

# 河川基金助成事業

## 「軟岩河川における固定砂州の発達に着目した 浸食進行プロセスの解明」

助成番号：2023 - 5211 - 021

北海道大学大学院農学研究院  
教授 笠井美青

2023年度

## 1. はじめに

我が国の多くの河川は温暖湿潤気候帯に位置し、急峻で脆弱な地質を持つ山地を源流としている。これらの河川では、源流域からの土砂流出が著しく、その堆積による河床上昇が氾濫原での洪水を引き起こしてきた。この課題に対処するため、上流域では治山堰堤や床固工、砂防堰堤などの建設が進められ、土砂流出の制御が図られてきた。これらの対策は確かに氾濫原での洪水頻度を低減させたが、新たな課題も生じている。例えば流下土砂量の減少に伴って軟弱な岩盤が露出した河川（以下、軟岩河川）では、急激な河床低下による橋脚周辺や護岸の洗堀など、河川構造物への被害が顕在化している。そのような被害を効果的に抑制するためには、まず岩盤河川の侵食プロセスに対する理解が不可欠である。

これまで岩盤河川の侵食プロセスに関しては、流水がもつエネルギーに着目し、流域面積と水面勾配の積（ストリームパワー）を指標とした数値モデルによる検討がなされてきた<sup>1)</sup>。しかし、これらのモデルでは流砂の影響を考慮しない限り、河川の進化を適切に再現できないことも明らかになっている。流砂の影響を取り入れたモデルでは、流砂の衝突による岩盤の摩耗や、衝突に起因して岩盤がブロック状に剥離するブラッキングにより、岩盤の侵食が促進されることが理論的か

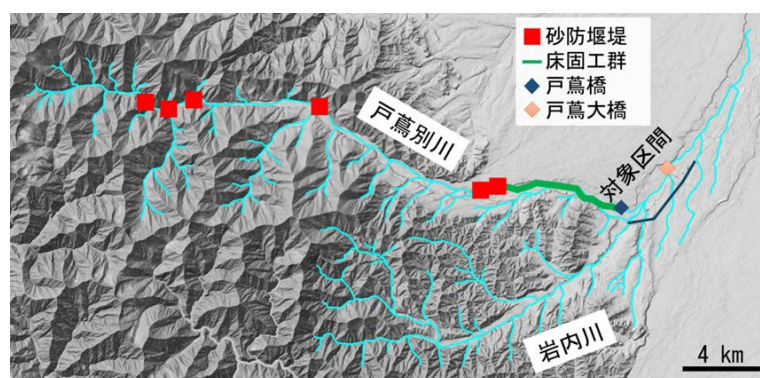


図 2.1 戸蔭別川流域と対象区間（紺線）

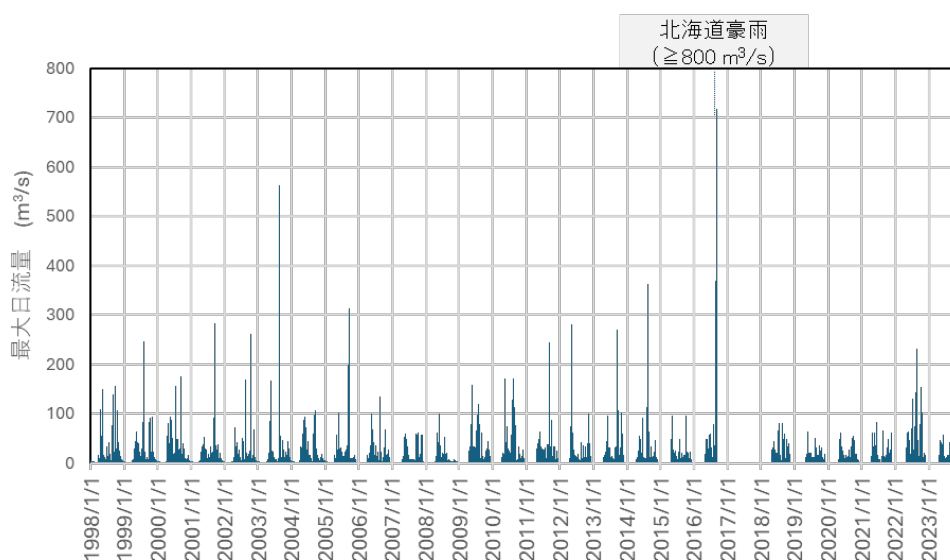


図 2.2 戸蔭橋における最大日流量（参考：国土交通省水文水質データベース）

\* 2024 年度は推定値

つ実験的に示されている<sup>2)3)4)</sup>。岩盤河川における流砂量は、少なければ岩盤への衝突回数が減少し、多ければ砂礫が岩盤を被覆することにより侵食速度を抑制することが明らかにされている<sup>3)</sup>。また、砂粒の堆積による地形変化も侵食形態や速度に影響を与える。固定砂州の形成と発達には流水の偏流を促し、攻撃斜面

際の露岩箇所での下刻と側刻を促進する<sup>5)6)</sup>。さらに、岩盤上に形成された遷急点は、直下流を下刻しながら上流方向に移動して河床低下を進行させ<sup>7)8)</sup>、このプロセスでは流砂量が多いほど遷急線の移動速度が大きくなる<sup>9)</sup>。これらの知見は理論的モデルや水路実験から得られているが、実際の侵食プロセスの事例は少なく、特に水面下での進行状況が不明である。

以上を踏まえ、本報告では以下について示す。まず流砂量が岩盤河川の重要な因子であることに基づき、堰堤などの人工構造物の建設により流下土砂量が制限されている軟岩河川において、過去資料をまとめ、建設に伴う河川形態の変化を調べる。次に、人工構造物の建設後に進んだ砂礫堆の発達と移動に伴う河床低下進行の実態を、航空レーザー測深（ALB）データから明らかにする。実際の侵食プロセスも踏まえることで、より実態に即した知見が得られ、効果的な侵食抑制対策の立案が可能になると考える。

キーワード：軟岩河川、ALB計測、人工構造物、侵食、河川形態

## 2. 研究対象地

戸蔭別川は、日高山脈を源流に東に流下し、札内川に合流する（図 2.1）。流域面積は 306 km<sup>2</sup> で、流域内の最高地点の標高は 1959 m である。山地部の地質は、斑れい岩や花崗岩から構成される。氾濫原は標高 300 m の拓成橋より始まり、札内川との合流点での標高は 120 m である。図 2.2 に、観測が始まった 1998 年以降の戸蔭橋（図 2.1）における最大日流量を示す（国土交通省水文水質データベース）。2024 年以降のデータは水位のみ公開されていることから、2023 年の水位と流量の関係を用いて推定した。積雪と低温の為、冬季に観測はされていない。年間を通じては、春先の融雪時と夏から秋にかけての豪雨時に流量が増加する。観測史上最大規模の出水イベントであった 2016 年 8 月末の北海道豪雨では、出水中に観測機器が故障したものの、周辺での観測結果から、実際の流量は 1000 m<sup>3</sup>/s を超えていたと推定される。

1896 年に大日本帝国陸地測量部から発行された地形図からは、戸蔭別川の周辺には開拓はまだ始まっておらず、流路は蛇行や分流していたことが分かる。戸蔭別川氾濫原への入植が盛んになったのは明治時代後期であり、その当時から現在に至るまで、氾濫原はほぼ農地として利用されてい

表 2.1 戸蔭川流域内の砂防堰堤（出典：北海道開発局帯広開発建設部ホームページ）

| 砂防堰堤 | 工期（年）     | タイプ             |
|------|-----------|-----------------|
| 6号   | 1976-1979 | 不透過（2012年より透過型） |
| 7号   | 1980-1983 | 不透過（2013年より透過型） |
| 1号   | 1987-1990 | 不透過（2023年より透過型） |
| 8号   | 1987-1991 | 不透過型            |
| 5号   | 1992-1996 | 透過型             |
| 2号   | 2014-2017 | 透過型             |

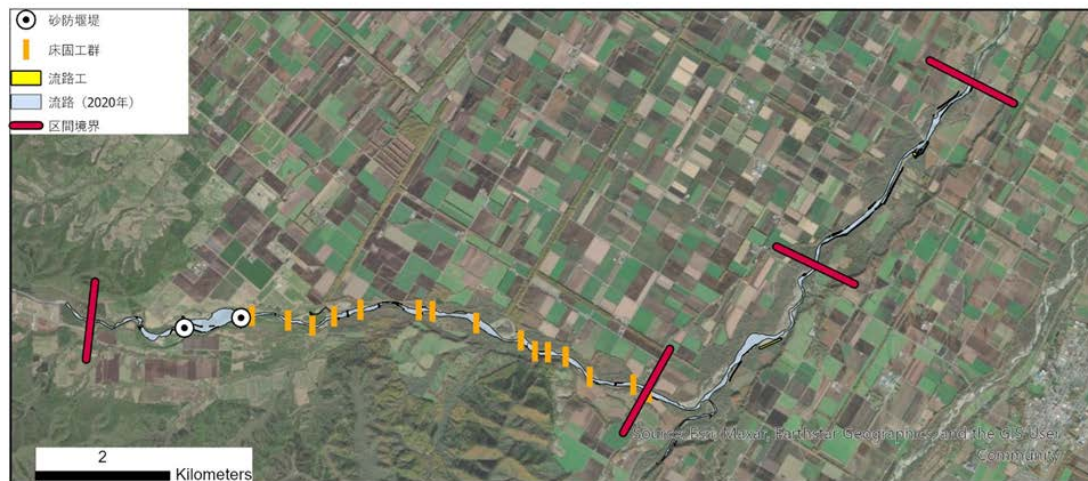


図 2.3 対象区間 (背景 : Esri, Maxar, Earthstar Geographics, and the GIS User Community)

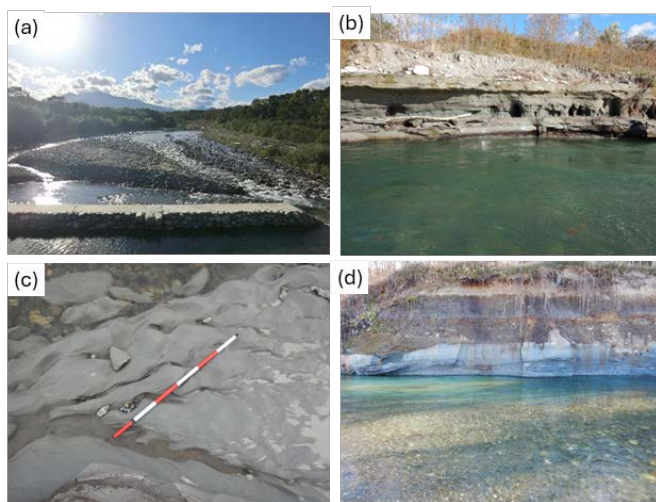


図 2.4 (a) 床固工、(b) 侵食段丘の例。灰色が軟岩、(c) 掃流砂の痕跡、(d) 砂礫碓の末端の遷急線と河床が露岩した淵の形成

る。戸蔦別川を含む札内川流域では、1954 年の洞爺丸台風の翌年の 1955 年の出水をきっかけとして、多量の土砂が源流域から下流に流下した<sup>10)</sup>。この土砂の流下はその後数年に渡って続き、氾濫原では河床の上昇に伴う洪水が頻発した。その状況をうけて、戸蔦別川を含む札内川流域は 1961 年に国の直轄砂防区域となり、土砂流送を制御するための対策が実施されることになった（帯広開発建設部ホームページ）。以降、戸蔦別川流域には、源流部の治山堰堤を含め、2020 年までに砂防堰堤 6 基（うち氾濫原では 2 基）（表

2.1）と床固工 15 基が導入されている（図 2.1、2.3）。砂防堰堤のうち 1976 年から 1983 年までに源流部に設置された 6 号堰堤及び 7 号堰堤は不透過型であったものの、2012 年と 2013 年にそれぞれ透過型へと変更されている。また 1991 年に源流部に完成した 8 号堰堤は不透過型である。氾濫原においては、拓成橋から 1.7 km 下流に 1987 年から 1990 年にかけて不透過型の砂防堰堤（1 号堰堤）が建設され、その背後に水を貯えることでカヌー湖としての利用が当初想定されていた。拓成橋から 2.4 km 下流には透過型の 2 号堰堤が、2014 年から 2 年間に渡り建設された。その下流の 6.3 km にわたって 1998 年から設置された床固工は、堤高が低く、スリットが入っており、砂礫が大量ではなくとも継続的に流下していくよう設計されている。またそれらは、川の本来の土砂貯留能力を補強するよう、従来堆積が発生していた拡幅部を挟むように設置されている。

本研究では拓成橋を起点とした 16.5 km を対象とし、解析にあたって下記の 3 区間に分割した（図 2.3）。

#### (1) I (0 ~ 9.0 km)

拓成橋から戸蔦橋までの区間であり、砂防堰堤と床固工（図 2.4(a)）が設置されている。また、

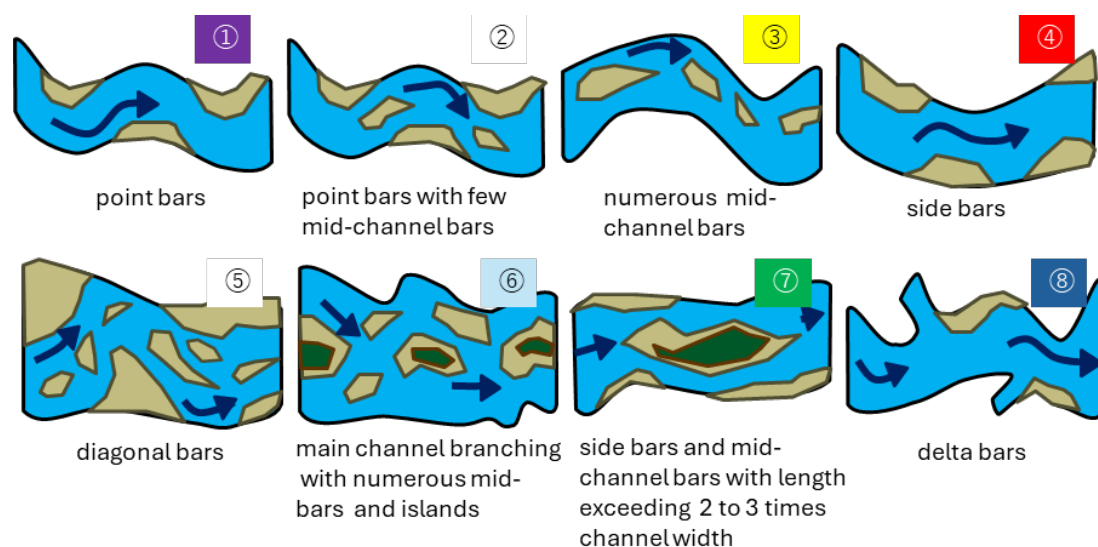


図 3.1 Rosgen (1996) による砂州の形状に基づく河川形態の分類

床固工の機能を促進させる補助施設も備えられている。斑礫岩が 1 号堰堤より上流に多く露出するが、その下流の河床は砂礫に覆われている。

#### (2) II (9.0~12.75 km)

戸蔭橋から戸蔭大橋の下流 200 m までの区間であり、砂防施設はない。10 km 地点で、岩内川（流域面積：114 km<sup>2</sup>）と合流する。区間の河岸と河床の各所には、第四紀湖成層の長流枝内層に属するシルト岩と亜炭からなる互層が露岩しており、それらは未固結で、指で簡単に割ることができる。4 カ所にてシュミッドハンマーで計測した、シルト岩の一軸圧縮強度は 5.9 から 10.2 MPa であった。2000 年代以降に顕著な河床低下の進行と蛇行の発達が確認されており、その傾向は 2016 年 8 月に発生した北海道豪雨にて加速している。その結果、現在は形成されてから年月を経過しておらず、軟岩の上に砂礫層が残る侵食段丘が流路沿いに多くみられる（(図 2.4(b))）。また流砂が通過した軟岩上には、その痕跡も確認される（図 2.4(c)）が、風化が激しく数か月のうちに消滅する。流路内には中州や交互砂州、固定砂州があり、その周辺に形成された遷急線の直下には、河床が露岩した淵が見られる例も多い（図 2.4(d)）。河床の土砂には細砂から大礫まで含まれ、分級は進んでおらず、アーミングの進行は見られない。

#### (3) III (12.8~16.5km)

区間 II の下端から中島橋より下流の 1.1 km までの区間であり、1960 年代後半より護岸工や流路工による側岸の保護が実施されている。河床は部分的にブロックにより保護されているが、長流枝内層に属する軟岩が露出する場所もある。現流路沿いには 1960 年代に河床を形成していた堆積段丘が残存し、同齡林が生育している。

### 3. 解析手法

#### 3.1 人工構造物の建設に伴う河川形態の変化

戸蔭別川流域では、大日本帝国陸軍により 1944 年に最初に航空写真が撮影された。以降、現在に至るまで航空写真が定期的に取り上げられている。ここでは、区間 I から III を対象に、国土地理院により公開されている 1998 年までの空中写真（うち、1977 年度はカラー）および、北海道開発局によ

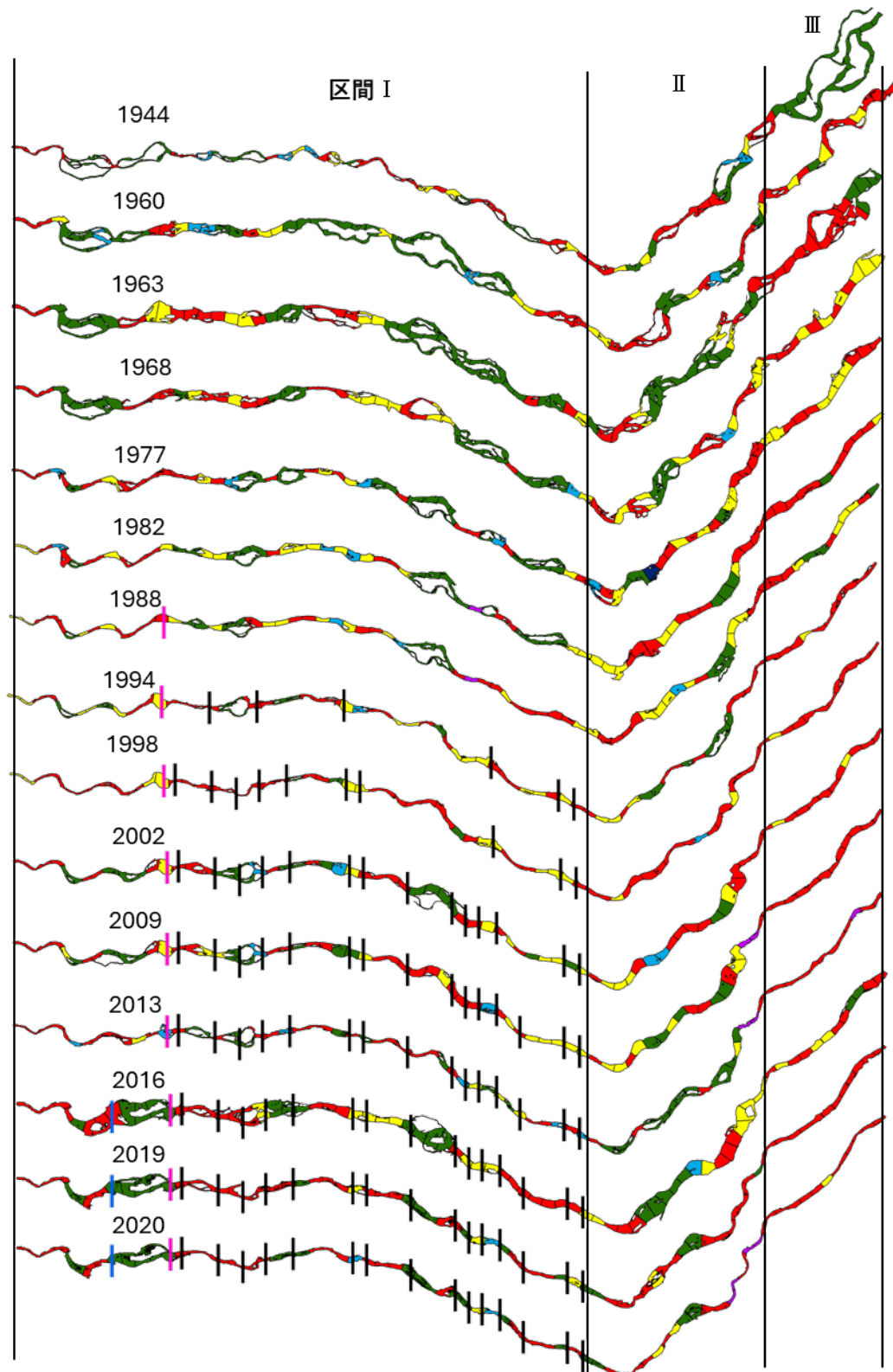


図 4.1 年代ごとの河川形態。青：1号堰堤、ピンク：2号堰堤、黒：床固工

る航空レーザー計測（ALS）時に取得されたオルソ画像（2002年から2016年）、アジア航測株式会社による航空レーザー測深（ALB）時に取得されたオルソ画像（2019年から2020年）を用いて、流路の変遷を判読した。そして Rosgen<sup>11)</sup>の砂州の形状をもとにした基準に基づき（図 3.1）、河川形態を分類した。

各年代の写真では、流路沿いに植生が繁茂していない範囲を「谷」とみなした。まずオルソ画像がもっとも古く存在する2002年の谷において、その中心線を流下方向に100mごとに分割し、横断線を作成した。そして、流下方向に各200mの区間について谷の面積を求め、200で除することにより谷幅とした。また流路長については、100mごとの横断線にかかる流路の中心部を縦断方向にむすんだ長さとした。露岩率は、流路内において露岩している範囲の割合を100m区間ごとに求めて算出した。なお露岩については波しぶきの発生や、水深が深い場合は、判断が困難な例もあった。

各年代の河床高については、2002年以前については、空中写真から当時の河床の位置を推定し、航空レーザー計測データや現地計測によりその標高を得た。また、

区間Ⅰについては、砂防施設設計時の報告書（北海道開発局）に示されていたデータも参考にした。

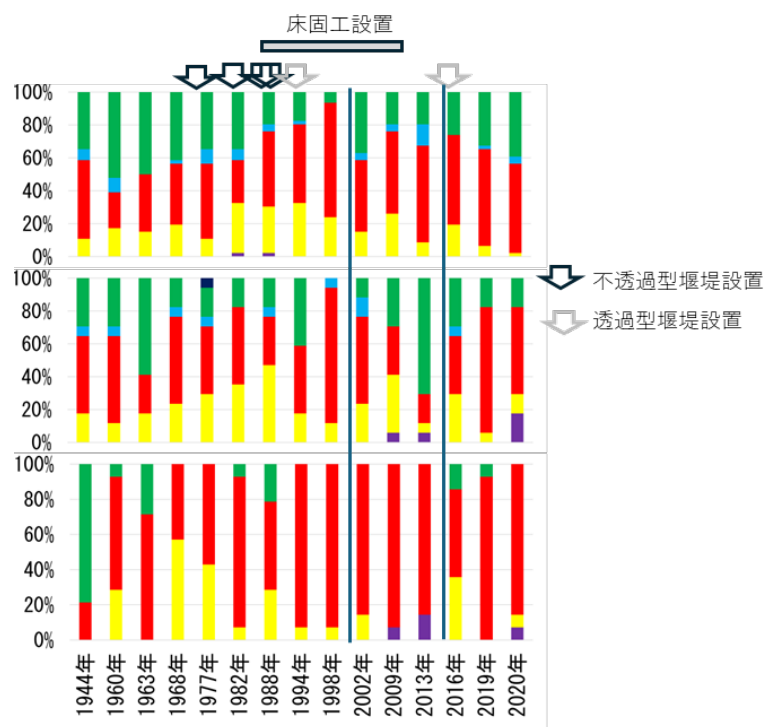


図 4.2 各区間における河川形態の変化。2002 年と 2016 年は近傍に災害をもたらした出水が発生

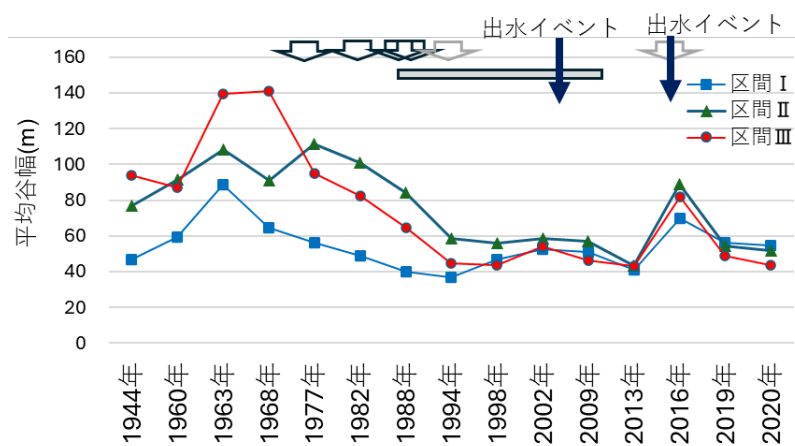


図 4.3 各区間における谷幅の変化

### 3.2 砂礫堆の発達に伴う河川形態の変化

河川形態の変化を2013年以降の河床低下の実態を示すにあたっては、2013年および2016年に北海道開発局で取得されたALSデータと、2019年から2024年にかけて、アジア航測株式会社により年1回実施されたALB計測データ、及び同時に取得されたオルソ画像と、ドローン（Mavic2 Pro、Phantom 4 RTK、Mavic3Pro）による年3回の空撮画像を用いる。ここで区間Ⅰは河川構造物により形態の変化が制限されているため、対象から除外した。

まず2016年の出水直後の空中写真から判断された谷域において、流下方向にその中心線を引き、

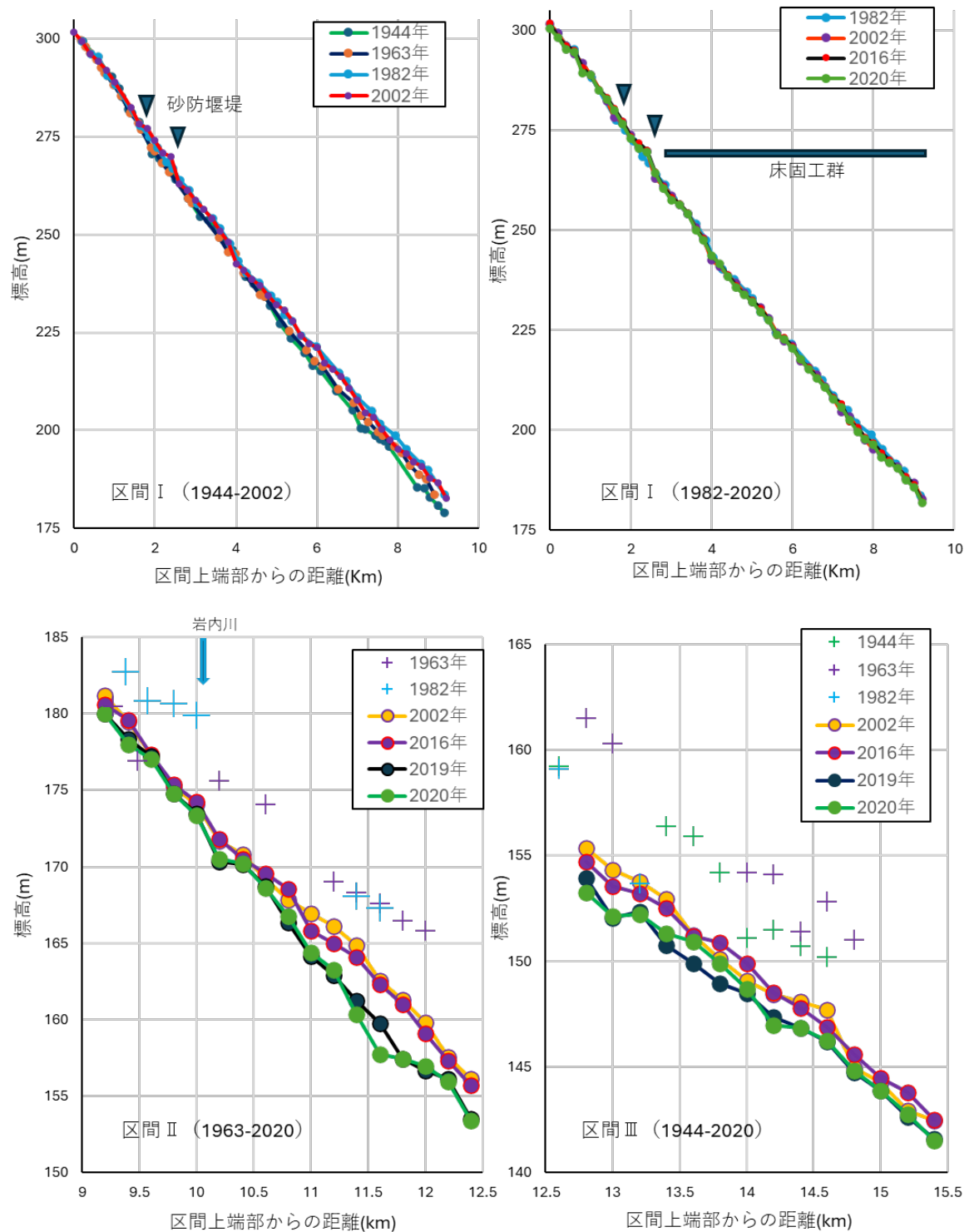


図 4.4 各区間における河床高の変化

50 m ごとに横断測線を作成した。また、各年代のオルソ画像において水域を判別し、流路とみなした。この過程では蛇行の発達を調べるために、流路の変換点の位置も判読した。また河床における露岩の出現箇所も読み取り、地図上に記録した。各横断測線については、水域にあたる範囲を流路幅とした。さらに各線において標高が最も低い点を縦断方向につなぎ、縦断図を作成した。

## 4. 結果と考察

### 4.1 砂防施設の導入に伴う河川形態の変化

1944年に撮影された空中写真では、区間全体を通じて流路は分流し、植生が繁茂する中州が確認される（図4.1、4.2）。この中洲は出水時の砂礫の堆積により形成されたとすれば、戸蔭別川は1944年以前からも、かなりの土砂が流下し、堆積していたことが考えられる。しかし中洲に植生が繁茂している様子から、その頻度はあとに続く1960年代よりも少なかったと考えられる。砂防施設の導入以前は谷幅が広く、上流から下流に向かうにつれて谷幅が拡大していた（図4.3）。また区間Ⅰについては、1944から1982年までは河床高は上昇していったが、以降は、ほぼ変化はみられなくなった（図4.4）。一方、その下流の区間については、1944から1982年までは河床高はほぼ一定で変化がなく、1982年以降に低下している。全区間を通じて砂防堰堤の導入とともに谷幅は顕著に狭くなっていき（図4.3）、その傾向は、不透過型の堰堤の建設が終わり、床固工が導入されるとともに落ち着いた。その後、2016年の出水を除き2020年まで、区間を通じて大きな谷幅の変動はない。また2016年時の谷幅も、土砂移動が活発であった1960代と比較すると狭く、砂防施設の建設は洪水氾濫の軽減に貢献したと言える。

砂州の形態の変遷からは（図4.1、4.2）、床固工の導入以前は、区間ⅠとⅡにおいて形態③も残存しており、活発な土砂輸送が続いていたことが示唆される。その一方で区間Ⅲにおいては護岸の導入に伴う流路の固定とともに、交互砂州区間が卓越していった。また区間Ⅰにおいて床固工の導入が進むとともに、区間ⅠとⅡにおいても、同様に交互砂州区間が優勢となった。2016年の出水以前には、形態④は、形態①へと移行し、流路の蛇行が進行するようになった。

2016年の出水では、河川の形態は、砂防堰堤が導入され始めたころの1970年代に一旦戻ったといえる（図4.2）。ただし、その当時と比較すると河床高はかなり低くなっており（図4.4）、またこの出水によって、河床の露岩率は増加した（図4.5）。2002年時と比較して河床高は出水により大

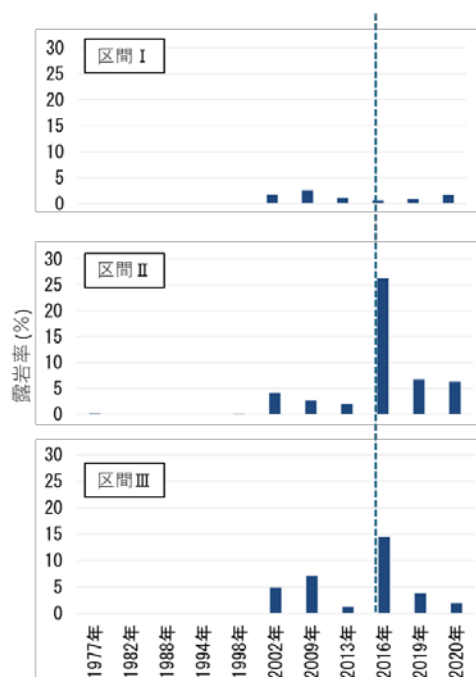


図 4.5 各区間における河床の露岩率の変化

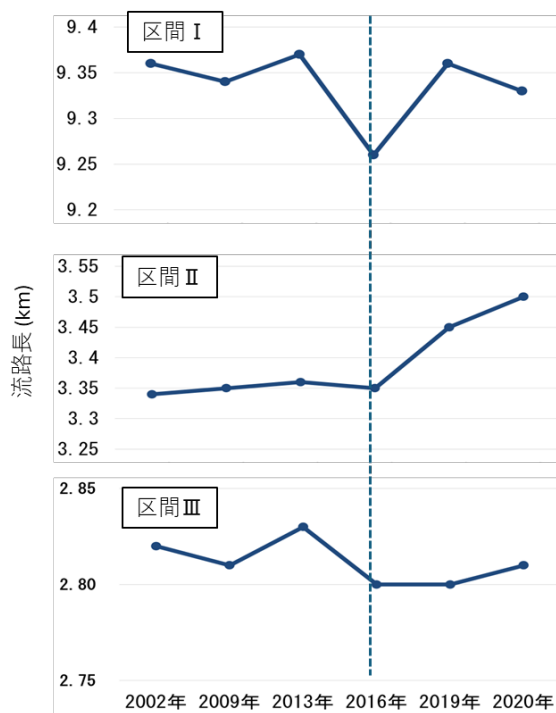


図 4.6 各区間における流路長の変化

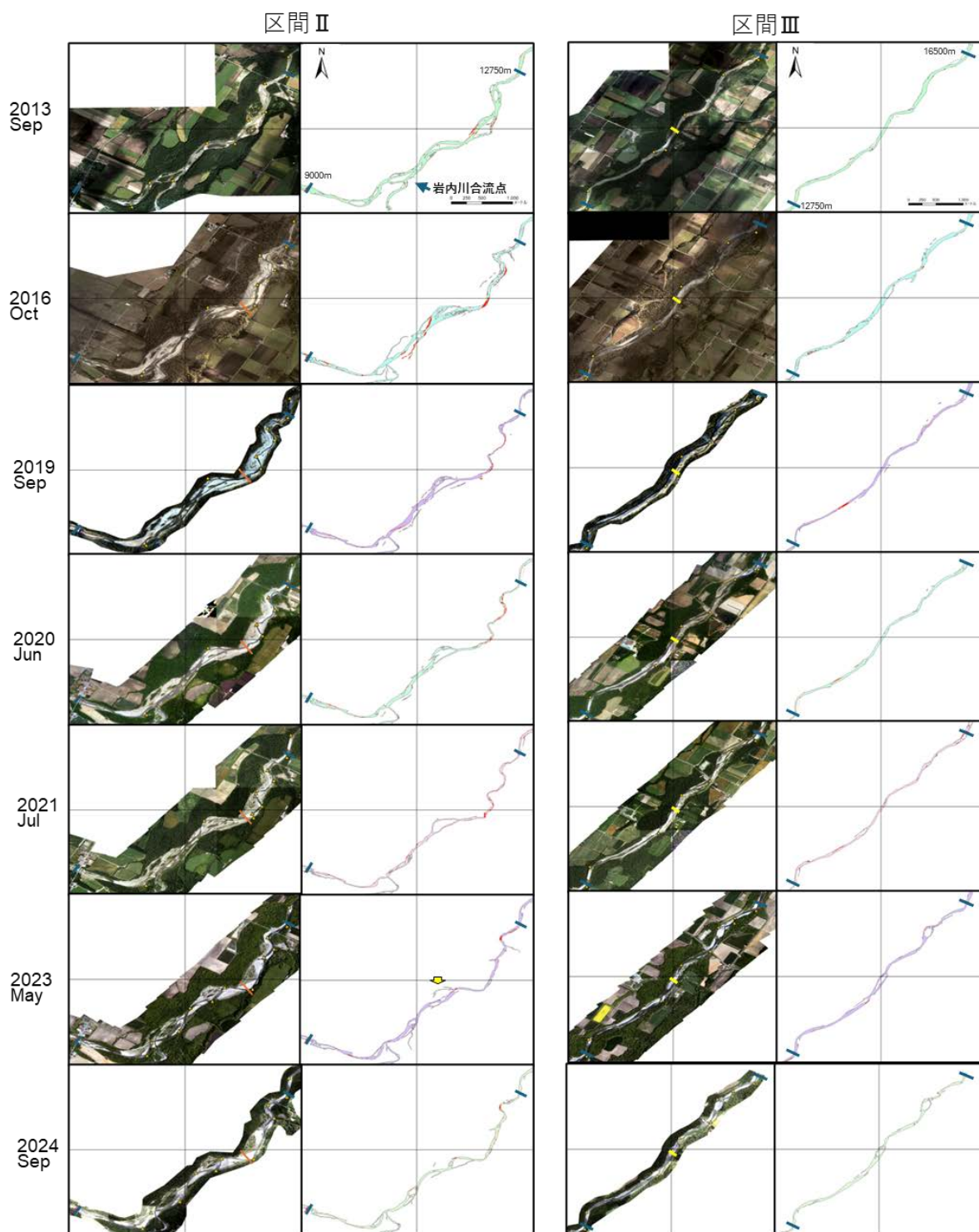


図 4.7 区間ⅡとⅢにおける流路の変化。青線は区間の境界。露岩箇所は赤で示される

大きく変化せず、上流からの土砂流入による変化ではなく、河床における堆積物の層の移動により河川形態が変化したと考えられる。この出水後に、特に区間Ⅱにおいて蛇行の進行（図4.6）とともに河床低下が進行している（図4.4）。ただし、河床に出現する露岩の割合は2016年と比較して少なくなった（図4.5）。なお図4.5における区間Ⅲの13.2 kmから14 kmまでの2019年時の河床は、災害からの復旧工事の影響を受けている。

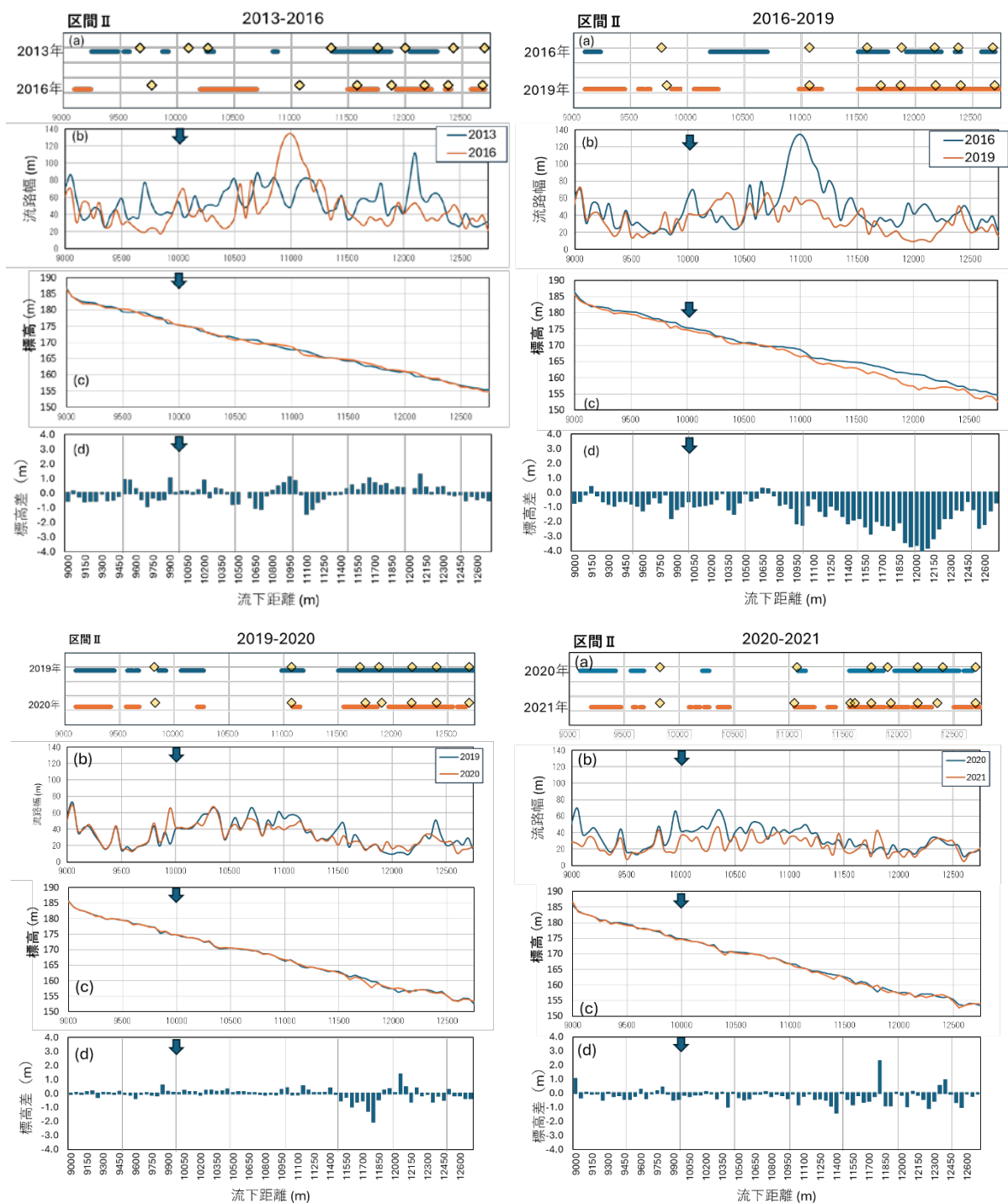


図 4.8 (a) 各区間における露岩域の位置と蛇行の頂点、(b) 流路幅、(c) 各横断側線における最低標高値、(d) (c) で示した値の期間の変化量

## 4.2 砂礫堆の発達と蛇行の進行

図4.7に、2013年から2024年までのALS及びALB計測の際に撮影されたオルソ画像、ならびに2013年以降の流路および河床露岩部の位置の変遷をポリゴンで図示した。また図4.8には、(a)各区間における露岩域の位置と蛇行の頂点、(b)流路幅、(c) 各横断側線における最低標高値、(d) (c) で示した値の期間の変化量を示している。2016年には水面標高、2019年には河床標高を計測しているた

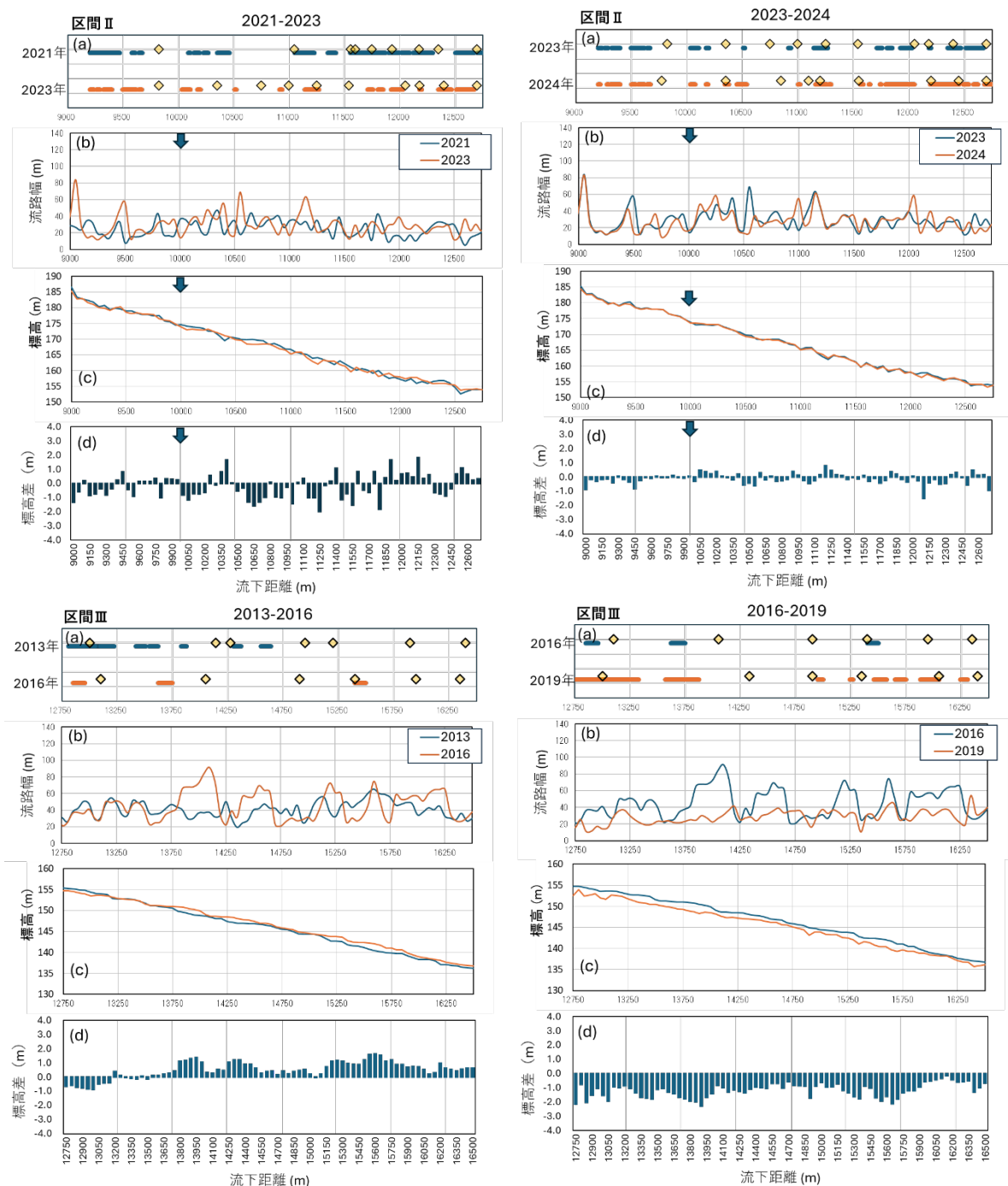


図 4.8 cont.

め、実測の河床低下量はグラフに示された値を下回ると考えられる。しかしながら、区間IIにおいては、2019年時点において流路幅の減少が観察され、2016年の河床面は侵食段丘化していることが確認されている（図4.9）。これらの地形的特徴は、当該区間において顕著な河床低下が生じたことを示唆する。2017年の流量のデータは欠損しているものの、2018年には日流量が $80 \text{ m}^3/\text{s}$ を超過している日が2日あり（図4.10）、これらの出水で河床低下が進んだと考えられる。またこの河床低下に伴い、区間IIにおける河床勾配は増加した（図4.8）。一方、区間IIIについては、当該期間中に2016年出水に対する災害復旧工事が実施されたため、自然状態における河床変動の実態は把握できていない。

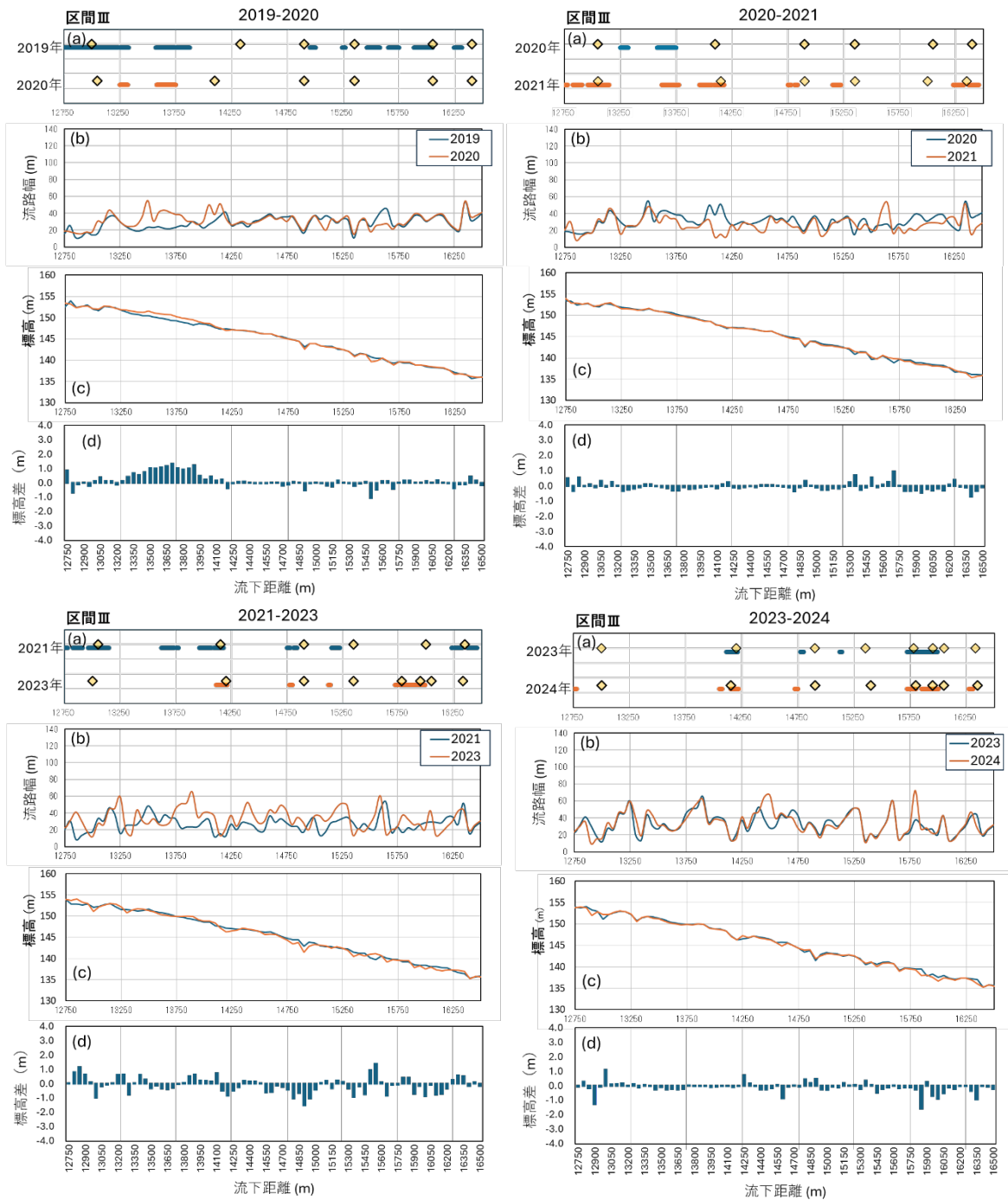


図 4.8 cont.

2019年から2020年にかけては、他期間と比較して出水規模が小さかったこともあり（図4.10）、区間Ⅲでは河道形状に顕著な変化は認められなかった（図4.8）。一方、区間Ⅱでは岩内川合流点以降において交互砂州および固定砂州の形成・発達が観察され（図4.7）、流路幅が減少する傾向が見られた。この傾向は特に11,500 m下流区間において顕著であり（図4.9）、河床低下を伴って進行した。

2020年から2021年にかけては出水頻度が増加し（図4.10）、岩内川合流点上流域を含めて砂礫堆の発達と狭窄を伴う下刻が進行した（図4.7、4.8）。この河床変動は、それまで比較的安定していた区間Ⅲにおいても確認されるようになった。

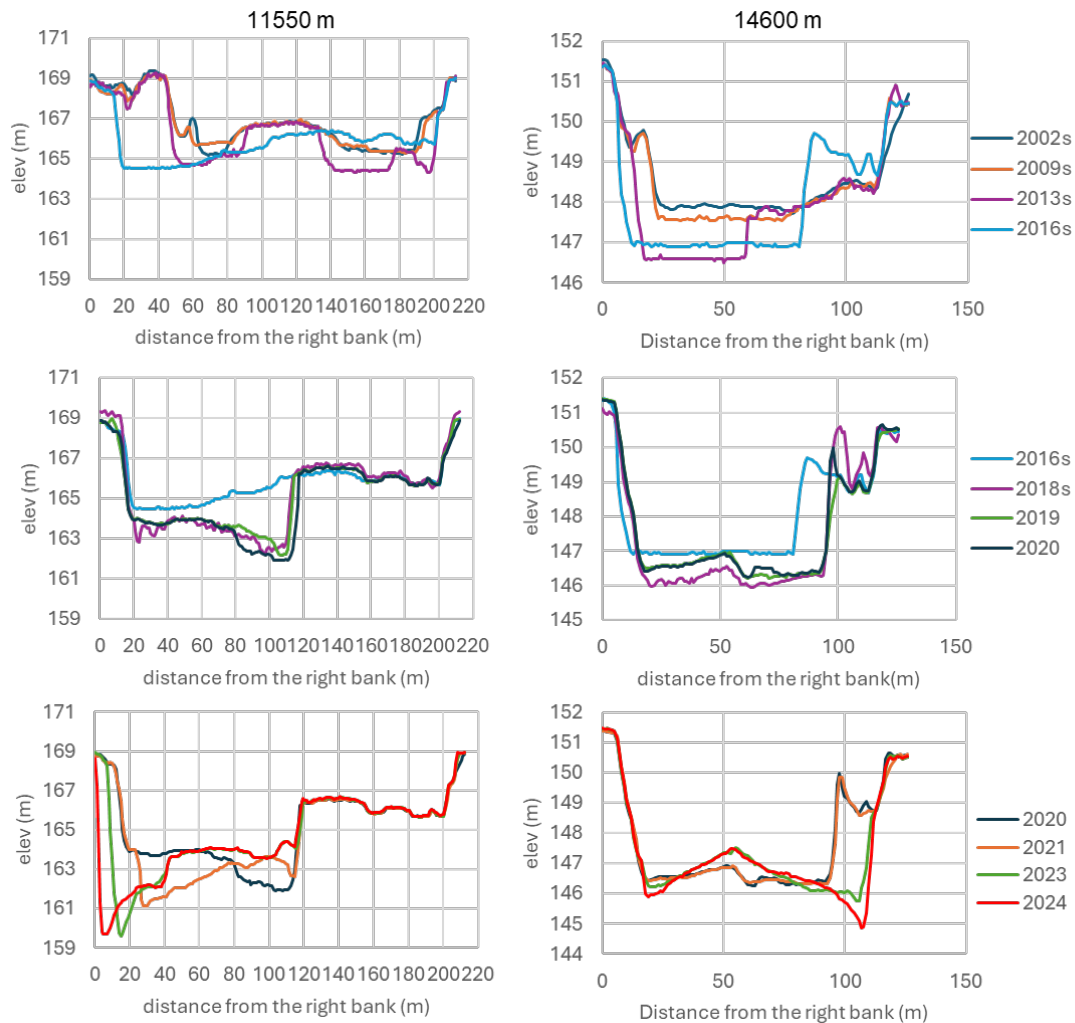


図 4.9 11550 m 地点（区間Ⅱ：図 4.7 中の橙色線）及び 14600 m 地点（区間：図 4.7 中の黄線）における横断形の変化。末尾に s がつく年は ALS 測量による結果。

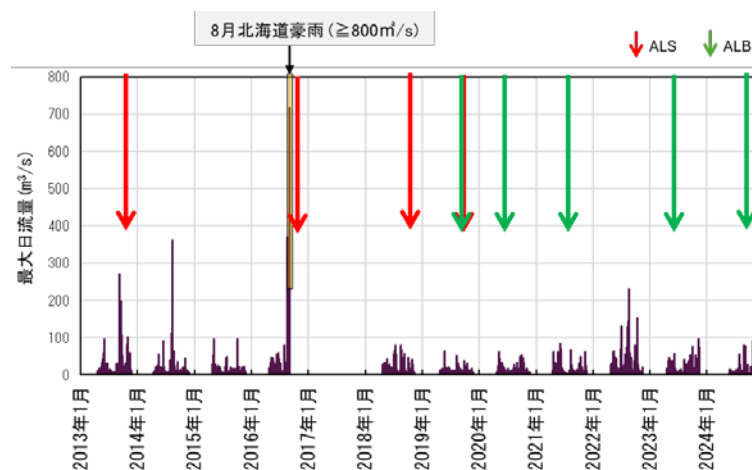


図 4.10 2013 年以降の ALS および ALB 計測日と戸蔭橋における最大日流量（参考：国土交通省水文水質データベース）＊2024 年度は推定値

2022年8月の出水（最大日流量：231 m³/s）では、大幅な流路変動が発生し、このイベントはさらなる下刻を促進する契機となった（図4.7，4.8，4.9）。出水直後の現地調査では、区間Ⅰからの粗



図 4.11 2022 年 8 月出水直後。出水時は背後の段丘面も流路となった。

粒土砂の大規模な流入痕跡は確認されず、むしろ区間内に既に堆積していた土砂の再移動により流路変化が生じたと推察される。この出水における河床の移動層厚は約1.5 mと推定された（図4.11）。この出水イベントにより、両区間とも、この出水により流路幅は広がり、蛇行も進行した（図4.7, 4.8）。ただし、区間Ⅱの11,750 mから11,930 m区間では、出水中に流路湾曲の発達が停止し、ショートカットが発生したことにより蛇行が解消された（図4.7中、黄矢印）。

2023年以降も流量が $90 \text{ m}^3/\text{s}$ を超過する出水イベントが発生しており、両区間において蛇行の発達および下刻が進行している（図4.9、4.12）。

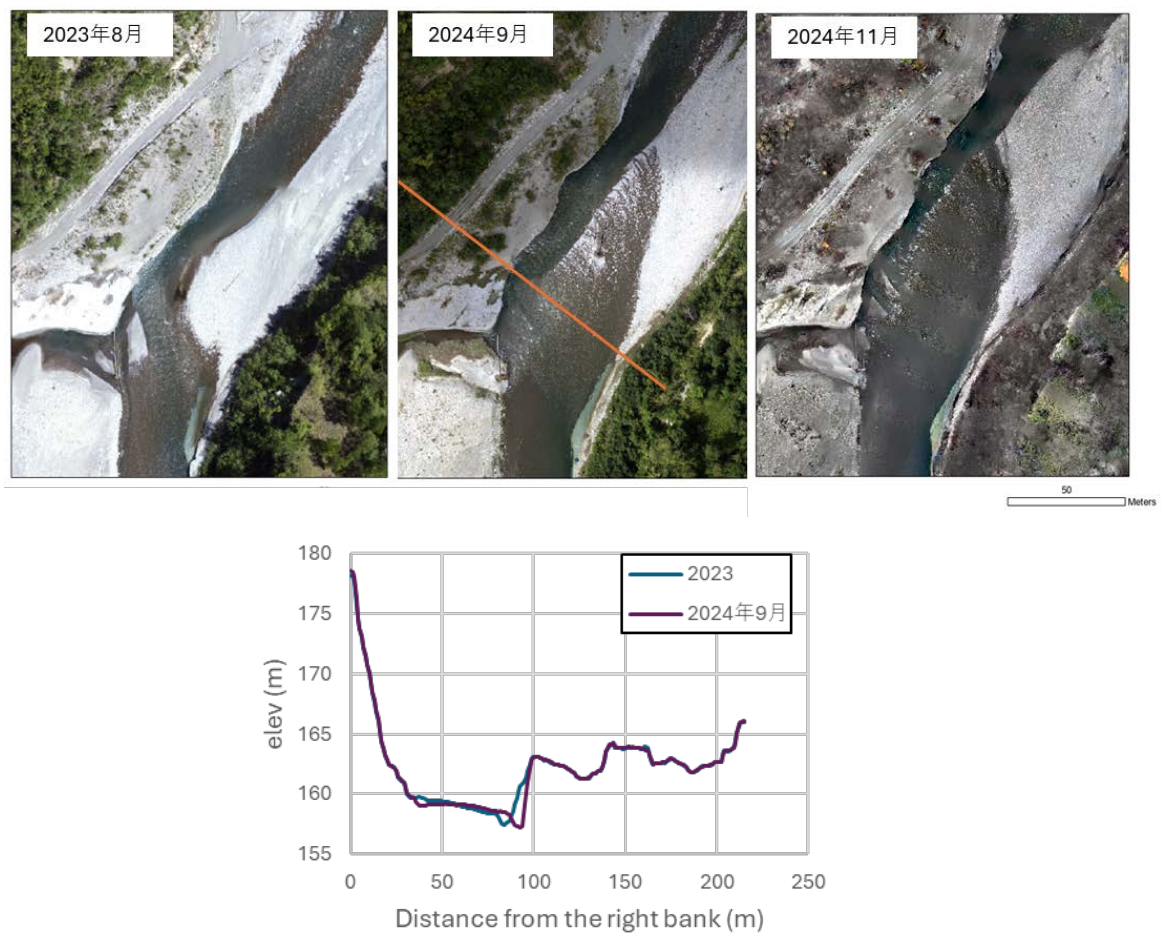


図 4.12 12050 m 地点における、2023 年 8 月以降の砂礫堆の発達に伴う流路の狭窄と下刻と側刻の進行。2023 年 8 月と 2024 年 11 月の画像はいずれも UAV による空撮、2024 年 8 月の画像は ALB 計測時のオルソ写真。横断面図は上図中の橙色のラインの変化

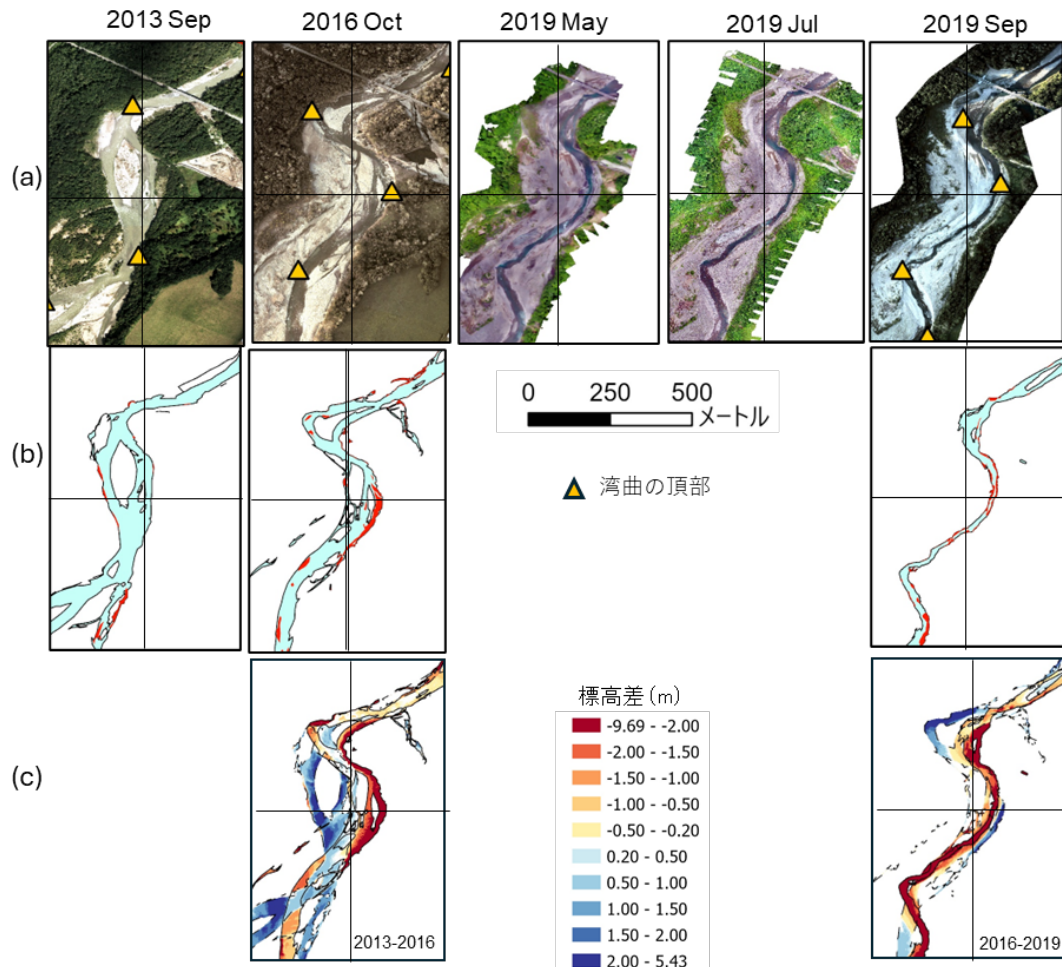


図 4.13 11750 m から 12750 m 区間の (a) UAV 空撮画像、(b) 流路と河床の露岩範囲、(c) ALB 計測データから求めた標高差

図4.13からは、期間を通じて蛇行は進行し、攻撃斜面にて激しい下刻と側刻が発生することが分かる。また蛇行の進行に伴い、軟岩が露岩する範囲も時期により異なる。以上から、下記のプロセスにより戸蔭別川では河床低下が進行するとまとめることができる。

大規模な出水イベント（戸蔭橋における流量 $200\text{m}^3/\text{s}$ 以上）の発生に伴い、河床堆積物の移動および流路の変動が生じる。当該出水では、上流からの土砂供給量が河床埋積に必要な量を下回るため、出水後期あるいはその後続期において新たに堆積した土砂を下刻する作用が進行し、流路が限定される。この過程において、交互砂州が形成される。流水の偏流は固定砂州の発達を促し、河道の蛇行が進行する。この固定砂州の発達および前進過程においては、その前面の流路幅が減少するとともに、砂州前面に遷急線が形成され勾配が急になる（図4.12参照）。したがって、流水の剪断力が増大し、攻撃斜面における侵食作用が顕著となる。この際、河床および侵食段丘面上に堆積した源流域由来の堅固な礫が、侵食プロセスにおける有効なツールとして機能する。脆弱な露岩から構成される侵食段丘崖や薄層の砂礫に覆われた河床は流水により削剥され、崖直下には河床面に軟岩露出を伴う淵が形成される。側刻の進行によるさらなる侵食段丘の後退により、砂礫堆はこの淵を埋積して前進し、攻撃斜面は下流へと移動していく。これらの一連のプロセスにより、河床低

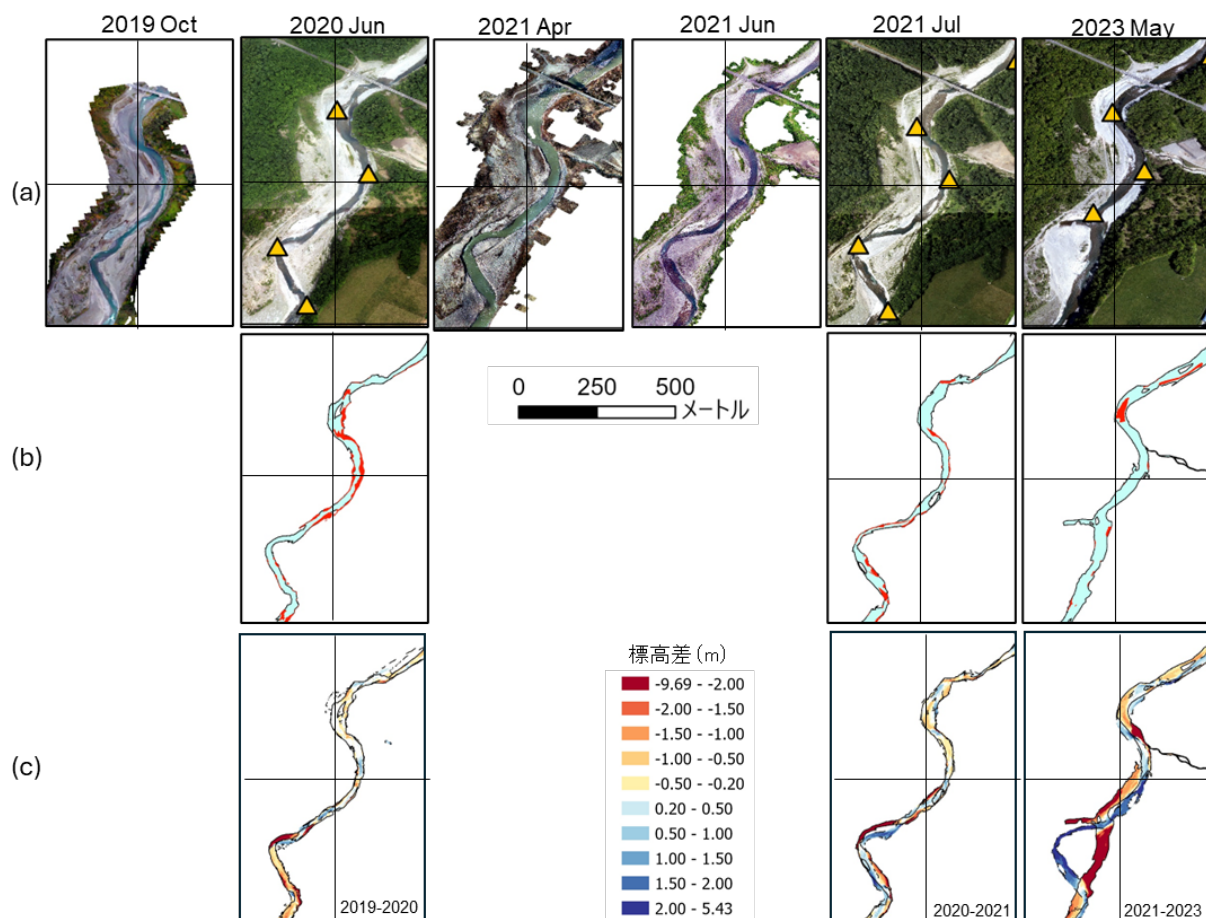


図 4.13 cont.

下が進行する場合においても、軟岩の露出面積は増加しない。また、河床で軟岩が交互に出現し、それらが交代で侵食をうけることにより、流路全体の河床高度が漸次的に低下することになる。

## 5. まとめ

本研究では、北海道十勝川水系戸蔭別川を対象として、砂防施設による土砂流出量抑制効果が軟岩河川の形態に及ぼす影響を調べた。その結果、砂防施設の建設に伴い、下流域において谷幅の減少と河床低下の進行が確認され、さらに、交互砂州の形成区間の拡大と、それに続く流路の蛇行化が進展することが明らかとなった。また、蛇行の発達過程における交互砂州および固定砂州の形成が、軟岩を基盤とする戸蔭別川の河床低下を促進する要因として機能することも判明した。この過程において、対象区間の河床低下速度は、露出軟岩の面積ではなく、交互に露出する軟岩の侵食速度に依存することが示された。

河床低下は、戸蔭橋地点における日流量 $200 \text{ m}^3/\text{s}$ を超過する出水イベント時に加速した。これは出水時には河床が一時的に上昇するものの、土砂流入量が不足するため、結果として下刻が進行し

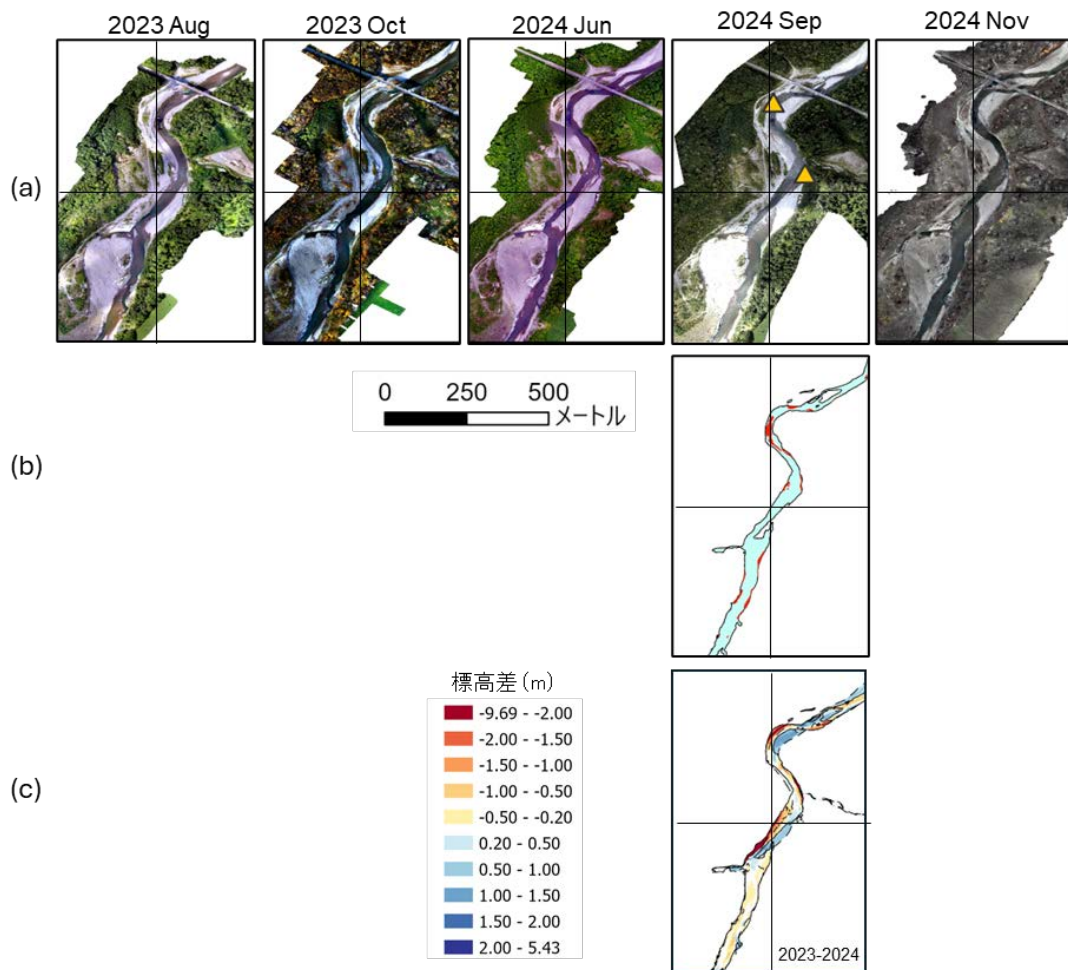


図 4.13 cont.

流路幅が縮小することに起因する。さらに、出水の際に形成された交互砂州や固定砂州は、再び前進を開始し、流路の一層の縮小と攻撃斜面における侵食の促進をもたらすことが示された。2016年8月の北海道豪雨において、砂防施設は氾濫原の被害軽減に明確な効果を示したものの、下流への土砂供給の抑制は、軟岩基盤への穿入蛇行の促進および急激な河床低下を誘発する要因として作用していることが示唆された。

現在、区間IIにおいては2024年より1号砂防堰堤のスリット化工事が実施されており、今後、区間IIおよびIIIへの土砂流入量の変動が予測される。継続的な観測体制の維持により、軟岩河川における侵食プロセスの解明に資する重要な知見の集積が期待される。

## 6. 謝辞

本研究は、アジア航測株式会社の協力を得て実施された。またALS測量データおよび測量時のオルソ写真は、北海道開発局から提供された。ここに謝意を示す。

## 7. 引用文献

- 1) Lague, D. (2014): The stream power river incision model: Evidence, theory and beyond. *Earth Surface Processes and Landforms*, 39(1), pp. 38～61.
- 2) Johnson, J.P.L, and Whipple, K.X. (2010): Evaluating the controls of shear stress, sediment supply, alluvial cover, and channel morphology on experimental bedrock incision rate. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 115, F02018.
- 3) Sklar L.S., Dietrich W.E. (2004): A mechanistic model for river incision into bedrock by saltating bed load. *Water Resources Research*, 40, W06301.
- 4) Whipple, K.X., Hancock, G.S., and Anderson, R.S. (2000) : River incision into bedrock: Mechanics and relative efficacy of plucking, abrasion, and cavitation. *Geological Society of America Bulletin*, 112(3), pp.490～503.
- 5) Inoue, T., Parker, G., and Stark, C.P. (2017): Morphodynamics of a bedrock - alluvial meander bend that incises as it migrates outward: approximate solution of permanent form., *Earth Surface Processes and Landforms*, 42(9), pp. 38～61.
- 6) Mishra, J. et al. (2018): Consequences of abrading bed load on vertical and lateral bedrock erosion in a curved experimental channel., *Journal of Geophysical Research*, 123, pp.3147～3161.
- 7) Gardner T.W. (1983): Experimental study of knickpoint and longitudinal profile evolution in cohesive, homogeneous material, *Geological Society of America Bulletin*, 94, pp.664～672
- 8) Seidl M.A., Finkel R.C., Caffee M.W., Hudson G.B., and Dietrich W.E. (1997): Cosmogenic isotope analyses applied to river longitudinal profile evolution: problems and interpretations, *Earth surface processes and landform*, Vol 22, pp.195～209.
- 9) 山口進,井上卓也,前田育彦,佐藤大介,清水康行 (2017):豊平川ニックポイントの現地調査および砂礫流入の再現実験による形状変動の考察, *土木学会論文集B1(水工学)*, Vol73, No.4, pp.I913～I918.
- 10) 北海道開発局帯広開発建設部(1989): 昭和63年度十勝川直轄砂防事業の内戸蔦別川床固工群全体設計業務報告書.
- 11) Rosgen, D. (1996): *Applied River Morphology* (2nd ed). Pagosa Springs, Wildland Hydrology.

助成事業者紹介

氏名 笠井美青

現職：北海道大学大学院農学研究院