

分岐合流水路における砂州の河床形状に与える影響

INFLUENCE OF BARS IN RIVER CHANNELS WITH DIVISION AND MERGENCE

北海道開発土木研究所

北海道開発土木研究所

北海道大学大学院工学研究科

北海道大学大学院工学研究科

○正会員

正会員

正会員

正会員

佐藤 耕治(Koji Sato)

渡邊 康玄(Yasuharu Watanabe)

長谷川和義(Kazuyoshi Hasegawa)

森 明巨(Akio Mori)

1. はじめに

北海道における河川改修の歴史は、石狩川をはじめとして、明治維新後の開拓期から本格的に始まり、戦前、戦後の高度経済成長を経て、現在までに至っている。開拓初期の北海道は、至る所に湿地が広がり、定住するためには、まず土地の開拓を行う必要があった。このため、道内各地で蛇行河川のショートカットや洪水時の氾濫を防ぐための堤防の築造など、数多くの河川改修が行われてきた。しかし、近年の河川を取り巻く状況は大きく変化している。河川は、洪水時に流水を安全に流すだけの場ではなく、人や自然にやさしい環境を創出する場としての重要な役割を担っていることが指摘されている。このため、かつてショートカットした蛇行河川を改修以前の蛇行河川に復元しようという試みが行われようとしている。

蛇行河川を復元する場合の最重要課題としては、従前通りの治水安全度を確保することが可能かどうかということが挙げられる。通常、ショートカットを施工する場合、下流から順次施工していき、下流域の治水安全度を高めながら上流に向かって施工する。しかし、蛇行を復元する場合は必ずしも上流から施工されるわけではなく、社会的要因などから、一部のみを施工する場合はほとんどであると考えられる。だが、単純に河道の一部分だけを旧河道に切り替えただけでは流下疎通能力に限界が生じる怖れがある。また、これにともなって直線河道を残しつつ、蛇行水路を復元した場合においても、縦断勾配が蛇行水路区間で急激に緩くなるために掃流力の低下を招き、蛇行水路区間で土砂堆積が発生して水路が維持できなくなるなどの怖れも懸念される。

このようなことから、本研究では蛇行復元時における流下疎通能力を確保しなければならないことを想定して、旧河道を復元する際に、現河道であるショートカットされた直線河道も流下断面に含めた分岐合流水路で洪水を流下させる場合について実験を行った。

2. 蛇行実験

(1)実験水路の概要

写真-1に本研究で使用した分岐合流を含む蛇行水路を示す。平面形状は、現河道を想定した直線水路と、旧河道を想定した蛇行水路の分岐合流水路で構成されている。また、移動床の実験であるため、分岐合流水路区間の前後には助走区間を設けている。実験水路は、分岐合流水路が縦断的に5波長連なった構造である。

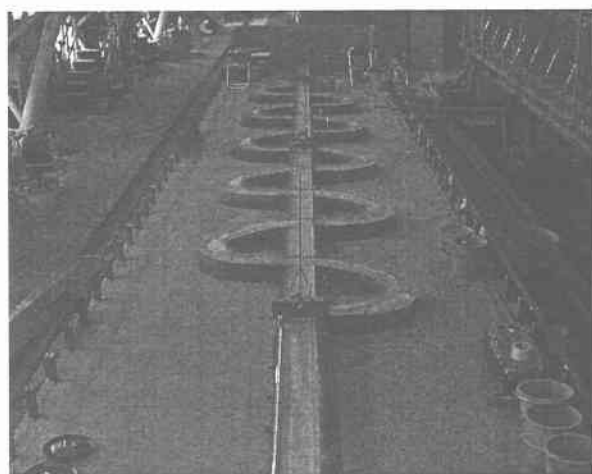


写真-1 実験水路全景（下流方向を望む）

蛇行水路の蛇行法線形は、石狩川の蛇行形状を基にした(1)式で表される渡邊¹⁾の Sine-generated curve を使用した。分岐合流水路部の直線水路は、蛇行水路の蛇行変曲点を連結させた水路形状である。

$$\theta = 1.466 \cos \frac{2\pi}{L} (S - 1.39) + 0.2 \sin 3 \cdot \frac{2\pi}{L} (S - 1.39) \quad (1)$$

ここで、 θ : 蛇行水路偏角、 L : 蛇行水路波長(=4.322m)、 S : 蛇行水路の変曲点を原点とした蛇行水路法線の長さである。(1)式は、右辺第1項が Sine-generated curve であり、右辺第2項にはその3倍の波が加えられている。一般に、この形状は水路1波長に砂州が2対以上形成される迂曲形状となっており、十分発達した蛇行河川に見られる形状である。

実験水路の諸元は表-1に示すとおりである。なお、実験水路の壁面材料はアクリルであり、河床材料には4号珪砂($d_m=0.76\text{mm}$)を使用している。

表-1 実験水路諸元

水路幅	22cm
水路総延長	29.3m
実験区間延長	11.4m
助走区間延長	12.0m (上流側)
	5.9m (下流側)

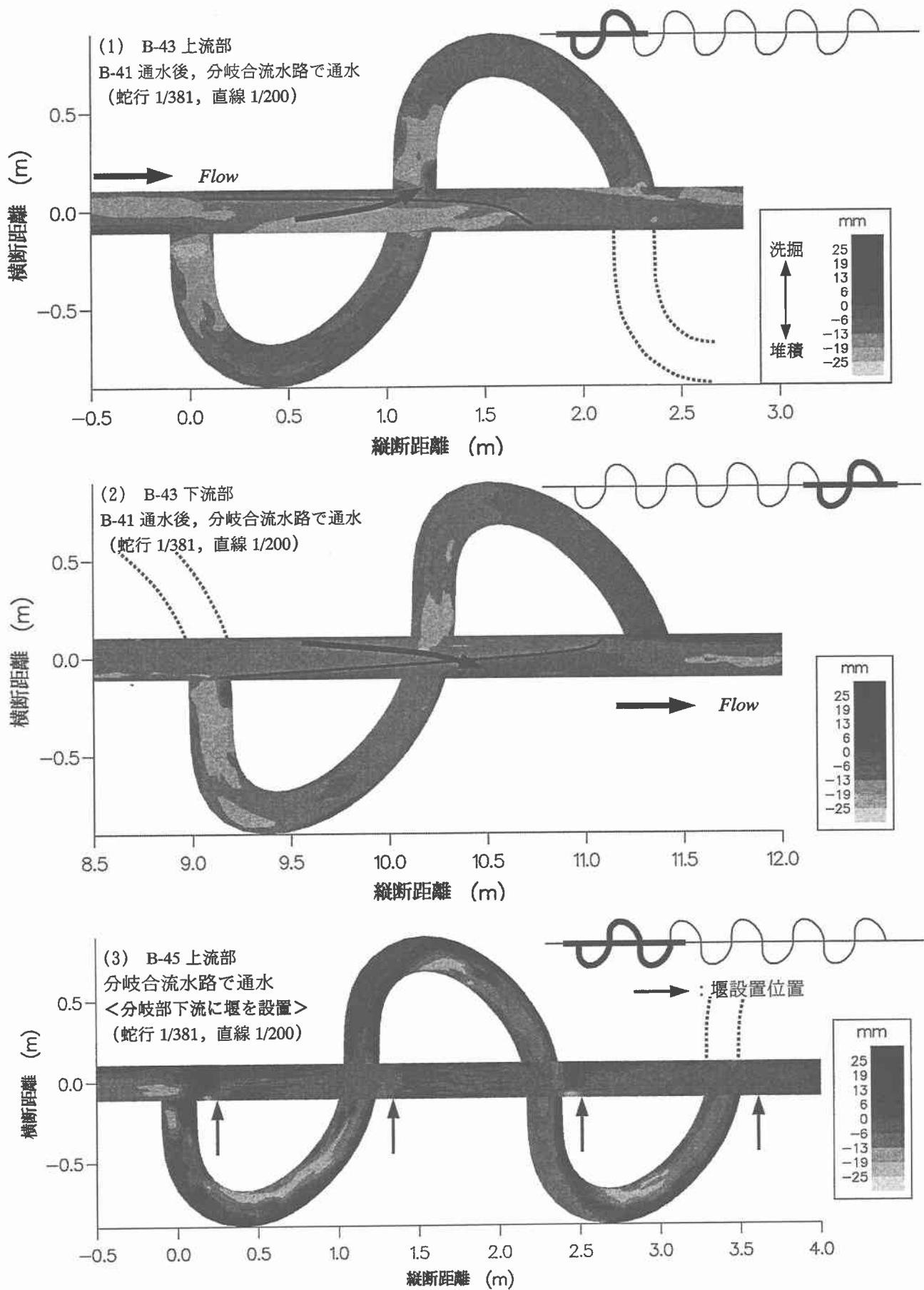


図 - 1 通水終了時における河床コンター図

(2)実験条件

実験条件は平面形状、流量、砂州形状、勾配など様々なケースが想定されるとともに、目的とする現象によって相似則も変化する。ここでは、砂州による影響を考えていることから、砂州の形成パラメータ²⁾である $BI^{0.2}/h$ と無次元掃流力を相似の対象とすることとした。ここで、 B ：川幅、 I ：河床勾配、 h ：水深である。蛇行復元は大河川より、中小河川において行われることから、ここでは対象として、川幅 20～30m、平均年最大流量が 20～30m³/sec 程度の河川を想定することとした。以上のことを踏まえ、表-2 に示す条件で実験を行った。流量は 847cm³/sec、スケールは 1/100 程度である。

表 - 2 実験条件

B-41	蛇行部のみの通水 (蛇行 1/200)
B-42	蛇行のみで通水後、分岐合流水路で通水 (蛇行 1/200, 直線 1/105)
B-43	蛇行のみで通水後、分岐合流水路で通水 (蛇行 1/381, 直線 1/200)
B-44	分岐合流水路で通水 (蛇行 1/381, 直線 1/200)
B-45	分岐合流水路で通水 <分岐部下流に堰を設置> (蛇行 1/381, 直線 1/200)

() 内は勾配を示す

(3)実験結果

それぞれの実験条件における全ての河床コンター図は紙面の都合上載せられないが、図-1 に代表的な事例について示す。図-1 における河床の高低差は初期標高に対して、白色部分は河床が上昇していることを表し、逆に黒色部分は河床が低下していることを表している。砂州が河床形状に与える影響のうち、特に顕著であった現象について考察する。

a) 分岐合流部における砂州の影響

実験水路において、分岐合流水路上流の助走区間における砂州は、実験開始後まもなく発生していることが確認できた。分岐合流水路部においても、通過する砂州の位相が時々刻々と変化している様子が確認できた。

図-1(1)において、直線水路部の砂州前縁先端部を示す曲線や分岐部のコンターが黒色であることから、分岐部が大きく洗掘されていることがわかる。一方、図-1(2)では、直線水路部の砂州前縁先端部を示す曲線が上流部と半波長ずれて、分岐部のコンターが白色となっており、分岐部が上流側程、洗掘されていないことがわかる。

この現象を上下流分岐合流部それぞれの上縁下縁に図-2 のような記号を付し、河道形状によると思われる河床形状の特徴を述べる。図-2 において、A 及び B 地点は上流端で、分岐の影響がないため、上流からの直線水路に沿った流れが支配的となっている。B 地点は水制の先端部と同様の流況となり、洗掘が大きくなっている。対岸の A 地点は、B 地点とは逆に堆積傾向を示している。一方、下流端の合流部である G 及び H 地点においては、分岐合流水路区間末端であるために流れが集中し、H 地点において河床が著しく低下している様子が確認された。

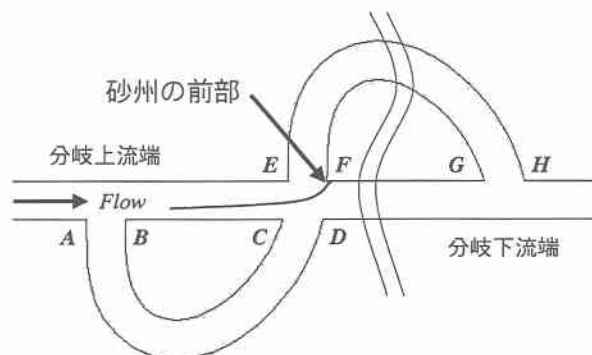


図 - 2 上下流分岐合流部模式図

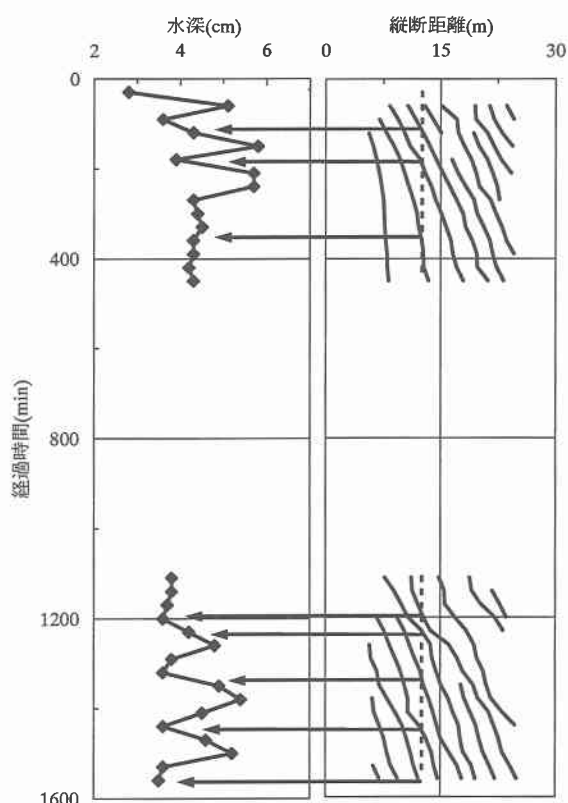


図 - 3 分岐部 F の水深と砂州前縁先端部時間変化

それ以外の中間部に位置する C～F 地点においては、上縁側(C, E)は直線水路の川幅から分岐合流部に差しかかるために掃流力が低下し、堆積の傾向が見られる。一方、下縁側(D, F)においては、分岐部 F では直線水路の流れが分派するために B 地点と同様の水衝部となって洗掘する。合流部 D では、下流側の川幅が直線水路の川幅に狭まるために掃流力が増加し、河床低下を引き起こす。

上記の現象は砂州が通過する度に若干変化する。砂州の前縁先端部が到達した様子を示す顕著な例として、図-2 の分岐部 F における洗掘と砂州前縁先端部の時間変化の関係を図-3 に示す。図-3 の右図において、点線は F 地点の縦断位置を表し、実線は砂州前縁先端部が縦断方向に移動している様子をダイアグラムで表している。左図は同時刻における分岐部 F の水深の変化を表している。図-3 から、砂州前縁先端部が分岐部 F に近づくに連れて水深が大きくなり、分岐部 F に砂州前縁先端部が到達すると水深が小さくなって、河床が大きく上昇していることがわかる。

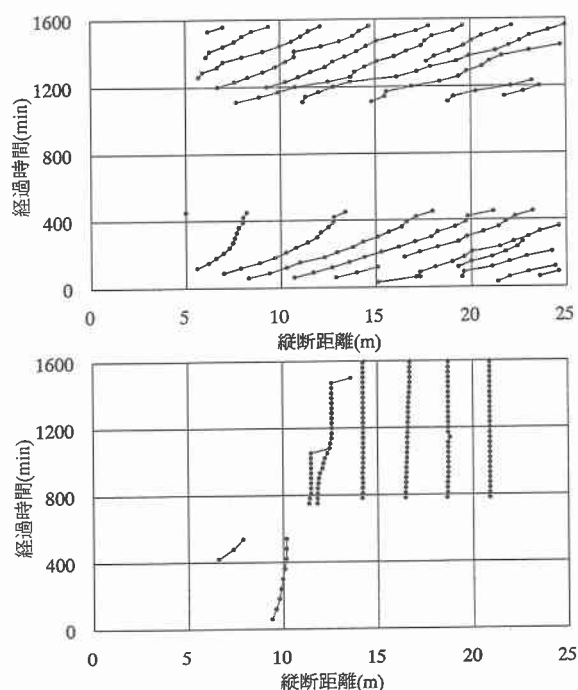


図 - 4 砂州前縁先端部移動の時間変化
(上図)B-43 堰なし, (下図)B-45 堰あり

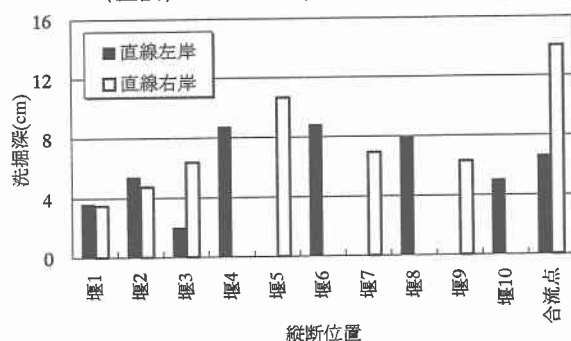


図 - 5 堰附近における洗掘深

このように、直線水路を前進する砂州が、分岐合流部以降の河床形状に大きな影響を与えることがわかった。

b) 分岐部下流に堰を設置した場合の砂州の影響

すべての実験を通して特徴的に現れたことは、通水時間が長くなるに連れ、直線水路部の流れが卓越し、分岐部において自然堤防のような砂州が発達したことである。これにともない、次第に蛇行水路への流入量が減少していく現象が見られた。このような現象は、蛇行水路部の延長が直線水路部の延長より長く、河床勾配が緩やかなことから生じる河床材料に対する掃流力の低下と、そもそも蛇行水路が直線部の流れの向きに対して垂直に接合されていることにも起因している。

このことから、実際に蛇行復元を試みる場合を想定して、蛇行水路部の維持のための安定した河床形状が得られるような流れを創出する実験を行った。

各分岐合流部の直下流の直線水路部に、流れに対して堰を垂直に設置することにより、蛇行水路への流れの誘導を行う。ただし、堰の設置に関しては洪水時の流下疎通能力に支障を来さない程度の堰高となるよう配慮した。

堰を設置した場合と設置しなかった場合の直線水路部における砂州前縁先端部の移動の様子を図 - 4 に示す。

図 - 4 上図から、堰を設置しなかった場合については直線水路部の流れが卓越しているため、砂州の発達する条件²⁾が整い、砂州前縁先端部が時間の経過とともに移動している様子がわかる。一方、図 - 4 下図については直線水路部に堰を設置したために堰上げが生じ、流れが蛇行水路に誘導された。この影響で、直線水路部における砂州の形成パラメータ²⁾が、砂州発生領域から砂州非発生領域との遷移領域に移行した。このため、砂州の発生に時間を要し、また発生してもほとんど移動しない状況が確認できた。また、図 - 1(3)において、蛇行水路部のコンター図に水脈筋が出来ていることからわかるように、堰を設置することで蛇行水路部に流れを誘導することができた。

しかし一方で、図 - 1(3)からもわかるように直線水路部に堰を設置したこと起因する洗掘が堰の上下流で発生した。各堰附近の左右岸における洗掘深を図 - 5 に示す。なお、堰に付した数字は上流側から何番目の堰であるかを示しており、堰 4 から堰 10 までは分岐部下流側のみ計測している。また、最下流の合流点については左岸側が水裏、右岸側が水衝部に相当する。図 - 5 において、直線水路部に設置した各堰附近の左右岸は、前述した D、F の直下流側に相当するため、堰上流側では流れが分岐・合流する影響で、堰下流側では堰が存在することの影響から、それぞれ河床が著しく洗掘されている状況が発生した。特に最下流の合流点の水衝部において、最も激しく洗掘されていることがわかる。全ての堰の平均洗掘深は 7cm 程度であり、砂州による洗掘よりも大きな洗掘となった。これらの現象から、堰の設置に関して十分な検討を行う必要がある。

3. おわりに

実験結果から、分岐合流水路施工においては直線水路の砂州の位相によって、蛇行水路内の流れに大きな影響を及ぼすことが示唆された。また、堰の設置について、長時間通水した場合に蛇行水路への流入量が減少し、蛇行水路が維持できなくなる状況が発生した。対策として、分岐部下流の直線水路に堰を設置することで、蛇行水路へ流れを誘導することが出来た。しかし、堰附近や最下流の合流点では、局所的に大きく洗掘することも示され、堰の形状に関する検討が急務であることがわかった。

今後は、分岐合流部の平面形状や直線水路に設置する堰の諸課題についてさらに検討する必要がある。

謝辞：本研究を行うに当たり、北海道開発局標津川技術検討委員会における資料を活用した。また、本研究は国土交通省北海道開発局の受託業務による補助を受けて行ったものである。併せて記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 渡邊康玄：蛇行流路における流れ・底面形状および横断面内 2 次流に関する研究、北海道大学修士論文、1983。
- 2) 岸力、黒木幹男：中規模河床形態の領域区分に関する理論的研究、土木学会論文報告集、第 342 号、土木学会 pp.87～96、1984。