

吊橋トラス構造断面のガスト空力曲げ振れ応答について

京都大学工学部 正員 白石 成人
 京都大学大学院 学生員 森野 純孝

京都大学工学部 正員 松本 勝
 京都大学大学院 学生員 金川 昌義

1. まえがき

吊橋補剛桁のガスト不規則振動は入力としての変動風速の3次元変動特性、揺れ振動との連成、あるいは入力の非定常性などにより影響を受けるものと考えられる。本報告ではこれらの諸条件がガスト曲げ応答推定におよぼす効果を調べることを目的とし、風洞実験データを用いた数値計算を行ない検討を加える。

2. 風洞実験

風洞実験は風洞上流部に格子を設置し、格子の下流2.5mの地点にトラス構造断面を鉛直支持して行なった。変動風速は熱線風速計により測定し、その観測点は模型の前端から54cm上流、スパン方向に2地点とした。応答は曲げ揺れ2自由度系としてこの字型ゲージにより検出した。なお模型の諸元を表1に示す。さらに格子乱流の空間相関特性を調べるために主流方向およびスパン方向について種々の距離をもつ2地点間の変動風速をデータレコーダーに同時記録し、A/D変換した後電算を用いてコーヒレンスを求めた。

NOTATION	DIMENSION	SIGN	VALUE
SPAN LENGTH	m	l	0.93
CHORD LENGTH	m	b	0.3
MASS PER UNIT SPAN LENGTH	Kg·m ² ·sec ² /m		0.277
MOMENT OF INERTIA PER UNIT LENGTH	Kg·m ² ·sec ² /m	I	0.0207
HEIGHT OF STIFFENING GIRDES	m	h	0.106
NATURAL FREQUENCY (BENDING)	sec ⁻¹	ω_{n0}	2.243
NATURAL FREQUENCY (TORSION)	sec ⁻¹	ω_{n0}	4.188
DAMPING RATIO (BENDING)		ζ_{n0}	0.00457
DAMPING RATIO (TORSION)		ζ_{n0}	0.00069
SLOPE OF LIFT COEFFICIENT	$\frac{dC_L}{d\alpha}$		4.768
DRAW COEFFICIENT	C_D		0.865
SLOPE OF FORCE COEFFICIENT	$\frac{dC_F}{d\alpha}$		5.03

表 1

3. 計算方法

3次元的な変動風速による変動揚力は準定常的に取扱えるものと仮定し、静的空気力係数および変動風速の空間的な広がりによる空気力の減衰効果としての2点間の変動風速のコーヒレンスを用いてつぎの式で表わせると仮定する。

$$L_u(\tau) = -\rho b C_F \int_0^l \sigma(z) \int_0^{\tau} \tilde{F}^{-1} \|H_{2u}(\omega)\| \|H_{2u}(\omega)\| u(\tau, z) dT dz \quad (1)$$

$$L_w(\tau) = -\rho b \frac{dC_F}{d\alpha} \int_0^l \sigma(z) \int_0^{\tau} \tilde{F}^{-1} \|H_{2w}(\omega)\| \|H_{2w}(\omega)\| w(\tau, z) dT dz \quad (2)$$

($\tilde{F}^{-1}$; 逆フーリエ変換を表す)

$$L_{\dot{\varphi}}(\tau) = \rho U b^2 l \frac{dC_F}{d\alpha} \dot{\varphi}(\tau), \quad L_{\varphi}(\tau) = \rho U b^2 l \frac{dC_F}{d\alpha} \varphi(\tau) \quad (3)$$

$$\text{ただし、} \|H_{2\tilde{x}}(\omega)\| = \left\{ \frac{2}{\chi_{\tilde{x}\tilde{x}}} (\chi_{\tilde{x}\tilde{x}} - 1 + e^{-\chi_{\tilde{x}\tilde{x}}}) \right\}^{1/2}, \quad \chi_{\tilde{x}\tilde{x}} = k_{\tilde{x}\tilde{x}} l n / U \quad (4)$$

$$\|H_{3\tilde{x}}(\omega)\| = \left\{ \frac{2}{\chi_{\tilde{x}\tilde{x}}} (\chi_{\tilde{x}\tilde{x}} - 1 + e^{-\chi_{\tilde{x}\tilde{x}}}) \right\}^{1/2}, \quad \chi_{\tilde{x}\tilde{x}} = 2 k_{\tilde{x}\tilde{x}} b n / U \quad (5)$$

($\tilde{x}$; u, w)

(1), (2) の場合を仮定すれば、曲げ変化は *duhamel* 積分により、 τ の関数に表わされる。

$$z(\tau) = z_0(\tau) + z_u(\tau) + z_w(\tau) + z_{\dot{\varphi}}(\tau) + z_{\varphi}(\tau) \quad (6)$$

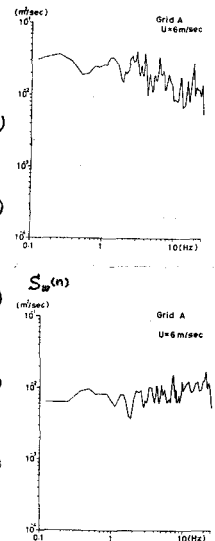


図 1

ただし、 α の初期値の影響を表わす。

$$g_z(t) = \int_0^t g_z(t-\tau) h_z(\tau) d\tau \quad (z; u, w, \phi, \psi)$$

ここに $g_z(t)$ は振動系の伝達関数である。

4. 計算結果

図1は実験に用いた格子による変動風速のスペクトルである。鉛直変動風速は2542 m^2/s^2 ではほとんど減衰がみられないうが、平均風速が下がるにつれて

ローフは伝達関数側に移動する。図2は鉛直変動風速のスペクトル2点間のコーヒレンスの平方根を示す。変動風速の空間的

な広がりによる減衰を表わす指数主数 k (を表わす) として $k=10, 15, 20$ および 30 を用いた場合を图中的に表わした。コ

ーヒレンスの計算精度上の問題が残されているが、系の固有振動数付近を一致させることすれば k は $20 \sim 30$ と考えられる。計算では $k=20$ を用いた。図3は(1)~(6)式により計算した応答の一例である。実測値と計算結果とは最初の3秒までぐらゐを除いてほぼ、振幅ともあまり一致していない。この原因は実測においては変動風速が3次元的な乱れであるため地点での変動風速の観測が十分に全体の揺れを表わし得ないこと、また実験において曲げ振動と同時にローリング振動が生じ、2つの固有振動数が比較的近いことからうなり現象がみられこれが応答として記録されたことなどが考えられる。図4は *Duhamel* 積分により、いくつかの仮定の下に計算した応答のスペクトルである。また図5は *A.G. Davenport* の方法により求めた応答のスペクトル計算結果である。これらの図をみれば、*Duhamel* 積分により計算した応答は時間軸では必ずしも実測値と一致しないが、パワー・スペクトルのピークに注目すれば比較よく一致しているものと考えられる。一方、*Davenport* の方法ではかなり過大評価しているという結果が得られた。この原因は周波数応答関数を絶対値評価していること、変動風速の非定常性の問題などが考えられるが、これらについては今後検討していく予定である。

5. おまじ

揺れを準定常的に取扱ひ、変動風速の空間分布による減衰効果としてコーヒレンスを用い、*Duhamel* 積分によって計算した応答の分散値あるいはパワー・スペクトルのローフ値は実測値とよく一致がみられた。*Davenport* の方法による応答の計算はかなり過大評価を与える。この2点が胸にひかになった。

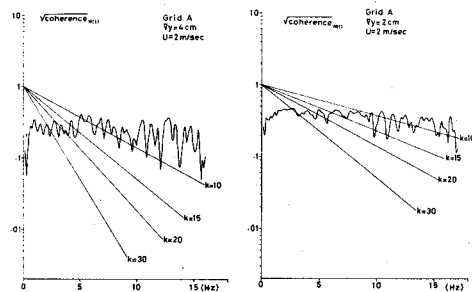


図2

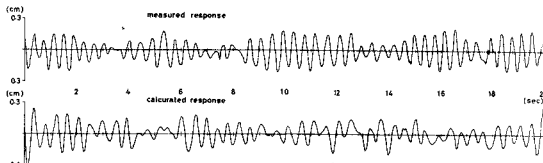


図3

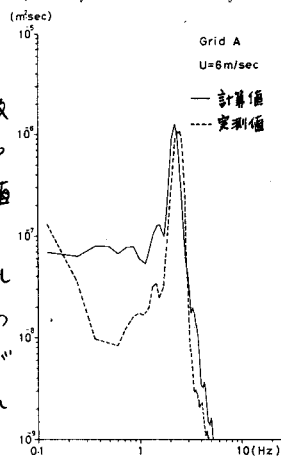


図4

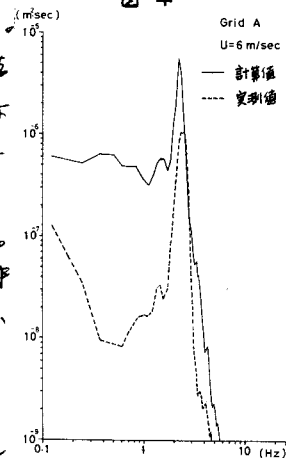


図5