

Point

非構造格子を用いた流体シミュレーションは、従来の技術では困難であった緻密な地形表現性を備えた新しいシミュレーション技術です。当社は、きめ細かな現象をより高い精度で把握できる一歩進んだ解析技術として、非構造格子モデルの自社開発に取り組んでいます。

非構造格子を用いた環境流体シミュレーションの開発

建設統括本部 沿岸・海岸事業部 沿岸解析部 金澤 延幸

はじめに

海域の富栄養化、高潮や津波、河川の氾濫等、環境中の水に関わる問題の多くは実物を使った実験を行うことが困難なため、コンピュータを用いたシミュレーションが一般に広く利用されています。シミュレーションでは、最初に対象とする領域を微小格子に分割し、次に各格子点で方程式を計算することで水位や流れ・濃度等の時間変化を求めます。

非構造格子は、シミュレーションの土台となる最初の格子分割法に大きな特徴があります。これまで演算時間が膨大になることや格子作成の手間等の理由から環境分野ではあまり用いられてきませんでした。当社はこの格子分割法が複雑な地形を表現するのに適している点に着目し、独自の改良を加えて、実用的な技術として発展させ、その成果を挙げています。

非構造格子とは

海域や河川氾濫等の環境流体シミュレーションには、これまで四角形を用いた格子分割が広く用いられてきました。図1左はその格子分割の模式図です。x軸とy軸の座標軸に沿って、縦横に規則的な格子分割がなされています。このような計算格子を「構造格子」と呼んでいます。これに対して、座標軸とは無関係に自由な場所で格子分割する方法を「非構造格子」と呼び、一般には三角形の格子が用いられます(図1右)。

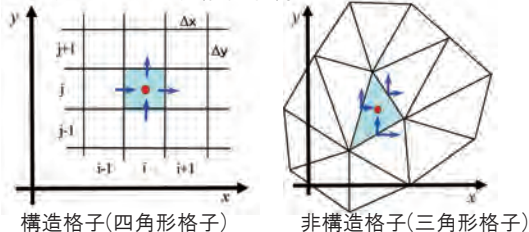


図1 格子分割の概念

構造格子(四角形格子)の問題点

四角形を用いた構造格子も三角形を用いた非構造格子も、計算に用いる方程式はどちらも同じですが、両者の計算結果には大きな違いがあります。

海域や河川、都市氾濫域、湖等、シミュレーションを行

う領域には陸岸、堤防、建物等、水の流れを遮る構造物が存在します。これらの形はさまざまであり、座標軸に沿った整然とした形をしている訳ではありません。

図2は、典型的な河川氾濫域にある市街地を四角形格子で分割した一例です。

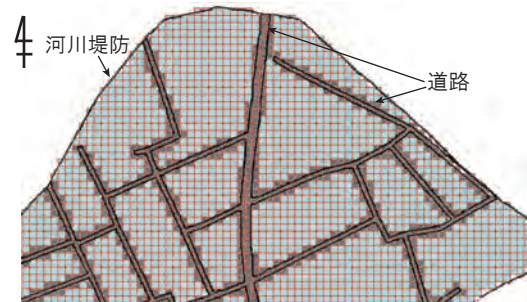


図2 構造格子(四角形格子)による氾濫域格子分割例

北側は河川堤防であり、河川の蛇行に沿って地形が湾曲しています。市街地にはさまざまな方向と道幅の道路が錯綜しています。四角形格子で分割すると湾曲した堤防形状は階段状に表現され、斜め方向の道路は四角形を組み合わせたモザイク状になります。格子間隔で空間を平均化するので細かな道幅の違いを適切に表現することはできません。

このような格子を用いて河川から市街地に氾濫する水の流れを計算すれば、四角形で近似したことによるゆがみや誤差が生じます。格子間隔を十分小さくできるならこうした誤差は軽減されますが、格子点の数が増えてしまいます。さらにタイムステップと呼ばれる計算のための時間刻みは、計算上の制約によって格子間隔の縮小率に比例して短くしなければなりません。その結果、全体の演算時間は膨大なものとなり、およそ実用的な計算はできなくなってしまいます。

非構造格子(三角形格子)の利点

当社は、このような問題に対応するため、他社に先駆けてネスティング手法と呼ばれる技術を取り入れ、必要とする場所のみを細かな格子間隔で表現し、異なる格子間隔の領域を滑らかに接合する高度な技術を発展させてきました。実用性も高く、効率的な手段ではありません

が、この方法も四角形格子を利用するため、格子に対して斜めの構造物や複雑な地形を表現するには限界がありました。

三角形を利用する非構造格子モデルはこうした地形表現の課題をほぼ解決し、より忠実な計算を可能にする非常に優れた技術です。図3は図2と同じ市街地を三角形格子で分割した例です。

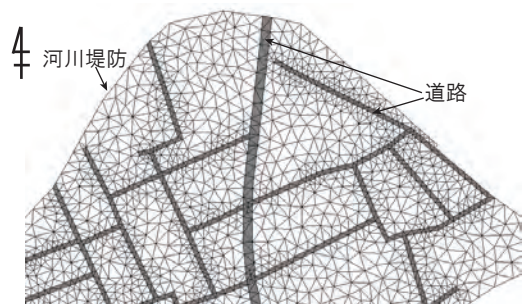


図3 非構造格子(三角形)による氾濫域格子分割例

河川堤防の形状、道路の幅、方向、分岐等構造物の形状が自然に表現されています。複雑な形状で細かな格子を必要とする場所は、部分的に小さな三角形で表現すれば、全体の格子数を無駄に増やすことなく、実用的な範囲で計算を行うことができます。

非構造格子モデルの効率化

三角形格子は形状自由度が高く、地形表現に優れた方法ですが、その一方で三角形格子の作成方法や、演算処理の複雑さ等、実用上いくつかの欠点がありました。今回開発したモデルは、これらの欠点を補うさまざまな工夫を加えています。

三角形格子の作成については、三角形の微修正が行えるグラフィック・ツールを独自に開発し、迅速で適切な格子作成が行えるようにしました。作成される三角形をパソコンの画面上で確認しながら、簡単な操作によって必要な場所に適切な三角形を配置できます。

演算時間については、四角形格子のネスティング技術で培われた技術を、有限体積法と呼ばれる考え方を採用することで三角形格子へと発展させ、計算格子点を吟味し、効率的で精度の高い演算が行えます。

非構造格子モデルの適用例

(1) 都市氾濫域への適用

非構造格子を利用して河川洪水の氾濫計算に適用した計算例を図4に示します。

氾濫した水は一樣に広がるのではなく、道路を伝って

市街地へと広がります。道路の幅や交差点、湾曲を適切に表現することが、きめ細かな浸水予測のために重要であることがわかります。

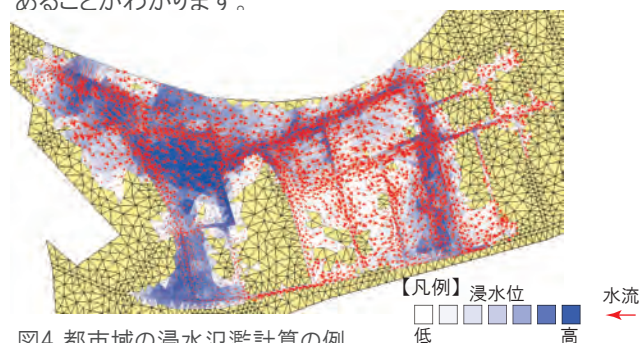


図4 都市域の浸水氾濫計算の例

(2) 地下建物への適用

複数のフロアを持つ地下建物への浸水シミュレーションを実施した例を示します。従来の構造格子モデルを用いて地下建物の浸水計算を行うには、フロアと階段で計算領域を分割し、それぞれの領域の流れを接続する特別な機能を計算モデルに追加する必要がありました。

非構造格子モデルは、このような特別な処理を必要としません。階段やフロア等、計算領域がひとつながりになっているならば、そのまま計算を行うことができます。つまり、立体交差する空間の流れのシミュレーションが可能で、地下建物の浸水計算例を図5に示します。

図面左上は非常階段、中央にはひとつ下のフロアにつながる階段があります。フロアの下に潜り込んだ階段の一部の流れは図に交差させて表記しています。

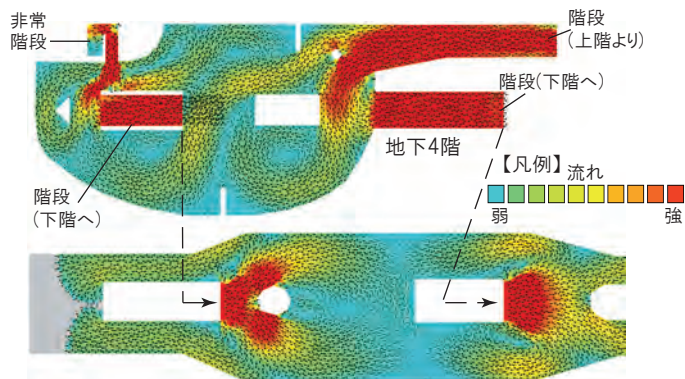


図5 地下浸水計算の例 地下5階

おわりに

非構造格子モデルは、これまででない自由な地形表現を可能とし、現象をきめ細かく、より現実に忠実にシミュレーションすることを可能にする先端技術です。当社は、非構造格子モデルの開発を全て独自に手掛けており、その場に適した高いレベルのシミュレーション技術を迅速に提供することを心がけています。