

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 14 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420530

研究課題名(和文) 個別家屋の浸水素過程を考慮した洪水流出・浸水シミュレーションシステムの構築

研究課題名(英文) Construction of storm runoff and inundation model considering the process of building inundation

研究代表者

天口 英雄 (Amaguchi, Hideo)

首都大学東京・都市環境科学研究科・助教

研究者番号：40326012

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、詳細な雨水・下水道システムおよび道路、河道、そして街区内に存在する個々の建物、駐車場などからなる地物データGISを用いた洪水流出・浸水解析モデルであるTSRモデルを用いて、建物浸水過程のシミュレーションを可能とする建物浸水モデルを提案したものである。建物浸水モデルに設定するパラメータとして換気口の基準標高、床面標高および床下・床上浸入率を導入するとともに、これらのパラメータを建物用途等から設定する方法を示した。提案モデルを都市流域に適用し、建物に設定した個々のパラメータを反映した浸水特性が得られていることを定量的に示すと同時に、家屋の浸水現象を定性的に表現できていることを確認した。

研究成果の概要(英文)： In this study, a numerical simulation model for rainfall-runoff and flood inundation was developed; this model considers the inundation process of individual building. The model was built and evaluated for the upper Kanda catchment, Tokyo Metropolis, Japan. In the model, the parameters for the foundation height and floor height of each building and the opening ratio below and above the 1st floor were set for individual buildings based on their structure and purpose. The model was applied to simulate one major storm event. It could reproduce differences in the inundation depth of individual buildings reflecting the additional input parameters. The use of the model to evaluate the inundate condition for specific properties of the building was also demonstrated.

研究分野：水文学

キーワード：建物浸水 都市水文 地理情報システム 分布型洪水流出解析モデル 浸水解析 地物データGIS Tokyo Storm Runoff model

1. 研究開始当初の背景

近年、GIS 技術の発展や PC の処理能力の向上により、様々な雨水流出モデルが数多く提案されている。都市流域を対象とした分布型モデルは、一般的に流域をグリッド型（格子状）に分割しその領域内の不浸透・浸透特性により直接流出率を設定し、その領域を代表する地盤高により表面雨水流出を解析するものである。これらのモデルの特徴は、モデル開発およびデータ作成では利点が多いものの、都市流域では地表面を構成している建物、道路などの人工的な地物を考慮することが困難で、地物に設置されている雨水流出抑制施設などをきめ細かく評価することは難しい。

解析格子を用いた氾濫解析モデルでは、建物は非浸水性であるものと仮定し、建物占有率（格子内に建物が占める割合）を用いて水深を上昇させる方法により解析格子の水深が計算されている。建物の浸水深は個別に計算されず、多くの場合解析格子の水深と同様か建物周囲の平均水深が用いられている。しかしながら、家屋や事業所などの建物に資産が集中している都市流域においては、政策決定機関が計画する豪雨浸水被害に対するきめ細かな減災対策には個々の建物の浸水特性を考慮した様々なシナリオ分析が重要であると考えられる。

著者らはこれまで、都市流域において雨水流出過程をモデル化するデータを、「高度な地物データ GIS (図-1)」と定義し、直接流出量および表面流出・雨水管路流・管路流・河道流を一体で解析し、内外水が複合的に発生する都市河川特有の状況をシミュレートすることが可能な洪水流出解析モデルとして、Tokyo Storm Runoff (TSR)モデルを提案している。地物により流域をモデル化する利点は、建物および道路の流出抑制施設の有無の設定が容易で、かつ道路と雨水・下水道管路および河道と道路等の接合性が非常に良いことである。



図-1 高度な地物データ GIS

2. 研究の目的

本研究では、表面流出および浸水過程にお

いて建物の浸水過程を考慮した洪水流出・浸水解析モデルを構築するとともに、構築モデルを都市流域に適用して建物浸水モデルの妥当性について検討を行うものである。

3. 研究の方法

(1) TSR モデルの概要

図-2 は、TSR モデルにおける洪水流出・浸水過程の流れを示したものである。有効降雨モデルには修正 Horton モデル、家屋から近傍道路への流出には Kinematic Wave モデル、そして地表面（氾濫）流、雨水・下水道管路流には河道流には次元不定流モデルを用いている。図-3 は TSR モデルで用いている高度な地物データ GIS の構成要素をそれぞれ示したものである。TSR モデルに用いる高度な地物データ GIS の構成要素は、街区内土地利用 (図-3(a))、道路、河道および雨水・下水道管路 (図-3(b)) であり、街区内土地利用および道路を合わせて地表面とする。また、TSR モデルで対象とする雨水・下水道管路は、地表面と同様に枝線管路を含めた雨水排水網の分布状況をできる限り忠実にモデル化されることを想定している。

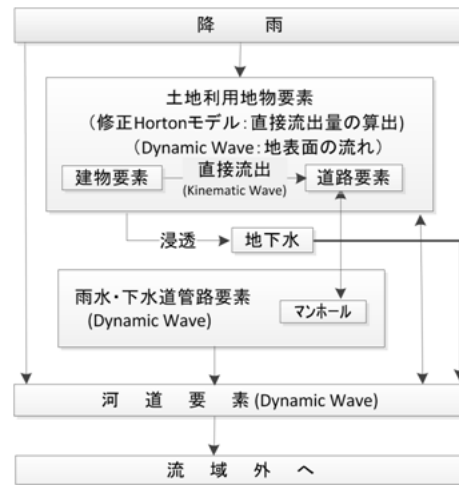


図-2 TSR モデルの洪水流出過程

図-2 に示す TSR モデルの流出過程では、まず流域への降雨は地表面および河道に対して与えられる。土地利用地物の浸透・不浸透特性に関する情報を基に、その地物の水深に降雨、周囲からの流入出量が浸透能を超えた雨水量を計算し、地物毎に水深を設定する。建物の雨水は近傍の道路へ流出するものとし、Kinematic Wave 法により算定される。この理由は、流出先の道路からの流出は局所的な道路の下水道管路の有無による状況をモデルに反映させるため、これにより建物からの雨水排水は近傍道路の下水道管路の状況など局所的な流出経路を反映したものである。

道路上の雨水は、道路の側溝を通じて雨水・下水道管路に排水されているのが現状で、TSR モデルではこれらをモデル化することも可能だが、雨水流出のモデル化においてはこれらの情報収集が困難であるため、マンホールを通じて雨水・下水道管路に雨水が排水されるものとして解析を行なっている。

(2)建物浸水モデル

建物浸水モデルは、街区内土地利用の建物を地表面の解析格子として活用するとともに、建物周囲の水位を用いて建物への浸水過程の解析を行うものである。

建物浸水モデルでは、図-4 に示す木造住宅を想定した場合、雨水は屋外水位が基礎部分に設置された床下換気口の基準標高を超えると床下換気口より浸入し、屋外水位が床面標高を超えるとドアやサッシの隙間から屋内に浸入する過程をモデル化する。床下換気口から建物への浸入量は、屋外水位を、屋内水位をとして換気口の基準標高との水位差を越流公式に従って算定されるものとした。屋外水位が床面の標高を超えた場合も同様に、床面標高を基準とした屋外水位および屋内水位と床上浸入率を用いることにより、屋内への浸入量が求める。また、建物から雨水が排水する場合も同様に越流公式を用いて流量を算定する。

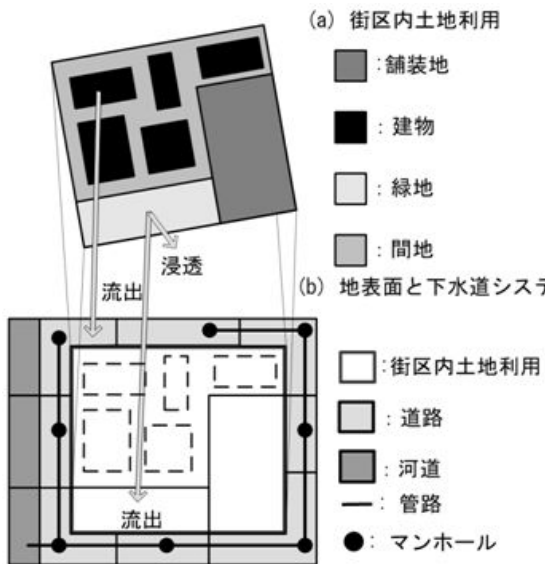


図-3 高度な地物データ GIS の構成要素

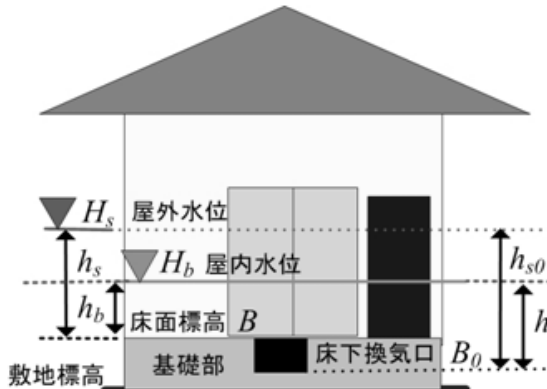


図-4 建物浸水モデルに用いるパラメータ

4. 研究成果

(1)解析例

図-4 は、建物浸水モデルにおいて計算した、対象都市流域の河道近傍における最大浸水深を4段階で示したものである。建物要素には建物用途として印を住宅、印を商業施設等として示しており、建物の用途の多くは住宅となっている。建物浸水モデルでは住宅の場合、雨水は宅地の敷高より40cm高く設定した基礎部分の換気口から浸入する。建物と建物周囲の浸水深分布は、設定されたパラメータを反映した結果が得られている。建物の浸水状況は、建物周囲の最大浸水深が5~25cmおよび25~50cmの区分の場合には建物にはほとんど浸水が発生していないが、浸水深が50cm以上から75cm以上と上昇するにつれて、建物の浸水深も徐々に増加していることがわかる。すなわち、建物浸水モデルにより算定される建物浸水深は、住宅の場合では建物周囲の水位が雨水の建物浸入水位を超過しなければ床下浸水は発生しないことや、床上以上の家屋浸水被害は建物周囲の浸水深が床上水位を超過する場合に発生していることを確認した。

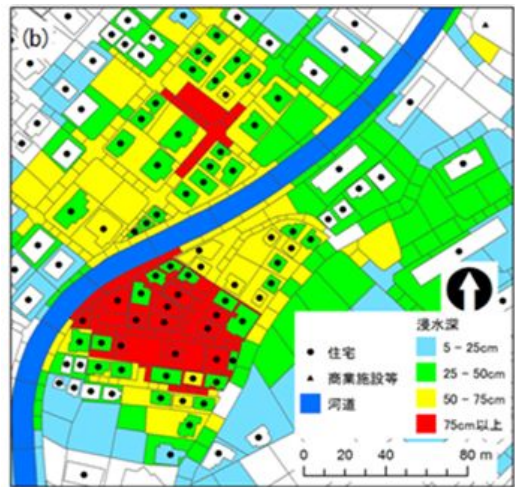


図-4 最大浸水深分布の解析例

(2)建物浸水モデルの応用

家屋や事業所などの建物に資産が集中している都市流域においては、政策決定機関が計画する豪雨浸水被害に対するきめ細かな減災対策には個々の建物の浸水特性を考慮した様々なシナリオ分析が重要であると考えられる。都市流域における家屋浸水被害対策の現状は様々であり、雨水が床下、ドア、窓などから建物内に浸水するのを防止するために、建物の耐水化や浸水防護壁により雨水の侵入を防止する方法が行われている。個別の建物の実情に合った条件を家屋浸水モデルに設定することにより、きめ細かな浸水対策のシミュレーションを行うことが可能である。

(3)今後の課題

実浸水域における建物浸水状況を把握し、

洪水流出・浸水シミュレーションによる結果を比較することで構築した建物浸水モデルの精度向上を目指して行く必要があるだろう。また、合流式下水道の整備された都市流域では、豪雨時に雨水が下水道管路を逆流することにより建物が浸水する現象が報告されている。今後はこのような家屋の浸水現象にも対応させるため、建物と雨水・下水道管路との接合関係を構築して豪雨時の合流下水道管路から家屋内への浸水リスク評価モデルへと発展する予定である。また、気候変動により短時間降雨強度の増加が予測されており、都市流域の排水施設への影響を評価・検討することも重要である。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計12件)

Amaguchi, H. and Kawamura, A. (2016) Evaluation of Climate Change Impacts on Urban Drainage Systems by a Storm Runoff Model with a Vector-Based Catchment Delineation. World Environmental and Water Resources Congress 2016: pp. 597-606. (査読無) doi: 10.1061/9780784479872.061

田内裕人, 河村明, 天口英雄, OLSSON Jonas: 都市部におけるポリゴン型不浸透面積率データを用いた HYPE モデルの流出予測精度向上に関する研究, 査読有, 土木学会論文集 B1(水工学)Vol.72, No.4, pp.1\_427-1\_432, 2016.

米勢嘉智, 河村明, 天口英雄, 戸野塚章宏: 1分値地上観測雨量データを用いた都市中小河川流域におけるXバンドMPレーダ雨量の精度評価, 査読有, 土木学会論文集 B1(水工学)Vol.72, No.4, pp.1\_217-1\_222, 2016.

古賀達也, 河村明, 天口英雄, 田内裕人: 神田川上流域における土地利用種別毎の蒸発散量および地表面温度の推定, 査読有, 土木学会論文集 G(環境), Vol.71, No.5, pp.1\_311-1\_317, 2015. [http://doi.org/10.2208/jscejg.71.1\\_311](http://doi.org/10.2208/jscejg.71.1_311)

天口英雄, 椿涼太: 浸水被害予測技術の現状と課題, 査読有, 河川技術論文集, Vol.21, pp.425-430, 2015.

田内裕人, 天口英雄, 河村明, 古賀達也, 萩原陽一: 都市域の道路形状特性に着目した新たな道路ネットワークデータの自動構築手法, 査読有, 土木学会論文集 F3(土木情報学), Vol.70, No.2, pp.

1\_115-1\_122, 2015. [http://doi.org/10.2208/jscejcei.70.1\\_115](http://doi.org/10.2208/jscejcei.70.1_115)

河村明, 天口英雄: 地物データ GIS を利用した都市部における精緻な降雨流出経路のモデル化, 査読無, 月刊 J-LIS, 平成 27 年 10 月号, pp.34-38, 2015.

天口英雄, 河村明, Jonas Olsson, 高崎忠勝, 中川直子: 家屋の雨水排水経路を考慮した洪水流出解析モデルの提案と都市小流域への適用, 査読有, 土木学会論文集 B1(水工学), 第 71 巻, pp.1\_313-1\_318, 2015. [http://doi.org/10.2208/jscejhe.71.1\\_313](http://doi.org/10.2208/jscejhe.71.1_313)

田内裕人, 天口英雄, 河村明, 古賀達也: 道路形状特性に着目した新たな道路ネットワークデータの自動構築手法, 査読有, 土木学会論文集 F3(土木情報学), Vol. 70 (2014) No. 2 p. 1\_115-1\_122. [http://doi.org/10.2208/jscejcei.70.1\\_115](http://doi.org/10.2208/jscejcei.70.1_115)

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, 査読有, GIS 理論と応用, 第 22 巻, pp.25-34, 2014.

田内裕人, 天口英雄, 河村明, 中川直子: 1/2500 地形図標準データファイルを用いた高度な地物データ GIS の自動構築に関する研究, 査読有, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.69(2013),No.4,p.1\_523-1\_528. [http://doi.org/10.2208/jscejhe.69.1\\_523](http://doi.org/10.2208/jscejhe.69.1_523)

天口英雄, 長坂丈巨, 河村明, 高崎忠勝, 中川直子: 都市流域を対象とした建物浸水モデルの提案, 査読有, 河川技術論文集, 第 19 巻, pp.137-147, 2013.

[学会発表](計17件)

雨宮尚広, 天口英雄, 河村明, 田内裕人: 道路ネットワークデータを活用した雨水管路網データ構築手法の提案, 第 43 回土木学会関東支部発表会, 2016 年 3 月 14 日, 「東京都市大学(東京都・世田谷区)」.

戸野塚章宏, 河村明, 天口英雄, 米勢嘉智: 1分値地上観測雨量データを用いた神田川上流域における豪雨イベントの観測地点間の相関特性について, 第 43 回土木学会関東支部発表会, 2016 年 3 月 14



日、「東京都市大学(東京都・世田谷区)」.

高山亮輔,天口英雄,河村明,古賀達也:  
TET モデルを用いた神田川上流域における  
地表面地物要素毎の時間地表面温度の  
推定,第43回土木学会関東支部発表会,  
2016年3月14日,「東京都市大学(東京  
都・世田谷区)」.

大塚理人,高崎忠勝,河村明,天口英雄,  
水面勾配を考慮した水位流量曲線による  
善福寺川改修未完了地点の治水安全度評  
価,第43回土木学会関東支部発表会,  
2016年3月14日,「東京都市大学(東京  
都・世田谷区)」.

北嶋駿一,天口英雄,河村明,田内裕人,  
神田川上流域における道路ネットワーク  
データを活用した雨水管路網の流出特性  
評価,第43回土木学会関東支部発表会,  
2016年3月14日,「東京都市大学(東京  
都・世田谷区)」.

萩原陽一,河村明,天口英雄,田内裕人,  
都市部におけるポリゴン型土地被覆デー  
タを用いた HYPE モデルの流出予測精度  
評価,第43回土木学会関東支部発表会,  
2016年3月14日,「東京都市大学(東京  
都・世田谷区)」.

太田遥,田内裕人,天口英雄,河村明,  
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,第  
43回土木学会関東支部発表会,2016年3  
月14日,「東京都市大学(東京都・世田  
谷区)」.

高崎忠勝,石原成幸,河村明,天口英雄,誤  
差を付加した流出量に対する都市貯留関  
数(USF)モデルパラメータの同定,水文・  
水資源学会 2015 年度研究発表会,2015  
年9月11日,「首都大学東京(東京都・  
八王子市)」.

田内裕人,天口英雄,河村明,個別建物を  
考慮した浸水解析格子の自動構築に関  
する一考察,水文・水資源学会 2015 年  
度研究発表会,2015年9月9日,「首都  
大学東京(東京都・八王子市)」.

解洋子,天口英雄,河村明,田内裕人:  
都市流域の道路形状に着目した微小道路  
要素の自動構築手法について,第42回土  
木学会関東支部発表会 2015年3月5日,  
「東海大学(神奈川県・伊勢原市)」.

萩原陽一,天口英雄,田内裕人,河村明:  
都市域の道路形状特性に着目した道路中  
心線の自動生成について,第42回土木学  
会関東支部発表会,2015年3月5日,「東

海大学(神奈川県・伊勢原市)」.

雨宮尚広,天口英雄,河村明,田内裕  
人:神田川上流域における雨水・下水道  
管路網データの空間分析,第42回土木学  
会関東支部発表会,2015年3月6日,「東  
海大学(神奈川県・伊勢原市)」.

Amaguchi, H., Kawamura, A., Tanouchi,  
H. and Nakagawa, N., Application of the  
Tokyo Storm Runoff (TSR) model with a  
vector-based minute catchment  
delineation, Asia Oceana Geosciences  
Society 2014/7/30, Sapporo(Japan).

萩原陽一,天口英雄,田内裕人,河村明,  
中川直子:神田川上流域の1/2500地形図  
標準データを用いた建物要素のポリゴン  
生成について,第41回土木学会関東支部  
発表会,2014年3月14日,「まちなか(新  
潟県・長岡市)」.

田内裕人,天口英雄,河村明,中川直子,  
古賀達也:都市流域における洪水流出解  
析を目的とした道路自動分割手法につ  
いて,第41回土木学会関東支部発表会,  
2014年3月14日,「まちなかキャンパス  
長岡(新潟県・長岡市)」.

Nagasaka, T., Amaguchi, H. and  
Kawamura, A., Study of Damages to  
Residences and Proposal for a Building  
Inundation Model for an Urban Drainage  
Basin, 7th International Perspective  
on Water Resources and the Environment,  
2014/1/9, Ecuador(Quito).

田内裕人,天口英雄,河村明,中川直  
子:神田川上流域における地形図標準デ  
ータを用いた高度な地物データ GIS の浸  
透特性,水文・水資源学会 2013 年度研究  
発表会,2013年9月25日,「神戸大学(兵  
庫県・神戸市)」.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

天口 英雄 (AMAGUCHI, hideo)  
首都大学東京 都市環境科学研究科 助教  
研究者番号: 40326012

### (2) 研究分担者

河村 明 (KAWAMURA, akira)  
首都大学東京 都市環境科学研究科 教授  
研究者番号: 10177735

中川 直子 (NAKAGAWA, naoko)  
立教大学 理学部 准教授  
研究者番号: 70452034