

物体形状によるカルマン渦列への影響に関する数値計算

秋田大学 学生会員 ○朝倉 壘 正会員 高橋 智幸

1. はじめに 運動エネルギーを電気エネルギーに変換する圧電素子を用いることで圧電式の発電装置が実現でき、その動力として、カルマン渦列を利用した水力発電方式が考えられている¹⁾。

カルマン渦列とは、流れの剥離が生じる断面物体に対し、物体後流で周期的に放出される渦列であり、その渦周波数 f_v は流速 U と物体の流れ方向に対する幅 B を用いて以下の式で示される。

$$f_v = St \frac{U}{B} \quad \dots(1)$$

ここで St (Strouhal 数) は物体形状と Re の関数として実験的に求められる定数である。

振動現象を用いて高い運動エネルギーを得ようとする場合、共振を発生させる方法が考えられる。共振を発生させるには物体の固有振動数に振動数を一致させる必要があるため、振動数をコントロールしやすく、他の流体现象に比べ周期性が高いカルマン渦列による励振が適当であるといえる。また、カルマン渦列の渦周波数は物体幅に反比例するため、物体幅を小さくすることで渦周波数を上げることができ、圧電式発電の特徴である小型化に向けた流体现象であるといえる。ここでは、数値計算によってカルマン渦列と物体形状の関係性を明らかにし、発電に最適な物体形状を検討していく。

2. 計算方法 物体周りの2次元非圧縮流れを差分法によって計算した。計算方法は MAC 法の変形である射影法²⁾を用いた。時間微分を前進差分、空間微分を中央差分、非線形項は3次上流差分によって差分化した。格子は極座標系を用いて作成し、周期方向には各物体形状に合わせて 100~300、長さ方向には 300 に分割し、物体近傍ほど格子を細かく取っている。時間刻みは $dt=0.0005[s]$ 、総ステップ数 30000、解析時間は 15[s]、格子幅は最小値で $dh=0.1[cm]$ となっている。流速 U 、物体幅 B は(1)式に使用するため、 $U=25[cm/sec]$ 、 $B=3.0[cm]$ で統一している。

数値計算にあたり、計算結果が現象を表現できているか確認する必要がある。ここでは代表的な物体形状である円形 ($10^2 < Re < 10^7$ で $St \approx 0.21$ ³⁾) を用いて、確認されたカルマン渦列が(1)式の関係を満たしているか確認した。図-1 では理論値に対し、物体に働く揚力の周期性成分は小さく、物体後流の流速に近いものとなった。

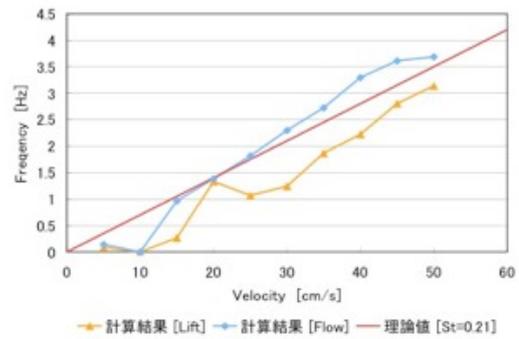


図-1 円形物体に働く揚力と後流流速の周期性成分 $B=3.0cm$

3. 基本的な形状とアスペクト比による変化 一般的な物体形状とそのアスペクト比 D/B による St 数の変化 (渦周波数の変化) を計算した。物体形状は図-2 に示す5種類を使い、アスペクト比 D/B が 0.50~3.00 の際に各物体に働く揚力の卓越周期性成分をプロットした。

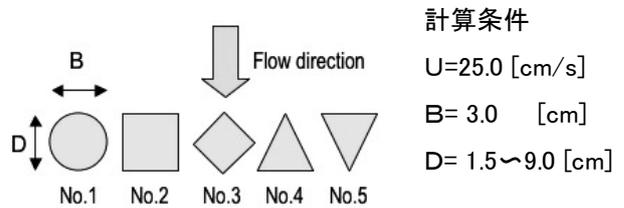


図-2 使用した形状

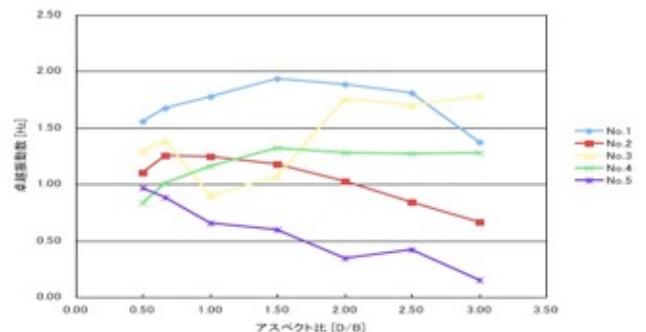


図-3 各断面形状に働く揚力周期性成分

Keyword... 圧電素子, カルマン渦列, 小型水力発電, 数値計算

〒010-8502 秋田県秋田市手形学園町 1-1 秋田大学 FAX 018-837-0407

4. 考察と分析 No.1や3のようなアスペクト比が大きくなることによって、効力抵抗が小さく、流速の損失が少ない形状では渦周波数は単調増加すると予想されたが、それらにおいて、渦周波数が下がる現象が見られた。ここで、No.1の形状に関して、アスペクト比の計算範囲を広げ、 $D/B=1.0, 3.0, 5.0$ の時系列の波形データを示す。

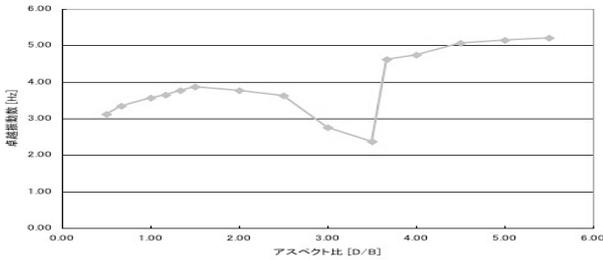


図-4 No.1(楕円形断面)に働く揚力の周期性成分

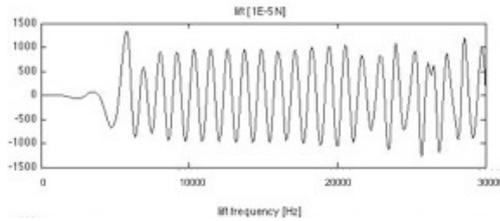


図-5 楕円形断面に働く揚力の時系列データ $D/B=1.0$

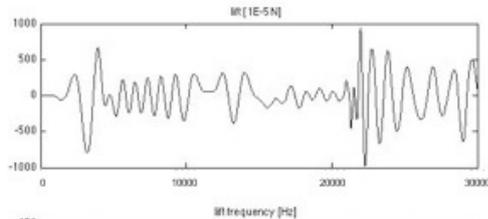


図-6 楕円形断面に働く揚力の時系列データ $D/B=3.0$

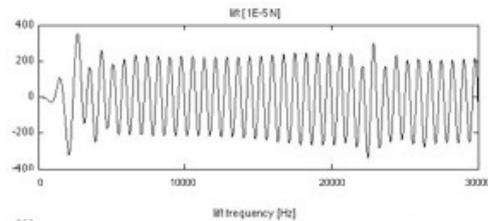


図-7 楕円形断面に働く揚力の時系列データ $D/B=5.0$

図-4 ではアスペクト比 3.5 程度で振動数が落ち込み、図-6 の時系列データから、渦の周期性が乱れているのがわかる。また、アスペクト比 4.0 以降、振動が安定していることから、アスペクト比 3.5 付近において物体前方で剥離した流れが後流の渦列に影響を与え、渦列の生成が不安定になったものと思われる。このような傾向は図-3 の No.3 の断面形状でも現れていることから、効力抵抗が小さく、剥離が小さい断面形状で発生しやすいと考えられる。

5. モデル化による解析 前述したような剥離した流れの影響を含めたカルマン渦列と物体形状の具体的な考察を行

うのは難しく、そのため、アスペクト比によらず剥離点が一様であり、剥離した流れの影響を受けにくい形状を想定した図-8 のようなモデルを作成し、計算を行った。

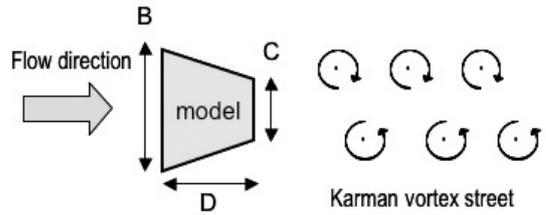


図-8 計算モデルと物体後流に発生するカルマン渦列

計算条件: $U=25.0$ [cm/s] $B=3.0$ [cm] $C=0.0\sim 4.5$ [cm] $D=1.5\sim 15.0$ [cm]

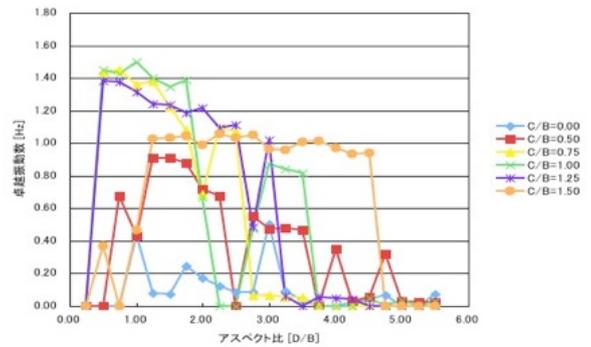


図-9 各モデルに働く揚力の周期性成分

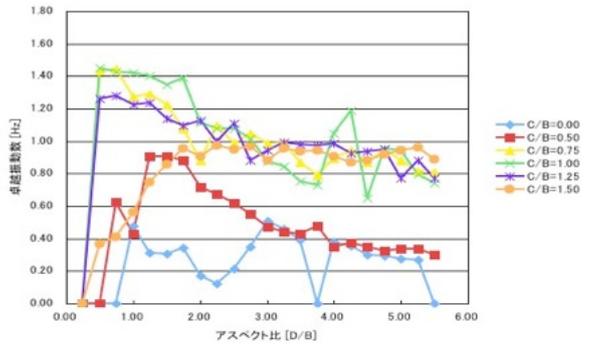


図-10 各モデルの後流流速の周期性成分

図-9 ではアスペクト比 3.0 以降、卓越した周期性成分が確認できなくなり、図-10 において後流流速で周期性が確認できるだけのものが多くなった。しかし、 $C/B=1.00, 0.50$ のように、後で周期性が現れることもあり、今後、モデル化による定式的な評価方法の検討を行っていく必要がある。

6. まとめ

アスペクト比を伸ばしていくことで渦周波数が上がる物体形状があったが、それが励振として物体に影響を与えられるか、という点では問題が残った。

- 1) 朝倉豊: 土木学会東北支部, 流力振動を用いた小型水力発電に関するスペクトル解析, 2008
- 2) 数値流体力学編集委員会編: 非圧縮性流体解析, 東京大学出版, 1995
- 3) 岡内功・伊藤学・宮田利雄: 対風構造, 丸善, 1977