

高速演算性と高精度性を両立した浸水域予測のための地形適合セルの機械的な生成法 Mechanical generation method of terrain-adaptive cells for flood-inundation analysis.

佐々木靖幸 (新潟大・工) 諸岡良優 (中央大学 (現 国立研究開発法人土木研究所)) 安田浩保 (新潟大)

Nobuyuki SASAKI, Niigata University

Yoshimasa MOROOKA, Chuo University

Hiroyasu YASUDA, Niigata University

FAX:+81-25-262-7050, E-mail:hiro@gs.niigata-u.ac.jp

Flood-inundation analysis using terrain-adaptive cells can flexibly describes complex terrain shapes in urban areas. However, it is difficult to generate the terrain-adaptive cells by man hands. In this study, we developed a method to mechanically generate the cells from the road network data. We also calculated using mechanically generated terrain-adapted cells are performed. As a result, 1) the mechanically generate cells can be accurately estimated the expansion speed of inundated area, and 2) contribute to the high-speed calculation.

1. はじめに

2019年10月の台風19号の広域での深刻な被害に対し、土木学会は、河川と都市の一体的な計画を提言した。この提言は、都市部の複雑な地形形状を柔軟に表現できる氾濫解析の必要性を示唆する。安田ら¹⁾は、地形適合セルを導入による柔軟な地形表現と高速演算性を両立した氾濫解析を提案している。地形適合セルは、浸水域の範囲や拡大時間に支配的な影響を及ぼす街区や街路などの線状境界を任意形状の多角形セルで表現するものである。地形適合セルを導入した計算法を用いれば、堤内地における氾濫水の誘導計画などの立案が容易に行える可能性がある。また、同計算法は矩形格子を用いた場合と比べて100倍程度の高速演算が可能のため、発災中において数分程度のごく短時間で浸水域の予測計算ができ、確実性が高い水防活動や避難指示への極めて大きな貢献が期待できる。

地形適合セルを用いた計算法は、高速演算性と高精度性を有する一方で、地形適合セルの生成が極めて煩雑という欠点がある。吉川ら²⁾はGISなどを用いることで地形適合セルを機械的に生成できることを報告している。しかし、市街地と郊外が混在するような解析領域を対象とした地形適合セルの機械的な生成にはいくつかの課題が残っている。機械的な地形適合セルの生成法として道路網に基づく方法が考えられるが、道路密度が高い市街部と、道路密度が低い郊外の耕作地などで、セル面積の較差が極めて大きくなる。このセル面積の較差は、市街部と郊外の耕作地などが混在する解析領域においてはセル毎に水深や浸水域の到達時刻などの解析精度の顕著な較差に直結する。

本研究では、任意の多角形を自由に組み合わせる地形適合セルの特長を活かし、まず、解析領域全体をなるべくセル面積が均一となるいわば歪曲した矩形もしくは矩形に近い多角形セルを機械的に生成する方法を開発する。また、機械的に生成された地形適合セルの有効性について把握する。

2. 均一なセル面積の地形適合セルの機械的な生成法の開発

2.1 開発した地形適合セル法の概要

地形適合セル法では格子毎の格子辺長や隣接格子との対応関係を整理し、構造化された格子構成情報に基づいて水理計算を行う。地形適合セルの生成手順は大別すると1)セルの作成、2)セルおよびセルを構成する辺の属性情報の取得、3)属性情報の整理の3つの作業項目から構成される。本研究ではこれらの作業は吉川らの方法を参考にセルの作成・属性情報の取得にはGISの機能を、属性情報の整

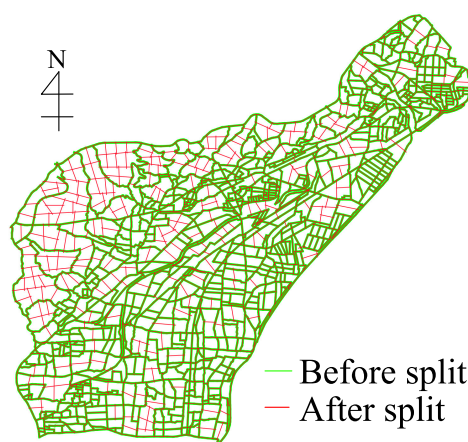


Fig. 1: Cells before and after split

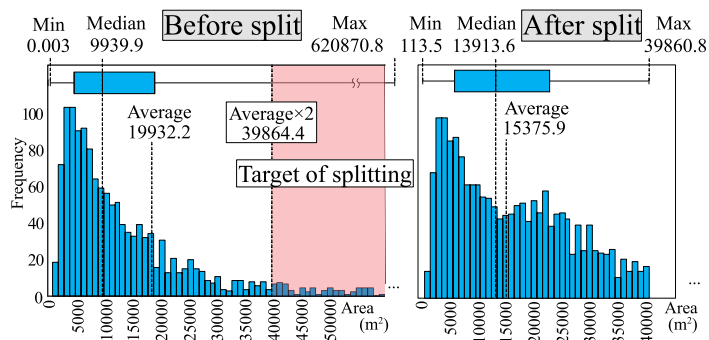


Fig. 2: Cell area distribution

理はプログラムによる自動化手法を使用した。また、本研究では、地形適合セルの線状境界として、道路網のオープンデータであるOpenStreetMap (以下、OSM) を用いた。解析対象は2019年19号台風の千曲川氾濫によって浸水した長野県長野市として、洪水流解析は断面の一般性を考慮した一次元不定流解析を、氾濫流量の見積もりには本間の越流公式を使用した。

2.2 地形適合セルの分割方法

分割前後のセルをFig.1に、セルの面積の分布をFig.2に示す。セルの分割を行う方法として、線状境界として使用する道路網データにGIS上でラインポリゴンを加筆する方法と、セルの属性情報を整理するプログラム上で面積の大きいセルの発見と分割を行う方法が挙げられる。任意多角

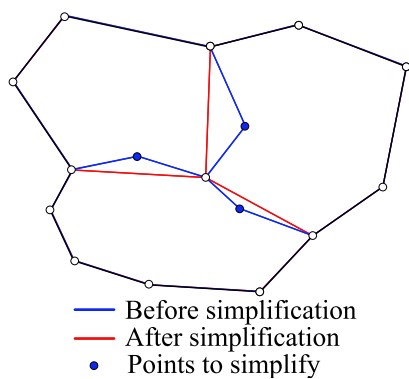


Fig. 3: Edge simplification

形で構成される地形適合セルを、プログラム上の一貫した法則で分割することは困難であるため、地形適合セルの分割は前者の手法を用いてセルの作成や属性情報の取得を行う前に行った。具体的にはセルの面積の中央値が平均値に近い値になれば分割後のセルの面積の均一性はある程度確保されたと考え、全てのセルが分割前のセルの平均面積の2倍よりも小さくなるように、該当するセルを手動で可能な限り均一に分割した。また、極端に面積の小さいセル（本研究では10 m²以下）を隣接するセルに結合する処理も実施した。

2.3 セルを構成する頂点数の削減法

地形適合セルの頂点数は多くても10個以下で解析領域を十分に記述できることが分かっている。一方で、OSMなどの道路網データは多数の節点を用いて道路の湾曲などを忠実に記述している。道路網の原データに基づく地形適合セルの機械的な生成も原理的には可能であるが、演算速度の観点で得策ではないため、道路網の原データの節点数の削減が不可欠である。

セルを構成する辺の削減処理はセルの属性情報を整理するプログラム上で行った。具体的には、Fig.3に示すように連続する辺において同一のセルが隣接する場合に、隣接が開始する点と終了する点を直線で結ぶように処理した。この処理を行うためには隣接するセルや対応する辺を把握する必要がある。吉川らは地形適合セルの機械的な生成法を提案しているものの、本研究の過程において、セル生成に使用する空間座標の精度が不十分な場合は、隣接関係の誤判定の可能性があることが分かった。そこで、本研究では高精度なOSMの座標値を用いることでその誤判定の回避を試みた。しかし、本研究の解析領域のOSMデータにおいては問題を解消できなかったため、さらに対策を講じ、座標値を逐次検索することで機械的にセルの隣接関係データを構築した。

3. 地形適合セルの機械的な生成法の効果

3.1 セル分割による効果

Fig.4に実績の最大浸水域と氾濫解析によって得られたセル分割前後の各時間の浸水域を示す。セル分割後の氾濫解析の最大浸水域は実績の最大浸水域の良好な再現性が見取れ、セル分割の有効性が認められる。

セル分割による効果の把握には、氾濫解析によって得られた浸水域の時間変化から氾濫流の先端を抽出し、両者の浸水域の拡大速度のみを比較した。解析結果からセル分割後の方が、浸水域の拡大速度が速いことと、最大浸水域の推定精度が高いことがわかった。これは、セル分割によりセル面積が均一化されることで、セルの面積差による計算

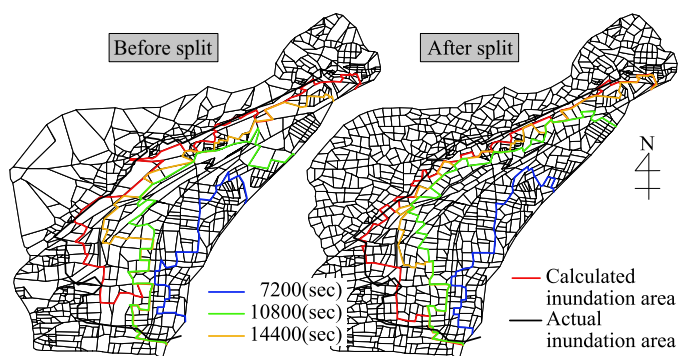


Fig. 4: Results of flood analysis

Table 1: Time required for analysis

	Before simplification	After simplification
Number of sides	29091	10408
Time required for analysis	63.7(sec)	44.0(sec)

精度の劣化の度合いが低くなったためであると考えられる。セル面積の均一性が異なると解析結果も異なるため、均一なセル分割を行わないと解析の正確性が損なわれる可能性が示された。

なお、本研究の地形適合セルを用いた水理計算では、地形データの処理の煩雑さと計算高速性の二点から移流項を無視した。しかし、近年、洪水氾濫は従来からの低平地だけでなく、比較的勾配が急峻な上流域に拡大傾向にある。今回の地形適合セルの機械的な生成法により、従来の煩雑な地形データの処理に目処が立ちつつあり、移流項の導入した計算法の開発に着手する予定である。

3.2 セルを構成する辺の単純化による効果

Table.1から、セル単純化後は総辺数が約1/3に、演算速度は約30%高速であることがわかる。道路網から生成したセルの単純化処理は、地形適合セルの特徴である高速演算性に大きく寄与すると言える。また、単純化したセルを使用しているFig.4の解析結果が良好に再現計算を行えていることから、セルを構成する接点数の削減が水理計算に悪影響を及ぼさないことが確認された。

4. おわりに

本研究では任意の多角形を自由に組み合わせる地形適合セルの特長を活かし、解析領域全体をなるべくセル面積が均一となるいわば歪曲した矩形もしくは矩形に近い多角形セルを用いて表現することで、計算効率と計算精度の両立を図った。その結果以下の成果を得た。まず、1) 面積の均一なセル分割を行わないと解析の正確性が損なわれる可能性が示された。次に、2) 道路網から生成したセルの単純化処理は地形適合セルの特徴である高速演算性に大きく寄与することがわかった。

参考文献

1) 安田 浩保, 白土 正美, 後藤 智明, 山田 正: 水防活動の支援を目的とした高速演算が可能な浸水域予測モデルの開発, 土木学会論文集, No.740/II-64, pp.1-17, 2003.
2) 吉川 夏樹, 宮津 進, 阿部 聡, 三沢 真一: 内水氾濫解析モデルのための地形適合セル生成および幾何属性情報整理手法の開発, 農業農村工学会論文集 IDRE Journal, No.284, pp.71-77, 2013.