

柔軟な計算格子による解析を可能とする Systematic Grid の開発と性能検証

東京都立大学 岩崎翼, 新谷哲也

1. 研究の目的

流体解析における大規模解析の多くは単純な地形と複雑な地形が混在しており、効率的な解析のための構造格子と複雑な地形表現のための非構造格子を単一計算領域内で使い分けることが必要となる。しかし一般的に、構造計算セル及び非構造計算セルが混在する計算格子を一括して合理的に扱うには困難が伴う。

そこで本研究ではオブジェクト指向デザインに基づいて、任意形状の計算格子における Adaptive Mesh Refinement(AMR) 法を可能とする流体解析モデル (Systematic Grid) を開発した。本報告では特に円形湖における風応答問題に Systematic Grid を適用し、格子の種類による計算効率及び AMR 法の適用性を確認する。

2. 流体解析モデル

2.1 オブジェクト指向プログラミング

オブジェクト指向プログラミングではクラスと呼ばれる型に、そのクラスに関連する変数や関数をひとまとめに実装する。そしてクラス(型)に属性(材料)を与えることで、オブジェクトと呼ばれるプログラムの構成要素を作成する。オブジェクト指向プログラミングにおけるプログラムは、それらのオブジェクトに実行するインターフェースに対して命令することで記述される。

例えば Systematic Grid では、Element クラスに各計算セルの頂点の座標を与えることで Element オブジェクト(計算セル)を作成する。このとき計算セルの形状を一般化して Element クラスを設計することで、どんな形状の計算セルを作成しても同一のインターフェースを持つことになる。従って任意形状の計算セルを同一名称のインターフェースの命令により実行できるため、異なる形状の計算セルを一括して扱うことが出来る。

2.2 Systematic Grid の設計

Systematic Grid では動的に変化する計算セルの管理を容易にするために、並列計算の単位(Domain オブジェクト)及び格子解像度更新の単位(Block オブジェクト)により計算セル(Element オブジェクト)を階層的に管理している。Block オブジェクトは形状を一般化して設計されており、前処理もしくは AMR 法により内部に生成される Block オブジェクトに相似形の Element オブジェクトを管理している。従って Block 及び Element オブジェクトの形状に制限はなく、AMR 法を適用可能である。また Block オブジェクト境界に配置される Connector オブジェクトが格子解像度の違いを吸収して、Block 及び内部の Element オブジェクトを接続する。このことによって異なる格子解像度の計算セルが接続している場合にも、煩雑な手続きなしに円滑なデータ交換が容易に実現される。

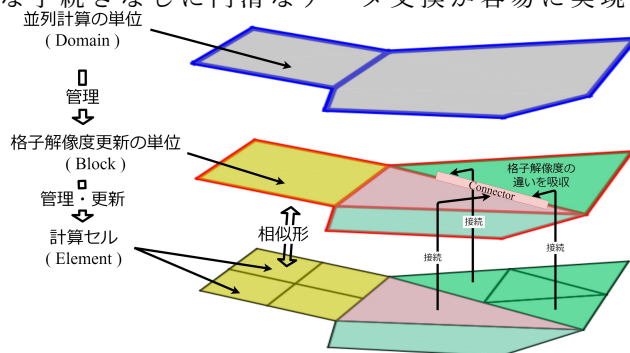


図 1 Systematic Grid の仕組み

3. 検証

3.1 計算条件

本報告では Systematic Grid の形状適用性の検証のため、Csanady^[1] 及び Birchfield^[2] によって解析解が導かれている円形湖の風応答問題に対して検証を行う。本検証ではコリオリ力(コリオリ係数:0.0001)及び風応力(0.013(N/m²))を考慮した2次元非線形浅水長波方程式を解析する。また図2の構造格子・非構造格子及び構造・非構造混合格子に対し、各計算セルごとの高次精度化が容易な Discontinuous Galerkin 法と呼ばれる離散化スキームを適用した。以上の計算条件に対する結果と Csanady^[1] の観測点(図2の赤点)における解析解を比較する。

3.2 各計算格子における計算結果の比較

計算結果と解析解の比較(図3)が示すように、円周部分の再現度が高い非構造格子及び構造・非構造混合格子は構造格子に比べ位相・振幅ともに解析解に一致している。また構造・非構造混合格子は非構造格子に比べて、約85%の計算コストで解析が出来ることを確認した。

3.3 AMR 法の適用の検証

構造・非構造混合格子に対する AMR 法の精度検証(図4)から、通常格子と AMR 法の計算結果にほとんど違いは見られなかった。この原因としては AMR 法を適用しても円周部分の再現度は通常格子と同じであることから、円周部分の再現度が結果に大きく影響したことが考えられる。

参考文献

- [1] G. T. Csanady. Motions in a model great lake due to a suddenly imposed wind. *Journal of Scientific Computing*, Vol. 73, pp. 6435–6447, 1968.
- [2] G. E. Birchfield. Response of a circular model great lake due to a suddenly imposed wind stress. *J. Geophys. Res.*, Vol. 74, pp. 5547–5554, 1969.

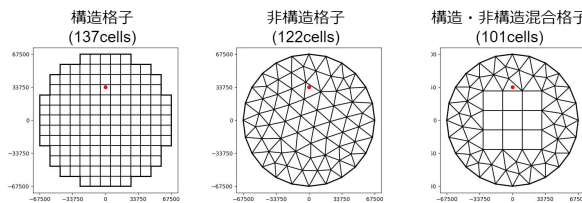


図2 計算格子

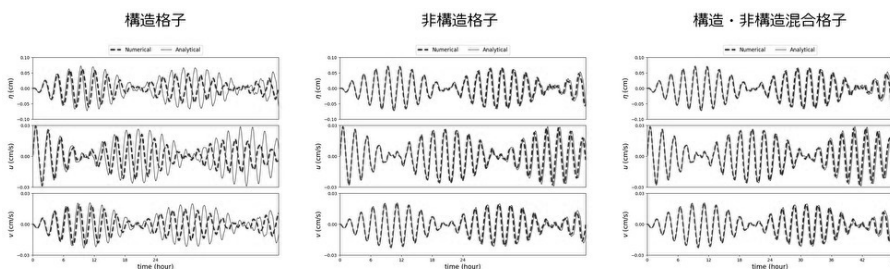


図3 計算結果と解析解の比較

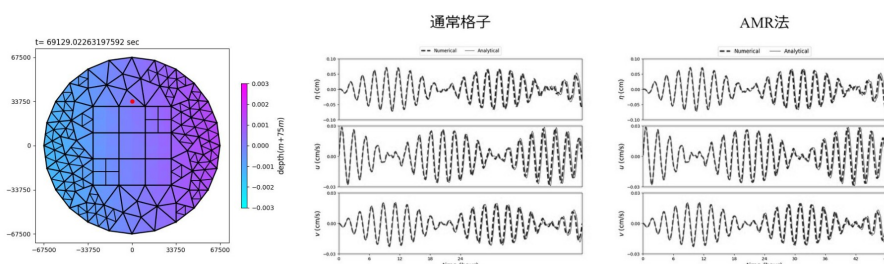


図4 AMR 法適用の有無の比較