

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

局地的豪雨時における鉄道沿線の流出・氾濫影響を予測する

近年、急激に発達する積乱雲による局地的豪雨により、都市部では河川の氾濫による浸水や内水氾濫による被害が増加しています。このような、氾濫・浸水による被害を軽減するために、氾濫・浸水のハザードを鉄道輸送の運行管理にリアルタイムに利用することを目指した研究を進めています。ここでは、気象予測に基づいた流出・氾濫予測手法の概要を述べるとともに、同モデルで算出された予測値の妥当性について、数値地形精度をパラメータとした検証を行ったので、その内容について紹介します。



渡邊 諭
Satoshi Watanabe
防災技術研究部
地盤防災研究室
主任研究員
【専門分野】河川防災、
斜面防災



馬目 凌
Ryo Manome
防災技術研究部
地盤防災研究室
研究員
【専門分野】河川防災、
斜面防災



湯浅 友輝
Tomoki Yuasa
前 防災技術研究部
地盤防災研究室
研究員
【専門分野】斜面防災

はじめに

近年の気候変動により、短時間で局地的に降る記録的な豪雨（以下、局地的豪雨といいます）が増加しており、都市部では河川の氾濫による浸水や内水氾濫（☞参照）による道路冠水などの被害が増加しています。

鉄道では、おもに雨量や河川水位の観測値が所定のしきい値を超えたときに運転中止や徐行運転などの措置がとられます。しかし、局地的豪雨の場合には、短時間のうちに発生する河川水位の上昇が懸念されることから、可能な限り迅速に氾濫・浸水現象をとらえることが、さらなる安全性向上や異常時の避難誘導のために重要となります（図1）。

そこで本研究では、数十分から数時間先の気象予測値を外力条件として実施した流出・氾濫解析の結果から氾濫・浸水ハザードを推定し、この情報を運行管理にリアルタイムに利用する手法の開発を目指しています¹⁾²⁾。課題として、より実際に近い氾濫域を得るために解析精度を上げると計算負荷が大きくなり、迅速な予測が実現できない可能性があることがあげられます。ここでは、ハザードの推定に用いる流出・

氾濫解析手法の概要と、この手法を用いた場合の氾濫域の評価として許容できる数値地形情報の精度の検討を行った結果について紹介します。

流出・氾濫解析手法の概要

流出解析とは、斜面などに降った雨の河川への流出量を時々刻々と算出するものであり、降雨強度の時間経過から、河川の水位や流量の時間的な変化を求めるものです。

氾濫解析とは、豪雨によって河川やため池などからの溢水や、場合によって堤防が破堤した場合のあふれ出た水の挙動を数値計算により再現し、区画ごとの浸水深を求めるものです。身近なところでは自治体などが発表してい

☞ 内水氾濫

市街地などに降った雨が下水管などの雨水処理能力を超えた際や、市街地などの水を川に排出することができなくなった際に、市街地などが浸水する氾濫現象。

☞ 外水氾濫

台風や大雨などによって川の水が堤防からあふれたり、堤防が決壊したりすることによって発生する氾濫現象。

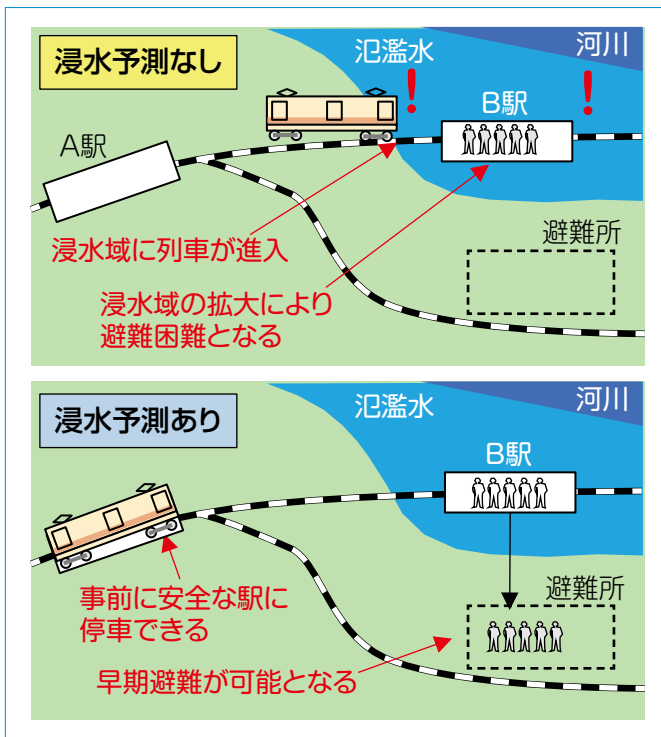


図1 浸水予測情報の有無による対応の違い

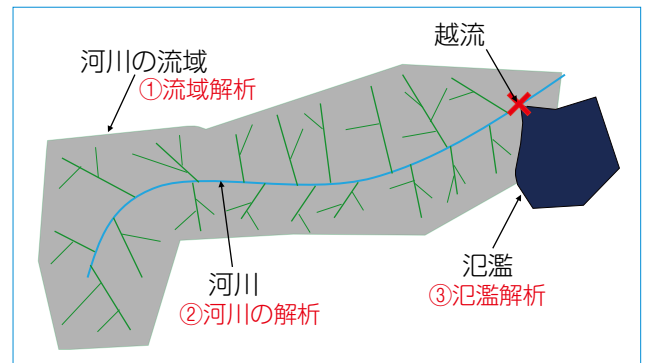


図2 流出解析のイメージ図

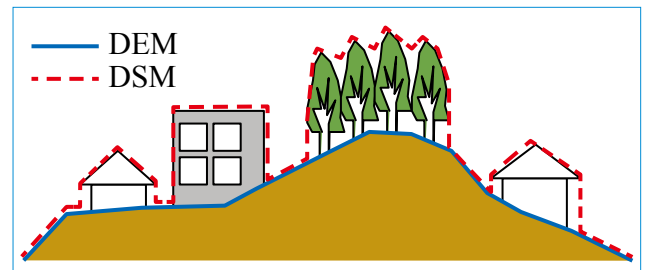


図3 DSMとDEMの概念図

る洪水ハザードマップがあります。

本検討における流出・氾濫解析手法の計算のイメージを図2に示します。本手法では、地表面を等間隔の正方形に区切り、格子点ごとに高さの情報を持つ数値標高モデル (Digital Elevation Model: 以下、DEMといいます) の上に河川をモデル化しています (以下、河川モデルといいます)。河川モデルには箇所ごとの断面形状が再現されています。任意の降雨をこのDEM上に与えると、その雨水は地形の傾斜に沿って河川モデルに流れ込みます (図中の①流域解析)。河川モデルにおいて雨水の流入量から河川流量と水位が逐次計算され、豪雨によって河川流量が増加し河川の水位が堤防高さを超えた場合に越流します (図中の②河川の解析)。さらに越流した雨水はDEMの形状に従って拡散あるいは氾濫します (図中の③氾濫解析)。

本解析においては、降雨にともなう河川の流出解析と河川からあふれた氾

濫水による外水氾濫 (☞参照) のみを解析対象としており、内水氾濫は考慮していません。これは、可能な限り計算負荷を小さくすること、通常の降雨規模以上の局地的豪雨を対象とすることから下水道設備が十分機能しない状況を想定して安全側の評価とすることとしたためです。

流出・氾濫解析モデルに用いる数値地形の格子点間隔の設定

(1) 検討概要

流出・氾濫解析の精度を考慮するにあたっては、地表面をどの程度の大きさの正方形に区切るか、すなわちDEMの格子点間隔をどう設定するかが重要です。しかし、間隔が密なほど計算リソースは増大するため、本論で目指す迅速な予測が実現できない可能性があります。そのため、氾濫解析の精度と迅速性を同時に確保した格子点間隔の設定が必要です。

そこで、鉄道沿線において過去に近

傍の河川の氾濫により浸水の履歴がある箇所を解析対象エリアとし、氾濫域の評価に適用する格子点間隔を検証しました。具体的には、現状で実施可能なDEMの格子点間隔がもっとも密な1m (以下、1mメッシュといい、ほかの格子点間隔の表記もこれになります) による計算結果を算出します。なお、1mメッシュの条件では、図3に示すように実際の建造物などの高さを再現した数値表層モデル (Digital Surface Model: 以下、DSMといいます) を用いて解析を行いました。その解析結果を現実にもっとも近い値と仮定して、格子点間隔を広げた場合の解析結果にどの程度の誤差が生じるか確認することで氾濫域の評価として許容できる格子点間隔を検証しました。また、参考として自治体が作成した内水および外水氾濫を考慮した浸水予想図³⁾に示された浸水範囲と上記の検証結果との間に大きな乖離^{かいり}が生じていないか比較しました。

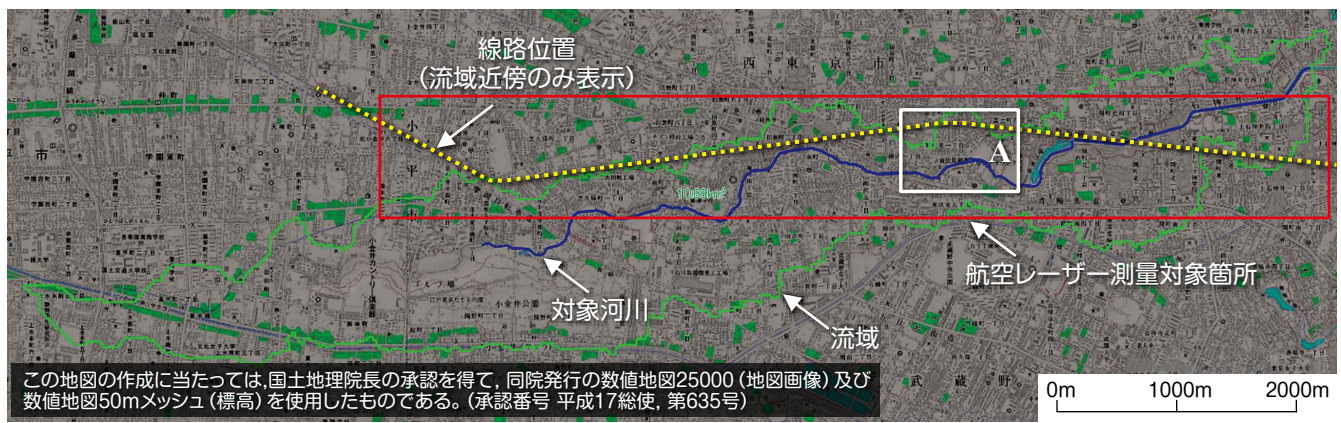


図4 対象解析エリアの概要図

(2) 解析条件

図4に、解析対象エリアの概要を示します。対象とする河川は東西方向に流下する流路延長25.2km、流域面積61.6km²の河川であり、鉄道と河川はほぼ平行しています。なお、図中に示した流域の範囲は鉄道に近傍の流域のみを示しており、河川の下流方はモデル化せず、モデルの下流端に達した雨水は消散する境界条件としました。鉄道は東側の1箇所では橋りょうにより河川と交差しています。図中の赤枠の内側領域は航空レーザー測量により1mメッシュで数値地形データを取得し、その他の箇所については公開されている5mメッシュのDEMを用い、両者を統合したDEMにより解析を行いました。

対象降雨は、図5に示すH12年9月に発生した東海豪雨(累積雨量589mm、最大時間雨量114mm)を流域全体に作用させています。

(3) 計算事例の比較検証

図6は、図4中のA部分について、1mメッシュを基準として、5、25、50および100mメッシュの解析結果と、参考として同箇所の航空写真を示したものです。背景としてグレーの印影で表示している地形はすべて1mメッシュのDEMです。

基準となる1mメッシュの結果をみると、建物と建物の間の道路、幅員の広い道路部分およびグラウンドなどの範囲が浸水しており、最大浸水深1.0m

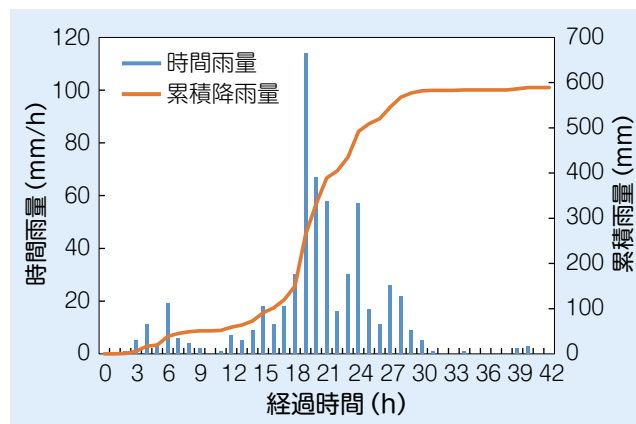


図5 外力条件(東海豪雨)

以上の範囲が広く分布していることがわかります。また、航空写真および背景に表示するDEMの形状と浸水範囲を比較すると、建物の形状が反映された浸水域となっていることがわかります。5mメッシュをみると、建物の形状が反映されていないことからその場所に浸水範囲が広がり、それに応じて最大浸水深は大部分が浅くなって全体で1.0m未満となることが見てとれます。しかし、河川を中心とする浸水範囲端部までの広がり的大小とその形状は1mメッシュと大きな差はなく、全体の浸水範囲としてはほぼ一致する結果となりました。25mメッシュも5mメッシュの場合と同様であり、解像度は小さくなるものの図中の赤破線で例示する土地の高低および形状に矛盾しない浸水範囲が分布しています。

一方、50mメッシュでは、図中B部分に見られるように、土地が高いと

ここまで浸水するなど背景のDEMと矛盾する浸水範囲がみられ、また最大浸水深の分布も0.2m以下から2.0m以上のばらつきが顕著になっています。さらに100mメッシュになると、最大浸水深、浸水範囲ともに1mメッシュの解析結果と大きく乖離する結果となりました。

参考値として、浸水範囲の外縁を包絡する部分の面積を比較したところ1mメッシュの計算結果に対して5m、25m、50m、100mではそれぞれ103%、103%、118%、155%となりました。

以上のことから、1mメッシュの解析結果をもっとも現実に近い値と仮定した場合、25mメッシュ以下であれば浸水範囲はほぼ一致する結果が得られました。一方、25mメッシュで解析された最大浸水深をみると、建造物の影響を考慮していないため過少に評価する可能性があることがわかりました。

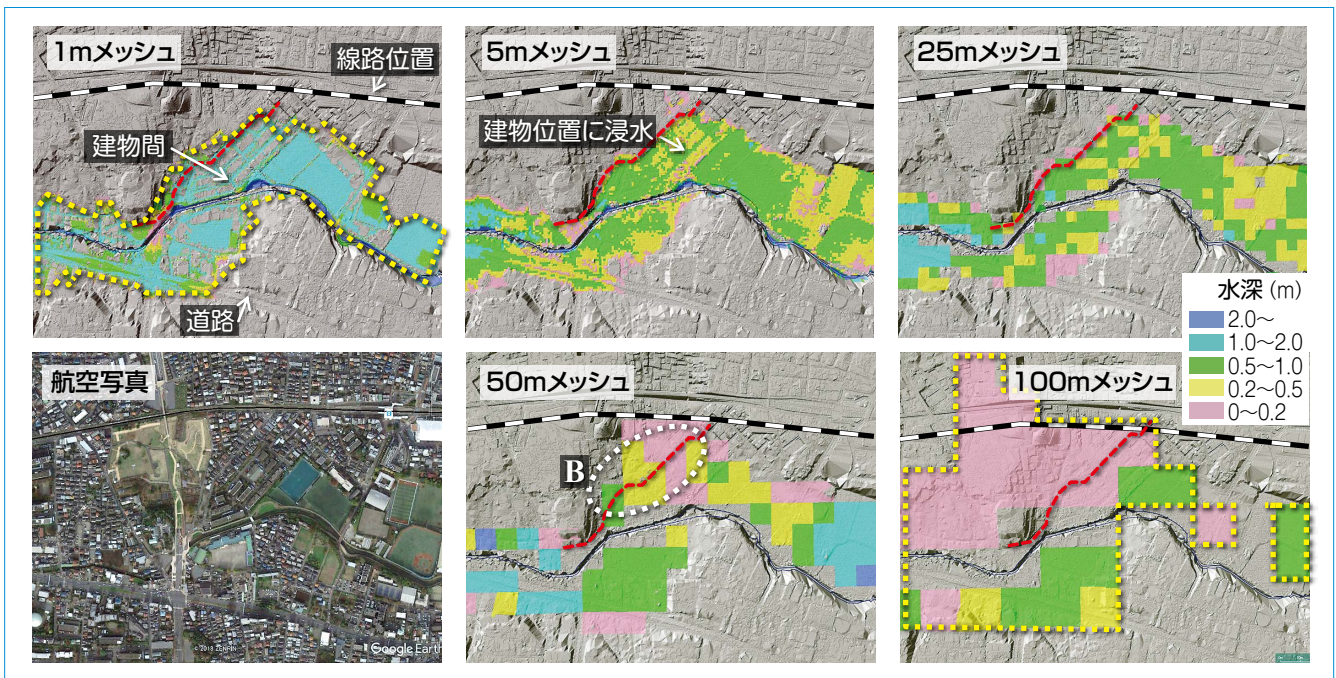


図6 解析結果：図4におけるA部分（航空写真はGoogle Earthより抜粋）

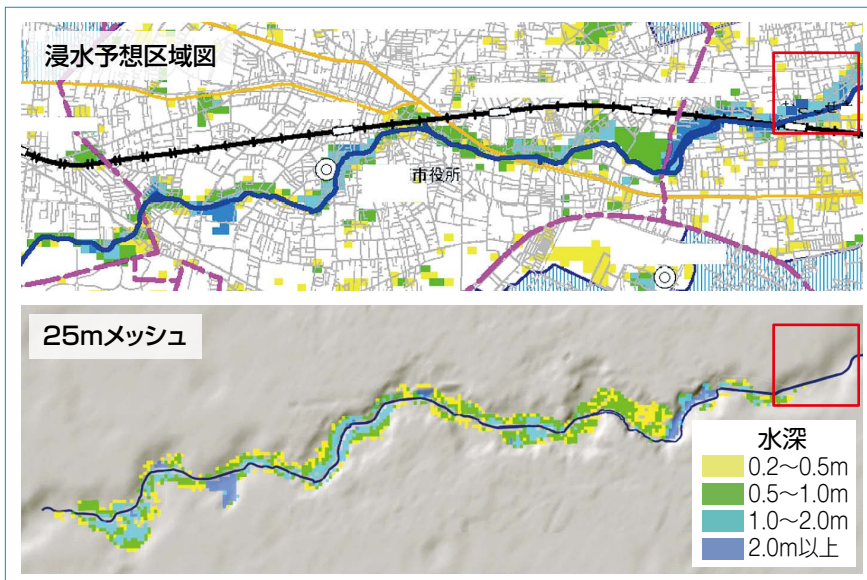


図7 自治体による浸水予想図と解析結果との比較（上・中流域）

(4) 既往の浸水予想区域図との比較

自治体が作成した内水および外水氾濫を考慮した浸水予想図³⁾に示された浸水範囲と25mメッシュで得られた浸水範囲とを比較しました。

図7に上・中流域の比較結果を示しますが、浸水深の差はあるものの浸水範囲はおおむね一致していることがわかりました。一方で、図7の東側（図中の赤枠部分）では氾濫が生じない結果となりました。この原因として、解析で

は図4で示した流域よりも下流側の流域は再現していないことから、下流方の河川の水位上昇の影響や内水氾濫を考慮していないため、結果として河川流量と氾濫水を小さく評価してしまったために生じたものと考えられます。

まとめ

本報告では、流出・氾濫解析モデルの妥当性について、1mメッシュから格子点間隔を大きくした場合の解析結果

の比較により、格子点間隔が25m以下であれば最大浸水深はやや低めに評価されるものの浸水範囲はおおむね一致することを確認しました。また、計算時間については、今回対象とした対象降雨ではおおむね10分以内を目安に解析が完了することを確認しました。

西武鉄道株式会社様には本解析システムのモニターとしてご協力いただきました。本報告の内容の一部は、総合科学技術・イノベーション会議のSIP（戦略的イノベーション創造プログラム）「レジリエントな防災・減災技術の強化」（管理法人：JST）により実施したものです。RRR

文献

- 1) 尾崎尚也, 渡邊拓也, 深澤紀子: 突風・浸水予測を用いた列車停止及び避難誘導アルゴリズム, 鉄道総研報告, Vol.31, No.10, pp.5-10, 2017
- 2) 川越健, 尾崎尚也, 太田直之: 降雨予測値を活用した「局地強雨対応の鉄道減災システム」, SIP防災シンポジウム2017 予稿集, p.23, 2017
- 3) 東京都建設局: 石神井川及び白子川流域浸水予想区域図, 平成15年5月15日作成