

橋梁断面の非定常空気力測定法に関する研究

九州工業大学 学生員の廣中 忠孝

九州工業大学 正 員 久保 喜延

九州工業大学 正 員 加藤九州男

1. まえがき 現在、橋梁断面を決定する場合、模型を用いた風洞実験の結果から風荷重および耐風特性を推定している。その風洞実験において空力弾性振動を推定するのに必要となる非定常空気力を測定する方法として、強制振動法と自由振動法がある。

本研究では、無風時において強制振動法と自由振動法とで、空気力（空気の慣性力と非定常空気力の合力）にどの程度差が生じるのかを実験的に検討した。

2. 実験方法と解析方法 実験は図1に示す平板模型を用いて、強制加振実験と自由振動実験を行った。強制加振実験には九州工業大学付属の境界層型波浪風洞（測定部断面1800mm×1100mm）を使用し、自由振動実験には空力弾性試験用風洞（測定部断面1070mm×1070mm）を使用した。

強制加振実験では、模型を水平な状態（迎角0°）と垂直な状態（迎角90°）で曲げ加振を行い、模型支持部に取り付けてあるひずみゲージよりそれぞれリフト成分の検出を行った。実験は、加振振動数2.3, 4.5Hz, 加振片振幅1, 2, 3, 4mmにそれぞれ変化させて行った。

以下に、空気力を導く式を示す。

$$F_M \sin(\omega t + \beta_M) = F_1 \sin(\omega t + \beta_1) + F_a \sin(\omega t + \beta_a) \quad \dots \dots \dots ①$$

①式より加法定理で分解し、整理すると

$$\beta_a = \tan^{-1} \left(\frac{F_M \sin \beta_M - F_1 \sin \beta_1}{F_M \cos \beta_M - F_1 \cos \beta_1} \right) \quad \dots \dots \dots ②$$

$$\text{よって} \quad F_a = \frac{F_M \sin \beta_M - F_1 \sin \beta_1}{\sin \beta_a} \quad \dots \dots \dots ③$$

ただし、 F_M , β_M : 測定された力, その位相差（水平な状態）, F_1 , β_1 : 模型の慣性力, その位相差（垂直な状態）, F_a , β_a : 空気力, その位相差

自由振動実験では、支持した模型を水平な状態（迎角0°）と垂直な状態（迎角90°）に固定し自由減衰振動をさせ、それぞれ固有振動数と減衰率の測定を行った。模型が水平な状態で固有振動数は約3.99Hz、垂直な状態で約4.12Hzであった。

以下に、空気力を導く式を示す。

$$m \ddot{y} + c \dot{y} + k y = 0 \quad (\text{模型が垂直な状態}) \quad \dots \dots \dots ④$$

$$\text{④より} \quad 2 \zeta \omega = \frac{c}{m}, \quad \omega^2 = \frac{k}{m} \quad \dots \dots \dots ⑤$$

$$m \ddot{y} + c \dot{y} + k y = F_a \sin(\omega_1 t + \beta_a) \quad (\text{模型が水平な状態}) \quad \dots \dots \dots ⑥$$

$$\text{⑥より} \quad 2 \zeta_1 \omega_1 = \frac{1}{m} \left(c - \frac{F_a \sin \beta_a}{\omega_1 y_0} \right), \quad \omega_1^2 = \frac{1}{m} \left(k - \frac{F_a \cos \beta_a}{y_0} \right) \quad \dots \dots \dots ⑦$$

⑤, ⑦式より整理すると

$$\beta_a = \tan^{-1} \left\{ \frac{2 \omega_1 (\zeta \omega - \zeta_1 \omega_1)}{\omega^2 - \omega_1^2} \right\} \quad \dots \dots \dots ⑧$$

$$\text{よって} \quad F_a = \frac{2 \omega_1 y_0 m (\zeta \omega - \zeta_1 \omega_1)}{\sin \beta_a} \quad \dots \dots \dots ⑨$$

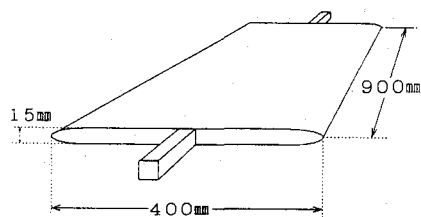


図1 平板模型

ただし、 m ：模型の質量、 y_0 ：片振幅、 F_a 、 β_a ：空気力、その位相差

3. 実験結果 表1は③、⑨式から求めた空気力を示しており、図2は表1の強制振動と自由振動の振動数が4Hzの場合をプロットしたグラフであり、表2、図3は表1の値をそれぞれの振幅と角振動数の自乗で割ったものを示している。

表1 空気力 (kgf)

片振幅	強制振動				自由振動
	2 Hz	3 Hz	4 Hz	5 Hz	約 4 Hz
1 mm	0.0148	0.0358	0.0662	0.1128	0.0123
2 mm	0.0301	0.0708	0.1323	0.2254	0.0237
3 mm	0.0441	0.1024	0.1923	0.3259	0.0367
4 mm	0.0588	0.1407	0.2661	0.4498	0.0493

表2 空気力を振幅と角振動数の自乗で割ったもの (kg)

片振幅	強制振動				自由振動
	2 Hz	3 Hz	4 Hz	5 Hz	約 4 Hz
1 mm	0.0938	0.1007	0.1047	0.1143	0.0196
2 mm	0.0954	0.0996	0.1048	0.1142	0.0189
3 mm	0.0930	0.0960	0.1015	0.1101	0.0195
4 mm	0.0931	0.0990	0.1053	0.1139	0.0196

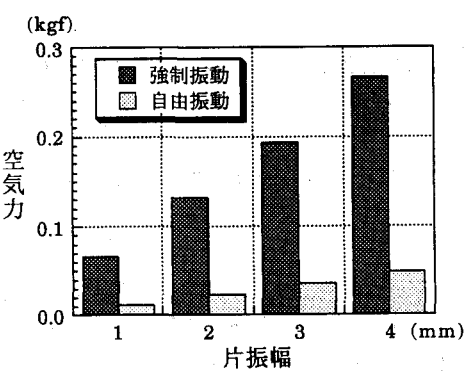


図2 振動数4Hzのときの空気力

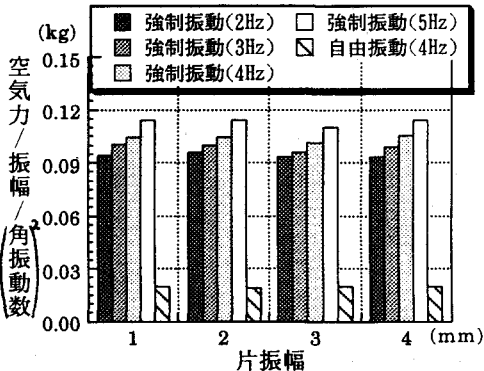


図3 空気力を振幅と角振動数の自乗で割ったもの

表1、図2を見ると、強制振動法と自由振動法の違いによって、同じ振動数であるにも関わらず、どの振幅においても約5.4倍の違いがある。これは定常振動と過渡減衰振動の違いで、平板に影響する空気の体積が異なっているためと考えられる。

表2、図3を見ると、強制振動法による結果の中でも振動数が異なると値が変化している。これは振動数が変化することで、平板に影響する空気の体積が異なっているためと考えられる。しかし、同一の振動数であれば振幅が異なってもほぼ同一な値を示している。このことは振幅に対して、平板に影響する空気の体積は線形的であるといえる。

4. まとめ 今回の研究で以下のことが分かった。

- ・無風時において強制振動と自由振動とは同一の振動数、振幅であっても空気力（空気の慣性力と非定常空気力の合力）が異なっている。
- ・振動数と空気力との間には線形性は成り立っていないが、振幅と空気力との間には線形性は成り立っている。

※参考文献 廣中忠孝、久保喜延、高井芳友「非定常空気力測定時における空気の慣性力の影響について」第47回年次学術講演会講演概要集（1992.9）