

複雑地形上気流解析のための一般座標系 IBM 法

神戸大学大学院自然科学研究科 学生員 ○千秋 雅信

神戸大学大学院自然科学研究科 正会員 中山 昭彦

1. はじめに

建物などの構造物や、物体の存在が無視できない自然地形上の気流解析を行う場合、複雑な形状を如何に扱うかが大きな問題となる。Immersed Boundary Method (IBM) は境界条件を境界位置の格子点で直接設定する代わりに、運動方程式に体積力を導入することにより境界条件を間接的に満足させる方法である¹⁾。計算格子の位置は必ずしも境界と一致する必要がないためコーディングの簡単な直交格子を用いて曲線や複雑な境界形状の流れを解くのに応用されている²⁾。境界適合曲線座標にIBM法を導入すれば、地表上物体の詳細を効率良く解像することが可能になる。そこで本研究では境界適合曲線座標にIBM法を組み込みその精度や効率について調べる。

2. 解析概要

IBM 法を、モデル地形上の層流を計算することにより計算法の検証を行う。地形に沿う一般曲線座標、地形に沿うシグマ座標と地形には沿わない直交座標を用い計算し、結果を比較することにより計算コードの検証を行う。検証に用いるモデル地形は

$$y = \frac{H}{1 + \left(\frac{x-10}{1.1} \right)^4} \quad (1)$$

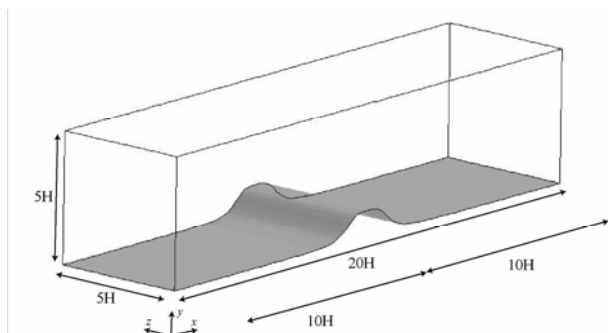


図-1 計算領域

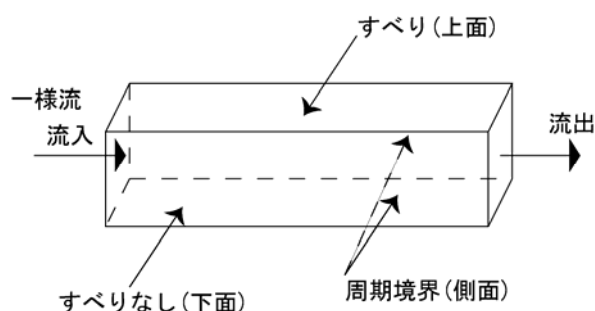


図-2 境界条件

で定義され図-1 に示されるような 2 次元孤立峰である。x は流れ方向の座標、y は高さ方向の座標、H は山の高さである。三次元孤立峰の場合のように山の左右からの回りこみは発生しないが傾斜を 45°にすることで、丘後方に比較的大きな剥離領域が生じるので、剥離流計算の精度を考察できる。計算領域は流れ方向、高さ方向、奥行き順に 20H×5H×5H である。直線直交座標系では丘地形の表現自体に IBM を用いている。傾面の最大傾斜は 45°であるのでシグマ座標では座標軸の交差角は最大 45°になり非直交効果が表れる可能性がある。一般座標の計算格子は地表近くで座標軸がほぼ直交するようにとられており、非直交性による精度低下は抑えられる。いずれの格子も格子数は流れ方向、高さ方向、奥行き順 90×50×25 であり、一般座標系では丘付近で高さ方向の軸が曲線に、シグマ座標では高さ方向の軸は常に鉛直方向となっている。検証計算では上流端で図-2 のように流入条件は $u=1.0$, $v=0.0$, $w=0.0$ の一様流が流入するとしている。ここで u は主流方向の速度成分 v は鉛直方向の速度成分 w は奥行き方向の速度成分である。また、流出面では自由流出条件を、側面には周期条件を、下面と上面にはそれぞれすべりなし、すべり条件を与えている。一様流の初期状態から時間刻み $dt=0.001$ で、時間発展計算を行い定常状態に達した結果を考察する。なお、本計算は計算法の検証を目的とし

キーワード IBM 法, 計算効率, 地形上気流, シグマ座標

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学大学院自然科学研究科 TEL 078-803-6280

ているので，流入速度と山の高さを基にしたレイノルズ数は 200 と非常に低い値である．

3. 解析結果

構造物の位置が峰の下流のときは一般座標，シグマ座標，直線直交座標とも構造物を十分解像できる格子密度がある（図-3-(a),(b),(c)）．したがって三つの計算結果はほぼ一致しておりどの座標系を用いても良い結果になっている．次に図-4-(a),(b),(c)に構造物を山の頂上に設置した場合の構造物中心を通る鉛直面での流線の計算結果を示す．山の頂上部では，一般座標，シグマ座標とも山の下と同様，あるいはそれ以上に密な格子がとれるが，直線直交座標の場合山の高さに相当する範囲全体で格子密度を上げないと解像度が確保できない．本計算での直交格子では構造物高さ方向の格子数は3と解像度が低い．このため一般座標およびシグマ座標での計算結果に見られる逆流が直交格子の計算結果には見られない．以上のような結果は形状の異なる物体を置いた場合も見られた．直交座標系においても同じ現象をとらえようとするならば，丘の上の構造物の高さまで十分な格子数を確保しなければならない．計算時間については直行格子の方が短時間で言うことができた．しかし，シグマ座標系と一般座標系を用いる際には格子数を減じることが可能と考えられる．地表面付近に存在する構造物の位置に因らない効率的な座標系選択としてはシグマ，一般座標系となるといえる．その他の物体においても境界に沿って作成できる範囲は一般，シグマを用いた方がやはり効率的と考えられる．一般に構造物の場合，形状を考えてみると地面より鉛直に建っている物が多く，シグマ座標系の方が使いやすいものとする．

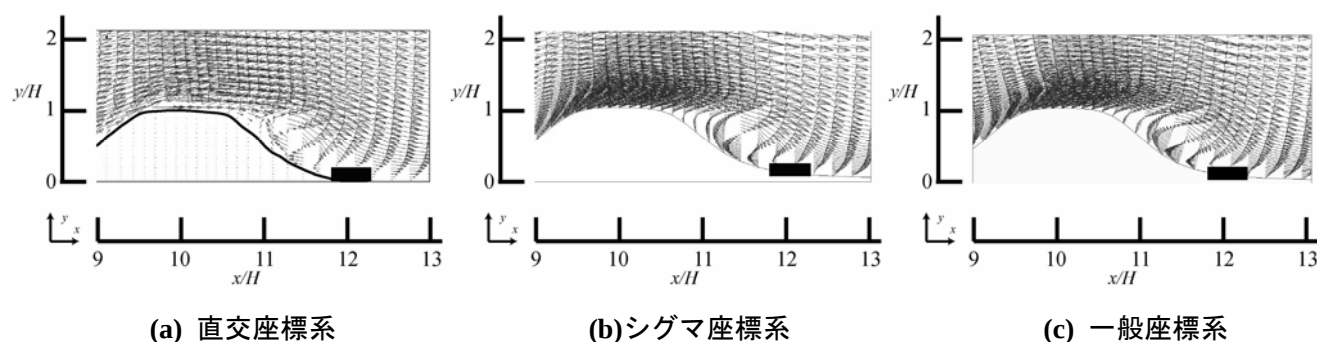


図-3 流速ベクトルの計算結果（構造物は峰の下流に位置）

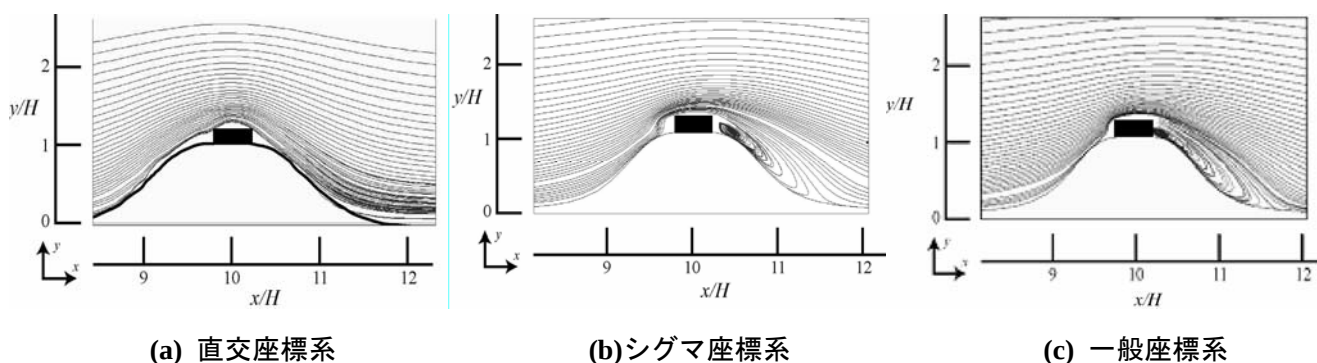


図-4 流線の計算結果（構造物は山の頂上に位置）

4. 結論

IBM における地形上に構造物を設置するような複雑地形上流れの数値計算への応用を考慮すると地表面より鉛直に座標軸をとるシグマ座標系が有用であると判断できる．

参考文献

- 1) Peskin, C. S.: Flow patterns around heart valves, *J. comput. Phys*, Vol.10, pp.252-271, 1972.
- 2) Tseng, Y.-H., Ferziger, J.H.: A ghost-cell immersed boundary method for flow in complex geometry, *J. comput. Phys*, Vol.193, pp.593-623, 2003.