

空中レーザ計測による河川の地形・地被条件の 同定と洪水流況解析への応用

吉田 圭介¹

¹岡山大学学術研究院 環境生命自然科学学域 准教授

本技術開発（以下、本研究）では空中（航空）レーザ計測データから河川の地形・地被条件を同定し、その成果を洪水流況解析へ利用するとともに、治水施設の維持・管理の実務（ここでは岡山県を縦断する一級河川、旭川の国直轄区間の分流部周辺の植生管理）への活用例を検討した。本研究では特に、3次元(3D)洪水流計算への応用を鑑み、レーザ点群分布と航空写真を利用して、3次元空間での植生の流水抵抗要素を評価する手法を開発した。

キーワード：航空レーザ測深，UAVグリーンレーザー，3D洪水計算，旭川分流部，植生管理

1. はじめに

近年、我が国では気候変動の影響と考えられる豪雨が頻発し、それに伴って生じる土砂災害や浸水の被害が深刻である。中国地方では平成26年の広島土砂災害や、平成30年の西日本豪雨災害において多くの人命が失われるとともに、住居や社会インフラが大きな損害を受けた。一方、“晴れの国”である岡山県ではこれまで他県に比べて梅雨や台風時の降雨量が少ないため、今後、気候変動下で豪雨が頻発する中で、県民の水害への対応の遅れが危惧されている。また、中国地方では今後、人口減少社会においてインフラの維持や管理、および地域の水防活動が以前に比べて困難になることが予想される。そのため、中国地方に限らず、我が国では社会情勢と自然外力の変化に対応したハード・ソフト対策、またそれらを支える工学技術の開発や社会実装が強く望まれる。

近年の河川災害では、線状降水帯などに起因する集中豪雨によって河川では急激な水位上昇が生じ、また河川水位が長時間、計画高水位を超えることで越流や浸透現象が生じて河川堤防が決壊する事例が散見される¹⁾。この問題の背景には、(i)河川整備の進捗（中小河川はもとより、国管理の一級河川の堤防整備率も令和3年3月末時点で69.5%²⁾）や、(ii)超過洪水の頻発（気候変動下の自然外力と、防災力（インフラ整備など）の不均衡）、および(iii)これまでの断面毎（縦断200m毎）の河道計画や管理、などが挙げられる。(iii)に関しては、現在では、例えば、航空レーザ測深ALBの出現によって国管理の一級河川では水部・陸部で連続的、かつ高精度で面的な地形計測が効率的に行われるようになっており³⁾、今後はそうしたデータを活用して、詳細な地先単位での河川弱部（越水や河岸浸食の発生箇所）の予測や、現状の治水

施設の性能評価、および水防活動の見直し、さらには河道の維持・管理技術の高度化などへの展開が期待される。

以上の背景から、本技術開発（以下、本研究と記す）では空中（航空）レーザ計測によって河川地形・地被条件を同定し、その成果を洪水流況解析へ利用するとともに、治水施設の維持・管理の実務（ここでは岡山県を縦断する一級河川、旭川の国直轄区間の分流部周辺の植生管理）への活用例を検討した。河川でのレーザ計測技術（図-1）は近年、著しく向上しており、国直轄の一級河川では今後、航空機やヘリに限らず、車両（MMS）、ドローン、スラム（SLAM）技術等を用いた3次元レーザ計測が一般的になるものと予想される。そこで、本研究ではレーザ点群と計測時の航空写真に着目し、河川の地形と流水抵抗要素（地被や樹木抵抗など）を精度良く評価する。また、その結果を洪水流計算のパラメータ設定等に利用することで洪水流解析の高度化を試みる。

成果報告書の構成は以下の通りである。第1章では技術開発の背景、目的および内容の概要について記す。第2章では本研究で扱った河川の洪水流計算手法について簡潔に記す。第3章では本研究で対象とする一級河川、旭川の国直轄区間（旭川0.0KP～17.5KP、旭川放水路で

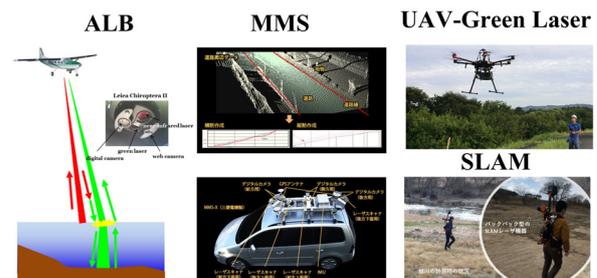


図-1 河川で利用される近年のレーザ計測システム

ある百間川0.0KP~12.9KP, ただし, KPは河口からの距離(km)における, 近年の空中レーザ計測(航空レーザ測深ALB, UAVレーザスキャナシステムUAV-GLS)の適用事例と, その計測成果に基づく河川情報(河床高, 植生高, 植生を含めた地被分類, および3次元植生分布)の抽出手法について記す. 第4章では(i)近年, 旭川の国直轄区間で生じた洪水の概要, (ii)旭川分流部およびその上流の祇園地区での対象洪水の再現計算とその検証, さらに(iii)旭川分流部での通水能力評価(ここでは, 分流堰における旭川から百間川への分流量の適正評価)について記す. 最後に, 第5章では本研究で得られた知見と今後の課題について記す. なお, 本発表資料は技術開発成果報告書の概要版であり, 詳細は報告書を参照されたい.

2. 数値計算手法

本研究では複数の堰や, 高さの異なる多様な植生が密生する中州を含む実河道における洪水流を扱うため, 原則, 3次元モデルを採用するが, 参考のため平面2次元モデルも利用した. なお, 簡単のため, 本計算では植生の倒伏・流出・変形, および河床変動は扱っていない.

以下では発表者ら⁴⁾が開発した3次元洪水流モデルの枠組みのみを示す. 2次元モデルとの相違は, 木本類では上層の樹幹部とそれ以外の下層で異なる抵抗則を用いた計算を行うこと, また, 簡易的だが鉛直方向で植生間の空隙を取り扱うことである. 本モデルでは乱流モデルに標準型の k - ε モデルを利用し, 基礎方程式はFAVOR法に基づいてデカルト座標系で導出される.

(1) 流れの基礎方程式

基礎方程式は以下に示す, 連続式, 運動方程式および k - ε 方程式である. 各式には植生による効果が含まれる.

$$[\text{連続式}] \quad \frac{\partial \gamma_{(i)} u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$[\text{運動方程式}] \quad \frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{1}{\gamma_v} \left[\frac{\partial \gamma_{(j)} u_j u_i}{\partial x_j} \right] = -g \delta_{3i} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{1}{\gamma_v} \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\gamma_{(j)} (\nu + \nu_t) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] - \frac{1}{2\gamma_v} C_D \lambda u_i \sqrt{u_j u_j} \quad (2)$$

$$[k \text{ 方程式}] \quad \frac{\partial k}{\partial t} + \frac{1}{\gamma_v} \left[\frac{\partial \gamma_{(j)} u_j k}{\partial x_j} \right] = \frac{1}{\gamma_v} \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\gamma_{(j)} \nu_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \nu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + C_{fk} \frac{F_j}{\gamma_v} u_j - \varepsilon \quad (3)$$

$$[\varepsilon \text{ 方程式}] \quad \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{1}{\gamma_v} \left[\frac{\partial \gamma_{(j)} u_j \varepsilon}{\partial x_j} \right] = \frac{1}{\gamma_v} \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\gamma_{(j)} \nu_\varepsilon \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \varepsilon \left[C_{\varepsilon 1} \left[\nu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + C_{f\varepsilon} \frac{F_j}{\gamma_v} u_j \right] - C_{\varepsilon 2} \varepsilon \right] \quad (4)$$

ここに, t : 時間, 添え字 i, j : 総和規約に従い, (1, 2, 3) はそれぞれ (x, y, z) 方向を表す, u_i : i 方向の流速成分, γ_v : 空隙率(植生のうち, 木本類の樹幹部では1以下の値を与える), $\gamma_{(i)}$: i 方向の面積透過率, δ_{3i} : クロネッカーのデルタ, $P = p + 2/3 \rho k$, p : 圧力, k : 乱れエネルギー, ν : 分子動粘性係数, ν_t : 渦動粘性係数($=C_\mu k^2/\varepsilon$), ε : 乱流エネルギーの散逸率, C_D : 植生の抗力係数である. k - ε モデルの定数には, 標準値である $C_\mu = 0.09$, $\sigma_k = 1.0$, $\sigma_\varepsilon = 1.3$, $C_{\varepsilon 1} = 1.44$, $C_{\varepsilon 2} = 1.92$ を用い, また植生抵抗に係る係数は, $C_{fk} = 1.0$, $C_{f\varepsilon} = C_{fk} C_{\varepsilon 2} / C_{\varepsilon 1}$ とした⁵⁾. $\gamma_{(i)}$ は河床および木本類枝葉に相当する格子でのみ1以下の値となる変数であり, 密生度 λ との関係性は無い.

(2) 植生による流水抵抗

本研究で扱う植生は抵抗力の相違の観点から, 木本類, 草本類, 竹林の3種類であり, 3次元モデルでは木本類はさらに樹幹部(枝葉部)とそれ以外(幹部)に細分化した. 現地でのレーザ計測に基づく, これらの分類方法は次章で説明する. 3次元モデルでの植生抵抗の考え方であるが, 木本の幹部分, 草本, および竹林については従来⁶⁾と同様に, 抗力係数を用いた流速の2乗に比例する式形で流水抵抗をモデル化した. 一方, 木本の枝葉部分は空隙の大きい多孔質体として捉え, ポーラスモデルにより流水抵抗をモデル化した. 本研究での具体的な空隙率の値は試行錯誤で決定した.

3. 航空レーザ計測に基づく河道の地被分類および植生種分布の推定

本章では, (i)対象河道での航空レーザ計測の概要, (ii)計測により得られた点群データや航空写真に基づいて河道の地被や植生種の分布を推定する方法, および(iii)得られた分布結果に基づき, 洪水流計算の流水抵抗計算で利用するための「植生モデル」の構築方法を順に示す. 本研究ではALBとUAV-GLSの両データを対象に検討を行ったが, 頁の制約の都合, 本発表資料ではALBデータを用いた場合について説明する.

(1) ALBの計測概要

ALBは従来の航空レーザ計測(Laser Profiler, LP)で用いられる近赤外線波長域のレーザ測距儀(赤外線レーザ)に加えて, 緑色波長域のレーザ測距儀(グリーンレ

ーザ)を用いて、陸部と水部の地形を計測するシステムである。図-2にALBの計測概念図を示す。従来のLPで用いられる赤外線レーザーは水域では水塊に吸収されやすく、一般に水面下の地盤高を計測することはできない。そこで、水塊による吸収が少なく水底部の反射波を取得できるグリーンレーザーを加えることで、ALBでは水面下の地形計測を可能にした。旭川の国管理区間でのALB計測精度は吉田ら⁷⁾などが検証を行い、定期横断測量成果や実測値との比較から、植生が存在しない場合、地盤高(以下、河床高と同じ)は数cmから10cm程度の誤差で計測されることが分かっている。

本研究で扱った、旭川での計測で用いられた機器の仕様と計測諸元を表-1に示す。レーザー機器にはLeica Geosystems社のLeica Chiroptera IIが用いられた。対象河道区間は2017年3月と11月の計測では旭川の9.5 KP~17.4 KPの区間および百間川の分流部、2019年2月の計測では旭川と百間川の国直轄全区間である。以下では、便宜上、2017年11月のALB計測データを「2017ALB」、2019年11月のALB計測データを「2019ALB」と記す。

(2) 河床高、植生高の算出と、地被分類手法

ALB計測では航空レーザーは地上に向かって楕円状に走査され、結果として地上では、粗密のあるレーザー点群が3次元的に得られる。そのため、データの前処理として、対象区域を1辺0.5mの立方体のボクセルを用いて3次元空間で領域区分し、各ボクセル内で標高の高い点以外は除去した(点群の間引き処理)。また、1辺2mの平面グリッドを作成し、これらのボクセル群内のレーザー点情報を落とし込んで、グリッド内の間引きレーザー点数(平面点数)を算出した。さらに、各グリッド上に存在するボクセルのALB点群に対し、地盤高はフィルタリング処理から算出し、また、植生高は地盤や構造物以外を捉えた最も高い点の鉛直座標から、地盤高を差し引いた値として算出した。

その後、GISソフト(ArcGIS)を用いて、各グリッドの植生高と平面点数のデータに対してクラスタリング処理(教師無し分類処理)を施すことで、グリッド毎に地被や植生種を判定した。表-2にはクラスタリングによる地被・植生の分類表を示す。ここで、木本類と竹林はこのクラスタリング処理では適切に識別できなかったため、レーザー点群の鉛直構造の違いを利用し、両者を識別することとした。具体的には、各グリッドにおいて、植生高の半分以下の領域(下層部)に存在するレーザー点数の割合が40%以上を木本類、40%以下を竹林とした。得られた地被分類の平面分布結果を図-3に示す。

(3) 3次元植生モデル

前節の方法で、平面2次元の洪水流モデルの植生抵抗の計算に必要な情報は準備できた。一方、本研究では3次元の洪水流計算も行うため、平面に加えて鉛直方向の

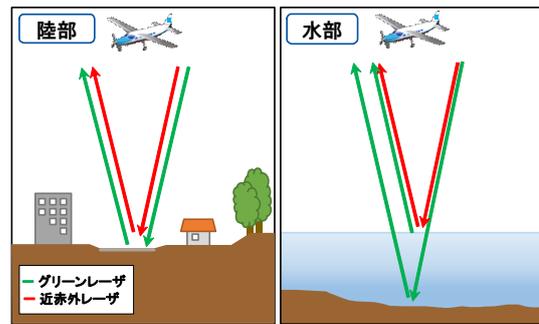


図-2 ALBの計測概念図

表-1 ALBの機器仕様と計測諸元

項目	機器名	計測年月		
		ALB		
		2017.03	2017.11	2019.02
機器仕様		Leica Chiroptera II		
レーザー波長帯 (nm)	赤外線	1,064	1,064	1,064
	緑	515	515	515
レーザー照射数 (万発/秒)	赤外線	14.8	14.8	14.8
	緑	3.5	3.5	3.5
計測仕様		500		
対地高度 (m)		500		
飛行速度 (km/h)		220	220	111
計測点密度 (1/m ²)	赤外線	9.0	18.0	18.0
	緑	2.0	4.0	4.0
写真仕様	解像度 (cm/pixel)	10		
河川水質	濁度 (度) *	2.9	3.8	1.79 (FTU)

*: 国土交通省水文水質データベース (旭川, 乙井手観)

表-2 クラスタリングによる地被分類表

		間引き後のALBデータ点数(2m×2m)		
		0~4	5~12	13~
植生高 (m)	0.3m未満	水部・裸地	水部・裸地	水部・裸地
	0.3m以上	水部・裸地	草本	木本

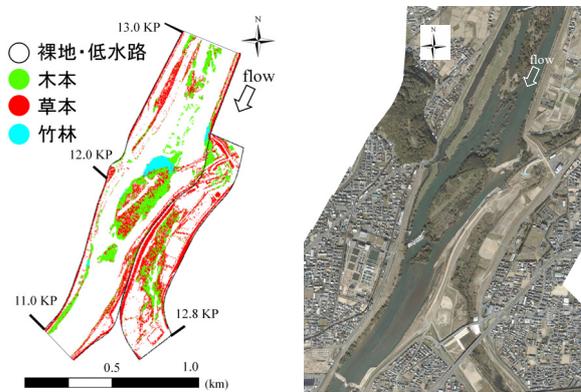


図-3 2017年11月ALB計測データに基づく地被分類結果(左)と同時期の航空写真(右)

植生情報や、さらには植生間の空隙も扱えることが望ましい。そこで、ここでは、簡易にこれらの要素を考慮し、3次元の洪水流計算に組み込むための「植生モデル」を検討した。3次元モデルにおける植生分布のイメージ図を図-4に示す。ここで扱う植生モデルでは、木本類は概ね、地盤から鉛直上方に向かって真っ直ぐ生長する状況を想定し、植生の繁茂状況を簡略化してモデル化を行うこととした。

流水抵抗を考える際の本モデルの特徴の一つ目は、木本類の幹部と枝葉(樹冠部)を分けて扱うことである。

樹冠部には前述のポラスモデルを用いることで抵抗の違いを表現する。また、特徴の二つ目は異なる植生素素や植生種の間で、鉛直方向の空隙を扱うことである。例えば、**図-4**の黒破線に示す通り、同じ平面地点で鉛直方向に植生の空間分布を考えることで、例えば、樹冠部と地表近くの草本の相違を扱う。

現地踏査や経験的判断に基づき、3次元植生のモデル化の方法を説明する。**3.(2)**の平面分類結果に基づいて、同一平面位置では間引き後のレーザ点が存在するボックスに対しては、(i)草本類、(ii)木本類、(iii)竹林のいずれかの同じ植生属性（フラグ）を与える。ただし、(i)に関して、地盤高より3m以上の鉛直位置にあるフラグ付きボックスでは、属性を「草本類」から「木本類」に変更する。(ii)に関して、同様に、地盤高より3m以下の鉛直位置においてレーザ点が存在するボックスが地盤高より連続して配置される場合は、それらを「木本類」から「草本類」に変更する。なお、レーザ点のみから木本類の樹冠部と幹部を区別することは現状では困難であるため、ここでは、植生高の半分の高さ以上に存在する「木本類」のボックスを樹冠部と簡易に判定した。

図-5は上記の仮定に基づいて、2017年ALBデータより作成した旭川12.3 KP河道断面における植生分布データを示した。図には参考のため、2020年9月にUAVで撮影した斜め写真を併せて示す。ここで、この断面ではALB計測からUAV写真撮影までの間で、植生伐採や洪水による植生流出・倒伏が無いことを確認している。また、図中の1つの○印は3次元計算メッシュ（平面5m×5m、鉛直方向に0.25mの大きさ）を表現しており、上記のボックスデータから計算メッシュ上のデータを作成しているが、解像度の関係から同一計算メッシュ内には複数種の植生が存在する。**図-5**の結果より、図の中央付近は河道内の中州（後述の**図-7**参照）に対応しているが、中州の右岸側では主に15m程度の高さの竹が密生することが分かる。一方、中州の左岸側では竹と樹木が混在する様子が観察される。現地踏査や航空写真の目視確認の結果を考慮すると、これらの状況は現地を概ね、再現していると考えられる。なお、中州右岸側の下層部では密生する竹林による遮蔽効果のためレーザ点が届かないことで生じた「空隙」が観察されるが、現地踏査の結果から背の高い竹林の群落は通常、鉛直方向に真っ直ぐに繁茂するため、以下の洪水流計算においては平面グリッド上で竹林がある場合は、その鉛直方向には竹林のボックスを連続的に配置して流れの抵抗を計算することとした。

4. 洪水流の数値計算

本章では、(i)本研究で対象とした洪水の概要、(ii)洪水前後の地形や植生繁茂状況の変化、(iii)洪水流再現のための計算条件の設定、(iv)現地観測結果に基づく計算モデルの検証、および(v)旭川分流部での地形・植生条件

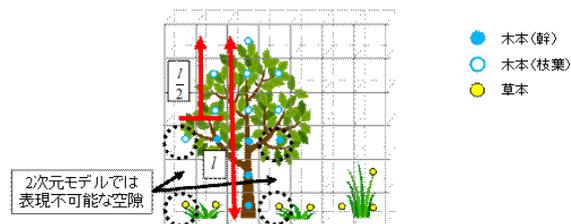


図-4 植生モデルのイメージ図（3次元植生モデル）

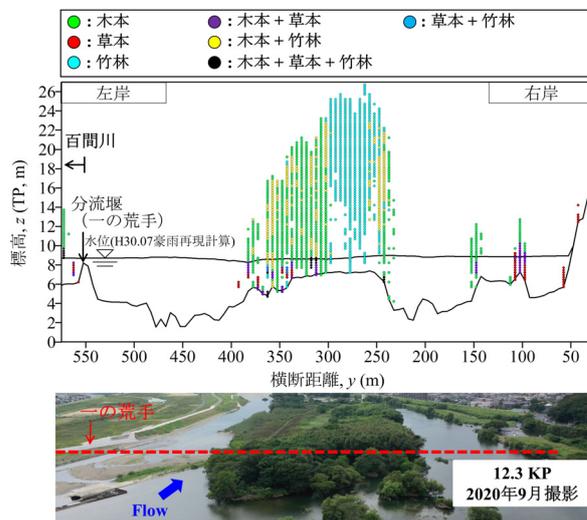


図-5 ALBによる3次元植生分布データ（旭川12.3 KP断面、写真は2020年9月に撮影）

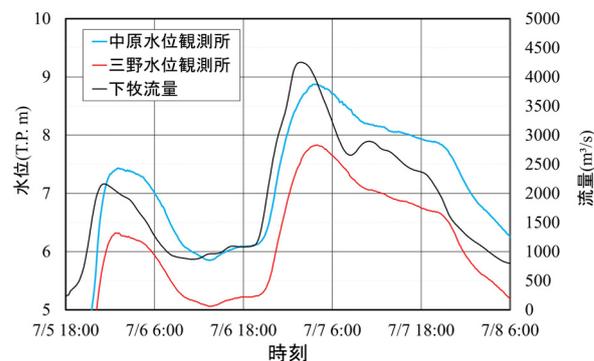


図-6 平成30年7月洪水のハイドログラフ

の変化に伴う、旭川から百間川への分流量の影響について説明する。

(1) 対象洪水

平成30年7月上旬の西日本豪雨によって、旭川下流河道では洪水が発生した。基準地点の下牧観測所では7月7日の午前3時20分に6.94 mの最高水位を記録した。旭川では本洪水は昭和47年以降で既往最大の規模の洪水であり、本洪水に次ぐ大きな洪水には平成10年洪水が挙げられる。**図-6**は下牧観測所と三野観測所および百間川分流部付近の中原観測所における洪水時の水位・流量ハイドログラフを示す。本洪水では降雨特性により、7月6日と7月7日の深夜帯に洪水のピーク流量が観測された。7月7日未明のピーク流量は4251 m³/sであり、これは旭川では130～

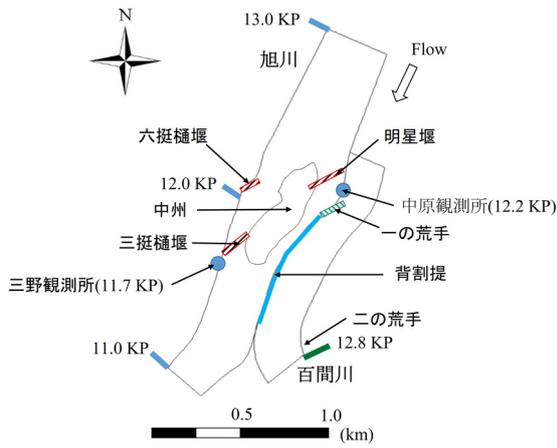


図-7 計算領域（分流部周辺）

表-3 解析ケース

Case	地形	植生	上流端流量(m ³ /s)
Case1	2017ALB	2017ALB	1000(仮想洪水), 1627(令和3年8月洪水), 3000(仮想洪水), 4251(平成30年7月洪水), 5000(仮想洪水), 6000(仮想洪水)
Case2	2019ALB	2017ALB	
Case3	2021GLS	2021GLS	
Case4	2021 堰修復	2021GLS	

1/20確率規模に相当する⁸⁾。本洪水においては分流堰前面の明星堰の一部が破損した。なお、本研究では令和3年洪水も扱ったが、頁の制約の都合、本発表資料では説明を割愛する。

(2) 計算条件

洪水流の数値計算では3次元計算用に図-7に示す計算領域を設定し、実洪水を対象とした再現計算では計算結果と現地観測結果を比較して計算モデルによる現象の再現性を確認した。また、計算上の仮想洪水を対象とした「仮想計算」では、旭川から百間川への分流の流量値に与える地形・植生条件の影響について表-3に示すようなケースを設定して検討した。上流端流量は既往洪水ではピーク流量を与えた。さらに、各計算での計算格子、境界条件、地形・植生データは表-4に示す通り、設定した。ここで、表-3のCase4の「堰修復」については、2021年（令和3年）8月に発生した洪水時に分流堰（一の荒手、図-7参照）の直上流にある明星堰の一部が破損したが、洪水後の同年11月計測の「2021GLS」のデータのうち、明星堰の地形（堰高）が洪水発生時のものとは厳密には異なるため、明星堰の破損箇所のみ「2019ALB」のデータに置き換えたことを意味する。

(3) 洪水再現計算による計算モデルの検証

図-8には対象洪水のピーク流量時（令和3年：1627m³/s、平成30年：4251m³/s）における計算の縦断水位を示した。

表-4 計算条件

離散 間隔	時間(s)	$\Delta t = 0.05$
	空間(m)	$\Delta x = \Delta y = 5.0,$ $\Delta z = 0.25$
格子数	縦断×横断×鉛直	410×150×60
植生	密生度(1/m)	木本(樹高5m以上0.023, 0.013), 草本0.031, 竹林0.286
	樹幹部の空隙率	0.7
河床	マニング粗度係数 (m ^{-1/3} s ⁻¹)	低水路：0.028 高水路：0.026
地形	河床高(TP, m)	平成30年7月洪水： 2017ALB, 令和3年8月洪水： 2019ALB, その他： 2021GLS
境界	上流端流量（旭川 13.0KP）(m ³ /s)	H-Q式（旭川：下牧観測 所），平成30年7月洪水： 4251, 令和3年8月洪水： 1627
	下流端水位（旭川 11.0KP）(m)	平成30年7月洪水：痕跡 水位, 令和3年8月洪水： 簡易水位計, その他：計 画のH-Q（国交省）
	下流端水位（百 間川 12.8KP）(m)	

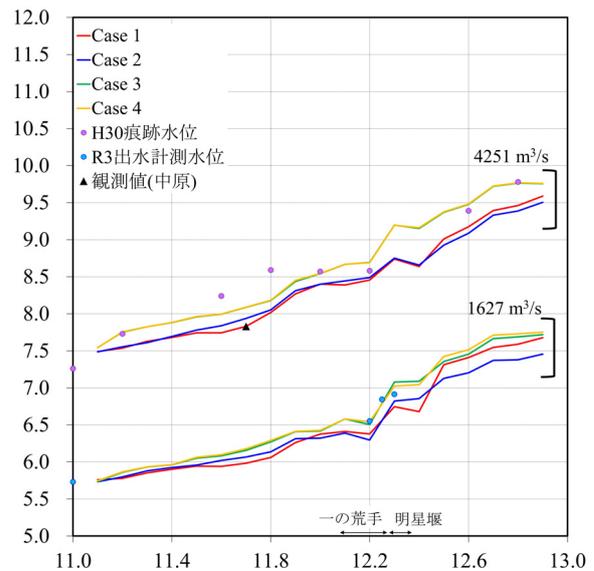


図-8 Case1～Case4での縦断水位の計算結果と観測水位および痕跡水位（旭川本川の右岸，縦軸：水位(TP,m)，横軸：縦断距離(km)）

図中には令和3年洪水時の簡易水位計の水位、および平成30年洪水時の痕跡水位と、水位観測所での観測水位を参考値として示した。計算に用いた地形・植生データの計測時期に留意して計算値と観測値を比較すると、令和3年洪水（Case3とCase4）では観測値と計算値は概ね一致するが、平成30年洪水（Case1とCase2）では計算値と観測水位（水位観測所）は一致するが、痕跡水位はそれらより50cm程度高い。一方、両洪水でCase3とCase4、またCase1とCase2の計算結果を比較すると、あまり差は見られず、明星堰の部分破損は一の荒手を越流するような出

水時の分流には影響を与えないことが予想できる。

図-9には概ね、現況河道と同じと考えてよい、地形・植生条件 (Case1~Case4) での旭川の分流前流量と百間川分流量、および計画分流量を示す。高流量時には、概ね計画値と同程度に分派量が生じているが、全体的な傾向としてはCase 1やCase 2よりもCase 3やCase 4の方が分流量は少ない。この理由として、(1)現地情報として、中州の左岸側では人為的に高い樹木が伐採され、低い竹林に置き換わっていること、および(2) 2017(または2019)年と2021年の河床高を比較すると、百間川側の方が相対的に堆積傾向にあることが影響しているものと考えられる。

また、試みとして、分流量に最も影響を与える可能性が高いと予想される中州の植生が伐採された場合 (図-7の中州の植生高を全て0mとし、「Case3+」として新たにケースを設定する) の3次元計算を行い、分流量へ与える影響を検討することとした。図-10にCase3+での各流量における分派量を示した。参考までに計画値とCase3の結果を併せて示した。Case3+では計画値と比べて15~20%程度に分流量の減少が確認できる。このことから、旭川の治水を考える上で、中州の植生管理が河道の維持・管理において重要であり、その効果はレーザ計測と洪水流計算から定量的に評価できる可能性が示唆された。なお、ここでは人為的な植生伐採を扱ったが、今後は計画高水流量規模の洪水により、植生が倒伏や流失して抵抗要素が変化する状況を検討する必要がある。

5. おわりに

本研究で得られた知見は以下の通りである。

- 1) 多時期の空中レーザ計測成果を利用して、2m 解像度での水部・陸部連続の河道地形、地被条件 (水部、裸地、植生)、植生の平面 2 次元繁茂情報 (草本類、木本類、竹林) を得た。また、0.5m 解像度で間引きされた 3 次元レーザ点群を含むボクセルの鉛直構造を利用して、植生間の空隙構造の推定や木本類の樹幹部とそれ以外を識別する方法を提案し、植生の 3 次元空間分布を得た。さらに、レーザ点群を利用して洪水流に伴う河床変動や植生消長の状況等を確認できた。
- 2) 旭川の国直轄区間で近年、生じた流量規模の異なる洪水を対象に、上記成果に基づいて植生の流水抵抗を勘案した、平面 2 次元と 3 次元モデルを用いた洪水流計算を行った。洪水時の現地観測結果 (簡易水位計や水位観測所の水位、痕跡水位、洪水時の CCTV 映像の STIV 解析による水表面流速) と比較した結果、本モデルは概ね、洪水流況を再現できることが分かった。
- 3) 上記を踏まえ、実洪水や仮想洪水のイベント毎に、旭川分流部での旭川から百間川への分流量の計算結果を、分流堰の設計・計画時に定めた計画分流量と比較した。その結果、分流量の計算値は計画値と概ね、一致するが、河道地形や繁茂する植生種の経年的な変化の影響

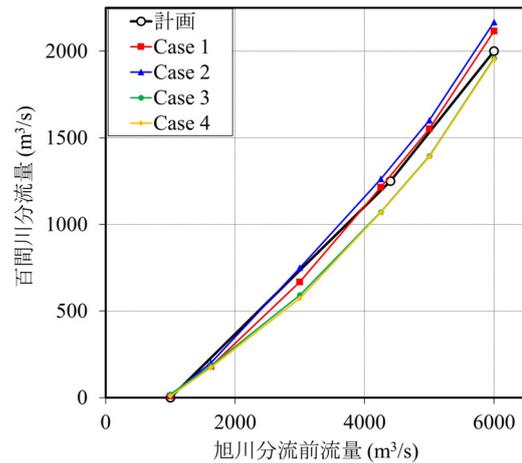


図-9 Case1~Case4 での分流量の計算値と計画値

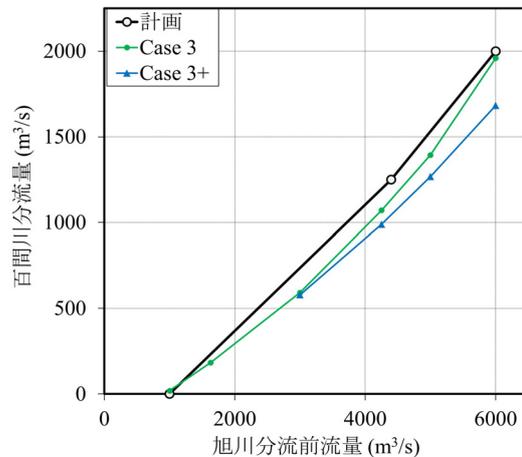


図-10 Case3, Case3+での分流量の計算値と計画値

で、分流量は計画値と比べて増減することが分かった。特に、分流部の旭川側の中州には約15m程度の高さの樹木や竹林が密生するが、これらが伐採されて無くなると、計画値よりも15%~20%程度は分流量が減少し、旭川側の河道負担が大きくなることが示唆された。

参考文献

- 1) 土木学会水工学委員会：令和元年台風 19 号豪雨災害調査団報告書，2020。
- 2) 国土交通省：河川データブック，4-2-2 直轄河川堤防整備状況等。
- 3) 国土交通省水管理・国土保全局：河川管理用 3 次元データ活用マニュアル(案)，2020。
- 4) 吉田圭介ら：平成 30 年 7 月豪雨時の旭川分流堰周辺の植生分布を考慮した 3 次元洪水流解析，土木学会論文集 B1(水工学)，Vol.76, No.2, pp.985-990, 2020。
- 5) López, F. and Garia, M.: Open-channel flow through simulated vegetation: Suspended sediment transport, *Water Resources Research*, Vol. 34, No. 9, pp.2341-2352, 1998.
- 6) 清水義彦ら：樹林化河道の洪水流況と浮遊砂輸送に関する数値計算，水工学論文集，Vol.44, pp.819-824, 2000。
- 7) 吉田圭介ら：ALB を用いた河道地形計測の精度検証と流況解析の改善効果の検討，土木学会論文集 B1(水工学)，Vol.73, No.4, pp.172-183, 2019。
- 8) 国土交通省：旭川水系河川整備基本方針，基本高水等に関する資料，2008。