2}{4\pi^2 \sigma} \frac{|C_0|^2 |X_z(f)|^2}{\{1 - (f/f_z)^2\}^2 + \{(\delta_z + \delta_{az}) (f/f_z)/\pi\}^2} |J_z(f)|^2 \frac{S_{uu}(f)}{U^2}$$

$$|J_z(f)|^2 = \left[\int_0^L \int_0^L \cosh z(f, x_1, x_2) \phi_z(x_1) \phi_z(x_2) dx_1 dx_2 \right] / \left[\int_0^L \phi_z^2 dx \right]^2$$

鉛直たわみガスト応答

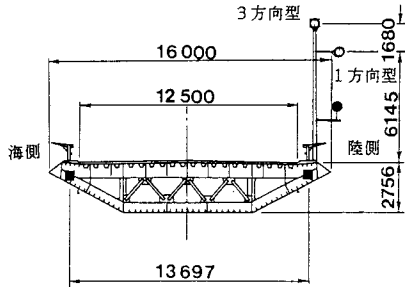
$$(\bar{y}/B)^2 = \int_0^\infty S_{y/y}(f) df$$

$$S_{y/y}(f) = \frac{U_r^2}{8\pi^2 \sigma} \frac{|dC_F/d\alpha|^2 |X_y(f)|^2}{\{1 - (f/f_y)^2\}^2 + \{(\delta_y + \delta_{ay}) (f/f_y)/\pi\}^2} |J_y(f)|^2 \frac{S_{uu}(f)}{U^2}$$

$$|J_y(f)|^2 = \left[\int_0^L \int_0^L \cosh y(f, x_1, x_2) \phi_y(x_1) \phi_y(x_2) dx_1 dx_2 \right] / \left[\int_0^L \phi_y^2 dx \right]^2$$

$$\cosh z(f, x_1, x_2) = \cosh y(f, x_1, x_2) = \exp \left(-k \frac{|x_1 - x_2|}{U} \right)$$

k : デイケイファクター (8を標準とする)



- プロベラ型風向風速計
- 超音波風速計
- サーボ型加速度計
(橋軸、橋軸直角、鉛直)

図-1 測器配置図

S : パワースペクトル密度関数
 u : 主流方向変動 w : 鉛直方向変動 U : 平均風速
 $|J_i|^2$: 第 i 次モードのジョイントアクセプタンス関数
 ϕ_i : 第 i 次の固有振動モード L : 橋長 x : 橋軸方向座標
 f : 振動数 f_i : 第 i 次の固有振動数 $f_z = 0.258 \text{ Hz}$
 δ_i : 第 i 次モードの無風時の対数減衰率 $f_y = 0.324 \text{ Hz}$
 $\delta_z = \delta_y = 0.02$ δ_{ai} : 第 i 次モードの空力対数減衰率
 C_0 : 抗力係数 0.954 $dC_F/d\alpha$: 揚力傾斜 4.80
 D : 橋桁桁高 2.875 m B : 橋桁幅員 16.0 m
 U_r : 無次元風速 ($= U/(f_i B)$)
 σ : 無次元質量 ($= m/(\rho B^2)$)

$|X_z(f)|^2$: 1.0 準定常理論
 $|X_y(f)|^2$: 次の3とおりを仮定した。
1.0 準定常理論
 $(1 + 2\pi^2 \frac{fB}{U})^{-1}$ Sears 関数
 $(1 + 4 \frac{fB}{U})^{-1}$ Holmes のアドミッタンス

解析の対象としたケースは、観測されたデータの中で風向が橋軸直角方向に近いものを選び、陸・海からの風の各5ケースとした。解析に必要な諸パラメータは振動試験結果及び風洞試験結果を参考にして定めた。変動風速のP.S.D.F.(主流方向成分・鉛直方向成分)は3方向型の超音波風速計の計測データを用いて計算した。観測された最大風速に対応する無次元風速は水平たわみで3.7、鉛直たわみで3.0であった。

図-2に振動変位のP.S.D.F.について図-3に振動変位の標準偏差について観測値と推定計算値を対

比した。

橋の振動は加速度計で計測されているが、振動変位の標準偏差は加速度の P.S.D.F. の各周波数成分を $(2\pi f)^4$ で除し、積分して算出した。この時、積分の周波数領域は低周波数成分と振動数の高いノイズ成分を除いた $0.1 \sim 2.0$ Hz とした。この方法では解析手法と計測時間から周波数分解能と平滑回数が決まり、低周波数領域で精度が若干劣ると考えられる。

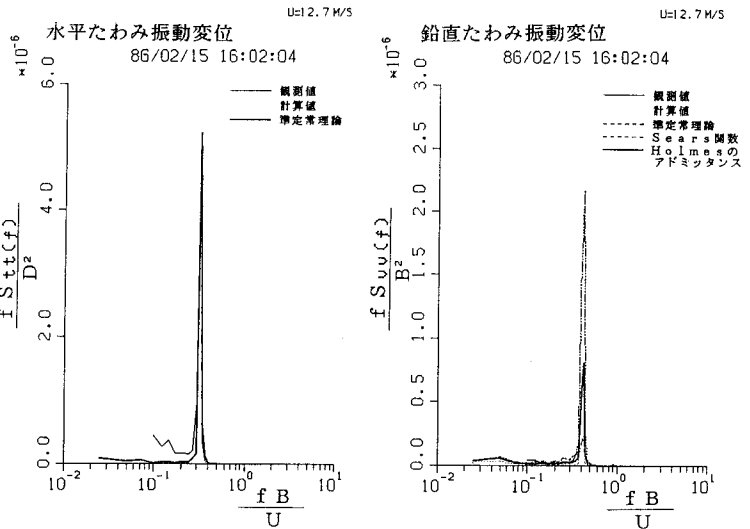


図-2 振動変位の P.S.D.F. (風向：陸側)

水平たわみのガスト応答は

風向が海側の場合、水平たわみ振動変位の P.S.D.F. のピーク値は陸側からの風のとき準定常理論の推定値と実測値は概ね等しく、海側からの風のとき推定計算値が小さかった。水平たわみ振動変位の標準偏差については推定計算値より実測値のほうがわずかに大きかった。

鉛直たわみのガスト応答の

推定計算では変動風速を変動空気力に変換する際に用いる空力アドミッタンスとして3種類（準定常理論、Sears関数、Holmesのアドミッタンス）を使用し、計算を行った。図-3の実測値との比較によれば、準定常理論による推定値は大きめであり、Sears関数による推定値は小さめであり、Holmesのアドミッタンスによ

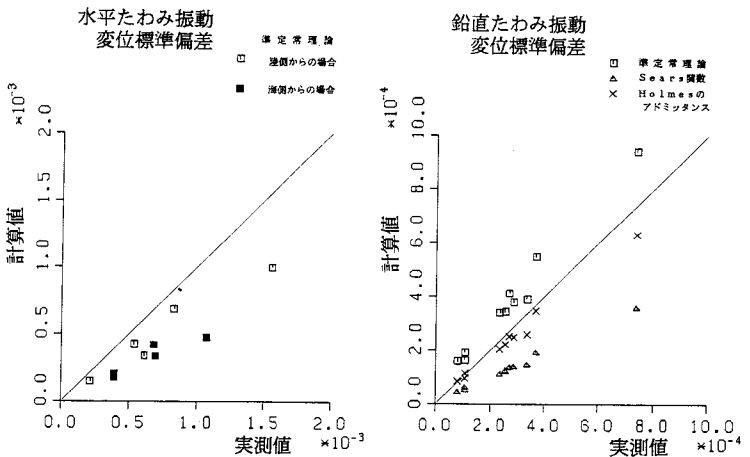


図-3 推定計算値と実測値の対比

陸側からの平均風速 15 m/s の風の場合の振動変位の標準偏差の大きさは、実測の水平たわみでは約 4 mm 、鉛直たわみでは約 12 mm であった。推定計算の水平たわみでは約 3 mm であり、鉛直たわみの Holmes のアドミッタンスでは約 10 mm であった。

4. まとめ

桁の設計風速の28%に相当する風速までのガスト応答の実測値と推定計算値の対比を行った。

- (1) 水平たわみ振動ガスト応答については、水平たわみ振動変位の P.S.D.F. のピーク値は陸側からの風のとき両値は概ね等しく、海側からの風のとき推定計算値が小さかった。水平たわみ振動変位の標準偏差については推定計算値より実測値のほうがわずかに大きかった。
- (2) 鉛直たわみ振動ガスト応答については、準定常理論を仮定すると推定計算値は大きく、Holmes のアドミッタンスを仮定すると推定計算値は観測値と概ね一致した。