

中央大学理工学部
本州四国連絡橋公団
〃

正員 岡内 功
正員 榎波 義幸
正員 〇田 中美字

1. まえがき

吊橋の大型部分模型を用いた自然風中での実験が、昭和47～49年度（冬期）に渡って館山市相浜地区で実施された。この実験結果のデータ解析の一部は、“耐風実験橋の観測結果について”（岡内他、第30回年次学術講演会）で紹介しており、この報告は第2報である。今回は、主に、変動風が吊橋の横たわみ・鉛直たわみに与える影響について述べる。又、ここで用いたスペクトル計算方法は、“スペクトル計算法について”（岡内他、第31回年次学術講演会）に報告している。

なお、データ解析・検討に際し御指導いただいた本州四国連絡橋耐風研究小委員会の各委員ならびに関係者各位に、深謝の意を表する。

2. 空力アドミッタンス

模型に作用する変動空気力のうち抗力の空力アドミッタンスを図-1、図-2に示す。図には比較の意味で、静的抗力測定結果より得られた観測値とDavenportの提案式を示す。

$$|A_{xu}^P(f)|^2 = \left(\frac{U}{2P}\right)^2 \frac{S_{pp}(f)}{S_{uu}(f)} \dots\dots\dots(1)$$

$$= \frac{2}{\gamma_y^2} (\gamma_y - 1 + e^{-\gamma_y}) \frac{2}{\gamma_z^2} (\gamma_z - 1 + e^{-\gamma_z}) \dots\dots\dots[\text{提案式}] \dots\dots(2)$$

$$|A_{xu}^C(f)|^2 = \left(\frac{U}{2P}\right)^2 \cdot \left| \frac{S_{up}(f)}{S_{uu}(f)} \right|^2 \dots\dots\dots(3)$$

$$= \frac{1}{\gamma_y^2} \{2 - \exp\left[-\frac{\gamma_y y}{h}\right] - \exp\left[-\frac{\gamma_y(h-y)}{h}\right]\}^2 \times \\ \times \frac{1}{\gamma_z^2} \{2 - \exp\left[-\frac{\gamma_z z}{\ell}\right] - \exp\left[-\frac{\gamma_z(\ell-z)}{\ell}\right]\} \dots\dots\dots[\text{提案式}] \dots\dots(4)$$

$$\text{ここで、} \gamma_y = \frac{k_y \cdot h}{U} f, \quad \gamma_z = \frac{k_z \cdot \ell}{U} f$$

また、Davenportの提案式と2点間風速のCoherenceとの間には次式の関係がある。（図-3参照）

$$\{\text{Coherence}(u)\}^{1/2} = \frac{|S_{u_1 u_2}(f)|}{\{S_{u_1 u_1}(f) \cdot S_{u_2 u_2}(f)\}^{1/2}} \dots\dots\dots(5)$$

$$= \exp\left[-\frac{k_z |z_1 - z_2|}{U} f\right] \dots\dots\dots(6)$$

図-1～3によれば、提案式と観測値はよい一致を示しており、 k_z, k_y はほぼ10～20位と思われる。なお、この値は観測に先立って行なわれた風路内の気流調査の結果と一致している。また、揚力と関係の深い w の $\{\text{Coherence}\}^{1/2}$ を図-4に示す。

3. 横たわみ振動

横たわみ振動の伝達関数について、動的抗力測定結果から得られた観測値を図-5に示す。

$$|A_{xu}^P(f)|^2 \cdot |H_x(f)|^2 = \left(\frac{U}{2P}\right)^2 \cdot M_x^2 \cdot (2\pi f_x)^4 \frac{S_{xx}(f)}{S_{uu}(f)} \dots\dots\dots(7)$$

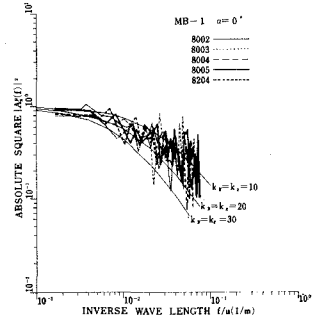


図-1 抗力の風力アドミッタンス(power)

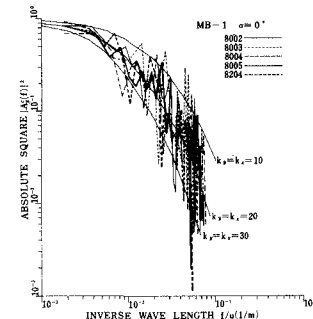


図-2 抗力の風力アドミッタンス(cross)

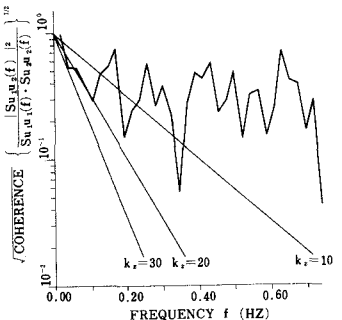


図-3 u のコヒーレンス

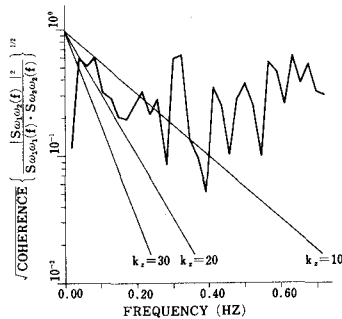


図-4 w のコヒーレンス

また、理論式は、式(2)と次式で表わされるメカニカルアドミッタンス $|H_x(f)|^2$ で求まる。

$$|H_x(f)|^2 = \frac{1}{(1-f^2/f_x^2)^2 + 4\zeta^2 f^2/f_x^2} \cdots (8)$$

$$\zeta = \zeta_m + \zeta_a, \zeta_a = \frac{\bar{P}}{2\pi f_x M_x U}$$

また、横たわみ変位 x のパワースペクトルについて、観測値と上記の理論式より求めた値を図-6に示す。

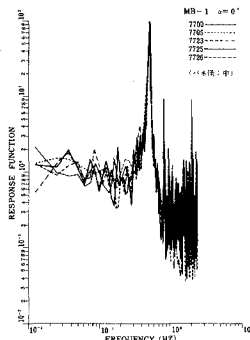


図-5 横たわみの伝達関数

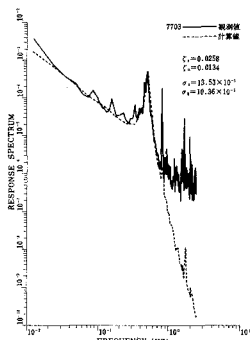


図-6 横たわみのパワースペクトル

4. 鉛直たわみ振動

準定常理論によれば鉛直たわみ振動には、 u と w の変動風速が関係している。次式より u と w の伝達関数を求める。

$$\left. \begin{aligned} S_{uy}(f) &= C(f) \cdot S_{uu}(f) + D(f) \cdot S_{uw}(f) \\ S_{wy}(f) &= C(f) \cdot S_{wu}(f) + D(f) \cdot S_{ww}(f) \end{aligned} \right\} \cdots (9)$$

図-7、図-8は、 $C(f)$ 、 $D(f)$ に定数を掛けて次式で表わしたものである。

$$\left. \begin{aligned} \left(\frac{1}{\rho U A_y}\right)^2 M_y^2 (2\pi f_y)^4 |C(f)|^2 &= (C_L)^2 \cdot |A_{yu}^C(f)|^2 \cdot |H_y(f)|^2 \\ \left(\frac{2}{\rho U A_y}\right)^2 M_y^2 (2\pi f_y)^4 |D(f)|^2 &= (dC_L/d\alpha)^2 \cdot |A_{yw}^W(f)|^2 \cdot |H_y(f)|^2 \end{aligned} \right\} \cdots (10)$$

図-7、図-8に示す伝達関数は、 $f \rightarrow 0$ ではそれぞれ $(C_L)^2$ 、 $(dC_L/d\alpha)^2$ になるが、図中に示す風洞実験値とそれほどよい一致は示していない。

また、Davenportの提案式である次式を用いて、鉛直たわみのスペクトルを観測値と対比して示す。(図-9参照)

$$S_{yy}(f) = \left(\frac{2\bar{L}}{U}\right)^2 |A_{yu}^P(f)|^2 \cdot |H_y(f)|^2 + \left(\frac{d\bar{L}}{U d\alpha}\right)^2 |A_{yw}^P(f)|^2 \cdot |H_y(f)|^2 \cdots (11)$$

なお、ここに示した結果は一次解析であり、現在詳細については解析を続けている。

5. 記号

U ; 模型直角水平方向平均風速 w ; 鉛直方向変動風速
 u ; " 変動風速
 $\bar{P}$; 平均抗力, $p(t)$; 変動抗力, $\bar{L}$; 平均揚力, $d\bar{L}/d\alpha$; 平均揚力の迎角による勾配

A_x ; 模型の u 方向暴露面積, M_x ; x 方向マス, f_x ; 横たわみ振動数
 A_y ; " w " , M_y ; y " , f_y ; 鉛直たわみ振動数
 x ; 横たわみ変位, y ; 鉛直たわみ変位
 ζ ; 減衰比, ζ_m ; 構造減衰, ζ_a ; 空力減衰
 k_y, k_z ; u の桁高方向, 橋軸方向の空間相関を表わす係数
 $|A_{xu}^P(f)|^2, |A_{xu}^C(f)|^2$; パワーまたはクロススペクトル解析した抗力の u による空力アドミッタンス
 $|A_{yu}^C(f)|^2, |A_{yw}^C(f)|^2$; クロススペクトルより解析した揚力の u または w による空力アドミッタンス
 $|H_x(f)|^2, |H_y(f)|^2$; 抗力または揚力に対する反力のメカニカルアドミッタンス

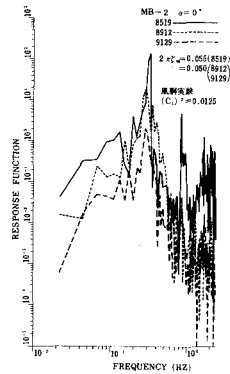


図-7 鉛直たわみの u による伝達関数

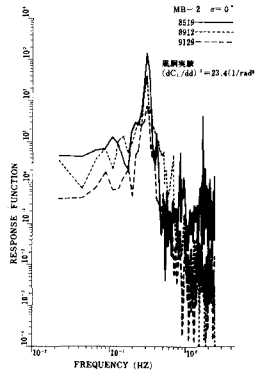


図-8 鉛直たわみの w による伝達関数

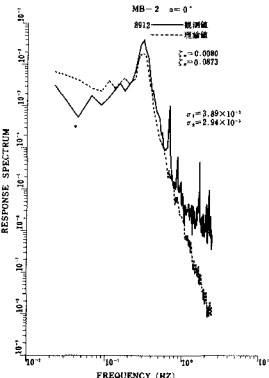


図-9 鉛直たわみのパワースペクトル