

## 5. 河道化した小規模ダム貯水池における洪水流の流動と洪水流入量，放流量の評価法

### 5.1 概説

長年にわたりダム貯水池への土砂堆積が進行し、ダム貯水池への土砂堆積により貯水池の河道化が進行したダム貯水池では、貯水池内においても水深が小さく、川幅が狭いことから、河道状況が通常の河川に近い状況にあること、洪水時は貯水位を一定とする操作が行われることから、貯水池内で強い流動が発生する。このため、洪水時における貯水池内の縦断水面形は水平にならず勾配を有し、堤体付近で接近流速が発生する。

現行のダムの放流量は、ダム堤体付近の河道断面が大きいことから、接近流速を無視できるとした比エネルギーのつり合いに基づくダム放流量式より評価される<sup>1)</sup>が、貯水容量の小さいダム貯水池では、接近流速水頭の影響を無視できず、現行のダム放流量評価法で計算された放流量は、実際に放流されている放流量に対し、小さめに評価されている恐れがある<sup>2)~4)</sup>。これらの現象を明らかにするためには、ダム貯水池内の洪水流の流動機構・伝播機構を明らかにし、接近流速の増大にともなう影響を考慮したダム放流量の評価法の確立が必要となる。

利根川水系渡良瀬川に位置する高津戸ダムでは、高津戸ダムとダム直下の高津戸地点において、両者が近接しているにもかかわらず、ダム放流量と高津戸地点の高水流量に差異が生じていることが示されてきた。高津戸地点は、渡良瀬川の主要地点であることから、両者の流量精度を検証し、流量差異を生じさせる要因を明らかにするとともに、ダム放流量の算定方法を確立することが、河道管理上重要となる。

本章では、ダム貯水池とその上下流河川における観測水面形の時系列データを用いた一般底面流速解析法により求めた放流量、河道流量を比較し、流量差異の要因分析を行うとともに、河道化したダム貯水池における放流量の評価法を検討する。

## 5.2 河道化したダム貯水池における洪水流入量・放流量推定方法の課題

### 5.2.1 高津戸ダムの概要

本検討で対象とする高津戸ダムは、昭和 48 年度に完成した発電ダムであり、利根川水系渡良瀬川の約 56.5km 地点に位置している。

ダム形式は、重力式コンクリートであり、堤高 29m、堤頂長は 92m となる。集水面積は 472km<sup>2</sup> であり、総貯水量は 808,000m<sup>3</sup>、有効貯水量は 530,000m<sup>3</sup> となる。

ダム貯水池の平面形状は概ね直線的であり、上流河川との接続部で湾曲形状を有している。図 5.2-2 に竣工時と現況の河床高の比較を示す。当該区間は、竣工時と比較して、河床高が最大 10m 上昇している。このため、高津戸ダム貯水池は、水深が小さく、通常の河川に近い状態で洪水流が流下している。

ダム下流区間の河道は、蛇行形状を有している。なお、高津戸ダム～高津戸橋区間は、溪谷部であり、川幅は狭い状況にある。



図 5.2-1 高津戸ダム位置図

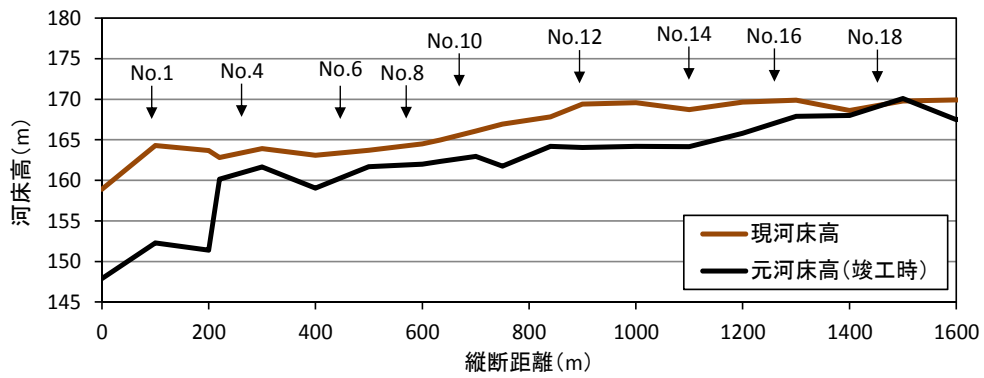


図 5.2-2 竣工時と現況の河床高の比較



図 5.2-3 高津戸ダムの概要



## 5.2.2 現状の高水流量とダム放流量推定方法の課題

### (1) 検討概要

高津戸ダムの放流量と高津戸ダム下流区間の観測流量（高津戸，相川橋）を対象に，既存の流量評価手法を整理し，観測流量データの実態を整理する．

図 5.2-4 に高津戸ダム，流量観測箇所的位置関係を示す．高津戸ダムの下流に高津戸橋（55.95km 地点）があり，この高津戸橋で渡良瀬川の主要地点である高津戸地点の水位・流量観測が実施されている．なお，高津戸橋は高津戸ダム下流区間の溪谷部に位置しており，浮子流量観測精度の確保が難しい区間である．このため，高津戸より約 2.5km の下流の相川橋（約 53.4km 地点）においても，水位・流量観測が実施されており，相互にデータの比較，検証が行われている．



図 5.2-4 高津戸ダム，流量観測箇所の位置関係

### (2) 高水流量評価手法の整理

高津戸ダムの放流量，高津戸，相川橋の観測流量の比較を行うため，各流量評価手法を整理し，近年の実績洪水の流量観測結果を整理する．

#### 1) 流量観測の概要

##### a) 高津戸ダム放流量

高津戸ダムの放流は，図 5.2-5 に示すように，鋼製ラジアルゲート 4 門により行われる．高津戸ダムの放流量は，以下のゲートの式(5-1)より算定される．

$$Q_g = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot B \cdot \sqrt{2g} \cdot (h_1^{3/2} - h_2^{3/2}) \quad (5-1)$$

ここに， $\mu$ ：流量係数， $a$ ：ゲート開度， $B$ ：流出幅， $g$ ：重力加速度， $h_1$ ：越流頂より水面までの高さ， $h_2$ ：ゲート下端から水面までの高さを示す．なお，放流量を算定する際の流量係数  $\mu$  と  $a/h_1$  の関係を図 5.2-6 に示す．

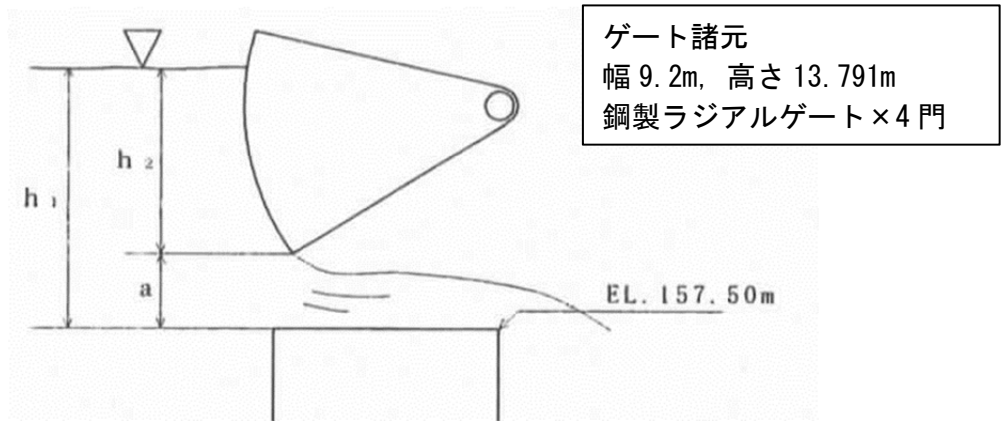


図 5.2-5 高津戸ダムゲートの諸元

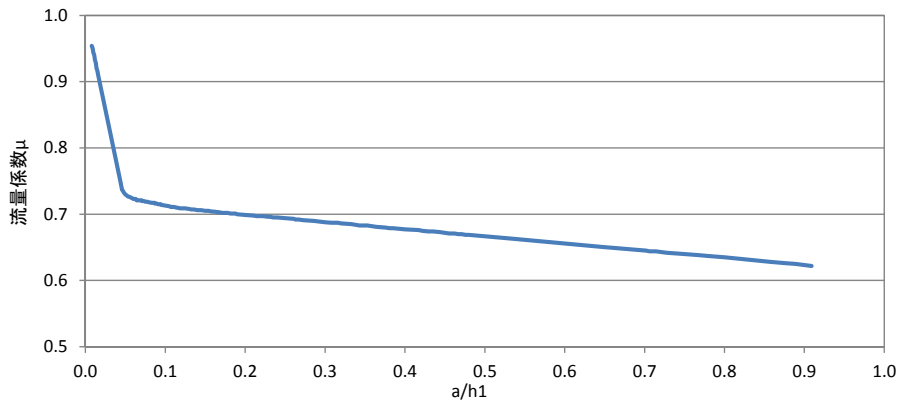


図 5.2-6 流量係数  $\mu$  と  $a/h_1$  の関係

## b) 高津戸の浮子流量観測

高津戸の浮子流量観測は、高津戸橋の下流区間において、流量観測断面である第一断面、第二断面で実施されている。図 5.2-7 に高津戸地点の流量観測断面の平面図を示す。高津戸の流量観測断面は渓谷部となっており、川幅が狭い状況にある（図 5.2-9 参照）。また、図 5.2-8 に示す平均河床高、最深河床高縦断によると、当該区間の河床は前後断面と比較して低下しており、河床高が逆勾配となる。このため、高津戸の浮子流量観測の精度については、これらの地形特性を踏まえた分析が必要である。

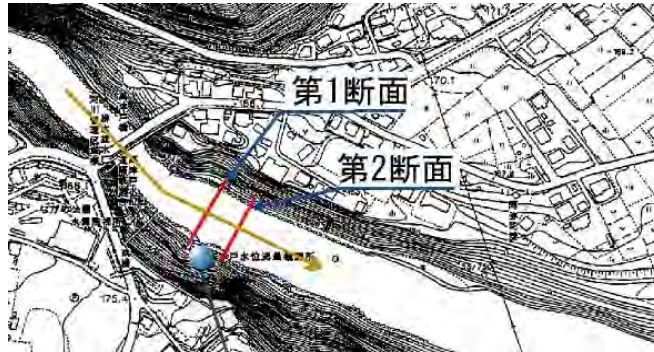


図 5.2-7 高津戸 流量観測断面の平面図

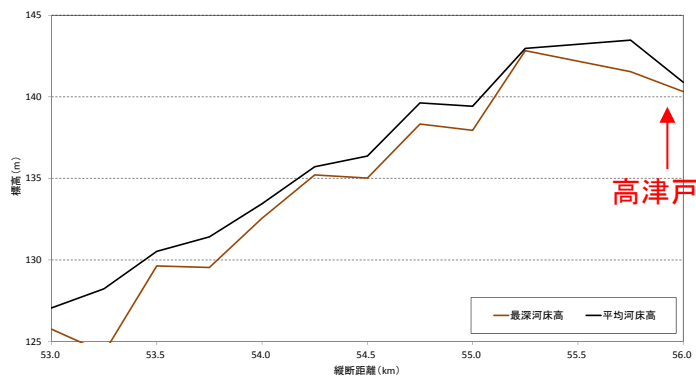
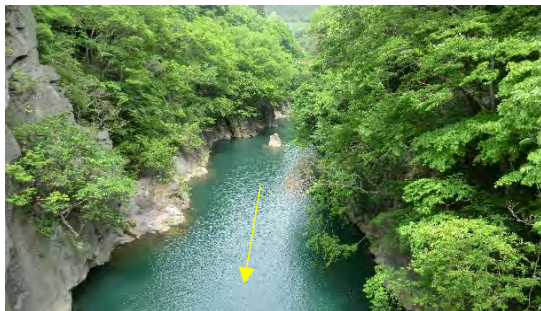


図 5.2-8 平均河床高、最深河床高の縦断図



高津戸橋上流区間



高津戸橋下流区間

図 5.2-9 高津戸橋付近の状況（平成 26 年 5 月撮影）



### c) 相川橋の浮子流量観測

相川橋の浮子流量観測は、相川橋の下流区間において、流量観測断面である第一断面、第二断面で実施されている。図 5.2-10, 図 5.2-11 に相川橋の流量観測断面の状況を示す。相川橋地点は、河道線形が直線的であり、かつ、川幅が大きいことから、高津戸と比較して、浮子流量観測に誤差が入り難い地点である。

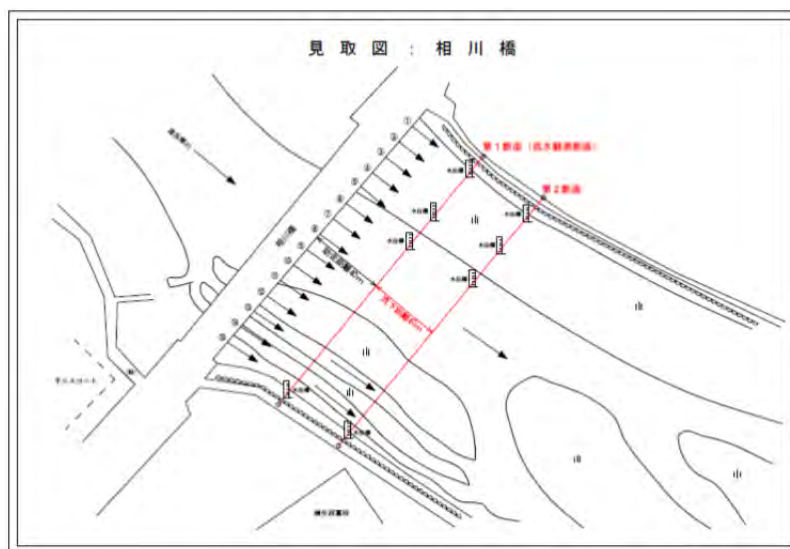


図 5.2-10 相川橋 流量観測断面の平面図



図 5.2-11 相川橋付近の状況 (平成 26 年 5 月撮影)

### (3) 観測結果の整理

高津戸ダム放流量と高津戸地点の高水流量の実態把握を行うため、過去の実績洪水を対象に、両者の関係について分析した。

#### 1) 高津戸ダム放流量と高津戸地点の観測流量の比較

図 5.2-12 に高津戸ダム放流量と高津戸地点の観測流量(浮子観測流量, 水位-流量(H-Q)式換算流量)の比較を, 図 5.2-13 に浮子観測流量と水位-流量(H-Q)式換算流量の比較を, 表 5.2-1 に各ピーク流量の一覧を示す。比較結果より, 以下の点が考察される。

##### 【高津戸ダム放流量と高津戸地点の浮子観測流量, 水位-流量(H-Q)式換算流量の比較】

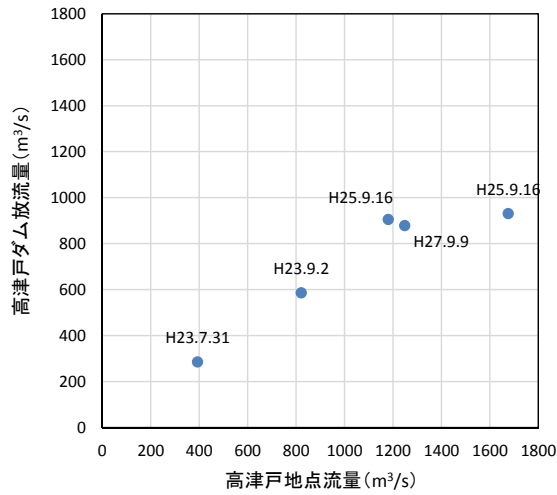
- ✓ 高津戸ダム放流量と高津戸地点の観測流量を比較すると, 高津戸流量に浮子観測流量を用いた場合, H-Q 式換算流量を用いた場合ともに, 高津戸地点の観測流量の方が大きくなる傾向にある。
- ✓ 流量規模が大きくなるに従い, 高津戸ダム放流量と高津戸地点の流量の差は大きくなる傾向にある。

##### 【高津戸地点の浮子観測流量と水位-流量(H-Q)式換算流量の比較】

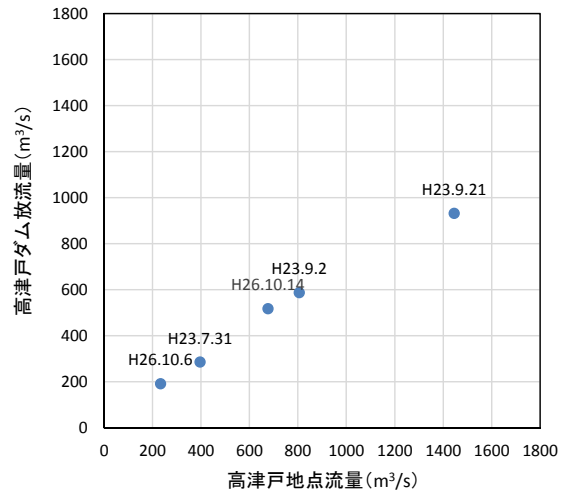
- ✓ 流量規模が小さい場合(約  $800\text{m}^3/\text{s}$  以下), 浮子観測流量と H-Q 式換算流量は同程度であり, 有意な差は見られない。
- ✓ 流量規模が大きい場合は, 浮子観測流量と水位-流量(H-Q)式換算流量に差異が見られる。流量規模の最も大きい平成 23 年 9 月洪水では, 浮子観測流量の方が  $230\text{m}^3/\text{s}$  大きい結果となる。

以上の結果より, 高津戸地点の観測流量(浮子観測流量, 水位-流量(H-Q)式換算流量)の方が高津戸ダム放流量より大きくなる傾向にあり, 両者の流量差の発生要因を明らかにする必要がある。





(a) 浮子観測流量



(a) 水位-流量 (H-Q) 式換算流量

図 5.2-12 高津戸ダム放流量と高津戸地点流量の比較

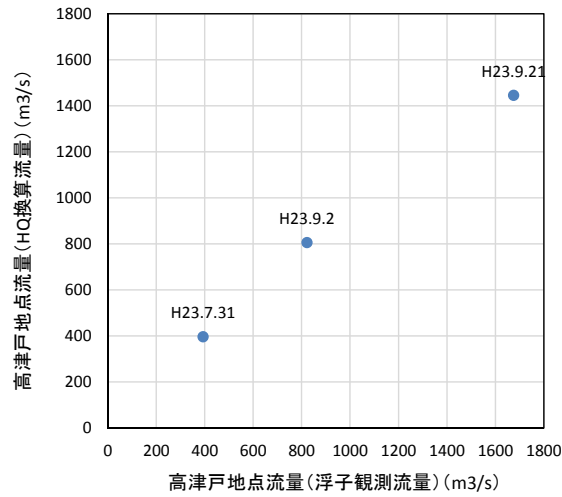
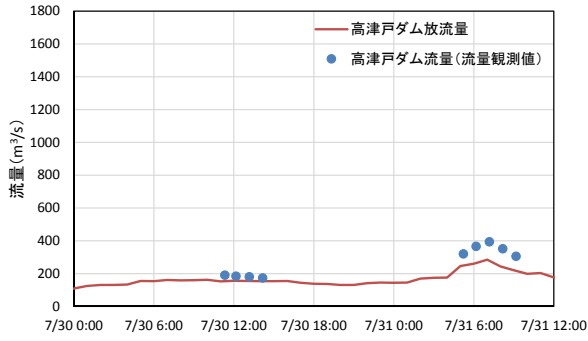


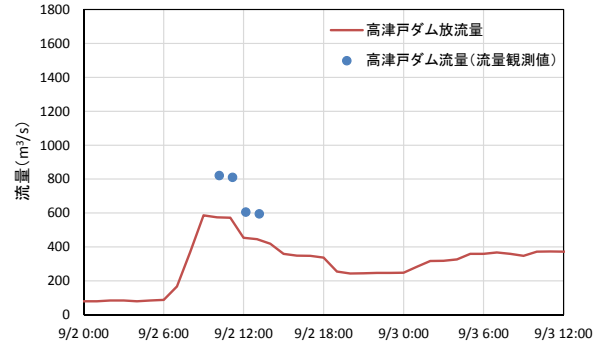
図 5.2-13 浮子流量観測と水位-流量 (H-Q) 式換算流量の比較

表 5.2-1 対象洪水と流量観測手法 (高津戸地点)

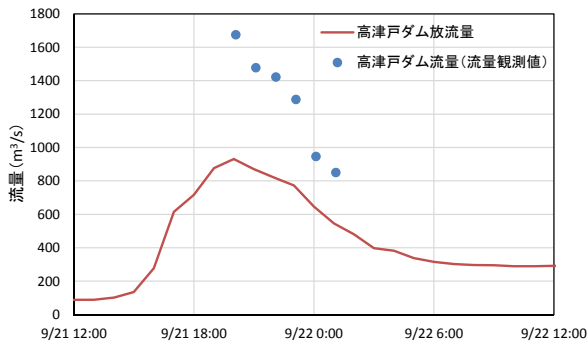
対象洪水	高津戸ダム放流量 (m³/s)	浮子流量観測 (m³/s)	水位-流量 (H-Q) 式換算流量 (m³/s)
平成 23 年 7 月 31 日	285	393	396
平成 23 年 9 月 2 日	586	822	805
平成 23 年 9 月 21 日	931	1,675	1,445
平成 25 年 9 月 16 日	905	1,180	—
平成 26 年 10 月 6 日	191	—	232
平成 26 年 10 月 14 日	517	—	676
平成 27 年 9 月 9 日	878	1,248	—



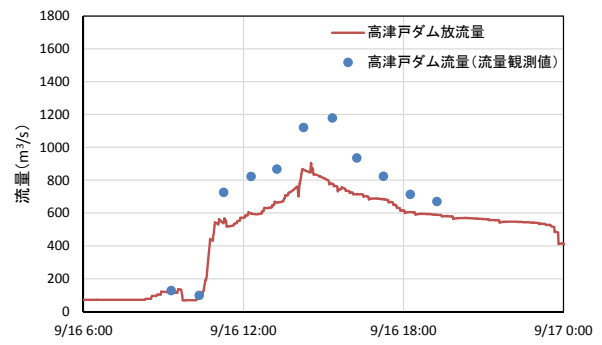
平成 23 年 7 月 31 日



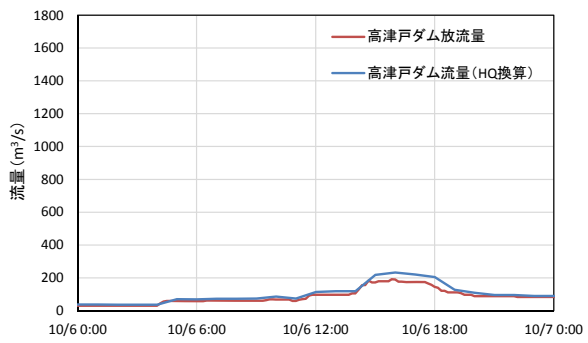
平成 23 年 9 月 2 日



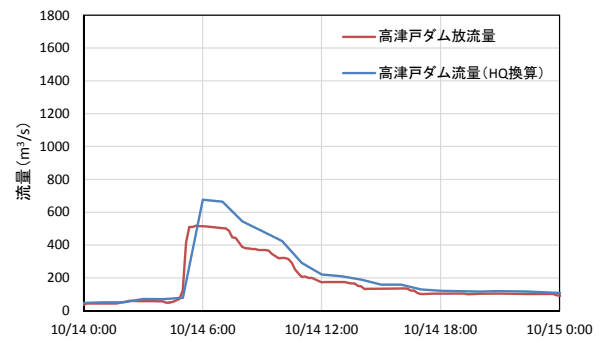
平成 23 年 9 月 21 日



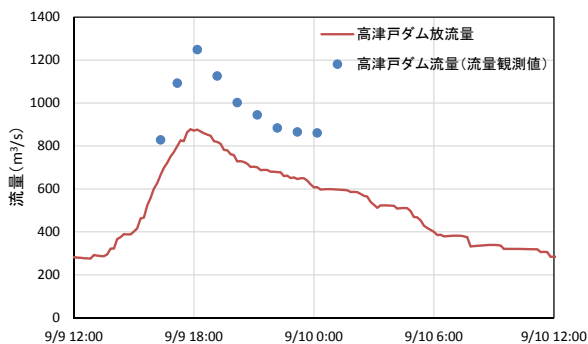
平成 25 年 9 月 16 日



平成 26 年 10 月 6 日



平成 26 年 10 月 14 日



平成 27 年 9 月 9 日

図 5.2-14 各洪水の流量ハイドログラフの比較

## 2) 高津戸流量と相川橋流量の比較

高津戸と相川橋において浮子流量観測が実施されている平成 25 年 9 月洪水，平成 27 年 9 月洪水の観測結果から，両者の浮子観測流量の差異について分析する。

図 5.2-15 に，高津戸と相川橋地点の浮子流量観測結果の比較を示す。以下に得られた考察をまとめて示す。

- ✓ 流量上昇期においては，高津戸流量，相川橋流量ともに同様の傾向をとる。
- ✓ 流量規模が大きくなり約  $1,000\text{m}^3/\text{s}$  を超えると，高津戸流量の方が相川橋流量より大きくなる。この時，平成 25 年 9 月洪水では  $153\text{m}^3/\text{s}$ ，平成 27 年 9 月洪水では  $141\text{m}^3/\text{s}$  の差となる。
- ✓ 流量下降期では，平成 25 年 9 月洪水では，相川橋流量の方が高津戸流量より大きくなる。一方，平成 27 年 9 月洪水では，両者は概ね同等となる。
- ✓ 図 5.2-16～図 5.2-17 は，平成 25 年 9 月洪水における高津戸と相川橋の浮子流量観測における各時間の流速分布を示す。高津戸の流速分布は，流量上昇期，流量下降期においては，最大流速が河道の左岸側に発生している。しかし，流量ピーク時においては，最大流速は河道の中央部～右岸側に発生しており，最大で  $5.0\text{m/s}$  の流速が発生する。
- ✓ 相川橋の流速分布は，左岸側の低水路部で発生している。流量ピーク付近においても同様の傾向を示しており，時間変化に伴う特異な流速等は発生していない。

以上より，高津戸橋と相川橋の浮子流量観測結果を比較すると，流量ピーク時において，高津戸橋の流量が大きくなる傾向が見られる。

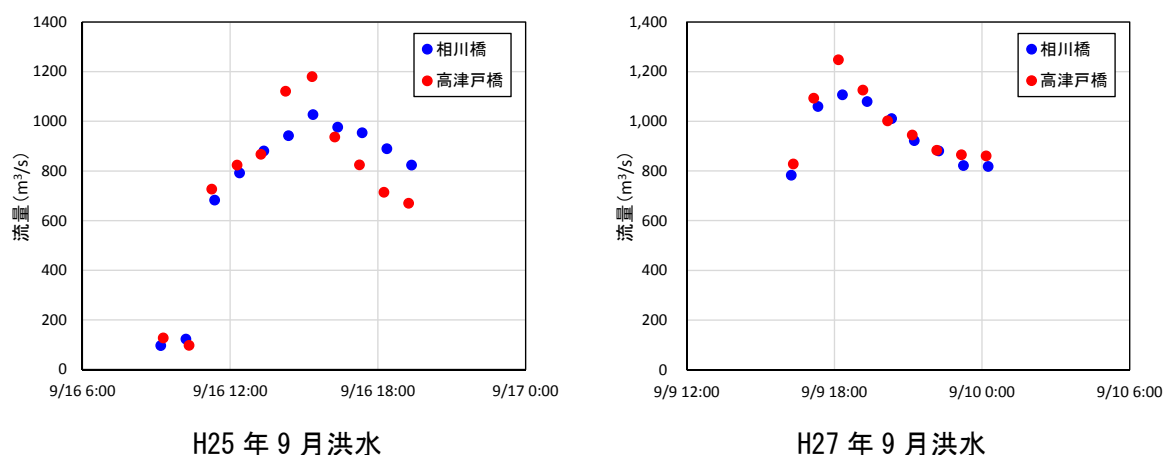


図 5.2-15 高津戸と相川橋地点の浮子流量観測結果の比較

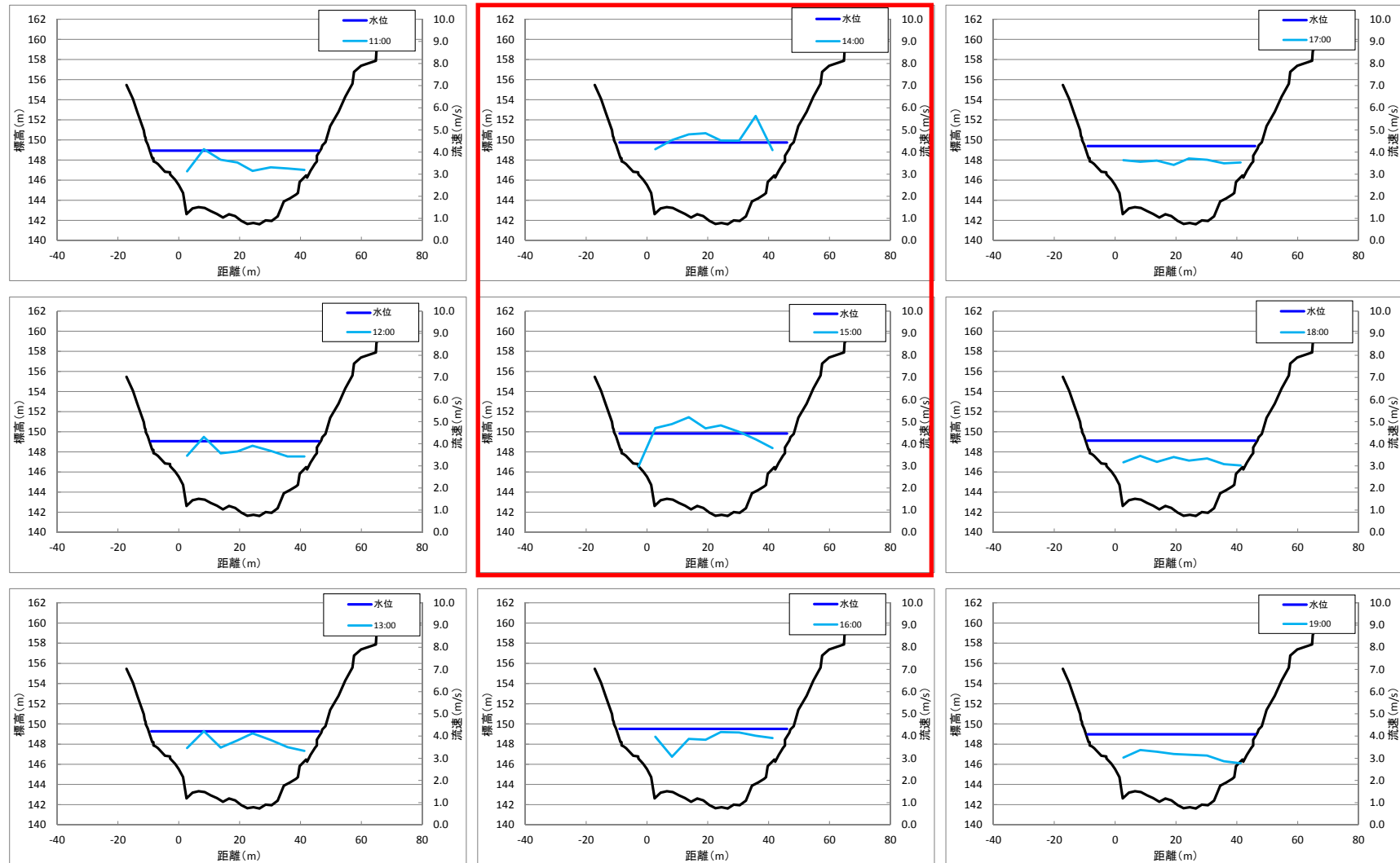


図 5.2-16 高津戸地点の流速分布 (H25 洪水 浮子流量観測)

  ピークの時間帯を示す



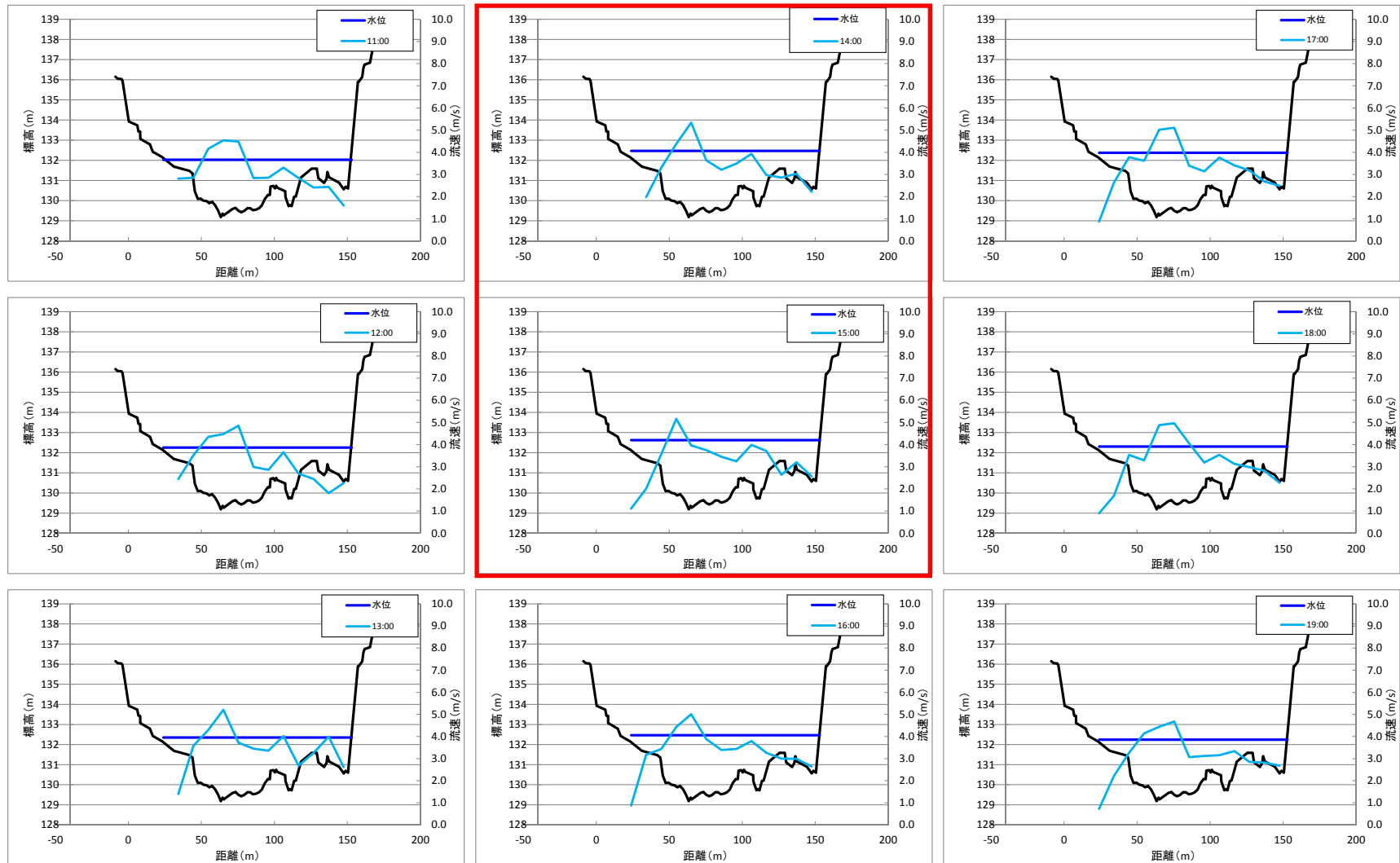


図 5.2-17 相川橋地点の流速分布 (H25 洪水 浮子流量観測)

ピークの時間帯を示す

## 5.3 観測水面形の時系列データに基づく流量，ダム放流量の検証

### 5.3.1 ダム下流河道における高津戸地点の流量の検証

高津戸地点における流量観測の精度には，高津戸橋付近が溪谷部であり川幅が狭いこと，河床低下に伴い流量観測断面付近で河床高が逆勾配になっていること等の地形的要因による影響が懸念される．このため，高津戸地点の高水流量については，この地形的要因が流量観測精度に及ぼす影響を適切に評価することが重要である．

これまで福岡ら<sup>5)~6)</sup>は，洪水時に観測された河川の水面形の時系列データを用いた洪水解析（平面二次元解析，一般底面流速解析法）を行い，多くの河川の洪水流の実態解明に有効性が確認されており，河道を流下する流量を工学的に十分な精度で算定することが可能となる．これらの知見を踏まえ，高津戸ダム下流区間では，高津戸付近の高水流量の検証を目的として，高津戸～相川橋の区間を対象に簡易圧力式水位計を設置し，平成 25 年 9 月洪水，平成 27 年 9 月洪水において，詳細な観測水面形の時系列データの観測が行われている．

本検討では，観測された水面形の時間変化を解とした一般底面流速解析法により，ダム下流区間における河道流量を算定し，ダム放流量との比較を行う．

#### (1) 水位観測体制

高津戸橋～相川橋の区間では，平成 25 年 9 月洪水，平成 27 年 9 月洪水を対象に，複数の水位計を設置することで，詳細な観測水面系の時系列データの観測が行われている．図 5.3-1 に水位，流量観測位置を，図 5.3-2 に水位観測地点の状況写真を示す．

水位計は約 500m 間隔で計 5 箇所に設置されており，高津戸橋，相川橋を含めると計 7 地点で水位観測が行われている．また，浮子流量観測は，高津戸橋地点，相川橋地点で実施されている．



図 5.3-1 水位・流量観測位置



高津戸橋から上流を望む



水位計 1-4



水位計 1-3



水位計 1-2



相川橋から上流を望む

図 5.3-2 水位観測地点の状況 (平成 26 年 5 月撮影)

## (2) 検討条件

本検討では、高津戸ダム下流区間における高水流量を算定することを目的とし、渓谷区間の川幅が狭い区間の流況、高津戸付近の河床高が逆勾配となっている区間の流れの三次元性を考慮するため、一般底面流速解析法を用いる。表 5.3-1 に検討条件を示す。本検討では、平成 25 年 9 月洪水と平成 27 年 9 月洪水の 2 ケースについて検討を行う。

表 5.3-1 検討条件（高津戸ダム下流区間の検討）

項目	検討条件
対象区間	53.0km～56.5km 区間
対象洪水	平成 25 年 9 月 16 日出水 平成 27 年 9 月 9 日出水
横断データ	H22 測量データ
境界条件 (水理量)	上流端:高津戸観測水位 下流端:水位計 1-1
粗度係数	平成 25 年 9 月洪水 : 粗度係数 0.053～0.087 平成 27 年 9 月洪水 : 粗度係数 0.069～0.087 樹木群透過係数 : 50(樹木繁茂エリアは航空写真より設定)

### 1) 解析メッシュ、地形条件

図 5.3-3 に解析対象範囲と解析メッシュを示す。本検討では、高津戸ダム下流区間において水面形の時系列データが観測されている水位計 1-1～1-5 と水位・流量観測所である高津戸、相川橋を包括して設定することとし、渡良瀬川 53.0k～56.5k の区間を対象とした。

高津戸ダム下流区間における堤防線形の湾曲形状や、高津戸付近の三次元的な流れ機構を考慮するため、一般曲線座標系により解析メッシュを作成した。各計算メッシュに与える地盤高は、本検討で対象としている平成 25 年 9 月洪水、平成 27 年 10 月洪水以前に測量された平成 22 測量データ (250m ピッチ) を採用することとした。また、測線間の地形については、測線部の横断データを直線内挿することにより作成した。

図 5.3-4 に、解析メッシュにおける河床高コンター図を示す。



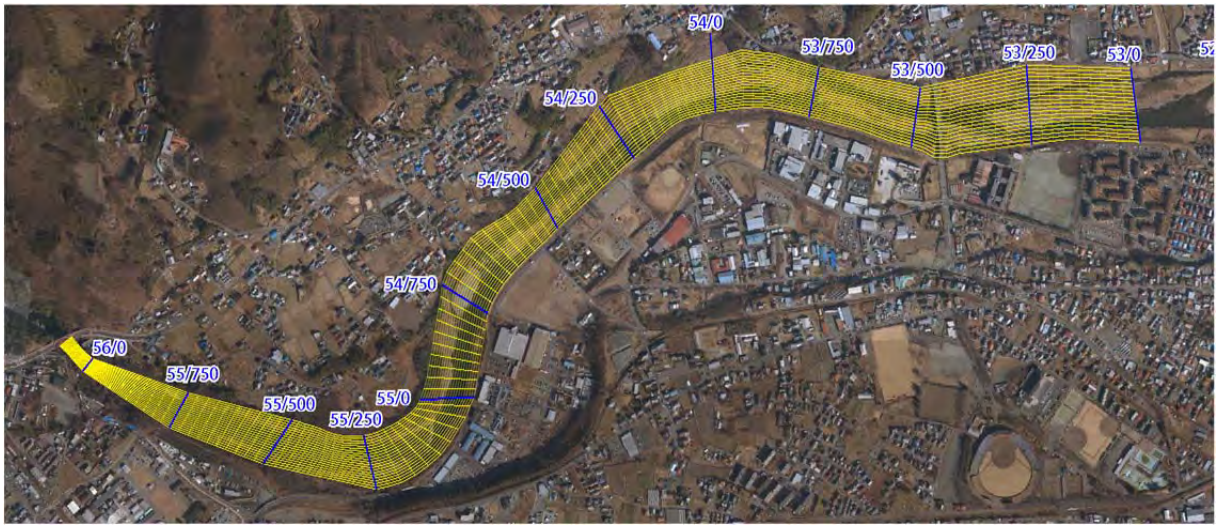


図 5.3-3 解析対象範囲と解析メッシュ

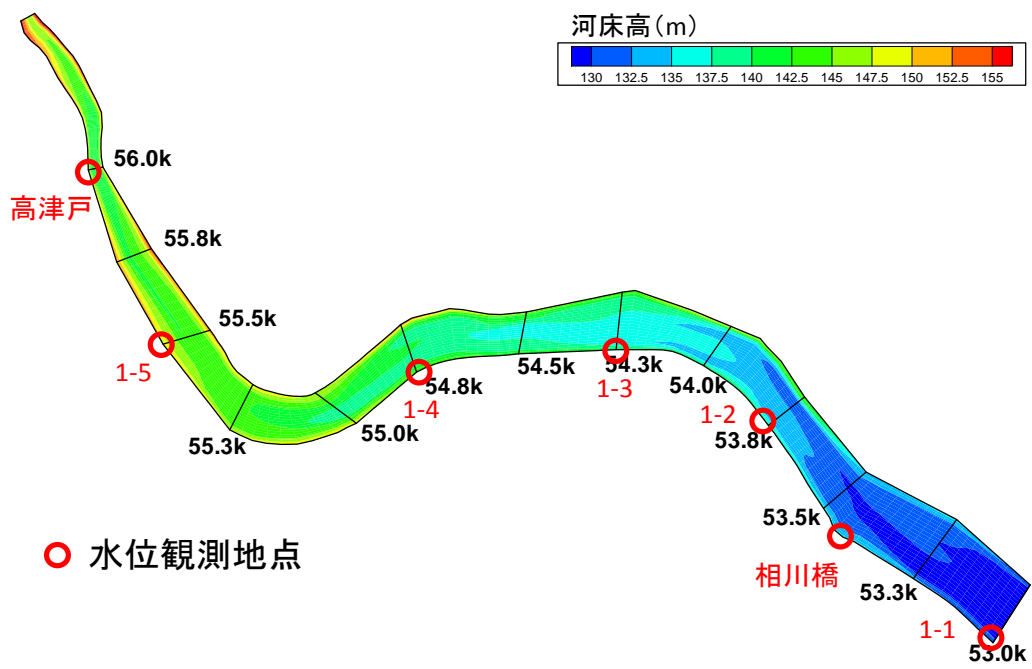


図 5.3-4 河床高コンター図

## 2) 境界条件

境界条件は、上流端は高津戸地点の水位ハイドログラフを、下流端は水位計 1-1 の水位ハイドログラフを設定する。

### a) 平成 25 年 9 月洪水

図 5.3-5 に境界条件として設定した平成 25 年 9 月洪水の水位ハイドログラフを示す。

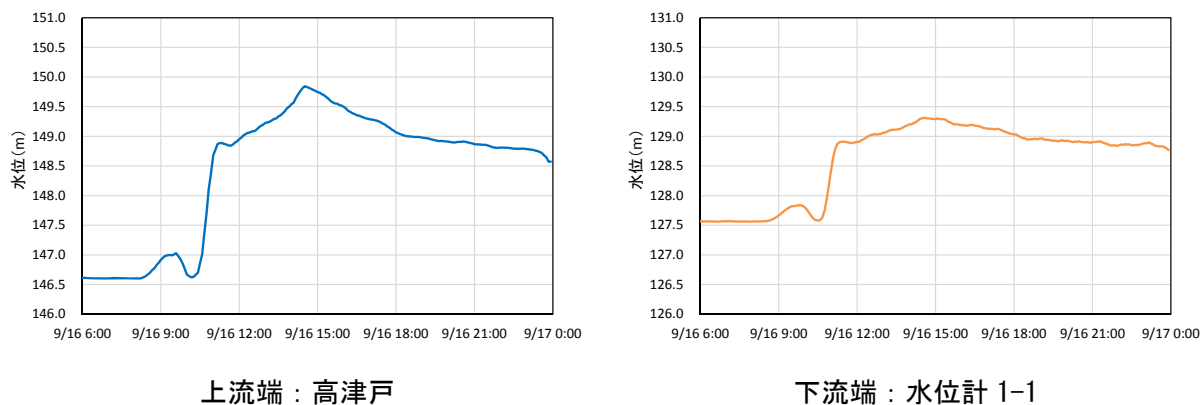


図 5.3-5 境界条件 水位ハイドログラフ (平成 25 年 9 月洪水)

### b) 平成 27 年 9 月洪水

図 5.3-6 に境界条件として設定した平成 27 年 9 月洪水の水位ハイドログラフを示す。

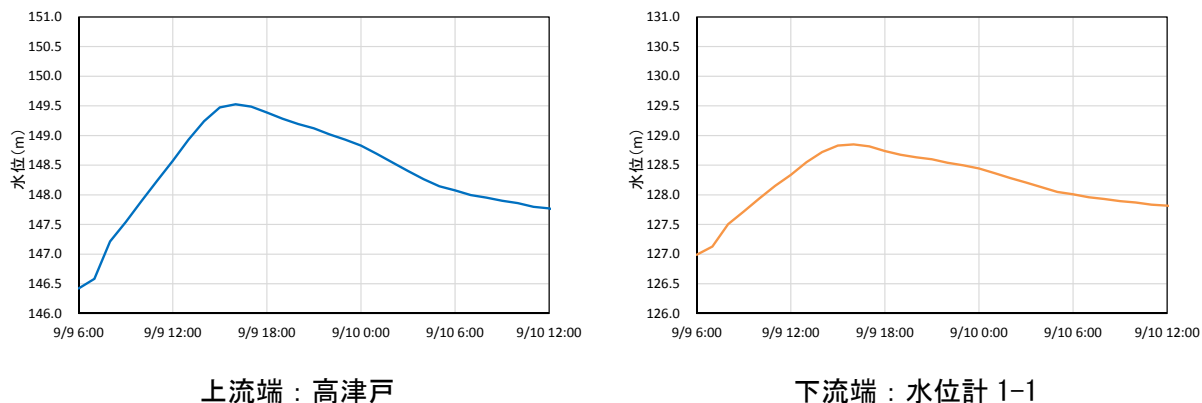


図 5.3-6 境界条件 水位ハイドログラフ (平成 27 年 9 月洪水)

### 3) 粗度係数及び樹木群透過係数

粗度係数は、観測水面形の時系列データを再現するよう、図 5.3-7 に示すように時間的に変化させて設定することとした。水位が低い時間帯は  $n=0.087$ 、ピーク付近は  $n=0.053$  を設定した。

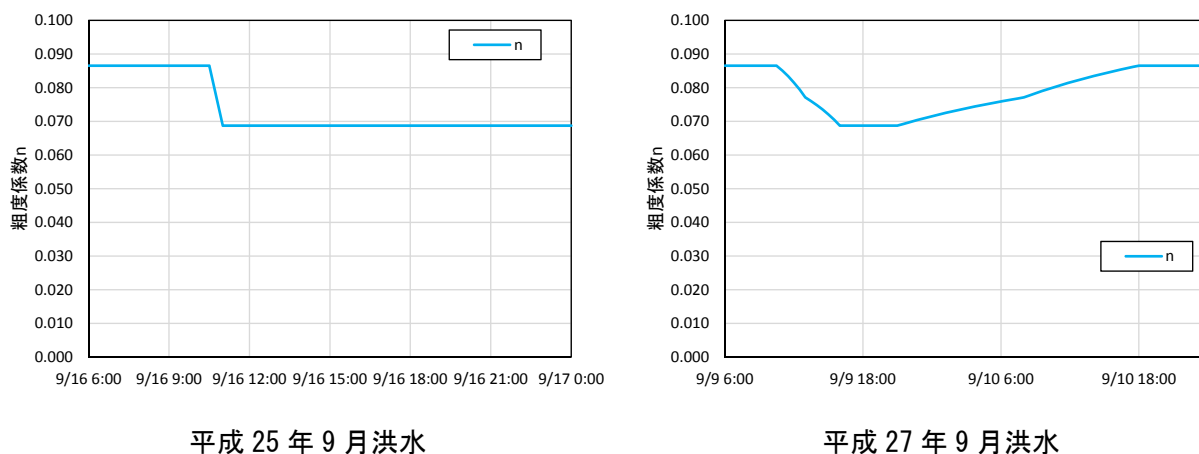


図 5.3-7 粗度係数の時間変化

樹木群透過係数は、図 5.3-8 に示す領域において一律  $k=50$  を設定した。なお、樹木繁茂範囲は、航空写真より判別を行っている。

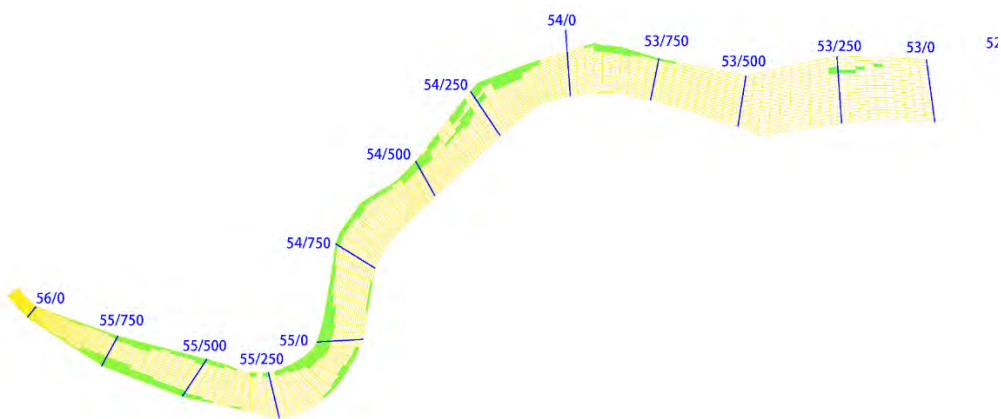


図 5.3-8 樹木群透過係数の設定箇所

### (3) 検討結果

#### 1) 縦断的な水面形の時間変化の比較

図 5.3-9 に縦断水面形の解析値と観測値の比較を示す。平成 25 年 9 月洪水，平成 27 年 9 月洪水ともに，流量上昇期，流量ピーク，流量下降期ともに解析水位は観測水位を再現している。なお，水位計 1-2 では，水位の低い時間帯において解析水位と観測水位に差異が見られる。これは，図 5.3-2 の水位計 1-2 の設置地点の写真から分かる様に，当該地点には植生が繁茂しており，水位の低い時間帯の水位については，水位が局所的に高く観測されている可能性がある。

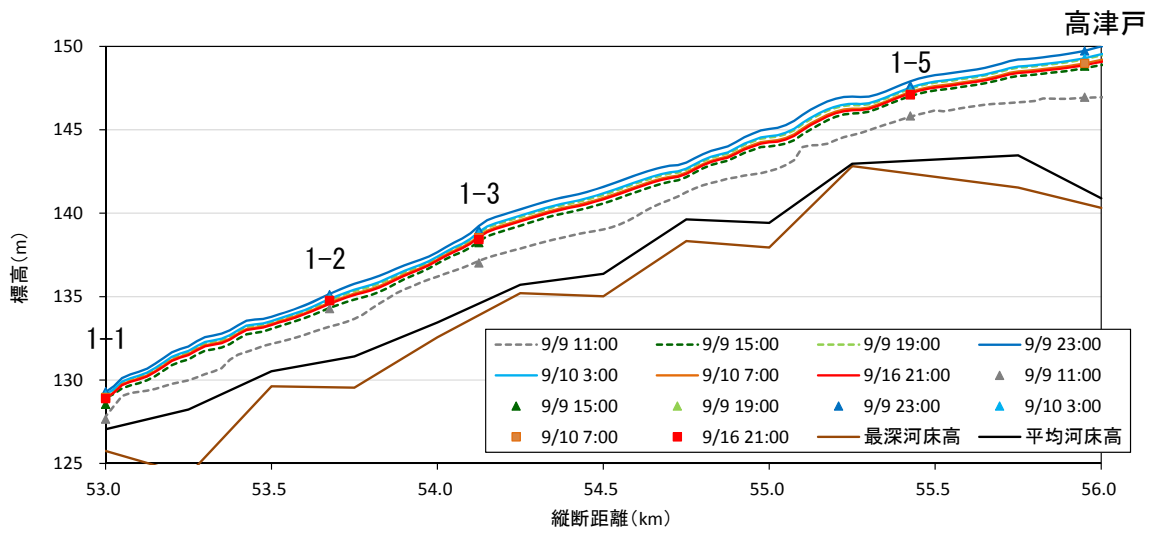
#### 2) 流量ハイドログラフの比較

図 5.3-10 に流量ハイドログラフの解析値と観測値の比較を示す。

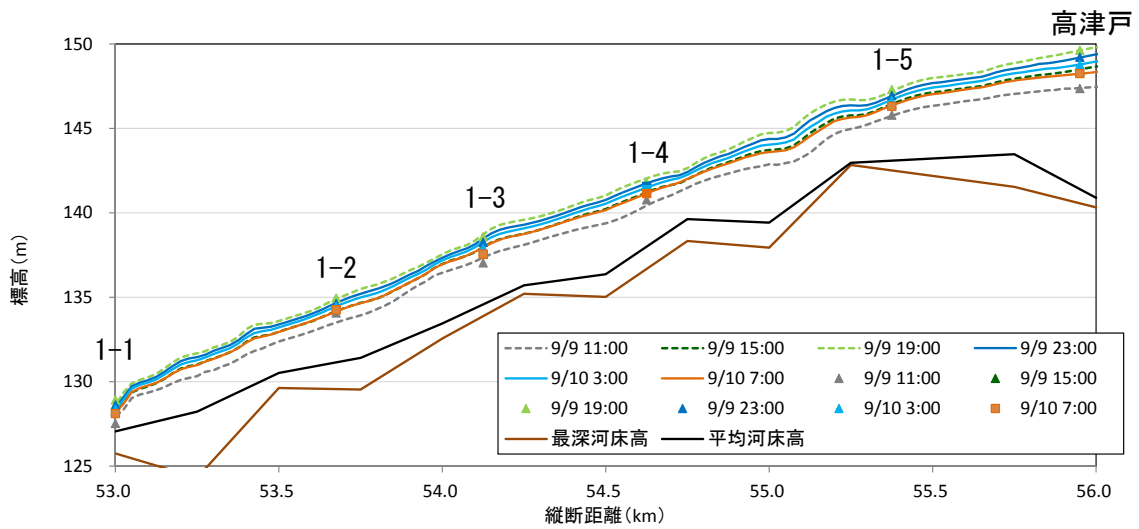
平成 25 年 9 月洪水では，観測水面形の時間変化を概ね再現することで，解析流量ハイドログラフは，相川橋の浮子流量観測結果と対応する結果となる。解析流量ハイドログラフと高津戸ダム放流量を比較すると，流量規模が大きくなる 9/16 11:00 以降においては，全体的に約  $200\text{m}^3/\text{s}$  程度，解析流量の方が観測流量より大きくなる。平成 27 年 9 月洪水では，平成 25 年 9 月洪水と同様に，解析流量ハイドログラフは，相川橋の浮子流量観測結果を表現する結果となる。解析流量ハイドログラフと高津戸ダム放流量を比較すると，流量規模が大きくなる 9/9 18:00 以降においては，全体的に約  $200\text{m}^3/\text{s}$  程度，解析流量の方が観測流量より大きくなる。また，解析流量ハイドログラフと高津戸の浮子流量観測結果を比較すると，流量上昇期では解析流量ハイドログラフは観測水位を表現しているものの，ピーク付近では観測流量の方が解析流量ハイドログラフより大きくなり，流量下降期では解析流量の方が観測流量ハイドログラフより大きくなる。また，解析流量ハイドログラフと相川橋の浮子流量観測結果と比較すると，全時間にわたり，観測流量を表現する結果となる。

以上より，高津戸ダム放流量は，洪水期間中の全時間にわたり流量が小さく評価されていることから，現行のダム管理におけるダム放流量算定式の算定精度の低下要因について分析する必要がある。



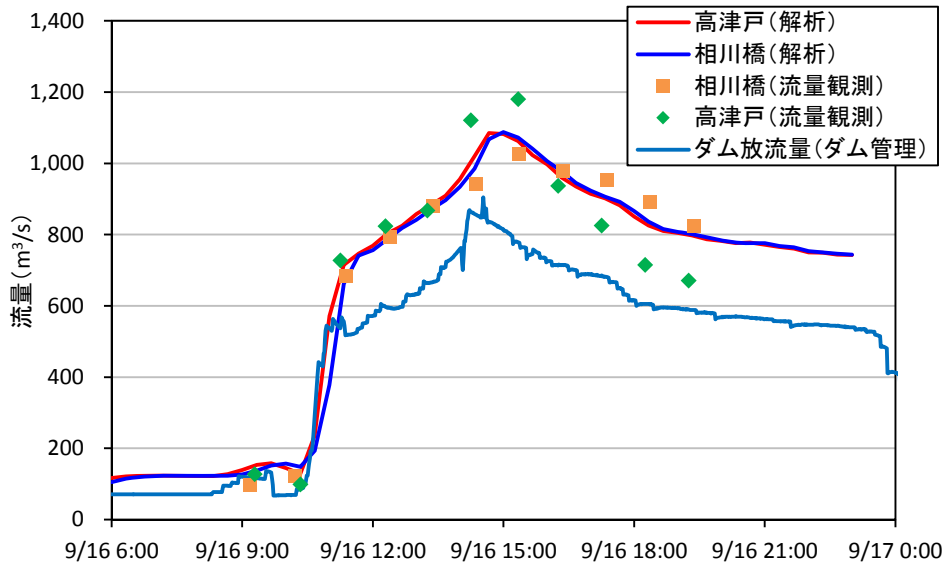


(a) 平成 25 年 9 月洪水

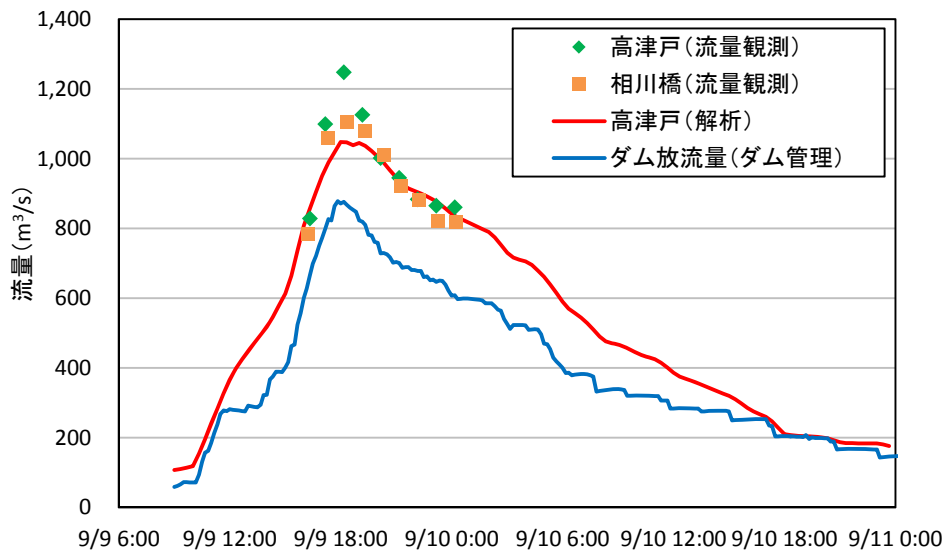


(b) 平成 27 年 9 月洪水

図 5.3-9 縦断水面形の解析値と観測値の比較



(a) 平成 25 年 9 月洪水



(b) 平成 27 年 9 月洪水

図 5.3-10 解析流量と観測流量の比較

### 5.3.2 ダム貯水池における洪水流動の検討

土砂堆積により河道化した小規模ダム貯水池では、貯水池内で強い流動が発生する点に特徴がある。このため、洪水時における貯水池内の水面は水平にならず縦断水面形は勾配を有しており、堤体付近では接近流速が発生する。現行のダム放流量は、接近流速を無視できるとした比エネルギー式より評価されているが、小規模ダム貯水池では、接近流速の影響を無視できず、現行の放流量評価法で計算された放流量は、実際に放流されている放流量に対し、小さく評価される恐れがある。これらの現象を明らかにするには、ダム貯水池内の洪水流の流動機構を明らかにし、接近流速の増大にともなう影響を考慮したダム放流量の評価法の確立が必要となる。

高津戸ダム貯水池と上流河川では、貯水池内の流動把握を目的として、圧力式水位計を設置し、平成 27 年 9 月洪水において、観測水面形の時系列データの観測が行われている。

ここでは、観測された水面形の時間変化を解とした一般底面流速解析法を用い、貯水池内の洪水流動を把握する。本検討より得られた結果を基に、河道化した小規模ダム貯水池のダム放流量評価法を検討する。

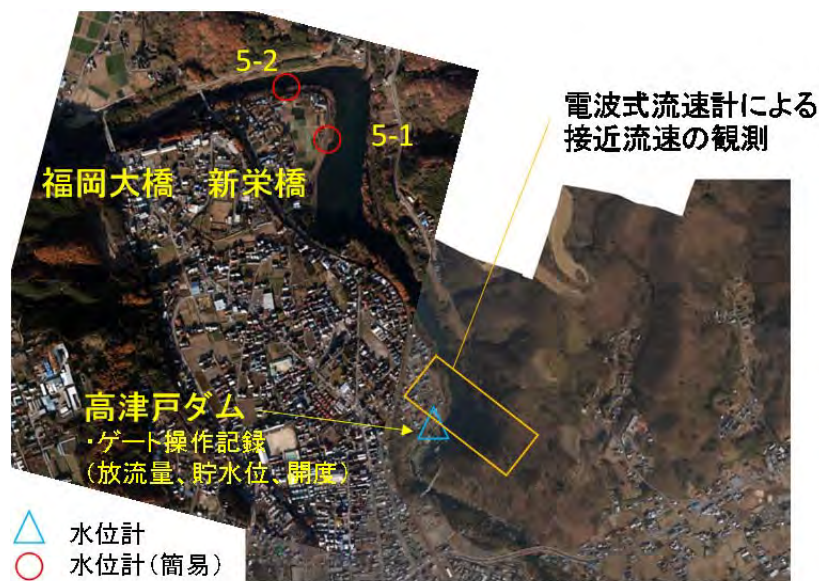


図 5.3-11 水位・流量観測位置

## (1) 検討条件

本検討は、ダム貯水池内の土砂堆積により河道化が進行していることから、河川で用いられる一般底面流速解析法を用いる。図 5.3-2 に検討条件一覧を示す。なお、各解析条件の詳細については次項以降にまとめて示す。

表 5.3-2 検討条件（高津戸ダム上流区間の検討）

項目	検討条件
対象区間	新栄橋上流～高津戸ダム
対象期間	平成 27 年 9 月 9 日出水
横断データ	H25 測量データ
境界条件 (水理量)	上流端:水位計 5-1 下流端:高津戸ダム貯水位
粗度係数	平成 27 年 9 月洪水 :粗度係数 0.028～0.042 樹木群透過係数 :50(樹木繁茂エリアは航空写真より設定)

### 1) 検討対象区間

図 5.3-12 に検討対象範囲と解析メッシュを示す。高津戸ダム貯水池は、貯水池の背水の影響が No.16 の地点まで達する。そこで、本検討では、境界条件設定箇所において背水の影響がかからないようにするため、対象区間を新栄橋地点～ダム堤体までの区間を対象とした。

本検討では、高津戸ダム貯水池内の複雑な湾曲形状や No.10～No.11 区間における流路の急縮形状を表現するため、一般曲線座標系による格子形成を行った。各計算メッシュに与える地盤高は、平成 25 測量データ（100m ピッチ）を採用することとした。また、測線間の地形については、測線部の横断データを直線内挿することにより作成した。

図 5.3-13 に河床高コンター図を示す。

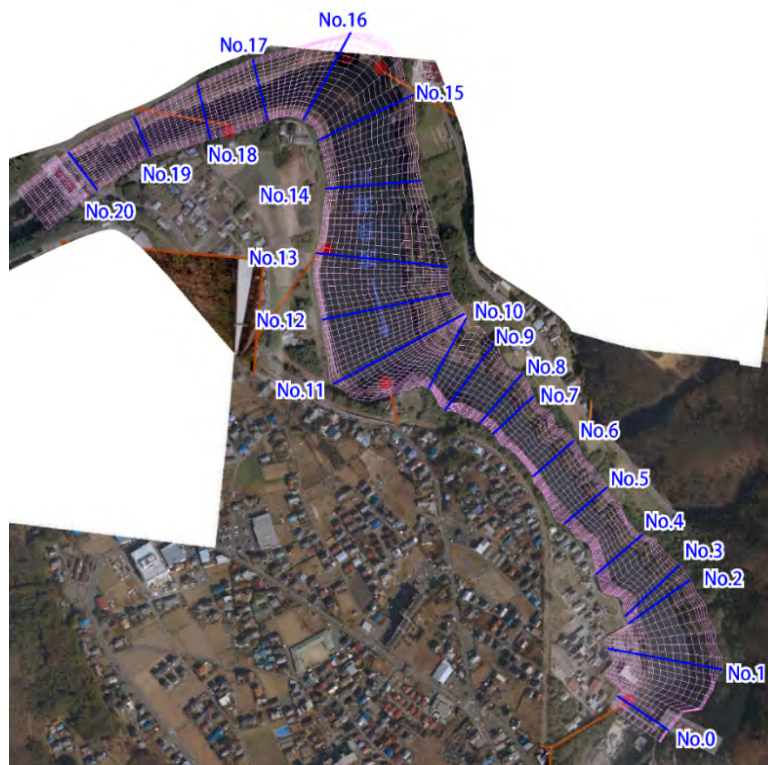


図 5.3-12 解析対象範囲と解析メッシュ

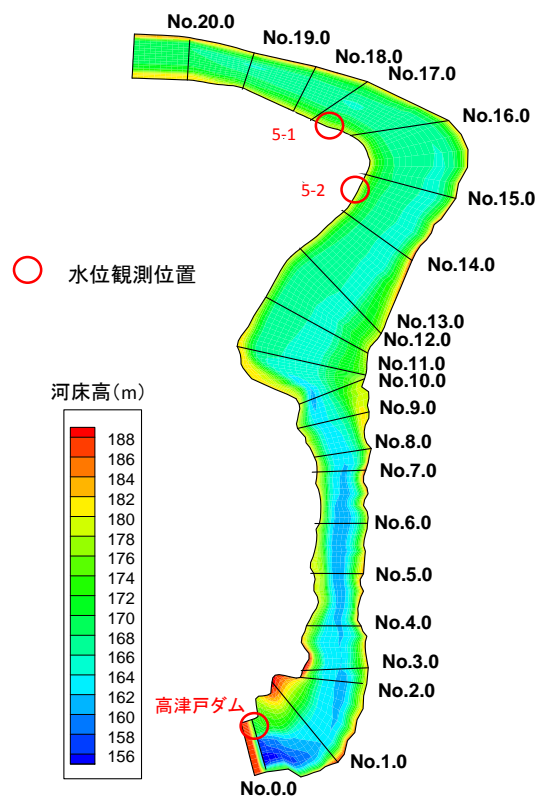
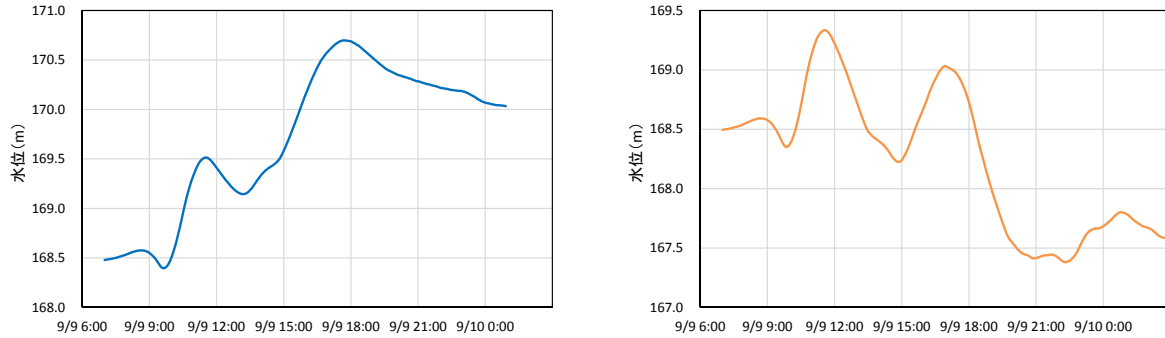


図 5.3-13 河床高コンター図



## 2) 境界条件

境界条件は、上流端は水位計 5-2 で観測されている水位ハイドログラフを、下流端は高津戸ダム貯水位を設定する。図 5.3-14 に境界条件として設定した水位ハイドログラフを示す。



上流端：水位計 5-2

下流端：ダム貯水位

図 5.3-14 境界条件 水位ハイドログラフ

## 3) 粗度係数及び樹木群透過係数

粗度係数は、観測水面形の時系列データを再現するよう、 $n=0.028\sim 0.042$  で時間的に変化させて設定することとした。

樹木群透過係数は、高津戸ダム下流区間で採用した値を参考とし、図 5.3-15 に示す領域において一律  $k=50$  を設定した。なお、なお、樹木繁茂範囲は、航空写真より判別を行っている。

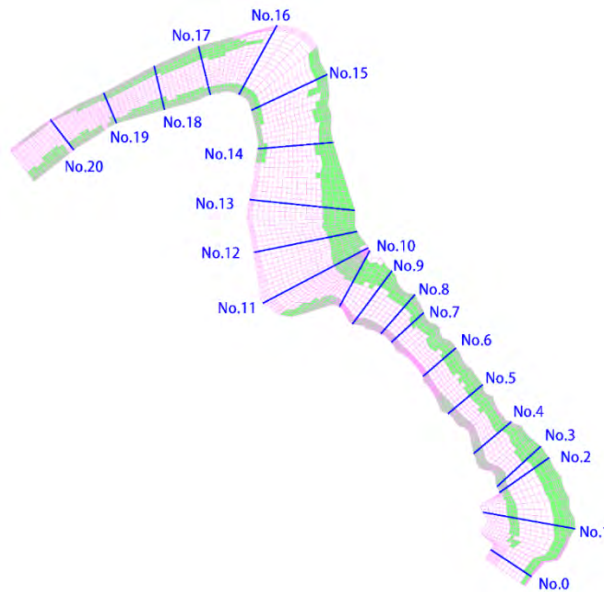


図 5.3-15 樹木群透過係数の設定箇所

#### 4) 高津戸ダムの取り扱い

図 5.3-16 に高津戸ダムの平面図，正面写真を示す．高津戸ダムの放流操作は，4 門の鋼製ラジアルゲートにより行われる．本検討では，下流端のダム放流ゲートの条件として，ゲート操作により放流量フラックス，渦度フラックスが，ダム下流河道に放流される機構をモデル化した．放流量は，ダム貯水位観測地点において，解析水位が貯水位を表現するようにゲート開度を調整し，放流量フラックスを設定している．渦度フラックスは，ダム堤体前面の解析メッシュにおける渦度の内，ゲート開度分だけ下流に放出されるものとしモデル化した．なお，高津戸ダムでは，ゲートからの放流に伴い貯水池内では接近流量が発生する．本検討では，図 5.3-17 に示すように，ダム堤体から受ける流体力をゲート上部に働く静水圧に加え，接近流速により生じる動圧を考慮している．

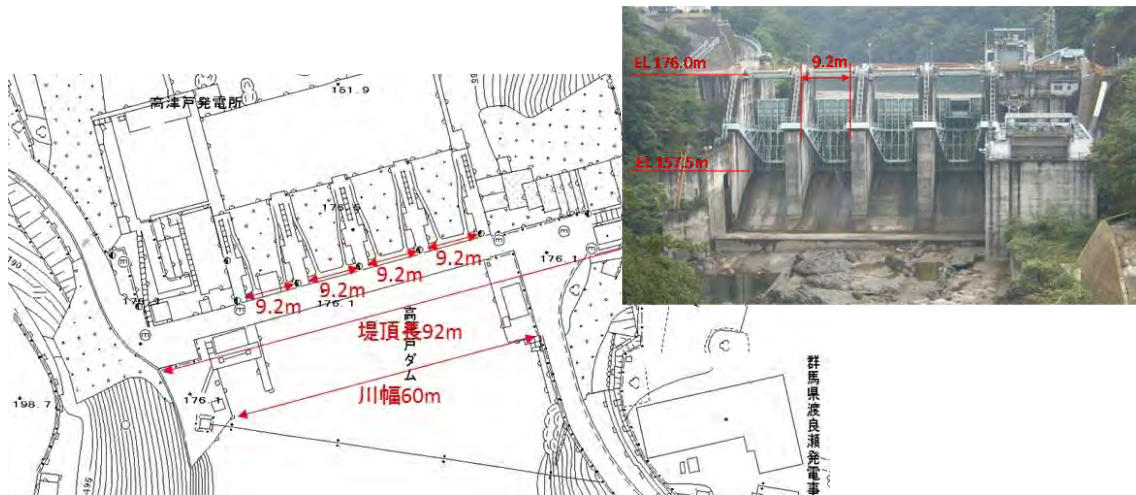


図 5.3-16 高津戸ダム平面図，正面写真

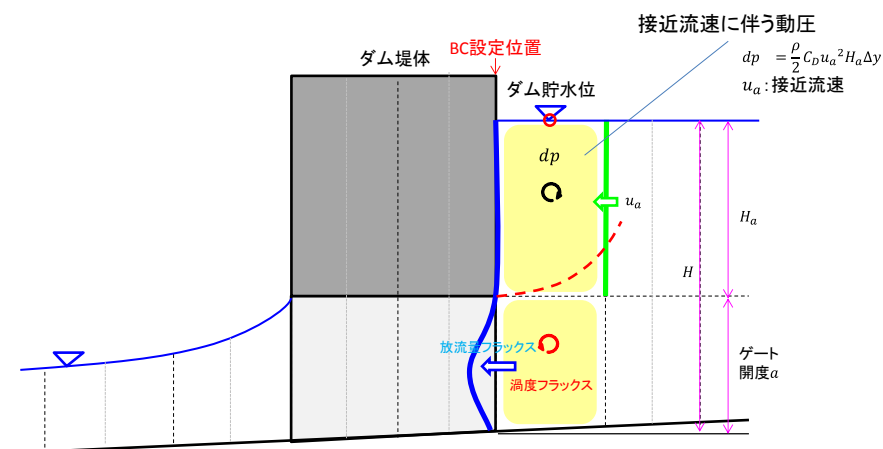


図 5.3-17 堤体付近の境界条件の設定

## (2) 検討結果

図 5.3-18 に縦断水面形の解析値と観測値の比較を示す。小規模貯水池では、貯水池区間で水面勾配が緩くなるものの、大規模貯水池の様に、貯水池の水面が水平になることはなく、縦断的に勾配を有している。水面形が、縦断的な勾配を持つことは、貯水池内に流れが生じていることを意味している。

図 5.3-19 に流量ピーク時の高津戸ダム貯水池の流況として流速コンター図を示す。貯水池内の流況を確認すると、高津戸ダムに流入する洪水流の流速は、流量ピーク時で約 6.0m/s 程度であり、貯水池内に流入することで、約 3.0~4.0m/s まで減速する。また、No.10 より下流区間になると、川幅が狭くなるため流速が大きくなる傾向にある。高津戸ダム堤体付近の接近流速を見ると最大で約 3.0m/s 程度となる。この時の堤体付近の接近流速を図 5.3-20 に示す。解析結果と観測結果を比較すると、解析結果は、観測結果の流速値、分布の傾向を表現している。

図 5.3-21 に解析の洪水流入量、放流量と、現行のダム管理における洪水放流量の比較を示す。草木ダム貯水池では、解析の上流河川流量、放流量はほぼ同じ形状を有しており、流量ハイドログラフの変形、遅れは生じていない。これは、貯水池規模が小さいこと、貯水位を一定とするダム操作により、貯留量が生じていないことが主要因である。解析のダム放流量と観測のダム放流量を比較すると、全体的に解析値の方が大きい結果となる。この結果は、ダム下流区間の結論と同様であり、接近流速が、現行のダム管理におけるダム放流量の精度劣化要因である。

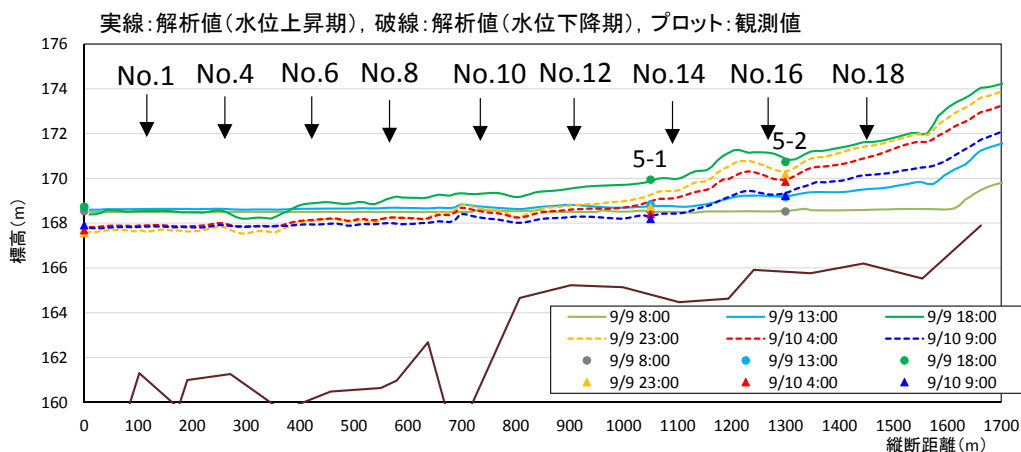


図 5.3-18 縦断水面形の解析値と観測値の比較

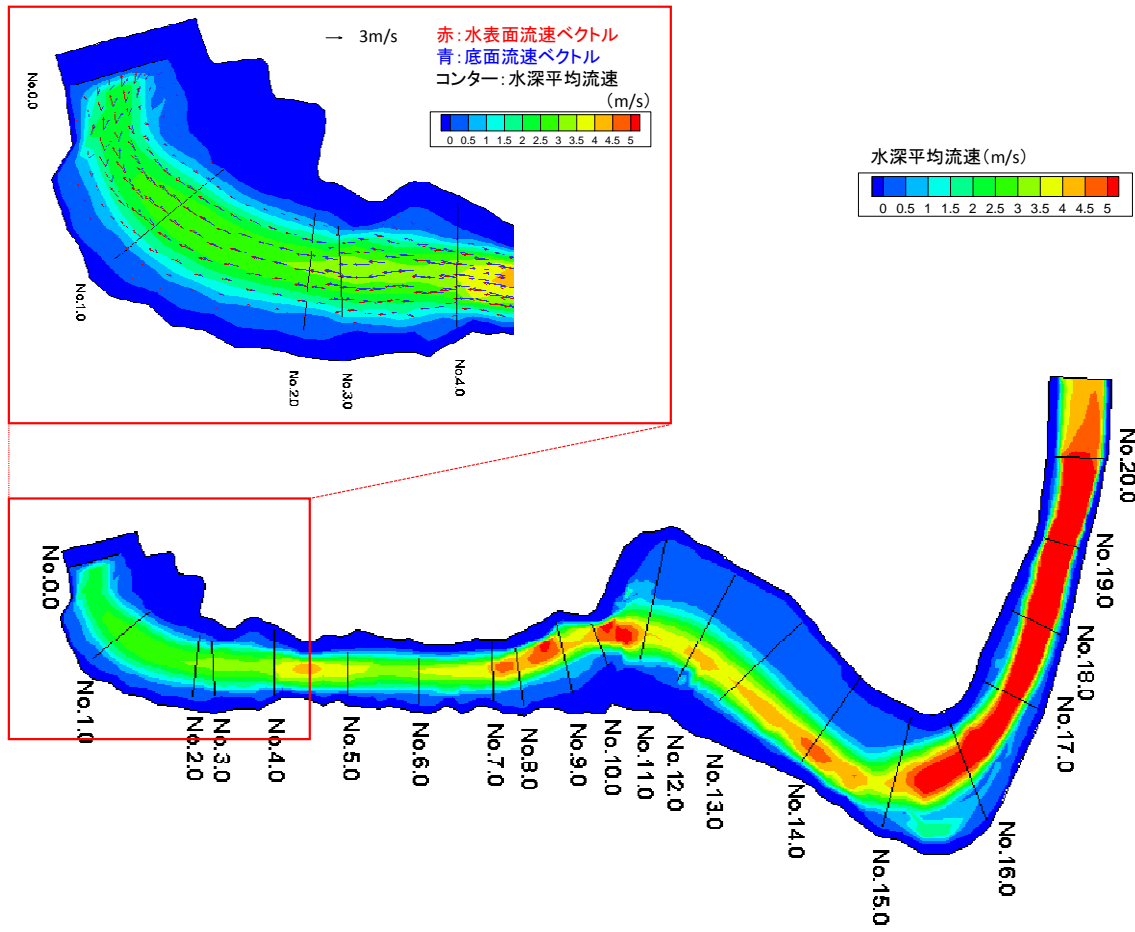


図 5.3-19 高津戸ダム貯水池の流況（流量ピーク時）

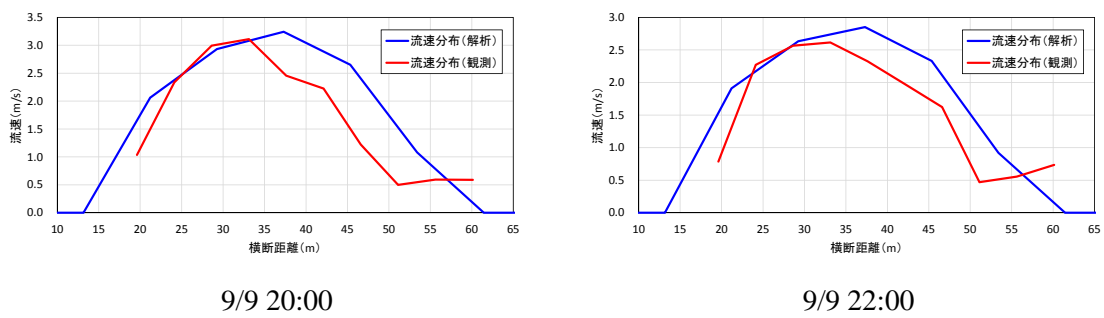


図 5.3-20 堤体付近の接近流速の比較

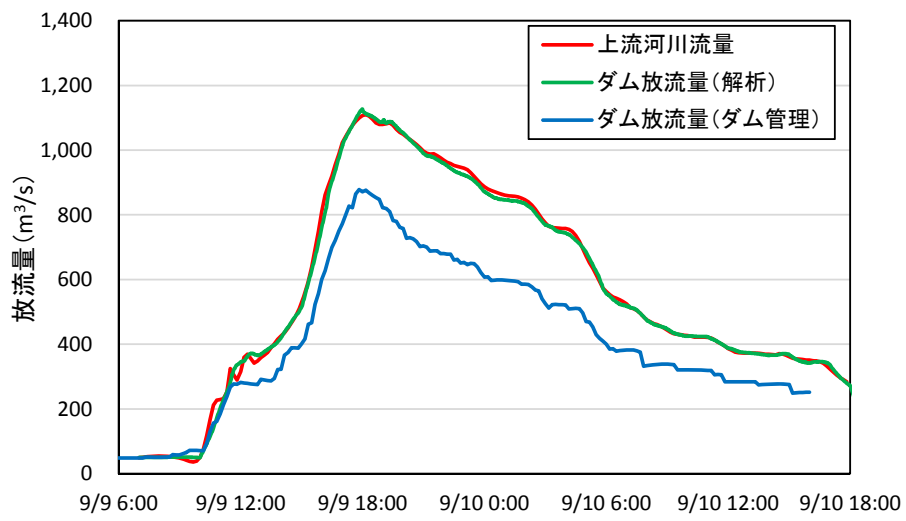


図 5.3-21 ダム流入流量, 放流量の比較



## 5.4 接近流速がダム放流量に及ぼす影響評価

解析結果より、ダム堤体付近では、最大で3.0m/s程度の接近流速が発生していることが明らかとなった。現行の高津戸ダムのダム放流量算定式にはこの接近流速が考慮されていないことから、接近流速がダム放流量に及ぼす影響について考察する。

### (1) 接近流速を考慮したゲート

ダム越流部ゲートを部分開放した場合のダム放流量は、式(5-2)が用いられる。この式は、ゲート全開時 ( $H_2=0$ ) において、堰を越流する式(5-3)と合致する式となっている<sup>7)</sup>。

$$Q_g = K \cdot B \cdot (H_1^{3/2} - H_2^{3/2}) \quad (5-2)$$

$$Q_g = K \cdot B \cdot \left(H + \frac{v_a^2}{2g}\right)^{3/2} \quad (5-3)$$

ここに、 $Q_g$ ：ダム放流量、 $\mu$ ：流量係数、 $B$ ：流出幅、 $H_1$ ：越流頂より水面までの高さ、 $H_2$ ：ゲート下端から水面までの高さ、 $v_a$ ：接近流速を示す。

ダム越流部ゲートを部分開放した場合の式(5-2)と、堰を越流する場合の式(5-3)より、接近流速を考慮した場合の放流量は式(5-4)であらわされる。

$$Q_g = K \cdot B \cdot \left\{ \left( H_1 + \frac{v_a^2}{2g} \right)^{3/2} - H_2^{3/2} \right\} \quad (5-4)$$

上記の関係を、高津戸ダムで使用されているダム放流量のゲート式(5-1)に考慮すると、式(5-5)となる。

$$Q_g = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot B \cdot \sqrt{2g} \cdot \left\{ \left( h_1 + \frac{v_a^2}{2g} \right)^{3/2} - h_2^{3/2} \right\} \quad (5-5)$$

ここに、 $\mu$ ：流量係数、 $a$ ：ゲート開度、 $B$ ：流出幅、 $h_1$ ：越流頂より水面までの高さ、 $h_2$ ：ゲート下端から水面までの高さ、 $v_a$ ：接近流速を示す。

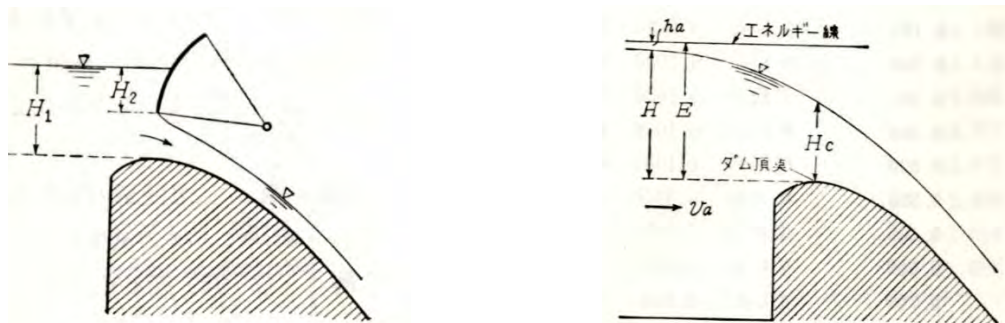


図 5.4-1 ゲート形状とゲート式の諸元

## (2) 接近流速を考慮したダム放流量の算定

図 5.4-2 に接近流速を考慮したダム放流量を示す。図中の緑線は観測水面形の時系列データと一般底面流速解析法により検証したダム放流量、青線はゲート式(式(5-1))より算定した放流量、赤線はゲート式に接近流速を考慮(式(5-5))した放流量を示している。なお、式(5-5)中の接近流速は、ゲート前面の水深平均流速の解析結果を用いて評価している。このため、本検討で用いている接近流速は、堤体付近の川幅変化や貯水池内の縦横断的な河道変化による影響を踏まえた流速である。

接近流速は、高津戸ダム中央付近の第二ゲート、第三ゲートで大きく、流量ピーク時で約 3.0m/s に達する。この接近流速を考慮し算定したダム放流量は、解析より得られたダム放流量、高津戸ダム下流の高津戸の流量より若干小さいものの、その分布傾向を概ね説明する値となっている。なお、放流量算定式中の流量係数は、現行のダム管理における値を使用している。このため、現況の河道化した貯水池状況に対応した値となっていない点に課題を有している。

以上より、ダム放流量の算定精度低下に及ぼす要因の 1 つとして、接近流速の影響は大きいといえる。これより、土砂の堆積により河道化した小規模ダムからのダム放流量の算定には、接近速度水頭の項を付加した放流量式を用いる必要があることを示した。

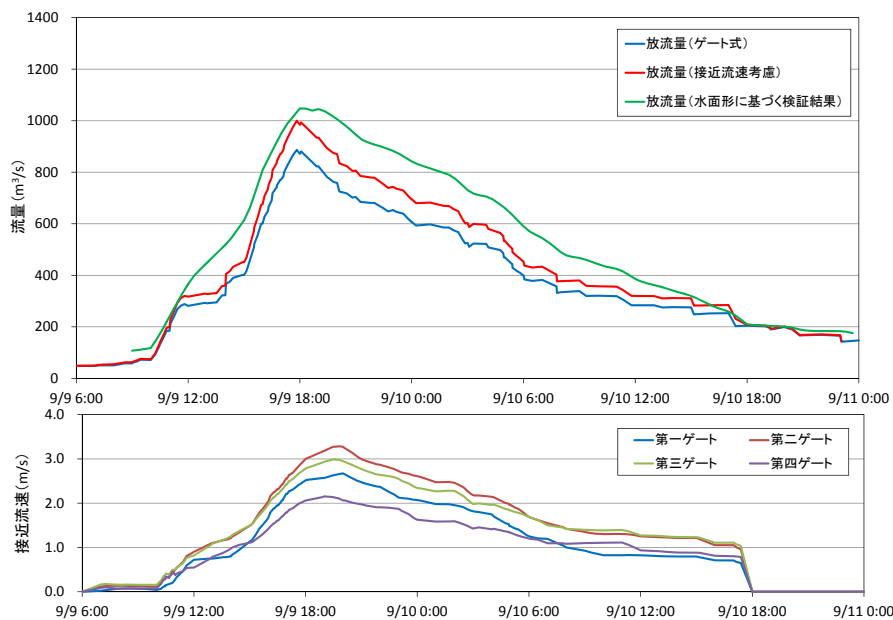


図 5.4-2 接近流速を考慮したダム放流量

## 5.5 まとめ

ダム貯水池への土砂堆積が進行し、河道化した高津戸ダムでは、ダム放流量の算定式から求めたダム放流量と、ダム下流の高津戸地点の浮子観測流量に差異が生じていることを示されてきた。本章では、ダム放流量と浮子観測流量の差異の要因を明らかにするために、高津戸ダム貯水池と、その上下流河川を対象に、観測水面形の時系列データと、一般底面流速解析法による検証を行い、高津戸地点の流量、ダムへの流入量、ダムからの放流量を算定した。その結果、現行のダム管理で用いられているダム放流量は、実際に河道を流下する流量に対し、小さめに評価されていることを示した。

ダム貯水池内の流動特性を調べると、ダム付近の接近流速は、最大で3.0m/s程度発生していることが明らかとなった。また、河道化した小規模ダム貯水池においては、接近流速を考慮した式を用いた放流量は、下流河川の水面形の時間変化から求めた流量ハイドログラフとほぼ一致した。これより、河道化したダムからの放流量には、接近流速による速度水頭を考慮する必要があることを示した。

## 参考文献

- 1) 土木学会：水理公式集，平成11年度版。
- 2) 鈴木洋之，落合厚，九田将茂，溝口敦子：高精度流入量推定法を用いた神通川の小規模ダム群における推定流量の精度評価，水文・水資源学会誌，第21巻，第4号，pp.285-295，2008。
- 3) 鈴木洋之，落合厚，須賀正志，溝口敦子：小規模発電ダム貯水池で洪水時に生じる流量推定精度の劣化，土木学会論文集B，Vol.65，No.2，81-86，2009。
- 4) 鈴木洋之，谷口友梨，河村陽一：庄川の連続ダム群における推定流量の精度劣化要因，水文・水資源学会誌，第24巻，第3号，pp.149-158，2011。
- 5) 福岡捷二：河道設計のための基本は何かー水面形時系列観測値と洪水流ー土砂流の解析を組み合わせた河道水理システムとその見える化，河川技術論文集，第17巻，pp83-88，2011。
- 6) 福岡捷二：実務面からみた洪水流・河床変動解析法の最前線と今後の調査研究の方向性，河川技術論文集，第20巻，pp.253-258，2014。
- 7) 椿東一郎，荒木正夫：水理学演習〈上巻〉，1961。