

○ 三井造船(株) 正員 平野廣和

中央大学 正員 川原睦人

1. はじめに

構造物の耐風性において、動的現象の解明は非常に重要である。この現象の一つに、渦励振振動がある。これは、構造物後方に生じるカルマン渦によって、振動空気力がもたらす振動現象である。この空気力の周期と構造物の固有振動数が一致すると、共振現象を起こし、振幅が著しく増大することが知られている。ここでは、渦励振振動が流れと構造物との連成振動であることに着目し、Navier-Stokes の方程式と構造物の振動方程式に有限要素法を適用し、連成方程式を定式化して数値解析を試みた結果を報告する。

2. 基礎方程式

流れに対する運動方程式及び連続方程式は、式(1) (2)に、構造物の振動方程式は、式(3)に示す。

$$\dot{u}_i + u_j u_{i,j} + c p_{,i} - \nu (u_{i,j} + u_{j,i})_{,j} - f_i = 0 \quad (1)$$

$$\dot{p} + u_i p_{,i} + c u_{i,i} = 0 \quad (2)$$

$$m_{\mu\lambda} \ddot{y}_\lambda + d_{\mu\lambda} \dot{y}_\lambda + K_{\mu\lambda} y_\lambda = q \quad (3)$$

式(1) (2)に対して、ガレルキン法を適用し、圧力項と粘性項に部分積分をほどこした上で、有限要素方程式に定式化する。解析領域は、三角形要素で離散化し、形状関数は一次関数を用いる。また、時間方向の離散化には、二段階陽解法を用いて行なう。構造物が剛体で、図-1に示す様に、重心点一点で弾性支持されているものとする。式(3)は、連成方程式に書き代えることができる。連成方程式の逐次時間近似には、線形加速度法を用いて解析するものとする。

3. 数値解析例

数値解析例として、弾性支持された二次元円柱回りの流れと、それによる円柱の振動応答について解析を実施した。Parkisonの風洞実験の結果より、渦励振振動の特性である共振現象に着目して、解析を実施した。すなわち、弾性支持された円柱の振動は、ある特定の風速はにのみ振動が顕著になるという事実よりこの共振風速点を中心として、その前後四種類の風速における円柱の振動・空気力を求めた。

図-1に示す円柱で、バネ定数 K_y は円柱の最大変位が有限要素の最小メッシュ幅を越えないという条件より決定している。また、 $K_x \cdot K_\theta$ は、剛性を大きく取り、それぞれの方向の振幅を制限している。

図-2には、解析領域を、表1~2には、流れ及び構造に関する諸量それぞれ示すものとする。

図-3には、共振風速点(Case2)における流速分布図を示す。円柱後方でカルマン渦の発生を見ることができる。図-4は、共振風速点での円柱の変位・速度・加速度の時間的変動を示したものである。ここで、変位 Y_0 は、円柱の直径を d とすると、 $Y_0 = y/d$ として無次元化をほどこしている。表-3は各Caseの空気力係数の時間平均を、図-5には平均振幅について比較したものである。これらから、共振風速点と他の風速点との違いが明確にわかる。共振風速点に近づくにつれて円柱の振幅が増大し、離れると減少する。この結果は、渦励振振動の特性と一致している。表-4は、各Caseすべての振動数と渦の発生周波数の比較である。共振風速点では、 $f_n \cdot f_c \cdot f_{v0}$ のすべてが、0.3付近となっている。この点も渦励振振動の特性と一致している。

4. 終わりに

ここで提案した方法によって、流れと構造物が連成した問題にも有限要素法が適用できることが、確認された。この解析の一部は、32bit スーパーミニコンTOSBAS DS600/80 で実施した。

<参考文献> 児玉・平野・川原 第37回年次学術講演会

平野・川原 第35回・第36回・第37回・第38回・第39回年次学術講演会

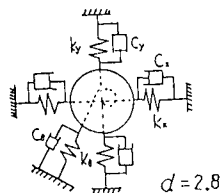


図-1 振動モデル

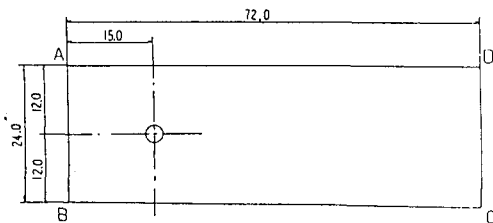


図-2 解析領域

density of air	$\rho = 0.132 \text{ kg sec}^2/\text{m}^3$
kinematic viscous coefficient	$\nu = 0.1 \text{ m}^2/\text{sec}$
sound speed in air	$c = 337.0 \text{ m/sec}$
mass of cylinder	$m = 84.43 \text{ kg sec}^2/\text{m}$
damping coefficient	$d_s = 159.15 \text{ kg sec/m}$
spring constant	$k_s = 3.0 \times 10^3 \text{ kg/m}$

表-1 解析諸係数(1)

	Case1	Case2	Case3	Case4
流速(m/s)	38.07	42.30	46.53	50.76
ωn	4.5	5.0	5.5	6.0
レイノルズ数 Re	1074	1193	1313	1431
固有振動数 f_n	3.0	3.0	3.0	3.0
減衰定数 h	0.05	0.05	0.05	0.05

表-2 解析諸係数(2) $\omega n = U / f_n d$

	Case1	Case2	Case3	Case4
C.D	1.30	1.41	1.30	1.21
C.L	-0.0405	-0.0046	0.0222	-0.116
C.M	0.0006	0.0006	0.0006	0.0005
y/d	0.0332	0.0505	0.0326	0.0242

表-3 空気力係数・振幅

	Case1	Case2	Case3	Case4
固有振動数 f_n	3.00	3.00	3.00	3.00
物体振動数 f_c	3.10	3.01	3.18	3.30
渦の発生周波数 f_v	3.00	3.02	3.27	3.38
ストロハル数 S	0.213	0.200	0.197	0.186

表-4 物体振動数と渦の発生周波数

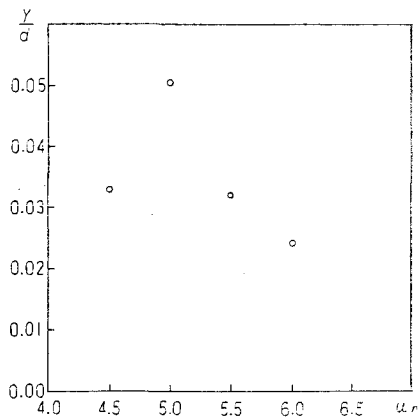


図-5 平均振幅の比較

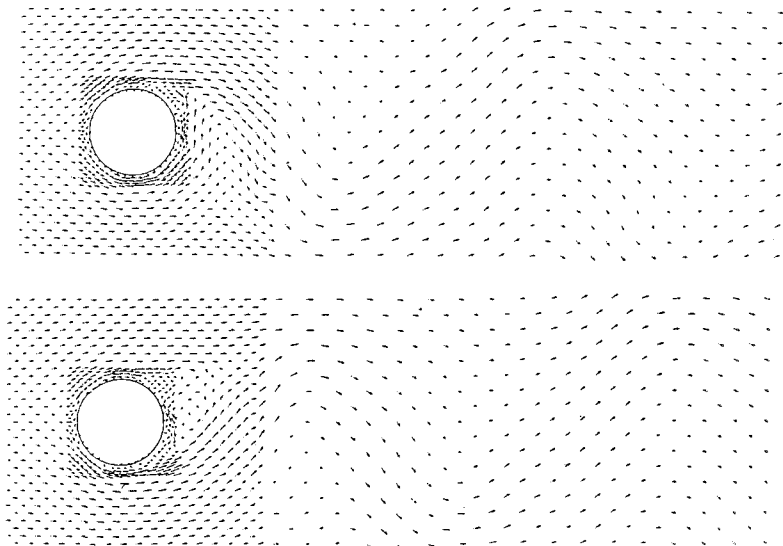


図-3 流速分布(Case2)

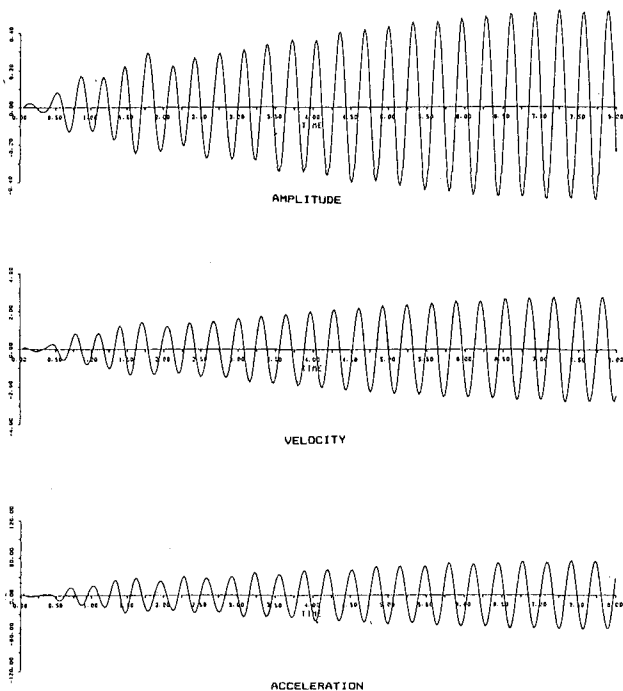


図-4 変位・速度・加速度