

# 流量仮定型不定流計算法による 2015年9月利根川・鬼怒川洪水 の解析

星畑 國松<sup>1</sup>

## Analysis of the September, 2015 Flood in Tonegawa-Kinugawa Basin using the Flow Assumption Type Calculation Method of Unsteady Flow

Kunimatsu HOSHIHATA<sup>1</sup>

### Abstract

An unsteady flow calculation system in the Tonegawa River Basin including 6 tributaries, a distrib-utary, 6 flood retarding basins was constructed based on the Flow Assumption Type Unsteady Flow Calculation Method. The system was applied to a record-setting flood of September, 2015. A stable unsteady flow calculation was successfully achieved. Good reproductions were made in upper reaches of the main channel and branch reaches by set boundary conditions. As for the lower reach-es of the main river channel, however, some discrepancies between observed water stage values and calculated ones took place after the flood struck the peak. This system may be used for real-time forecast of flood flow to make flood fighting and residents' evacuation after making more detailed study of the roughness coefficients of the actual channels. An unsteady flow calculation combines observation of discharge and water level to better understand the hydraulical status of the river, hence make the basis of disaster prevention and mitigation.

キーワード：線状降水帯，洪水，流量仮定型不定流計算法，堤防決壊，利根川，鬼怒川

Key words： linear rainfall zone, flood, Flow Assumption Type Unsteady Flow Calculation Method, bank bleach, Tonegawa, Kinugawa

### 1. はじめに

関東地方は，台風18号及び台風から変わった温帯低気圧と台風17号の双方から暖かく湿った空気

が吹き込み「線状降水帯」と呼ばれる，積乱雲が帯状に次々と発生する状況を招き，長時間にわたって強い雨が降り続いた。五十里雨量観測所(栃

<sup>1</sup> 元建設省 河川局水理調査官  
Chief Hydrologist of the (then) Ministry of Construction

本速報に対する討論は平成28年11月末日まで受け付ける。

木県藤原町)において、3日雨量612 mmを記録したほか、各観測所で既往最多雨量を記録した<sup>1)</sup>。

この線状降水帯によりもたらされた洪水により、鬼怒川においては7箇所において溢水が発生し、左岸21 km地先において越流による堤防決壊が発生した。

筆者は、平成10年代の洪水流を対象として利根川水系栗橋下流の洪水流下過程を研究し<sup>2)</sup>、ひき続き渡良瀬川合流点上流を含めた利根川全水系システムに対する洪水流下システムの研究を行って来た。

情報開示制度により、河川横断測量成果の開示を受けることができる。必要な断面特性を調整しておく、実際に生起する洪水流の様相については降水量、水位、ダムの状況が観測の約10分後に更新される水文水質データベースとして公開されているデータ<sup>3)</sup>にアクセスすることによって、ほぼリアルタイムに洪水流の様相に迫ることが可能である。また、今回の洪水については、被災後20日も経過しないうちに鬼怒川堤防調査委員会が開催され、各種情報の開示が行われている。

洪水流の様相は洪水ごとに異なる。利根川水系の洪水としては今回の洪水は鬼怒川と渡良瀬川支川思川に集中する洪水であった。利根川百年史によると、昭和13(1938)年6・7月洪水は霞ヶ浦・小貝川など平地部の河川、同年8・9月洪水にお

いては渡良瀬川から鬼怒川上流に大雨を降らせて大きな被害をもたらした<sup>4)</sup>。河川災害調査の速報は、観測水位記録によって報告されるが、洪水流が流下する流下過程の報告は少ない。筆者が検討して来た平成13年洪水とは14年の隔たりを有しており、河道状態が変化していることも懸念されるが本報告では、平成13年当時の河道状態を基にして今回の洪水流の流下現象を調べる。現象を再現できない場合には、変化した要因を調べて河道断面の更新、粗度係数の変更を行うことになるが、詳細な検討は、流量観測記録が公表される一年後を待つこととする。

洪水流の状況を内挿的に考察することは容易であるが、今回の鬼怒川洪水は過去最大の規模であり、外挿しなければ推察できない。不定流計算による計算結果を検証するためには、観測流量資料の整備を待たなければならないが、不定流計算による河川流下現象へのアプローチを早期に提示することが河川災害現象の理解に役立つことがあると考えて報告する次第である。

## 2. 洪水流に対する不定流計算からのアプローチ

### 2.1 検討の方法

4大支川を含めて検討してきた既往の不定流計算システムを用いて、平成27年9月洪水現象を解

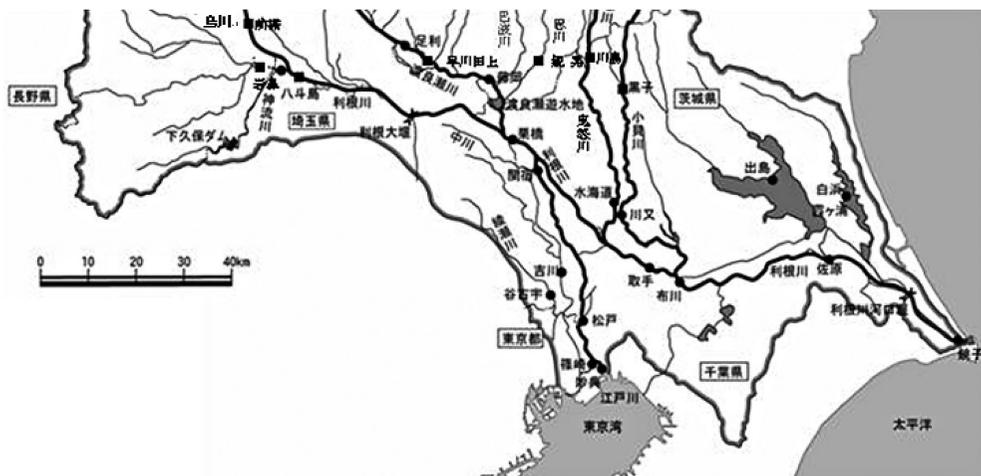


図1 利根川水系河川システムの概要平面図 (利根川河川整備基本方針, 利根川水系図に加筆)

析する。全体的な整合性を調べ、特に洪水流の大きかった鬼怒川への適用性を調べる。鬼怒川左岸 21 km, 常総市三坂町において越流破堤が生起している。この氾濫については、氾濫無しの検討を行いながら、氾濫流量波形を検討する。

解析の方法は、著者が開発 (2013) した流量仮定型準二次元不定流計算法による。

流量仮定型不定流計算法は、結節点を含めて全対象地点の次時点流量を確立されたアルゴリズムによって仮定することによって計算を開始する。結節点を含めた基本方程式を、本来の形である陰形式のまま解くもので、安定性が高い。

仮定した次時点流量の組み合わせを基本方程式に入れて誤差を評価し、その誤差評価を用いて近似度のより高い仮定を導くものであり、任意の許容誤差におさまるようにして、安定解に至るものである。

2.2 検討河川の概要

利根川水系の様相を見ると、扇状地を流れ下る前橋 (202 km) からの流れに神流川を合わせた烏川が合流して、八斗島 (181.5 km) に至る。50 km 流下して渡良瀬川を合わせて栗橋 (130 km) を流下して関宿 (121 km) に至って江戸川を分派する。江戸川の流路が60 km で東京湾に至る。本川97 km で鬼怒川を合流、下って79 km で小貝川を合わせて河口銚子に流下する。本川と大支川である、鑄川、神流川を合わせた烏川、思川、巴波川を合わせた渡良瀬川、鬼怒川、小貝川は、それ

ぞれに降雨分布が異なるものである。本川については前橋、烏川は神流川の流れを下久保ダムの放流量で合流させ、渡良瀬川については3遊水調節池を組み込み、その影響の及ばない上流域として渡良瀬川は早川田上 (28.5 km), 巴波川は中里 (3.9 km), 思川は小山市の観見橋 (12 km) までを包含するモデルを構築した。

このモデルに平成27年9月洪水を入れて計算するものである。検討河川の全体像を表1に示す。全体の計算延長は約420 km, 約370断面に及んでいる。計算対象範囲を平面図で示すと、概ね図1の全域に及んでいる。

2.3 検討諸河川の接続関係の設定

利根川水系河川システムを、単一河川の集合体として図2のように捉える。本川1, 一次支川4, 派川1, 二次支川2, ほかに河道無しで合流する二次支川神流川1, 遊水調節地が渡良瀬川に3と

表1 検討河川の全体像

利根川本川：河口銚子 (0 km) ~ 前橋 (202 km)
烏川：合流点 ~ 岩鼻 (8.2 km)
神流川：下久保ダム放流量を河道無しで合流
八斗島 ~ 栗橋残流域：河道無しで合流
渡良瀬川：合流点 ~ 早川田上 (28.5 km)
思川：合流点 ~ 観見橋 (12 km)
巴波川：合流点 ~ 中里 (4.5 km)
鬼怒川：合流点 ~ 川島 (45.65 km)
小貝川：合流点 ~ 黒子 (60.43 km)
江戸川：分派点 ~ 行徳可動堰上, 河口妙典
その他：渡良瀬川筋3遊水調節地 利根川中流筋3遊水調節地

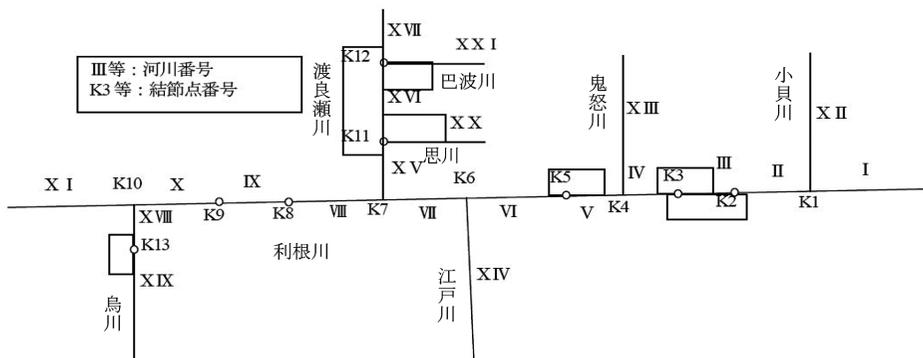


図2 利根川河川システムの構成

鬼怒川合流点に3の6遊水調節地が存在する。

最初に本川と支川の接続関係の設定を行う。計算断面は下流から番号を付し、支川も下流から番号を付すが、全体としての通し番号で統一する。これにより、各地点を全体の通し番号で呼ぶことができる。

接続関係とは、支川結節点(分・合流点)について、本川位置番号及び支川の下流端断面番号及び上流端断面番号を付すことである。河川断面間隔は、緩い区間は2 km, 急になると1 km程度とし、最上流部の勾配1/500程度の区間については600 mとした。遊水調節地は、一種の派川と考えて結節点で代表させ、越流堤の中心位置で点越流するものとしている。結節点の名称はK3等のようにしているが、全てで13の結節点となる。図

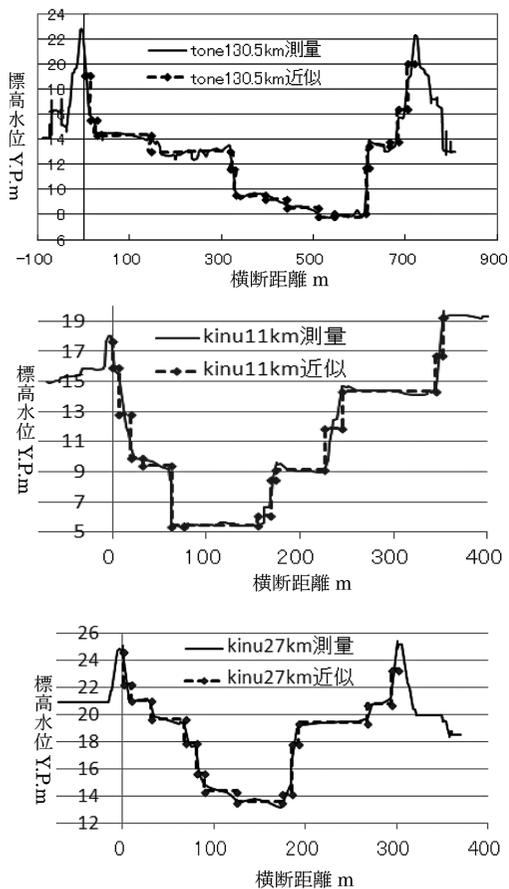


図3 断面形状近似の事例

2の河川システムではやや簡略化を図っている。大きい点は、渡良瀬川の支川合流点と遊水調節地位置の関係の近似であるが、渡良瀬川遊水調節地第一調節地の下流越流堤と思川調節地の越流堤位置と思川の合流点位置を同一点とすることによって、近接地点で結節点が重なることの複雑さを逃れることとした。他は、ほぼ忠実に近似している。

### 2.4 断面形状の近似

利根川の栗橋(130.39 km)と鬼怒川鎌庭(27.34 km)、水海道(10.95 km)付近を例に、横断測量(黒線)と近似断面(黒◆点線)を図3に掲げる。横断図測量の時期はやや異なり、利根川上流は平成16年2月、鬼怒川は平成14年6月等である。測量断面を水平高さの異なる帯状断面に分割する断面分割法による準二次元不定流計算を行っている<sup>5)</sup>。

### 2.5 計算のフロー

支派川や遊水調節地を有する一般河川に対する計算フローは図4の通りである。

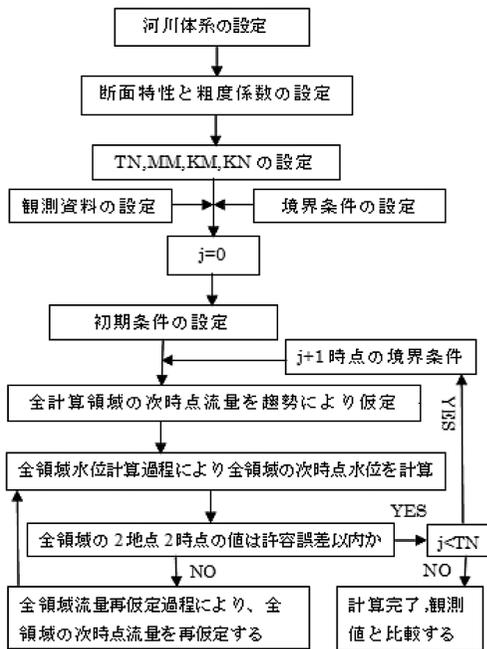


図4 利根川全川河川システムの計算フロー

詳細の説明は、参考文献2)に譲る。図2の河川システムの構成に従い、結節点の関係を設定し、河川断面を河川位置ごとに設定し、境界条件を設定する。境界条件の初期の流量値を元に、初期条件を設定して不定流計算を開始する。最初に結節点をも含めて、全計算領域の次時点流量を前時点の値から導くアルゴリズムによって仮定し、許容誤差を満足するまで全対象地点の次時点流量をシステムティックに再仮定し続けることによって、近似度の向上を図る。河川システムの構成が変化する場合、その構成に合わせて上流に向かう全領域水位計算過程と全領域流量再仮定過程をサブルーティンとして作成することによって、どの河川に対しても基本的に同一のフローで計算を進めることができる。計算を開始させると、各時点で誤差が許容範囲におさまって計算が終わるとExcel表に解を打ち出す。解をExcel表として算出することによって、その後観測値との比較を容易に行うことが可能である。

### 3. 平成27年9月洪水の検討

#### 3.1 平成27年9月洪水を計算するにあたって

不定流計算を行うにあたって、①断面特性を整備すること、②初期条件を設定すること、③境界条件を与えることの3条件を整理して与える必要がある。今回はこの条件として、平成10年代の3洪水の検討を行った条件を用いることとする。①は、その後の河道断面や粗度係数が変化している可能性が存在する。②については、③の境界条件を見て初期条件として低過ぎる値である場合は、計算可能な流量で与えて行く。③については、既往検討における上流端地点の水位流量曲線に上流端観測水位を与えることとする。これらの条件で計算した算出結果がどのような結果になるかを、水位観測所における観測水位と計算結果を比較する。ただし、平成27年9月28日に開催された鬼怒川堤防調査委員会による総氾濫量についての検討結果が公表されている<sup>6)</sup>。この結果の氾濫波形としての表現方法を検討する。

検討の中心は水位である。流量については、相当な期間を経ないと公表されない。このため、流

量波形の計算結果については、当面観測流量と比較することができないので、参考として捉えることとする。流量の算出結果については、結果をトータル的に図示し、イメージ図として認識することに留めて、今後の課題とする。

#### 3.2 境界条件

境界条件は、平成13年9月洪水等の検討結果による水位流量曲線に平成27年9月洪水の上流端水位を与えた結果を採用する。9月9日1時から計算を開始する。境界条件流量波形を図5に示す。図はやや錯綜しているが、凡例の地名位置の前にローマ字を入れて、図の線の頭位置にローマ字表記している。なお、図中A前橋とG川島地点については、その流量より小さい流量では計算不安定が生じる現象が生じたので、計算可能初期流量として両者ともに250 m<sup>3</sup>/sを与えている<sup>7)</sup>。なお、前橋については、250 m<sup>3</sup>/sに達した時点で流量が急増しているの、9月9日1時から11時までの10時間を漸変させてすり付けしている。豪雨域が栃木県北部であったため、G川島(鬼怒川)とF観見橋(思川)の値が際立って大きい。A利根川本川上流前橋とB鳥川岩鼻のピーク流量は大きくない。

下流端条件は、利根川河口銚子と江戸川行徳可動堰上観測所観測水位で与えている。図示は省略する。

#### 3.3 計算洪水流波形に見る洪水流下現象

##### (1) 利根川本川筋の流下過程と再現性

図6にしたがい、利根川本川の流下過程から観

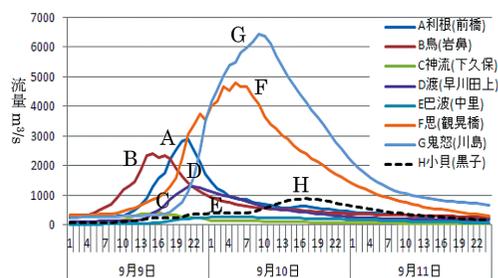


図5 平成27年9月洪水境界条件図

察する。各観測所の観測水位を標高水位とし、補正値を加えて補正付き標高水位として全体的な流下過程を見ることができるようになっている。

図の表記については、観測値については地名のみとし、計算値については地名の後にHを付している。また、記号としては観測値には◇や◆を付して、計算値は線のみになっている。前橋の前に計算断面番号として0、上福島に28、八斗島に46、銚子に76のように付している。前橋は流量与件地点であるが、良く近似している。これは、河道特性と粗度係数の設定が整合していることを示している。河道の断面特性と粗度係数の設定が整合していることを示している。前橋の立ち上がりの水位で計算値が高いのは、計算開始時に実際の観測流量より大きい値を用いたためである。

観測値と計算値を見ると、栗橋地点まではピーク生起時刻が一致し、ピーク水位もある程度の近似ができてはいるが、江戸川が分派した北関宿より下流については、大きく波形が異なっている。栗橋についても、計算値はピーク以降の下がり方が早い、観測値の下がり方が非常に緩やかであること

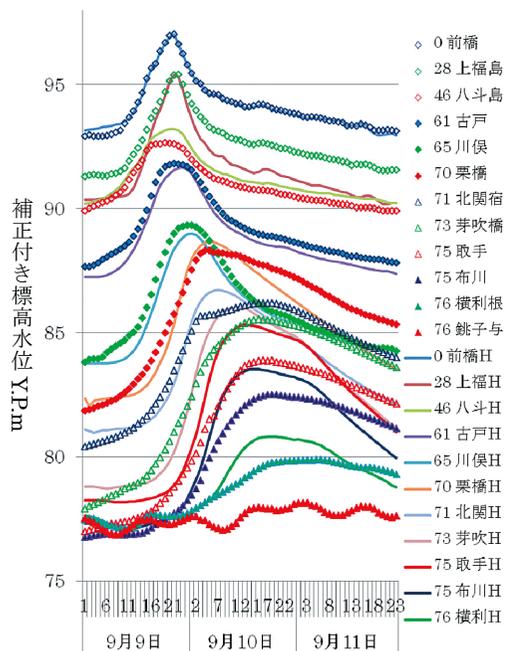


図6 利根川本川筋水位波形観測計算比較図

に気が付く。栗橋水位は、渡良瀬川遊水調節地を含めて渡良瀬川の影響が大きく現れるところであり、ピーク以降については境界条件流量として与えられていない残流域からの流出が出てくることも考えられる。北関宿、芽吹橋、取手と流下して行くと観測値と計算値にかなり大きな差異が現れている。

結果としてピーク流量が出過ぎていると考えられるのであるが、これらについては、流出と流下の過程及び流量観測結果を含めて総合的に検討を進める必要がある。

## (2) 渡良瀬川筋の流下過程と再現性

渡良瀬川筋については、標高差は小さいが、思川や巴波川を同一図に表記すると表示が困難であるため、図7に示すように1~2m標高水位からずらして比較している。渡良瀬川の上流端早川田上の観測値と計算値は良く合致している。思川観見橋は、計算値がやや低い。大きい境界条件流量を水位流量曲線の外挿により与えたのであるが、現地を調べて調整する必要がある。乙女では計算値のほうがやや小さい。藤岡は観測値と計算値にピーク水位はほぼ等しい。ただ、観測値は長くピークが低下しないで続いているが、計算値の低下は早い。古河は観測と計算では、観測の下がり方はややゆっくりであるが良く合致している。巴波川中里は、計算値が大分低い。渡良瀬川については、利根川本川からの背水として、栗橋水位の観測値と計算値の合致が不可欠であるが、両者は

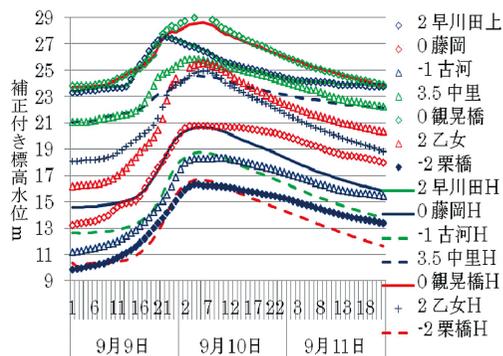


図7 渡良瀬川筋水位波形観測計算比較図

近い状態にあって良好な結果となっている。

### (3) 鬼怒川の流下過程と再現性

平成10年代の洪水により調整した水位流量曲線に川島地点水位を入れると、鬼怒川の境界条件は計画流量を超える大きな値となる。この条件を用いている。川島, 平方地点については参考文献2)に用いた低水路粗度係数0.032, 上流端付近0.03を用いると、川島及び平方は概ね再現できるが、鎌庭及び水海道については図8に示すように計算値が大分大きい値になった。これに対して、河道セグメント2-2区間にあたる27 km より下流区間については、鬼怒川の河道特性についての河川環境総合研究所の報告で推定されている0.023を用いると近似できた<sup>8)</sup>。

この洪水においては、21 km 地点において越流氾濫が生じた。氾濫量については、決壊後の形状を入れると遊水調節地における越流量と同様に計算することが可能である。これに対し、第一回鬼怒川堤防調査委員会において、「決壊後約9時間後、9月10日22時頃、応急復旧工事着手」と「越流総量が約34,000,000 m<sup>3</sup>」との報告<sup>6)</sup>があることから、中央部で1,500 m<sup>3</sup>/sの山を有する9時間の越流量として与えて流下過程を算出した。氾濫地点から約10 km 下流の水海道地点の観測水位と計算水位を比較すると、観測値が滑らかな下がり呈しているのに対し、氾濫の影響が出過ぎるものであった。21 km 地点の計算水位曲線から、越流が止まると考えられる左岸側高水敷の高さになるまでの時間を14時間と求め、越流量を中央部で

900 m<sup>3</sup>/sの山を有する波形として氾濫総量を合わせた越流波形を与えると、水海道地点において観測結果に近いピークからの下がり曲線を計算することができた。観測値のピークからの下がり曲線が緩やかなのは、残流域からの流出の影響が考えられる。大要としては鬼怒川の流下過程は再現されているものと考えられる。

### 3.5 洪水流量波形に見る平成27年洪水流下過程

「3.1 平成27年9月洪水を計算するにあたって」に述べたように、現状においては計算結果と観測流量とを比較することができず、洪水流量の流下過程を詳しく検討するには困難である。しかし、洪水流の流下過程の概略を把握することを目標として、全水系としての洪水流量流下過程図を図9に示す。図9には、凡例名に記すA群～O群に至る各河川区間の流下波形を描いている。A群～F群は利根川本川の流れ、GとHは烏川、I～J群は渡良瀬川、K群は渡良瀬川に思川が合流した後利根川本川に合流するまでの渡良瀬川の最下流区間、L群は江戸川、M群は鬼怒川、N群は小貝川、O群は思川である。各群は多くの断面地点からなっており、それらの中から抽出したものを示している。

図6～8に示した水位波形流下過程から、一般に下流域におけるピーク以降の流下過程については、上流端における境界条件だけでは表現できないようである。図において、小貝川合流点から下流のF群は上流から流下して来た結果であり、平成13年から平成27年までの河道の変動が積み重なっていると考えられる。これに対し、流量仮定型準二次元不定流計算法では上流端に水位を与えることもできるので、小貝川合流点下流の押付観測水位を上流端与件として、単一河川としての流量ハイドログラフを計算することができる<sup>9)</sup>。このようにして上流端水位を押付、下流端を銚子として計算した単一河川の計算結果を図10に示す。単一河川で計算したF群と全体水系で計算したF群とが一致すると計算の信頼性が確認できると考えられる。全体水系の計算のF群のピークは約9,000 m<sup>3</sup>/s、単一河川による結果は約7,500 m<sup>3</sup>/s

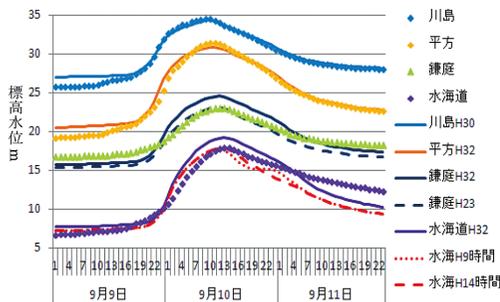


図8 鬼怒川筋水位波形観測計算比較図

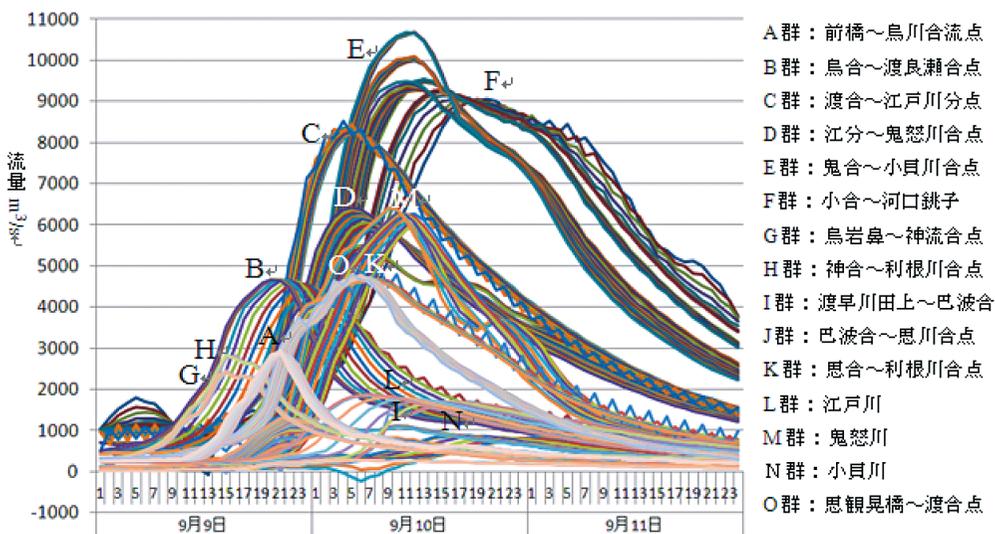


図9 平成27年洪水流量波形全川流下過程図

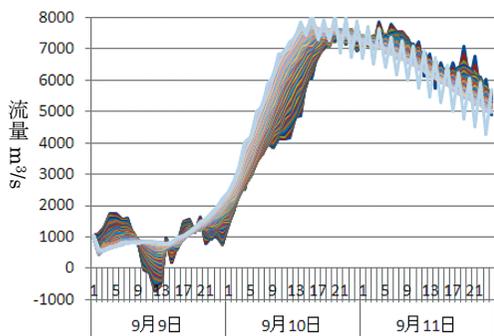


図10 押付上流端水位波形による押付下流単一河川における流量波形流下状態

であり、その差が約1,500 m<sup>3</sup>/sある。全体計算のE群には遊水調節地による調節が入っているが、今後精査する必要がある。

この原因として、平成13年と平成27年の間に中下流河川区間において粗度係数が変化している可能性があり、粗度係数の変化を明らかにするためには、流量観測値が必要である。

### 3.6 鬼怒川最高水位付近の水位縦断面図

鬼怒川は、本洪水において無堤部の7箇所でも越水し、1箇所でも堤防が決壊した。ピーク時点付近

の計算水位縦断面図を計画水位と比較した図を図11に示す。計画水位は、利根川水系河川整備基本方針の基本高水等に関する資料に10 km 間隔に記載されている<sup>10)</sup>。計画高水位と4水位観測所における観測水位の最高水位と不定流計算におけるピーク付近である9月10日12時と14時の1 km 間隔の計算水位を比較すると、計算水位が計画水位とすれすれからやや越えている状態を見ることができる。これらの水位については、痕跡水位と比較することが可能である。本洪水においては、上流ダムで調節を行っても越水が生じ、決壊が生じたが、ダムが無い場合においては、越水水深が増大し、溢流と堤防決壊による流入量がさらに増加したものと推測される。

### 4. 計算法について

モデルの計算言語は、公開されているMicrosoftのVisual Studio 2008対応のVisual Basicを用いている<sup>11)</sup>。これはコンパイラであり、従来に比して飛躍的な速度向上が達成された。計算機は、DELL Inspiron 1545(R) Core (TM) 2 Duo CPU, 2.4GHzというノートPCを使用した。ここで行った利根川全水系を対象とした1本川、6支川、1派川、6遊水調節地からなる対象河川全体

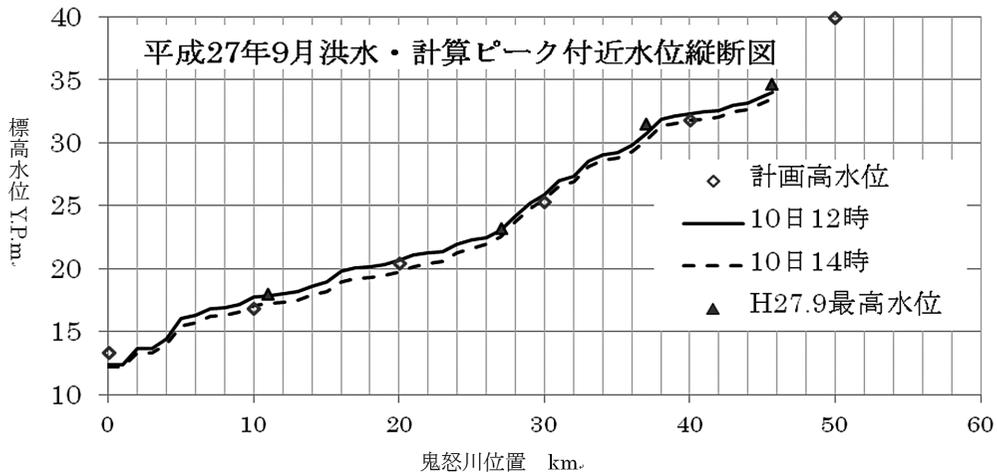


図11 鬼怒川平成27年9月洪水、計算ピーク付近水位縦断面図

で370断面、72時間に要した計算時間は約900秒である。最新のデスクトップPCやワークステーションでは、ほぼリアルタイムでの計算も可能と考えている。

図4のフロー図に示した下記のデータ

- ①本川と支川、派川及び遊水調節地との繋がり
- ②各断面への断面特性及び粗度係数の設定
- ③遊水調節地の断面条件の設定
- ④境界条件の設定
- ⑤各断面への初期条件の設定

を Excel Sheet 1 枚にインプットして、これを Visual Basic のプログラムと関連付けてプログラムに読み込み、計算結果を関連付けした Excel Sheets にアウトプットしている。Excel Sheets にアウトプットしているため、マクロによって定型的な表示を行うほか、計算結果を加工して、観測値等と比較することが容易にできる。

### 5. 考察

本報告は、既往の洪水流の流下過程を検証した事例を基にして、新しい洪水現象を調べたものである。まず、既往の断面形状と粗度係数を前提として、新しい境界条件としてリアルタイムに観測され一般に提供されている水位を与えることによって、利根川全川システムの計算を安定的に計算することができた。計算結果である水位波形に

ついて、観測値と計算値を比較すると、不定流計算結果を適用することの可能性と、なお解決すべき問題点が明らかになった。

顕著な事例として、北関宿の観測値と計算値の違いがある。北関宿の計算水位は、ピーク以降早期に低下して行くが、観測値は長期にわたって、微増しつつピーク帯を形成して減じている。このピーク以降の観測値の減少の仕方が緩やかであるという現象は、栗橋においても認められる。しかし、その上流の川俣においては、観測と計算の減じ方がほぼ等しい。

今回の計算は境界条件を河道の上流端の流量として与えており、ピーク以降については、境界条件で与えられていない残流域からの流出が現れていると考えられる。ピーク以降において残流域からの流出が出て来ることは一般的なことと考えられるが、18号台風においては線状降水帯による降水分布が影響している可能性もある。したがって、ピーク以降の計算結果については注意する必要がある。

また、以下のような問題点もあると考えられる。それは洪水流の不定流現象において、水位は観測値として把握しやすいが、流量及び河川の疎通特性を示す粗度係数については、簡単に把握できないことである。流量と水位は表裏の関係にあり、流量が観測により把握されれば粗度係数を把握す

ることができる。粗度係数が決まれば流量を計算できるので、流量観測値が存在することが基本であると考えられる。今回構築したモデルを洪水予測の実務において活用するためにはリアルタイムに流量の観測値を求めるシステムの導入が望まれるところである。

本洪水における鬼怒川において、平成13年洪水と平成27年洪水の間で粗度係数が異なると考えられる事例が見受けられた。

鬼怒川においては、上流端の水位流量曲線を大幅に外挿して計算している。

鬼怒川における最大流量が水位流量曲線から推定される流量より小さいということもあり得るのであるが、計算通りである可能性も存在する。

利根川本川へ流達した流量が大であった場合においては、利根川本川筋の粗度係数が小さい可能性も存在する。これらについては、流量観測値によって検証していくことが必要である。

本検討において、遊水調節地に関する詳細な検討は実施していない。このことについては、流量観測値が整理される時点において検討を深めることとする。

利根川全川という広域の水系システムに対する計算の意義について考えると、洪水流の流下過程を追跡できる断面特性を整備し、上流端の境界条件を与え得る水位流量曲線を整備すると、新しい洪水流に対する第一次近似としての上流端境界条件を与えることができる。そのようにして新しい洪水流の再現を繰り返し行うことにより、河川の現在機能を常に把握し、河川の洪水流対策の基本を確立することができよう。

不定流計算モデルの開発は、水防・避難のための洪水予測を行うことを目標とすべきものと考えられる。そのためにはリアルタイムに流量観測値を得る観測手法の開発・整備も望まれる。

## 6. 結論

平成27年9月洪水は、線状降水帯における豪雨により、鬼怒川においては無堤部を越水し、1箇所では堤防を越流して決壊に至った。

著者は、2013年に、栗橋下流域の利根川本川と

鬼怒川、小貝川及び江戸川を包含した利根川水系システム不定流計算システムを作成し、平成10年代の洪水に対して良好なシミュレーションを行うことができた。

本報告は、その不定流計算システムを渡良瀬川合流点上流域に拡張して、平成27年9月洪水に適用し、利根川全川システムとその中で鬼怒川洪水の動態を明らかにすることをめざしたものであり、以下の4項目について知見を得た。

1) 既往の上流端境界地点における水位流量曲線に、上流端の観測水位を当てはめることにより、上流端境界条件を作成し、全体システムに対する不定流計算を安定的に実施することができた。

2) 利根川本川の状態を見ると、中流域にあたる栗橋までは水位波形が計算と観測とが良好に一致するが、栗橋下流においては計算水位が観測水位よりやや高く、ピーク以降の下降の仕方が緩い傾向にあり、残流域からの流出を考慮する必要が認められる。

3) 本川上流域及び支川については、概ね良好に観測水位を再現することができた。

4) 今回の洪水は、鬼怒川と思川において計画高水流量を超える状態が生起している。これら2河川についての境界条件流量の算出は、水位流量曲線の外挿となっており、与件流量に誤差を含むことも懸念され、なお検討を要する。

従来、利根川水系システムのように複雑な河川システムに対して不定流計算を適用して洪水流を再現した事例に乏しいが、水位観測値と観測流量に最もよく適合する粗度係数を調整した事例を積み上げ続けることが重要である。そのためにも、流量観測が精度よく確実に実施されることが望まれる。

## 謝辞

情報開示制度により、河川の横断測量成果の開示を受け、利根川水系の広域的な河川システムに対する不定流計算システムを作成することができた。国土交通省水文・水質データベースによって正時の10分後に観測水位データを入手できた。国土交通省本省はじめ地方整備局・事務所など関係

の諸官のご尽力に敬意を表します。

(財) 河川情報センターの中尾忠彦氏には、研究の方向と展望について貴重なご意見を頂いた。記して感謝する次第である。

### 引用文献

- 1) 関東地方整備局, 第1回鬼怒川堤防調査委員会, 平成27年9月28日
- 2) 星畑國松, 流量仮定型不定流計算法による不定流計算-利根川水系を事例として-水利科学, No.333, 334 (第57巻第4号, 5号), 2013年10月, 12月
- 3) 国土交通省ホームページ, 水文水質データベース, <http://www1.river.go.jp/cgibin/SrchSiteSui2.exe>
- 4) 利根川百年史, pp.768~775, 利根川百年史編集委員会, 1987年11月
- 5) 前述2) No.333, pp.106
- 6) 前述1), pp.36
- 7) 前述2), 334, pp.35
- 8) 山本晃一他, 鬼怒川の河道特性と河道管理の課題-沖積層の底が見える河川-, (財) 河川環境管理財団, 河川環境総合研究所, 河川環境総合研究所資料第25号, pp118
- 9) 前述2) No.334, pp.47
- 10) 関東地方整備局, 利根川水系河川整備基本方針, 基本高水等に関する資料, 平成18年2月
- 11) 矢嶋 聡, 独習 Visual Basic 2008, 2009年3月, 広済堂

(投稿受理:平成27年11月2日  
訂正稿受理:平成28年3月1日)

### 要 旨

流量仮定型準二次元不定流計算法により, 6支川, 1派川, 6遊水調節地を包含する利根川水系不定流計算システムを作成した。この不定流計算システムを平成27年9月洪水に適用するため, 上流端の境界条件を作成し, 安定した不定流計算を行うことができた。設定した境界条件により, 利根川本川上流域及び鬼怒川など支川区間の水位波形については良好な再現をすることができた。本川中下流区間については, ピーク以降の再現に問題が残っているが, この計算システムはリアルタイム洪水予警報や実際河川の粗度係数の詳細検討に有用と考えられる。不定流計算は, 河川の状態と観測流量及び観測水位を結びつけるものであり, 河川の状態を解明し, 災害対策の基礎をなすものである。