

## 1. まえがき

近年、耐風工学の問題に数値流体解析を積極的に活用する試みがさかんに実施されている。本研究では橋梁断面まわりの流れについて ALE 有限要素法を適用し、空力応答特性を求め、実験結果と比較することによりその精度等の検討を行った。

## 2. 解析方法

流れの基礎方程式として Navier-Stokes 方程式(1)と連続の式(2)を用いる。これらに有限要素法を用いて離散化した。時間積分には、流体に 3 段階 Taylor-Galerkin 法、橋梁断面の運動方程式には線形加速度法を用いた。<sup>1)</sup>

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + (u_j - w_j) w_{i,j} + p_i - \frac{1}{\text{Re}} (u_{i,j} - u_{j,i})_{,j} = f_i \quad (1)$$

$$u_{i,i} = 0 \quad (2)$$

対象とする橋梁の断面形状は、解析結果の妥当性を検討するため、過去に立命館大学で風洞実験を行った<sup>2)</sup> 模型の形状 (図 1) を用いることにした。なお、高欄などの付加物は考慮せず、図 2 に示す断面形状について解析を行った。橋の全幅を B、桁高 D とすれば B/D=5.95 である。境界条件を図 3 に示す。図 4 に示すようなメッシュを用い、ALE 法によりメッシュの変形を行う。総節点数 4792、総要素数 9216 である。橋梁の変位は、流れの基礎方程式を解いて求められた流体力を橋梁の運動方程式に代入して算出している。なお、橋梁は剛体と仮定し、バネとダッシュポットにより支持されており、流れと直角方向にのみ自由に動くことができるものとする。解析に用いた無次元パラメータを表 1 に示す。風洞実験のレイノルズ数は  $\text{Re}=8.2 \times 10^4$  であるが、解析では  $\text{Re}=500$  とした。



図 1 模型の断面形状



図 2 解析に使用した断面形状

表 1 解析に用いたパラメータ

|                                      |              |
|--------------------------------------|--------------|
| レイノルズ数 Re                            | 500          |
| 無次元風速 Vr                             | 5.0~20.0     |
| 無次元時刻み幅 $\Delta T = tV/D$            | 0.003        |
| スクリーン数 Sc                            | 31.8         |
| 無次元質量 $M = m/\rho D^2$               | 726.5        |
| 無次元バネ定数 $K = m/\rho D^2 (2\pi/Vr)^2$ | 199.2~7170.3 |

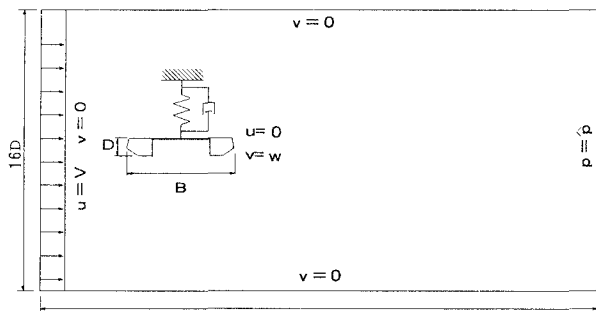


図 3 境界条件

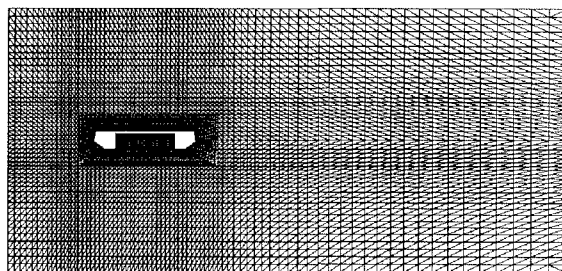


図 4 有限要素分割図

### 3.解析結果

解析は静的状態と動的状態の2通りで行った。

静的状態の、揚力係数と抗力係数の時刻歴の解析結果を図5に示す。揚力係数の変動より  $St$  数を算出すると  $St=0.163$  となった。この  $St$  数で物体が渦例振を起こすとした時の共振時の換算風速を求めると  $Vr=6.1$  となり、 $St$  数については大きい値が得られていると思われる。

動的状態の解析は換算風速を変化させることで行った。また、流入風速は一定としたので、模型の固有振動数を変えることで換算風速を変化させている。図6に解析で求められた応答特性図を示す。比較のため、図7に実験結果より得られたものをあわせて示す。解析結果では  $Vr=4.0$  で振幅のピークが見られた。その時の振幅は  $A/D=0.0002$  となった。それに対して実験結果では  $Vr=7.0$  付近から渦励振が発生し、 $Vr=10.0$  で応答はピーク値をとっている。また、応答振幅も実験と比較して小さいものになった。アルゴリズムの見直しが必要であるが、その他の要因としてレイノルズ数が実験時のものと大きくことなる事が挙げられる。本解析で用いた断面は  $B/D=5.95$  であり、流れの再付着が予想されるが、レイノルズ数が異なるため、フローパターンも異なったものと考えられる。また、振幅についてもレイノルズ数の違いから空気力の大きさも変化し、そのために小さい値が得られていると考えられるが、揚力については十分な大きさである事も考えられ、今後の検討課題である。

### 4.結論

ALE 有限要素法を用いることにより、流体と構造振動の相關問題を安定に解くことができ、風による物体の振動の発生を確かめることが出来た。

しかし、渦励振等の発現風速、応答振幅については風洞実験とは同じ傾向が得られなかった。今後、解析手法の見直しと共に、高レイノルズ数を考慮した解析を行う必要がある。

### 謝辞

本研究の遂行にあたって、ご協力いただいた立命館大学学生 須田弘明君にあらためて謝意を表します。

#### 【参考文献】

- 1)平野、丸岡、井上：箱桁橋の耐風安定性検討への数値流体解析の適用 第13回風工学シンポジウム(1994)
- 2)小林：保田大橋耐風性報告書(1996)

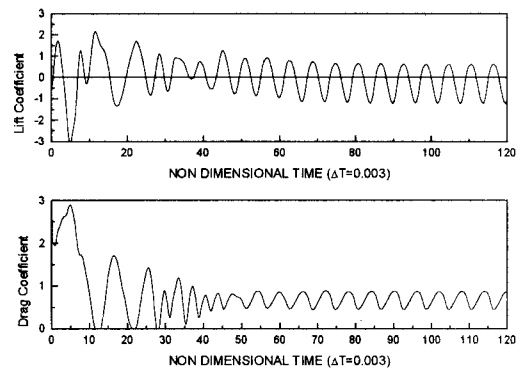


図5 揚力係数、抗力係数の時刻歴

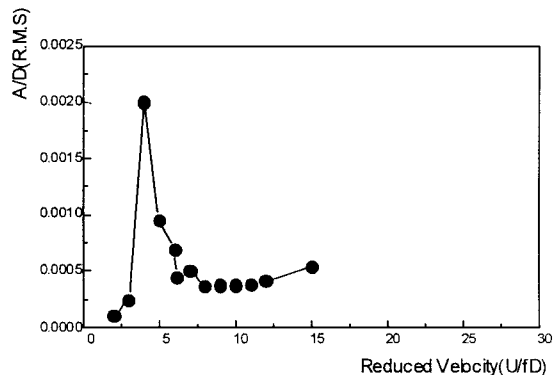


図6 応答特性図(解析結果)

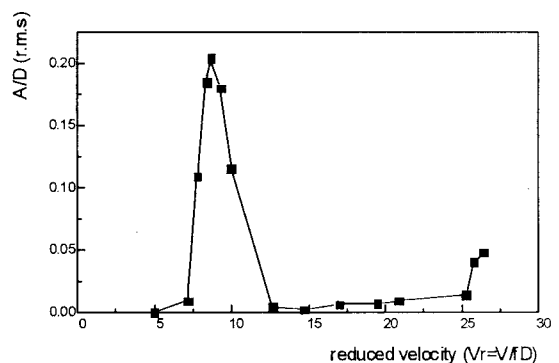


図7 応答特性図(実験結果)