

大規模水害シミュレーションのための自動要素生成に関する研究

中央大学	学生員	○ 橙木 聡史
エイト 日本技術開発	正会員	大川 博史
中央大学	正会員	檜山 和男
中央大学大学院	学生員	高橋 佑典

1. はじめに

東日本大震災における津波の被害は甚大でかつ広範囲に渡った．このような大規模な水害を数値シミュレーションにより予測することは，防災・減災対策の観点から非常に重要である．

数値シミュレーションの精度と安定性は使用するメッシュに大きく依存する．著者らは既往の研究において，高い精度と安定性を実現するためのメッシュ生成として，クーラン数一定を実現する非構造格子に基づく自動要素生成システムの構築を行ってきた¹⁾．しかし，既往のシステムは Fortran77 によりプログラミングされていたため，使用できるメモリに制約があり微細メッシュを用いた大規模なメッシュ生成を行うことが不可能であった．また，広領域の沖合から港湾などの沿岸域、建物形状までも考慮した陸域の遡上部までを一体化したメッシュ生成を行うことが困難であった．

そこで本論文では，従来のシステムを Fortran90 に書き換えることにより従来困難であった大規模な領域のメッシュ生成を行うとともに，沖合から沿岸域、陸域の遡上部までを一体化したメッシュ生成を行うことを目的とした．

2. システム概要

大規模な水害シミュレーションを行うためには，沖合域，沿岸域，陸域の 3 つのメッシュデータが必要である．これらの 3 つのメッシュデータを用いて，沖合から沿岸域、陸域の遡上部までを一体化したメッシュ生成を行う．このメッシュ生成手順を以下の図-1 に示す．海域では，水深変化に応じた要素分割を行うため，クーラン数及び要素幅波長比を一定にすることにより粗密のあるメッシュを修正 Delaunay 法を用いて生成した．陸域では，建物を考慮するため，建物の形状に沿った領域を境界として，Delaunay 法²⁾を用いてメッシュ生成を行う．なお，地形データに関しては，国土地理院の基盤地図情報サービスから取得を行う．

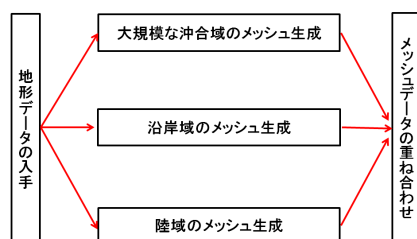


図-1 メッシュ生成手順

(1) 大規模な沖合域のメッシュ生成

a) 修正 Delaunay 法

修正 Delaunay 法とは，対象領域内に任意に設定された点を用いて三角形分割を行っていく手法であり，この手法によって作成された三角形要素は，正三角形に近い要素となり，解析に用いる要素として適切なものになる．さらに，解析を安定性良く行うために，クーラン数を領域全体で一定にすることが必要である．そこで，長波の波速を $\sqrt{gh}$ ，水深を h ， Δt を微小時間増分量， Δx を要素幅と置き，クーラン数 C を次式により定義する．クーラン数を一定にすることにより，水深変化に応じて粗密のついた要素分割を合理的に行える．

$$C = \sqrt{gh} \frac{\Delta t}{\Delta x} = \text{Const.} \quad (1)$$

b) 大規模メッシュ生成への対応

大規模なメッシュ生成を行うために，メモリ制限がある従来までの Fortran77 のプログラムから Fortran90 に書き換えを行った．これにより，既往のメッシュ生成システムでは困難であった大規模な領域のメッシュ生成を行うことを可能とした．

(2) 沿岸域のメッシュ生成

地形データとして国土地理院から標高点，海岸線データを取得する．これらのデータを GIS を用いて，入力データとして使用する節点データを作成する．入力データとして，解析の境界を定義する節点，領域内の標高が既知な節点が必要であり，陸域に近い部分での細かいメッシュを生成するには新節点を発生させて要素分割を行う．

(3) 陸域のメッシュ生成

入力データとしては，解析の境界を定義する節点，領域内の標高が既知な節点，建物の形状を表した節点が必要である．陸域と沿岸域の境界部分を滑らかに結合させるため，沿岸域の境界の節点を用いて陸域の外部境界を生成する．さらに，解析の不安定を解消するため，沿岸域付近の要素は沿岸域の要素間隔に合わせてメッシュ生成を行う．

3. システム適用例

(1) 大規模な沖合域

沖合域への適用例として，太平洋沖の南北方向の距離が 100km，東西方向の距離が 70km の広域な解析領域を選定した．地形データとして，日本水路協会と国土地理院から，海域データは日本水路協会から取得した．この地形をプログラムの変換により，従来よりも細かいメッシュ生成を行い，有限要素分割を行った結果を図-2 に示した．

KeyWords： 修正 Delaunay 法，自動要素分割，津波，メッシュ

連絡先： 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 E-mail: tohboku@civil.chuo-u.ac.jp



図-2 沖合域のメッシュ

(2) 沿岸域

沿岸域への適用として、岩手県山田町を例として使用する。領域全体のクーラン数を一定にすることにより、水深変化に応じた要素分割を行う。解析領域として、南北方向に 900m、東西方向に 400m の範囲を選定した。有限要素分割を行った結果を図-3 に示した。

(3) 陸域

陸域への適用例として、海域と同様の地形を用いる。建物を考慮した陸域のメッシュ生成は、それぞれ個別にメッシュ生成を行う。陸域の建物の形状を除いたメッシュを図-4 に示した。個別に生成した建物のメッシュと陸域のメッシュを後から結合させる。

(4) メッシュの結合

結合部分の節点を同一なものを使用することにより、陸域、海域、建物メッシュの重ね合わせを行う。この 3 つのメッシュデータを重ね合わせた結果を図-5 に示した。建物、陸域、海域の結合部分を拡大したものを図-6 に示した。図-6 より、陸域と沿岸域の接続境界において、双方のメッシュが滑らかに適合していることが分かる。

4. おわりに

本論文では、大規模な水害シミュレーションのための自動要素生成を行うため、既往のシステムを Fortran90 に書き換えることを行うとともに、広領域の沖合から港湾などの沿岸域、建物形状までも考慮した陸域の遡上域までを一体化したメッシュ生成を可能にした。

今後は、作成されたメッシュを行い、沖合域から遡上域までの大規模な津波・高潮シミュレーションを実施する予定である。

参考文献

- 1) K.Kashiyama and T.okada: Automatic mesh generation method for shallow water flow, *Int. J. Num. Mesh, Fluids*, vol.15, pp.1037-1057, 1992
- 2) 谷口健男：FEM のための要素自動分割, 1992
- 3) 前川 慎太郎, 樫山 和男, 大川 博史：津波解析のためのメッシュ生成システムの構築：土木学会関東支部 第 39 回技術研究発表会, 2012



図-3 沿岸域のメッシュ

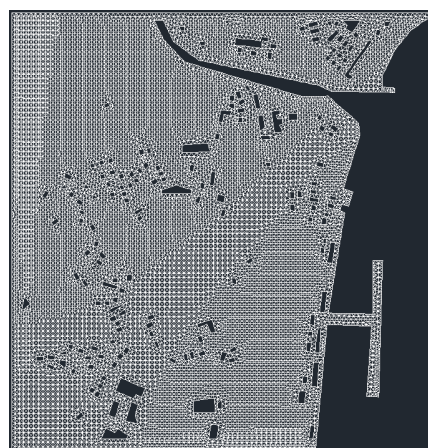


図-4 陸域のメッシュ

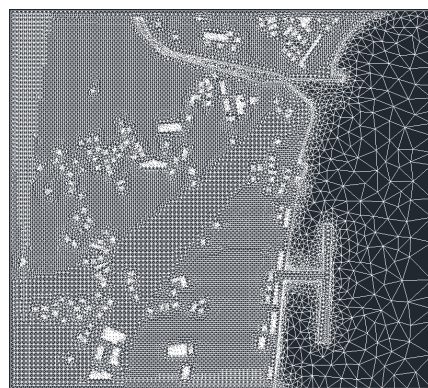


図-5 沿岸域と陸域のメッシュの結合

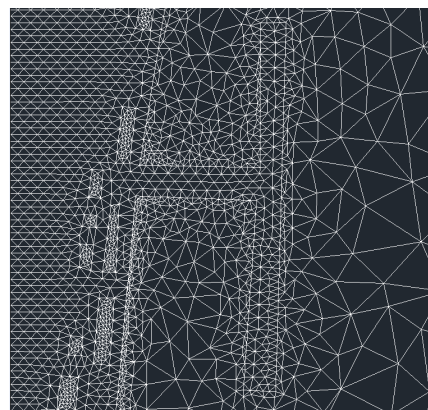


図-6 沿岸域と陸域の境界付近の拡大図