

川崎重工業 正 小川一志
神戸市 横山顯二
川崎重工業 水上義彦

1. はじめに

水路横断橋は、神戸新交通システム（ポートアイランド線）において、新港第4突堤とポートアイランド間の水路上に設けられる橋梁である。橋の形式は、単弦アーチで補剛された4径間の箱桁橋で、その中央径間長は、250m、4径間の全長は521.3mとなっている。ところで、橋梁のガスト応答については、例えば、本州四国連絡橋耐風設計基準（以下、本四耐風基準）においても、風速補正係数として考慮されているが、本橋の場合、単に水平あるいは鉛直方向に長い構造物であるというよりは、アーチ部を有する関係から、水平方向と鉛直方向の両方に空間的な広がりをする構造物と考えられる。また、ガスト応答に対する風速補正係数は、アーチ部と主桁部とで相違することが推定される。本報告は、水路横断橋の耐風安定性に関する研究の一環として行なった変動風による横たわみ振動のガスト応答についての数値的な検討結果を報告するものである。

2. 解析概要

ガスト応答の解析法は、A. G. Davenportによって提案された確率統計的な手法を本橋に適用したものであり、解析の手順を次に示す。また、解析モデルは、振動モードをできるだけ忠実に表現するために、振動解析に用いた

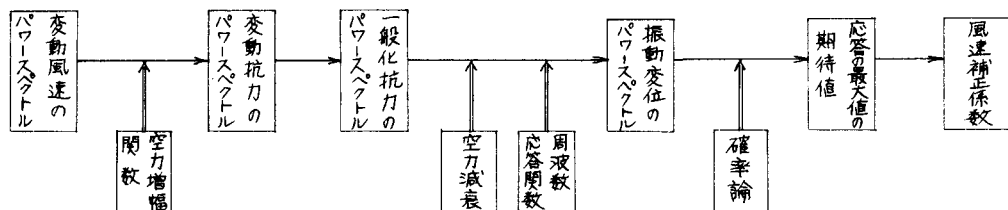


図-1 解析手順

多質点系の振動モデルを、そのままガスト応答解析用モデルとして採用した。抗力係数については、アーチ部を2.10、主桁部を1.76~1.98、橋脚部を2.10と仮定した。解析に際しては、ガスト応答の影響因子として、風速分布について①指数分布（基本風速45m/s、 $1/7$ 乗則）、②設計風速の $1/10$ 成分（アーチ部54.7m/s、主桁部52.7m/s、橋脚部50.0m/s）、③均一分布（54.7m/s）、変動風速のパワー・スペクトルとして、Davenportの式と日野の式、空気伝達関数として、Vickeryの式とDavenportの式を比較し、さらに、表面摩擦係数 $K=0.001, 0.003, 0.005$ 、空間相関係数の指数 $\lambda=0.0, 7.0, 9.0$ 、構造減衰 $\delta_s=0.01, 0.03$ に対して検討した。

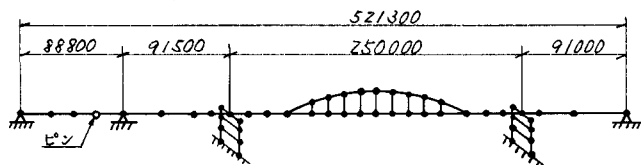


図-2 解析モデル

表-1 横たわみ振動の固有振動数

振動次数	固有振動数
1	0.405
2	1.03
3	1.06
4	1.56
5	1.70
6	2.01

3. 解析結果と考察

上記の解析概要で述べた数値解析の計算条件と、その結果を表-2に一覧として示す。今回の解析では、ガスト応答を風速補正係数として評価している。風速補正係数は次式で定義される。

$$\alpha = \sqrt{(\delta_s + \delta_g) / \delta_s} \quad \text{----- (1)}$$

ただし、 δ_s は平均応答変位、 δ_g はガスト応答変位の最大期待値である。

風速補正係数 α は、本四耐風基準によると次のように考慮されている。

$$\text{水平方向に長い構造物の場合} ; \alpha = \nu_2 \sqrt{\nu_4}, \quad \text{鉛直方向に長い構造物の場合} ; \alpha = \nu_3 \sqrt{\nu_5} \quad \text{--- (2)}$$

ただし、 ν_2, ν_3 は構造物の長さに対する補正係数、 ν_4, ν_5 は荷重補正係数である。

いま、本橋を水平方向に長い構造物であるとみなして、本四耐風基準を適用できるものと仮定すると、風速補正係数は、 $\alpha = \nu_2 \sqrt{\nu_4} = 1.2 \times \sqrt{1.3} = 1.37$ となる。今回の計算では、鉛直方向の空間相関係数の指数 $k_z = 0$ とした計算ケース 8 が、水平方向に長い構造物に対応して、風速補正係数は、アーチ部で 1.33、主桁部で 1.39 となる。

次に風速補正係数を橋全体についてみると図-3 のようになる。アーチ部で 1.29 ~ 1.32、主桁部で 1.32 ~ 1.35 となり、本四耐風基準の値 1.37 と比べて、若干低めの値となっている。なお、中央径間に隣接する側径間において、風速補正係数の値が部分的に高くなっているが、この点に関しては、今後の検討を要するものと思われる。ところで、橋の各部における剛性の違いは、見かけの振動数（または評価時間）の形で、風速補正係数に影響を与えている。表-3 は、ガスト応答の評価時間と風速補正係数の関係を示したものである。評価時間による風速補正係数の影響度は実用上わずかなことが認められる。すなわち、図-3 における風速補正係数の分布については、見かけの振動数というよりも、橋の振動モードとの関係から検討する必要があるように考えられる。

最後に、本研究に際して、御指導を賜った京都大学 白石教授に感謝いたします。

表-2 ガスト応答の計算ケース（評価時間 600 秒）

計算ケース		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
検討の対象とする影響因子		基本ケース	変動風のバースペクトル	表面摩擦係数 K		風速分布		空間相関係数の指数 表			構造減衰 Ss	空力伝達関数
計算条件	風速分布	指数分布	指数分布	指数分布	指数分布	設計風速	均一風速	指数分布	指数分布	指数分布	指数分布	指数分布
	変動風のバースペクトル	Davenport	日野	Davenport	Davenport	Davenport	Davenport	Davenport	Davenport	Davenport	Davenport	Davenport
	空力伝達関数	Vickery	Vickery	Vickery	Vickery	Vickery	Vickery	Vickery	Vickery	Vickery	Vickery	Davenport
	表面摩擦係数	K	0.003	0.003	0.001	0.005	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
	大気安定度	m	—	2.0	—	—	—	—	—	—	—	—
	空間相関係数の指数(鉛直) k_z	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	2.0	9.0	0.0	9.0	9.0
	〃 (鉛直) k_z	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	2.0	0.0	9.0	9.0	9.0
	構造減衰 Ss	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.01	0.03
風速補正係数	アーチクローン部	1.29	1.29	1.17	1.36	1.29	1.29	1.31	1.33	1.53	1.31	1.27
	主桁部(中央径間)	1.33	1.34	1.20	1.42	1.33	1.34	1.37	1.39	1.62	1.37	1.32

表-3 評価時間と風速補正係数（計算ケース 1）

各部の風速補正係数	評価時間 60 sec	300 sec	600 sec	3600 sec	6000 sec
アーチ部(中央径間)の風速補正係数	1.23	1.27	1.29	1.32	1.33
主桁部(中央径間)の風速補正係数	1.27	1.32	1.33	1.38	1.39

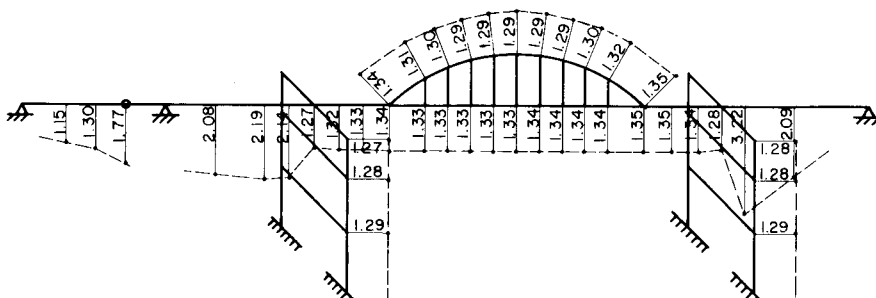


図-3 各部の風速補正係数（計算ケース 1）

1) 土木学会：本州四国連絡橋耐風設計基準（1976）・同解説，1976

2) A. G. Davenport：Buffetting of a Suspension Bridge by Storm Winds, Proc. ASCE, ST3, 1962