

## 大規模津波解析用メッシュ生成システムの構築

株式会社エイト日本技術開発 正会員 ○大川 博史  
 東京都水道局 正会員 近藤 直哉  
 中央大学 正会員 檜山 和男

## 1. はじめに

地震大国である日本では巨大地震に伴う津波の脅威に度々晒されており、2011年の東北地方太平洋沖地震津波の発生により、津波防災対策の重要性はより一層高まっている。これまで津波伝播等の評価は、数値シミュレーションにより行われてきた。その中でも、有限要素法は任意地形への適合性に優れた数値解析手法であり、津波解析にも有効に用いられている<sup>1</sup>。津波解析を高精度かつ効率的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。しかし、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難しく、また、既往のシステム<sup>2</sup>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。そこで本論文では、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うこととした。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<sup>3</sup>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メモリ削減手法を導入し、メッシュ生成時間の短縮を実現する新たな手法を構築した。

## 2. GISを用いた入力データの作成

海域メッシュ作成用の入力データとして、海岸線データ(基盤地図情報)、海底地形データ(日本水路協会)等を使用した。取得した海域の標高点からGISソフトを用いてサーフェスマodelを作成する。次に解析領域の開境界と海岸線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発生させる。

## 3. メッシュ作成

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。フローチャートを図-1に示す。

## 3.1. 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。なお、メッシュ分割には修正Delaunay法を用いる。

## 3.2. 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 $C_r$ (①式)が一定になるように新節点を発生させる。

$$C_r = c \frac{\Delta t}{\Delta x} \quad \dots \text{①}$$

クーラン数 $C_r$ を1と仮定した際に得られる代表的要素幅 $\Delta x$ 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②式で表される。

$$F_p = \Delta t \sqrt{gh} \quad \dots \text{②}$$

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発生させる。なお、既往のシステムでは新節点候補点の座標を最初にすべて記憶する必要があったが、本システムでは新節点候補点のうち新節点と認められた節点の座標のみを記憶することでメモリの負荷を軽減することが可能になった。また、計算時間短縮を実現するための新たな手法を構築した。

## 3.2.1. 従来法

図-2に従来法の新節点候補点発生方法の図を示す。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 $\Delta$ 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

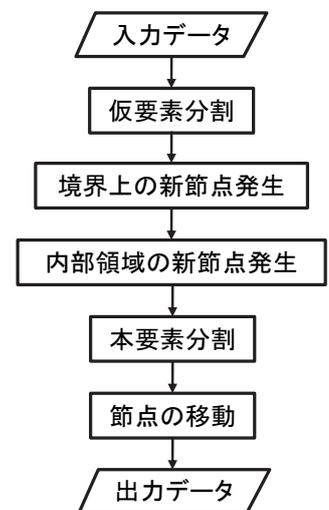


図-1.メッシュ作成フローチャート

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)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。

### 3.2.2. 本手法

図-3に本手法の新節点候補点発生方法の図を示す。従来法に対し本手法では、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  $\Delta_p$  を定めることで新節点候補点の個数を削減し計算時間の短縮を図った。ここで  $\Delta_p$  を式③に示す。
$$\Delta_p = b\Delta t \sqrt{gh_{av}} \quad \dots \textcircled{3}$$

$b$  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  $\Delta_p$  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する。

### 3.3. 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分割には修正 Delaunay 法を用いる。分割実行後、品質の良いメッシュ形状に修正するためにラプラシアン法により節点移動を行う。メッシュ分割の計算速度について図-4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、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。

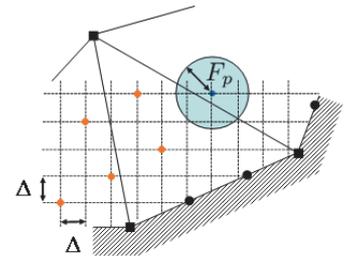


図-2. 節点発生方法 (従来法)

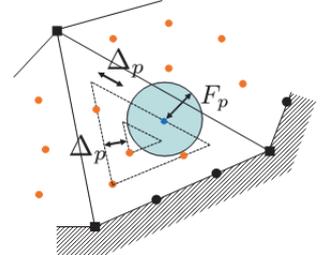


図-3. 節点発生方法 (本手法)

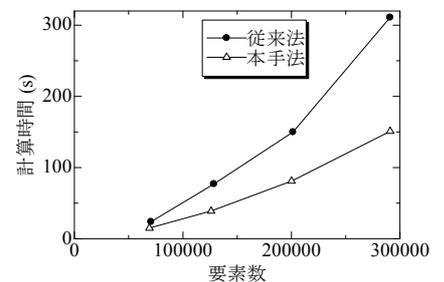


図-4. 手法の違いによる計算速度の比較

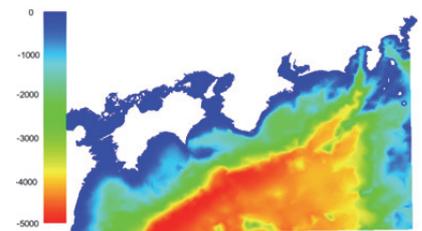


図-5. 水深コンター図

## 4. 実地形への適用と津波解析例

南海トラフを対象とした  $500\text{km} \times 1,000\text{km}$  のメッシュ分割を行った。図-5に水深コンター図、図-6に本システムを用いて作成したメッシュ ( $\Delta t = 10.0[\text{s}]$ ,  $b = 0.15$ ) をそれぞれ示す。水深に応じて粗密づけされたメッシュが作成されていることが確認できる。

また、大規模な要素数を扱う例題として東北地方太平洋沖  $700\text{km} \times 950\text{km}$  の水域を対象としてメッシュ分割(要素数 1,573,778)を行い、浅水長波方程式に基づいた広域津波伝播解析を行った結果を図-7に示す。本システムで作成されたメッシュで安定に解析が行われていることが確認できる。

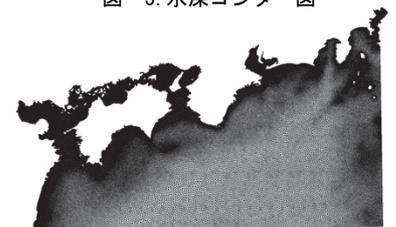


図-6. メッシュ作成例

## 5. おわりに

本報告では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。

- 従来のシステムに比べ、より大規模なメッシュ生成が可能となった。
- 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、実地形をさらに正確に考慮するために海岸線でより密なメッシュを作成する。また、メッシュによって解析結果にどのような違いが生じるのか検討を進め、より高精度な津波解析を実現していく。

## 参考文献

- 1) 高橋 佑典, 桜庭 雅明, 榎山 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
- 2) K. Kashiwayama 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

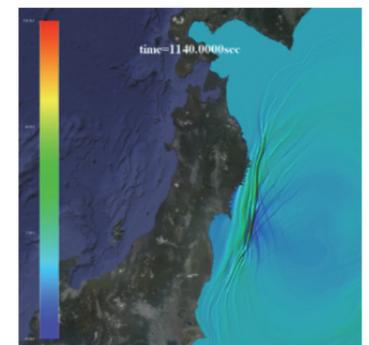


図-7. 津波解析例