

## 建物毎の流体力評価を可能とする建物サブグリッドモデルに基づく 三次元氾濫解析モデルの開発

東京理科大学大学院 学生会員 ○窪田利久  
東京理科大学 正会員 柏田仁, 二瓶泰雄

### 1. はじめに

頻発する水害は甚大さを極め、毎年のように全国各地で人的・物的被害が発生している。これら洪水被害の中で建物の被害に着目すると、平成30年7月豪雨では6,767棟、令和元年東日本台風では3,308棟、令和2年7月豪雨では1,621棟の建物が全壊したことが報告されている。洪水流による建物の損壊は人的被害に直接つながり、建築物内の物品の流出や浸水は、経済的な損失を引き起こすため、建物被害軽減策は最重要な気候変動適応策の一つである。国土交通省が策定している流域治水プロジェクトにも、土地利用規制やまちづくりと共に、耐水建築がメニューに挙げられ、この技術開発には洪水氾濫による建築物の被害状況を定量評価することは喫緊の課題である。氾濫流に対する建築物の耐力を定量的に把握・評価する上では、洪水氾濫シミュレーションが有用である。建物を考慮した洪水氾濫モデルはこれまで数多く提案されてきたが、道路網を流れる流速平面分布の再現を中心とした氾濫流の挙動に注目した検証にとどまっており、建物に働く流体力とその被害程度に着目した研究は皆無である。また、国内外の氾濫解析は計算負荷の観点から平面二次元解析が主流であるが、建物の耐水対策として挙げられる盛土やピロティ方式の効果を考慮するためには三次元解析が必要である。本研究では、計算機負荷の増加を抑えつつ、洪水氾濫時における建物一棟一棟の被害評価を可能とするために、新しい建物流体力評価用サブグリッドモデルをベースとした三次元氾濫解析モデルを構築することを目的とする。本モデルを用いてR2年7月豪雨による球磨川氾濫解析に適用し、本モデルの有用性や基本性能を検証する。

### 2. 研究方法

**(1)本モデルの基本構成：**氾濫解析における格子サイズが建物と同程度かそれ以上となる既存モデルでは、格子内の建物占有率に応じて抵抗パラメータ（主に粗度係数）を割り当てる手法が多い<sup>1)</sup>。しかしながら、この場合では、建物毎の流体力評価が適切になされていないことや建物が複数の計算格子に跨って存在していること、空隙率0（格子全体を建物がカバーする状態）で計算が不安定になる等の課題がある。そこで、格子サイズ以下の建物の位置・高さや抵抗力を適切に評価し、氾濫流解析における建物抵抗を高精度評価すると共に、個々の建物の流失判定を行うことが可能な建物サブグリッド（SG）モデルの概念図を図-1に示す。まず、様々な平面形状の建物を格子で分割し体積占有率を算出する（同図(a)）。次に建物重心を囲む4つの流速解析値を内挿し、流体力算出の流速データを求め（内挿法：IDW、同図(b)）、建物毎の流体力を算出する（同図(c)）。最後に、得られた流体力を建物がまたがる格子に配分するために、各格子における建物の体積占有率に基づいて抗力を配分する。格子に複数建物が存在する場合は、配分された抗力の総和を流動計算へ反映する。この建物SGモデルを、広範囲の三次元氾濫解析が可能な流量モデルである2D-3D hybrid model<sup>2)</sup>に組み込む。本計算法は2次元流動計算と3次元流動計算を並行して実施することで高効率性を実現した3次元流動モデルである。なお、流体力算定方法には、洪水浸水想定区域図作成マニュアル<sup>3)</sup>に基づいて抗力係数や投影面積を与えた。

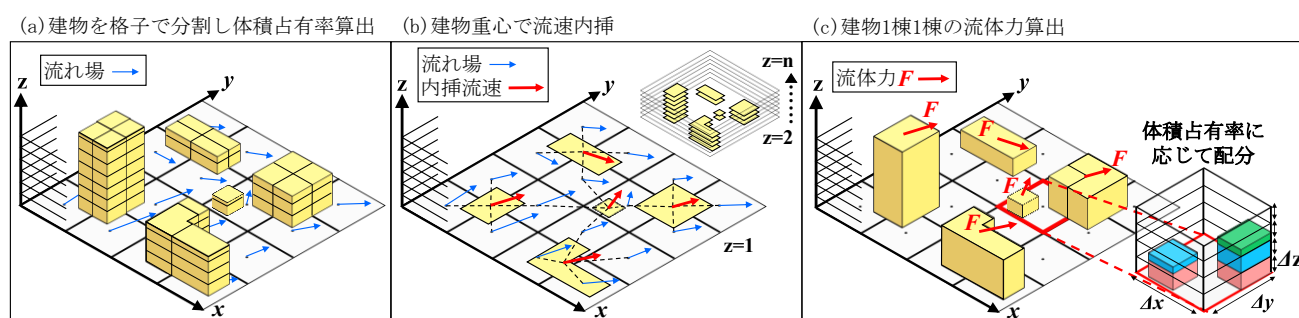


図-1 建物サブグリッドモデルの概要

**(2)計算条件：**本モデルの適用例として、上記の球磨川洪水流の再現解析を行った。対象区間は、51.8k～68.6kとし、格子解像度は建物サイズと同等の縦断方向に20m、横断方向に10mとした。鉛直方向には $\sigma$ 座標系を用い、水深を10等分した。河道内には定期横断測量データを縦断方向に内挿し、氾濫原にはDEMデータを与えた。本解析では計算領域に含まれるすべての建物(10163棟)を考慮した。建物データにはArcGIS Geo Suite 詳細地図2020 (ESRI ジャパン(株))を用いたが、計算範囲の一部地域でデータが欠落したためOpenStreetMap (OpenStreetMap Foundation)

キーワード：洪水氾濫、三次元氾濫解析、建物被害、サブグリッドモデル、流体力

連絡先：〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 東京理科大学 5 号館 3 階水理研究室 TEL：04-7124-1501（内線 4069）

の建物データで補完した．OSMデータは建物高さ情報を持たないため、一律 6m（2 階建て住宅）と与えた．

### 3. 結果と考察

**(1) 市街地における流速平面パターン：**市街地を流れる氾濫流速の平面分布の一例を図-2 に示す．ここでは 2020 7/4/10:30 の人吉市街地周辺（球磨川 58.6kp～61.2kp）における水深平均流速コンターと共に、主要な道路と建物外周線を重ねている．また、本モデルと比較するために、既存モデルとして、油屋・今村<sup>1)</sup>を参考にメッシュ内の家屋占有率に基づいて粗度係数を用いた手法の計算結果も表示する．なお、既存モデルでは空隙率 0（格子全体を建物がカバーする状態）で計算が不安定になるため、粗度係数の上限値を設定した．これより、本モデルでは高流速部分が主に道路沿いに局所的に現れているのに対して、既存モデルでは全体的に高流速部分が道路周囲にも広がる流速分布となっている．詳細には、球磨川と平行する道路（図中赤点線）に着目すると、既存モデルと比べて本モデルは道路に沿って流速が大きいことが分かる．この道路幅は約 10m～15m であり、格子幅と同スケールの道路である．本モデルでは道路線形を表現せずとも格子幅と同スケールの道路上の高流速を再現可能であることが示唆された．

**(2) 建物種別の流速鉛直分布：**本解析では、建物被害が甚大であった球磨川 53kp 地点の球磨村渡地区茶屋集落に限定して、建築物の階数情報を反映した．ここでは、Google street view を用いて、建物階数やピロティの有無を分類し、解析に反映させた．ピロティ方式は柱高さ（高床部分）2m、平屋住宅は建物高さ 3m として解析を行った．図-3 に建物無・ピロティ・平屋住宅を含める計算格子における水平方向流速の鉛直分布を例示する（2020/7/4/11:30）．これより、建物無の格子における流速鉛直分布は一般的な対数則分布を示している．ピロティを含む格子では、流速ピークは高さ 1.6m に見られ、高さ 2.5m 以下の流速が大きく、それ以上の高さでは流速は小さくなっており、建物形式と対応している．平屋住宅の格子では、高さ 3m 以下の流速が小さくなっており、高さ 3m 付近に変曲点を持つ流速分布となった．このように、本モデルでは建物の高さや形状による氾濫流の流速鉛直分布の変化を考慮できており、既存のモデルとは大きく異なる特徴と言える．

**(3) 建物被災状況と流体力の比較：**本解析で得られた建物 1 棟 1 棟の流体力について、建物被害別（流失・浸水のみ）に分けた結果を図-4 に示す．図中には、旧・新耐震基準に基づくモデル家屋（2 階建て木造住宅）の終局せん断耐力<sup>3)</sup>も図示する（赤線）．これより、流失と浸水のみでは、作用した流体力に統計的有意差が見られた（ $p<0.01$ ）．また、浸水のための建物の多くは旧耐震基準の耐力よりも小さい流体力であるのに対し、流失建物の多くが旧耐震基準よりも大きい流体力である．一方、新耐震基準よりも大きい流体力も数多く発生しており、本洪水においては新耐震基準でも流失してしまう状況が発生したことが示唆された．

**謝辞：**本研究の一部は大成学術財団によるものである．ここに記して謝意を表する．

**参考文献：**1) 油屋・今村：海岸工学論文集，Vol. 49，pp.276-280，2002． 2) 二瓶ら：土木学会論文集，Vol. 803，II-73，2005．

3) 国交省，洪水浸水想定区域図作成マニュアル（第 4 版），2017．

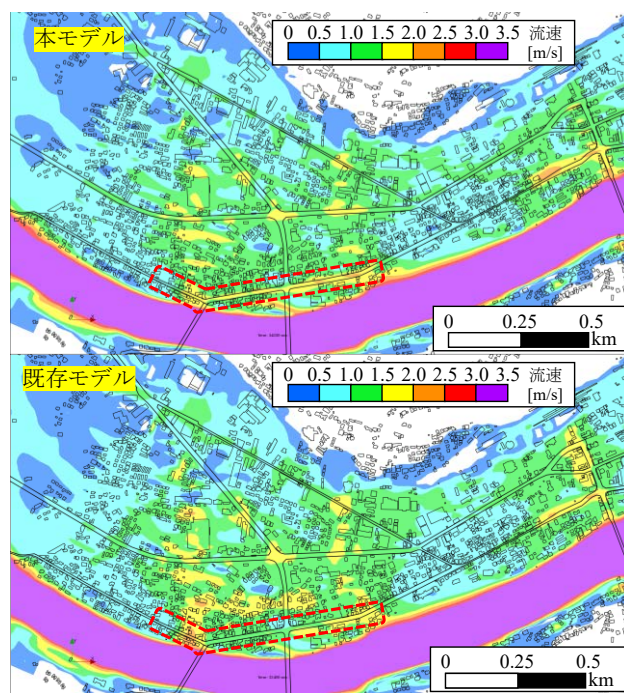


図-2 人吉市街地の流速平面分布（2020/7/4/10:30）

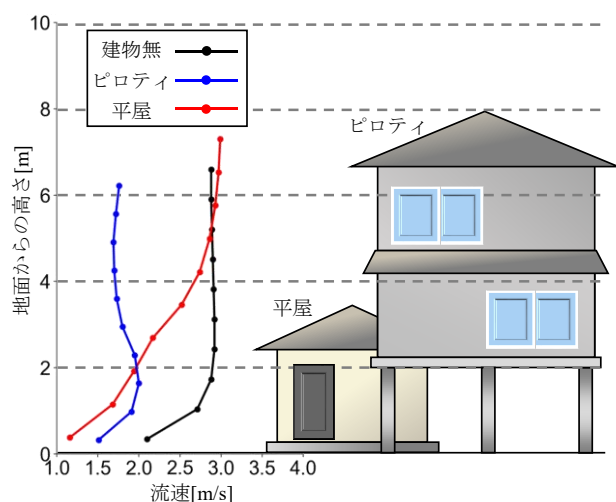


図-3 建物種別の流速鉛直分布（2020/7/4/11:30）

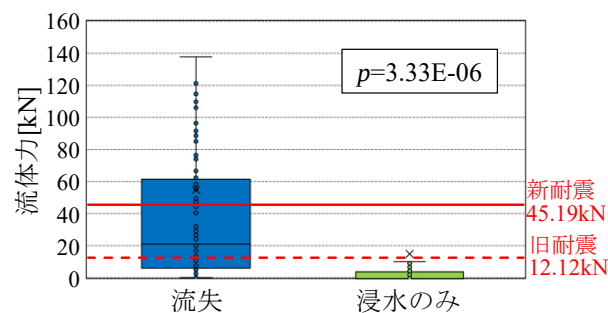


図-4 建物被害別流体力