

令和 3 年 6 月 8 日現在

機関番号：15301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K14730

研究課題名（和文）準三次元洪水流モデルを用いた浮子観測流量の高精度化に関する研究

研究課題名（英文）Improvement of the float measurement method using quasi-3d flood flow analysis

研究代表者

赤穂 良輔（Akoh, Ryosuke）

岡山大学・環境生命科学研究所・准教授

研究者番号：90599333

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、河川流量観測手法の1つである浮子観測による流量算定手法について、準三次元洪水流解析に基づく数値浮子モデルと観測流速を用いて面的な流速分布を推定するDIEX法を併用し、従来の浮子観測による結果を利用して推定精度を向上させる新たな洪水流量推定法の構築および現地適用を行った。直線水路を用いた模型実験および数値実験より、提案手法の基本的なフローの検討および修正効果の検討を行い、最大で約15%の推定精度改善を達成された。さらに、岡山県旭川の中原橋観測所における既往洪水について洪水流解析および本提案手法による推定流量を比較検討した結果、最大で約7%の改善が示され、実務への有用性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我が国の河川における高水流量観測には浮子法が用いられてきた。近年、ADCP（超音波）、電波式（マイクロ波）、画像解析等の高度な観測手法の開発が進められ、実河川での実用化が見られるようになってきているが、これらの観測手法が完全に浮子法の代替として用いられるには、安全性、迅速性、確実性、そしてコストの面でまだ多くの課題が残されている。本提案手法は、既往の浮子法を観測手法自体は変更させることなく、得られた観測値を用いて推定精度を向上させるものであり、実務への適用が比較的低コストな点、過去洪水の浮子観測データの利用可能な点は、治水対策の高度化に有用な特徴であり、社会的な意義があると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we construct a modified calculation method of river flow rate by using a numerical float model based on quasi-three-dimensional flood flow analysis and DIEX method to estimate velocity distribution in cross section using observed velocity data. From channel experiments and numerical experiments, the basic flowchart of the proposed method was examined and the correction effect was investigated. As a result, about 15% was achieved by the proposed method. Furthermore, as a result of comparing and examining the flood flow analysis and the estimated discharge by the proposed method for the past floods at the Nakahara Bridge Observatory in Asahi River, an improvement of up to about 7% was achieved. The proposed method can be used additionally to the existing method, so it is useful in practical for river management.

研究分野：水工学

キーワード：浮子観測 準三次元解析 DIEX法

1. 研究開始当初の背景

我が国の河川における高水流量観測には、昭和29年の国土調査法水位および流量調査作業規定準則（総理府令第75号）が制定されて以来、浮子法が用いられてきた。近年では、ADCP（超音波）、電波式（マイクロ波）、画像解析等の高度な観測手法の開発が進められ、実河川での実用化が見られるようになってきている。しかし、これらの観測手法が完全に浮子法の代替として用いられるには、安全性、迅速性、確実性、そしてコストの面でまだ多くの課題が残されている。

浮子法は水深ごとに適正な長さの浮子を橋などから投下し、下流側に設定した2本の見通し線間の距離および流下時間を測定する簡便な手法であるが、浮子観測から水深平均流速を求めるときに使用する更正係数の妥当性や、浮子投下数の不足による流速横断分布の信頼性、浮子の投下位置による精度の差異、そして計測区間（測線の配置）と浮子の軌跡の差異により生じる流速の誤差などの問題点が指摘されている。更正係数に関する研究として、二瓶ら¹⁾が実河川を対象にADCPを用いて流速分布データを収集し、現行の標準値や既存の理論式との比較を行うことで、更正係数の評価法を整理している。また、浮子観測に用いる流速横断分布は、測線で分割された区分ごとに流速を与え、区分積法を用いて流量を用いられるのが一般的である。これに対し、二瓶らは、流速分布関数を外挿するDIEX法²⁾を提案し、実河川への適用より有効性を示している。一方、投下位置については、河道の湾曲部や見通し線間に中洲が位置し、浮子の流れが偏流するような観測所では、浮子投下位置の変更・見直しが推奨されており、測線の配置についても、多くの河川は断面変化に応じた断面割が合理的である場合が多く、横断面形状に応じた断面割が良いと指摘されている。しかし、投下位置および測線の配置を対象とした研究は申請者が調べた限り存在しておらず、汎用性のある投下位置の設定方法、あるいは測線の修正方法については未だ確立されていない。これらの問題は各観測所で検討が行われているものの、多くの河川では、河道形状の影響を詳細に検証せずに浮子観測が実施されているのが現状である。

2. 研究の目的

我が国の河川に対する治水計画は、計画高水流量および既往最大流量に基づき策定されており、観測流量の予測精度向上は非常に重要視されている。しかし、近年は様々な流量観測手法の開発が進められているものの、30%程度の誤差を含む可能性があると言及されている浮子法による流量観測が未だ広く用いられている。本研究は、特に河床形状により偏流する流れ場に位置する観測所を対象として、洪水流量に対する浮子観測の予測精度向上を目的とし、1)準三次元洪水流モデルを用いた浮子法に用いる測線の最適な設定方法（数値浮子モデル）の構築、2)浮子観測データに基づくDIEX法による断面内流速分布の推定精度の向上について、直線水路を用いた模型実験による基礎検討と現地スケールの数値実験より個々の内容について検討し、さらに両手法のカップリング方法について構築することを目的とする。具体的には、**図-1**に示す従来の浮子流量観測（図中の黒矢印）に、DIEX法と数値浮子モデルを組み合わせた新たな浮子観測に基づく流量算定フローの構築を行う。さらに、実河川への適用について岡山県旭川の中原観測所において、規模の異なる既往洪水に適用することで、本手法の有用性を実証することを目的とする。

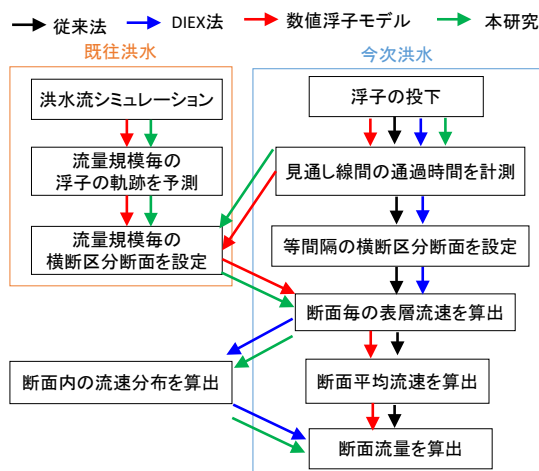


図-1 流量算出のフローチャート

3. 研究の方法

(1)数値解析モデル

本研究では、申請者らが開発を行ってきた準三次元洪水流解析モデル³⁾を用いた。本モデルは、平面二次元モデルで用いられる水深と水深平均流速のx,y方向成分の3変数に加え、水深平均流速からの鉛直偏差のx,y方向成分の2変数を加えた、5つの基礎式から構成されている。離散化手法には、三角形非構造格子における有限体積法を採用しており、複雑な形状を有する実河川の洪水流に対しても柔軟に適用することが可能である。また、GPUを用いた高速並列計算(GPGPU)が可能なプログラムを構築し、大型のワークステーションを用いず大規模な解析が可能な環境を構築している。

(2)浮子解析モデル

浮子解析モデルは、準三次元洪水流解析の結果を用いて、投下された浮子の軌跡を推定し（以

降, 数値浮子と記述する), 実際の浮子観測と同様の方法で, 流速を推定する手法である⁴⁾. 具体的には, 準三次元解析より得られた水深平均流速および鉛直偏差流速を用いて, 浮子の速度を算出し, 見通し線間の流跡線を求める. 得られた流跡線に基づき各浮子の計測測線を補正することで, 断面内流量の推定精度を向上させる手法である.

(3)推定流量の算出方法

本研究では, 実務において使用されている区分求積法と DIEX 法²⁾による 2 種類の流量算定方法を用いて検討を行った. 従来の浮子観測で用いられる区分求積法では, 第 1 見通し線および第 2 見通し線を投下する浮子数で分割し, 各区分の水深と水深平均流速を用いて区分流量を算出する. 本研究では, 断面の分割方法として, 等間隔に区分する「従来測線」と, 浮子の軌跡線と第 1 見通し線および第 2 見通し線の交差する点を結んだ「修正測線」を用いて横断面を分割する 2 種類より検討した(図-2). また, DIEX 法は, 断面内における「点」もしくは「線」流速データから流体力学条件を満たした上で流速の内外挿操作を行い, 流速の「面」データを取得する手法である. 本研究では, 数値浮子データを「点」流速データとして用いて, 流速及び流量を算出する数値浮子と DIEX 法のカップリング手法を構築した.

(4)座主川における模型実験

岡山大学構内を流れる農業用水路である座主川において, 河道内砂州を想定した模型を設置した直線水路実験を実施し, 河道地形により浮子が偏流する状況化における浮子観測の流量推定精度の整理および, DIEX 法と準三次元モデルの併用による観測精度の向上について検討を行った. 図-3 に水路実験の概略図を示す. 川幅 3.3m の直線水路に, 浮子投下装置を設置し, 下流側 3m の位置に第 1 見通し線, さらに 4m 下流側に第 2 見通し線を設け, 2 本の見通し線間での浮子の通過時間を測定した. 浮子投下位置は横断方向に 0.67m 間隔で計 9 カ所から投下し, 各投下位置で得られた計測時間より横断方向の区分断面ごとの水深平均流速および区分断面流量を算出した. また, 浮子観測の精度検証に用いる断面流量の真値として, 各見通し線位置における断面内流速を電磁流速計より計測した. 計測位置として, 鉛直方法は河床より 5cm 間隔, 横断方向は浮子観測の測線配置と合わせて等間隔に 9 点設定した. さらに, 浮子の軌跡を撮影するためのビデオカメラを兩岸に設置し, 撮影された動画より画像解析ソフトウェア KU-STIV の Float-PTV を使用した幾何補正画像より, 浮子の流跡線を求めた. 砂州模型の形状を図-4 に示す. 河床からの高さ 2 種類, 配置 3 種類(図-3 の A,B,C)の計 6 ケースについて, 先に示した(a)更正係数の補正, (b)断面内流速横断分布の推定法(区分求積法と DIEX 法), (c)測線位置の修正, 3 つの項目について修正方法および推定精度への影響について検討を行った.

(5)数値実験

図-5 に示す 3 ケースの河床形状を用いて, 定常洪水流解析を行った. スケールは岡山県旭川の中原観測所周辺の河床地形に基づき設定し, 投下浮子の長さは国土交通省の選定基準に従い, 水深の変化に応じて与えた. 3 ケース全て河床勾配は 1/1000, 粗度係数は $0.032\text{m}^{1/3}\cdot\text{s}$, 縦断距離を 1000m とし, 投下する浮子の本数は標準法における観測を想定し 20 本とした. また, 各ケースに対し, 1200, 2000, 3000, 4000, 5000 m^3/s の 5 パターンの上流端流量を与えた. なお, Case3 は中洲を想定して Case2 の見通し線間の断面を変化させたケースである.

(6)実河川における再現計算

本研究では, 岡山県旭川における洪水を対象に, カップリング手法による推定流量について検討した. 平成 25, 28, 29, 30 年に旭川で発生した洪水を対象とした. 解析範囲は河口から 10.7 km 地点を下流端とし, 17.4 km 地点を上流端とした. また, 平成 25, 30 年の洪水では旭川放水路である百間川へ流入するため, 百間川の下流端水位を境界条件に与えた. 各洪水流解析に用いた上流端流量および下流端水位を図-6 に示す. なお, 平成 30 年の洪水流解析に用いた流量は速

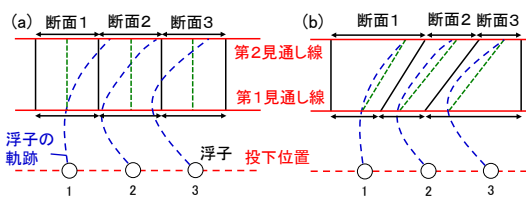


図-2 測線の設定方法 (a)従来測線, (b)修正測線

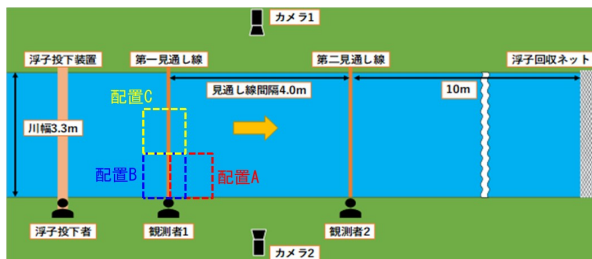


図-3 模型実験の概略図

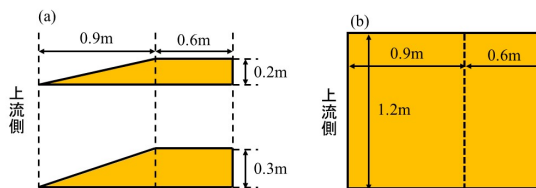


図-4 砂州模型 (a)断面図, (b)平面図

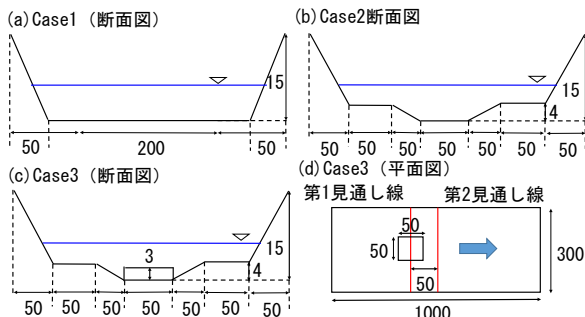


図-5 数値実験に用いた水路の概略図 (単位: m)

報値である。粗度係数は既往研究を参考に、平成25年洪水の痕跡値に合うよう調整を行った。地盤高データには格子サイズ2mのALBデータ(平成29年11月計測)を用い、計算格子サイズを2~5mとした。なお、ADCP等による詳細な現地データが取得できていないため、洪水流解析の第1見通し線の断面流量を真値として検討を行った。

4. 研究成果

(1) 模型実験による研究成果

本実験で得られた浮子流速の「点」データをDIEX法へ適用させ、更正係数の標準値を用いて、区分求積法により求めた流量との比較を行った。電磁流速計より得られた断面流速分布より算出した流量を真値とし、各手法との推定流量の差を真値に対する比として評価した流量推定誤差の比較を行った。更正係数の標準値を用いた流量推定誤差が大きい場合にDIEX法による修正効果が大きいことが確認され、最大で約3.5%の推定精度の改善していた。次に、ビデオカメラによる浮子の軌跡撮影データから得られた第一見通し線における浮子の横断位置をもとに浮子流速の横断位置修正データを算出し、流量推定誤差を比較したところ、横断位置の修正が大きいケースすなわち、砂州模型上の水深が小さくなるケースでは、数値浮子による測線の修正効果が大きく、最大で約10%の誤差改善が確認できた。さらに、更正係数およびDIEX法に入力する浮子流速の鉛直定義位置を電磁流速計より得られた流速の鉛直分布に基づき補正して流量を算出したところ、流量推定誤差は約0.3%の改善が確認できた。なお、本模型実験では、実河川と比較し河道形状の変化が少なく、更正係数およびDIEX法で入力する鉛直位置ともに補正量が7cm程度と微小であったため、修正効果が小さいものの後述する実スケールでは、影響を無視できないと考えられる。最終的に、1)DIEX法の適用、2)横断方向測線の修正、3)浮子流速の鉛直定義位置の補正の3種類の手法を組み合わせることで、河床地形がいずれのケースでも推定精度の改善が確認され、最大で約15%向上することが明らかとなった。

(2) 数値実験により得られた成果

図-7に各ケースにおける本モデルによる推定流量と洪水流解析流量の比較を示す。従来測線を用いたDIEX法による推定流量(Run3)は、洪水流解析による推定流量に対して約8%~12%程度過小評価する傾向となった。図-8の断面内における水深平均流速分布より、DIEX法では滯筋の流速が数値浮子の流速よりも過小に評価されている。また、Case2, Case3における横断方向に対する地盤高の勾配が急な部分においても差異が見られ、従来測線を用いた区分求積法による推定流量(Run1)と比較しても約5%過小評価する結果となった。これは、DIEX法の流速の鉛直位置の定義による推定精度への影響によるものと考えられ、次節で検討を行う。一方、修正測線を用いたDIEX法による推定流量(Run4)の誤差は約6~9%となり、流量推定精度が約3%向上した。また、数値浮子の横断位置は、従来測線位置に比べて側岸方向に広がっており、流速

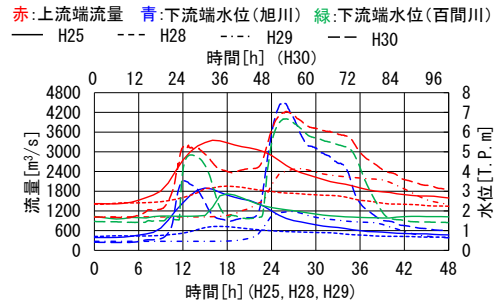


図-6 洪水流解析に用いた境界条件

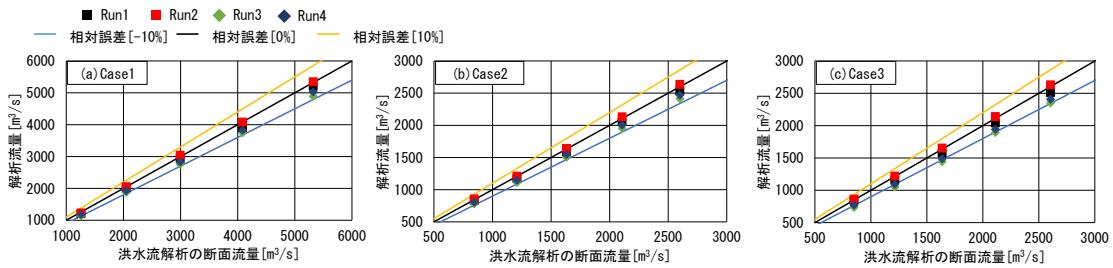


図-7 各ケースにおける推定流量誤差

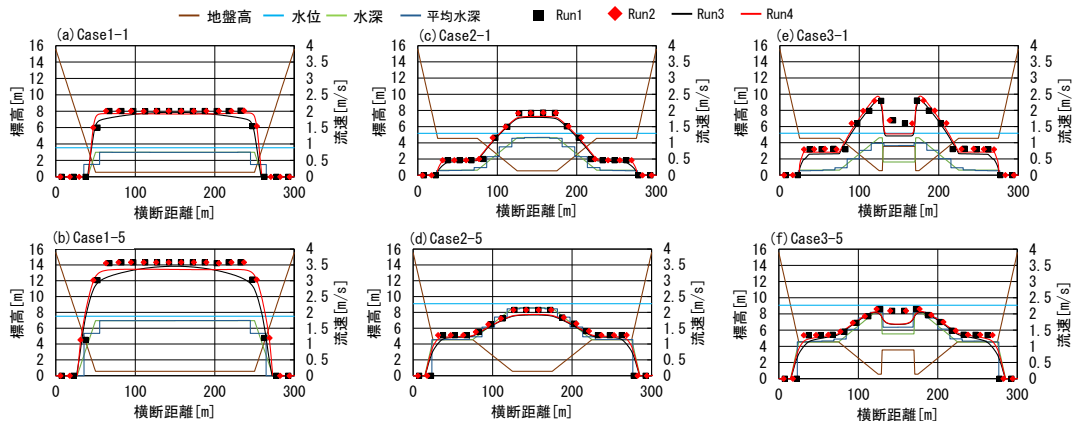


図-8 水深平均流速の横断分布

の横断分布に差異が生じている。特に Case3 では水際部、低水路部において水位が低くなるほどその誤差が大きく、Case1, Case2 と比べ推定流量の精度が 5%程度低くなっている。これは、Case1, Case2 と異なり Case3 では縦断方向に対する地形の変化が大きいため、第一見通し線と第二見通し線の水深に対して同一の流速を同化データとして与えることにより生じる誤差と考えられる。

次に、DIEX 法で流速の鉛直位置を浮子吃水の中点とした場合、水深が大きくなるにつれて、相対的に定義位置が高くなるため、対数則に基づく鉛直分布を与える DIEX 法では水深平均流速を過小評価すると考えられる。そこで、本研究では、観測時の水深に応じて、流速の鉛直位置を修正する新たな定義方法を構築し、再現性の改善を試みた。具体的な計算手順としては、①摩擦速度を求める、②①の摩擦速度を用いて流速の鉛直分布を求める、③水深平均流速を求める。④①~③の手順を水深分繰り返し計算し、③の水深平均流速と更正係数を用いた場合の水深平均流速を比較し、最も誤差の小さな鉛直位置を求める、の 3 段階より定義点を設定した。

図-9 は、算定した流速の鉛直位置 に対する従来法の鉛直位置の差を浮子が位置する水深で無次元化した相対水深比を水深ごとにプロットした。浮子観測によって得られる流速の鉛直位置は、浮子の吃水中心高さに対して約 0.1~0.3 低く、また、浮子の吃水比が減少するにつれて鉛直位置が深くなっている傾向が見られることから、本手法は水深の変化に対する流速の鉛直位置を考慮できていると考えられる。図-10 に鉛直位置を修正した推定流量と洪水解析流量との比較を示す。各ケースともに流量推定精度は 5%程度改善することが明らかとなった。

(3)実河川における再現計算

各算定方法による推定流量と洪水解析流量の比較したところ、誤差は最大で 7.1%改善しており、流速の横断位置及び鉛直位置を修正することで実河川においても流量の推定精度が改善されることが示された。さらに、断面内における水深平均流速の分布(図-11)を見ると、流速の横断位置、鉛直位置の修正により、低水路内における流速の増加が確認できる。特に、その差異は流量規模が大きいほど顕著に表れている。これは、流速の鉛直位置を浮子吃水の中点とすると、水位が高い場合低水路内における浮子の吃水比が小さくなるためだと考えられる。また、浮子の水深平均流速は水際部および地形の凹凸がある場所においても高い値を示しているのに対して、DIEX 法では流速の低減が確認でき、流速の横断分布を良好に再現している。本手法と数値浮子では流量の総和に大きな差異はないものの、その分布に関しては再現性に差異があるため、本手法は非常に有用であると判断できる。

<引用文献>

- 1) 二瓶泰雄：ADCP や H-ADCP による河川流量観測，河川流量観測の新時代，第 1 巻，2010。
- 2) 柏田仁，二瓶泰雄，高島英二郎，山崎裕介，市川誠：力学的内外挿法 (DIEX 法) に基づく「点」から「面」流速データ推定法の構築，河川技術論文集，第 17 巻，23-28，2011。
- 3) 石川忠晴，赤穂良輔，新井奈々絵，田潤：複断面河道合流部における洪水流の現地研究-利根川・渡良瀬川合流部を例として-，土木学会論文集 B1 (水工学)，Vol.72，No.4，I_331-I_336，2016。
- 4) 赤穂良輔，前野詩朗，吉田圭介：準三次元洪水解析モデルを用いた浮子観測流量の高度化手法の構築，土木学会論文集 B1(水工学)，Vol.73，No.4，I_517-I_522，2017。

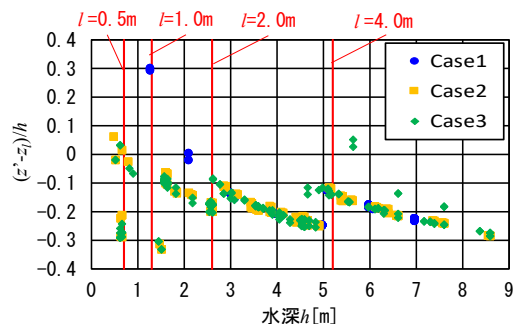


図-9 水深 h と相対水深比 $(z' - z_l) / h$ の関係

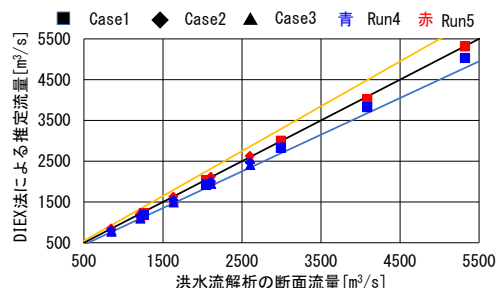


図-10 流速の鉛直位置の違いによる推定流量

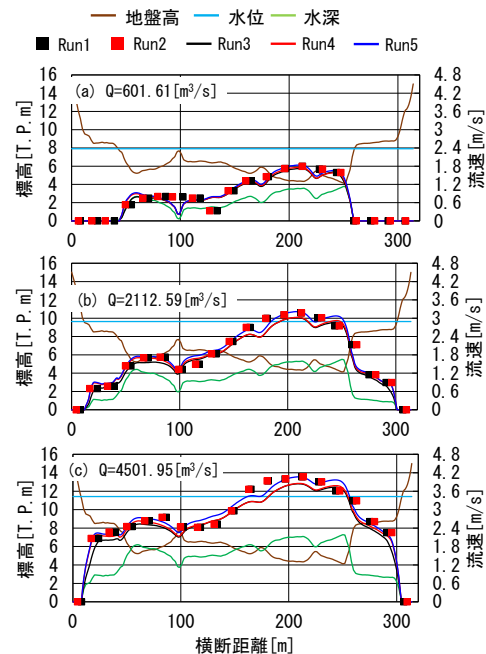


図-11 第一見通し線の水深平均流速分布

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 赤穂良輔, 前野詩朗, 中山彰人, 吉田圭介	4. 巻 75-2
2. 論文標題 数値浮子モデルとDIEX法をカップリングさせた洪水流量推定法の構築と現地適用	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1 (水工学)	6. 最初と最後の頁 I_625-I_630
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------