

I - 735

長大橋梁のガスト応答解析に用いる空間修正関数

(株)ニチゾウテック 正員 畑中章秀 関西電力(株) 正員 小笠原正治
 本州四国連絡橋公団 正員 勝地 弘 日立造船(株) 正員 山村信道

1. まえがき

長大橋梁のガスト応答解析は、不規則変動風のパワースペクトルから応答の期待値を求める方法を基調とするが、固有振動数が低い長大橋梁にDavenportの指数関数型のコヒーレンスから導かれる空間修正関数¹⁾を適用すると、応答値が過大評価²⁾される。この点を改善するための一解法として、指数関数型のコヒーレンスの補正式を提案し、実験値との対比、および、その適用範囲などを考察した。

2. コヒーレンスの補正式

変動風（主流成分： u 、鉛直成分： w ）の相関性を次式のように指数関数で表す。

$$S_{uu}/S_u = \exp[-k \cdot (f + f_{0u}) \cdot \Delta L / U], \quad S_{ww}/S_w = \exp[-k \cdot (f + f_{0w}) \cdot \Delta L / U] \quad (1)$$

$$\log_e(S_{uw}/S_u) = -k \cdot (f + f_{0u}) \cdot \Delta L / U, \quad \log_e(S_{wu}/S_w) = -k \cdot (f + f_{0w}) \cdot \Delta L / U \quad (2)$$

ここに、 S ：変動風のパワースペクトル密度、 k ：空間修正係数、 f ：振動数、 ΔL ：距離、 U ：風速である。コヒーレンスの計測値（現地、または、風洞）を自然対数化して、最小2乗法を適用すると、

$$\log_e[\text{Coh}] = a \cdot [f \cdot \Delta L / U] + b \quad (3)$$

の形が得られる。これより、式(1)、(2)の $k \cdot f_{0u} \cdot f_{0w}$ などは、次式のように求められる。

$$k = -a, \quad f_0 = -b \cdot U / (k \cdot \Delta L) \quad (4)$$

変動風の積分スケール $L_{yu} \cdot L_{yw} \cdot L_{zu} \cdot L_{zw}$ が与えられた場合は、次の関係式を用いると便利である。すなわち、Roberts・Surry²⁾、Thompson²⁾らの関数式を式(1)の指数関数で近似し、変数 η を $k \cdot (f + f_0) \cdot \Delta L / U$ と等置すると、水平（橋軸）方向の相関性について、次式を得る。

$$\left. \begin{aligned} k \cdot (f + f_{0u}) \cdot \Delta L / U &= (\Delta L \cdot B_1 / L_{yu}) \cdot [1 + (2\pi / B_1)^2 \cdot (f \cdot L_{yu} / U)^2]^{1/2} \\ k \cdot (f + f_{0w}) \cdot \Delta L / U &= (\Delta L \cdot B_1 / L_{yw}) \cdot [1 + (2\pi / B_1)^2 \cdot (f \cdot L_{yw} / U)^2]^{1/2} \\ B_1 &= \sqrt{\pi} \cdot \Gamma(5/6) / \Gamma(1/3) = 1 / 1.339 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

固有振動数 $f \rightarrow 0$ となる場合の極限值として、 $f_{0u} \cdot f_{0w}$ を求めると、

$$f_{0u} = U / (1.339 \cdot k \cdot L_{yu}), \quad f_{0w} = U / (1.339 \cdot k \cdot L_{yw}) \quad (6)$$

鉛直方向の相関性についても、 $L_{zu} \cdot L_{zw}$ を用いて、同様に f_0 が評価される。空間修正関数 $J_{ij}^2(f, \Delta L)$ は、式(1)の2重積分より、文献1)の諸式で $\tilde{f}_n$ を $(\tilde{f}_n + f_0)$ と置き換えたものとなる。以上の方法によると、①任意のパワースペクトル分布に対応できる ② $\tilde{f}_n \rightarrow (\tilde{f}_n + f_0)$ と置き換えることにより、空間修正関数 $J_{ij}^2(\tilde{f}_n, \Delta L)$ には、従来の諸式がそのまま適用される。

3. 3次元風洞実験、および、解析結果

図-1の斜張橋をモデルとして、1/85模型を用いたガスト応答実験を実施した。境界層乱流の $I_u = 13\%$ 、 $I_w = 9\%$ 、 $L_{xu} = 67.3\text{m}$ 、 $L_{xw} = 28.5\text{m}$ である。 $k \cdot f_0$ の値は、実橋（水平）距離 $\Delta L = 34\text{--}85\text{m}$ の5点間でのコヒーレンス（主流成分）より、平均値として $k = 7$ 、 $f_{0u} = 0.1075$ (Hz)を得た。コヒーレンスの計測値との適合性を図-2に示す。中央スパン（ $L/2$ 点）での水平（橋軸直角）方向と鉛直方向の最大振幅を図-3に比較する。解析の空力アドミッタンス $G_{ij}^2(\tilde{f}_n)$ には、Davenport式（抗力）・簡易Sears関数（揚力・モーメント）を適用し、これらには f_0 を考慮していない。なお、近似的に $f_{0w} = f_{0u}$ と仮定した。また、3分力係数、および、Sears関数に用いた橋床幅は、フェアリングを除く $B = 11.15\text{m}$ である。

4. 解法の適用範囲

式(1)を参照すると、固有振動数 f が補正項 f_0 と同程度以下の値となる場合に、補正項 f_0 の影響が大きい。吊橋・斜張橋の数例について、補正項 $f_0 = 0.15$ (Hz)（式(6)で風速 $= 50$ m/s, $L_{yu} = 36$ m）と仮定した応答値を、 $f_0 = 0$ の場合と表-1に比較する。変動風のスペクトルは、日野公式、Busch・Panofsky公式などである。 $L \geq 770$ mの範囲では、 $f_0 = 0$ の場合、応答振幅が1.3~2.2倍の過大評価となるが、 $L < 500$ mの範囲では、Davenportの指数関数（ $f_0 = 0$ ）でも大差ない応答値が得られている。

5. まとめ

指数関数型のコヒーレンス式に補正項 f_0 を加えると、固有振動数が低い長大橋梁のガスト応答解析の精度が改善される。 f_0 の値は、コヒーレンス（計測値）の回帰分析、または、渦の積分スケールから得られる。

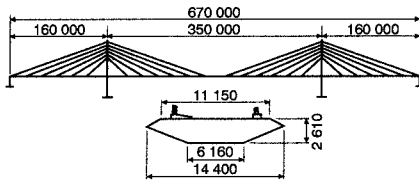


図-1 斜張橋の諸元

参考文献：1) 田中・山村・南條他：長大斜張橋（架設系）のガスト応答解析と3次元模型試験。土木学会他・構造工学論文集，37A，1991 2) Irwin：Wind Tunnel and Analytical Investigations of the Response of Lions' Gate Bridge to a Turbulent Wind. LTA-LA-210，1977

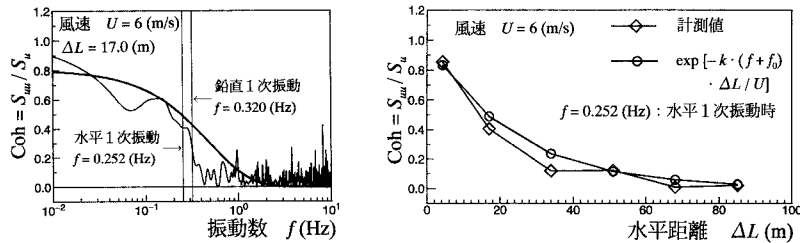


図-2 コヒーレンスの比較

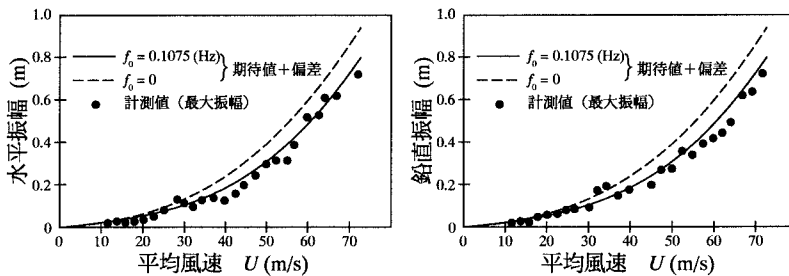


図-3 ガスト応答振幅の比較

表-1 ガスト応答振幅（期待値）の比較

橋梁形式(中央スパン長)	斜張橋 $L = 350\text{m}$	斜張橋 $L = 490\text{m}$	吊 橋 $L = 770\text{m}$	斜張橋 $L = 890\text{m}$	吊 橋 $L = 1020\text{m}$	吊 橋 $L = 1100\text{m}$	吊 橋 $L = 1990\text{m}$	
風速（主桁高さ）（m/s）	46.1	44.1	48.0	46.1	53.4	58.1	59.7	
水平1次振動数（Hz）	0.2520	0.2942	0.0832	0.0823	0.0694	0.0735	0.0388	
鉛直1次振動数（Hz）	0.3204	0.3334	0.1779	0.2287	0.1554	—	0.0638	
$L/2$ 点の 水平振幅 （m）	$f_0 = 0.15$ (Hz) $f_0 = 0$ (Hz) （比率）	0.184 0.233 (1.27)	0.087 0.106 (1.23)	1.445 2.400 (1.66)	0.631 1.086 (1.72)	1.094 1.956 (1.79)	1.803 3.088 (1.71)	3.648 8.070 (2.21)
$L/2$ 点の 鉛直振幅 （m）	$f_0 = 0.15$ (Hz) $f_0 = 0$ (Hz) （比率）	0.198 0.236 (1.19)	0.165 0.196 (1.19)	0.315 0.419 (1.33)	0.286 0.361 (1.26)	0.603 0.830 (1.38)	— — —	0.809 1.409 (1.74)