

変動風に対する偏平構造断面の応答について

中部工業大学 正員 小西一郎  
 京都大学工学部 正員 白石成人  
 京都大学工学部 正員 松本 勝  
 京都大学大学院 学主員 岡南博夫  
 奥村組 正員 岸本章士

1. まえがき

可撓性に富む長大橋梁断面では、自然風に含まれる乱れ成分によって不規則な強制振動現象がもたらされるが、この現象は橋梁自体の機能性の問題および橋梁部材の疲労強度の問題等に関し長大橋梁の動的な耐風設計上重要な問題である。本研究では、自然風に含まれる乱れに起因する不規則応答の評価の第一段階として、二次元流を想定し、その鉛直変動風成分および主流変動風成分に起因する鉛直たわみ応答の評価を主な対象とした。この場合に最も重要な問題である変動空気力の評価つまり構造断面に作用する変動風速とそれによってもたらされる変動空気力とを関係づける空力伝達関数を薄翼および偏平六角断面を対象として実験的に求めるとともに、薄翼に関しては理論的に求められた Sears 関数、Horlock 関数と比較し検討を加えた。またその時間応答については薄翼および昭和 47 年より千葉県館山にて観測された耐風実験橋を対象とし、鉛直方向および主流方向変動風 2 成分による応答の数値解析を試み、実験値および観測値との比較検討を加えたものである。

2. 実験および観測について

風洞実験においては、静的動的実験を行ない応答の評価のために必要な静的空気力係数動的空気力係数を求め、また空力伝達関数の評価および応答の数値計算を行なうため変動風速の測定、たわみ応答の測定を行ないデータレコーダーに記録した。

観測値については、千葉県館山市郊外相の浜海岸に設置された本州四国連絡橋公園の耐風実験橋によって得られた観測データである。これらはデジタル量として得られている。表 1 において用いられた対象模型の諸物理量を示している。

3. 実験的に求められる動的揚力関数について

変動風速成分  $u(t)$ ,  $v(t)$  2 成分を考慮して実験的に双方の動的揚力関数を求める場合には、線型応答系を仮定し、線型系の入出力のクロススペクトル密度関数は、システム特性関数と入力のパワースペクトル密度関数の積で表わせる次式の関係式を適用する。

$$S_{ij}(\omega) = \tilde{H}_{ij}(\omega) \times S_{ii}(\omega) \quad (1)$$

主流方向変動風成分  $u(t)$  と鉛直方向変動風成分  $v(t)$  の 2 入力線型応答系の動的揚力関数については、次式のように表わせる。

NOTATION		DIMENSION	MODEL	HEXA. A	HEXA. B	NACA0012
span length	l	m	3.00	9.55	9.55	7.95
mass per unit span length	m	kgsec <sup>2</sup> m <sup>-1</sup>	51.314	0.5767	0.6524	0.1576
half chord length	b	m	1.71	0.50	0.50	0.15
initial circular frequency	$\omega_n$	sec <sup>-1</sup>	1.1196	10.770	10.551	10.429
initial damping ratio	$\zeta_n$		0.02655	0.00299	0.00360	0.00270
slope of force coefficient	$\frac{dC_f}{d\alpha}$		1.5915	3.17	4.06	4.29
air density	$\rho$	kgsec <sup>-2</sup> m <sup>-3</sup>	0.125	0.125	0.125	0.125

表 1

$$S_{v\eta}(\omega) = \tilde{H}_v(\omega) S_{vv}(\omega) + \tilde{H}_u(\omega) S_{vu}(\omega) \quad (2)$$

$$S_{u\eta}(\omega) = \tilde{H}_v(\omega) S_{uv}(\omega) + \tilde{H}_u(\omega) S_{uu}(\omega) \quad (3)$$

このとき  $\tilde{H}(\omega)$  はシステム特性関数であり次式のように仮定する。

$$\tilde{H}(\omega) = C_0 \times A_d(\omega) \times H(\omega) \quad (4)$$

ただし、 $A_d(\omega)$ : 動的揚力関数  $H(\omega)$ : 周波数応答関数

$$C_0 = \text{物理定数} \quad (C_0 = \frac{dC_L}{d\alpha} \cdot \rho b U)$$

式(2)(3)(4)より系のシステム関数が次式のように求められる。

$$\tilde{H}_v(\omega) = \frac{S_{v\eta}(\omega) \left[ 1 - \frac{S_{uu}(\omega) S_{u\eta}(\omega)}{S_{uu}(\omega) S_{u\eta}(\omega)} \right]}{S_{vv}(\omega) \left[ 1 - \gamma_{vu}^2(\omega) \right]} \quad (5)$$

$$\tilde{H}_u(\omega) = \frac{S_{u\eta}(\omega) \left[ 1 - \frac{S_{uv}(\omega) S_{v\eta}(\omega)}{S_{vv}(\omega) S_{v\eta}(\omega)} \right]}{S_{uu}(\omega) \left[ 1 - \gamma_{vu}^2(\omega) \right]} \quad (6)$$

ただし、 $\gamma_{vu}$  は  $v(t)$  と  $u(t)$  のコヒーレンスを表わす

以上式(4)(5)(6)より  $v(t)$ ,  $u(t)$  それぞれの動的揚力関数が次式のように求められる。

$$A_{dv}(\omega) = \frac{\tilde{H}_v(\omega)}{C_0 \times H(\omega)} \quad (7)$$

$$A_{du}(\omega) = \frac{\tilde{H}_u(\omega)}{C_0 \times H(\omega)} \quad (8)$$

この場合周波数応答関数は空力減衰を考慮したものでなければならぬ。図1へ3は鉛直変動風に起因する動的揚力関数の迎え角の変化に対して求めたものである。

#### 4. 応答の数値計算について

変動風2成分によるたわみ応答を数値計算で求める場合には、入力である変動風2成分と動的揚力関数周波数応答関数の2重のConvolutionの形で求められる。このとき動的揚力関数としてはSears関数  $S(\omega)$ , Horlock関数  $T(\omega)$  を静的空気力係数勾配  $\frac{dC_L}{d\alpha}$  で補正した値を用いており、たわみ応答  $\eta(t)$  は次式によって求められる。図4は耐風実験橋の計算結果図を示す。

$$\eta(t) = F^{-1} \left[ (V(\omega)S(\omega) + U(\omega)T(\omega)) H(\omega) \right] \quad (9)$$

ただし、 $F^{-1}[\ ]$  は  $[\ ]$  の関数の逆フーリエ変換を表わす

$V(\omega)$ : 鉛直変動風成分  $U(\omega)$ : 主流変動風成分

#### 5. あとがき

得られた結果としては、まず実験的に求められた変動風2成分それぞれの動的揚力関数は、迎え角の変化により値が変化することが確認された。また数値計算により求められたガスト応答は、観測値および実験値と比較して応答振幅および波形についてほぼ合っており、この方法による応答評価の有効性を示していると考えられる。

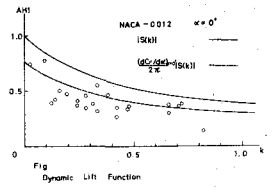


図 1

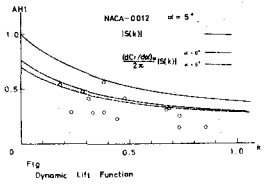


図 2

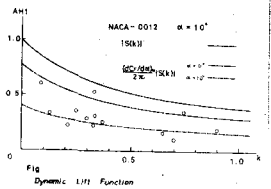


図 3

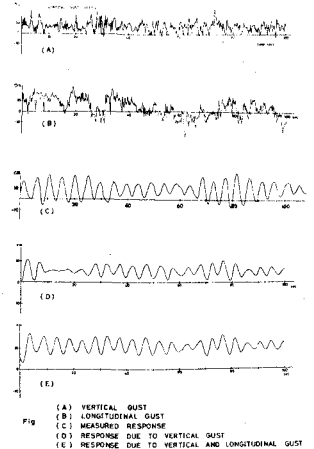


図 4