

東京大学工学部 学 岩本政巳 正 藤野陽三
正 伊藤 學 正 篠 泉

石川島播磨重工業株式会社（IHI） 正 樋上琇一

横浜国立大学 正 宮田利雄 本四公団 正 辰已正明

日本鋼管株式会社（NKK） 正 武田勝昭

1. まえがき 昨年、明石海峡大橋箱桁案（図1）の三次元模型による風洞実験についての発表を行なった。今回は一樣流中のフラッターに注目し、三次元模型によるフラッター発振風速の実験値を部分模型による風洞実験の結果からストリップ理論により予測し、両者を比較することでその予測の信頼性を検証する。

2. 予測モデル 予測モデルは東大をはじめ3機関で実験に用いられた3種類の三次元模型（図2、相似比はすべて1/350）である。各々について、断面形状が変化する変断面橋と断面形状が一樣な一樣断面（Bluff断面）橋があり、また気流傾斜角は0°と3°に設定しており、総ケース数は20に及ぶ。

3. 予測方法 ①解析方法：部分模型実験の結果より得られた動的空気力（非定常空気力）を考慮した桁断面についての運動方程式を立てる。これを振動モード（鉛直たわみ、ねじれとも対称一次モード）に従って橋軸方向に積分すると、最終的な運動方程式は次のようになる。なお、振動は鉛直たわみ、ねじれの2自由度系とし、ケーブルによる空力減衰は無視した。また、静的ねじれ変形の橋軸方向分布は三次元模型の実験結果（IHI）を使用した。減衰定数 ζ_z 、 ζ_θ も各模型の実験値を用いた。

$$I_z [\ddot{z} + 2\zeta_z \omega_z \dot{z} + \omega_z^2 z] = L_1 \ddot{z} + L_2 \dot{z} + L_3 \ddot{\theta} + L_4 \dot{\theta}$$

$$I_\theta [\ddot{\theta} + 2\zeta_\theta \omega_\theta \dot{\theta} + \omega_\theta^2 \theta] = M_1 \ddot{z} + M_2 \dot{z} + M_3 \ddot{\theta} + M_4 \dot{\theta}$$

ここで、 z 、 θ は各々鉛直たわみ、ねじれ変位、 I_z 、 I_θ は一

般化慣性である。方程式の右辺は一般化動的空気力項である。動的空気力係数 $L_1 \sim L_4$ 、 $M_1 \sim M_4$ は風速、振動数及び迎角の関数である。

この方程式より風速を仮定して実験値より静的変形を求め、さらに振動数を仮定して風速、静的変形、振動数より動的空気力を計算して複素固有値解析を行ない、繰返し計算によってモード減衰が零となる風速をフラッター発振風速とする。

②部分模型実験：予測に必要な桁断面に作用する動的空気力を求める部分模型実験を鉛直たわみ、ねじれの強制正弦波加振法により行なった（IHI）。この結果を用いて予測を行なった。さらに、バネ支持模型

実験（IHI、図3）との対応をつけるために換算風速に補正係数を導入した場合についても予測を試みた。

4. 予測結果の評価 得られたフラッター発振風速の予測値を三次元模型による風洞実験結果と比較する（表1）。補正係数を導入した場合については、一樣断面橋の2、3のケースで2割程度の誤差が生じている他は3種類のいずれの模型についてもほぼ10%以内と予測精度は高い。

バネ支持模型実験の結果を見ると、Bluff断面では迎角が+3°付近からフラッター発振風速が迎角の変化に大変敏感になっており、正確な予測を困難にしている。さらには、三次元模型は極めてフレキシブ

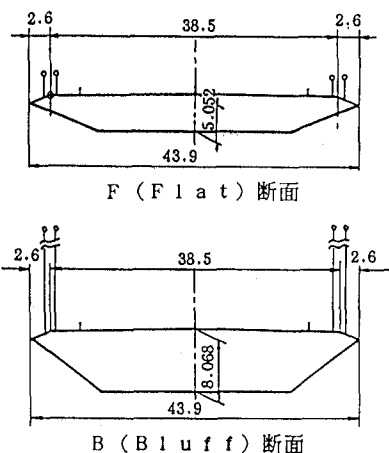


図1 明石海峡大橋箱桁案の断面図（実橋値、単位：m）

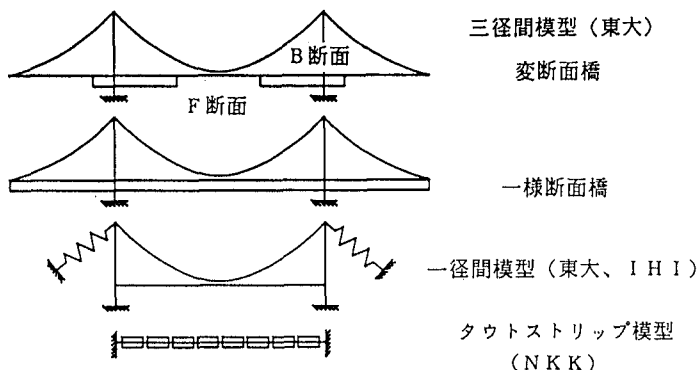


図2 予測モデル

ルであるため、初期の模型の設定、若干の気流の傾斜角が結果に大きく影響を及ぼす。これが、一様断面（B u f f断面）橋においては予測精度が低い原因になっていると思われる。

今回の予測においては、静的空気力による桁のねじれの静的変形として三次元模型実験の結果を用いている。これは、部分模型実験（三分力実験）結果から静的変形を予測した結果、変断面橋については三次元模型実験結果とうまく対応しなかったためである。一様断面橋については静的変形の予測がほぼ正確に行なわれているので、その結果を用いてケース12, 13についてのフラッター発振風速の予測（補正係数を導入）を行なった。その結果、予測値4.70、2.47 m/s（予測値／実験値は各々1.00、0.85）と、静的変形に三次元模型実験の結果を用いて予測を行なった場合とほぼ一致する。

5. あとがき フラッター発振風速の予測は、静的変位が正確に行えれば高い精度で可能であると言える。静的変位の予測についての検討が今後の課題となろう。また、境界層乱流中でのガスト応答の予測について同様の研究を今後行なって行く予定である。

謝辞 本実験は本四公団耐風委員会（宮田委員長）の指導のもとに行なわれたものである。

参考文献 R.H.Scanlan : THE ACTION OF FLEXIBLE BRIDGES UNDER WIND, I: FLUTTER THEORY , Journal of Sound and Vibration(1978)60(2), 187-199

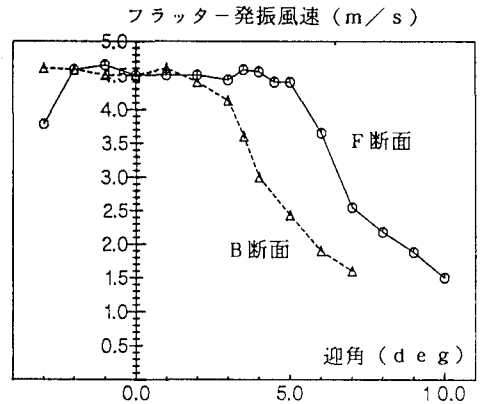


図3 バネ支持模型実験結果

縮尺：1/350

ねじれ振動数：4.154 Hz (F断面)
4.131 Hz (B断面)

表1 フラッター発振風速予測結果

予測ケース		気流 傾斜角	フラッター発振風速 (m/s)				実施 機関	
			実験値	予測値		予測値／実験値		
1	変断面橋三径間	0°	4.3	4.26	4.27	0.99	0.99	東京 大学
2	F断面58%	+3°	3.4	3.30	(3.66)	0.97	(1.08)	
3	変断面橋一径間	0°	4.1	3.94	3.95	0.96	0.96	
4	F断面58%	+3°	3.2	3.07	(3.41)	0.96	(1.06)	
5	一様断面橋三径間	0°	4.1	4.71	5.10	1.15	1.24	
6		+3°	2.9	2.83	3.00	0.98	1.03	
7	一様断面橋一径間	0°	3.95	3.86	4.16	0.98	1.05	
8		+3°	2.95	2.49	2.64	0.85	0.89	
9	変断面橋一径間	0°	4.1	3.91	3.91	0.96	0.95	I H I
10			4.3	4.20	4.27	0.98	0.99	
11	F断面58%	+3°	2.8	2.93	(3.21)	1.05	(1.15)	
12	一様断面橋一径間	0°	4.7	4.60	(4.76)	0.98	(1.01)	
13		+3°	2.9	2.33	2.48	0.80	0.86	N K K
14	変断面橋タウト	0°	10.30	11.09	11.44	1.08	1.11	
15	F断面58%	+3°	7.61	7.80	8.55	1.03	1.12	
16	変断面橋タウト	0°	11.11	11.31	11.57	1.02	1.04	
17	F断面50%	+3°	8.00	8.26	8.99	1.03	1.12	
18	変断面橋タウト	0°	11.49	11.35	11.66	0.99	1.02	
19	F断面42%	+3°	7.98	8.45	8.93	1.06	1.12	
20	一様断面橋タウト	+3°	6.38	6.06	6.48	0.95	1.02	

注1 予測値、予測値／実験値において、左は補正係数を導入した場合、右はしない場合を示す。

注2 ケース10はケーブルの抗力を実橋に相似させた場合である。

注3 括弧でくくられている値は、風速、振動数が部分模型実験の範囲を超えているため動的空気力が正確に算定されていない。