

## 荒川堤防決壊に伴う大規模浸水と地下鉄トンネル内の浸水の拡大プロセス

早稲田大学理工学術院 正会員 関根 正人  
 早稲田大学大学院 学生員 ○ 児玉 香織  
 早稲田大学大学院(当時) 学生員 小林 香野

## 1. 序論

近年、台風による時空間的スケールの大きな豪雨の影響で、河川氾濫やそれに起因する大規模浸水が発生している。平成27年9月関東・東北豪雨による鬼怒川流域の甚大な被害は特に印象深い。今後、これに匹敵するような外水氾濫が高度に都市化された東京都心部で起きた場合には、大規模地下空間への氾濫水流入によりさらに甚大な被害の発生が懸念される。当研究室ではこれまで、荒川と隅田川で挟まれた「東京東部低平地」を対象に、東京で最も深刻な浸水被害が予想される荒川の右岸堤防が決壊する事態と想定した浸水予測計算を行ってきた。本論文では、このような浸水時に予想される地下鉄トンネル坑口からの氾濫水流入の危険性を明らかにするとともに、トンネル内を流入水がどのように輸送されるかを計算した結果を説明する。

## 2. 解析の概要

「東京東部低平地」は、西を隅田川、北東を荒川、南を東京湾によって隔てられたエリアであり、その総面積は59 km<sup>2</sup>である。このエリアの特徴としては、1) 全般的に標高が低く東側半分は東京湾平均海面以下であること、2) 下水道に流入した雨水はポンプ所を経て内部河川か隅田川に吐き出されること、3) 内部河川は縦横につながり、排水機場や樋門・閘門によって荒川ならびに隅田川から切り離されてた独立した水域となっており、平常時の水位は一定に保たれていること、などが挙げられる。本研究では、前論文<sup>2)</sup>と同様に、これらの特徴を踏まえ、実在するあらゆるインフラについての情報を忠実に反映して浸水を予測する手法<sup>1)</sup>を対象とする本エリアに適用して、荒川堤防決壊時に地上で浸水が拡大するプロセスを検討した。その結果の一部を図-1(a)に示す。なお、ここでは、河口から約5.2 km上流側を破堤地点とし、内閣府中央防災会議の検討に倣って「200年に1回」の規模の洪水を想定している。

また、ここで対象とするトンネルは、破堤地点より南西方向へ直線距離約2 kmの位置にある坑口から都心を通り抜けて南西に向かう全長約18 kmに及ぶものである。ただし、この途中に防水ゲートが設置されており、大規模浸水時にはこれを閉鎖することにより、都心部に水が及ばないようにになっている。本研究では、この坑口から防水ゲートまでの約6.5 kmの区間を検討と対象とし、10 m間隔で計算点を設定した上でその中の流れについて次元非定常流れの計算を行った。トンネル内には、標高差20 m程に及ぶ2箇所の大きな凹部に加え、細かな起伏があるほか、北向きの軌道(以下、A線と呼ぶ)と南向きの軌道(以下、B線と呼ぶ)が標高の異なる位置に敷設されている区間もある。このような情報を現実に即して入力した計算を行った。

## 3. 氾濫水の流入量評価とトンネル内の浸水発生拡大プロセス

図-1(a)においてオレンジ色の四角で囲ったトンネル坑口周辺の浸水状況を拡大したのが図-1(b)である。氾濫水の流入を考える上で、坑口付近の浸水状況を正確に捉える必要がある。ここでは、坑口に近接するA、Bの2つの地点における浸水深の時間変化について説明する。堤防決壊から120分後までの浸水深を調べると、A地点では浸水は生じていないのに対して、B地点では顕著な浸水が生じ、その浸水深ハイドログラフは図-1(c)のようになる。これを見ると、決壊から15分後の時点で氾濫水が到達し、19分後には浸水深が60 cmに及んでいる。そして、30分後に浸水深70 cmとなって以降は状況がさらに深刻化することも解消されることもないということがわかった。このことから、B地点の浸水深を基にトンネルへの流入流量を算出した。

坑口付近の特徴として、軌道面が周辺の地表面より約5 m低いところに位置し、この地点から北向きに61.8

キーワード：堤防決壊、大規模浸水、地下鉄トンネル、浸水プロセス、数値予測

連絡先：〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1, TEL 03-5286-3401, FAX 03-5272-2915

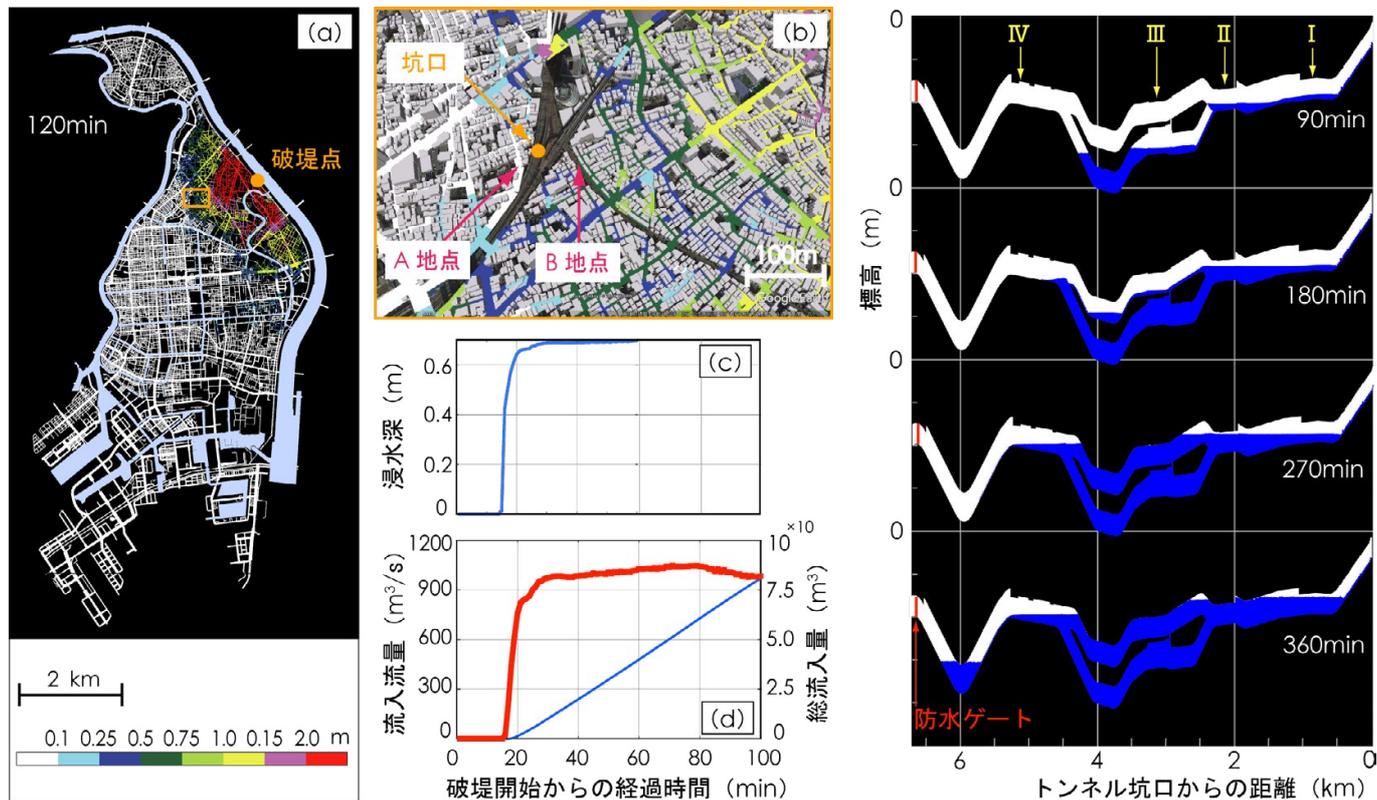


図-1 氾濫水の流入量の評価：(a) 破堤開始後120分の道路浸水深コンター図，(b) トンネル坑口付近における浸水深コンター図の拡大図，(c) B地点における浸水深ハイドログラフ，(d) トンネル坑口からの流入流量（赤色の実線）ならびに総流入量（青色の実線）の時間変化を示す。

図-2 トンネル軌道上の水面形縦断面図：各縦断面図の原点は標高0mを示し，縦軸の1目盛が標高差10mに相当する．駅の位置を黄色の数字で示した。

mも上昇する上り勾配になっているということが挙げられる。したがって，B地点まで到達した氾濫水は，まずこの勾配区間へ流れ落ち，その水が直ちにトンネル内へ流入することになる。図-1(d)には，段落ち式に基づいて算定した流入流量とこの累積量である総流入量の時間変化を示す。なお，この勾配区間よりさらに北側の軌道は高架化されているため，高架部分から水が流下してくることはないものと考えてよい。

図-2にはトンネル軌道上の水面形縦断面図をまとめた。氾濫水は，軌道面をより低い方向へ流れ，トンネルの凹部が満たされると，凸部（峠）を越え，その下流側へと一気に流れる。ただし，軌道が上下二つに分かれている坑口から約2.5km～4.5kmの区間では複雑な水の流れとなる。まず，標高が低いA線の軌道上に水が流れ込み，堤防決壊から150分後に天井高さにまで水が達し，その後は圧力流れの状態になる。A線のトンネルに流れ込めなくなった氾濫水は，標高が高いB線の軌道上に流入し始める。さらに時間が経過し180分後の時点で，A線の下流端からB線の軌道上に逆流するように水が流れ込むようになるため，駅IIIのB線軌道に関しては両方向から水が押し寄せることになる。その結果，この駅IIIのプラットフォームに水が到達する時刻には，A線と比べて100分ほどの遅れが出るということがわかった。なお，氾濫水が防水ゲートに到達するのは，480分後の時点であった。

#### 4. 結論

本研究では，荒川堤防決壊時を想定し，地下鉄トンネル内への氾濫水の流入と浸水区間が拡大していくプロセスについて水理学的に明らかにした。このような数値予測手法による検討は，事前の浸水被害軽減対策ならびに氾濫時の避難対策にさらに有効に活かされていくことが望まれる。

謝辞：本研究の一部は東京メトロとともに行ったものである。ここに記して関係各位に謝意を表します。

参考文献：1) 関根正人：住宅密集地域を抱える東京都心部を対象とした集中豪雨による内水氾濫に関する数値解析，土木学会論文集B1（水工学），Vol.67，No2，70-85，2011。2) 関根正人・小林香野：荒川決壊を想定した東京東部低平地の大規模浸水と避難に関わるリスクの評価，土木学会論文集B1（水工学），Vol.73，No4，I\_1459-I\_1458，2017。