

I-347

箱桁断面橋梁の乱流応答特性に及ぼす乱れ強さの効果

住友重機械工業株式会社 正員 風間 浩二
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 橋梁の耐風安定性を評価する上で自然風中の挙動を精度よく推定することは極めて重要な事である。この推定は一般的には一様流を用いた風洞実験により得られた静的空気力係数を用いて周波数領域で計算される。一方、乱流中の振動応答特性は入力となる乱流の特性により大きな相違のある場合もある。ここでは入力となる乱流のパラメータとして乱れの強さに着目し、乱れの強さが三分力係数に与える影響及び乱流応答特性に与える影響について検討を行った。

2. 実験概要 実験は乱れの強さに着目し、逆台形箱桁断面橋梁モデルに対し一様流及び3種類の一様乱流中において三分力試験ならびに二次元ばね支持試験を実施した。また、三分力試験から得られた静的空気力係数を用いて周波数領域における振動応答推定計算を行った。今回の実験は風洞の測定部の上流に乱流格子を設置し一様乱流を発生させる事により行った。乱流格子の寸法及び流れの計測結果を表

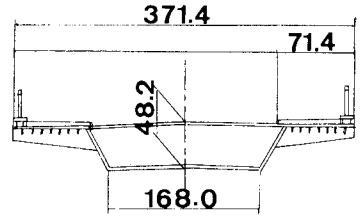


図1 対象模型断面図

1に示す。また、対象とした断面形状は図1に示すような逆台形箱桁である。（ $2m/\rho BHl=489$, $\delta\eta=0.012$ ）

3. 実験結果 乱れの強さの三分力係数に及ぼす影響を図2,3,4、表2に示す。乱れの強さの変化によって、各係数とも変化しており、乱れの強さが14%にもなると揚力傾斜に変化が見られる。また、抗力係数は $-6\sim-15^\circ$ 及び 10° 以上のところで大きな変化が見られる。さらに、モーメント係数は負の迎角で $Iu=14\%$ のものの勾配が比較的緩やかになるとともに正迎角においては乱れ強さが大きくなるに従いその負勾配が小さくなりさらには正勾配へと転じている。

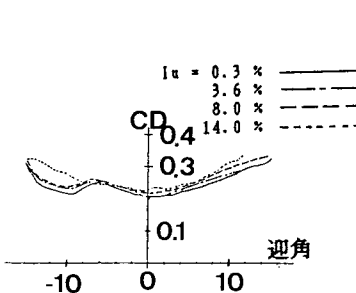
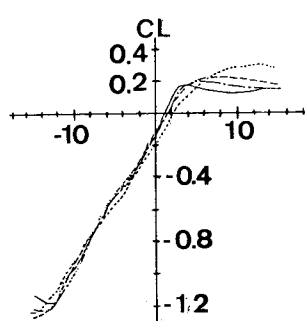
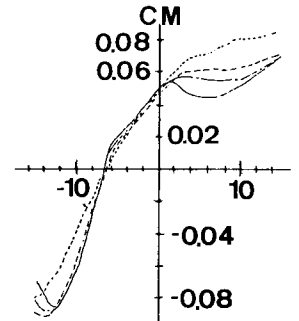
表1 乱流格子性能

格子	M (mm)	b (mm)	Iu (%)	Iw (%)	Lx (cm)	x/M
A	250	50	3.6	3.1	14.8	30.2
B	700	140	8.0	6.4	16.5	10.8
C	850	280	14.0	12.1	14.5	9.0

表2 三分力係数

格子なし	Iu (%)	C_D	C_L	C_M	$dC_F/d\alpha$
A	0.3	0.211	-0.104	0.099	5.87
B	3.6	0.207	-0.131	0.096	5.39
C	8.0	0.217	-0.144	0.095	5.40
	14.0	0.231	-0.202	0.095	4.87

乱流中の二次元ばね支持試験の結果（たわみ応答）を図5に示す。各乱流とも平均風速の上昇と共に応答振幅が増大しているが、乱れ強さが14%のものは他と比較して顕著に応答振幅が大きくなっている。また、振動応答もその不規則性が非常に大きくなるという結果が得られた。

図2 Iuの C_D に及ぼす影響図3 Iuの C_L に及ぼす影響図4 Iuの C_M に及ぼす影響

4. 計算結果 3. で得られた空気力係数を用いて周波数領域において行った乱流応答振幅の推定値の代表例を図6に示す。また、その計算過程を以下に示す。まず、振動方程式は

$$M_i \{ \ddot{q}_i + 2\zeta_i \omega_i \dot{q}_i + \omega_i^2 q_i \} = P_i \quad \dots(1) \quad \text{となる。}$$

ここに、 M_i : 第*i*次の換算質量 ($= \int_0^l m(x) \Phi_i^2(x) dx$) , m : 単位長さあたり質量, l : 橋長,

x : 橋軸方向座標, $h(x, t)$: 鉛直たわみ振動変位 ($= \sum q_i^2 \Phi_i^2(x)$)

$\Phi_i(x)$: 第*i*次モード関数, q_i : 第*i*次の一般座標, t : 時間, $'$: 時間微分

ζ_i : 第*i*次の構造減衰定数, ω_i : 第*i*次の固有円振動数

P_i : 第*i*次の換算外力 である。そして以下の方法で不規則振動論により強制振動を推定した

$$\tilde{h}(x)^2 = \sum \tilde{q}_i^2 \Phi_i^2(x) \quad \dots(2) \quad , \quad \tilde{q}_i^2 = \int S_{q_i q_i}(f) df \quad \dots(3)$$

$$S_{q_i q_i}(f) = 1 / [M_i (2\pi f_i)^2]^2 \times$$

$$S_{v_i v_i}(f) / [\{ 1 - (f/f_i)^2 \}^2 + \{ (\delta_i + \delta_{a_i})(f/f_i) / \pi \}^2] \quad \dots(4)$$

$$S_{v_i v_i} = S_{v_0 v_0}(f) |J_i(f)|^2 \quad \dots(5)$$

$$|J_i(f)|^2 = \int \int \text{coh}(f, x_1, x_2) \Phi_i(x_1) \Phi_i(x_2) dx_1 dx_2 \quad \dots(6)$$

ここに、 $\sim$; 標準偏差を示す, f : 振動数, f_i : 第*i*次モードの固有振動数,

δ_i : 第*i*次モードの無風時の対数減衰率, δ_{a_i} : 第*i*次モードの空力対数減衰率

$|J_i(f)|^2$: 第*i*次モードのジョイントアクセプタンス関数,

coh : コヒーレンス関数 (本解析では ($= \exp(-7f|x_1 - x_2|/U)$) で近似した。)

$S_{v_0 v_0}(f)$: 強制空気力のパワースペクトル

である。また、本解析では強制空気力は変動風速 u (主流方向), w (鉛直方向) と線形的に関係づけられるとして、強制空気力のパワースペクトルを

$$S_{v_0 v_0}(f) = (1/2 \rho U^2 B^2)^2 \times$$

$$[|H_{au}(f)|^2 S_{uu}(f) / U^2 + |H_{aw}(f)|^2 S_{ww}(f) / U^2] \quad \dots(7) \text{ と近似した。}$$

ここに、 $|H_{au, w}(f)|^2$: 空力アドミッタンス関数, $S_{uu, ww}(f)$: 変動風速のスペクトル

である。そして、ここでは空力アドミッタンス関数として u に対しては

$$|H_{au}(f)| = |2Cf| \quad \dots(8) \quad \text{を用い、} w \text{ 成分に対しては}$$

$$|H_{aw}(f)| = |dCf/d\alpha| / \sqrt{(1 + 2\pi^2 f_r^2)} \quad \dots(9) \text{ を用いて計算を行った。ここに、}$$

Cf : 定常空気力係数, $dCf/d\alpha$: 揚力傾斜, f_r : 換算振動数 ($= fB/U$) である。

計算結果は乱れ強さの小さいもの ($Iu=3.6, 8.0\%$) に対しては概ねよく一致するが乱れの強さが14%程度になると計算結果よりもばね支持試験で得られる振動応答の方が大きくなる結果が得られた。

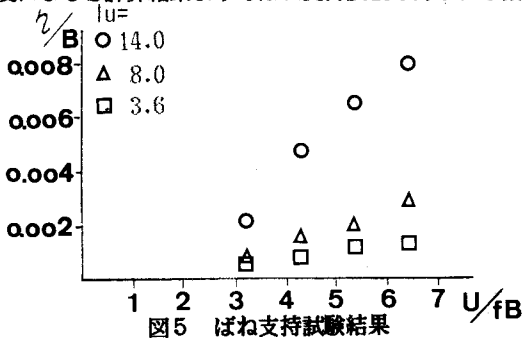


図5 ばね支持試験結果

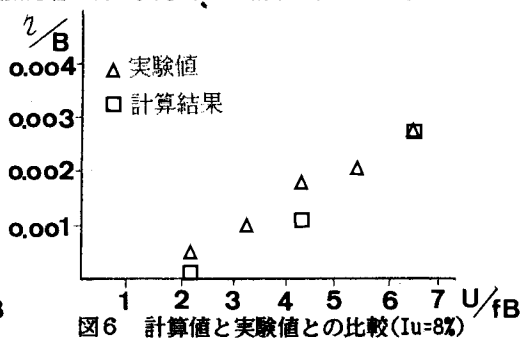


図6 計算値と実験値との比較(Iu=8%)

5. 結論及び今後の課題

一様乱流を用いて逆台形箱桁断面橋梁に及ぼす乱れ強さの影響を検討した。主要な結果を以下に記す。

- 1) 乱れ強さが大きくなると特に迎角の大きいところで三分力係数に大きな影響が見られる。
- 2) 揚力傾斜は乱れ強さが大きくなると減少するが乱流応答振幅は逆に大きくなる。
- 3) $Iu=14\%$ の乱流応答は応答推定値をかなり上回る振幅となりその時系列波形も非定常性の強いものであった。これらの事からつぎの結論を得た<1>乱れ強さの小さい範囲では既往の周波数領域での解析により乱流応答の推定ができる。<2>乱れ強さの大きな所では非定常性が大きくなり流れの非定常性を考慮した解析法が必要となる。