

広大な高水敷と横堤群を有する 荒川中流部の洪水調節機能に関する研究

竹村 吉晴¹・福岡 捷二²・吉井 拓也³

¹正会員 博(工) 中央大学研究開発機構助教 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)
E-mail: takemura@tamacc.chuo-u.ac.jp

²フェロー 工博 Ph.D. 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)
E-mail: sfuku@tamacc.chuo-u.ac.jp

³正会員 工修 関東地方整備局 河川計画課長 (〒330-9724 埼玉県さいたま市中央区新都心 2-1)
E-mail: yoshii-t22aa@mlit.go.jp

荒川中流部は、最大で約 2.5km になる広大な川幅を持つ。そこに横堤群や荒川第一調節池を建設することで、川幅を生かした洪水調節が行われてきた。現在、荒川中流部の洪水調節機能を向上させるため、第二、第三、第四の調節池が計画されている。本論文では、調節池群設置の有効性と留意点を明らかにするため、著者らが構築してきた荒川中流部の洪水流解析モデルに基づき、整備計画規模洪水に対する現況の荒川中流部の洪水調節機能について検討した。横堤群は荒川中流部の貯留量を高め貯留率のピークを遅らせる効果を持つが、早い段階で高水敷全体に洪水が及ぶため、洪水ピーク付近でその効果は小さくなる。その結果、広い高水敷と横堤群だけでは整備計画規模洪水に対し、基準点岩淵の流量を整備計画目標流量 6200m³/s まで低減できないことを明らかにした。

Key Words: Arakwa River, large flood plain, cross-levee, flood storage, retarding basin

1. 序論

荒川は首都圏を流れ、流域には約 930 万人もの人口を有し、ひとたび大水害が起こればその被害は甚大である。荒川中流部は、図-1 に示す寄居から秋ヶ瀬取水堰までであり、広大な川幅は最大で約 2.5km にもなる。1918 年(大正 7 年)に始まった荒川の改修事業により、広い川幅を確保するとともに堤防から直角に伸びる横堤群が 25 本設けられ、横堤間に洪水流を留めることで荒川第一調節池とともに荒川の洪水調節の役割を担っている(図-2 参照)。平成 28 年 3 月に策定された荒川水系河川整備計画¹⁾では、既設の第一調節池の上流の河道に第二、第三、第四の調節池を整備し、昭和 22 年 9 月洪水(カスリーン台風)と同規模の洪水に対し、岩淵地点(21.1km)の流量を整備計画目標流量 6200m³/s (1/100) 以下にすることが設定された。このため、主要支川である入間川と市野川を含む、複雑な河道特性を有する荒川中流部に適用可能な精度の高い洪水流解析モデルから、現況の荒川中流部の洪水調節機能を定量的に評価し、調節池群設置の有効性と留意点について検討することが求められている。

近年、多点での洪水位観測が行われるようになり、各



図-1 荒川の流域図



図-2 平成 19 年 9 月洪水時の治水橋 (41.9km) 付近の航空写真

時間の観測水面形を説明するように粗度係数や河床変動などを決定することで、精度の高い洪水流解析、洪水現象の見える化が行えるようになってきた²⁾。

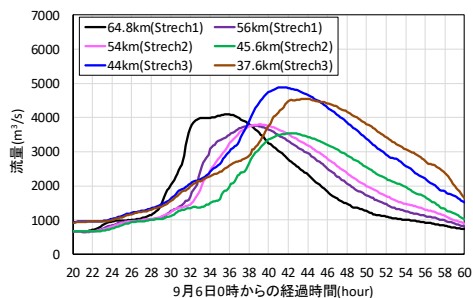


図-3 平成 19 年の実績洪水の Stretch1, Stretch2, Stretch3 の上下流端地点における解析流量ハイドログラフ

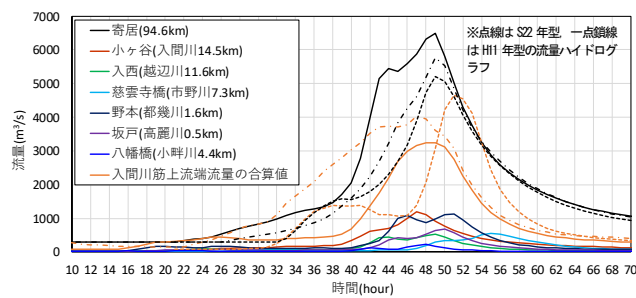
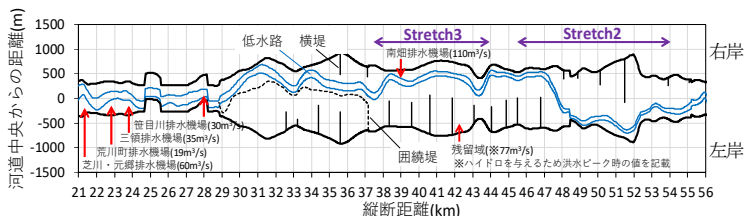
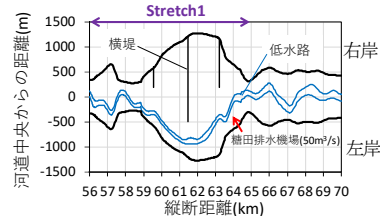


図-4 昭和 22 年, 平成 11 年, 平成 19 年型の整備計画規模洪水の上流端流量ハイドログラフ

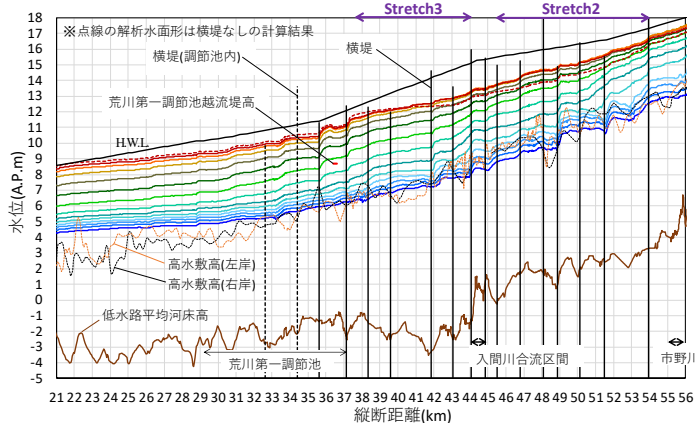


(a) 下流区間

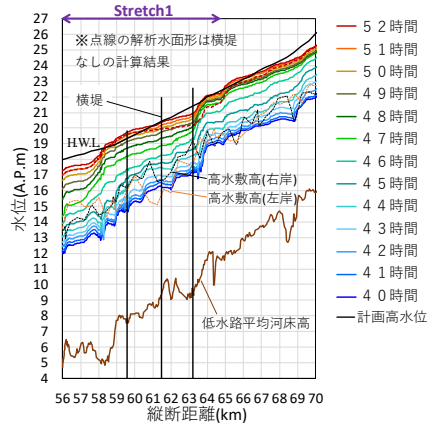


(b) 上流区間

図-5 荒川中流部の低水路, 高水敷の状況と横堤群の配置



(a) 下流区間



(b) 上流区間

図-6 平成 19 年型洪水下流時の増水期における荒川中流部の低水路平均の解析水面形時系列

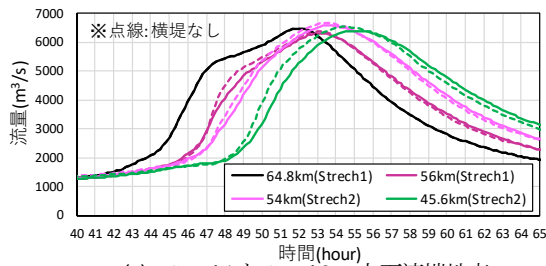
著者ら³⁾は、上述の考えの下、入間川と市野川を含む荒川中流部を対象に、熊谷観測所(76.5km)において観測史上最大水位が観測された平成 19 年 9 月洪水の観測水面形時系列に基づき、荒川中流部の特徴を考慮に入れた精度の高い洪水解析モデルを構築し、平成 19 年洪水の検討を行っている。図-3 は、著者らの観測水面形時系列に基づいた洪水解析結果から、図-5 に示す 64.8~56.0km 区間(Stretch1)、54.0~45.6km 区間(Stretch2)、44.0~37.6km 区間(Stretch3)の上下流端の解析流量ハイドログラフ(基準点岩淵で最大流量約 4200m³/s)を示す。各区間で大きな支川合流はなく、上流端と下流端での解析流量ハイドログラフの違いは、荒川中流部の広大な高水敷と横堤群の影響を受けた結果である。図-3 に示すように各区間で解析流量ハイドログラフは大きく変形しており、最大流量の低減量は Stretch1 で約 331m³/s、Stretch2 で約 256m³/s、Stretch3 で約 340m³/s となる。それぞれ上流端の最大流量の約 7~8%もの大きさになり、荒川中流部の広大な高水敷と横堤群は、実績の洪水規模に対し十分な洪水調節効果を持つと言える。しかし、整備計画流量のよ

うに大規模な洪水が発生した場合に荒川中流部でどの程度の洪水調節効果が得られ、下流の流量・水位減衰につながるかは不明であり検討が求められる。

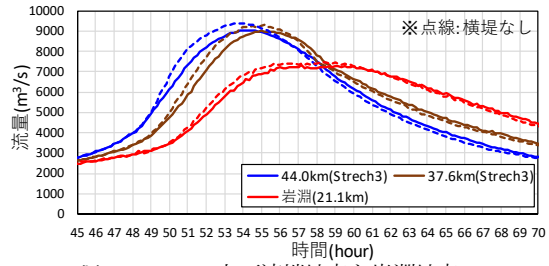
本論文では、著者らにより構築された荒川中流部の洪水解析モデルに基づき荒川水系河川整備計画で用いられた特徴の異なる 3 つの整備計画規模洪水に対する現況の荒川中流部の洪水調節機能、即ち、広い高水敷空間と横堤群の組み合わせにより、洪水のどの段階でどの程度下流河道に送り出す流量を調節するかを明らかにする。

2. 荒川中流部の河道特性と検討方法

図-5 は現在の各断面の河道中心を基準として、堤防と低水路の位置、横堤群の配置を示している。62.0km 付近の右岸高水敷が最も広く約 2500m に達する。他の断面でも 500~1500m の高水敷幅を持つ。また、37.2~28.8km 区間には、荒川第一調節池(調節容量 3900 万 m³)が設置済みである。特筆すべきことは、低水路幅

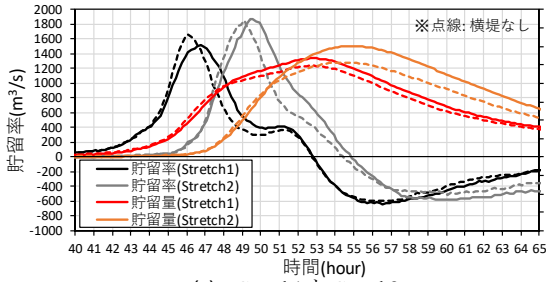


(a) Stretch1 と Stretch2 の上下流端地点

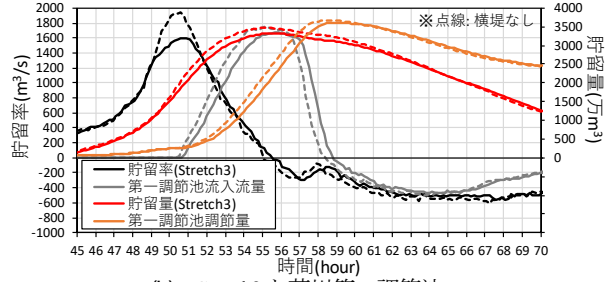


(b) Stretch3 の上下流端地点と岩淵地点(21.1km)

図-7 平成 19 型洪水流下時の解析流量ハイドログラフ



(a) Stretch1 と Stretch2



(b) Stretch3 と荒川第一調節池

図-8 平成 19 型洪水流下時の高水敷貯留率, 高水敷貯留量及び荒川第一調節池の流入量と調節量

は 50~150m 程度と高水敷幅に比べ著しく狭いことであり, 広い高水敷が荒川中流部の流れを特徴づけている。

解析では, 図-4 示す昭和 22 年型, 平成 11 年型, 平成 19 年型の整備計画規模洪水を外力条件として採用した。これらの外力条件は代表的な実績洪水波形を整備計画規模の波形に引き伸ばしたものであり, 図-1 に示した寄居(荒川 94.6km), 小ヶ谷(入間川 14.5km), 入西(越辺川 11.6km), 八幡橋(小畔川 4.4km), 野本(都幾川 1.6km), 坂戸(高麗川 0.5km), 慈雲寺橋(市野川 7.3km)において, それぞれの河川上流端の境界条件で与える。下流端の境界条件は, 岩淵観測所(21.1km)における整備計画断面の水位-流量関係から, 解析流量に応じた水位を逐次与える。また, ポンプ排水及び残流域からの流出のある地点では, これらを横流入量として考慮している(図-5 参照)。解析モデルは, 著者ら³⁾と同様のものを用いる。メッシュサイズは縦横断方向ともに 1~50m の範囲で作成し, 総メッシュ数は約 20 万 5 千である。横堤を含むメッシュの地盤高は, LP データから横堤の地盤高を調べ与えた。なお, 対象洪水に対し横堤は非水没である。

3. 整備計画規模洪水に対する広大な高水敷と横堤群を持つ現況の荒川中流部の洪水調節機能

1.で定義した Stretch1, Stretch2, Stretch3 を対象に, まず, 整備計画規模洪水に対する現況の荒川中流部の洪水調節機能を評価し, 最大流量の低減機構から調節池群設置の有効性と留意点について考察する。その後, 荒川中流部の洪水調節に対する横堤群の役割について検討する。

(1) 整備計画規模洪水流量流下時の現況の荒川中流部の洪水調節機能

図-6 の実線は, 平成 19 年型洪水流下時の増水期における荒川中流部の低水路平均の解析水面形時系列を示す。解析水面形は, 広大な高水敷への洪水流の氾濫や高水敷幅の縦断的な変化, 横堤群の影響を受けて水位の低い時間帯から水位の高い時間帯にかけて大きく変化している。また, 解析水位は高水敷の広い区間では, 概ね H.W.L 以下で流れるが, 下流部や上流部などの川幅の比較的狭い区間で H.W.L に迫るか, 超過する場所が見られる。

図-7 の実線は Stretch1, Stretch2, Stretch3 の上下流端と岩淵地点(21.1km)の解析流量ハイドログラフを示す。図-8 の実線は, それぞれ Stretch1, Stretch2, Stretch3 区間の高水敷に単位時間当たり貯留される洪水の量(高水敷貯留率)とその積分量(高水敷貯留量), 第一調節池の流入量と調節量を図-7 と時間軸を揃えて示したものである。高水敷貯留率は洪水の立ち上がりで最大となり, Stretch1 で約 1572m³/s, Stretch2 で約 1868m³/s, Stretch3 で約 1603m³/s となる。それぞれ同時刻に上流端から流入する流量の約 32%, 41%, 22%に達し, 各区間の下流端から流出する流量が大幅に低減されるのが分かる。その後, 高水敷貯留率は洪水流量ピークに近づくにつれて減少し, 最大流量の低減量は Stretch1 で約 220m³/s, Stretch2 で約 176m³/s, Stretch3 で約 221m³/s となる。各区間での最大流量の低減量は上下流端の最大流量の差に, 図-5 に示したポンプ流入量と残流域からの流入量を加えた値である。

整備計画規模洪水に対する各区間での最大流量の低減量はそれぞれ上流端の最大流量の約 2~3%程度にとどまり, 図-7(b)に示す岩淵地点(21.1km)の最大流量は 7312m³/s と第一調節池の洪水調節を含めても整備計画目

標流量 6200m³/s を約 1112m³/s 上回っている。昭和 22 年型洪水、平成 11 年型洪水に対しても岩淵地点 (21.1km) の最大流量はそれぞれ約 7021m³/s、7684m³/s となり、整備計画目標流量を上回る結果となった。

福岡²⁾は平成 27 年鬼怒川洪水で最大流入量付近の貯留率と最大流量の低減量の間に密接な関係があることを洪水水面形の再現計算から見出している。即ち、上述の結果は、荒川中流部では、岩淵地点 (21.1km) で整備計画流量 6200m³/s 以下にするだけの河道での貯留は達成できず、洪水ピーク時にはその大部分が下流に送り出されたことを示す。この点を踏まえ、次節では現況の荒川中流部の最大流量の低減機構の詳細について考察する。

(2) 荒川中流部の最大流量低減機構に関する考察

表-1 は、昭和 22 年型、平成 11 年型、平成 19 年型の整備計画規模洪水と平成 19 年実績洪水での Stretch1、Stretch2、Stretch3 の最大流量の低減量を示す。3 つの整備計画規模洪水は、図-4 に示したように特徴がそれぞれ異なるが各区間での最大流量の低減量はほぼ同程度の大

表-1 整備計画規模洪水および実績洪水における各区間での最大流量の低減量。

洪水波形	Stretch1(64.8~56.0k)	Stretch2(54.0~45.6k)	Stretch3(44.0~37.6k)
整備計画 S22年型洪水	334m ³ /s	108m ³ /s	285m ³ /s
H11年型洪水	288m ³ /s	108m ³ /s	210m ³ /s
H19年型洪水	219m ³ /s	175m ³ /s	221m ³ /s
H19年実績洪水	331m ³ /s	256m ³ /s	340m ³ /s

きさになる。また、平成 19 年の実績洪水についても最大流量の低減量は、Stretch2 では下流区間で入間川の背水の影響を受けるため若干違いが見られるが、大局的に見れば整備計画規模洪水に対するものと大きく変わらない。図-7、図-8 で示したように、河川の洪水流にあっては、水位上昇初期には河道での貯留率は大きくなるものの、ピーク流量付近に達すると洪水波形が平坦になるため、河道貯留率が著しく減じることになる。

図-9(a)~(d)、図-10(a)~(d)、図-11(a)~(d)は、洪水流が横堤群や微地形の影響を受けながら高水敷全体に広がる過程を見るために、Stretch1、Stretch2、Stretch3 の各区分で、上流端の流量が最大になる時間までの解析水位の等高線図を地盤高の等高線図の上に重ねて示したものである。水のない場所は左側の凡例で地盤高 Z_b を示し、水のある場所は右側の凡例で水位 Z_s を示している。また、図中の黒の実線は、洪水流況を把握するために、各時間の断面平均流速の計算値を用いて、それぞれ 64.8km、55.2km、44.0km 地点に投下したトレーサーの軌跡を示したものである。図-8 に示したように、上流端の流量が最大になるまでの間に Stretch1 では約 2675 万 m³、Stretch2 では約 3012 万 m³、Stretch3 では約 3321 万 m³ もの洪水が堤防により、高水敷に貯留されている。しかし、高水敷貯留率の最大は前述のように洪水初期の図-9(b)、図-10(b)、図-11(b)に示す洪水流が高水敷に広がっていく時間帯に生じ、各区間の上流端で流量が最大になる約 3 時間前には、

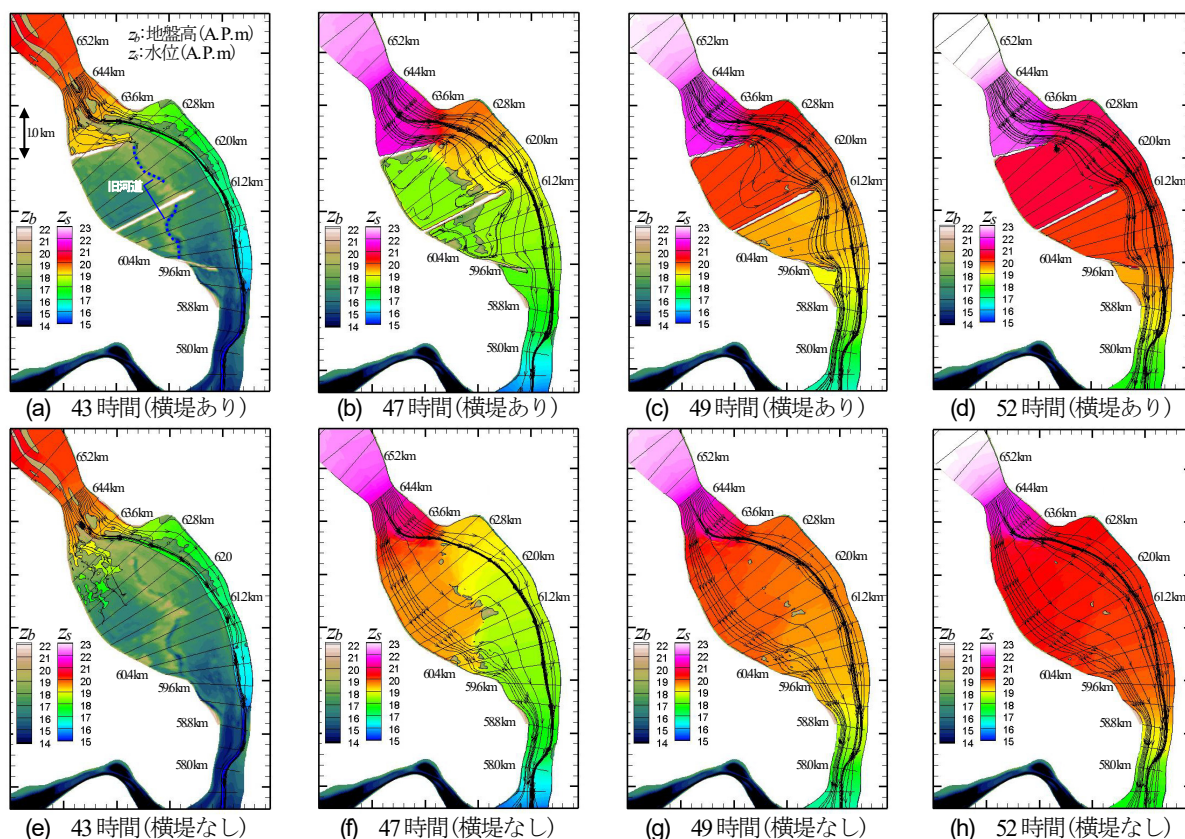


図-9 平成 19 型洪水流下時の 76.5~56.0km 区間(Stretch1)の解析水位の等高線図(上段:横堤あり, 下段:横堤なし)

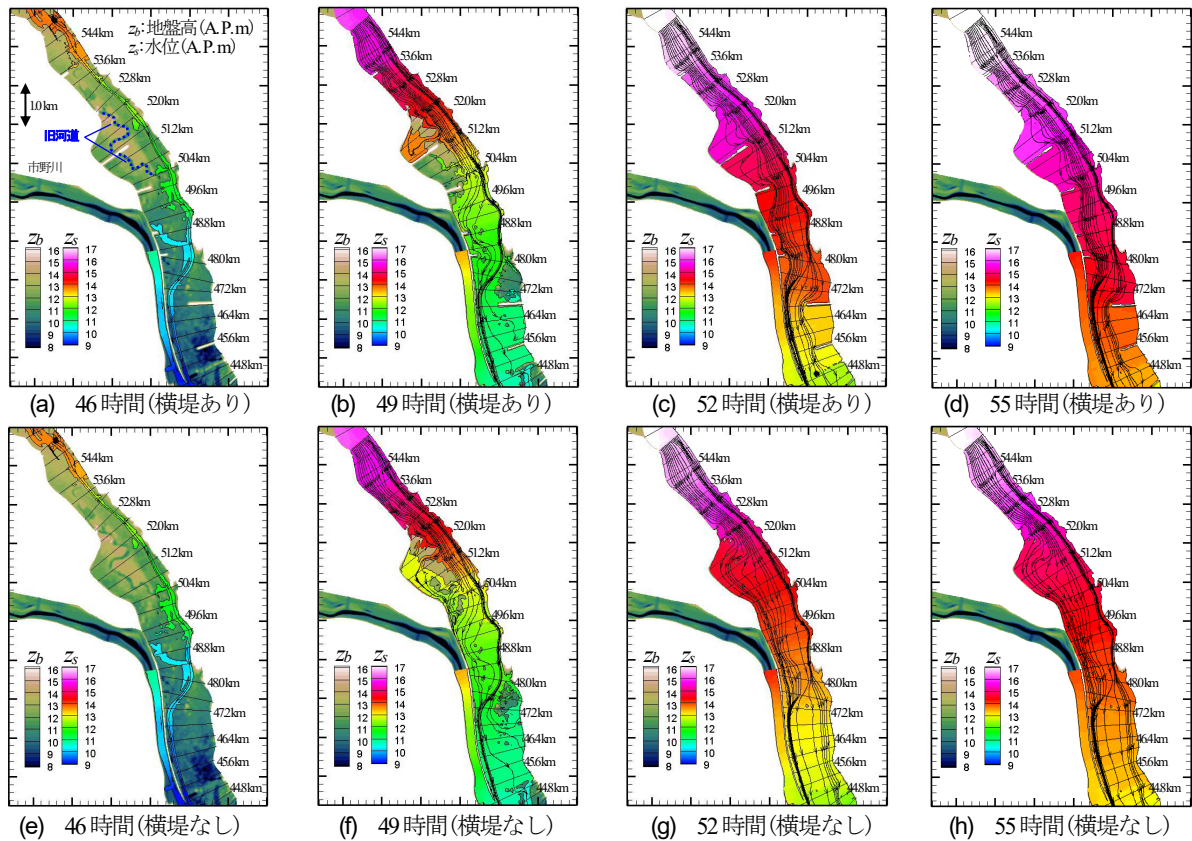


図-10 平成 19 型洪水流下時の 54.0~45.6km 区間 (Stretch2) の解析水位の等高線図 (上段:横堤あり, 下段:横堤なし)

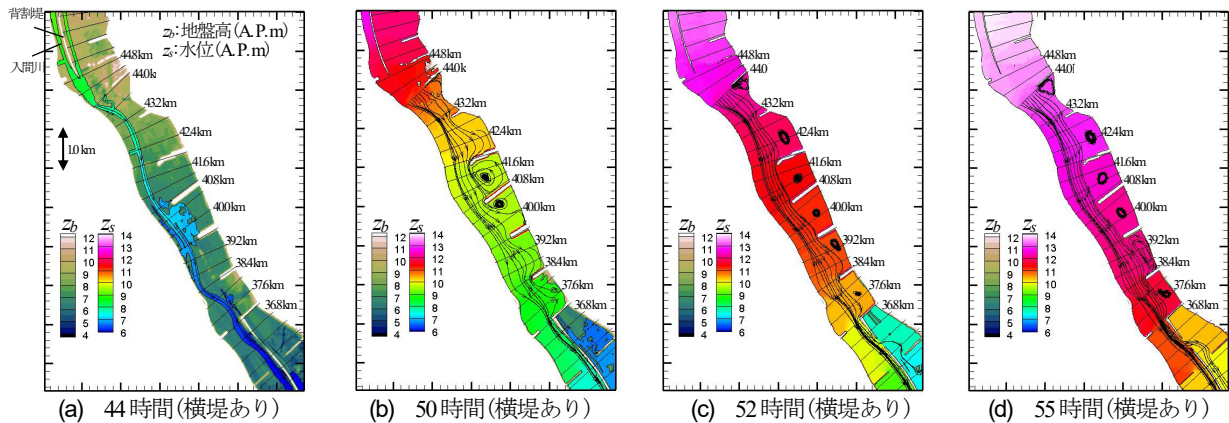


図-11 平成 19 型洪水流下時の 44.0~37.6km 区間 (Stretch3) の解析水位の等高線図

図-9(c), 図-10(c), 図-11(c)に示すように高水敷全体に洪水が及び、横断的な水位差や低水路から高水敷に向かう流れはほとんど見られなくなる。著者ら³⁾の平成 19 年の実績洪水も、洪水ピーク付近では高水敷全体に及ぶ洪水であった。このことから、荒川中流部の洪水は、早い段階で広大な面積を持つ高水敷空間が洪水流に満たされ、各区間で最大流量発生時の河道貯留率は、表-1 の最大流量の低減量程度の大きさになる。この量は、整備計画規模の洪水に対しては十分な量とはいえない。

平成 19 年型洪水において岩淵地点 (21.1km) で整備計画目標流量 $6200\text{m}^3/\text{s}$ を上回った洪水のボリュームは約 2800 万 m^3 である。荒川中流部の広大な高水敷空間を利用し、調節化できれば岩淵地点 (21.1km) の流量を整備計

画目標流量 $6200\text{m}^3/\text{s}$ 以下に出来ると思われる。一方で、上述したように荒川中流部の高水敷と横堤群による貯留効果は、洪水の立ち上がりにおいて下流河道への洪水量を大幅に低減する。そのため、圍繞堤の建設により調節池群を設置した場合、越流堤から洪水が流入すると下流の流量を低減できる。しかし、流入するまでの間、荒川中流部では川幅の縮小化により、現況に比べ河道水位が上昇し易くなり、荒川下流部では中流部での河道貯留率の減少により、現況に比べ河道を流れる流量が大きくなりその到達時間も短縮化することが予想される。今後、圍繞堤の設置がこれまでの実績洪水でどれだけ下流へ影響を及ぼすかを調べる必要がある。

(3) 荒川中流部の洪水調節に対する横堤群の役割

現存する横堤群の荒川中流部の洪水調節に対する役割について、平成 19 年型洪水を対象に検討する。解析では、他の条件を変えずに横堤を周囲の地盤高まで下げ、横堤なしの条件での計算も実施した。

図-6 の赤の点線は、それぞれ 56 時間 (図-6(a)) と 52 時間 (図-6(b)) の横堤なしの低水路平均の解析水面形を示している。実線で示す同時間の横堤ありの解析水面形と比較すると、上流区間では横堤ありの方が横堤なしに比べ解析水位が高く、41.0km 付近を境に水位の関係が逆転している。図-7、図-8 の点線は、横堤なしの解析結果である。図-8(a)に示すように、水位が高まるにつれて、横堤なしに比べ横堤ありの方が高水敷貯留率が大きくなっている。その結果、図-7(a)に示すように、横堤ありの解析流量ハイドログラフは、横堤なしの解析流量ハイドログラフに比べ最大流量が小さくなっている。図-6 において 41.0km 付近を境に横堤ありの解析水位が横堤なしの解析水位より低くなったのは、横堤群により上流区間の河道貯留率が增大したことが理由である。

横堤群の影響が顕著に見られた Stretch1, Stretch2 において、図-9(a)~(d)、図-10(a)~(d)と同じ時間で横堤のない場合の解析水位の等高線図を示すと図-9(e)~(h)、図-10(e)~(h)のようになる。図-9(a)、図-10(a)に示すように、Stretch1, Stretch2 の高水敷に残存する旧河道の自然堤防は、周囲より地盤高が高くなっている。図-9(b)と図-9(f)、図-10(b)と図-10(f)をそれぞれ比較すると、旧河道の自然堤防と横堤群に囲まれた空間に洪水流が侵入しづらくなっているのが分かる。その結果、図-8(a)に示すように現況河道では横堤のない場合に比べ、高水敷貯留率が最大となるのは Stretch1 で約 50 分、Stretch2 で約 30 分遅れる。図-8 の実線と点線で示した横堤ありと横堤なしの高水敷貯留率の差が最大となる時間では、横堤ありは横堤なしに比べ、洪水を毎秒当たり Stretch1 で上流端流量の約 8%、Stretch2 で上流端流量の約 10%も多く広大な高水敷上に貯留している。一方、洪水ピークに近づくほど洪水

の非定常性が小さくなるため、横堤ありと横堤なしでの上流端流量に対する高水敷貯留率の差は小さくなる。

4. 結論

本研究では、異なる 3 つの整備計画規模洪水を対象に、広大な高水敷と横堤群を持つ現況の荒川中流部の洪水調節機能について洪水流解析モデルに基づき検討した。

荒川中流部の横堤群は、洪水の立ち上がりでの河道貯留率を高めているが、洪水水位が高まるにつれて洪水流の非定常性が小さくなりその効果は小さくなる。このため、広い高水敷と横堤群だけでは整備計画規模洪水に対して洪水ピーク付近で十分な河道貯留を確保できず、その大部分を下流へ送り出すことになり、岩淵地点(21.1km)の流量は全てのケースで整備計画目標流量 6200m³/s を上回ることを示した。この検討結果を踏まえ、計画調節池群の設置の有効性と設置にあたっての留意点を明らかにすることが今後の課題である。

参考文献

- 1) 国土交通省関東地方整備局：荒川水系河川整備計画【大臣管理区間】，2016。
- 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, pp.1_637-1_642, 2017。
- 3) 福田匠太，竹村吉晴，吉井拓也，福岡捷二：植生の分布する広大な高水敷を有する荒川中流部における洪水流の解析精度向上に必要な地盤高と高水敷上の氾濫機構の評価方法に関する研究，河川技術論文集，第 22 巻，pp.133-138, 2016。

(2017.9.29 受付)

STUDY ON THE FLOOD STORAGE FUNCTIONS OF THE MIDDLE ARAKAWA RIVER WITH LARGE FLOOD PLAINS AND CROSS-LEVEES

Yoshiharu TAKEMURA, Shoji FUKUOKA and Takuya YOSHII

The middle Arakawa River has large flood plains, about 2.5km in maximum width. Flood storage functions of the middle Arakawa River had been strengthened by installing cross-levees which extend at right angles to levees and the Arakawa 1st retarding basin on the flood plains. New three retarding basins have been planed in the middle Arakawa River. This paper investigate the storage functions of the middle Arakawa River against the design flood hydrographs by numerical flood simulations based on the accurate flood flow model. The cross-levees increase the flood plain storage and delay the peak occurrence time of rate of storage. However, the large flood plains are filled with flood water at early stage of rising limb of the flood flows and do not have the sufficient storage space at the flood peak of the design hydrographs. For this reason, the peak discharge of the Iwabuchi control point exceeds the design discharge (6300m³/s).