

都市流域の非構造格子モデルにおける街区内不整三角形格子の生成について

首都大学東京	都市環境学部	学生員	○太田 遥
首都大学東京	都市環境科学研究科	学生員	田内 裕人
首都大学東京	都市環境科学研究科	正会員	天口 英雄
首都大学東京	都市環境科学研究科	正会員	河村 明

1. はじめに

都市流域においては、洪水流出・浸水解析を精度良く行うことを目的に、都市特有の道路・街区形状が水文・水理現象に与える影響を考慮した洪水流出・浸水解析モデル構築が行われている。例えば非構造格子モデル¹⁾は、街区形状をモデル中に反映可能な浸水解析モデルであり、都市流域における氾濫流の挙動を精緻に解析可能となっている。図-1は、非構造格子モデルにおける理想的な計算格子形状を示している。非構造格子モデルで氾濫解析を精度良く行うためには、都市流域の地表面構造をなるべく精度よく表現可能な解析格子形成が重要となると考えられる。具体的には、まず道路の解析格子としては、道路表面流の流下方向が道路進行方向に卓越することを考慮し、その進行方向に対して垂直に分割した矩形要素「微小道路要素」が必要と考えられる。また街区については、微小道路要素と整合させた形状をもつ、要素間の氾濫流解析が容易な三角形格子「街区内不整三角形格子」に分割されていることが望ましいが、こうした計算格子の形成を手作業で行う場合、モデルデータの構築にかなりの時間と労力が必要となる。鈴木ら²⁾は、道路中心線からポリゴン型の道路を疑似的に発生させるとともに、この道路ポリゴン上に節点を発生させ、これらを母点として不整三角形網を自動生成し、街区内分割を行う手法を考案している。しかし鈴木らの手法では、道路幅員はすべて3mとして仮想的に与えるため、道路幅員・形状が多岐にわたる都市流域では、実際の街区形状を反映しない場合があるとともに、微小道路要素と整合させた形状での街区分割は困難である。そこで本研究では、著者らが自動構築した微小道路要素と整合する形状をもつとともに、都市流域の複雑な街区形状を反映可能な新たな街区内不整三角形格子の自動生成手法について検討を行った。

2. 街区内不整三角形格子の自動生成

街区内不整三角形格子は、非構造格子モデルにおける氾濫解析精度の維持と計算負荷低減の観点から、以下の条件を満たすことが望ましい。まず、各三角形格子は①概ね同じ面積の正三角形に近い単純形状であり、②隣接する街区内不整三角形格子と整合性をもつことが重要である。また著者らは、道路の解析格子である微小道路要素の自動構築手法³⁾を先に開発したため、③微小道路要素と整合した不整三角形網形状となることが必要である。

複雑形状の要素を三角形分割する手法として、デローニー三角分割法⁴⁾が挙げられる。デローニー不整三角形網は、図-2 a)のような母点から生成される全ての三角形の内角の最小値が最大となるように構築した三角形網(図-2 b))であり、生成される三角形網は他の三角形網(図-2 c))と比較して最も正三角形の集合に近くなるという特性をもつ。またデローニー三角分割法を基準としながらも、三角形形状を単純形状に制御する手法として、扁平率法とラプラシアン法が提案されている⁴⁾。本研究では、微小道路要素の分割線端点を母点とし、扁平率法とラプラシアン法によって要素形状を制御可能な街区内不整三角形格子生成手法を提案した(図-3)。

(1) デローニー三角分割法

3点以上で構成される点群を母点として、対象とする領域を正三角形に近い不整三角形網に分割する手法。(図-3 a))

(2) 扁平率法

最も扁平な三角形を抽出し、その三角形における最長の線分を抽出するとともに、その線分の中点を母点に加えることにより母点の点群を更新し、三角形網を再発生させる手法。(図-3 b))

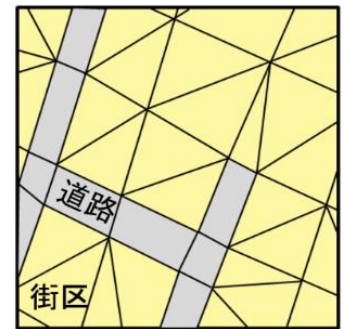


図-1 理想的な計算格子形状

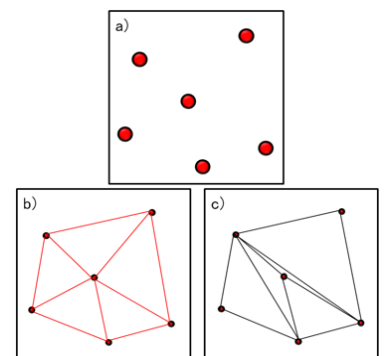


図-2 デローニー不整三角形網

(3) ラプラシアン法

扁平率法で生成した三角形網のうち、加えた母点をノードとする全ての三角形を抽出し、これらの三角形網を統合し得られた多角形を作成、母点をこの多角形の重心へ移動する手法 (図-3 c))。

3. 実流域への適用と検証

本手法は、GIS ソフトの ArcGIS Ver.10.1 に対し、Visual Basic のアドインとして実装した。図-4 は本研究で対象領域とした神田川流域の 100 個の街区を示している。ここでは扁平率法・ラプラシアン法による三角形網形状の単純化効果を検証するため、これら手法を適用しなかった事例 1、およびこれら手法による加点を街区ごとに 5 点、10 点、15 点とした事例 2、3、4 を比較した。表-1 は各事例で発生した不整三角形網について、式(1)で計算した形状指数の平均値 \overline{Cr} を示す。

$$\overline{Cr} = \sum Cr_i / N = \sum (L_i / 2\sqrt{\pi A_i}) / N \quad (1)$$

ここで Cr_i とは、三角形 i ごとに計算したコンパクト比と呼ばれる形状指数である。コンパクト比は、最も単純な形状の円で 1、正三角形で 1.2861、直角二等辺三角形で 1.3621 となる無次元数である。ここで A_i 、 L_i は三角形 i の面積および外周長を、 N は生成した不整三角形網に含まれる三角形数を示す。表-1 から、事例 1 の \overline{Cr} は事例 2 よりも 0.25 程度大きいこと、また加点数の増加に伴い \overline{Cr} が小さな値となることが見て取れ、扁平率法・ラプラシアン法による要素形状の単純化効果が確認された。一方、図-5 は事例 4 の適用結果を示し、A 領域のように、生成される不整三角形格子が周囲と比較し小さくなった部分が見られた。些末な三角形要素は非構造格子モデルの計算負荷増大の原因となると考えられるため、これが発生しないように留意する必要がある。このため、こうした些末な三角形要素の発生条件を特定し、発生を防ぐ手法を開発することが今後の課題といえる。

4. むすび

本研究では、微小道路要素と整合する形状をもつ街区内不整三角形格子について、扁平率法・ラプラシアン法を含むデローニー三角分割法によって自動生成する手法を示した。本手法を実流域へ適用し検証を行った結果、任意の街区で街区内不整三角形格子が成形できること、扁平率法・ラプラシアン法の加点数を設定し三角形形状を制御できることを確認した。しかし、街区によっては些末な三角形要素が発生する場合もあり、この原因特定と制御が今後の課題といえる。

参考文献

- 1) 井上和也・川池健司・戸田圭一：非構造格子による氾濫解析モデル，京都大学防災研究所年報，No.42 B-2，pp.339-353，1999.
- 2) 鈴木久美子・安原一哉・村上 哲・小峯英雄：非構造格子モデルを用いた氾濫解析における GIS の利用，土木情報利用技術論文集，Vol.17，pp.243-248，2008.
- 3) 田内裕人・天口英雄・河村明・中川直子・古賀達也：都市域における洪水流出解析を目的とした微小道路要素の自動構築手法に関する研究，GIS - 理論と応用，Vol. 22，No.2，pp.25-34，2014.
- 4) 谷口健男：FEM のための要素自動分割—デローニー三角分割法の利用，森北出版，1992.

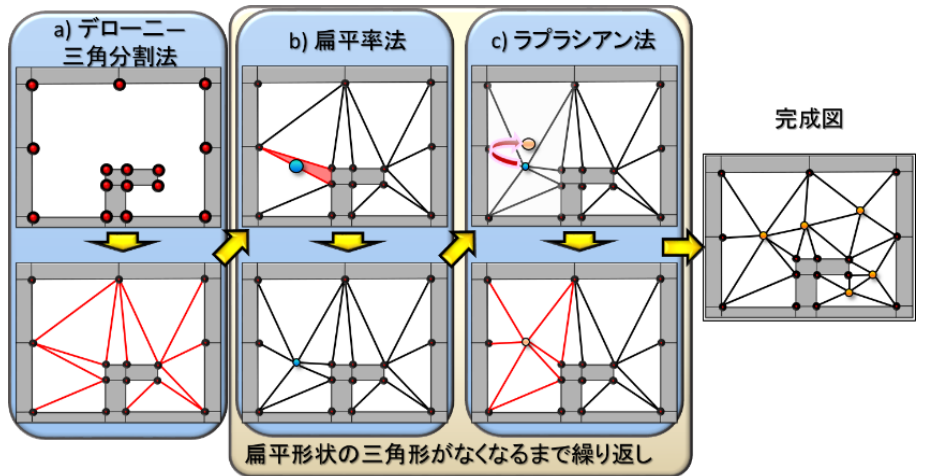


図-3 街区内不整三角形格子生成手法

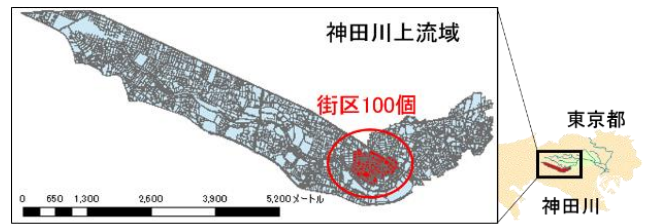


図-4 本研究における適用領域

表-1 事例ごとの形状指数による比較

事例	Cr平均値
1	1.9389
2	1.6923
3	1.5954
4	1.5461

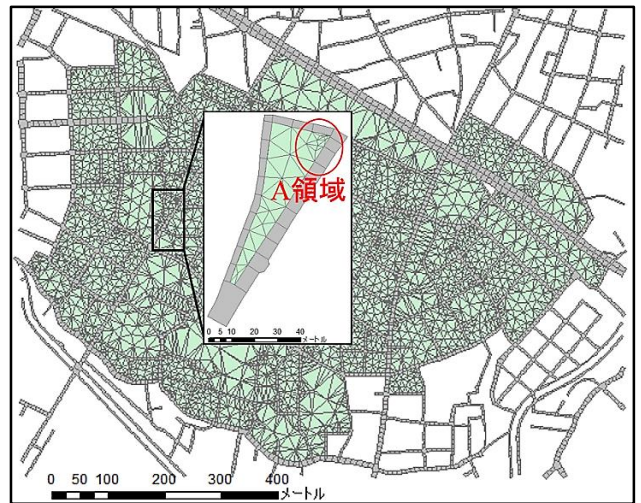


図-5 事例 4 の適用結果