

洪水危険度の見える化に向けた河川縦断水位の把握・予測技術の開発

土屋修一・川崎将生

1. はじめに

近年、頻発する水害を背景に、平成27年12月に社会資本整備審議会から答申された「大規模氾濫に対する減災のための治水対策のあり方について」において、速やかに検討に着手し、早期に実現を図るべき対策として、洪水予測精度を向上させるための技術開発、氾濫の切迫度が伝わる水位情報提供システム等の開発の推進が提言されている。

国総研河川研究部では、「洪水危険度見える化プロジェクト」を発足させ、洪水予測の精度向上に向けた技術開発、氾濫の切迫度が伝わる水位情報提供システムに関する技術開発を進めている。どちらの技術開発についても、上下流連続的な河川水位を把握することが根幹となる技術となる。

本稿では、上下流連続的な河川水位情報（河川縦断水位）に基づいた洪水危険度（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）の見える化の意義を述べるとともに、このために必要となる河川縦断水位をリアルタイムで把握するための技術開発と、これを根幹技術とした河川水位予測への展開の取り組み、また、「洪水危険度」の提供に向けた取り組みについて概説する。

2. 点的な河川情報から線的な河川情報への展開

洪水時においては、河川の状態を把握することは自治体の避難勧告・指示の発令判断や、住民の主体的な避難判断において重要となる。河川の状態を示す河川水位は、河川管理者から、川の防災情報等を通じて水位観測地点の観測水位が提供されている。また、洪水予測に付随して、予測地点の予測水位が提供されている。このように、河川の状態を把握するための情報は点情報の提供であるため、自治体においては、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ことが要求される。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を要するため、提供された情報を適切に理解するための情報リテラシーを備えている必要があるが、このような情報リテラシーをにわかに身につけることは難しい。

そこで、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河川情報の提供を考えた場合、従来の離散的な地点情報としての河川水位だけでなく、上下流にわたって連続的な河川水位等の提供へと展開し、河川縦断水位と計画高水位あるいは堤防高、地盤高等との関係等を介して、氾濫がいつ、どこで、どの程度の規模で発生しうるかを的確に把握できる情報を提供し(図-1)、より効果的な避難行動、危機管理に役立てることが望まれる。つまり、河川縦断水位を根幹とする「洪水危険度」をリアル

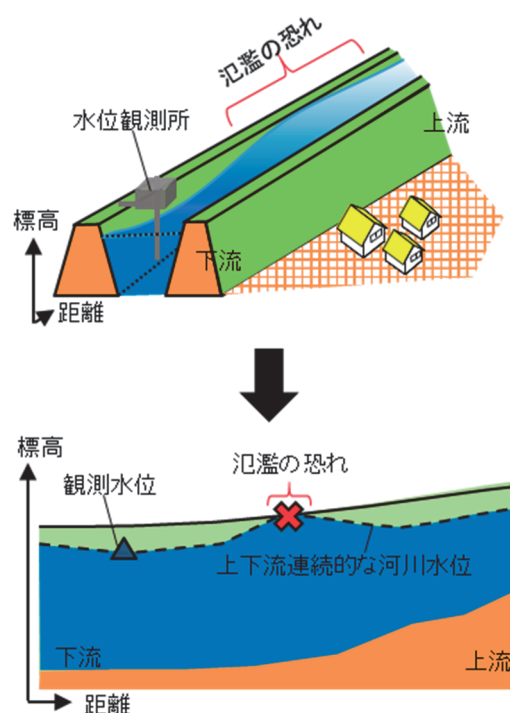


図-1 縦断水位と計画高水位あるいは堤防高、地盤高との関係等を介した氾濫の危険性の把握のイメージ

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。

“洪水危険度の見える化”を実現するためには、時々刻々変化する河川縦断水位をリアルタイムかつ高精度に把握・予測する技術、水位と計画高水位あるいは堤防高、地盤高等の関係等を介した氾濫の危険性の表現手法が主な検討課題となる。

3. 河川縦断水位のリアルタイム把握に向けた技術開発

河川毎、洪水毎に異なる特性を有している洪水流に対して、時間・空間的に変化する河川縦断水位を把握し、解析等を通じて洪水時の水理現象の総合的な理解、河道や貯留施設等の治水効果の総合的な評価といった、「水理現象の見える化」とも言える取り組みが行われている²⁾。一方、国総研で取り組む「洪水危険度の見える化」とは、河川縦断水位の可視化を通じて、氾濫がいつ、どこで、どの程度の規模で発生しうるかを的確に把握することを目指すものとなる。

時間・空間的に変化する河川縦断水位をリアルタイムに把握するための技術的なアプローチとして、観測技術によるアプローチ、解析技術によるアプローチがある。

3.1 観測技術による河川縦断水位の把握

水理・水文観測技術による河川縦断水位の把握に関して、現在、河川の水位観測について、直轄河川では、水位観測所は概ね10～15km間隔で設置³⁾されているが、河川縦断水位を把握する上では、密度が不十分な場合がある。また、簡易水位計による高密度な水位観測が実施されている河川は増えつつある。それでも観測間隔は約1km間隔である一方、堤防越水区間は通常数m～数百mであることから、洪水危険度の見える化の観点から、現状では水位観測のみによって、氾濫の危険性、切迫性の的確な把握に資する河川縦断水位を把握することは困難である。国土交通省では、河川砂防技術研究開発制度において、2016年度に河川監視のために設置されているCCTVカメラを水位計として活用するための研究開発（研究代表：東京理科大学 二瓶泰雄氏）を採択し、現在、実河川において、適用性の検証が進められている⁴⁾。また、一方で、国土交通省で取り組んでいる革新

的河川管理プロジェクトにおいて、低コストの水位計の実用化と普及促進が行われている⁵⁾。このように河川縦断水位の的確な把握に資する水位観測の高度化、水位観測体制の充実化の取り組みが進められている。

3.2 解析技術による河川縦断水位の把握

測量した河道断面データを用いて、水理解析により各断面の水位を計算することで河川縦断水位の把握が可能である。しかし、通常の河川の断面測量は200～400m間隔であり、氾濫の危険性、切迫性の的確な把握に資する詳細な河川縦断水位を把握するためには、より高解像度の河道断面データを用いた水理計算が求められる。国土交通省では、河川砂防技術研究開発制度において、2016年度に、ALBによる高精度・高解像度の河川地形測量技術によって測量した河道形状データを水理解析技術へ適用する研究開発（研究代表：東京建設コンサルタント 渡邊明英氏）を採択し、現在、実河川において適用性の検証が進められている⁶⁾。

3.3 観測、解析技術の連携による河川縦断水位の把握ーデータ同化技術の導入ー

水理解析に高解像度な河道形状データを適用することによって、連続的な河川縦断水位を把握することが可能となるが、水理解析においては、河道形状の他に、粗度係数等の各種パラメータを設定する必要がある。ただし、例えば粗度係数は計算水位に支配的な影響をもたらす変数であるが、直接的な把握が難しく、適切な値を推定することは、水理計算からのみでは困難であり、値の不確実性は水理解析の精度低下の要因となる。そこで、データ同化技術を導入し、観測技術、水理解析技術を相補的に用いて、より精度の高い河川縦断水位を把握することを目指した技術開発が進められている。データ同化とは、観測データを計算モデルに取り込み（同化）、モデル状態量（変数）やパラメータを修正し、観測データに近いシミュレーションが可能なモデルの計算条件を得ることを目的としたものである。

国総研では、水理解析に粒子フィルタ⁷⁾と呼ばれるデータ同化技術を導入し、水位観測所の観測水位を上流から順次データ同化する多地点水位データ同化手法（カスケード同化手法）を開発し、時々刻々変化する河川縦断水位をリアルタイムか

つ高精度に把握する手法を実用化するための検討を進めている(図-2)。また、河川砂防技術研究開発制度において、アジョイント法と呼ばれるデータ同化技術の水理解析への適用に関する研究開発(研究代表：東京建設コンサルタント 渡邊明英氏)を採択し、現在、実河川において適用性の検証が進められている⁹⁾。この他にも、大学等において様々なデータ同化手法を水理解析へ適用し、河川縦断水位を高精度に把握するための技術開発が行われている⁸⁾。

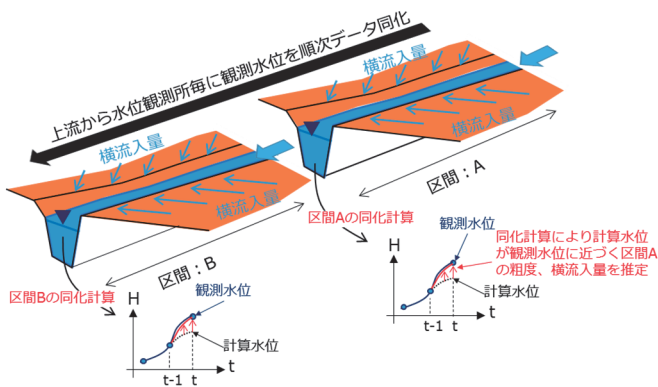


図-2 カスケード同化手法の計算イメージ

4. 河川縦断水位のリアルタイム把握に基づく河川水位予測手法の技術開発

各河川事務所では、洪水予測システムを構築し、現在時刻までの観測水位・雨量、予測雨量等を収集し、洪水予測モデルにより、基準となる水位観測地点の数時間先の河川水位を予測している。多種多様な洪水予測モデルが採用されているが、流出解析タイプ、水位直接評価タイプに大別される。前者は、降水量を入力データとして、流出量を評価し、流量を水位に換算することで水位ハイドログラフを予測するもので、流出モデルのみ、または流出+河道モデルで構成される洪水予測モデルによって河川水位を予測する。後者は、上下流の水位の相関関係等に基づき水位ハイドログラフを直接的に予測するもので、ニューラルネットワーク等の統計モデルで河川水位を予測する。

流出モデルのみで構成される流出解析タイプの洪水予測モデルの河川水位予測は、予測雨量の誤差の影響を受けやすく、精度の高い河川水位予測が困難な場合がある。また、流出モデルのみで構成される流出解析タイプ、水位直接評価タイプの洪水予測モデルは、水位観測点の河川水位の予測

に限定され、洪水危険度を把握する上で重要となる河川縦断水位を予測することができない。

国総研では、河川縦断水位を精度良く予測するために、流出+河道モデルで構成される洪水予測モデルを採用し、河川縦断水位の予測を可能とするとともに、これにデータ同化技術としてカスケード同化手法を適用し、予測雨量の精度の影響を受けにくい洪水予測モデルの検討を進めている。本手法は、カスケード同化手法によって現時刻の河川縦断水位を求めて、この現時刻の河川縦断水位を河道モデルにより下流へ伝播させることで水位を予測するという考え方に基づくものである(図-3)。そのため、流出特性や予測先行時間にもよるが、現時刻時点までに既知の雨量、水位データによる予測が可能となり、予測雨量の精度の影響を受けにくいという特長を持つ。本手法を一部の河川において適用した結果、現業モデルより高い予測精度を確認するとともに、降雨予測の精度の影響を受けにくい手法であることを確認している。また、2.1で述べた取り組みにより水位観測体制の充実化が進み、データ同化を介して取り込むことで、より一層の予測精度の向上、リードタイムの長時間化が図られることが期待される。

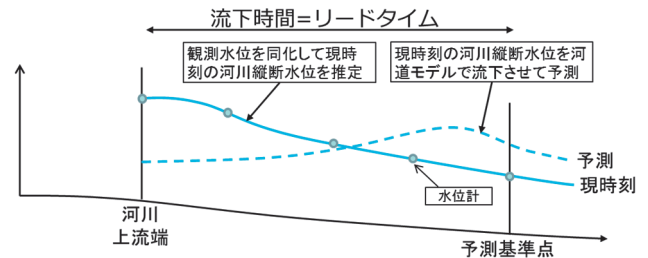


図-3 河川縦断水位の把握に基づく河川水位予測のイメージ

5. 洪水危険度情報プラットフォーム

国総研では、“洪水危険度の見える化”に向けて河川縦断水位と計画高水位あるいは堤防高の関係から越水による氾濫の危険性を表示する「洪水危険度情報プラットフォーム」(仮称)の開発を進めている。図-4は、洪水危険度情報プラットフォームにより、河川水位と堤防天端高との差の関係を表示した例である。図中の河川を挟む2本の線は、左右岸の堤防の位置を示しており、水位と堤防天端高との差に応じて色分けされ、氾濫の切迫度を表示している。また、氾濫の恐れのある箇所において、氾濫が生じた場合の浸水範囲の広

がりを表示することが可能となっている。このようにして時々刻々変化する水位と堤防高等の関係をリアルタイムに把握し、氾濫の切迫度の高い箇所を俯瞰的に把握するとともに、氾濫が生じた場合の被害規模を把握することを可能としている。

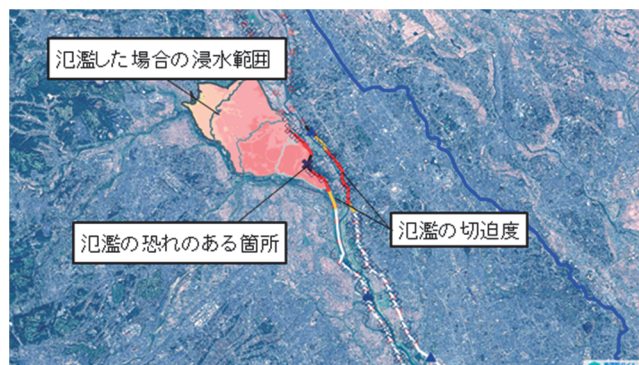


図-4 洪水危険度情報プラットフォームによる洪水危険度の表示例

6. まとめ

図-5は、本稿で述べた洪水危険度の見える化に向けた個々の取り組みについて、相互の関係を整理したものである。

洪水危険度の根幹となる河川縦断水位の把握・予測技術の開発において、観測、解析技術のそれぞれの高度化を図るとともに、高度に連携すること重要となる。

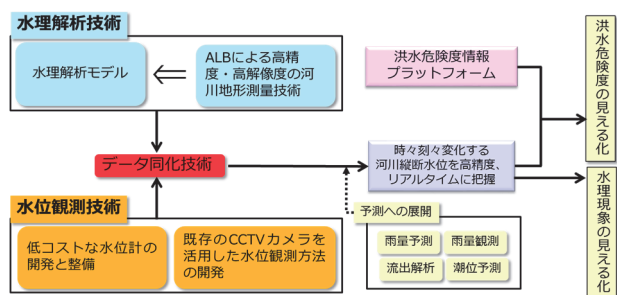


図-5 洪水危険度の見える化に向けた取り組み

また、「洪水危険度」の提供に向けて、今後、解決しなければならない課題も多い。河川縦断水位の把握・予測には必ず不確実性を伴う。的確な判断のためには、この不確実性を考慮する必要があると考えられる。時々刻々変動する不確実性の程度をどう把握し表現するかが大きな課題の一つである。また行動を促すためには、氾濫の切迫度

をより直感に訴える形で表現する必要があると考えており、これも課題の一つとして挙げられる。国土技術政策総合研究所では、これらの手法を検討した上で、洪水危険度情報プラットフォームを平成30年度末までに開発する予定である。

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、大規模氾濫に対する減災のための治水対策のあり方について（答申）、http://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_log/shaseishin/kasenbunkakai/shouinkai/daikibohanran/index.html
- 2) 福岡捷二：洪水流の水位と流量の今日的考え方-多点で観測された洪水水位と水面形から河道の水理システムを見える化する-、土木学会論文集B1（水工学）、Vol.73、No.4、I_355～I_360、2017
- 3) 国土交通省：水災害の監視予測の高度化に関する研究、国土技術研究会資料、2009～2011
- 4) 柏田仁、二瓶泰雄、中西徹真、鈴木佑弥、平謙二、上田英滋、梶純也、藤田一郎：非接触計測と水理解析による河川水位・流量観測システムの確立に向けた検討、河川技術論文集、Vol.23、pp.263～268、2017
- 5) 国土交通省：洪水時に特化した低コストな水位計の現場検証、<http://www.mlit.go.jp/common/001198507.pdf>
- 6) 渡邊明英、見上哲章、小島崇、松延和彦、鈴木裕三、富澤慎二郎：平面二次元解析とアジョイント法に基づいた点観測の水位情報に対する縦断水面形時間変化の同化手法の検討、河川技術論文集、Vol.23、pp.197～202、2017
- 7) 立川康人、須藤純一、椎葉亮晴、キムスンミン：粒子フィルタを用いた河川水位の実時間予測手法の開発、土木学会論文集B1（水工学）、Vol.67、No.4、pp.I_511～I_516、2011
- 8) 柏田仁、二瓶泰雄：一次元不定流解析のための新たな水位データ同化手法の開発、土木学会論文集B1（水工学）、Vol.73、No.4、pp.I_595～I_600、2017

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 主任研究官、博士（工学）
Dr.Shuichi TSUCHIYA

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