

山地河川における多地点水位観測データを用いた 流量ハイドログラフ算定法に関する研究

Estimation of the flood flow discharge hydrograph in mountain streams using multiple-water level observation data

16N310010K 大野 純暉 (河川工学研究室)
Jyunki ONO/River Engineering Lab.

Key Words : mountain stream, observed water surface pprofile, flood flow analysis, discharge hydrograph

1. 序論

上流域の山地河川における洪水時の水位、流量ハイドログラフを把握し、中・下流域への洪水伝播機構を理解することは、洪水時の河川とその流域の安全性を確保するために重要である。これまで福岡¹⁾は、河道内で生じる洪水現象の解明のために、洪水時に観測された水面形時系列データに基づいた洪水流解析法を提案し、多くの緩流河川で適用され、有効な方法として用いられている。すなわち、洪水時の観測水面形には、河道形状や底面粗度、河床変動の影響が現れていることから、観測水面形時系列に基づいた洪水流解析を行うことで、洪水水理現象を明らかにすることが可能である。しかし、山地河川では緩流河川と同様に、水面形の観測値に重要な意味を持つかどうか定かでない。特に山地河川では、人の立ち入りに危険を伴うことから観測場所は限られ、また大きな石からなる底面粗度の影響を受ける等、洪水時に山地河川で洪水水面形時系列や流量ハイドログラフの観測を行っている例は少ない。塚本²⁾は、ダム管理で用いられているダムへの流入量や放流量の精度を調べることを目的に、草木ダム貯水池内とその上・下流河川において水位を縦断的に多点で計測し、ダム流入量や放流量を算定し、ダム貯水池内の流動を分析した。検討の結果、草木ダムの管理で用いられている洪水時のダムへの流入量や放流量は比較的精度が高く、山地河川においても観測水面形に基づいた手法の有効性の高さを示している。しかし、他の異なる洪水、河道特性を有する山地河川に対して、観測水面形を用いた洪水流解析の有効性を確認し、洪水流解析を行う上での留意点について明らかにする必要がある。

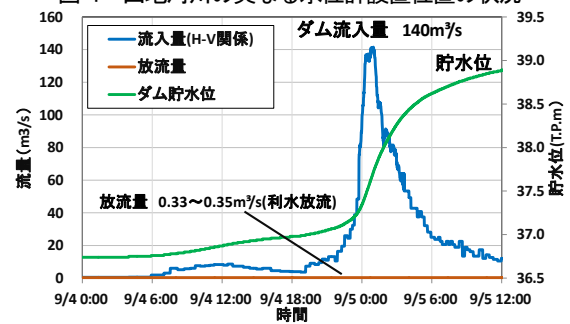
本研究では、異なる河道特性を持つ山地河川や規模の異なる洪水を対象に、観測水面形を用いた洪水流量ハイドログラフの算定法の適用性を調べ、山地河川での流量ハイドログラフ算定における留意点と課題について示す。

2. 山地河川における観測水面形に基づいた検討の概要

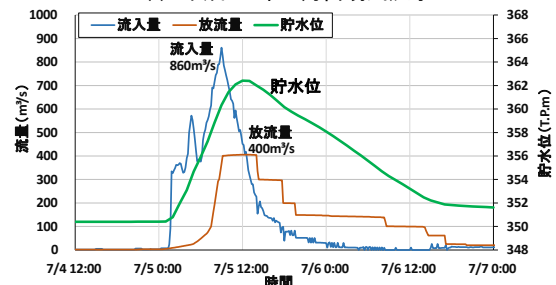
(1) 対象とする山地河川と洪水



図-1 山地河川の異なる水位計設置位置の状況



(a) 平成25年9月留萌川洪水

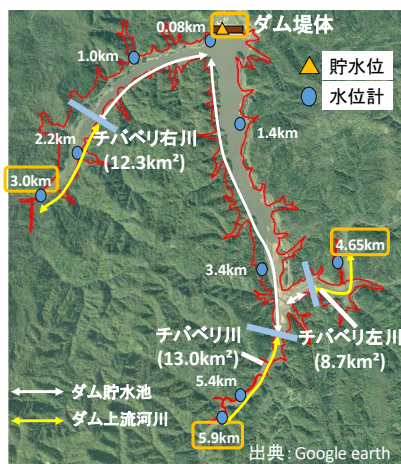


(b) 平成29年7月滝山川洪水

図-2 洪水ハイドログラフ

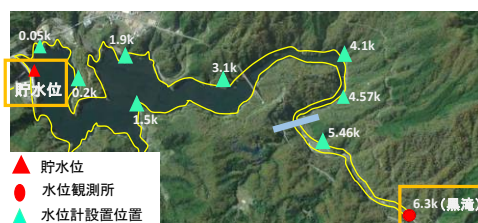
本研究では、北海道留萌川流域の留萌ダム貯水池上流に位置するチバベリ川、チバベリ右川、チバベリ左川と、広島県太田川流域の温井ダム貯水池上・下流に位置する滝山川を対象とする。対象とする河川の河床勾配は1/60~1/130と急流である。また、同じ山地河川であっても図-1に示すように、留萌ダム上流域では1m程度の植生が多く繁茂し、河床材料は10cm程度の粗石で構成されている。一方、温井ダム上・下流河川では河道内に0.5~1m程の巨石が散在しており、河道の地被状況は大きく異なっている。

本研究では、図-2に示す平成25年9月留萌川洪水と平成29年7月滝山川洪水である。留萌川洪水は、比較的規模の小さな洪水であったため、洪水吐からの放流はな



*カッコ内の数字は各河川の集水面積を示す

(a) 留萌ダム上流河川群



(b) 温井ダム上流河川



(c) 温井ダム下流河川

図-3 留萌ダムと温井ダム流域の航空写真と水位観測体制



図-4 チバベリ川の平面図 (チバベリ川 5.4km 周辺)

かった。滝山川洪水は、温井ダム地点における既往最大洪水であり、比較的規模の大きな洪水であった。ここで、ダム放流量はダム堤体で計測された貯水位ハイドログラフを用いて、ゲートの放流量算定式によって算出したものである。ダム流入量は、貯水池内の水面が水平に上昇・下降すると仮定したH-V関係を用いて算出される貯留率と放流量の和から算出した。

(2) 洪水観測体制

図-3はそれぞれの山地河川流域の航空写真と水位計観測地点を示す。水位計はダム上・下流河川及びダム貯水池内で、縦断的におよそ1km以内の間隔で設置され、時間的に10分間隔で水位観測が行われている。留萌ダムでは、本川のチバベリ川に匹敵する集水面積を持つチバベリ右川、チバベリ左川が流入していることから、チバベリ右川、チバベリ左川においてもチバベリ川と同様に多点で水位観測が行われた。

3. 洪水流解析法の概要

洪水流解析法は、多くの緩流河川で検討が行われてきた洪水観測水面形時系列に基づいた非定常準三次元洪水流解析法³⁾である。上下流端の境界条件は、図-3中の橙色の四角で示す地点の観測水位ハイドログラフを与える。解析に用いる地形データは、200mの縦断間隔で計測された横断測量データを用いた。これに加えて、山地河川では横断測量断面間においても河道線形や地

形が複雑に変化するため、図-4に示すような等高線が描かれた平面図や航空写真を参考に、実際の河道地形を補完し再現するよう地形データを作成した。

4. 洪水流観測結果と解析結果の比較

図-5はチバベリ川とチバベリ右川の観測水面形と解析水面形の時系列の比較を示す。プロットで観測値、実線で解析値を示す。チバベリ川の5.4km周辺の観測水面形は、図-4に示す河道の湾曲によって水位がせき上がる等、特徴がよく表現され、観測水面形も再現している。チバベリ右川の解析水面形も、2.4km 地点の痕跡水位を除きよく再現できている。尚、チバベリ左川の水面形の比較は紙面上省略するが、チバベリ川、チバベリ右川と同程度に、解析水面形は観測水面形の特徴を再現している。

次に、図-6に温井ダム上・下流河川の滝山川における観測水面形と解析水面形の比較を示す。温井ダム下流河川における解析結果は、3.7km地点の直下流部に位置する後平堰の天端高や形状を別途計測し、地形データとして与えることで、3.7km直上流の水面形の特徴を再現している。温井ダム上流河川では、5.46kmの水位観測値を解析値は十分に再現できていないが、その他の観測点を用いて描かれた各時間の解析水面形は観測水面形をほぼ再現している。

本研究では、局所的な観測水位が、河道全体の水面形には大きく影響しないと考え、粗度係数は空間的には変化させずに、各時間の観測水面形を平均的に再現するように設定した。植生や巨石を有する山地河川において、水位が低い時間帯と高い時間帯では、洪水流が受ける抵抗は異なると考えられる。この点に関して、本検討では各時間における河道全体の観測水面形を平均的に説明するように、粗度係数を与えた。表-1は、それぞれの山地河川で設定した各時間の粗度係数を示している。各河川において、水深が低い時間帯は高い粗

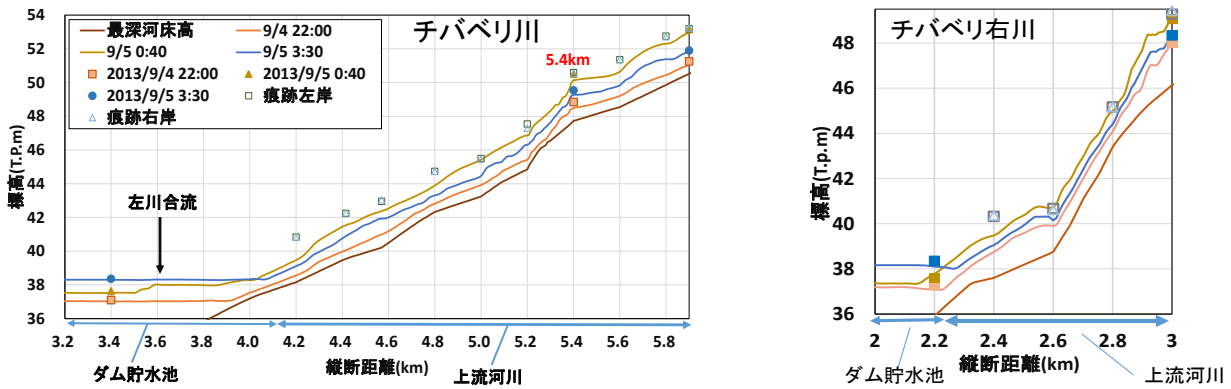


図-5 チバベリ川・チバベリ右川の水面形時系列

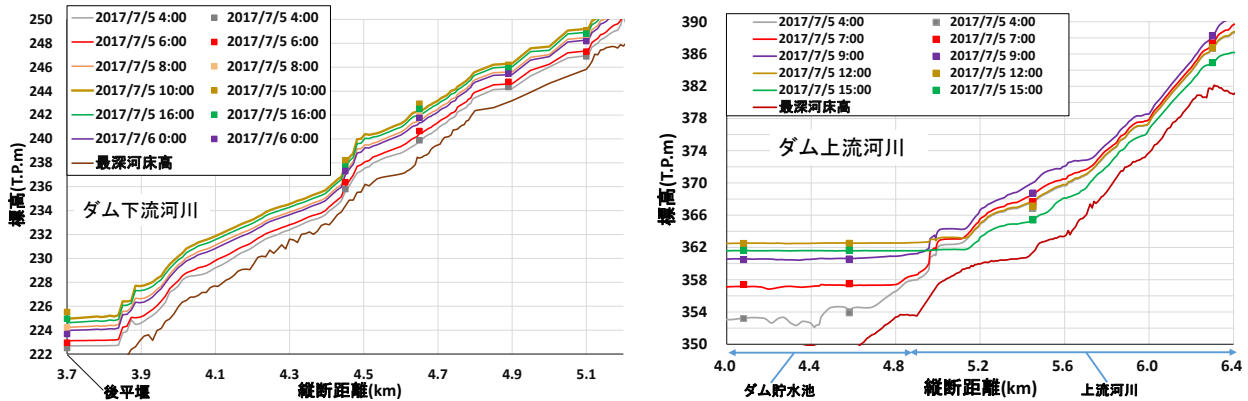


図-6 温井ダム上下流河川の水面形時系列

表-1 各時間の設定した粗度係数

留萌ダム上流河川

9/4 19:00~9/4 23:00	0.06
9/4 23:00~9/5 1:00	0.06→0.04
9/5 1:00~9/5 4:00	0.04→0.06

温井ダム下流河川

7/5 0:00~7/5 3:30	0.085
7/5 3:30~7/5 9:00	0.085→0.05
7/5 9:00~7/5 14:00	0.05
7/5 14:00~7/5 15:00	0.05→0.13
7/5 15:00~7/6 0:00	0.13

温井ダム上流河川

7/5 0:00~7/5 3:30	0.07
7/5 3:30~7/5 9:00	0.07→0.05
7/5 9:00~7/5 14:00	0.05
7/5 14:00~7/5 15:00	0.05→0.07
7/5 15:00~7/6 0:00	0.07

度係数を与え、水深が大きくなるにつれて粗度係数を時間的に小さくなるように設定した。留萌ダム上流河川では10cm程度の粗石や1m程の植生を有していることから、水深が1m以下となる時間帯(9/4 19:00~9/4 23:00)において、設定した粗度係数は $n=0.06(m^{-1/3}\cdot s)$ と大きい値になった。滝山川では、0.5~1m程の流れを障害する規模の巨石が河道内に点在し、特に水深が低い時間帯では巨石による抵抗を大きく受ける。このため水深が低い時間帯の粗度係数は、留萌ダム上流河川よりもさらに大きい値となった。また同じ滝山川においても、ダム下流河川の方がダム上流河川よりも水面幅が大きく、水深が小さい為に、ダム下流河川における観測水面形を

説明するよう設定した粗度係数は、ダム上流河川に比べてさらに大きくなり、洪水減水期(7/5 15:00~7/6 0:00)には $n=0.13(m^{-1/3}\cdot s)$ と著しく大きな値をとることとなった。

次に、各河川の水面形時系列から算出した流量ハイドログラフについて考察する。解析流量は、図-3中の水色の太い実線で示す貯水池上流端で求められている。図-7は留萌ダム貯水池へ流入する流量ハイドログラフについて示す。赤線で示す解析総流入量は各河川の解析流量の合計値であり、緑色の実線で示すH-V 関係より求めたダム流入量よりも、ピークでやや大きいが、ハイドログラフの形はほぼ一致し、再現性は高い。一方、温井ダム流入量・放流量と山地河川の解析流量ハイドログラフの比較を図-8に示す。図-8(a)の実線で示す温井ダム下流河川における水面形時系列から得られる解析流量ハイドログラフは、プロットで示すダム放流量ハイドログラフよりも、洪水減水期でやや大きくなっている。この原因については、さらに調べる必要があるが、波形の特徴は再現している。図-8(b)のダム上流河川の観測水面形時系列から求まる流量ハイドログラフは両者の波形はほぼ一致しているが、全時間帯で、解析流量は多く計算されている。これらは、設定した山地河川の粗度係数の値が、流量算定精度に影響を及ぼす為である。本検討では、観測水面形時系列を説明するように粗度係数を設定したが、河道内に植生を有していたり、河床材料が著しく大きい山地河川にお

る河床から受ける抵抗を粗度係数で評価できるかについては課題がある。

5. 得られた検討結果の考察と山地河川における洪水流量算定を行う上での留意点と課題

(1) 得られた検討結果の解釈・課題

対象とした留萌川洪水は、洪水規模が比較的小さく、洪水吐からの放流量がほぼゼロであった。このため、貯水池のH-V関係から算出されるダム流入量ハイドログラフの算定精度は高いと考えられる。検討の結果、山地河川の水面形から算定した解析流量ハイドログラフが、H-V関係から算出されるダム流入量ハイドログラフと十分な精度で一致したことから、観測水面形を用いた洪水流量の算定は、留萌川でも適用可能であることが分かった。温井ダム上・下流河川の検討結果では、ダム上・下流河川における水面形に基づいて算出した解析流量ハイドログラフは、ダム流入量や放流量ハイドログラフと波形はほぼ一致し、洪水規模の大きい洪水についても本手法が有効であることを示した。しかし、水面形を説明するように設定した粗度係数は、通常の摩擦による粗度係数に比して著しく大きな値となっており、その値の妥当性に課題を残している。本検討は、山地河川で観測水面形時系列データを得て、水面形に基づいた洪水流解析を行うことは十分な意味を持つが、山地河道の植生による抵抗を樹木群透過係数で評価することや、河床に巨礫を多く有する山地河道における抵抗の評価方法を新たに検討する必要があることを示している。

(2) 山地河川における観測上の留意点

留萌ダム上流河川の検討結果より、山地流域からの洪水流量を算定する際、本川の流域に匹敵する大きな支川が流入する場合は、本川、支川の水位観測システムを構築し、どのような洪水流量ハイドログラフがダム貯水池へ流入するかを高精度に知ることがダム管理上重要である。水面形は、周辺の河道形状や地形の影響を大きく受けるため、アクセスが可能な観測点周辺の地形情報を正しく把握する必要があり、特に堰のような横断構造物や複雑な河道線形を有するところについては、堰の天端高や形状の確認、河道平面図や航空写真を用いた地形データの補間によって精度の高い解析が可能になる。

本検討で示したダム貯水池とその上・下流の山地河川における流量ハイドログラフの算定は、山地河川における河床の抵抗の評価やダム貯水池の適切な管理を行う上での重要な情報を与えることから、今後多くのダム貯水池及び山地河川で水位を縦断的に多点で計測することが望まれる。

6. 結論と今後の課題

本研究では、河道特性の異なる2つの山地流域を対象

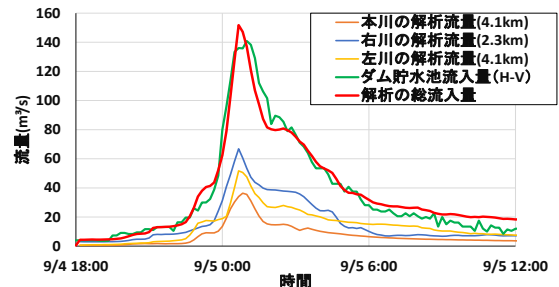
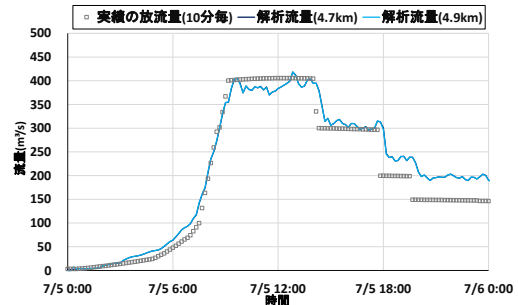
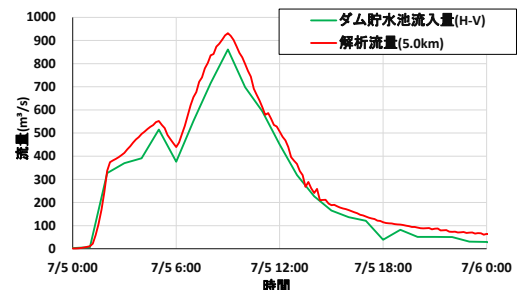


図-7 解析流量と留萌ダム流入量の比較



(a) 温井ダム下流河川の解析流量とダム放流量の比較



(b) 温井ダム上流河川の解析流量とダム流入量の比較

図-8 解析流量と温井ダム流入量・放流量の比較

に、洪水観測水面形時系列に基づいた洪水流解析によって洪水流量ハイドログラフを算定し、その精度と本検討の有効性について考察を行った。以下に主要な結論と今後の課題を示す。

- 1) 山地河川で縦断的に1kmの間隔で計測された水位縦断分布には、複雑な河道地形や河床の状況が十分に反映されており、山地河川でも観測水面形を平均的に再現することで適切な流量ハイドログラフを得ることができた。
- 2) 山地河川においても水面形に基づいた洪水流解析は有効であることを示したが、山地河川における河床の抵抗の評価法に課題がある。特に、巨礫の形状による抵抗を Manning式による摩擦抵抗の他に、どのように流れの基礎式へ導入するかについては、今後検討する必要がある。

参考文献

- 1) 福岡捷二, 渡邊明英, 原俊彦, 秋山正人: 水面形の時間変化と非定常二次元解析を用いた洪水流量ハイドログラフと貯留量の高精度推算, 土木学会論文集, No.761/II-67, pp.45-56, 2004.
- 2) 塚本洋祐, 福岡捷二, 大山修: 草木ダム貯水池の洪水流動を考慮した洪水流入量, 放流量の評価方法に関する研究, 河川技術論文集, 第22巻, 2016.
- 3) 内田龍彦, 福岡捷二: 非平衡粗面抵抗則を用いた一般底面流速解析法の導出と局所三次元流れへの適用, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.71, No.2, pp.43-62, 2015.