

渦点法による振動物体まわりの流れのシミュレーション

徳島大学工学部 正 員 ○ 長尾 文明 石川島播磨重工業(株) 正 員 村田 眞司
 徳島大学工学部 正 員 宇都宮英彦 日本興業(株) 福田 将司

1. まえがき 渦点法を用いて解析を行う際、渦の離散化に伴う初期パラメータをあらかじめ幾つか設定する必要性があり、これらの値次第で流れの解析精度が大きく異なることが経験的に知られている。ところが、これらの設定方法については定説が無く、解析による流れと可視化実験等で得られた流れの比較及び物体に作用する流体力の推定を繰り返し行い、試行錯誤しながら設定しているのが現状である。そこで、本研究では、これらのパラメータ間に一連の関連づけを行うことにより、これらの設定方法の方向性を示すことを試みた。また、今回提案する設定方法の妥当性について、曲げ一自由度振動している単純矩形($B/D=2.0$)断面に作用する空気力を解析することにより検討する。

2. 初期パラメータの設定方法 (大文字が無次元量を示す。)

渦点法における代表的な初期パラメータを次に示す。

- | | | |
|---------|------|----------------|
| ①渦点配置間隔 | DS | ($=ds/d$) |
| ②渦点移動間隔 | DDT | ($=ddt/t_0$) |
| ③渦点半径 | CORE | ($=core/d$) |
| ④渦点放出間隔 | DST | ($=dst/t_0$) |

なお、本解析においては、渦度の時間減衰、および拡散については考慮していない為、一定としている。

次に①～④のパラメータを関連づけて無次元化を行う。

I) 各諸量の無次元化 (①と②の関連づけ)

いま、一様流速 u の流れの場合の中に単純矩形($B/D=2.0$)断面が一樣流に対して迎え角 $\alpha=0^\circ$ の状態で静止している単純な場合を考える(cf. Fig. 1)。まず、時間の無次元化について、一様流 u が渦点間隔 ds だけ流下する為に必要な時間を渦点移動間隔 ddt と定義し、基準時間 t_0 ($=d/u$: 一樣流が代表長 d だけ流下する為に必要な時間)で基準化することにより次式を得る。

$$DDT = \frac{ddt}{t_0} = \frac{ds/u}{d/u} = \frac{ds}{d} = DS \quad (1)$$

II) 境界層モデルの導入 (①と③の関連づけ)

物体断面上に最も効率良く渦点を密に配置出来るという観点から渦点配置間隔 DS と渦点半径 $CORE$ の間に次式に示す関係(境界層モデル)を保つように設定した(cf. Fig. 2)。

$$DS = 2 \times CORE \quad (2)$$

III) 剥離剪断層モデルの導入 (①と④の関連づけ)

渦点法は剥離剪断層を表す渦点により複雑な流れを再現しようと試みる手法であるため、剥離渦の運動が極めて重要になる。ところで、渦点は流れの場に一度放出されると、それ以外の全ての渦点からの距離に反比例、渦度に比例する速度が誘起され、この誘起速度により運動をさらに続ける。したがって、剥離剪断層を精度良く近似しようとするとき、剥離渦の位置関係が重要であると考えられ、中でも特に流れを決定付ける最初の放出渦の導入位置が結果を大きく左右するものと思われる。そこで、本解析では次式に示すように剥離点に位置する渦点が物体表面上に配置された渦点の間隔 DS に等しい距離だけが断面から高く放出される

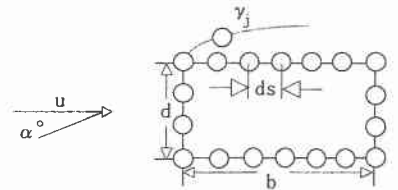


Fig. 1 流れのモデル化

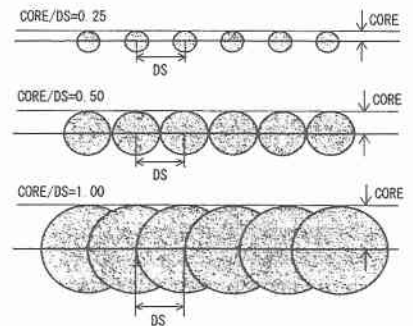


Fig. 2 DSとCOREの関係

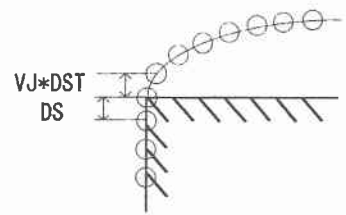


Fig. 3 渦点放出高さ K_H

(剥離剪断層モデル) ように設定した(cf. Fig. 3)。

$$K_H = \frac{VJ \cdot DST}{DS} \cong 1 \quad (3)$$

ここで、 K_H :渦点放出高さ、 VJ :渦点の平均誘起速度の鉛直方向成分である。

以上より、渦点に関する初期パラメータの設定は、最終的には渦点配置間隔 DS を最適化することに帰着できるものと考えられる。そこで、一連の関係を保たせた上で渦点配置間隔 DS を変化させたときの渦点放出高さ K_H 、および平均抗力係数 C_D をFig. 4, 5に示す。なお、横軸は渦点放出係数 $K_T (=DST/DDT)$ を意味する。

Fig. 4, 5より、 $DS=0.1$ かつ $K_T=2$ のとき実験値の対応が比較的良好なものと思われる。

以上より、代表長のほぼ一割にあたる $DS=0.1$ と設定するとき、静的な状態においては、ほぼ最適値に近いパラメータの組み合わせが得られることが推測される。

3. たわみ振動中の物体に作用する空気力の推定

初期パラメータについては、前述した考え方を基とし、振動中の上死点および下死点において、渦点が流れの中に放出されるように設定した。解析に用いた各パラメータの具体的な数値をTable 1に示す。なお、このときの渦点放出高さ K_H は $K_H=0.9602 \cong 1$ となり一連の関係は保たれていると思われる。Fig. 6に解析断面の渦励振応答図¹⁾を示す。この図において、横軸は風速を断面の固有振動数 f と桁高 D で基準化した無次元風速 Ur であり、縦軸は振幅の応答量を桁高 D で基準化した無次元振幅 Am/D を表している。本研究では、無次元風速 $Ur=5.8$ (cf. Fig. 6)において、加振振幅の変化に伴う矩形断面に作用する空気力の変化を解析により求める。Fig. 7に揚力係数 C_L の振動変位に対する位相差をスペクトル解析により求めた結果を示す。図より無次元振幅 $Am/D=0.18$ 付近より大振幅と小振幅で非常揚力係数 C_L の振動変位に対する位相差の符号が変化しており、無次元振幅が $Am/D=0.21$ 以上のところでは、すべて負の値を示し空気力が減衰力として矩形断面に作用していることが再現できている。

4. まとめ 今回提案したパラメータの設定方法により得られた各パラメータの値は、流れを精度良く再現する唯一解では無いものの、この方法を用いることにより比較的簡単に最適値に近い値を得ることができ、以前のような予備計算の繰り返しによる時間、経費の浪費を抑制できるという点で、十分実用的な方法であるといえる。

<参考文献>

- 1) 白石、松本：充実構造断面の渦励振特性に関する研究、土木学会論文集、1982

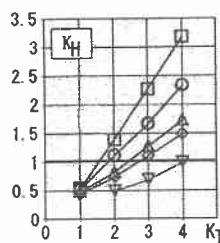


Fig. 4 渦点放出高さ K_H

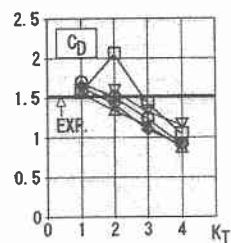


Fig. 5 抗力係数 C_D

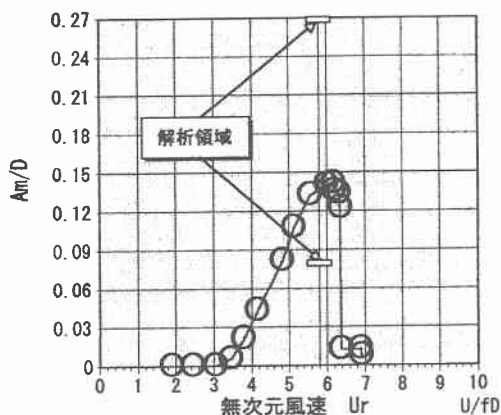
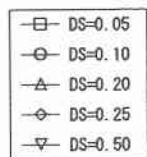


Fig. 6 $B/D=2.0$ (矩形) 渦励振応答曲線

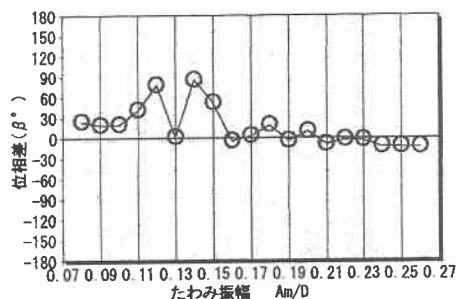


Fig. 7 揚力係数 C_L の振動変位に対する位相差

Table 1 解析条件

DS	0.10
DDT	0.090625
DST	0.181250
CORE	0.05