

大規模津波解析用メッシュ生成システムの構築

中央大学
(株) エイト日本技術開発
中央大学

学生員 ○ 近藤 直哉
正会員 大川 博史
正会員 檜山 和男

1. はじめに

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う津波は沿岸地域に甚大な被害をもたらした。数値シミュレーションによる被害予測の必要性が改めて認識された。

有限要素法は任意地形への適合性に優れ、津波解析にも有効に用いられている¹⁾。津波解析を高精度に行うためには水深に応じて変化する波長に対して適切なメッシュ分割を行うことが重要となる。汎用のメッシュ生成ソフトではこのようなメッシュ分割を行うことが困難なため、著者らは浅水長波流れ解析用のメッシュ生成システムの構築を行ってきた。しかし、既往のシステム²⁾では大規模な要素数を扱うメッシュ生成を行うことが困難であった。

そこで本報告では、大規模で高精度な津波解析を可能とするメッシュ生成システムの構築を行った。各節点の座標の取得にはGISを利用し、またメッシュ分割には修正Delaunay法³⁾を用いてクーラン数が一定になるように粗密づけされたメッシュを作成した。さらに内部新節点の発生方法について2つの手法を検討し、大規模メッシュの生成時間について比較した。

2. GISを用いた入力データの作成

海域メッシュ作成のための入力データとして国土地理院提供の海岸線データ、日本海洋データセンター提供の500mメッシュ水深データを使用した。取得した海域標高点をもとにGISソフトウェア(ArcGIS10.2, ESRI社)を用いて海底サーフェスを作成する。

次に解析領域の開境界と海岸線を指定し、ポリラインに沿って境界節点の入力を行う。内部節点は陸に近づくにつれて密になるように手動で発生させる。

3. メッシュ分割

前章で述べた入力データを用いて海域メッシュ作成プログラムによりメッシュ分割を行う。本プログラムのフローチャートを図-1に示す。

(1) 仮要素分割

既存の節点のみで粗い要素分割を行い仮メッシュを作成する。メッシュの分割には修正Delaunay法を用いる。

(2) 新節点の発生

水深に応じた粗密づけを行うために、クーラン数 Cr が一定になるように新節点を発生させる。ここでクーラン数は以下の式で表される。

$$Cr = c \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad (1)$$

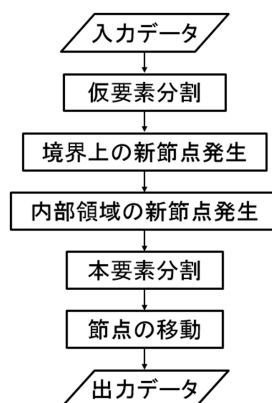


図-1 海域メッシュ作成プログラムフローチャート

クーラン数を1と仮定した際に得られる代表的要素幅 Δx は長波の波速 $c = \sqrt{gh}$ を用いることで要素サイズ関数 F_p として以下の式で表される。

$$F_p = \Delta t \sqrt{gh} \quad (2)$$

得られた要素サイズ関数 F_p を基準として、粗密づけされた新節点を以下の2つの手法により発生させる。なお、内部新節点は領域全体に対して発生させるために膨大な節点数となるため、計算速度の向上とメモリ負荷の低減において検討が必要である。

a) 従来法

図-2に従来法の新節点候補点発生方法の説明図を示す。従来法では、新節点候補点の座標を求める際、領域全体で一定の値である Δ 間隔ごとに座標を変化させて格子状に新節点の発生を検討する。次にローソンの探査法によって新節点候補点がどの仮要素に含まれるかを探し出す。新節点候補点の z 座標(水深)は仮要素の面積座標を用いて決定し、求められた z 座標をもとに要素サイズ関数 F_p を求める。新節点候補点が含まれる仮要素の3つの節点と既に発生させた新節点とともに要素サイズ関数 F_p を半径とする円内に含まれない場合に、新節点候補点を新節点として認める。

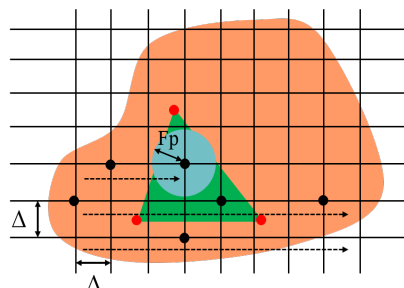


図-2 従来法の説明図

KeyWords: GIS, 修正Delaunay法, メッシュ, クーラン数, 津波解析

連絡先: 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 TEL 03-3817-1808 E-mail n-kondo@civil.chuo-u.ac.jp

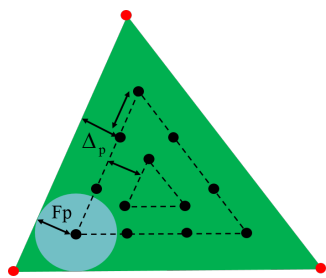


図-3 本手法の説明図

b) 本手法

図-3 に本手法の新節点候補点発生方法の説明図を示す．
本手法では，1つの仮要素に対して3つの頂点の z 座標（水深）の平均値 h_{av} をもとに各要素内で一定の Δ_p を定める．

$$\Delta_p = b \Delta t \sqrt{h_{av}} \quad (3)$$

b は入力データとして指定するパラメータであり，値が小さいほど検討される候補点の数が増える．得られた Δ_p を基準に図-3 のように各仮要素内に新節点候補点を発生させ， F_p を半径とする円内に他の節点が含まれない場合に，新節点候補点を新節点として認める．なお，水深判定には新節点を検討する仮要素だけでなく隣り合う3つの仮要素内で発生させた新節点に対しても判定を行う．これにより，仮要素の辺上で節点間隔が極端に短い要素が生じることを防ぐことができる．

(3) 本要素分割

次に仮メッシュの節点と新節点をもとに細かなメッシュ分割を実行する．仮メッシュの作成時と同様にメッシュの分割には修正 Delaunay 法を用いる．

分割を実行後，品質の良いメッシュ形状に修正するために節点の移動を行う．節点の移動にはラプラシアン法を用いた．ラプラシアン法ではある点を共有するすべての三角形の面積の重心位置に移動させる作業を繰り返し適用して，その結果収束した位置を新しい節点位置とする．

図-4 は仮要素をもとに従来法，本手法を用いて本要素分割を行った結果である．なお，入力データは Δt の値を一定とし，図の左下端から右上端にかけて水深が大きくなるように設定している．両手法ともに品質の良いメッシュが作成されていることが確認できる．

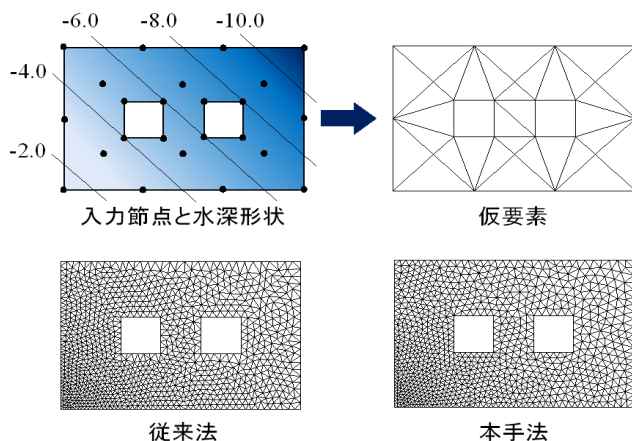


図-4 仮要素と両手法の本要素分割結果

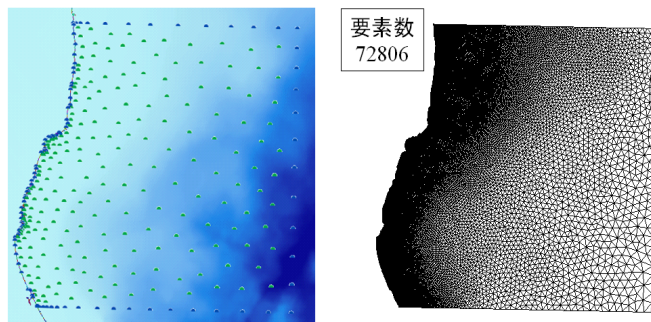


図-5 福島，茨城県沿岸のメッシュ作成例

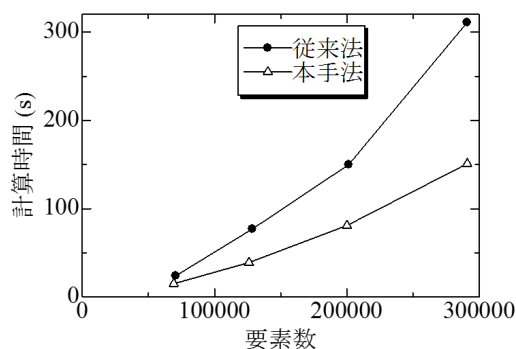


図-6 手法の違いによる計算速度の比較

(4) 大規模領域への適用

福島，茨城県沿岸 210km × 200km の水域を対象としてメッシュ分割を行った．図-5 の左図は入力データの節点位置を表している．右図は本手法を用いて $\Delta t=20.0$ [m]， $b=0.5$ として作成したメッシュを示す．

また，計算速度について図-6 の結果を得た．本手法では各仮要素の水深に応じた間隔で新節点候補点の座標を設定しているため，水深の深い場所では浅い場所に比べて候補点の数が減少し，計算時間が短縮される結果となった．

4. おわりに

本報告では，大規模津波解析用メッシュ作成システムを構築し，以下の結論を得た．

- 従来法に比べ，大規模な津波解析用海域メッシュ生成を可能とするシステムの構築を行った．
- 内部新節点発生方法について新たな手法を導入することによりメッシュ生成時間を大幅に削減することが可能となった．

今後は複雑な海岸地形を有する領域でのメッシュ分割に取り組む．また，作成したメッシュを用いて津波シミュレーションを行い，本システムの有効性を確かめる．

参考文献

- 1) 高橋 佑典，桜庭 雅明，櫻山 和男：津波シミュレーションのための CIVA-安定化有限要素法，土木学会論文集 A2(応用力学)，Vol.71，2015(印刷中)
- 2) K.Kashiyama and T.Okada: Automatic mesh generation method for shallow water flow, *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 15, pp.1037-1057, 1992.
- 3) 谷口 建男：FEM のための要素自動分割，森北出版株式会社，1992.