

利根川河道沿い三調節池群の洪水調節量の算定

ESTIMATION OF FLOOD STORAGE VOLUME IN THE THREE RETARDING BASINS ALONG THE TONE RIVER

松本敬司¹・福岡捷二²・須見徹太郎³
Takashi MATSUMOTO, Shoji FUKUOKA and Tetsutaro SUMI

¹学生会員 中央大学大学院 理工学研究科 土木工学専攻 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

²フェロー Ph.D 工博 中央大学研究開発機構教授 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)

³正会員 国土交通省 関東地方整備局 利根川上流河川事務所 所長
(〒349-1198 埼玉県久喜市栗橋北2-19-1)

The Tanaka, Sugo, Inadoi retarding basins which are located along the Tone River have an important role on flood control in the lower Tone river. The lower Tone River has some flood control problems such as flood discharge capacity of the river.

In this paper, we developed the unsteady two-dimensional analysis of flood flows using the time series data of observed water surface profiles in the Tone River including the three retarding basins. The calculation model provides a good explanation for flood storage volume in the three retarding basins of 2001 and 2007 floods. Some remarks are given to calculate correct hydrographs of flood storage volume in retarding basins.

Key Words : *flood flow , unsteady 2-D flow analysis , Tanaka, Sugo and Inadoi retarding basins , overflow levee , water surface profile*

1. 序論

利根川は日本最大の流域面積(16,840km²)を誇り、首都圏を流下するため¹⁾、堤防決壊による大規模氾濫等の洪水被害が生じるとその被害は計り知れない。そこで、人命や資産を洪水被害から守るため、利根川水系には上流域に点在するダム群、渡良瀬川下流部に位置する渡良瀬遊水地、鬼怒川合流部の上下流に位置する田中・菅生・稲戸井から成る河道沿い調節池群など多くの洪水調節施設が設けられてきた。本研究では数ある洪水調節施設の中から、鬼怒川合流部の上下流に連続して配置された田中・菅生・稲戸井調節池の洪水調節について検討を行った。これらの調節池は、布川狭窄部を含む利根川下流を流れる洪水流量を低減する役割を持っている。そのため、3調節池は利根川下流部の治水を考える上で極めて重要な役割を持っている。

田中・菅生調節池の各諸元は調節池概成当時の河川の場合等を勘案して決められたもので²⁾、その後の利根川治水計画の変更に伴い、調節池容量等の計画については見直しが行われており、今後、施設の改良が必要となっている。また、田中・菅生調節池の越流堤は時間の経過

に伴い、不等沈下や空洞等が発生していること、稲戸井調節池では現在も整備事業を実施していることから、現在の3調節池の洪水調節機能についての検討が求められている。そのために、調節池を含む区間の実洪水時の現象を再現し、実態把握を行うために、洪水流量や調節池への流入量の検討を行える解析モデルの構築を行う。

従来、河道から調節池への流入量の計算は越流地点の河道水位を用いた堰の公式³⁾により行われてきたが、この手法は横越流の特性を考慮していないため、流入量の算出精度に課題を抱えており、上式を修正し横越流の特性を考慮した研究⁴⁾も行われている。一方、福岡・渡邊ら⁵⁾が提案した、縦断的な水位時系列データを用いて非定常平面二次元洪水解析を行うことで洪水流量の時間変化を算定する方法は、岡村・福岡ら⁶⁾により鶴見川多目的遊水地において、また、中井・福岡ら⁷⁾により渡良瀬遊水地において適用され、遊水地の洪水調節量の評価が行われた結果、河道、越流堤天端上、遊水地内で時空間的に密に測られた水位観測値を用いることで、各地点の洪水流量や遊水地への流入流量を精度よく見積もれることが示されている。

本研究は、平成13年9月と平成19年9月に発生した実績2洪水を対象として、3調節池を含む利根川・鬼怒川区間

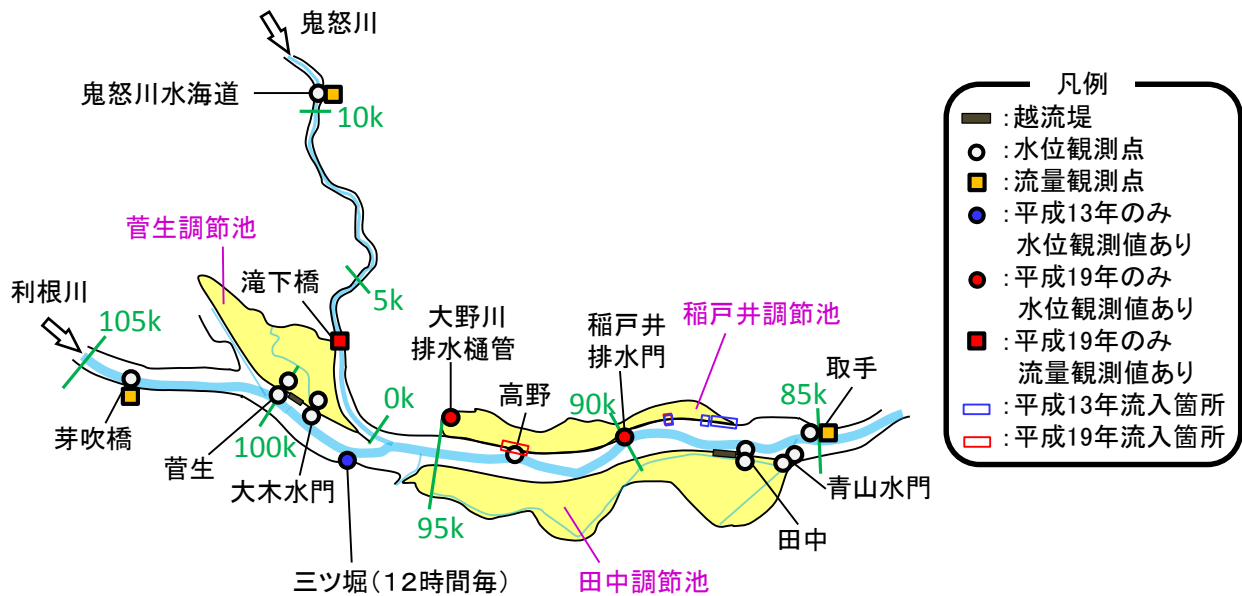


図-1 検討区間平面図

表-1 各調節池の諸元 (現況)

	面積(km ²)	治水容量(万m ³)
田中調節池	11.75	6068
菅生調節池	5.92	2690
稲戸井調節池	4.48	1908
合計	22.15	10666

について、非定常平面二次元洪水解析モデルを構築し、3調節池の洪水調節量の算定を行い、これと実測値を比較することで本計算法の適用性を示している。さらに、この結果から、調節池を含む区間の検討を行う際に注意すべき点を示している。

2. 田中・菅生・稲戸井調節池について

図-1に検討区間平面図を示す。千葉県と茨城県の県境付近を流れる利根川を挟んで3調節池は位置しており、鬼怒川合流点上流の左岸側に菅生調節池、下流の右岸側に田中調節池、左岸側に稲戸井調節池が位置している。表-1に各調節池の諸元を示す。3調節池を合わせると面積は22.15km²、治水容量は1億666万m³となっている。田中・菅生調節池は普段、農地としての土地利用がなされている。稲戸井調節池は下流側がゴルフ場として利用されており、上流側は草地や湿地、林となっている。

田中・菅生調節池は大正15年に鬼怒川改修計画の一環として立案され、幾度かの計画変更を経て、昭和35年に概成した。この2調節池は、昭和初期まで大部分が荒地・湿地・沼沢地であったが、戦時中及び戦後に食糧増産を目的に農地開拓も進められた。そのため、調節池内を無秩序に開拓されないように調節池計画の検討作業と並行して工事を実施せざるを得なかった背景がある²⁾。2調節池では、河道と調節池を隔てる圍繞堤に設けられた

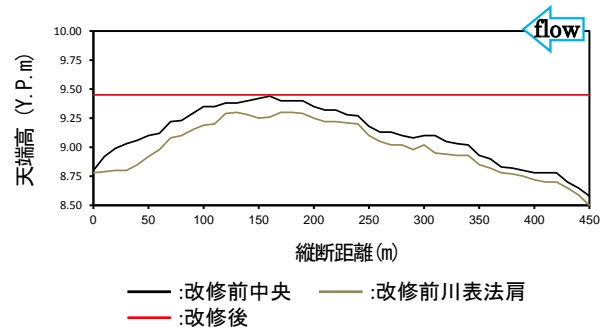


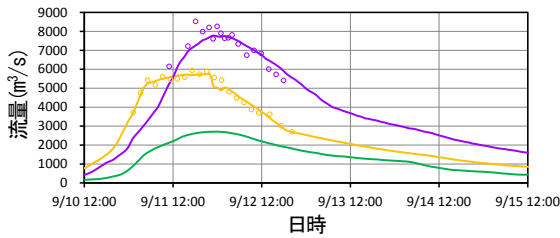
図-2 田中越流堤天端形状

越流堤から洪水の流入が起こる。田中、菅生調節池越流堤の延長はそれぞれ450m、280mとなっている。図-2に田中越流堤天端形状を示す。田中越流堤は昭和35年の完成後、時間の経過と共に不等沈下・空洞等が発生したため、平成15～16年にかけて嵩上げ補修工事が実施されている。そのため、平成13年9月洪水と平成19年9月洪水で越流堤の天端高が異なっている。

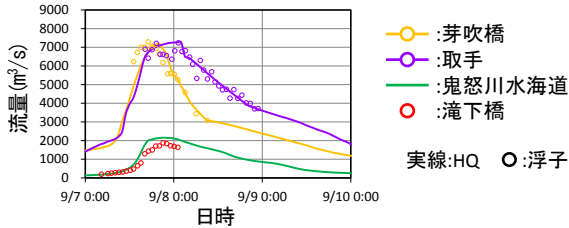
稲戸井調節池は、昭和24年の利根川改修改訂計画で立案され、平成21年に概成し、現在は池内掘削を実施している。しかし、越流堤・圍繞堤が概成する以前も圍繞堤未整備部などから洪水の流入があり、遊水地としての機能を有していた。本研究が対象とした平成13年と平成19年の洪水時はまだ整備途中であった。そのため、平成13年9月洪水時には図-1の青枠で示す圍繞堤未整備部などから洪水の流入があった。また、平成19年9月洪水時には、圍繞堤はほぼ整備されていたが、図-1の赤枠で示す工事途中の稲戸井越流堤が圍繞堤部分より低く切欠のようになっていたため、主にそこから洪水が流入していた。

3. 対象洪水・観測データ

(1) 対象洪水



(a) 平成13年9月洪水



(b) 平成19年9月洪水

図-3 観測流量ハイドログラフ

平成13年9月洪水は、台風15号による出水である。図-3に観測流量ハイドログラフを示す。図-3(a)を見ると、利根川の芽吹橋（104.1km）で約5900m³/s、取手で（85.3km）約8000m³/s、鬼怒川の水海道（11.0km）で約2700m³/sの流量が観測されている。また、洪水継続時間が約100時間と長く、芽吹橋で約20時間程度ピーク流量が続いている。取手と鬼怒川水海道の流量ピークはほぼ同時刻に生じている。

平成19年9月洪水は、台風9号による出水である。図-3(b)より、利根川の芽吹橋と取手とともに約7000m³/s、鬼怒川の水海道で約2100 m³/sの流量が観測されている。取手地点でピーク流量が約10時間続いている。芽吹橋と水海道の流量ピークはほぼ同時刻である。

2洪水は洪水の継続期間、波形や流量規模、2河川の流量ピークの生起時刻などが異なっている。

(2) 観測データ

図-1に示すように、平成13年9月洪水の解析に用いた水位観測データは、利根川の河道で8地点（三ツ堀は平成13年のみ12時間毎の水位観測データ有り）、鬼怒川の河道で1地点、菅生・田中調節池内ではそれぞれ2地点ずつの4地点、合計13地点のものである。なお、洪水後には利根川で縦断的に痕跡水位が測られている。また、浮子流量観測データは利根川の芽吹橋（104.1km）と取手（85.3km）の2点で行われたものを用いている。

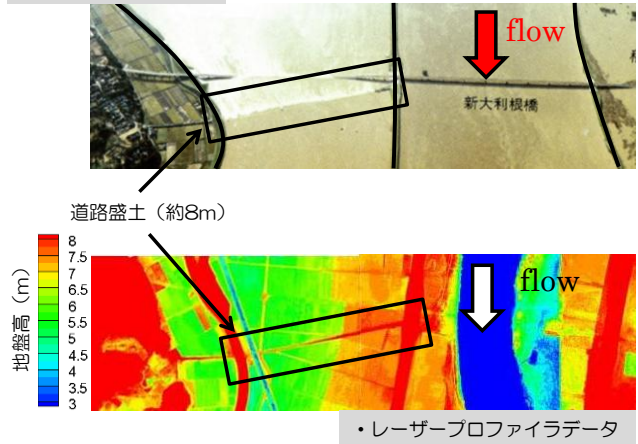
平成19年9月洪水の解析では、平成13年9月洪水時のものに加え、河道内では利根川90.0kmの稲戸井排水門の水位観測データ、鬼怒川2.8kmの滝下橋地点で増水期～ピーク期の流量観測データ、また、稲戸井調節池内の1地点の水位観測データを用いている。

4. 検討方法

表-2 設定した粗度係数・樹木群透過係数

	H13.9洪水		H19.9洪水	
	利根川	鬼怒川	利根川	鬼怒川
低水路粗度係数 (s・m ^{-1/3})	0.018	0.019	0.018	0.02
高水敷粗度係数 (s・m ^{-1/3})	0.030～0.032		0.030～0.040	
樹木群透過係数 (m/s)	50～65	40～70	50～65	25～65

・航空写真（洪水中）



・レーザープロファイラデータ

図-4 道路盛土の地盤高

解析対象区間は、図-1に示す利根川の芽吹橋（104.1km）～取手（85.3km）、鬼怒川の水海道（11.0km）～利根川合流点（0.0km）とした。

上流端境界条件を利根川の芽吹橋（104.1km）と鬼怒川の水海道（11.0km）、下流端境界条件を利根川の取手（85.3km）として、それぞれの地点で観測水位の時系列データを与えた。

解析に用いるメッシュは、2河川3調節池をそれぞれ独立して作成した。そして、合流部・越流部で解析メッシュを重ね合わせ、情報を受け渡す手法で解いている。河道の地形は各洪水発生時期に一番近い横断測量データを、各越流堤の天端高は測量データを、各調節池内の地形は、横断測量データとレーザープロファイラデータを用いてそれぞれ作成している。図-4に洪水時に撮影された航空写真とレーザープロファイラデータから作成したコンター図を示す。航空写真の黒枠で囲んだ白波が立っている場所とコンター図の黒枠部が対応している。コンター図の赤～黄色は地盤高が高いことを示しており、航空写真を見ると、この地形が調節池内での流入水の流れを阻害していることが分かる。このように調節池内には、広がろうとする水の流れを妨げる道路盛土等の微地形が存在しており、調節池内の水位ハイドログラフに影響を与えるため、調節池内の起伏も解析地形に取り込んでいる。菅生越流堤や2洪水で異なる田中越流堤の天端高や形状は、それぞれ測量されたデータを基に作成している。

粗度係数・樹木群透過係数は検討対象区間の上下流で行われている既往研究⁷⁸⁾を参考に設定した。表-2に設定した粗度係数と樹木群透過係数の値を示す。

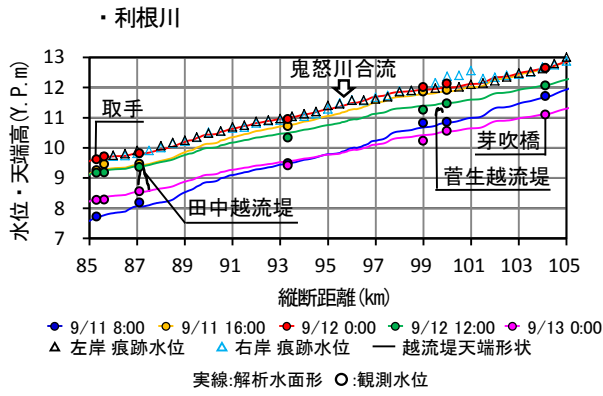
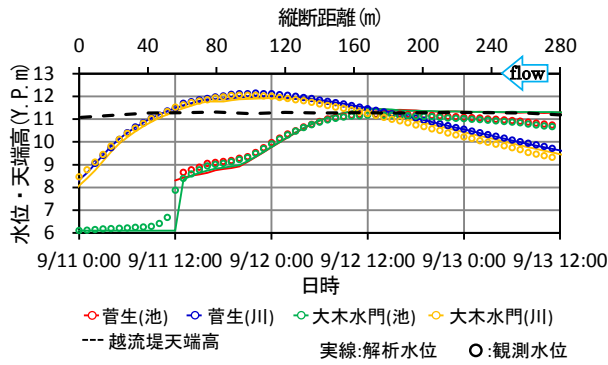
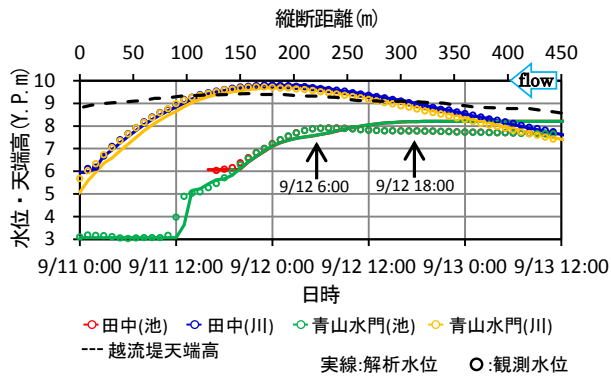


図-5 観測水位と解析水面形 (H13. 9)



(a) 菅生調節池



(b) 田中調節池

図-6 河道内と調節池内の水位 (H13. 9)

5. 解析結果とその考察

(1) 平成13年9月洪水

図-5に利根川の観測水位と解析水面形を示す。鬼怒川については、水位観測点が上流端境界条件とした水海道1地点のみなので省略する。図-5より利根川の解析水面形は全体的に観測水位を説明できている。図-6に各調節池付近の河道内と調節池内の水位の比較を示す。図-6(a)の菅生調節池では、解析値は観測値を概ね再現できている。減水期において、解析値と観測値に差が生じているのは、池内水位が河道内水位を上回ると実施される、排水門からの排水の影響を考慮していないためである。図-6(b)の田中調節池では、9月12日18時頃まで河道内水

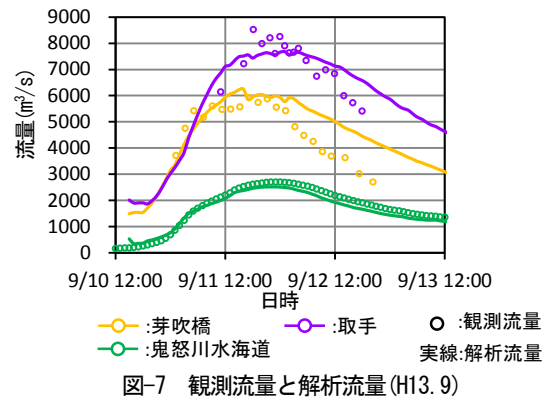


図-7 観測流量と解析流量 (H13. 9)

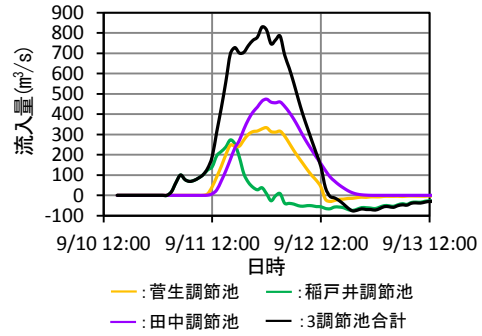


図-8 流入量 (H13. 9)

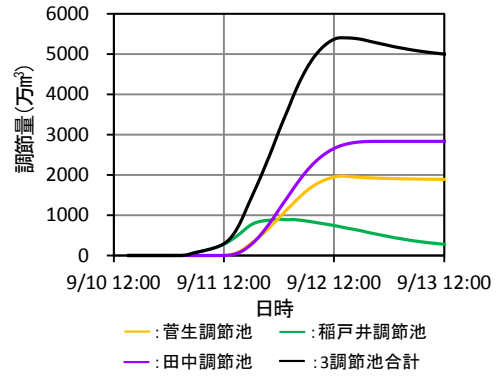


図-9 調節量 (H13. 9)

位が黒の破線で示す越流堤天端高より高いため、この時刻まで洪水の流入は続いていると考えられる。しかし、9月12日6時頃に約8mで調節池内の観測水位の上昇は止まっている。この原因と考えられるものを以下に示す。図-4で田中調節池内には池内を横断する比較的高い道路盛土が存在することを前述した。越流水は流入後、調節池内の道路盛土の下流側に一度貯まり、池内水位が約8mになると、道路盛土を越流して上流側に広がる現象が起こるため、調節池内の水位上昇が収まると考えられる。なお、稲戸井調節池内については、前述したように整備途中のため、圍繞堤未整備部からの流入があった。しかし、稲戸井調節池では水位観測が実施されていないため、稲戸井調節池付近の解析水位は示していない。図-7に示す観測された流量と解析流量については、芽吹橋と鬼怒川水海道のピーク流量の観測値を解析値は概ね捉えられている。しかし、取手ではピーク流量の解析値が若干低く見積もられている。また、芽吹橋と取手において、減水期の解析値が実測値に比べ大きくなっている。

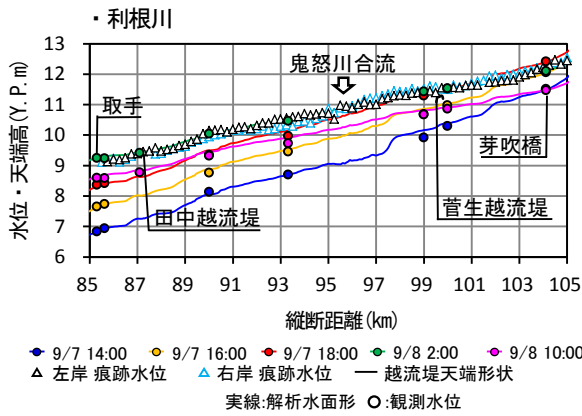
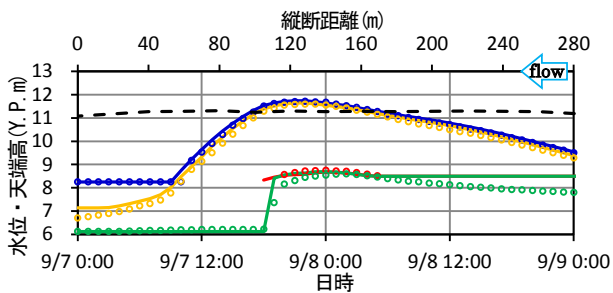
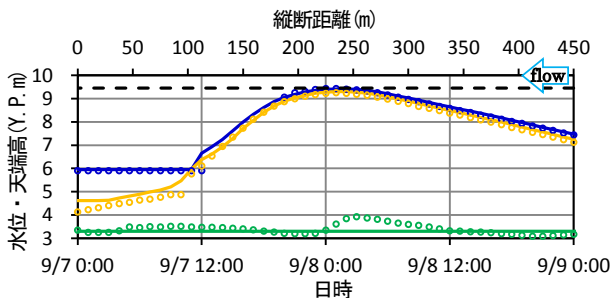


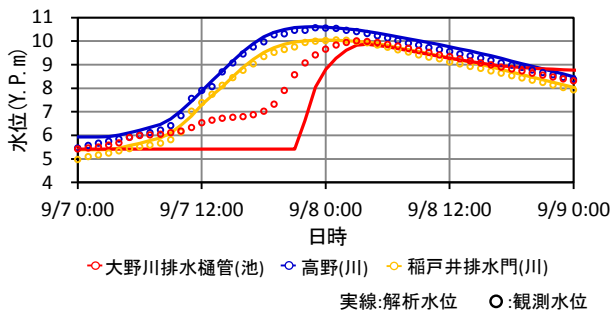
図-10 観測水位と解析水面形 (H19.9)



(a) 菅生調節池



(b) 田中調節池



(c) 稲戸井調節池

図-11 河道内と調節池内の水位 (H19.9)

この原因として、浮子による観測流量の誤差に加え、以下のことが考えられる。既往研究⁹⁾より、洪水減水期には増水期、ピーク期に比して粗度係数が大きくなっている可能性が高いと考えられている。しかし、本解析では3調節池の調節量の算定が目的であるため、水位が高い

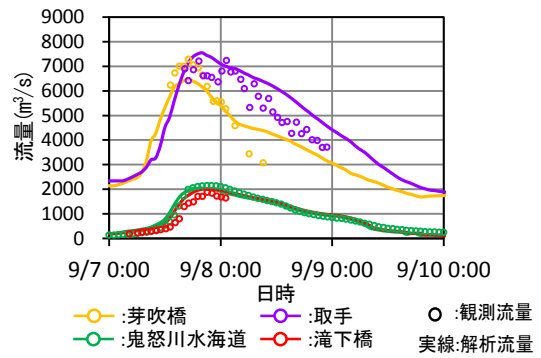


図-12 観測流量と解析流量 (H19.9)

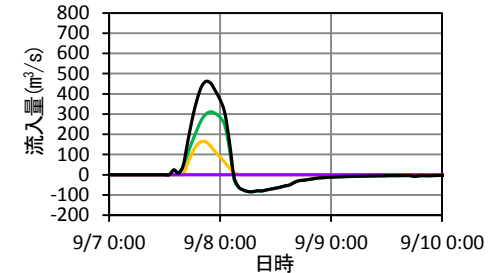


図-13 流入量 (H19.9)

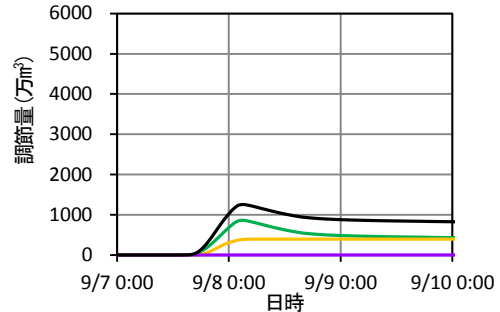


図-14 調節量 (H19.9)

時間帯の観測水位に解析水面形が合うように粗度係数を設定している。減水期も同じ粗度係数を用いているので、減水期の解析流量が観測流量に比べ大きくなったと考えられる。図-8には本解析から得られた3調節池それぞれに流入した流量（以下、流入量）及びその合計値を示している。ピーク流入量は田中調節池で約470m³/s、菅生調節池では約330m³/sとともに9月12日0時に生じており、図-7の取手のピーク流量発生時刻とほぼ一致する。図-8より稲戸井調節池のピーク流入量は約270m³/sとなっており、ピーク流入量の発生時刻は図-7の各地点の流量ピークの生起時刻より早い。図-8の黒の実線で示すように、3調節池で最大830m³/s程度の流入があったことが明らかとなった。図-9に本解析から得られた各調節池それぞれに貯まった洪水の総量（以下、調節量）及びその合計値を示す。菅生調節池では、利根川の水位低下に伴い調節池内から利根川へ洪水の戻りが生じたため、9月12日13時を境に調節量が若干減少している。また、表-1の治水容量と比較すると、菅生調節池で約73パーセント、田中調節池で約47パーセントの使用量であった。本洪水

における3調節池の総調節量は約5400万 m^3 であり、3調節池の治水容量と比べると約50パーセントの使用量であった。

(2) 平成19年9月洪水

図-10から、利根川では全体的に解析水面形は観測水位を説明できている。図-11(a)の菅生調節池では解析値は観測値を概ね再現できている。図-11(b)の田中調節池では、洪水の流入がほぼ見られなかった。図-11(c)の稲戸井調節池では、調節池内上流側にある大野川排水樋管(池)において解析水位は観測水位を再現できていない。これは、調節池内の地盤高を解析地形に取り込み切れていないことや、地盤高作成に用いたレーザープロファイラデータの測定時期から掘削等で地盤高が変化していること等が問題と考えている。図-12では、芽吹橋のピーク流量の解析値が観測値より若干低く見積もられているが、他の3地点ではピーク流量を概ね再現できている。この洪水でも、平成13年9月洪水と同様、減水期で解析流量が観測流量より大きく見積もられている。図-13から、菅生調節池で約160 m^3/s 、稲戸井調節池で約310 m^3/s のピーク流入量があり、2調節池で最大460 m^3/s 程度の調節量であることが明らかとなった。田中調節池では前述の通り、洪水の流入が少なかった。平成13年9月洪水では稲戸井調節池への流入が菅生調節池への流入より早かったが、本洪水では逆転している。これは、図-1の青枠で示す囲繞堤未整備部分が整備されたことにより、洪水が調節池内に流入を開始する地盤高が変わったためである。図-14から、2調節池の総調節量は約1250万 m^3 となっている。

(3) まとめ

実績2洪水の観測値と解析結果の比較検討から得られた考えを以下に示す。平成13年9月洪水における田中調節池内の水位変動状況を見ると、調節池内に流入した水はまず、農業用に設けられた池内水路を伝わり、水位の上昇により池内水路から溢れる。そして、水は調節池内の道路盛土等の起伏の影響を受けながら広がっていく。更に水位が上昇を続けると調節池内一面に水が溜まり、地形の影響が効きにくくなるため各地点の水位はほぼ一定となる。このことから、池内水位が低い時点では調節池内の地形の影響が直接池内水位に表れる。図-11(c)に示す平成19年9月洪水時の解析結果における、大野川排水樋管(池)の再現性の低さは、実地形と解析地形の違いによるものであると考えられる。調節池内の流れには地形が著しく影響するので、実際の地形をすべて解析地形に取り込む必要はないが、水の広がり方に効いている地形は十分考慮に入れて解析地形を作成する必要がある。そのためには、調節池内で工事などが行われ地形が変わった際には測量を行い、データを蓄積しておくことが重要である。また、洪水流の出入りがある調節池の越流

堤や囲繞堤未整備部の形状は調節池への流入量や各地点の洪水流量の算定結果に大きな影響を及ぼすため、十分把握しておく必要がある。3調節池は上流からのピーク流量をカットし、利根川下流部に流下する洪水流量を低減する効果が期待されている。ピークカットの議論を行うには、洪水流量が大きい時間帯での解析精度の向上が重要なため、これに影響する減水期の粗度係数の検討が必要である。

6. 結論

本研究により得られた主要な結論を以下に示す

- 1) 平成13年9月、平成19年9月洪水を対象とし、3調節池を含む利根川・鬼怒川区間に適用できる非定常平面二次元洪水解析モデルの構築を行った。稲戸井調節池内の地形が掘削等により変化している箇所を、解析地形で十分に再現できていないため細部に課題を残すが、全体的には本解析モデルから得た解析値は観測値を概ね説明できている。
- 2) 構築した本解析モデルから、平成13年9月洪水では、3調節池へ最大830 m^3/s 程度の、平成19年9月洪水では田中調節池を除く2調節池へ最大450 m^3/s 程度の流量をそれぞれ調節し、利根川下流部を流れる洪水流量を低減したことを明らかにした。また、洪水継続時間が約100時間と長い特徴を持つ平成13年9月洪水においても、3調節池の総調節量は治水容量の約50パーセントであったことを明らかにした。

参考文献

- 1) 国土交通省河川局：利根川水系河川整備基本方針，2006。
 - 2) 利根川百年史編集委員会：利根川百年史，建設省関東地方建設局，1987。
 - 3) 本間仁：低溢流堰堤の流量係数，土木学会誌，第26巻，6号，pp.635~645，9号，pp.849~862，1940。
 - 4) 秋山壽一郎，重枝末玲，大庭康平：直線河道における破堤氾濫流の横越流特性と流量式の改善，水工学論文集，第55巻，pp.901~906，2011。
 - 5) 福岡捷二，渡邊明英，原俊彦，秋山正人：水面形の時間変化と非定常二次元解析を用いた洪水流量・ハイドログラフと貯留量の高精度推算，土木学会論文集，第761号II-67，pp.45-56，2004。
 - 6) 福岡捷二，昆敏之，岡村誠司：鶴見川多目的遊水地の洪水調節効果の評価—河道の水面形の時間変化を考慮した非定常平面二次元解析法の適用—，土木学会論文集B，Vol.63，No.3，pp.238-248，2007。
 - 7) 中井隆亮，須藤純一，福岡捷二：渡良瀬遊水地の洪水調節に関する検討—平成19年9月洪水を例として—，第66回年次学術講演会公演概要集，pp.243-244，2011。
 - 8) 岩谷直貴，茂呂康治，福岡捷二：利根川下流部における布川狭窄部周辺河道経年変化とその解析，水工学論文集，第56巻，I_1135-1140，2012。
 - 9) 岡村誠司：河口区間および本・支川分流区間を含む河道の河床変動予測技術に関する研究，博士論文(中央大学)，2012。
- (2012. 9. 30受付)