

# CCTV カメラ画像データを利用した 水位・流速計測手法の検討

STUDY OF WATER LEVEL, FLOW RATE MEASUREMENT METHOD  
USING CCTV VIDEO IMAGE ANALYSIS

岩波 英行<sup>1</sup>・佐藤 匠<sup>2</sup>・本間 信一<sup>3</sup>・本田 謙一<sup>4</sup>・原口 勝則<sup>5</sup>  
光永 健男<sup>6</sup>・守谷 武史<sup>7</sup>

Hideyuki IWANAMI, Takumi SATO, Shinichi HOMMA, Kenichi HONDA, Katsunori HARAGUCHI  
Tateo MITSUNAGA and Takeshi MORIYA

<sup>1</sup>国際航業株式会社（〒182-0057 東京都府中市晴見町2-24-1）

E-mail: hideyuki\_iwanami@kk-grp.jp

<sup>2</sup>国際航業株式会社（〒182-0057 東京都府中市晴見町2-24-1）

E-mail:takumi\_sato @kk-grp.jp

<sup>3</sup>国際航業株式会社（〒182-0057 東京都府中市晴見町2-24-1）

E-mail: shinichi\_homma@kk-grp.jp

<sup>4</sup>国際航業株式会社（〒182-0057 東京都府中市晴見町2-24-1）

E-mail:kenichi\_honda @kk-grp.jp

<sup>5</sup>国際航業株式会社（〒182-0057 東京都府中市晴見町2-24-1）

E-mail:katsunori\_haraguchi @kk-grp.jp

<sup>6</sup>国土交通省関東地方整備局富士川砂防事務所（〒400-0027 山梨県甲府市富士見2-12-16）

<sup>7</sup>国土交通省関東地方整備局富士川砂防事務所（〒400-0027 山梨県甲府市富士見2-12-16）

*Key Words:* CCTV, video image analysis, water level, flow rate, STIV

## 1. はじめに

土砂災害防止法の一部が改正（平成23年5月施行）され、河道閉塞・火山噴火に起因する土石流、河道閉塞による湛水といった特に高度な技術を要する土砂災害について国が緊急調査を実施し、緊急調査に基づいて被害が想定される区域・時期に関わる土砂災害緊急情報を自治体へ通知し、一般住民へ周知することとなった。

近年、河道閉塞を引き起こす大規模な土砂移動現象が発生しているが、大規模土砂移動の発生が想定される地域は極めて広域な流域であり、これを監視するための手法<sup>①</sup>の開発が進められている。

本検討では、大規模土砂災害等に対応した危機管

理機能の向上を図る流域監視システムの一環として、富士川直轄砂防区域に設置されているCCTVカメラの画像データを利用して、既存の画像解析手法やデジタル画像の統計処理手法の応用による水位及び流速を計測する手法の検討を行った。河道閉塞に伴う下流域の変化として流量の減少や水位の低下が想定されるので、技術的課題としては、水位の変化に着目してCCTVカメラ画像データから水位を特定する手法の開発を主題とした。

## 2. 対象とした流域とCCTVカメラ

本検討は、国土交通省関東地方整備局富士川砂防事務所直轄砂防管内の釜無川流域及び早川流域に配



図-1 CCTV カメラ位置図

備された22箇所のCCTVカメラ(図-1)を対象とした。画像から水位を求めるためには、画像内に水位を示す指標となるものが撮影されている必要がある。収集した管内のCCTV画像には、①人工構造物など水位目標になりうるものがフレーム内にあるもの、②渓床上を流れる河川が写っており、水位により河道の形状が変化するもの、③ダム堤体を撮影しており、何を水位とするか定かでないものに大別できる。これら3つの分類における水位の計測可能性とCCTV画像を①、②、③のタイプに分類し、表-1に示す。

### 3. CCTV カメラによる動画画像

平成25年9月15日～9月16日、台風18号によりもたらされた大雨は、富士川砂防管内近傍の気象庁観測点において、16日0時～12時かけて100mmを越える雨量を記録した(図-2)。そこで、この期間の管内CCTV画像を収集し画像解析を実施したが、表-1に整理したように画像から水位を解析する条件が比較的良好な武智川上流ダムのCCTV画像を用いて以降の説明を進める。図-3に武智川上流ダムでの9月16日7時から15時の画像を示す。

表-1 CCTV 画像の分類と計測の可能性

水位計測の可能性	代表的な画像
① 人工構造物など水位目標になりうるものがフレーム内にある。 他の分類と比較すると画像の各画素に精度の良い水位を与えることが可能。	
② 渓床上を流れる河川が写っており、水位により河道の形状が変化する。 地形データから水位を計測することが可能となるが、河床形状も変化することが考えられ正確な水位計測は困難。	
③ ダム堤体を撮影しており、何を水位とするか特定できない。 水量の多寡を大別することは出来るが、水位情報に変換することは困難。	

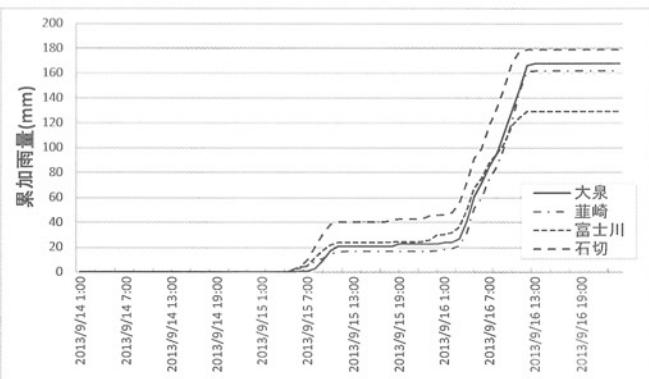


図-2 収集した動画像記録時期の近傍観測所降雨状況

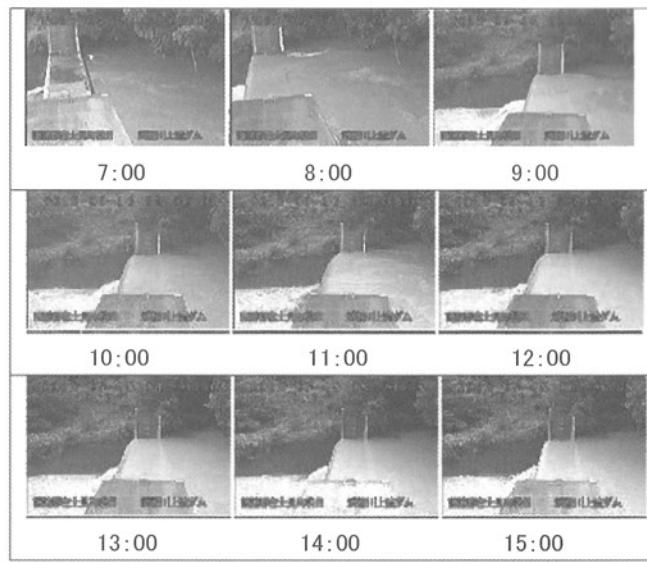


図-3 2013年9月16日 武智川上流ダム画像

## 4. 水位と流速の計測手法

### (1) 水面抽出による水位計測手法

水位解析は既往文献<sup>2)</sup>の多くにおいて、計測用画角を固定し、得られた画像の画素ごとに水位情報を付与（例えば図-9 のように）した上で水面境界の抽出を実施し、水面境界部分の水位を算出している。

水面境界の手法は特性の異なる 2 手法（時系列で画素の画素値分散の大きい領域を水面として抽出する方法、単画像の輝度の境目を水面として抽出する方法）について検討した。

### (2) 流速計測手法

流速解析は既往文献<sup>3)4)</sup>の中では大別して①PIV 法と②STIV 法に分類され、その 2 手法の適用を検討した。

#### a) PIV(Particle Image Velocimetry)法

PIV 法は動画像内の粒子の動きを画像マッチングにより追跡する技術である。水面に適用することで流速の評価が可能であり、河川への適用を図り、LSPIV 法、PTV 法などの手法が派生している。

#### b) STIV(Space Image Velocimetry)法

水面上の流下方向に図-16 のような測線を設定し、その画像を時系列に連結すると、図-4 の上段に示すように流速に応じた傾きを持つ縞模様を呈する。STIV 法はその縞模様の傾きを計測し、流速を解析する手法であり、適用範囲は限定されるが比較的解析結果が安定的であることから本検討において流速算出手法として用いた。

最初のフレームにある影  
2番目のフレームにある影  
3番目のフレームにある影  
4番目のフレームにある影  
5番目のフレームにある影  
6番目のフレームにある影

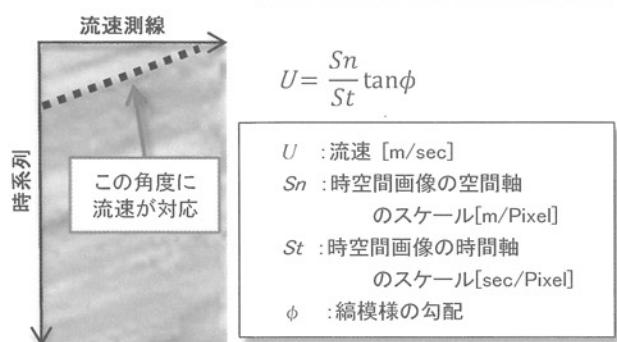


図-4 STIV 法の概要

## 5. 水位計測結果

水面抽出による水位計測では流量に乏しく波の少ない平時と、流量・波の発生が共に多い出水時で大きく解析結果の精度に違いが出た。時系列の輝度分散による水面抽出は出水時に有効であり、平時の解析には適さなかった。一方、単画像の輝度値解析による水面抽出は平時の利用が適しており、波の激しい出水時には計測が困難となる結果が得られた。

### (1) 時系列画像を用いた水面抽出結果

画像の微小エリアを切り出して時系列で並べると、水面部分では画像データの RGB 値(3 原色が 0~255 の数字で表現される値)に変動が見られ、水面以外の部分では数値の変化がほとんど見られないという傾向がある。この画像の値の変化を指標とすることにより水面部分とそれ以外の分離について検討した。

武智川上流ダムの 9 月 15 日 10 時 00 分からの 30 秒間(30 秒 × 15 フレーム/秒 = 450 フレーム)における RGB 値の分散を算定した結果を図-5 に示す。図-5 に示したグラフでは、水面部分で分散が大きいことがわかる。

#### a) 画素分散の利用

画像の動きは画素の値(以下画素値という：赤・緑・青でそれぞれ 0~255 までの値を持つ)が画像フレームごとに変化するところに着目し、連続する 450 フレームの同じ位置の画素ごとに画素値の分散を算出し、その分散の大きさを濃淡で図示したものを図-5 に示す。

図より、水面の動きが顕著な砂防堰堤水叩き部において、分散が大きいことがわかる。また、上部の植生が繁茂する部分も枝葉の動きによる画素の値の変化が発生している。そこで、画素値の分散を利用して適当なフィルタリングを行うことにより水面の範囲を限定することができる。

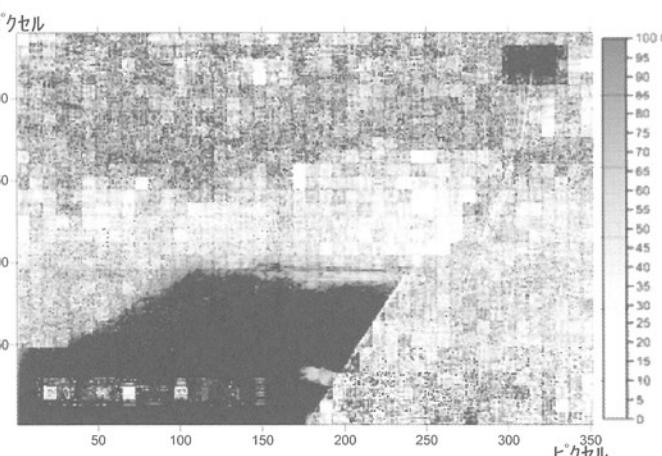


図-5 画素毎の分散の大きさを濃淡で表した図

## b) 画素分散のフィルタリング

画素分散のフィルタリング手法として、①画素値変化を振動として捉えてフーリエ解析によるパワースペクトルから閾値を定めてフィルタリングする方法、②フレーム間の画素値の差の頻度分布から変化の少なさ(静止率)から閾値を定めてフィルタリングする方法を試行した。

画素値変化を振動として捉えてフーリエ解析によるパワースペクトルから閾値を定めてフィルタリングする方法では、450 フレームの中で変化する画素値グラフを樹葉と水面から 3 サンプルを抽出して図-6 に図示し、この軌跡に対してフーリエ解析を行い、パワースペクトルを図-7 に示した。

水面と樹葉ではパワースペクトルに特性を確認することができるが、フィルタリングできるほどの閾値の設定は困難と考えられる。

そこで、画像フレーム間の画素値の差の頻度分布から変化の少なさ(静止率)から閾値を定めてフィルタリングする方法を試行した。450 フレームの画像から樹葉と水面のそれぞれ画像上の同一位置の画素値を抽出し、連続するフレーム間の画素値の差を求めて、その差(変動幅)の頻度分布を作成すると図-8 の通りとなった。

図より樹葉と水面の変動幅の出現度数には明瞭な違いが見られた。即ち樹葉に比べ水面のほうが、変動幅が多い場合が多いことがわかる。そこで、フレーム間の画素値の差が「0」となる割合を、変化がなく静止しているという意味で「静止率」として指標化し、この値に閾値を与えてフィルタリングを行い、画像に高さの目安を与えて画素数分散の分布図(図-9, 10)を作成した。

以上の手法により、武智川上流ダムの動画像を用いて水叩き部と水通し部の 2箇所を毎正時～5 分間の水位を 1 分間隔で算出し、画像からの読み取り値との比較を図-11 及び図-12 に示した。

図より、水叩き部での読み取り水位と算出水位が整合的であることに対し、水通し部では読み取りと算出水位が全く異なった値となっている。これは、水叩き部の水面の乱れが明瞭であることに比べ、水通し部の水面が滑らかであるため、画素値の変化として水面境界が特定にくく、上部の光の揺らぎを計測したことによる。

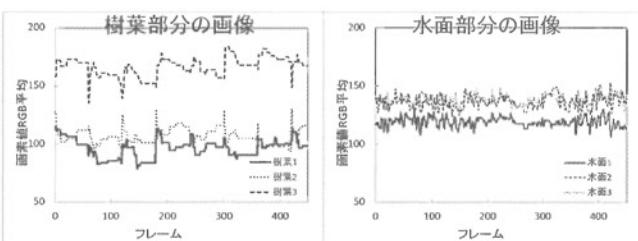


図-6 水面と樹葉の平均画素値の時系列変化

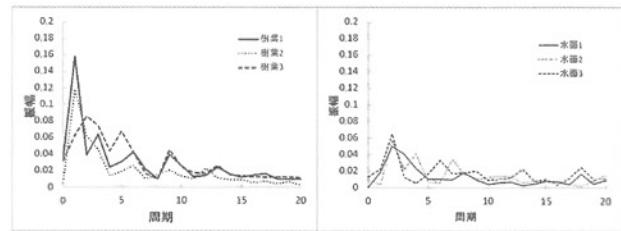


図-7 水面と樹葉の画素値のパワースペクトル

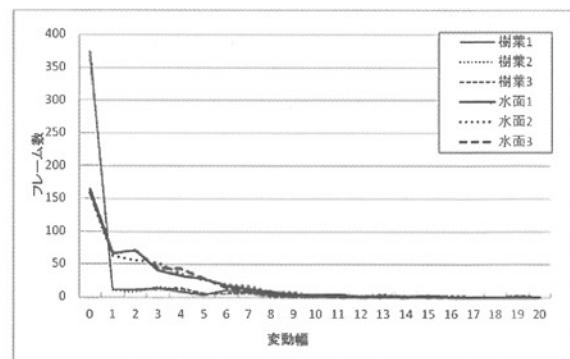


図-8 画素値の変動幅の出現度数

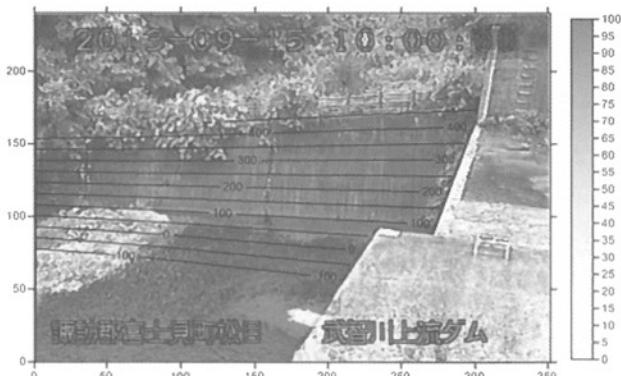


図-9 画像と画素数分散分布の重ね図

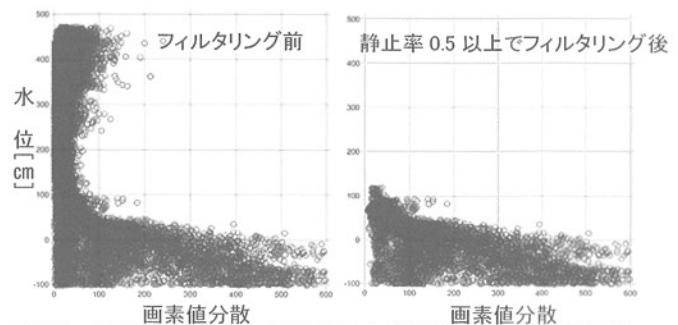


図-10 静止率フィルタの有無と水位別画素値分散散布図

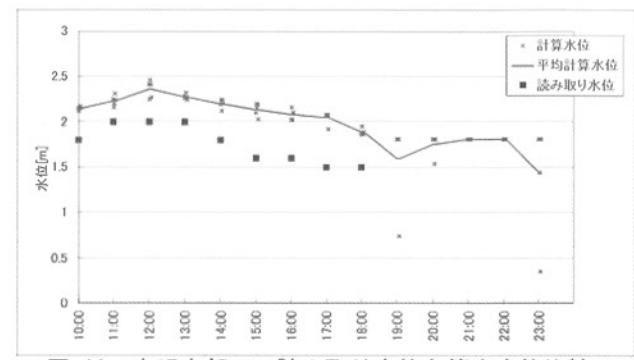


図-11 水叩き部での読み取り水位と算出水位比較

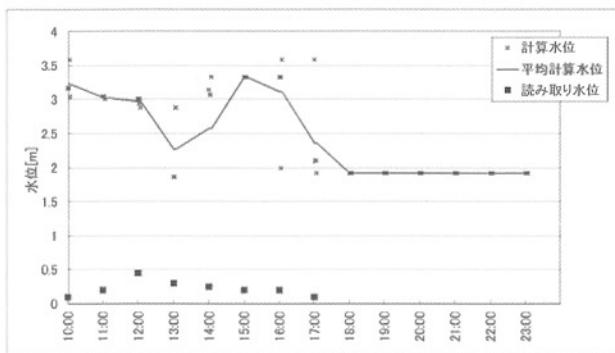


図-12 水通し部での読み取り水位と算出水位比較

## (2) 単画像を用いた水面抽出結果

単画像の輝度の境目を水面として抽出する方法として、①画素値からグルーピングを行う K-means 法、②画素値を平面的に 1 次微分あるいは 2 次微分して画像の境界(エッジ)を強調表示して水位境界を抽出する方法を試行した。ここでは、水位境界抽出に比較的良好な結果が得られた②の手法について説明する。

単画像の 1 つのピクセルの画素値とその下方のピクセルの RGB それぞれの画素値の差を求める、その値をグレースケールで表示することにより画素値の異なる境界部が強調された画像が生成される。(図-13)

そこで、以下のような手順でフィルタを適用することにより画像から水位境界面の位置を算出することができる事が確認された。

- a) 差分演算結果から RGB 各バンドの差分値のピークを抽出

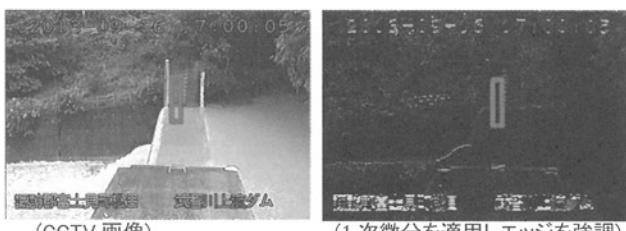


図-13 単画像の画素値に 1 次微分を適用しエッジを強調

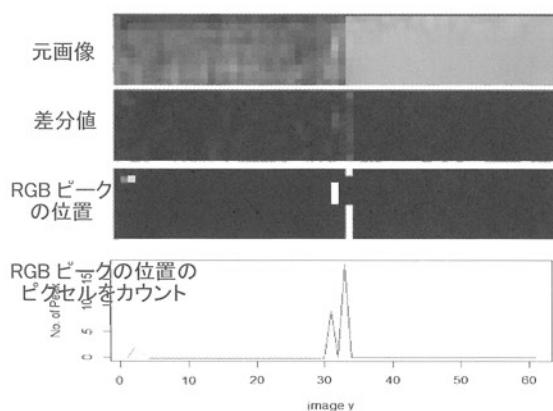


図-14 水位計測部分の切り出しとピクセルの解析結果

- b) 各ピクセル列の最大値となるピクセルの配置位置を抽出
- c) 最も差分値ピークの多かったピクセルの頻度をカウントし、その位置を水位として出力

図-13の赤枠部分を切り出して拡大すると図-14 のようになる。上から CCTV 画像、1 次微分値、RGB それぞれの差分値最大値の位置表示、最大値を示すピクセルの頻度図であり、これより頻度の高い位置を水面境界とする。

## (3) 水面抽出手法を用いた水位算出結果

以上の画素分散による水位解析手法及び単画像輝度分析による水位解析手法を並列させた解析プログラムを作成し、水位算出を30秒間隔で出力し、結果を図-15 に示す。画像の1ピクセルが約6cm程度の幅を持っているが、30秒毎の算出結果は数cm～30cm程度の幅を持って変動する。読み取り水位との差は20～50cmとなっているが、水位変化は整合的であった。18時25分以降は肉眼でも判別が困難な程度に画像が暗くなり、計算水位は不安定な値を出力している。

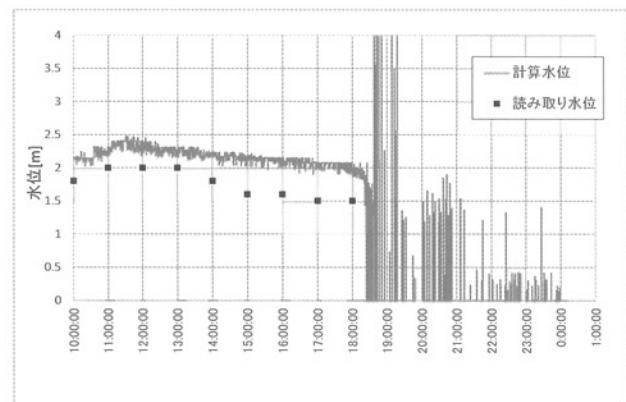


図-15 武智川上流ダム水叩き部水位算出結果

## 6. 流速計測結果

### (1) PIV による流速計測結果

CCTV 画像に PIV を適用し、流速等の計算可能性について検討を行った。PIV の実施結果では、一様な速度ベクトルが解析でき、流速等の追跡が可能と思われる画像や、速度ベクトル解析結果は得られるものの、速度ベクトルの向きや大きさが一様でないため、そのまま流速として用いることが困難なもの、画像の分解能が不足するため流速自体の追跡が困難なもの、等様々な結果が得られた。

武智川上流ダムでの PIV による流速ベクトル解析結果では、速度ベクトルの向きや大きさがばらつき、安定的な流速計測が難しいと判断した。

## (2) STIV による流速計算結果

STIV は流下方向に測線を設定し、その接線を結合し時系列画像を作成して、その画像示す模様の角度から流速を判断する手法である。

図-16 は、武智川上流ダムの水通し部と水叩き部に設定した測線の位置を示しており、図-17 にそれぞれの測線で 15 秒 225 ピクセルのデータを繋ぎ合せた結果を示した。



図-16 流速計測線位置

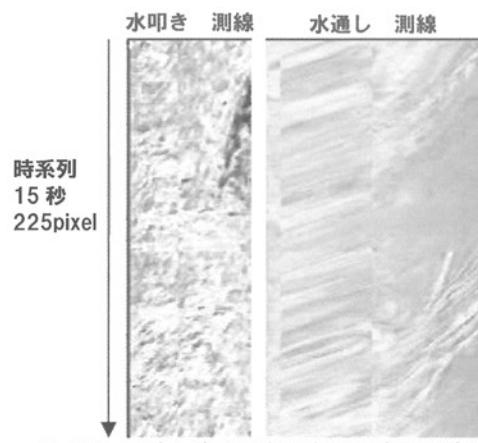


図-17 測線画像(測線の時系列連結画像)

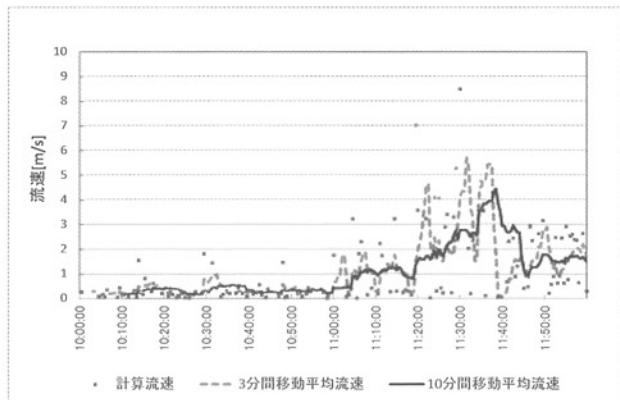


図-18 武智川上流ダム水通し部 流速解析結果

水通し部での画像において、明瞭な左下がりの模様が確認でき流速の計測が可能である。図-18 に 10:00～12:00 での流速解析結果を示したが、比較的安定的な計算結果を示したのは 11:50～12:00 の 10 分間で、その他は測線画像が不明瞭で流速を計算する画像の傾きが判別しにくくなり、流速計算値はばらつきが多く不安定な結果を示した。

## 7. まとめ

本検討では、砂防河川に配置されている CCTV カメラの動画像を用い水位と流速を計測するシステム構築のため、画像解析技術を応用してその適合性を確認した。その結果、画像解析技術による水位計測について、手法の適用可能性が示唆された。

- ・ 武智川上流ダムの CCTV 画像を用いた解析において、水位計測では水叩き部での計測結果が、読み取り水位と整合的であった
- ・ 検討の目的である水位計測については画像解析手法の適用可能性が示唆された
- ・ 同じく流速計測では流れが整っている水通し部での計測の可能性が確認された
- ・ 今後は、読み取り水位と計算水位の誤差の発生原因と補正手法の検討を進め、水位計測精度の向上が必要である。

**謝辞：**本検討にあたり、国土交通省関東地方整備局富士川砂防事務所調査課様より画像データ、地形データをご提供いただきました。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 国土技術政策総合研究所砂防研究室：流量観測データを用いた河道閉塞(天然ダム)覚知に関するデータの整理・分析の手引き(案), 2013.
- 2) 福浦悟史・岡田卓也・栗城稔：CCTV 画像を使った水位観測システムの開発、河川情報シンポジウム講演集, Vol.2007, 6.1-6.7, 2007. 等
- 3) 落合雄太・梅田信・齋藤茂則：河川監視カメラを用いた河川水理状況モニタリング手法の検討、東北地方災害科学的研究, Vol.46, 185-190, 2010. 等
- 4) 原浩気・藤田一郎：実河川の流れ計測における STIV 法の改良について、可視化情報学会誌, Vol.29, No.Supp1, 369-370, 2009. 等

(2014. 5. 9 受付)