

2Way 河道の自律的な維持を可能にする 適切な流量配分比の推定手法の提案

A Study on Flow Distribution for Maintaining Two-way Channel

永多 朋紀¹・安田 浩保²・渡邊 康玄³

Tomonori NAGATA, Hiroyasu YASUDA, Yasuharu WATANABE

¹ 正会員 独立行政法人 寒地土木研究所 寒地河川チーム (〒 062-7602 札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目)

² 正会員 工博 新潟大学准教授 災害復興科学センター (〒 950-2181 新潟市西区五十嵐 2 の町 8050)

³ 正会員 工博 北見工業大学教授 社会環境工学科 (〒 090-8507 北見市公園町 165)

On the Shibetsu River, there has been a project to reconnect previous meandering channel remaining as oxbow lakes with the current river channel. In this project, the two-way channel method which allows straightened parts and previous meanders to co-exist was adopted for restoring the rich natural environment had been lost by straightening while maintaining the function to flow flood water safely. A variety of surveys on the test site profiles were conducted over seven years in the site. In this study, the consideration of the discharge ratio of a two-way channel was conducted with the focus on bed deformation of the channel. Also verification of measurement data via non-uniform flow calculations was conducted. The water levels of meandering and straight parts were calculated. The flow distribution ratio was found to be estimable from the difference in cross-sectional areas of flow at the diverging points.

Key Words : Two-way Channel, Flow Distribution ratio, Bed Deformation

1. はじめに

北海道の北東部に位置する標津川では、河川改修によって失われた豊かな自然環境を復元するため、直線化された現在の河道に河跡湖として残る旧蛇行河道を再び接続する試みが行われている。この試みでは、直線化河道と旧蛇行河道を共存させる『2Way 河道方式』をとることにより、洪水を安全に流下させる機能を残しつつ、直線化によって失われた過去の豊かな生物生息環境を復元できると期待されている。

2002 年の春、標津川上流において図-1 に示すような 2Way 河道が試験的に整備された。この 2Way 河道の蛇行区間と直線区間の分岐点下流には蛇行区間への導水を促す透過型の越流堰が設置されており、この越流堰の分流効果により、平水流量時には本川流量の大部分を蛇行区間へと分流できるとともに、洪水時には直線区間において安全に洪水流を流下させることが可能になると考えられている。

しかし、このような 2Way 河道ではその分岐・合流部における流況は非常に複雑なものとなるため、流況変化に伴う河道形状の変化もまた十分に予測し得ない。すでに既往の研究²⁾によって指摘されているように、長期に亘ってこのような河道を自律的に維持させていく

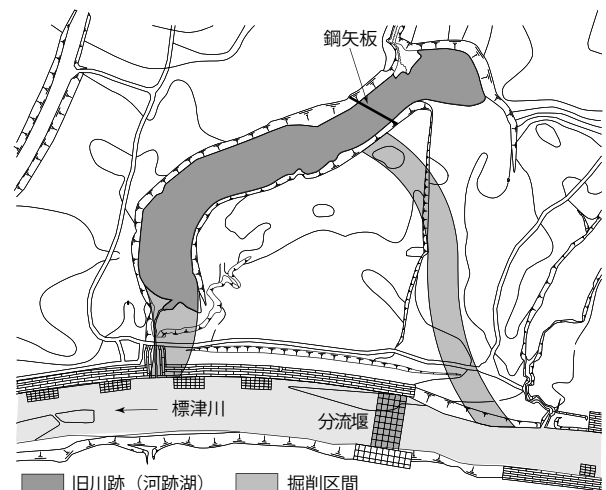


図-1 蛇行復元に利用された河跡湖と開削区間

ためには、これら複雑に変化する流況と河道形状との応答関係を解明し、それを元にした河道設計手法の開発が不可欠となるが、これを実現するための知見は未だ十分とは言えない。

図-1 に示す蛇行復元試験地の河道状況は、通水開始以降、河岸浸食や砂州の形成に伴う蛇行の発達や土砂

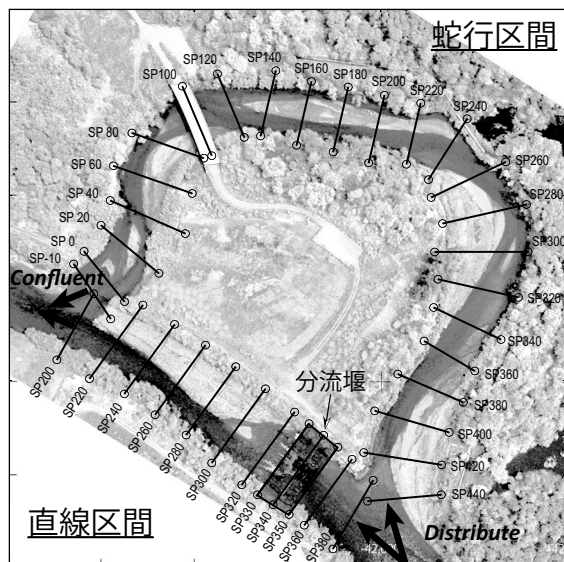


図-2 蛇行復元試験地の平面形状

の堆積・浸食などを繰り返すことで、大規模な変化を遂げてはいるものの、2Way 河道としての機能は現在も失われることなく維持されている。しかし、蛇行河道へ適切な流量が分配されない状態が長期に亘って続くような場合、掃流力が低下する分流点付近では土砂堆積が進行し、やがて河道が埋没してしまう可能性があることも示唆されている。2Way 河道の自律的な維持を考える上で、このように蛇行河道が埋没の可能性を秘めていることは非常に重大な問題である。

本研究では、当試験地において計測されてきた河道および分流堰の形状と流量の変遷を時系列で対比し、非定常に変化する流量と人為的に改変された分流堰の形状が、蛇行区間へ分配される流量や河道形状そのものに対してどのような影響を及ぼしていたかを調べた。また、蛇行・直線両河道を一体的に取り扱った1次元不等流計算により、特定時期における河道及び堰形状がもたらす流量分配比率を求め、それを実測値と比較検証することで、蛇行区間に埋没傾向をもたらした要因を明らかにする。

2. 河道形状および流量分配比の変遷

(1) 試験地と測量データの概要

当試験地は北海道北東部に位置する標津川の河口から8.5km上流にあり、2002年の春から現在に至るまで7年以上という長期に亘る定期的な測量調査が行われてきている。その主な測量項目である河道横断形状と水位は、図-2に示すように、蛇行区間はSP-10～SP440までの延長450m、直線区間はSP200～SP380までの延長180mについて、それぞれ10～20m間隔で計測されている。以降、蛇行区間および直線区間とはこの区間を指すこととする。

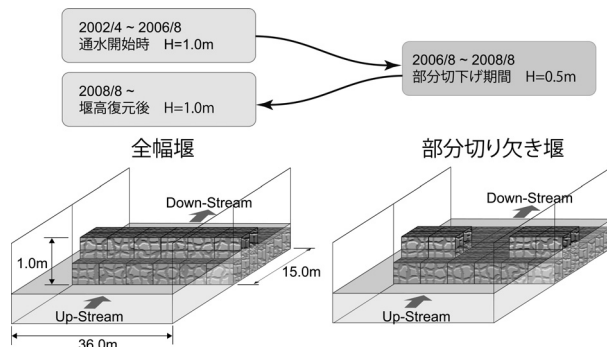


図-3 分流堰の人為的な形状操作

(2) 分流堰の形状変化

蛇行区間へ流量を配分する分流堰は図-2に示すように直線区間の分岐点下流SP330～SP350に設置されている。この分流堰は、2002年3月に当試験地が2Way河道として通水された後、2006年8月までの約4年間は図-3左に示すような高さ1mの全幅堰となっていた。しかしその後2008年8月までの2年間は、蛇行区間の流速緩和などを目的として図-3右に示すように、その一部が人為的に50cm切下げられた状態が続くこととなる。このような操作が堰に加えられたことで、蛇行区間では土砂堆積が急激に進行し、埋没の可能性が危惧されたことから、2008年8月に再び元の全幅堰の形状へと復元され現在に至る。

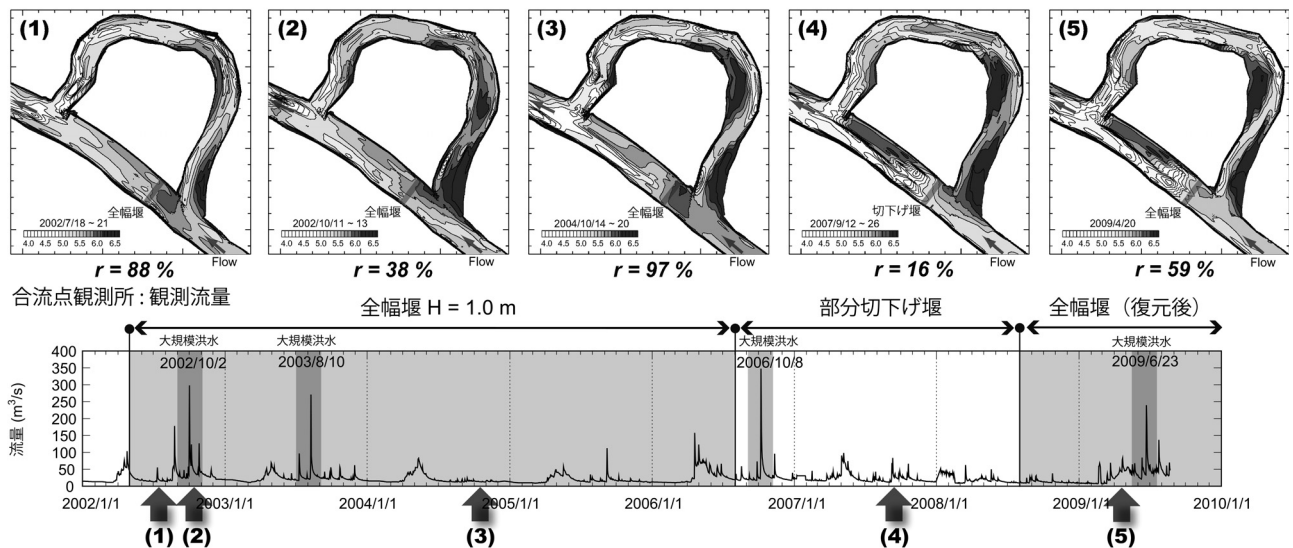
(3) 洪水履歴と河道変遷

当試験地で確認された大きな流況の変化は、主に大規模洪水と分流堰の形状変化に起因したものが考えられ、この2つの外的インパクトを受けて、その後河道形状は大きく変化していったものと推察される。次に、このようなインパクトと河道形状との応答関係を時系列で対比し、その関係性について考察を行った。

図-4中段に示すグラフは、当試験地の下流3kmに位置する流量観測所において計測された流量変化を表し、過去に大規模な洪水を4度受けていたことがわかる。また、この図の背景色の違いは分流堰の形状の違いを表し、それぞれ、高さ1mの全幅堰の時期と、堰の一部が部分的に切下げられていた時期を示している。

図-4上段に示す河床高平面図は、同図中段の流量変化図に示す各時期に計測されたものである。さらに、同図下段に示す3つのグラフは、上から、蛇行区間に分配された流量の本川流量に対する割合と、蛇行区間の平均河床高の縦断平均値および平均河床勾配の変化を示す。この3つのグラフに示す点は、主に平水流量時(10～30m³/s)において計測された測量データを元に1次元的な解析によって求められた値であり、横断方向の変化は平均化されることとなるが、これらの点を結ぶ直線はそれぞれの変量の時間的な遷移過程を端的に

河床高平面図



蛇行区間：河道変遷

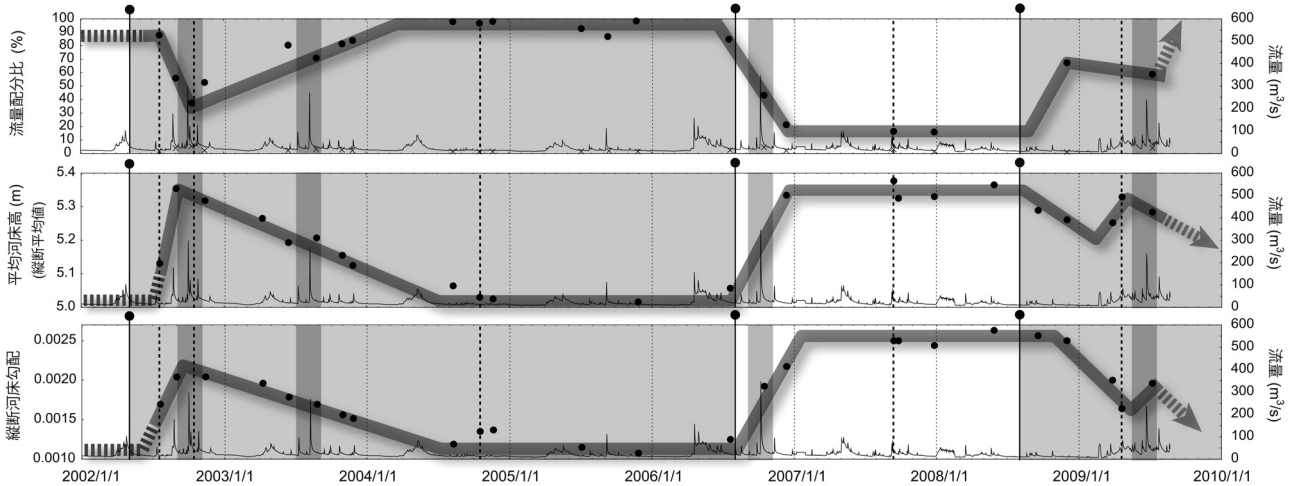


図-4 河床高平面図（上段），洪水履歴（中段），蛇行区間の流量配分比および河道状況（下段）の時系列変遷

表現しているといえる。これらの図から、大規模洪水に代表される流量変化と分流堰の形状の違いが、蛇行区間の流量配分比および河道形状に与えた影響は以下に示すようなものであったと推測された。

a) 大規模な洪水（ $250\text{m}^3/\text{s}$ 程度以上）を受けると、堰の形状に関わらず蛇行区間において大幅な土砂堆積が生じ、河床高は流入口から下流へ向かって逓減する形で大きく上昇する。さらに、これに起因して流量配分比は大きく低下する。

b) 堰の形状が全幅堰（ $H=1\text{m}$ ）である場合、平水流量が1年以上継続することで、蛇行区間に堆積した土砂は徐々に下流へと輸送され、やがて大規模洪水前の流量配分比および河道状況にまで回復する。

c) 一方、堰の高さが部分的に切下げられた状態では、同じく大規模洪水後に堆積した土砂は、平水流量が1年以上継続した場合でも下流へ輸送されることはなく、河床高は高いまま維持され流量配分比も回復しない。

(4) 考察

これらのことから、もし2006年10月の大規模洪水以降、堰の形状が全幅堰に復元されない状態のまま再度大規模な洪水を受けていた場合、蛇行区間は完全に埋没していた可能性があったと推測される。また、図-4下段の3つのグラフの変遷を対比した時、流量配分比と蛇行区間の河道形状は非常に良い逆相関の関係にあり、これは、蛇行区間の河道形状はその分配流量によって決定されることを示唆している。さらに、堰高の違いによって、大規模洪水後の蛇行区間の河道変遷にも大きな違いが生じていたことは、堰高もしくは堰高を起因として形成された分岐部の河道形状が流量配分比に対して大きな影響を及ぼしていたことを意味する。

以上のことから、分流堰の高さが適正であれば、平水流量時に蛇行区間に分配される流量が十分に確保されるため、大規模な洪水を受けて一時的な埋没傾向がもたらされたとしても徐々にその状態は改善されていくと考えられる。つまり、このような2Way河道を埋

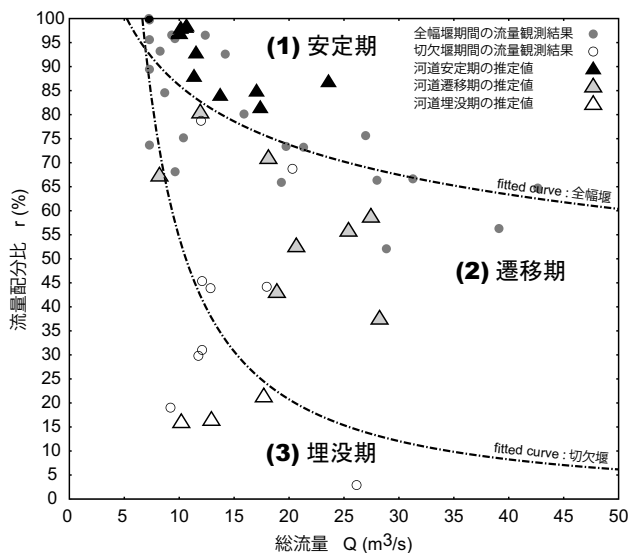


図-5 総流量と蛇行区間への流量配分比率との関係

没の危険から回避させ、且つ自律的に維持させるためには、平水流量時における適切な流量配分比率とそれをもたらす適切な堰高を知る必要があるといえる。

3. 適切な分流堰の高さと流量配分比

(1) 流量配分比の遷移過程

図-5 は、過去7年間の標津川本川を流れる流量と流量配分比との関係を示す。ここでいう流量配分比とは本川流量のうち蛇行区間へ分配される割合のことを指し、以降もこれに従う。図中の丸点で示すのは、当試験地において実際に計測された流量観測結果をもとに算出した流量配分比で、黒塗りの丸が全幅堰の期間を、白抜きの丸が切下堰の期間を示している。図中の曲線はこれらの点を堰形状ごとに指数近似したもので、この丸点や近似線の配置から、流量配分比が現れる領域は分流堰の形状によって明確に異なることがわかる。

また、図中三角点で示すのは、実測水位をもとに不等流計算を用いて蛇行区間・直線区間の流量を推定し算出した流量配分比で、色の違いはそれぞれ、(1) 黒色塗りと (2) 灰色塗りが全幅堰の期間を、(3) 白抜きが切下堰の期間をそれぞれ示す。ここで、(1) と (2) の期間の違いは、全幅堰の期間のうち (1) が比較的河道が安定していた時期を抽出したもので、(2) は大規模な洪水を受けた後や堰高の変更が行われた後など、河道形状が大きく変化していた期間を示す。この図において、過去7年間の試験地における流量配分比の変遷は次のような過程を辿ったものと推察される。

a) 通水開始直後の大規模洪水を受け、蛇行区間が埋没傾向を高めると流量配分比は (1) の領域から (2) の領域へと遷移する。

b) その後、平水流量規模の通水が1年以上続くことで蛇行区間に堆積した土砂は徐々に排出され、(2) の領

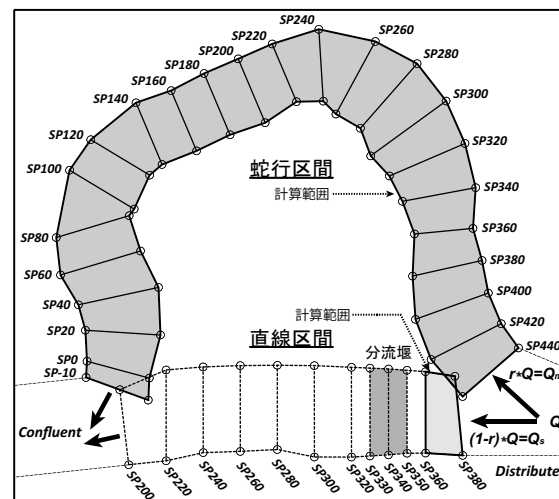


図-6 蛇行区間および直線区間の計算範囲

域から (1) の領域へと遷移する。

c) 2006年8月に堰高が切下げられ、さらにその直後に大規模な洪水を受けたことで再び蛇行区間は埋没傾向となり、領域 (3) に遷移する。

d) その後、平水流量規模の通水が1年以上続いたにもかかわらず蛇行区間に堆積した土砂は排出されることがなく、領域 (3) のまま遷移しない。

e) 2008年8月に堰高がもとの形状に復元され、蛇行区間に堆積した土砂が徐々に排出されることで再び流量配分比は回復し、領域 (2) へと遷移した。

以上より、当試験地における河道の状態を図-5を用いて次の3つに分類した。

領域 (1) : 河道安定期

領域 (2) : 河道遷移期

領域 (3) : 河道埋没期

もし河道の形状が変わらないと仮定したとき、流量配分比は本川流量の増加に伴って逡減していく1本の曲線となって表現されることが知られており¹⁾、これは当試験地においても同様であると考えられる。以上の考察から2Way河道の自律的維持を分流堰の視点から考えたとき、この流量配分比曲線が図-5に示す(3)の領域とならないような形状および高さで設置されている必要があると推察される。

(2) 流量配分比の推定

堰高および河道形状の違いによって、平水流量規模における流量配分比曲線がどのような領域に現れるかが推定できれば、前節の考察から、その河道形状が安定状態にあるのか、遷移過程にあるのか、または埋没傾向にあるのかをある程度推定することができる。

以下本節では、ある特定時期の河道および堰形状をもとに、図-6に示す蛇行・直線両区間について1次元不等流計算を行い、平水流量規模における流量配分比

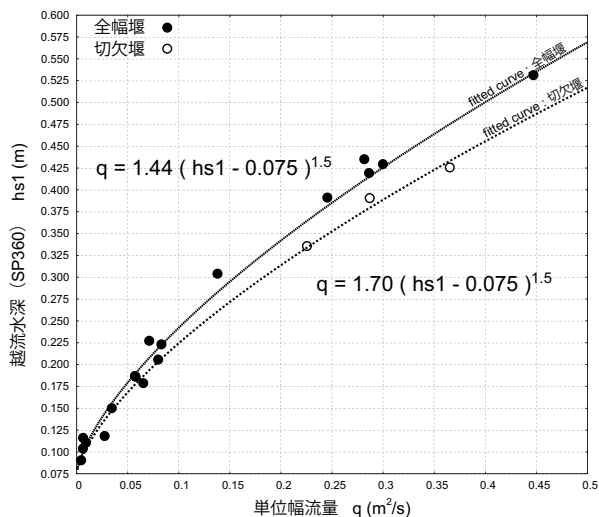


図-7 堰上流 (SP360) の単位幅流量と越流水深の関係

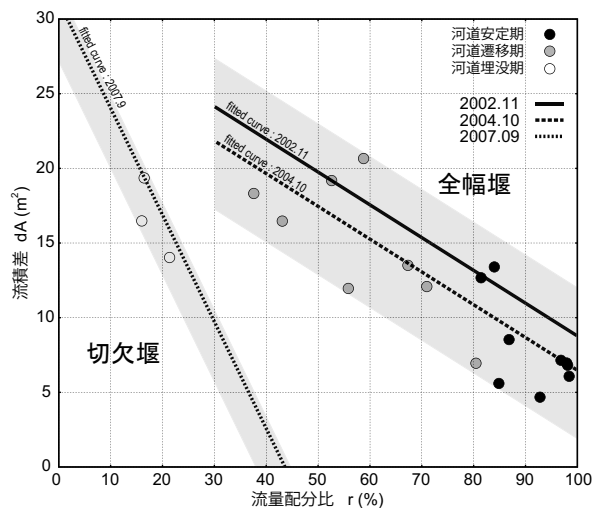


図-9 分岐点の整合条件 (流量配分比と流積差の関係)

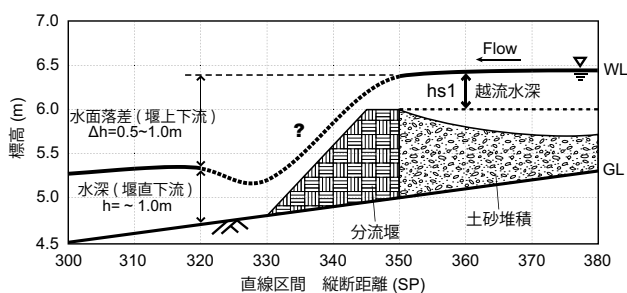


図-8 分流堰上下流区間の縦断イメージ

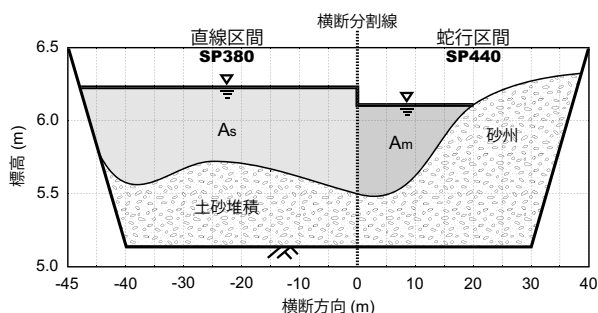


図-10 分岐点の横断イメージ

曲線を求める。なお、計算の全体の流れについて述べる前に、計算条件として与える直線区間の境界条件と、両区間の計算結果の整合性を判定する際に用いる分岐点の条件についてまず述べる。

a) 堰上下流での水面形の不連続性

当試験地に設置されている分流堰は、玉石を網状の袋材に詰め込んだものを積み上げることで形作られている。そのため一般的に用いられるコンクリートブロックを使用した越流堰とは異なり、流水に対する透過性や河床変動に対する屈撓性を持ち、河川環境との親和性が高いとされる。しかし、このような特性は、時間経過とともにその形状変化を許容することとなるため、堰表面を流れる流水の挙動は非常に複雑なものとなる。また図-8に示すように、平水流量時における堰上下流の水面落差は、観測時期によっても異なるが、概ね1.0m未満の水深に対して0.5~1.0m程度にもなることがわかっている。このように、流量10~30m³/sの平水流量時において堰上下流では不連続な水面形となるが、少なくとも堰上流は常流で流れ、堰を流下する際は完全越流しているものと推定することは可能である。以上の理由から直線区間の計算範囲を堰直上流のSP360から分岐点のSP380までとし、全幅堰と切下堰のそれぞれの期間における堰直上流の越流水深を図-7のように求め、これを直線区間の下流端の境界条件とする。

b) 分岐点の整合条件

分岐点となる蛇行・直線両区間の上流端では図-10に示すように、ほぼ全ての期間において直線区間の水位の方が高く、過去7年間の観測値の平均では8cm程度の差があった。またそれとは逆に、平均河床高は蛇行区間の方が高くなる傾向があり、特に大規模洪水後や堰高が切下げられた期間はその傾向が顕著にみられた。この2つの特徴は各々の時期において蛇行・直線両区間に配分される流量と深く関わりがあると推察される。図-9は、実測水位をもとにした両区間の上流端における流下断面積(蛇行区間:Am, 直線区間:As)の差($dA = Am - As$)とその時の流量配分比との関係を示す。ここで図中の配色は図-5と同様とする。この図から、両区間の上流端における流積差(dA)と流量配分比(r)の間にはある程度の相関関係が認められ、それは堰形状によって明確に異なることがわかった。

以上の結果をもとに、3.(1)で分類した3つの河道状況を代表する時期として、図-4に示した(2)・(3)・(4)を選び、図-9の当該時期の点を通る直線を推定し、この直線を各時期における分岐点の整合条件とする。

c) 計算手法と結果

計算は図-6に示す範囲について以下の手順で行う。まず、本川流量(Q)を与え流量配分比(r)に任意の値を仮定し、得られた蛇行区間流量(Qm)と直線区間流量

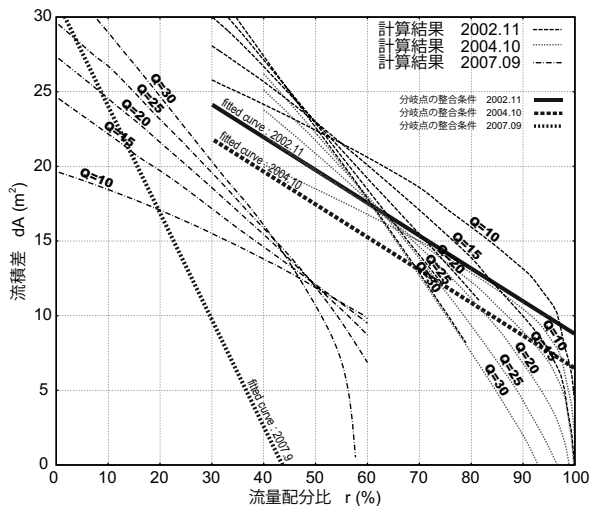


図-11 分岐点の整合条件 (流量配分比と流積差の関係)

(Q_s) を上流端の境界条件とする。下流端の境界条件は、蛇行区間については当試験地の 3km 下流に位置する水位流量観測所から合流点までの区間について不等流計算を行い算出した H - Q 式を用いる。直線区間については図-7 に示す関係式を用いることとする。この条件のもと、蛇行・直線両区間についてそれぞれ不等流計算を行い上流端における各区間の流積差 (dA) を求める。

上記過程を、流量配分比 $0 \sim 100\%$ の範囲について 0.1% 間隔で変化させ、網羅的に繰り返す。さらにこれを平水流量規模に相当する $10 \sim 30\text{m}^3/\text{s}$ の範囲について $5\text{m}^3/\text{s}$ 間隔で計算し、得られた結果を図-9 に重ねたものが図-11 に示す曲線群となる。この図から、河道および分流堰の形状の違いがこれらの曲線群が現れる位置の違いとなって表現されることがわかる。これらの曲線群と前節で示した分岐点の整合条件を表す直線との交点が、各時期・流量における流量配分比を示す。

d) 結論

以上より得られた流量配分比を図-5 に重ねたものが図-12 である。この図から、計算によって得られた流量配分比はそれぞれ安定期・遷移期・埋没期を示す領域に属することがわかった。

また、これとは別に、堰高復元前後の蛇行区間を対象とした1次元河床変動計算の結果²⁾からは、流量 $10\text{m}^3/\text{s}$ では河床高の低下が良好に再現され、 $3\text{m}^3/\text{s}$ では土砂の輸送がほとんどみられなかったことが過去の研究からわかっている。図中の点線は、それぞれ流量 $3\text{m}^3/\text{s}$ ・ $10\text{m}^3/\text{s}$ を示す曲線であるが、河道安定期の2004年10月と河道遷移期の2002年11月は、常に $10\text{m}^3/\text{s}$ 以上の流量が蛇行区間へ分配されるのに対して、河道埋没期の2007年9月は、常に $3\text{m}^3/\text{s}$ 以下の流量しか分配されない状態にあったことがわかる。

これら分配流量と土砂輸送の関係から導かれる結論は、試験地の蛇行区間において実際に観測されている

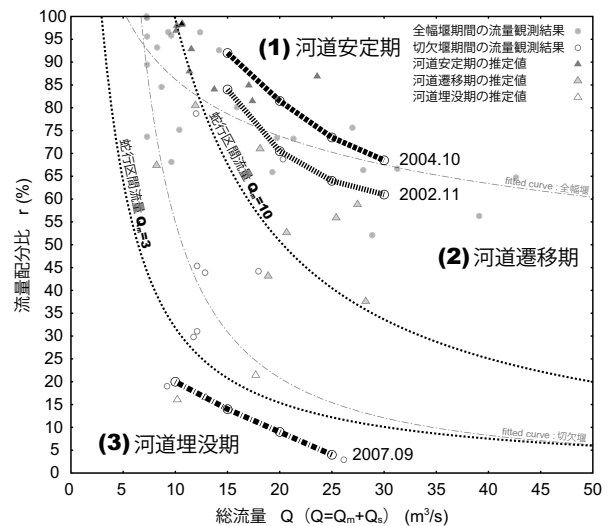


図-12 本川流量と蛇行区間への流量配分比率の関係

河道変遷履歴とも良く符合しており、当手法によって得られた流量配分比曲線の妥当性を示している。また、堰高 1m の全幅堰であれば、大規模洪水による土砂堆積を受けた直後であっても流量配分比曲線は河道遷移領域内に十分収まっていることから、この堰形状は河道の自律的維持の観点からも適切であるといえる。

4. おわりに

本研究では、実測データをもとにした分岐点における流積差と流量配分比の相関関係と、流量配分比を網羅的に変化させて得られた計算結果との整合点を求めることで、平水流量時における流量配分比をある程度推定することが可能であることを示した。また、得られた流量配分比曲線をもとに、このような2Way河道が大規模洪水を受けた後、堰高に応じた自らの復元力で堆積した土砂を排出し、長期的にも自律維持され得る状態であるかどうかをある程度判定することが可能であることがわかった。

ただし、流量配分比曲線の導出に用いた図-7、図-9 に示す2つの条件は、時間的な河床変動量を内含しており、当試験地特有の関係性を示してはいるが2Way河道一般への適用性は低いと考えられる。このため、2Way河道の自律的な維持を成す上で、設置される分流堰はどのような高さおよび形状までが許容されるかは、堰高と分岐点の河床変動との関係性を明らかにする必要がある、これは今後の課題である。

参考文献

- 1) 長谷川和義, 藤田将輝, 渡邊康玄, 桑村貴志: 標津川旧蛇行通水時の堰をともなう分岐流量配分比に関する研究, 水工学論文集 第47巻, pp.529-534, 2003.
- 2) 永多朋紀, 安田浩保, 渡邊康玄, 長谷川和義: 標津川の蛇行試験区間の河道変遷とその維持機構の物理的な解釈, 河川技術論文集 第15巻, pp.255-260, 2009.

(2010. 4. 8 受付)