

II-13 海底地形形状を基にした津波解析用有限要素分割

岡山大学環境理工学部	正会員	○谷口健男
岡山大学工学部	学生会員	佐野俊之
東急建設(株)技術本部	正会員	千葉雄一
東急建設(株)施工本部	正会員	小澤靖一
東急建設(株)施工本部	正会員	野沢勝利

1. はじめに

津波解析では解析領域の形状が複雑であることより陽解法を用いた有限要素法を用いることが多く、そのため有限要素モデルが解の動向を支配する。この要素分割上の条件は、より少ない点数で、数値安定性より決められる要素寸法を持った、形状の良好な要素を、高速に作り上げることである。一番目の条件を無視できるならば、等深度線に対してTINを用いて作成できる海底地形図より直接他の条件を満足させるように要素分割してモデルを作ることができるが、余りにも要素数が多くなり、実用的なモデル生成法とはなり得ない。

津波解析の目的は例えば港湾・河川あるいは海岸といった沿岸部での津波現象を精度良く求めることにあり、この部分に如何に多くの良好な要素を作り出すかがその結果を左右するが、同時にこの部分の解に直接影響を及ぼすその外部領域の要素分割も十分に考慮しなければならない。本研究では解析領域を次に示すような部分領域にまず分割し、それぞれの部分領域に対して異なった目的で有限要素モデルを作り上げることを考える。(図1参照)領域1:港湾内部や河川部分、領域2:その外部に位置し、適切に選ばれた深度までの部分。領域3:さらに外部に位置する部分。領域4:最も外部に位置し、津波入力となされる部分である。そして、領域1では均一な要素を、領域2では深度に応じた要素を、領域4では容量節約のため一様な要素を、そして領域3では領域2と4をうまく結合できる要素を与えることを目的として要素分割することを考える。以上の考え方から、数値解析上最も重要な領域1とその部分の数値解に直接影響を与える領域2での要素分割が最も重要となる。このため、本研究では前者には一様な分割が可能な手法を、そして後者の部分に対しては海底地形をデータベースとして使い、等深度線を重視してその深度に応じた要素長を自動的に生成する手法を新たに提案する。なお、データベースとなる海底地形形状は本研究提案者らが既に提案したTIN[1]でもって生成したものをを用いる。

2. 入手データの加工の必要性

対象とする問題では与えられるデータは海岸線上の点座標と海底面上の点座標の2種類である。ここでは両者ともに等高線(等深度線)上に置かれた点の座標と考える。この様なデータでは測量者や等深度線を拾った技術者が形状の精度を確保する目的で特徴のある点を拾い出しているために、点間隔には大きなばらつきがあり、与えられたデータをそのまま要素分割に利用するには不適切である。このため入手データから必要に応じた点を拾い出すフィルターが必要である。本研究では2種類のフィルターを準備した。

まず、領域1では隣り合う点間の距離と隣接する2辺のなす角度を用いて点を拾うフィルターを、そして領域2では隣り合う点間の距離だけを用いたフィルターを準備した。両者とも対象形状を重視しながらも、要素分割が容易となる点だけを拾い上げようとするものである。

3. 領域1の要素分割法(沿岸部の一様な三角形分割)

領域1で扱う対象域の2次元形状は通常非常に複雑である。港湾・河川といった海岸線は入り組み、そ

の形を表現するために、互いに隣接する点同士の間隔には大きなばらつきが見られる。この領域での要素分割の主たる目的は解の精度の確保であることより均一な要素分割が要求される。そこで数値安定条件を考慮して要素寸法を決定し、その条件で点を選び出し、要素分割を行うことにする。

ステップ1. 海岸線データより海岸線の特徴づけ、同時に要素分割に適した点だけ拾い出す。

ステップ2. 拾い出した点を用いて近似海岸線を作成し、数値安定条件に応じて海岸線上に追加点を自動的に発生させる。

ステップ3. 近似境界線上の点を対象に2次元修正デローニー三角分割[2]を適用し、領域形状の作成と同時に領域を粗い三角形に分割する。

ステップ4. 粗い三角形の形状の歪みを改良出来るように既存三角形の最大辺上に中点をユーザに指定した点数まで発生させ、三角形の細分割を行う。

ステップ5. ラプラシアン法を用いて領域内部の点を移動させ、要素形状の改良を図る。

ステップ1で用いるフィルターとして次のような手法を作成した。いま、海岸線を一周する n 個の点群が与えられたとき、次の条件を満たす点を順次拾い上げる。なお、第1番目の点と最終点は必ず拾いあげる。以下では θ は隣り合う辺のなす角度を、 L は辺長を、 $P(i)$ は第 i 番目の点を示すものとする。

$0 < \theta < \pi/2$ or $3\pi/2 < \theta < 2\pi$ の場合、

if $L(i) + L(i+1) > L_o$ and $L(i) > L_a$ and $L(i+1) > L_a$, pick up $P(i)$, $i=i+1$ and go to $P(i)$.

$\pi/2 < \theta < 2\pi/3$ or $7\pi/6 < \theta < 5\pi/6$ の場合、

if $L(i) > L_a$, pick up $P(i)$, $i=i+1$ and go to $P(i)$.

連続して捨てさった辺長の和が限界値 L_b を越す最初の点に到達したとき、その点を拾う。なお、上に示した条件の内、 L_o , L_a , L_b の値はユーザが指定する。

図2.1は元の海岸線データを全て用いて得られた領域の粗い三角分割を示す。図2.2と2.3は領域の粗い三角分割と内部に点を追加して得られる要素分割図を示す。図2.4と2.5は前図とパラメータに異なった値を与えて得られる粗いメッシュと内部点を追加して得られる最終メッシュを示す。なお、パラメータの違いは前者が $L=60$ であるのに対して後者では $L=33$ である。

4. 領域2の要素分割法（海底地形を重視した三角形分割）

海底地形情報としては等深度線上の点を与えられていることが多く、本研究でもこのデータを仮定する。このようなデータを用いた海底地形はTIN[1]で容易に生成できる。この三角分割された地形形状はその形の表現には十分であっても、数値解析に用いるには不十分であり、より少ない点で、深度に応じた寸法を持ち、互いに隣接する要素の寸法比を押さえた要素分割法が必要となる。その目的で次の方法を提案する。

ステップ1. {近似等深度線の作成} 考える等深度線上において数値安定性を考慮した点間隔に応じて、点を順次発生させる、もしくは既存点を拾い、近似等深度線を作成する。この操作をユーザが指定した全ての深度に対して繰り返して、近似の等深度線を作成する。

ステップ2. {粗い三角分割} 互いに隣接した2本の近似等深度線上の点を用いて、隣接した等深度線間の領域を三角形に分割する。この状況を示したのが図3.2である。なお、図3.1は元の等深度線上の全ての点を用いた粗い分割を示す。

ステップ3. {細かな三角分割} 図3.2に示した粗い三角形を数値安定上を満足させる様に細分割するのがこのプロセスの目的である。相隣り合う2本の近似等深度線上の点同士を結合する辺長を調べ、両端点での平均辺長をもって、辺上に新しく点をまず等間隔に配置する。この操作を全ての辺について行い、その後これらの追加点を導入して、等深度線間の領域を細分割する。これを示したのが図3.3である。

ステップ4. {節点位置の移動による三角形形状の改良} 等深度線上の点以外の点をその点周辺の三角形集合より得られる多角形の重心位置に移動させ、要素形状の改良を図る。この方法はラプラシアン法と

呼ばれる。この結果得られる三角形分布を図3.4に示す。なお、追加点の深度は別途TINで作成した三角分割図から容易に得られる。

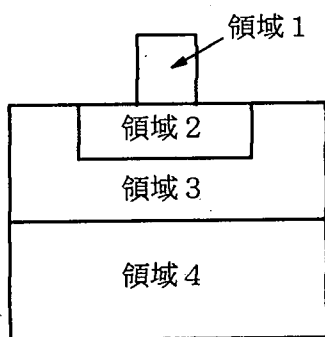


図1 分割された解析領域

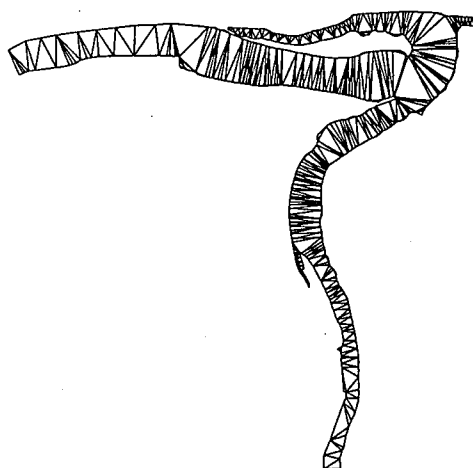


図2.1 元データによる粗い要素分割

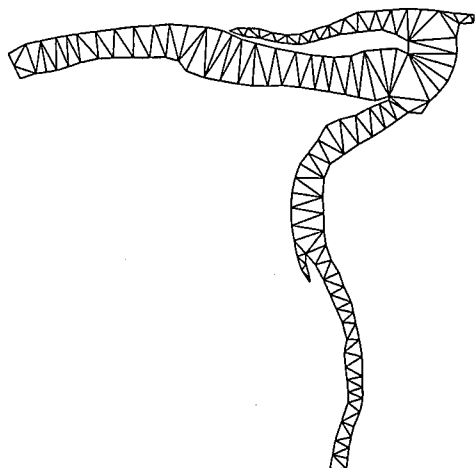


図2.2 フィルター使用後の粗い要素分割
($L=60$)

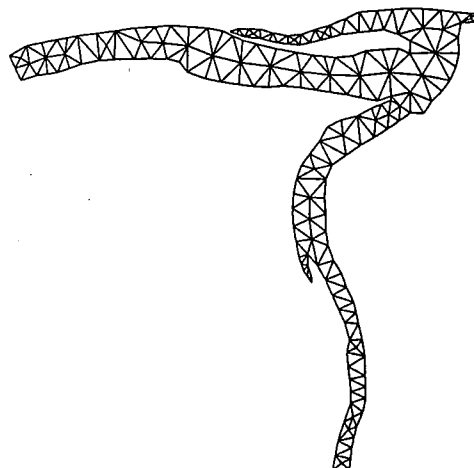


図2.3 フィルター使用後の細かい要素分割
($L=60$)

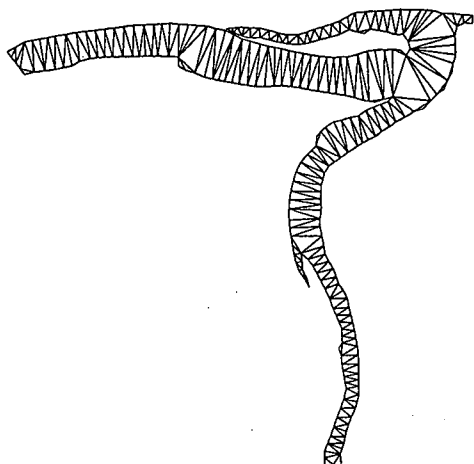


図2.4 フィルター使用後の粗い要素分割
($L=33$)

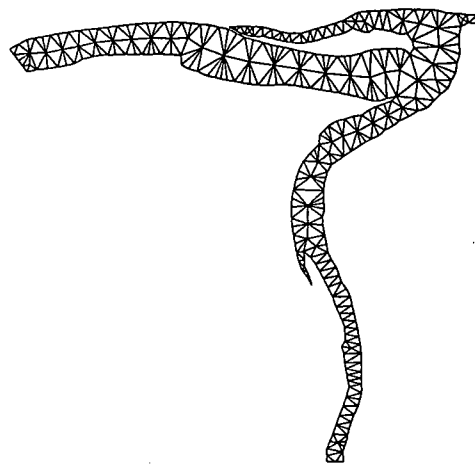


図2.5 フィルター使用後の細かい要素分割
($L=33$)

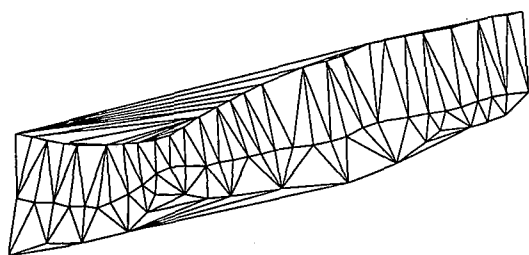


図3.1 元データによる粗い要素分割

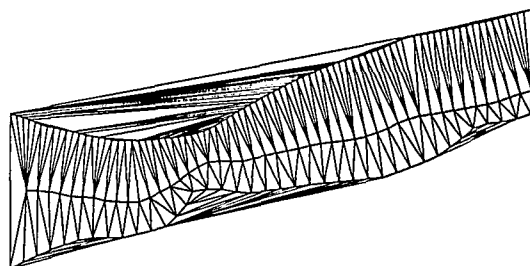


図3.2 近似等深度線を用いた粗い要素分割

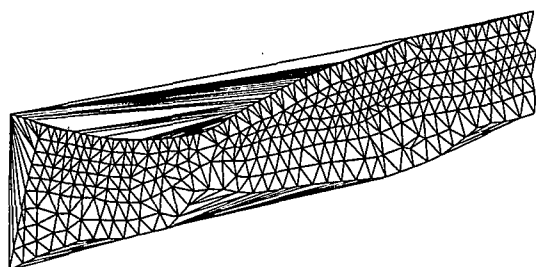


図3.3 近似等深度線を用いた細かい要素分割

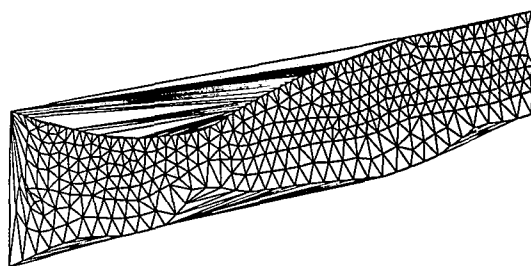


図3.4 ラプラスアン適用後の要素分割

5. 他の領域の三角形分割（外縁部および緩和域の三角形分割）

〔領域4（外縁部）の要素分割〕 ユーザが指定した境界上に点を一定間隔に配置し、部分領域3との境界との間に挟まれる部分にメッシュ関数法で千鳥状に点を配置し、部分領域4の三角分割を行う。この部分は津波の入力を行う部分であることより、少ない点数で形状の良好な三角形を高速に作成するのが主たる目的である。

〔部分領域3（緩和域）の要素分割〕 この領域では単に两部分領域での三角形要素分割を結合するだけの目的で、少ない点数で、要素を作り上げることが要求されている。ここでは两部分領域での点間隔を考慮して、両者との境界上に位置する点を用いて、まず粗い三角形を作成し、その後新点追加と三角分割を同時に行う。詳細については文献[2]を参照されたい。

6. あとがき

解析領域を構成する4つの部分領域の三角形有限要素分割の内、最も重要な二つの部分領域で用いる手法を述べた。ここで示した方法は高速に良好な要素を生成できることを目的としたものであり、よってデローニー三角分割を採用した。この方法では点群を与える必要があり、入手可能な点データに対するフィルターも同時に提案した。なお、本研究の領域1で示した方法のプログラム化は岡山大学工学部土木工学科の狭間秀和君が行った。ここにお礼を言いたい。

参考文献

- [1] 横山，谷口，二宮，小澤，'自然な地形上に位置する土木構造物のCGデータの生成'，第19回土木情報システムシンポジウム論文集，Vol.3，pp.39-46（1994）
- [2] 谷口，'FEMのための要素自動分割'，森北出版（1991）