

洪水危険度の見える化に向けた取り組み

鳥居謙一・川崎将生・土屋修一

1. はじめに

平成27年9月関東・東北豪雨において19河川で堤防が決壊し、61河川で氾濫等が発生した。堤防の決壊した鬼怒川の常総市では、約4,300人がヘリ等で救助され、確実な避難の重要性が再認識された。

災害時に河川管理者から市町村、市町村から市民に提供される情報は、危機管理や避難行動を誘発させる情報でなければならない。

市町村や市民は、得られた情報に基づき経験と学習により習得した知識を活用して判断を行い、避難指示の発令や避難などの行動を起こすことになる。このため、防災教育による知識の習得が重要である。しかし、防災教育にも限界があり、経験と知識は組織差、個人差があることを前提にする必要がある。

工学における本分野の研究は、情報の高精度化、リアルタイム化など、技術的な問題の解決を目的とする研究が主であった。本稿は、本豪雨における鬼怒川氾濫災害を概括し、浮き彫りとなった課題の内、避難に係わる情報の課題、特にラスト・ワン・マイル問題である、情報を避難行動や危機管理にいかにつまみ付けるかについて考察するとともに、それに対応するため、国総研において着手した技術開発について紹介する。

2. 鬼怒川氾濫の概要

平成27年9月10日から11日にかけて、台風18号及び台風から変わった低気圧に向かって南から湿った空気が流れ込んだ影響で、線状降水帯が形成され、関東地方や東北地方では、記録的な大雨となった。この平成27年9月関東・東北豪雨において、鬼怒川流域内の栃木県日光市五十里（いかり）雨量観測所では、24時間雨量が観測史上最多の551mmを記録するなど、流域内の各雨量観測所において最多雨量の記録が更新された。また、鬼怒川基準点（石井地点）上流域の流域平均雨量についても、3日雨量421mm（H13.9）の観測史上最多記録が更新され501mmの

降雨が観測された。図-1は、国土交通省Cバンドレーダ雨量計による72時間累積雨量分布であるが（数値は速報値であり、今後の精査により変更する可能性がある）、特に鬼怒川上流域で雨量が多く、500mm以上の降雨が上流の広い範囲で観測された。

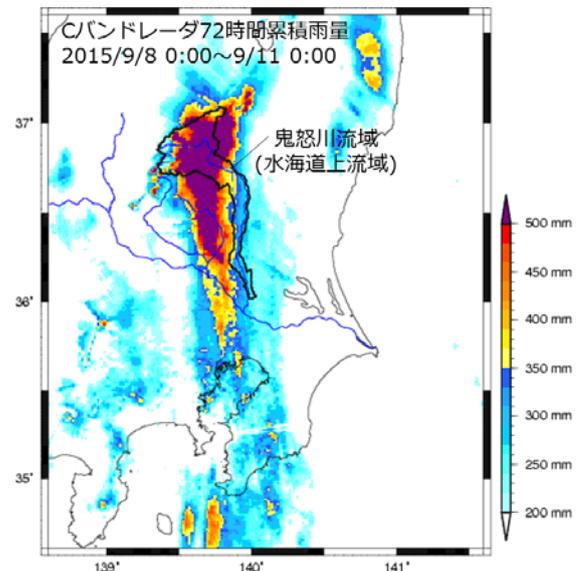


図-1 Cバンドレーダ72時間累積雨量分布

この洪水により、常総市三坂町地先（左岸21km地点）では堤防が決壊し、若宮戸地先（左岸24.75km地点）等の7箇所で溢水した。

常総市三坂町地先における堤防決壊等を伴う氾濫により常総市の約1/3の面積に相当する約40km²が浸水し、宅地及び公共施設等の浸水が概ね解消するまでに10日間を要した。

また、堤防決壊箇所の周辺では、氾濫流により多くの家屋が倒壊・流失したほか、避難の遅れ等により多くの住民が孤立し、約4,300人が救助された。

避難に関する情報提供として、堤防決壊前の9月9日から複数回にわたって、鬼怒川の河川管理を担当する下館河川事務所長から常総市長に対し、電話連絡（ホットライン）により、河川の水位、堤防決壊の危険性、堤防が決壊した場合の氾濫シミュレーションなどの情報が提供された。

しかし、結果的に浸水した地区のうち、堤防決壊箇所の地先を含め、堤防が決壊する時刻（10日12：50）までに避難勧告・指示が発令されなかつ



図-2 堤防決壊箇所付近における浸水状況¹⁾

た地区があった。

また、各地で水防活動が実施されたが、多くの箇所でも漏水、溢水、内水氾濫が生じたほか、避難の呼びかけや誘導を実施する必要があったため、土嚢積み等を実施することのできなかつた箇所があった。

3. 避難に関する情報提供の現状と課題

鬼怒川洪水において、堤防決壊箇所の地先を含む浸水区域に決壊前に避難勧告・指示が発令されなかったことや、逃げ遅れて孤立し救助された者が多数発生したことを踏まえ、河川管理者、市町村、住民のコミュニケーションについて考える。

市町村による避難勧告・指示の適切な発令や、住民の主体的な避難を促すために、情報提供サイドである河川管理者は、これらの目的に適合した河川の状態情報を提供する必要がある。また、こういった情報を受け取って避難勧告・指示の発令の意思決定を行う市町村や避難を行う住民は、提供された情報を理解できる情報リテラシーを備えている必要がある。

一方、国土交通省では川の防災情報²⁾を通じて水位観測地点の観測水位を提供している。また、洪水予報においても予測地点の予測水位といった点情報を提供している。

市町村においては、提供される点情報の水位データ等から一定区間の河川の状態をイメージし、氾濫発生危険性や切迫性、氾濫が発生した場合の浸水範囲、避難者数等を推測する必要がある。しかし、これには当該河川の洪水に関する豊富な知識と洪水時の水文水理現象の深い理解に基づく高度な判断が要求される。市町村において、現在提供されている情報からこうした適切な状況把握、判断が可能な人材をにわかに確保・育成することは相当困難で

あると言わざるを得ない。防災教育を通じて住民に判断と行動に必要な能力の向上を目指した努力が必要であるが、過大な期待は防災上危険である。

以上より、大規模洪水時における市町村の避難勧告・指示の発令や住民の避難を支援するための情報提供を考えた場合、従来の離散的な地点情報だけでなく、河川縦断的な「洪水危険度」（氾濫発生危険性、切迫性、氾濫が発生した場合の救助・避難人口等の規模）をリアルタイムに把握し、これをわかりやすい情報として提供すること、すなわち、“洪水危険度の見える化”が必要である。

4. 洪水危険度の見える化

洪水危険度の見える化とは、洪水危険度に関する種々の情報を一元化し、洪水危険度として地先単位で氾濫発生危険性の程度、切迫性、氾濫が発生した場合の救助・避難人口等の規模をリアルタイムで把握し、洪水危険度をリアリティーのある表現とすることで、洪水時の河川の状態把握、共有を図り、危機管理の意思決定を支援するものである。

具体的には、洪水危険度見える化は下記を開発の目標としている。

- 人間工学、情報工学、心理学など異分野の知見を導入してわかりやすく表現
- モニタリングデータを数値計算にフィードバックさせて推定精度を向上させるなど最新の水利・水文技術を導入してリアルタイム及び予測水位を縦断方向に連続的に表示（解像度200m以下）
- XRAIN、アドホック水位観測技術、CCTVの画像解析技術など最新のモニタリング技術を導入して水位、流速の推定に活用
- LP、MMS^{*}、UVAを活用した画像解析技術など最新の測量技術を導入して堤防高、堤内地盤高をほぼ連続的な縦断情報として表示
- 最新の土質工学の知見を導入して溢水、越水、堤防の決壊の切迫度の高まりをリアルタイム及び予測で評価
- 洪水危険度に関する情報（堤防点検、巡視、被災履歴、背後地試算）を一元化して洪水危険度を「見える化」

図-3は浸水範囲の予測と地先単位の避難勧告・指示の状況を重ねた見える化のイメージである（表現法については今後の課題）。

^{*}土木用語解説：MMS

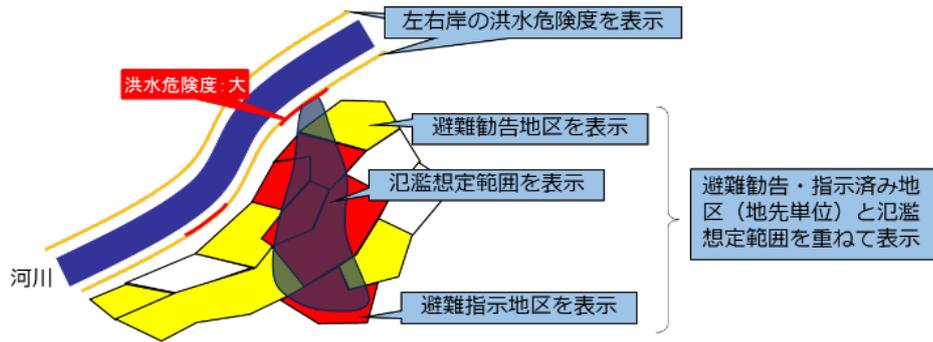


図-3 洪水危険度に関する情報の平面図イメージ

4.1 洪水危険度

洪水危険度を見える化するためには、洪水危険度を定量化する必要がある。なお、堤防の整備が進んでいる我が国においては、洪水危険度は、堤防を介して縦断的に評価することが基本となる。

洪水危険度は、破堤・溢水した場合の被害の程度とその発生する可能性によって定義される。被害の程度は、経済的な被害の観点から浸水深、家屋の流出・避難の可能性の観点から流速、救援活動の観点から湛水時間などが考えられる。これらは、決壊・溢水箇所を特定すれば、浸水の数値計算で概略評価することが可能である。

一方、ある断面の決壊・溢水の可能性のうち決壊については主要3モードである浸透・侵食および越流で定義される。例えば、表-1に示した河川堤防設計指針（案）における安全性照査法を準用すれば危険性を定量的に評価することもできる。さらに、溢水については、堤防高と水位の関係によって評価することができる。

堤防に作用する主な外力は、水位と流速で定義され、数値計算により空間的・時間的にほぼ連続的に解析することができる。

したがって、ある断面の堤防の状態は、各種定数を設定すれば、コンピューターや情報通信の発展によりリアルタイムで堤防の状態を評価することが可能である。さらに、水位等の予測を用いることにより洪水危険度の予測も可能である。

4.2 「見える化」実現の壁

「見える化」を実現する上で3つの壁がある。「見える化」の第1の壁は、精度の壁である。水理計算の精度や堤防の縦断的な土質的な不均一性、天端高の不陸、安全性指標など開発・改良するべき点は多くあり、精度には限界がある。

従来同種のシステムが事務所等で開発されてき

たが定着しなかった理由は、インターフェース、特に画面表示の問題とともに、精度の問題が原因と考えられる。

精度の壁を乗り越えるためには、一定の精度を前提に単純な評価を自動化させ、高度な判断を専門家が担う業務システムを導入することが必要である。

「見える化」の第2の壁は、防災リテラシーの壁である。図-3に示したように水位縦断は工学的な情報であり、地図上に表現され浸水深さ等はGIS的な情報である。この2つの情報がすべての人に分かりやすいとは限らない。

各個人、組織の防災リテラシーの差が「見える化」の壁になる。この壁を乗り越えるためには、洪水危険度の表示について、人間工学、情報工学系とのコラボレーションが必要となる。

表-1 河川堤防設計指針（案）における安全性照査法

<p>1) 浸透に対する照査</p> <p>① 滑り破壊に対する安全性</p> <p>a. 裏のりの滑り破壊に対する安全性</p> $F_s \geq 1.2 \times \alpha_1 \times \alpha_2$ <p>F_s : 滑り破壊に対する安全性</p> <p>α_1 : 築堤履歴の複雑さに対する割増し係数</p> <p>α_2 : 基礎地盤の複雑さに対する割増し係数</p> <p>b. 表のりの滑り破壊に対する安全性</p> $F_s \geq 1.0$ <p>F_s : 滑り破壊に対する安全性</p> <p>② 基礎地盤のパイピング破壊に対する安全性</p> <p>a. 浸透性地盤で堤内地に難透水性の被覆土がない場合</p> $i < 0.5$ <p>i: 裏のり法尻近傍の基礎地盤の局所動水勾配の最大値</p> <p>b. 浸透性地盤で堤内地に難透水性の被覆土がある場合</p> $G > W$ <p>G : 被覆土層の重量</p> <p>W : 被覆土層基底面に作用する揚圧力</p> <p>2) 侵食に対する照査</p> <p>① 堤防表のり面およびのり尻の直接侵食について</p> <p>表面侵食耐力 > 代表流速から評価される侵食外力</p> <p>② 主流路（低水路等）から側方侵食、洗掘について</p> <p>高水敷幅 > 照査対象時間で侵食される高水敷の幅</p>

「見える化」の第3の壁は、持続性の壁である。単体で導入されたシステムは一過的になりやすく、業務に定着しにくい。また、持続性は様々なシステムの共通の課題でもある。

持続性を確保するためには、全体的に整合の取れたマネジメントが重要である。整合のとれたマネジメントには、共通の評価軸が必要となる。洪水危険度はリスク評価との親和性が強く、今後の河川行政の評価軸として導入すべきである。河川管理の技術革新・業務改善・人材育成・情報管理など業務の各システムに関して洪水危険度を評価軸としてマネジメントすることにより、持続性を確保することが可能となる。このため、「洪水危険度見える化」を基軸とした情報プラットフォームが必要である。

4.3 洪水危険度の見える化のための技術開発

洪水危険度の高まりを把握するためには、「堤内地盤高と河川水位」、「堤防高と河川水位」等の関係を把握することが根幹の情報となる。これらの関係を把握するために、以下の要件が求められる。

- ・河川縦断方向に連続的に把握できる
- ・リアルタイム情報として把握できる
- ・地先単位で越水等の氾濫の危険性が把握できる
- ・左右岸の危険性の違いを区別できる

堤防高、堤内地盤高は、MMS(モバイルマッピングシステム)データ³⁾や、LP(レーザープロファイラ)標高データにより、河川左右岸共に縦断方向に連続的に高精度に把握することが可能になりつつある。一方で、水位については、先述のとおり、水位観測による10~15km間隔の離散的な点情報に留まっている。河川水位情報の課題に対して、水位観測の充実を図ることが挙げられるがコスト等の観点から難しい。そのため、水位観測地点間の水位を精度よく縦断的に把握するための水理解析技術が必要となる。洪水危険度を地先レベルで把握するために、この水理解析技術には、高い精度、解像度及び計算のリア

ルタイム性を備えていることが求められる。これを実現するためには、河川水面の局所的空間変動、時間的変動を表現する河川縦断水位の解析技術や観測データ同化^{*}技術の河川縦断水理解析への適用といった技術開発や、洪水危険度の高まりを予測するための、水理解析技術の予測への展開も求められる。また、水理解析技術により補完した河川縦断水位の検証のために、観測・計測に関する技術開発も求められる。これらの技術開発は、大学、研究機関等と連携して取り組むことを予定している。

5. まとめ

本稿は、平成27年9月関東・東北豪雨における鬼怒川氾濫災害から、避難に関する情報について、現状と課題を考察し、洪水危険度を地先レベルでリアルタイムで把握し、また予測し、わかりやすい情報として提供することの重要性を示した。また、これを実現するために、不確実な情報の使い方、人間工学等を駆使した伝わりやすさの追求、洪水危険度を評価軸とした河川管理業務のマネジメントの確立を上げた。

洪水危険度情報プラットフォーム(仮称)は、平成28年夏頃にプロトタイプ構築を予定している。また、技術開発の進展と共に高度化を図ることとしている。

参考文献

- 1) 大規模氾濫に対する減災のための治水対策検討小委員会、http://www.mlit.go.jp/river/shinnngikai_blog/shaseishin/kasenbunkakai/shouinikai/daikibohanran/index.html
- 2) 川の防災情報、<http://www.river.go.jp/>
- 3) 西山哲ら：堤防の3次元変状等をモバイルマッピングシステム、高精度高密度航空レーザー測量システムにより広域かつ高精度に把握する探査技術、河川砂防技術研究開発公募河川技術分野、平成23年度採択テーマ、http://www.mlit.go.jp/river/gijutsu/CollaborativeRD/h23_theme_monitor_after.html

鳥居謙一



国土交通省国土技術政策総合
研究所河川研究部長、博(工)
Dr. Kenichi TORII

川崎将生



国土交通省国土技術政策総合
研究所河川研究部 水循環
研究室長
Masaki KAWASAKI

土屋修一



国土交通省国土技術政策総合
研究所河川研究部 水循環
研究室 研究官、博(工)
Dr. Shuichi TSUCHIYA

*土木用語解説：データ同化