

水害時の避難施設の立地に関する一考察

日本大学理工学部 正会員 ○後藤 浩・シビルソフト開発 非会員 佐藤 俊和
シビルソフト開発 非会員 岡田 健司・日本大学 フェロー 竹澤 三雄

まえがき 2015年9月10日～11日にかけて発生した2015年関東・東北豪雨¹⁾(以下、関東・東北豪雨と略す)では、鬼怒川堤防が越堤・破堤し甚大な被害が生じた。この結果、**図1**に示されるように、鬼怒川と小貝川に挟まれた広範囲な領域で浸水し²⁾、死者2名、負傷者30名(重症2名、中等症11名、軽症17名)の人的被害のほか、全半壊家屋多数という被害を被った¹⁾。このような未曾有の水害は、わが国では、地球規模の気候変動の影響で、今後、増える可能性があると考えられる。著者らは、この災害を例にして、数値シミュレーションを実施し、水害時の初期避難場所となる自宅(2階建て家屋)の安全性の検証を行い、ハザードマップには浸水深だけでなく流速の併記が必要である旨、指摘した³⁾。実際、関東・東北豪雨を経験した常総市のハザードマップが平成30年4月に改訂され、激流による被害が及ぶ場所の併記がハザードマップに付加されるようになった⁴⁾が、人の避難の安全性については言及されていない。本研究では、関東・東北豪雨による鬼怒川決壊を例にして、自宅を出て徒歩で避難する場合、避難場所付近を対象に歩行の安全性について考察を行い、二、三の提案を行った。

方法 数値シミュレーションの実施に当たっては、INFOWORKS ICM (Innovyze社)を用いた。このソフトは、(財)下水道新技術推進機構が発行する「流出解析モデル利活用マニュアル」⁵⁾でも紹介され、浸水解析業務で多くの実績を有するソフトである。基礎式は、非定常2次元の連続の式(1)と浅水流方程式(2)、(3)である⁶⁾。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$(x \text{ 方向}) \quad \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial (uM)}{\partial x} + \frac{\partial (vM)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{gn^2 u \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (2)$$

$$(y \text{ 方向}) \quad \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial (uN)}{\partial x} + \frac{\partial (vN)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{gn^2 v \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (3)$$

ここに、 h :水深、 t :時間、 M : x 方向の流量フラックス($M=uh$)、 N : y 方向の流量フラックス($N=vh$)、 u : x 方向の流速、 v : y 方向の流速、 H :水平基準面からの水面の高さ、 g :重力加速度、 n :氾濫原粗度係数(家のない場所では $n=0.025$ と想定⁶⁾)である。計算領域を**図2**のようにし、境界適合を良好にするため、メッシュ要素の形状を三角形(面積は100～500m²)とし、その要素数は338403とした。式(1)～(3)に関する方程式を差分法を用いて洪水発生時間を網羅する2015年9月9日20:00～9月10日24:00を計算時間として解いた。数値シミュレーションにおける入力項目である地形(道路、建物、水涯線など)については、国土地理院の基盤地図情報から数値標高データ⁷⁾をダウンロードして用いた。洪水時の鬼怒川の流量については、国土交通省関東地方整備局下館河川事務所から実測データ(平方)を入手して利用した。洪水時、台風により強い降雨も現地では観測されていたため、河川洪水以外に氾濫原に降った雨による浸水も厳密に再現するために、国土交通省XバンドMPレーダーデータ(1分ピッチデータ)が格納されているDIAS(地球環境統融合プログラム)⁸⁾から洪水発生時間の当該地域の時系列降雨強度データをダウンロードして利用した。なお、2016年8月6日に現地調査を実施し、浸水痕から浸水深を測定し、数値計算結果のキャリブレーションに使用して、計算の妥当性を高めた。その結果を、末次⁹⁾によって示された避難歩行判定(**表1**参照)にしたがって、常総市の浸水エリアにある避難所の場所付近での流速と水深との関係を比較することによって避難所に到達することが可能かどうかを確認した。

研究結果 数値シミュレーションを実施し、時間間隔ごとの歩行避難判定を整理した一例を**図3**に示す。

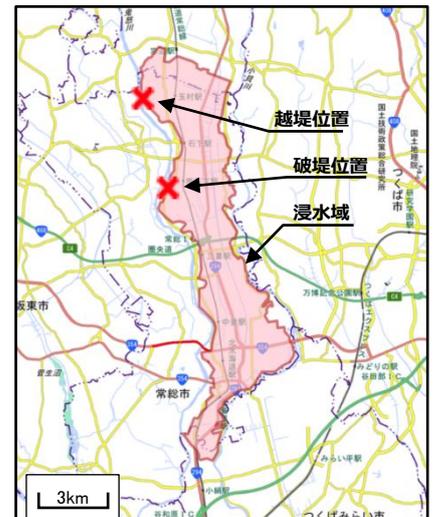


図1 関東・東北豪雨鬼怒川越堤・破堤の場所と浸水範囲(参考文献地図²⁾に筆者が加筆)

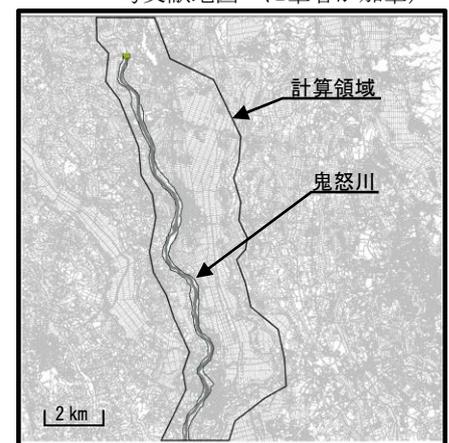


図2 計算領域図

表1 流速と水深による歩行避難の可能性⁹⁾

水深 (m) → ↓流速 (m/s)	1.0 ≤ h	0.5 ≤ h < 1.0	h < 0.5
1.5 ≤ V	不可能	不可能	困難
0.5 ≤ V < 1.5	不可能	困難	可能
V < 0.5	困難	可能	可能

キーワード: 2015年関東・東北豪雨, 鬼怒川越堤・破堤, 歩行避難, 避難所

連絡先: 〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台1-8 e-mail: gotou.hiroshi@nihon-u.ac.jp

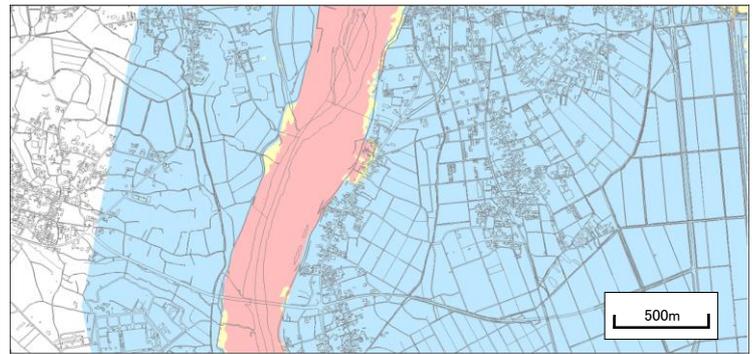
図3に示す通り、決壊した直後、激流が発生した付近（常総市石下地区）では、当時のテレビ映像からも推察される通り、概ね避難することは困難であることが理解される。なお、本計算結果の歩行不可能エリアは、常総市の示すハザードマップの激流が発生するエリアより大きくなった。浸水したエリアには、28カ所の指定避難所、32カ所の2次避難所があり^{1), 4)}、そのうち30カ所の避難所が浸水域に存在していた。本計算結果に基づき、その避難所付近での流速と水深との計算結果を照らし合わせると、「水害時不適」の避難所を除けば、幸いながら、決壊した場所と避難所の関係から、歩行避難が不可能となるエリアには避難所は立地していなかった。しかしながら、決壊する場所が異なれば、結果は大きく変化することが予想されるため、水害対策避難所の立地、そして、そこまでの避難ルートについては、数値シミュレーションを複数パターンで実施したのち、避難計画の上で入念に選定をして、その結果を住民が十分認識しておくべきであろうと考えられる。

まとめ 関東・東北豪雨に伴う鬼怒川越堤・破堤を対象にして、浸水エリアにおける避難所付近での歩行避難の可能性を示した。幸いながら、今回の越堤・破堤を対象にしたもとにした数値解析結果から、歩行避難ができない場所に避難所が立地していないことが明らかとなった。しかしながら、今後、水害の避難所の場所にたどり着くまでの経路での徒歩避難の安全確保を考慮して避難所の立地に留意することが好ましいことを指摘した。

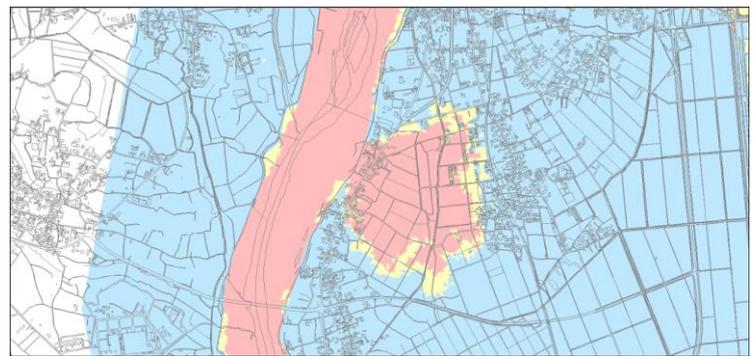
謝辞 数値計算に用いた洪水時の鬼怒川実測流量は、国土交通省関東地方整備局下館河川事務所からご提供頂きました。また、XバンドMPレーダー降雨データは、DIAS（データ統合・解析プログラム：Data Integration and Analysis System）より入手しました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

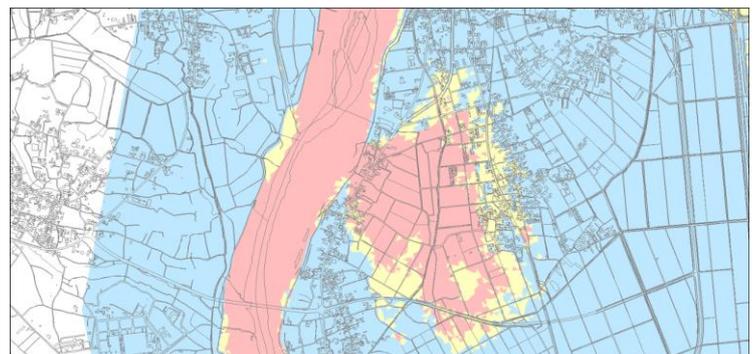
- 1) 国土交通省：関東・東北豪雨の鬼怒川における洪水被害等について、http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000633805.pdf（2017/06/15 閲覧）
- 2) 国土交通省：統合災害情報システム（DiMAPS）、<http://www.mlit.go.jp/saigai/dimaps/index.html>（2017/06/15 閲覧）
- 3) 後藤浩：平成27年9月関東・東北豪雨による浸水家屋の被災に関する数値解析的検討，建築学会技術報告集，日本建築学会，第25巻，第59号，pp.521-525，2019。
- 4) 常総市：常総市洪水ハザードマップ鬼怒川版，http://www.city.joso.lg.jp/ikkrwebBrowse/material/files/group/50/kouzhaza-domappu_kinugawa.pdf（2018/12/25 閲覧）
- 5) 日本下水道新技術機構：流出解析モデル利活用マニュアル，<https://www.jiwet.or.jp>（2018/02/27 閲覧）
- 6) 国土交通省：洪水浸水想定区域図作成マニュアル（第4版），http://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/pdf/manual_kouzuishinsui_1507.pdf（2018/12/25 閲覧）。
- 7) 国土交通省：国土地理院数値標高データ，<http://www.gsi.go.jp/chirikukan/chirikukan60006.html>（2017/06/15 閲覧）
- 8) 一財）リモート・センシング技術センター：地球環境統融合プログラム，<http://www.diasjp.net/>（2018/12/25 閲覧）
- 9) 国土交通省北陸地方整備局：急流河川における浸水想定区域検討の手引き，<http://www.hrr.mlit.go.jp/river/gsiryo/kento/01.pdf>（2018/12/25 閲覧）



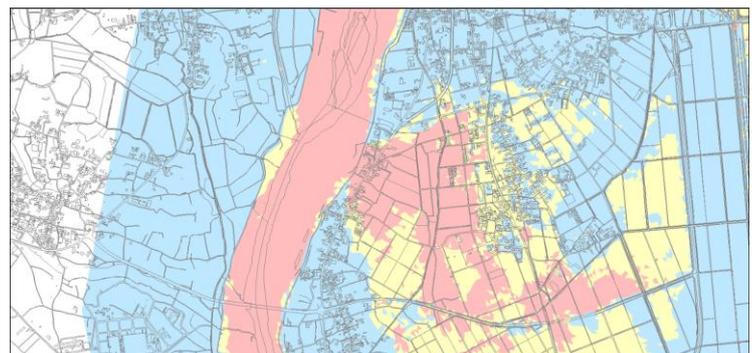
(A) 10-30sec の場合



(B) 60~300sec の場合



(C) 300~600sec の場合



(D) 900~1800sec の場合

図3 数値シミュレーションによる歩行不可能領域
(赤：歩行不可能領域，黄：歩行困難領域)