

# 江戸川流頭部の河道計画の策定 —先導的な数値解析を中心とした新しい河道設計技術—

THE CHANNEL PLANNING OF THE DIVERSION OF THE EDO RIVER  
— A NEW RIVER DESIGN TECHNIQUE CENTERING ON THE LEADING  
NUMERICAL ANALYSIS —

小渕康正<sup>1</sup>・吉村綾子<sup>2</sup>・宮川勇二<sup>3</sup>・岡村誠司<sup>4</sup>・天野光歩<sup>5</sup>・福岡捷二<sup>6</sup>  
Yasumasa OBUCHI, Ayako YOSHIMURA, Yuji MIYAGAWA, Seiji OKAMURA,  
Mitsuho AMANO, Shoji FUKUOKA

<sup>1</sup>国土交通省関東地方整備局江戸川河川事務所 (元) 計画課長 (〒278-0005 千葉県野田市宮崎134)

<sup>2</sup>国土交通省関東地方整備局江戸川河川事務所 (元) 計画課河川分析評価係長 (同上)

<sup>3</sup>正会員 国土交通省関東地方整備局江戸川河川事務所 事務所長 (同上)

<sup>4</sup>正会員 いであ株式会社建設統括本部水圏事業部河川部 (〒154-8585 東京都世田谷区駒沢3-15-1)

<sup>5</sup>正会員 株式会社建設技術研究所東京本社河川部 (〒330-0071 さいたま市浦和区上木崎1-14-6)

<sup>6</sup>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)

Comprehensive flood observation around the diversion of the Edo River was conducted for the purpose of figuring out the flood phenomena. Temporal data of water levels and discharge rates were measured at many observation points during September 2007 flood. The cross-sectional bed forms were surveyed before and after the flood. Next, the quasi-3D unsteady flood flow and 2D bed variation analysis model using the observed temporal changes in water surface profiles was applied to the Edo River channel planning. On the other hand, local velocity distributions and water surface profiles were measured particularly in large scale hydraulic model experiment. Then the improvement design of the diversion of the Edo River was developed using a new river design technique centering on the leading numerical analysis.

**Key Words :** diversion, flood flow, bed variation, numerical analysis, hydraulic model experiment

## 1. はじめに

江戸川は茨城県五霞町, 千葉県野田市付近で利根川から分かれ, 茨城県, 千葉県, 埼玉県, 東京都の境を南下して, 東京湾に注ぐ流路延長約60kmの一級河川である。江戸川の流頭部には, 右岸低水路に関宿水閘門が設置され, 河道中央には中之島, 左岸には洪水を流下させるために高水敷を切下げた高水路が整備されている。利根川側には構造物がなく洪水時は自然分派方式により分派する(図-1)。現在, 利根川の河床低下, 流頭部付近の樹木繁茂による影響等から計画上の分派バランスに対して, 江戸川へ流入しにくい状況が課題となっている。首都圏を氾濫原に抱える利根川・江戸川にとって, 計画的に適正な分派を確保することは極めて重要であり, 歴史的にも計画改訂等にあわせて数度検討を行ってきている。

江戸川の河川整備計画策定にあたって, 上記課題を解決するため, 過去の改修や検討を考慮しつつ, 近年の数値解析技術の進展を積極的に活用することで流頭部改修案を詳細に検討し策定した。解析結果を模型実験によって確認する先導的な河道設計技術を提示している。



図-1 江戸川流頭部の状況 (H20.12撮影)

## 2. 江戸川流頭部の現状と課題

平成25年5月策定した利根川水系利根川・江戸川河川整備計画においては、江戸川への分派率約36%（栗橋地点洪水流量14,000m<sup>3</sup>/s時に、江戸川への分派量5,000m<sup>3</sup>/sが目標）としている。

江戸川流頭部では、これまでに高水路整備や旧堤撤去など分派量を増加させる整備が行われてきたが、一方で低水路河床低下や流頭部周辺の樹木繁茂、中之島形状など分派量を減少させる高水路の通水能力不足が課題となっている。こうした河道変化が生じてきたなか近年の栗橋地点8,000m<sup>3</sup>/sを超える洪水の分派率は20～25%程度である<sup>1)</sup>。（図-2）。

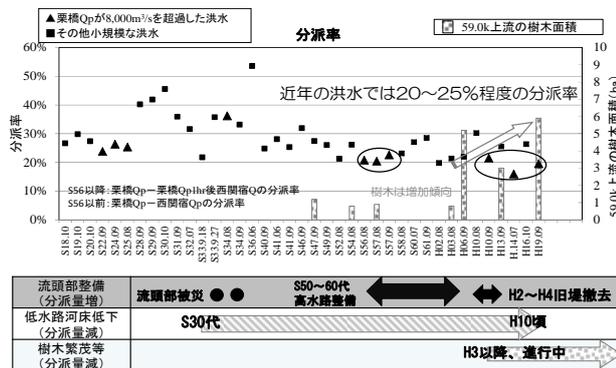


図-2 既往洪水の分派率

## 3. 検討方法

本検討は、観測データの蓄積や近年の数値解析技術の進展を積極的に活用することで、多面的に流頭部改修案を検討し策定したものである。過去の検討では洪水波形の非定常性や洪水中の河床変動が分派に与える影響について考慮されていなかったが、今回はこれを加味した検討を行った。

また、上記最新の技術による検討に加え大型水理模型実験も実施した。実験では、後述する総合的な洪水観測や解析だけでは確かなことが言えない様々な洪水規模での分派率、水位、流況等について確認した。この洪水観測、数値解析、水理実験を有機的に組み合わせ相互に補完することによって、流頭部改修案を詳細に検討することができた。

### (1) 河道設計のための総合的な洪水観測の実施

流頭部とその周辺河道における出水中の水面形・流量の経時変化や出水前後の河床形状を観測、それら結果の相互関係を検討し、分派現象の全体像を把握した。

流頭部周辺の洪水観測は、平成15年度に分派特性や河道管理のあり方等の検討を目的として計画され、高水敷冠水以上の出水を対象に、水位・流量観測、また出水前

後の河床形状測量などの調査を行ってきた。

水位観測では、簡易水位計を縦断方向に2～3km間隔に配置し、さらに流頭部付近には簡易水位標を密に配置して、洪水の縦断水面形を計測する観測体制とした。流量観測では、浮子による流量観測を実施し、分派点上下流の流量ハイドログラフを観測した（図-3）。

数値解析・水理模型実験では、近年10年間で最大の流量規模であるH19.9洪水の観測結果を再現の条件として適用しており、河床形状測量も、H19.9洪水を挟んだ前後の時期に実施している。具体的には約500m間隔での定期横断測量は平成17年3月と平成20年6月に実施し、この他に平成16年3月には測線間隔10m程度の詳細な低水路測量、平成21年7月には測線間隔50m～100mの低水路測量を流頭部周辺でそれぞれ実施している。

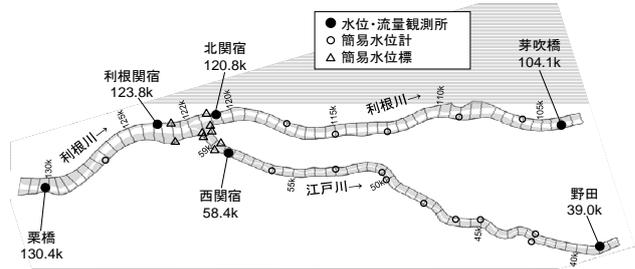


図-3 H19.9洪水における水位観測点の配置

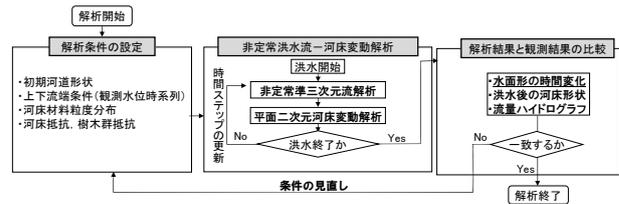


図-4 非定常洪水流一河床変動解析法のフロー

### (2) 数値解析の概要と検証

水位・河床変動の観測結果を既知量として与えた非定常準三次元流一平面二次元河床変動解析により、分派に及ぼす洪水の非定常性や洪水中の河床変動、粗度等の影響について検討した。なお、流頭部周辺の分派流況および二次流の影響を受ける河床変動を適切に評価し、それらの影響を受ける洪水の水面形や分派量を適切に算定するため、水理解析手法として準三次元流解析<sup>2)</sup>を選定した。

図-4のフローは観測された縦断水面形の時間変化を境界条件としながら非定常洪水流一河床変動解析を行い、粗度係数、樹木群の透過係数や河床材料等について設定する手順を表したものである。

解析結果と観測結果の比較においては、特に、水面形の時間変化の同定に重きを置き、なおかつ洪水後の河床形状、流量ハイドログラフの解析結果と観測結果の対応が満足するまで解析条件（河床抵抗、樹木群抵抗、河床材料等）の見直しを繰り返すものである。これにより、粗度係数や樹木群透過係数などについてより精度の高い設定が行える<sup>3)</sup>。

利根川、江戸川の高水敷は草丈の低い人工草地・グラウンドのほか、草丈の高いヨシ・オギ等の群落及びヤナギ等の樹木群落が分布する。本検討では、H18・H19年度の植生調査及びH20年度の樹木群調査結果より地被状況の平面分布を設定した。粗度係数と樹木群透過係数の値は、既往研究<sup>4),5)</sup>を参考に草本の種類や樹木群の繁茂形態に応じて初期値を仮設定した後、図-4の手順で精査し、既往研究<sup>4),5)</sup>における設定値の幅の中で観測縦断面水面形の時間変化を再現できる値を設定した。

H19.9洪水における観測結果を境界条件として与えた水面形の時間変化の同定結果（観測結果と解析結果の比較）を次に示す。

解析モデルによる算定結果は、流頭部周辺の縦断面水面形の時間変化(図-5)を精度よく捉えていることが示され、また流量ハイドログラフ(図-6)、洪水前後の河床変動(図-7)について、それらの特徴的な変化も表現しており、今回の検討に用いるモデルとして十分な妥当性を有していると判断することができた。

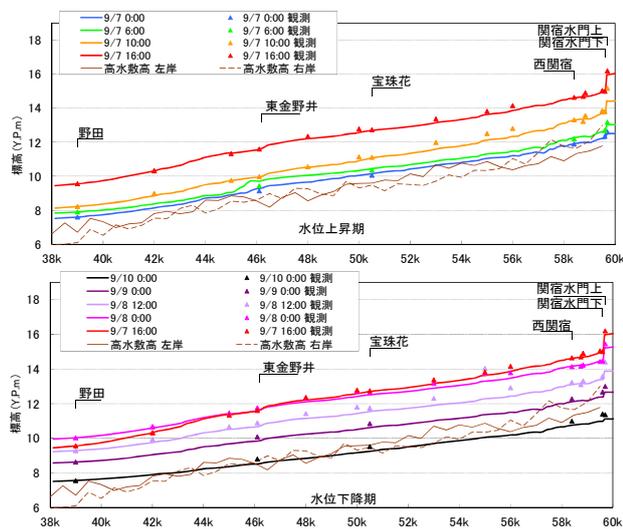


図-5 江戸川の縦断面水面形の時間変化 (H19.9洪水)

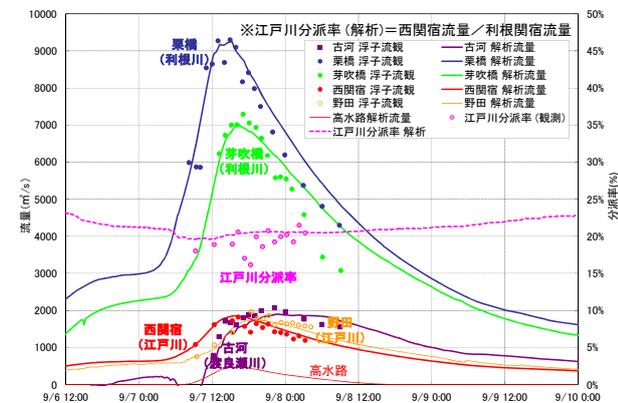


図-6 流量ハイドログラフ (H19.9洪水)

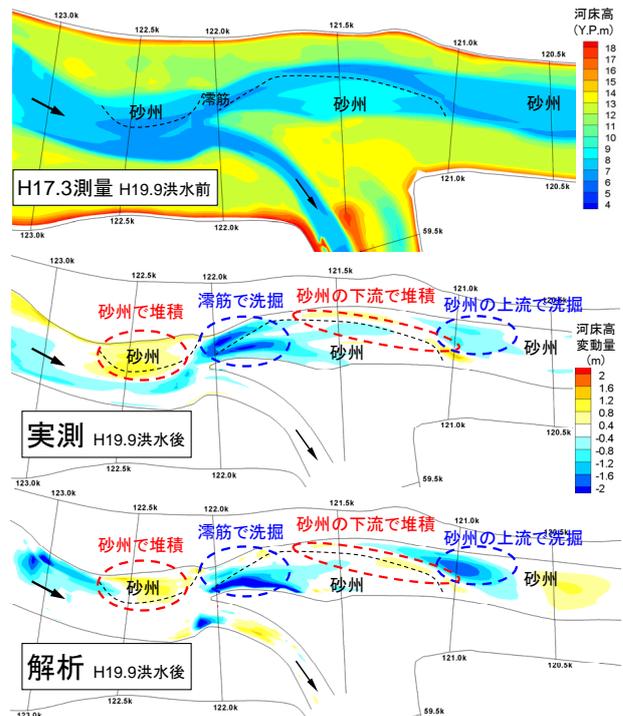


図-7 分派点付近のH19.9洪水前後の河床変動カウンター

### (3) 水理模型実験の概要と検証

模型実験では、分派周辺と関宿水閘門・中之島や高水路における局所的な流速・水位分布等といった水理現象の測定を行った。

過去3回の模型実験(異なる計画分派量)と同様、模型縮尺は1/60とした。また、水位や流況の情報をより精度良く得ることと、分派周辺の河床材料(0.3~0.5mm程度)を考慮して固定床模型とした。

河道条件は、前述の数値解析結果を基にし、さらに水位計により観測した最高水位を再現するように模型水路条件の設定を行った。



図-8 模型写真 (関宿水閘門周辺)

H19.9洪水の現地観測水位では分派点にあたる利根川121.5k地点と江戸川59.7k地点で約1mの差があるが、実験はその水位差も良好に再現している(図-9)。

また、H10, H11, H13年出水といった近年の主な出水の実績分派量とも良く合致しており、模型実験と数値解析の分派量も良く一致している(図-10)。この現況河道模型での利根川流量7,000~11,000m³/sの分派率は約21%となる(図-10)。水理模型も今回の検討に十分な再現性を有していると判断することができた。

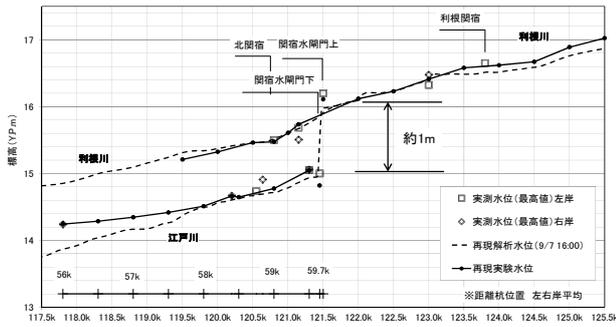


図-9 H19.9洪水の実験再現結果（観測水位・解析水位の比較）

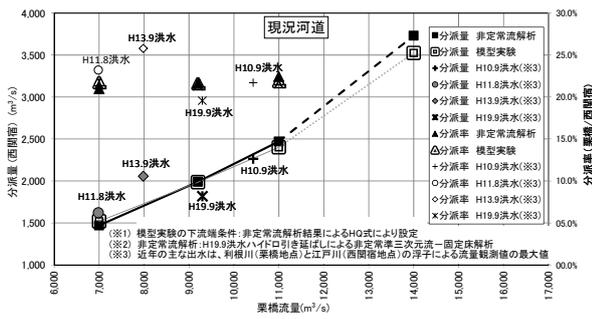


図-10 現況河道における江戸川分派量と分派率  
（数値解析、模型実験、流量観測結果）

#### 4. 江戸川流頭部改修案の検討

適用性が実証された数値解析と模型実験結果を用いて、目標分派が行えるように流頭部改修案の策定とその分派特性の把握を行った。

##### (1) 前提条件

過去の改修検討の経緯<sup>1),6)</sup>や現状の課題及び概略解析結果を踏まえ、詳細な改修案検討にあたって、下記の項目を前提条件とした。

##### a) 堤防法線形

流頭部の堤防背後には、右岸側には防災ステーションが、左岸側には公園などの整備が完了している。右岸側の堤防法線形状については、過去に模型実験で変更が検討されたが、変更しない案と比較して効果・差異が認められなかったことから、左右岸とも堤防法線形状の変更は行わない。

##### b) 低水路改修

平水分派率を維持するため流頭部周辺の低水路改修は行わない。

##### c) 関宿水閘門

概略解析結果より、今回の目標分派量では関宿水閘門改修有無によっては分派率に大差がないことを確認している。一方、関宿水閘門は江戸川の河床低下を防止する床止め機能を有していることから、安定した分派率を維持するためには、基礎部は存置する必要がある。ゲート

など上部工の撤去・改修は許容するが、基礎部の積極的な撤去は行わない。

##### (2) 流頭部改修案

整備目標とした分派率約36%（栗橋14,000m<sup>3</sup>/s時に、分派量5,000m<sup>3</sup>/s）は、数値解析および模型実験により下記の3つのメニューを実施することで達成されることが確認された（図-11）。

##### a) 高水路拡幅・切下げ

現在の高水路を上流の高水敷まで延伸するとともに、高水路全体を拡幅、切下げを行う。高水路は、利根川121.8kの現況高水敷高Y.P.+10.5mと江戸川59.0kの計画河床高Y.P.+7.023mを結ぶ縦断勾配(1/390)で設定する。

##### b) 中之島形状整正

平面的な流れの剥離を生じさせ高水路の主流幅を狭める要因となっている中之島の平面形を流線形に整正する。

##### c) 低水路拡幅

高水路と低水路の合流部下流（江戸川右岸58.0k付近）の流況を改善するため、低水路を左岸側に拡幅し、なめらかにすりつける。

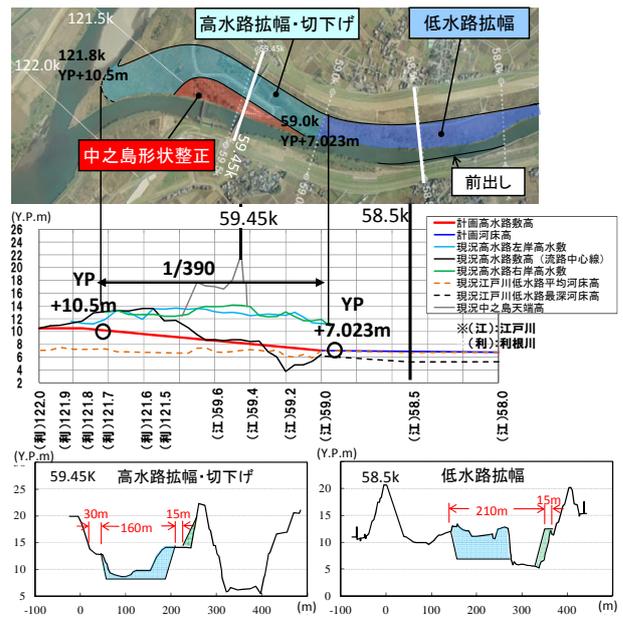


図-11 流頭部改修案

##### (3) 改修案検討ケース

段階整備を考慮して上記の改修案メニューの組合せにより分派量がどのように変化していくか検討した（表-1）。

表-1 流頭部改修案検討ケース

ケース 1	流頭部現況+利根川・江戸川の河道現況
ケース 2	流頭部現況+利根川・江戸川の当面目標河道 <sup>※1)</sup>
ケース 3	ケース 2 + 高水路整正（植生除去・樹木伐採等）
ケース 4	ケース 3 + 高水路拡幅・切下げ
ケース 5	ケース 4 + 中之島形状整正
ケース 6	ケース 5 + 低水路拡幅 ⇒ 流頭部改修案

※1) 河川整備計画上の河道掘削及び堤防・護岸整備（利根川・江戸川全川）を実施した河道

数値解析・模型実験は流頭部改修の進捗（ケース1→5）とともに江戸川分派量が増加し、ケース5～6では江戸川分派量が概ね当面の目標である5,000m<sup>3</sup>/sとなった（図-12）。特に高水路の整正・拡幅切下げによって分派率が引き上げられ、ケース6を流頭部改修案とする結論を得た。

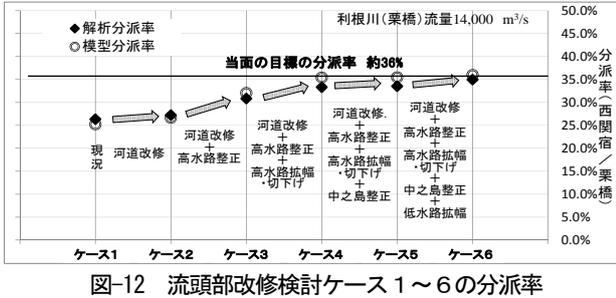


図-12 流頭部改修検討ケース1～6の分派率

### (5) 分派特性の把握

#### a) ピーク時における水位縦断形

数値解析，模型実験からはピーク流量時（栗橋14,000m<sup>3</sup>/s）の利根川と江戸川の水位差は，現況河道（ケース1）において約1.4mであるが，流頭部改修の進捗に伴って縮小し，流頭部改修後河道（ケース5，6）においては0.6m程度まで小さくなる。

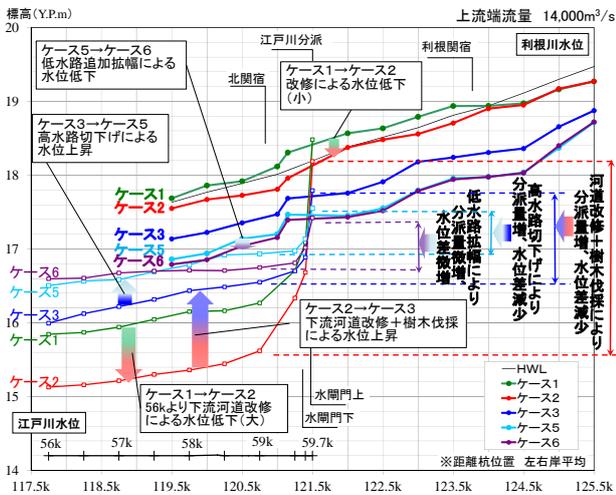


図-13 流頭部改修に伴う水位縦断形の変化（実験結果）

ただし，ケース2（流頭部現況，下流の河道掘削を先行した直後に相当）において，利根川と江戸川の水位差が一時的に約2.6mまで拡大する。この結果から，ケース2に相当する下流河道のみの先行段階にあたっては，流頭部に大きな水位差による流体力，流速が作用することが予想されるため，その実施にあたっては留意する必要がある（図-13）。水位については，数値解析と模型実験で同様の結果が得られている。大きい落差を持った流れが低水路から高水路へ主流を変えつつ解消され，なめらかな分派水面形が達成される。

#### b) 流頭部周辺の分派流況

ケース5の中之島の平面形状を「流線形」に整正することで，現形状で高水路右岸側に形成される剥離渦が範囲を縮小し分派流況が改善されることが確認された。関宿水門天端の越流は発生しないが，閘門天端の越流および中之島に乗り上げた水の関宿水門下流での低水路への落ち込み流が見られた。これは，関宿水門の構造安定上の今後の検討課題である。

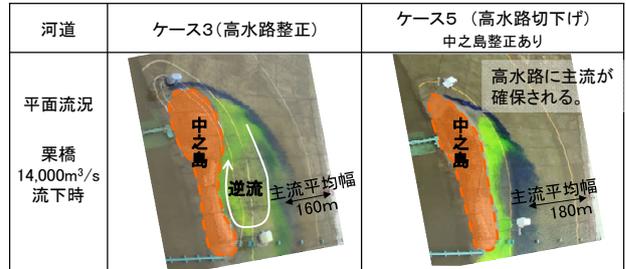


図-14 中之島周辺の流況（実験結果）

ケース6の高水路下流の江戸川低水路左岸を拡幅することで，拡幅低水路法線に沿って主流が明瞭になり江戸川58.0k～58.5k付近右岸の水衝が緩和することが確認された（図-15）。

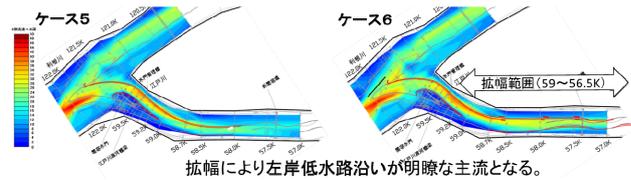


図-15 高水路下流の低水路拡幅による単位幅流量カウンターの変化（実験結果）

一方，主流となった高水路では左岸に寄った流れにより局所的に大きな流速が発生し，模型実験ではケース6において最大4.5m/sの流速が確認された（図-16）。高水路改修の構造設計時には留意が必要である。

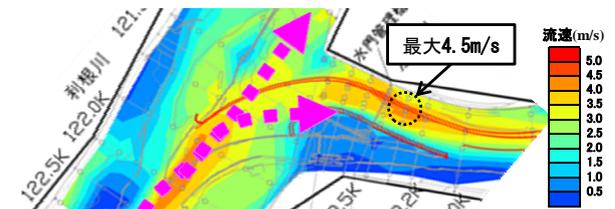


図-16 流速カウンター（6割水深）（実験結果）

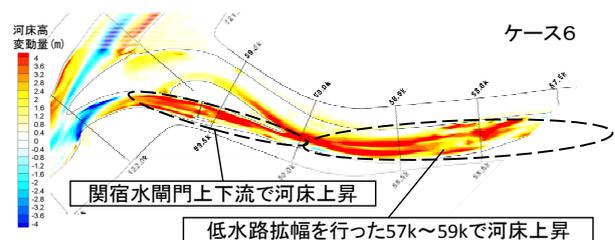


図-17 約10年間流況の河床変動量カウンター（解析結果）

但し、実績10年間の流況を用いた流頭部改修後の長期河床変化の数値解析結果では、関宿水閘門上下流および江戸川の低水路拡幅区間における土砂堆積(図-17)により、分派量が1%程度ではあるが減少する予測結果となった。改修後は、高水路の通水能力が増大し河床変動・河道水位の影響を受けやすくなることにも関係する。

### c) 流量規模による分派量変化

流頭部改修案(ケース6)を対象に、利根川に様々な流量を与えて分派特性について検討した。

数値解析と実験結果は良く対応しており、いずれの流量条件においても分派率が35%~36%となった。すなわち、洪水規模によらず安定した流況と分派率をもたらす適切な流頭部形状であることが確認された(図-18)。

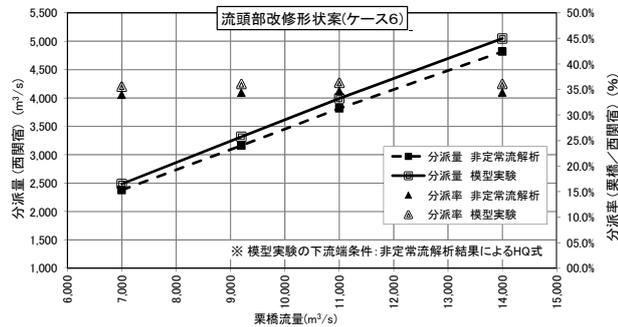


図-18 流頭部改修案における分派量の変化

## 5. 流頭部管理に関する検討

流頭部改修後、適正な分派量を維持していくため、河道管理においてどのような点に留意していく必要があるか検討した。具体的には、数値解析により改修後の各種河道変化を想定し、分派量に影響を与える各種要因の感度分析を行った(表-2)。

流頭部において分派量を支配する大きな要因は、高水路部分の流れやすさにあることがわかった。

表-2 分派量に影響する各要因の影響検討結果(解析結果)

分派量への影響要因	影響量を把握するための解析ケース(想定)	江戸川分派量(ケース6からの変化量)
基準ケース	流頭部改修形状案(ケース6)	4,817 m³/s
江戸川高水数粗度変化	低水路拡幅を行った後の低水河岸に、拡幅前程度の樹木群が再繁茂	4,770 m³/s (-47 m³/s)
利根川高水数粗度変化	高水数樹木繁茂の拡大	4,818 m³/s (+1 m³/s)
高水路上の粗度変化による通水能力変化	改修後の高水路上に、ヨシ(n=0.050)の一面繁茂 改修後の高水路上に、ヨシに加え、改修前(現状)と同じ範囲に同じ透過係数の樹木群繁茂	4,644 m³/s (-173 m³/s) 4,118 m³/s (-699 m³/s)
改修後の河床変動による分派量変化	洪水1波による河床変動解析後の河床形状で洪水分派解析を実施 10年間の洪水流況による河床変動解析後の河床形状で洪水分派解析を実施(図-17)	4,806 m³/s (-11 m³/s) 4,670 m³/s (-147 m³/s)

よって改修後は高水路の粗度管理を適切に実施していく必要がある。また、分派特性の変化による長期的な河床変動にも注意が必要となるため、モニタリングを適切に行っていく必要がある。

## 6. まとめ

最新の解析技術を用い、また模型実験による補完的検討から分派現象を再現した。目標とする江戸川への分派量を達成する流頭部の段階的な改修計画案を策定することができた。改修案は様々な流量規模にも安定した流況と分派率をもたらす。改修上の課題として、水位・流速の極端な変化を緩和する段階的な改修の必要性、高流速発生箇所等の対策の必要性、適正な分派を維持していくための管理上の留意点などを明らかにすることができた。

この検討で適用した数値解析法を用いた河道設計技術と、それを用いた検討の進め方は他河川にも応用できるものであり、本論文が河道設計指針として積極的に活用されることを願っている。

謝辞：本検討にあたって、群馬大学の清水義彦教授、国土技術政策総合研究所の藤田光一研究総務官、鳥居謙一河川研究部長、服部敦河川研究室長、土木研究所の坂野章総括主任研究員をはじめ多くの方々にご指導を賜りました。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 北村匡・松原愛樹：江戸川流頭部における計画分派の可能性について、土木学会年次学術講演会講演概要集、第62巻、pp.2-135, 2007.
- 2) 岡村誠司・岡部和憲・福岡捷二：洪水流の縦断面形変化と準三次元流解析法を用いた石狩川河口部の洪水中の河床変動解析、河川技術論文集、第16巻、pp.125-130, 2010.
- 3) 福岡捷二：河道設計の基本は何か—水面形時系列観測値と洪水流—土砂流を組み合わせた河道水理システムとその見える化、河川技術論文集、第17巻、pp.83-88, 2011.
- 4) 福岡捷二・渡邊明英・田端幸輔・風間聡・牛腸宏：利根川・江戸川分派点を含む区間における流量ハイドログラフと粗度係数・樹木透過係数の評価、水工学論文集、第50巻、pp.1165-1170, 2006.
- 5) 佐藤宏明・大沼史佳・福岡捷二：利根川・江戸川分派点を含む河道区間における非定常準二次元解析法の適用方法の研究、河川技術論文集、第15巻、pp.303-308, 2009.
- 6) 建設省関東地方建設局：利根川百年史、1987.