

## 河川砂防技術研究開発 【成果概要】

<b>①研究代表者</b>	<b>氏名</b> (ふりがな)	<b>所属</b>	<b>役職</b>	
	竹村吉晴 (たけむらよしはる)	中央大学研究開発機構	機構助教	
<b>②研究 テーマ</b>	名称	江の川三川合流部における洪水流・河床変動予測モデルと背水域を含む本・支川河道が洪水流の伝播・変形に与える効果の定量化に関する研究		
	政策 領域	[分野] 地域課題分野 (河川)	融合 技術	
		[公募課題]		
<b>③研究経費</b> (単位: 万円)	平成26年度	平成27年度	平成28年度	総 合 計
※端数切り捨て。	157	166	175	498
<b>④研究者氏名</b>	(研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。)			
氏 名	所属・役職 (※平成29年 3月31日現在)			
立山 政樹	中央大学研究開発機構 準研究員			
<b>⑤研究の目的・目標</b>	(申請書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。)			
<p>江の川三川合流部は、同規模の三川が複雑な河道線形で合流することから、洪水時の水位上昇特性や河床変動特性が複雑になる。他方で、合流部での水位上昇は背水影響区間の貯留量を増大させ、下流河道に対しては洪水到達の遅延や最大流量を低減させる効果を持つと考えられる。江の川では三川合流部から下流は川幅の狭い山間狭隘区間となるため、三川合流部の河道改修を考える際には、本・支川河道の背水影響区間における河道貯留機能を十分理解し、下流河道に配慮した適切な河道断面形や平面形の検討が重要となる。</p> <p>また、江の川三川合流部は河川利用が盛んであり、古くから鵜飼船や遊覧船の航路として利用されてきた。これまで、木工沈床の設置や定期的な浚渫により航路確保が図られてきたが、洪水時の流れや河床変動については十分考慮されていない。今後、高精度な洪水流・河床変動解析予測モデルから、適切な河床の維持管理方法について検討が求められる。</p> <p>本研究開発では、①江の川三川合流部における精度の高い洪水流と河床変動予測モデルの構築、②本・支川河道の背水影響区間における河道貯留効果の定量化手法の開発を行い、①、②の成果から③整備計画規模洪水流下時の三川合流部の流下能力と河道貯留効果の定量評価を目的とする。</p>				

## ⑥研究成果

(様式 E-10と同じ内容について、具体的にかつ明確に記入下さい。)

### 詳細な水位観測と河床調査に基づく三川合流部における洪水流・河床変動予測モデルの構築

江の川三川合流部では、平成25年9月洪水と平成26年8月洪水時に詳細な水位観測が行われている。観測体制は、**図-1**に示す通りである。また、古くから河床や水衝部対策が行われてきたことから、河床変動予測モデルの精度向上のためには、河床の詳細調査から水面下のブロックの存在などを調べ、予測モデルに考慮しなければならない。調査を効率的に行うため、まず、観測水面形の時間変化を境界条件として両洪水の再現計算を実施し、実測と大きく異なる河床変動が生じた場所では、RCボートや無人潜水艦による水中動画撮影などから河床高や河床状況の調査を適宜行い、調査結果を反映させることで、予測モデルの高精度化を行った。

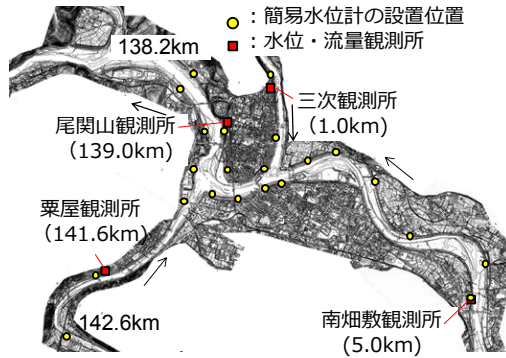


図-1 江の川三川合流部の水位観測地点



写真-1.1 江の川三川合流部の航空写真

#### (1) 対象区間・洪水の概要

対象区間は、**図-1**に示す江の川の142.6km地点から江の川の138.2km地点、馬洗川の南畑敷観測所(5.0km)から江の川合流点、西城川の三次観測所(1.0km)から馬洗川合流点までの区間である。**図-1**の●は、圧力式水位計の設置位置を示す。合流部付近では、200~400mの間隔で圧力式水位計が左右岸に設置されている。対象とした平成25年洪水は江の川流域、平成26年洪水は西城川流域での三日雨量が他の流域に比べて大きい洪水であった。

#### (2) 河床の詳細調査

平成26年度と平成27年度の冬季に、RCボートと無人潜水艦による河床の詳細調査を実施し、その結果、事前の解析で実測と大きく異なる河床変動を示した場所では、**図-2**、**図-3**に示すように、河床に岩が露出したり、テトラポットが存在したりすることで河床低下が抑制されていることが明らかになった。このような地点では、河床変動解析において初期の地盤高より河床が低下しないものとして扱った。また、この成果から、事前に観測水面形の時間変化を境界条件として、既往洪水の再現計算を実施することで、河床の詳細調査が必要な箇所を特定でき、効率的に予測モデルの構築が行える可能性が高いことが明らかになった。

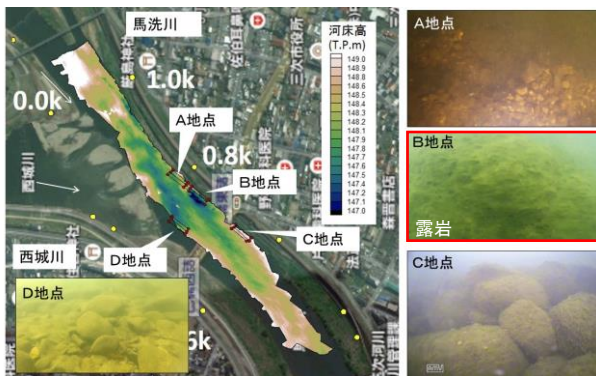


図-2 馬洗川における河床の詳細調査結果

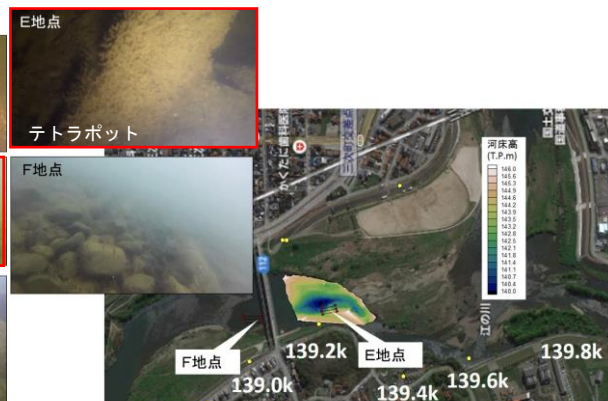


図-3 江の川における河床の詳細調査結果

⑥研究成果（つづき）

(3) 平成25年, 平成26年洪水の再現計算結果

はじめに, 平成25年9月洪水の観測水面形の時間変化を再現するように洪水流と河床変動解析を行い, 対象区間の粗度係数などを決定する. そして, 同様の条件で平成26年8月洪水の観測水面形がどの程度再現可能か検証した.

図-4(a),(b)の実線は, 江の川における平成25年洪水と平成26年洪水増水期の低水路平均の解析水面形の時間変化を示す. 図中の□のプロットは観測水位であり, +のプロットは水位計設置地点での解析水位である. 図-4(a),(b)に示す平成25年洪水と平成26年洪水では, 実線で示す水面形の時間変化の特性が大きく異なるが, 両洪水ともに+のプロットで示す解析水位は□のプロットで示す観測水位を良好に説明することができる. 成果レポートに示すように, 江の川の減水期, 馬洗川, 西城川における観測水面形及び観測流量ハイドログラフについても本予測モデルは高い精度で説明できた.

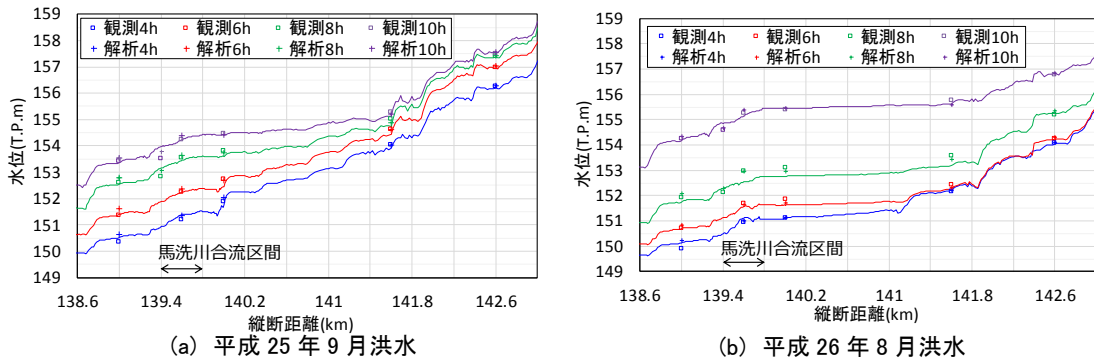


図-4 江の川における平成25年9月洪水, 平成26年8月洪水時の観測水面形と解析水面形の比較

図-5は, 西城川合流部付近での平成26年洪水前の実測の河床高コンターと平成26年洪水後の実測と解析の河床高コンターを示している. 図-5(a), (b)の比較から, 西城川の0.4km-0.2km区間の左岸洗堀部が下流に進行しており, 0.2kmから下流の木工沈床設置区間では土砂堆積が生じ, 堆積域が馬洗川まで進出しているのが確認できる. 図-5(c)の解析結果は, 上述した傾向を概ね説明できているが, 木工沈床設置区間での土砂堆積量は実測に比べて小さく, 堆積域も実測に比べて小さい結果となった.

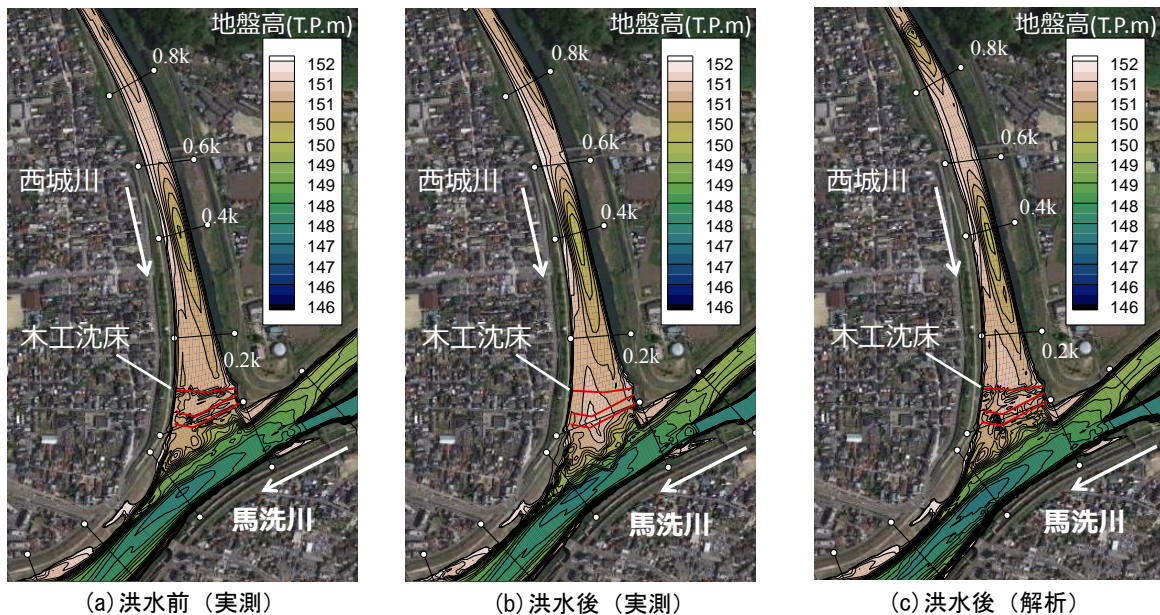


図-5 西城川合流部における平成26年8月洪水前後の実測と解析河床変動コンターの比較

## ⑥研究成果 (つづき)

### 本・支川河道の背水影響区間における河道貯留効果の定量化手法

河道は一時的に洪水流を貯留する機能を持つが、河道の貯留量をダムや遊水池の貯留量と直接比較することは難しい。これは、ダムや遊水池における貯留量の増分は流量ハイドログラフの変形量とみなせるのに対し、河道における貯留は、洪水到達時間の差と流量ハイドログラフの変形の2つの要因から生じるためである。このため、研究代表者らは、河道における貯留量のうち、流量ハイドログラフの変形に直接影響する分を新たに遊水量と定義し、遊水量の評価法を提案してきた。本研究開発では、遊水量を指標とした河川合流部の背水影響区における河道貯留効果の定量化手法について検討する。

#### (1) 河道貯留効果の定量化手法

非定常平面二次元流れの基礎式から洪水流量伝播の基礎式を誘導すると最終的に式(1)のようになる(詳細は成果レポートを参照されたい)。

$$\frac{DQ}{Dt} \left( = \frac{\partial Q}{\partial t} + U \frac{\partial Q}{\partial x} \right) = A \frac{\partial U}{\partial t} \quad (1)$$

ここに、 $Q$ :流量、 $A$ :流水断面積、 $U$ :断面平均流速である。断面内にある洪水流水塊は、平均的には断面平均流速で移動することから、式(1)の右辺は、流量の実質的な変化率を表す。例えば、断面平均流速 $U$ を Manning式で表現し、エネルギー勾配の代わりに河床勾配を用いれば *Kinematic wave*の基礎式、水面勾配を用いれば *Diffusion wave*の基礎式が導かれる。このため、式(1)は洪水流量の伝播と変形を記述する普遍的な方程式であると言える。

開水路非定常流れの連続式は、図-6に示すような微小距離 $dx$ 離れた二断面を考え、単位時間あたりに流入流出する流量の差が、二断面間で貯留される水の体積変化に等しいとして導かれる。しかしながら、図-6の $x+dx$ 断面の流量は $x$ 断面の流量と独立に決まるものではなく、それらの間には式(1)で示した力学関係が存在する。このことを考慮して連続式を再導出すれば、図-6に示すように、微小区間に単位時間あたり貯留される水の体積は、洪水到達時間の差と洪水流水塊の持つ流量の実質的な変化の2の要因から決まることが明らかになった。後者による増水期の貯留量と減水期の放出量は、流量ハイドログラフとの関係で示すと図-7の縦縞の部分に対応する。図-7の縦縞の部分は、増水期の貯留量と減水期の放出量のうち流量ハイドログラフの変形に起因することから、本研究開発ではこれらを遊水量と定義し、その評価式を式(2)、式(3)のように提案した。

$$\frac{\partial r_{sr}}{\partial t} = \delta_1 \min \left( \frac{\partial A}{\partial t}, -\frac{A}{U} \frac{\partial U}{\partial t} \right) \quad (2),$$

$$\delta_1 = \begin{cases} 1 & (\partial U / \partial t \leq 0) \\ 0 & (\partial U / \partial t > 0) \end{cases}$$

$$\frac{\partial r_{sd}}{\partial t} = -\delta_2 \frac{A}{U} \frac{\partial U}{\partial t} \quad (3)$$

$$\delta_2 = \begin{cases} 1 & (\partial U / \partial t \geq 0) \\ 0 & (\partial U / \partial t < 0) \end{cases}$$

ここに、 $r_{sr}$ : 増水期における単位距離あたりの遊水量、 $r_{sd}$ : 減水期に放出される単位距離あたりの遊水量、 $\delta_1, \delta_2$ : 応答関数である。

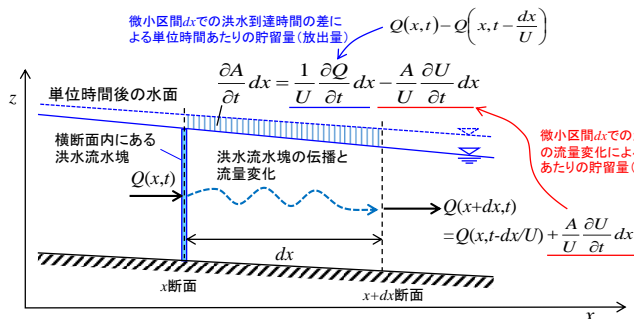


図-6 洪水流水塊の伝播と流量変化を考えた連続式概念図

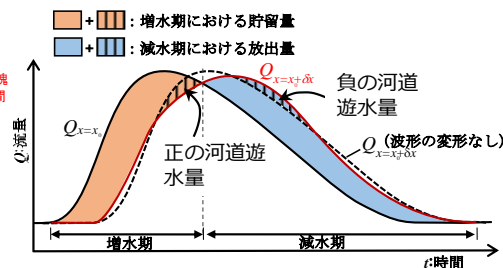


図-7 二断面間の流量ハイドログラフの模式図

## ⑥研究成果 (つづき)

### 整備計画規模洪水に対する三川合流部の流下能力と河道貯留効果の検討

本研究開発で構築した江の川三川合流部における高精度な洪水流・河床変動解析モデルを基に、複数の整備計画規模洪水を対象とした数値シミュレーションを実施する。数値シミュレーションの結果を本研究開発で構築した河道貯留効果の定量化手法を用いて分析することで、整備計画規模洪水流下時の江の川三川合流部の流下能力と河道貯留効果を定量的に評価する。

#### (1) 対象外力の設定

数値シミュレーションは、尾関山地点の流量が整備計画目標流量 $6800\text{m}^3/\text{s}$ 程度となる江の川と馬洗川、西城川の流量ハイドログラフを3パターン作成し行った。詳細は成果レポートを参照されたい。

#### (2) 整備計画規模洪水流下時の三川合流部の流下能力と河道貯留効果(RUN-58-2の検討例)

図-7は、RUN-58-2に対する、江の川の解析水面形の時間変化を示す。図-7に示すように、江の川では、馬洗川合流点で水位が上昇し、その影響を受ける背水影響区間で解析水位がH.W.L.を上回る結果となった。成果レポートに詳細を示すが、馬洗川、西城川においても合流点での水位上昇の影響を受ける区間では、解析水位がH.W.L.を上回ることが明らかとなった。

図-7では、解析水面形を描いた各時間の間に生じる遊水量を各断面で求め、これを水深換算し、対応する時間の解析水面形から差し引いた高さを点線で示している。例えば、図-7において、解析水面形は洪水開始から12時間～15時間の間に青の実線から緑の実線へと変化するが、この時、緑の実線と緑の点線の差分が遊水量による(すなわち流量ハイドログラフの変形に伴う)水面形の変化量を表す。図-7の実線と点線の差は、洪水開始から15時間までが最も大きくなる。背水影響区間の水面形も15時間までに大きく変化しており、それ以降、水面形はほぼ水平に変化している。このことから、背水影響区間における水面形の形成と流量ハイドログラフの変形は密接に関係することが分かる。

図-8は各河川の上流端で与えた流量ハイドログラフと尾関山観測所における解析流量ハイドログラフを各河川の背水影響区間の遊水率との関係で示したものである。黒の点線は、各河川の上流端で与えた流量ハイドログラフを単純に足し合わせたものであり、黒の実線と黒の点線の差は、各河川の背水影響区間における洪水到達時間の遅れと流量ハイドログラフの変形の両方の影響から生じたものである。背水影響区間での流量ハイドログラフの変形の影響は、各河川の遊水率の和を見ることで評価でき、最大で $85\text{m}^3/\text{s}$ となることが明らかになった。

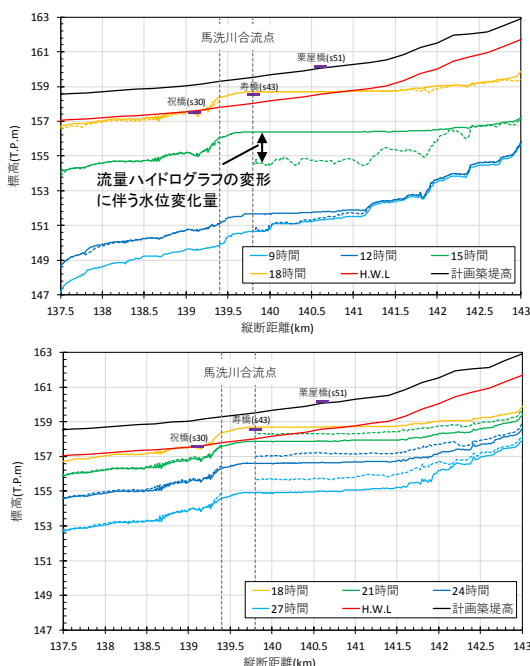


図-7 江の川の解析水面形の時系列と水面形の形成に対する遊水量の影響(RUN-58-2)

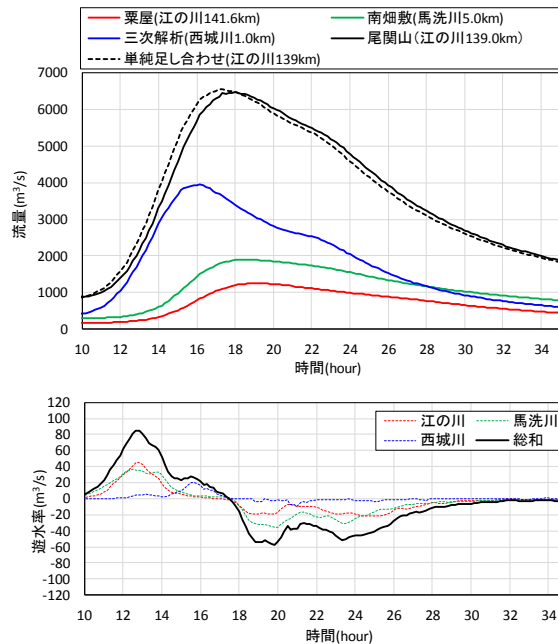


図-8 三川合流部における流量ハイドログラフの形成と背水影響区間における遊水量の関係(RUN-58-2)

### ⑦研究成果の発表状況

(本研究の成果について、予定しているものも積極的に記入して下さい。(以下記入例))

- 1) 竹村吉晴, 福岡捷二, 濱本賢太郎:江の川三川合流部における詳細な水位観測に基づく洪水流・河床変動予測モデルの検証と解析精度向上に向けて必要な局所的な河床状況調査, 河川技術論文集, 第22巻, pp.145-150, 2016.6.
- 2) 立山政樹, 内田龍彦, 福岡捷二:底面境界が大きな勾配を有する河口砂州周辺の三次元流れと河床変動の解析法, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.72, No.4, I\_835-I\_840, 2016.2.

### ⑧研究成果の社会への情報発信

(ウェブ、マスメディア、公開イベント等による研究成果の情報発信について記入下さい。ウェブについてはURL、新聞掲載は新聞名、掲載日等、公開イベントは実施日、テーマ、参加者数等を記入下さい。)

研究成果について研究室のHPにて公開している。  
<http://c-faculty.chuo-u.ac.jp/~sfuku/sfuku/report.php>

## ⑨表彰、受領歴

(単なる成果発表は⑦⑧に記載して下さい。大臣賞、学会等の技術開発賞、優秀賞等を記入下さい。)

特になし。

## ⑩研究の今後の課題・展望等

(研究目的の達成状況や得られた研究成果を踏まえ、研究の更なる発展や河川政策の質の向上への貢献等に向けた、研究の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。)

本研究開発では、詳細な水面形観測に加え、RCボートと無人潜水艦を活用し、空間的に密な河床高分布や河床の状態を調査することで、江の川三川合流部における高精度な洪水流・河床変動予測モデルの構築を目指した。

観測水面形の時間変化に基づき推定された粗度係数の値を用いることで、本・支川からの洪水流出パターンが大きく異なる2洪水の観測水面形、観測流量を精度良く再現可能なことを示した。推定された粗度係数は、概ね河床材料見合いの大きさであり、精度良く流れの抵抗を評価できていると考えられる。しかし、本研究開発で対象とした洪水は平均年最大流量程度であったため、より大きな洪水に対する予測精度は不明である。このため、継続して水位の詳細観測を行い、予測モデルの検証を行っていく必要がある。

江の川三川合流部は、鵜飼船の航路確保など、河床の維持管理が難しい区間である。河床変動解析では、浚渫工事前後の測量データ等から、西城川合流部のマウンド形状等を可能な限り正確に取り込むことで、過小評価であるものの西城川合流部の土砂堆積量、堆積範囲を再現できた。このことから、西城川での詳細な河床高分布について調査するとともに、本予測モデルを三川合流部の適切な河床の維持管理方法の検討に活用するために、予測モデルの高精度化とそのために必要な観測項目・調査方法について整理していくことが重要である。

## ⑪研究成果の河川砂防行政への反映

(本研究で得られた研究成果の実務への反映等、河川政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。)

近年では、様々な調査技術が発展し、詳細な河床高や河床状況について調査できるようになっている。しかし、河川の広い範囲で詳細調査を行うには、労力と費用がかかる。一方、解析技術も飛躍的に向上してきており、適切な解析法を用いて、観測水面形の時間変化を境界条件として計算を行えば、多くの河川では、洪水時の流れと河床変動を概ね説明できるようになってきている。

そのため、本研究開発で示したように、観測水面形の時間変化を境界条件として、実績洪水の流れと河床変動の再現計算を事前に実施することで、詳細調査を必要とする箇所を特定できる可能性が高く、効率的な調査計画の立案、予測モデルの高度化に貢献するものと思われる。

洪水外力の増大や洪水調節施設の新設が難しい中で、河道の持つ貯留機能を活用した川づくりは、今後重要度を増すと考えられる。本研究で新たに導入し、評価式を提案した”河道遊水量”を用いれば、これまで定量的に比較することが難しかった、河道貯留量とダムや遊水池の貯留量を等価に比較可能になると考えられる。これにより、河道貯留が顕著な河川合流部や狭窄部の洪水調節効果を定量化し、上下流のバランスを意識した適切な河道の断面形や平面形検討への応用が期待される。

1) 福岡捷二：実務面からみた洪水流・河床変動解析法の最前線と今後の調査研究の方向性，河川技術論文集，第20巻，pp.253-258，2014。