

## 1.はじめに

流体の中に置かれた物体が流れによる影響を受けながら移動する問題は、土木工学に於いて様々な場面に登場する。この事を流体数値計算において実現する事は、ある程度困難を伴うと思われる。流れの中に円柱などの静止物体を置き、流れの挙動を見る研究は従来多く見られる。また風荷重を受けた橋梁の振動のようにある程度変位が制限された物体まわりの流れも時間的に格子を生成させた BFC 法のような手法によって解析が可能である。しかしながら、物体が回転している場合の解析には不向きである。本研究では、2次元の静止した直交格子系において、流体中で回転している物体の運動を評価するアルゴリズムを構築し、周辺流体の流れの計算を行って、その特性について考慮するものである。

## 2. 数値計算法

## 2.1 基礎方程式

流れを支配する方程式は2次元のナビエ・ストークス方程式と非圧縮性の連続式である。これらの方程式を SOLA 法<sup>1)</sup>によるアルゴリズムで計算した。

## 2.2 物体の回転

物体の外形は直線で近似し、その座標 $(x_i, y_i)$ をデータとして作成する。この物体を式(1)に従って回転の中心に $\theta$ だけ回転させる。回転角 $\theta$ は、回転角速度 $\omega$ を積分して求めた。また、今回は長方形の構造物のみを取り扱う為、 $i$ を4とし長方形の頂点の座標を回転させた。

$$\begin{pmatrix} x_i' \\ y_i' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \end{pmatrix} \quad (1)$$

## 2.3 物体の内と外の判別

液体部と構造物部を判別して計算を行う為、直交格子の各点が回転運動している長方形物体の内側か外

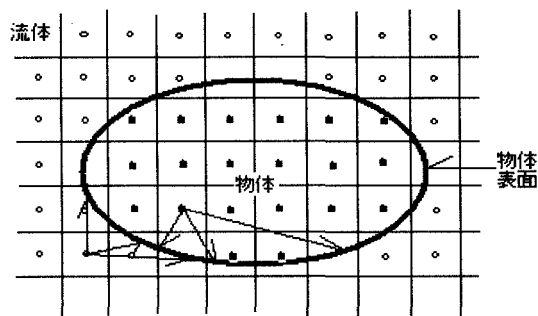


図-1 直交格子における物体の表現法

側かを判別する。この判別には様々な方法が提案されているが、今回は図-1に示すような外積を計算する方法を使用した。各格子点の中心座標から物体への外積を計算する。この時、外積の正負が変わるとベクトルが交差することになり、その格子点の中心は物体より外側にあることになる。

今回は長方形の形である為、外積による計算法で求める事が出来たが、この方法では複雑な形のものになると計測する事が出来ない。複雑なものに対しても判別することが出来る方法として巻き付き法がある。これはある点から見て多角形の線分を順に追いかけていくと1回転以上するかかどうか見る方法である。この方法では複雑な形状をした物体においても適用可能である。

## 2.4 回転物体周辺の流速・圧力の計算

500×500の格子の領域に縦120、横50の大きさの長方形物体を与え、この物体に角速度0.052を与えて回転させる。この時、領域の左側から右側に向かって流速 $u = 8.0 \text{ cm/s}$ を与え、経過時間による流速 $u_i$ 、鉛直方向の流速 $v_i$ 、圧力変化 $P$ を計測し、その変化を調べた。また物体が全く回転しない場合での経過時間による変化を解析し、回転運動しているものと比較しました。レイノルズ数は27000である。

キーワード 回転運動 巻き付き法

連絡先 (新潟県長岡市上富岡町1603-1 TEL 0258 (47) 9621

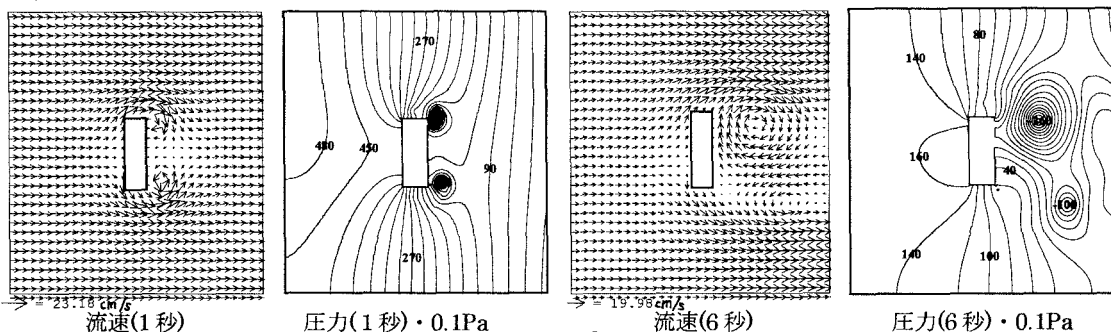


図-2 物体を静止させた状態の流速ベクトルと圧力変化

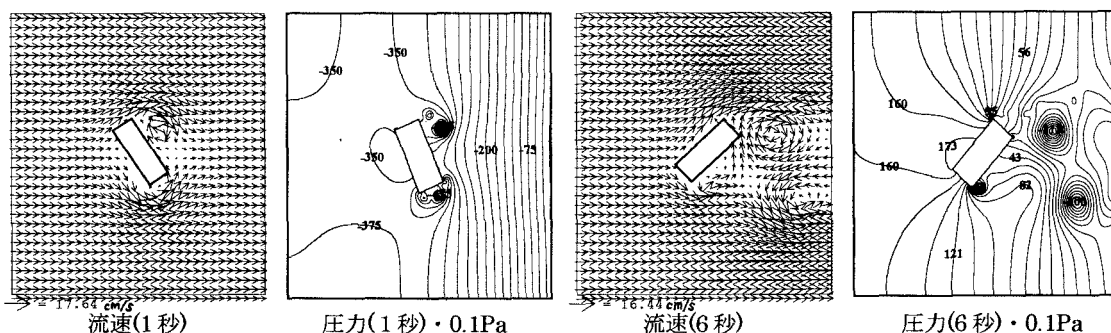


図-3 静止及び反時計方向に回転している物体の流速ベクトルと圧力変化

### 3. 結果

図-2 に長方形を静止させた状態、図-3 に長方形を領域の中心で回転させた状態の結果を示した其々の状態の1秒後と6秒後の流速ベクトルと圧力変化を示す。まず静止させた状態では、一般に流れの中に物体と置いた時に起こる現象である、カルマン渦が発生する。流速を見ると最初に下側に渦が発生し、その後、少し遅れて上側にも渦が発生する。6秒後には下側の渦は弱まるが、上側の渦が発達している事が分かる。圧力は、流れを受けている面の圧力が高く、後面の角付近、すなわちカルマン渦に応じた場所で圧力が急に低下している。時間が経つと上側の渦の圧力差が大きくなり、構造物に強い力が作用する。

物体を回転させた場合を見てみると、物体周辺に静止させた時とは異なる流速、圧力分布が見られる。物体が左方向に傾き始めるため、流れのはく離に伴う渦のため、上側後方の圧力が低下している。長方形の物体が回転することにより、各頂点と流れの位置関係が複雑になり、細かい流速変動が発生している事が分かる。この事は、圧力の等値線にも良く表

れている。これは、物体の頂点から発生する流れのはく離によるものであり、定性的には妥当なものであると言える。回転などの挙動により領域全体の圧力の変動が不均一になるのが分かる。

### まとめ

今回の計算では長方形物体を使用したため、外積を用いたアルゴリズムで内側、外側を判別する事が出来た。今後は複雑な形状をした物体においても対応出来る巻き付き法を使用して複雑な物体に本数値計算を適用したいと考えている。現段階では物体を強制的に回転させることにより物体周辺の流れの変化を観察するに留める。今後は物体に作用する流体力に応じて物体の運動方程式を解き、流れと物体の運動の動的連成問題に取り組みたいと考えている。

### 参考文献

1) 高橋亮一・棚町芳弘, 差分方, 培風館, pp.204~208, 1991