

## H1-4

## 浮揚・降下する物体まわりの流れの数値流体解析 物体接地時の節点の取り扱い

Numerical fluid analysis of the flow around an ascending/descending body:  
Handling of the nodes at the landing

○横井 薫<sup>1</sup> 野村 卓史<sup>2</sup>

Kaoru Yokoi Takashi Nomura

The objective of the present study is to develop a method to simulate flow around a body which ascends and lands on the ground by using the ALE method. When a square cylinder lands on the ground, the volume of finite elements beneath the body becomes zero, and the nodes in this region are extinguished by forcing their nodal velocities and pressure to be zero. If the nodes are extinguished at once in the single time step when the square cylinder lands, the computed velocity and pressure vibrates numerically. However, the numerical vibration is able to be removed by extinguishing a row of elements in each time step during several steps before the landing.

### 1. はじめに

強風災害の風速推定指標の一つとして、従来から墓石の転倒被害が用いられている<sup>1)</sup>。この墓石転倒に基づく風速測定は、林による竜巻被害報告で用いられた評価式<sup>1)</sup>に基づいており、直方体に作用する抗力と転倒モーメントの静的つり合い条件から推定風速を算出している。抗力には定常気流による値が用いられているが、報告されている推定値<sup>2)</sup>は過大な値である。そこで、数値流体解析によって、より精度の高い風速推定をすることを目指している。

本研究では、このような問題の数値流体解析を行うために、ALE法の考え方に基いて地上の物体が浮揚し、また降下して着地する問題を解析する方法を構築することを目的とする。

### 2. 解析手法

本研究で用いるALE法の考え方とは、移動境界にともなう解析メッシュの移動・変形を扱う技法のひとつで、Lagrange記述およびEuler記述を元に考えられている。

$$\bullet \text{ ALE 記述} \quad \frac{df}{dt} = \frac{\partial f}{\partial t} + (u_j - \hat{u}_j) \frac{\partial f}{\partial x_j} \quad (1)$$

ここで、 $f$ は物質粒子の物理量、 $u_j$ は物質粒子の速度、 $\hat{u}_j$ はメッシュ速度（節点の移動速度）である。上記のALE記述から誘導される、非圧縮性粘性流体の連続方程式および運動方程式を、有限要素法（FEM法）<sup>3)</sup>で解く。

### 3. 解析条件

解析領域は、高さ6cm×長さ14cm×奥行1cmとし、解析領域の中心を原点に正方形角柱（1辺2cm）を配置し、これを上下に動かすものとする（Fig.1）。このとき、正方形角柱周り2cmの領域はメッシュを放射状に切り、六面体要素の総要素数1600、総節点数3432である。

Fig.1の状態から角柱が上下に振動する場合の解析を行った。角柱の移動にともなうメッシュの変形パターンはFig.2のようである。また、角柱は振

幅2cm、周期4s、のsinカーブで動かした（Fig.3）。ただし、立ち上げに関しては、初期条件として流速、圧力がゼロとなる立ち上げ関数を使用している。Fig.3の鉛直変位が最大値をとるとき、角柱は上下の境界に接する。

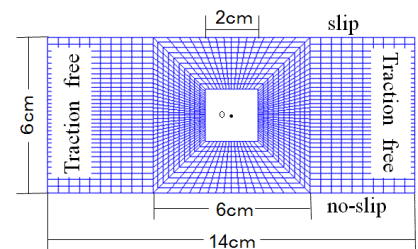


Figure 1. Finite element mesh and boundary conditions

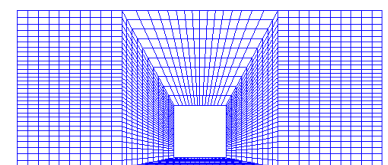


Figure 2. Deformed mesh

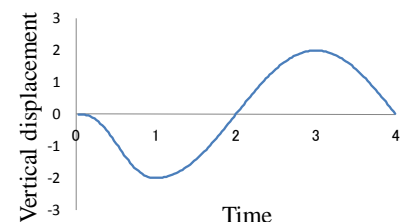


Figure 3. Time history of the cylinder displacement

1 : 日大理工・院（前）・土木 2 : 日大理工・教員・土木

#### 4. 解析結果

角柱が地面に接地する瞬間に Fig.4 左図に示した範囲の要素の体積がゼロとなる。そこで、この範囲にある節点を消滅する節点とし、該当する節点の流速  $U, V$ 、圧力  $P$  にゼロを強制的に代入する。このとき、Fig.4 右図に示した実線上にある節点は、no-slip 条件を与える節点となるので、流速  $U, V$  のみゼロとした。その次のステップで角柱が地面から離れるとき、以上の節点を元の状態に復活させる。

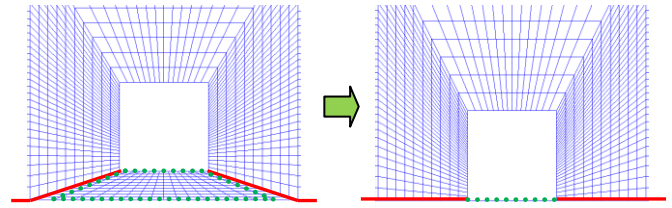


Figure4. Node disappearance region

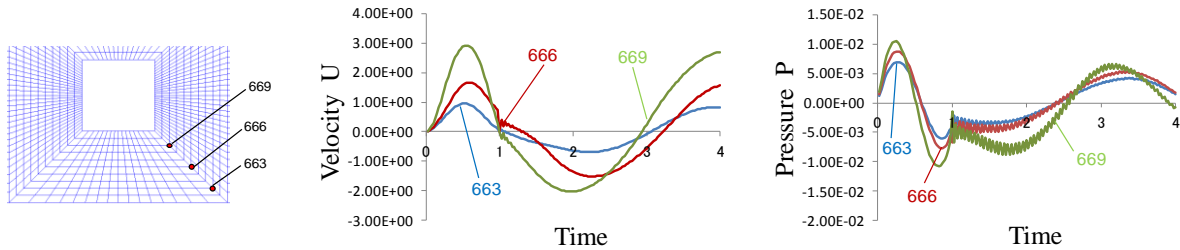


Figure5. The time histories of computed nodal velocity and pressure at the three nodes

解析結果を Fig.5 に示す。一度に節点の消滅・発生を行うと、流速・圧力ともに数値的に振動し、圧力は長時間にわたって振動する結果となった。

#### 5. 改良した取り扱い

物体の動きおよび境界条件は前述と同様とし、一段ずつ節点を消滅させる。下段から一段ずつ流速  $U, V$ 、圧力  $P$  をゼロにし、節点を消滅 (Fig.6 点線) させる。このとき、一段上の段の流速  $U, V$  をゼロに強制することで、no-slip 条件 (Fig.6 実線) とする。角柱が地面から離れるときは、逆に一段ずつ復活させる。

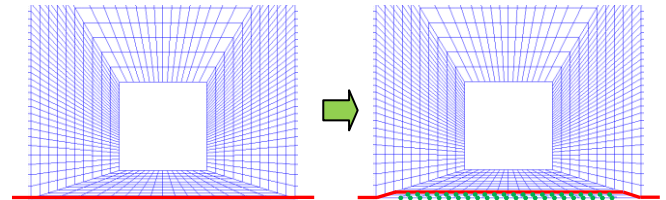


Figure6. Node disappearance region of the improved

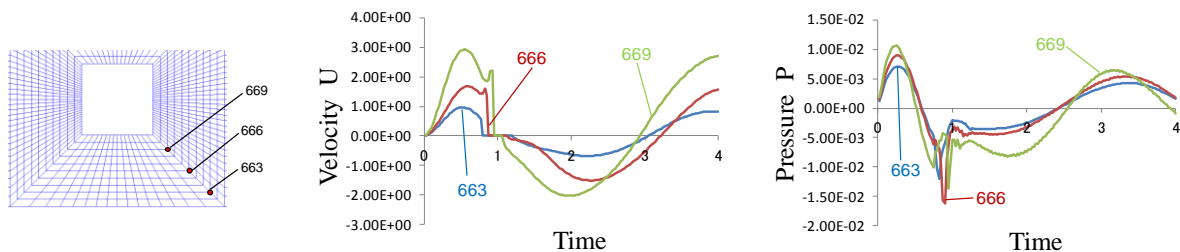


Figure7. The time histories of computed nodal velocity and pressure at the three nodes

解析結果を Fig.7 に示す。流速・圧力ともに数値振動を大きく減少させることができた。特に、圧力に見られていた長時間の振動は顕著に改善されたことが分かる。

#### 4. まとめ

角柱が地面に接地する際、要素体積がゼロとなる範囲の節点の流速・圧力をゼロに強制することで、節点を消滅させた。角柱が接地する瞬間に一度に節点を消滅させると、流速・圧力ともに数値的に振動してしまうが、節点を下から一段ずつ消滅させることで、数値振動を解消することができた。今後、他のメッシュパターンや様々な物体の動き方に対応することを目指す。

#### 5. 参考文献

- 1) 林泰一：1988年9月25日に串本町で発生した竜巻について，京大防災研年報，No.32，B-1，pp.1-14，1989.
- 2) 山本晴彦，岩谷潔，白水隆之，土谷安司：2006年9月17日に宮崎県延岡市で発生した竜巻災害，自然災害研究協議会西部地区部会報・論文集，No.31，pp.1-4，2007.
- 3) 日本計算工学流れの有限要素法研究会編：続・有限要素法による流れのシミュレーション，第9章「乱流の変分マルチスケール理論」，シュプリンガー・ジャパン，2008