5. 東京都水防災総合情報システム映像を用いた流量観測に関する検討

Study on Discharge Measurement Using Video Images in the Flood Control Integrated Information System

東京都建設局総務部技術管理課　高崎 忠勝、飯島 幸子
東京都立大学　石原 成幸（元 東京都土木技術支援・人材育成センター技術支援課）

1. はじめに

都内中小河川の計画に資するため流量観測を行っている。流量観測は調査員が現地に赴いて観測をおこなうため、地点数や観測回数が限られることや、事前の予測が難しい局所的な強雨による増水時の流量を観測することが困難であるといった課題がある。

国土交通省による非接触型流速計測法の手引き（案）[1]（以下、手引き）には電波流速計やカメラ映像を用いることで無人で流量を観測する方法が示されており、都内中小河川においても無人での流量観測の実現が望まれる。

東京都管理の映像監視局の映像（以下、監視局映像）は令和8年度中に188箇所が公開される予定[2]となっており、監視局映像から流量観測が可能になると都内中小河川の流量をより簡易に把握できる。

流量観測により水理特性を把握している2地点において、手引きに示されているSTIV法により監視局映像から流量を算定した。また、都内中小河川の特徴を踏まえ、時空間画像（以下、STI画像）から流速を計測する処理や表面流速から平均流速を算定に用いる更正係数について検討をおこなった。

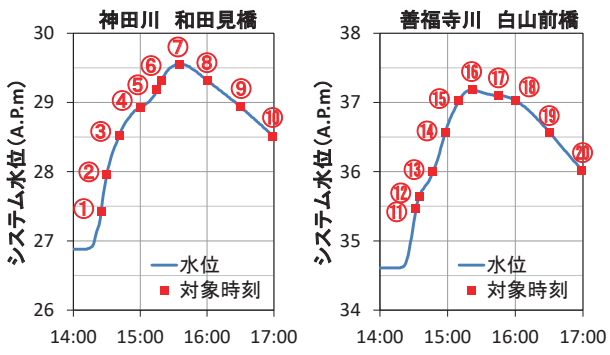
2. 対象

監視局映像を用いて流量を算定したのは図－1に示す神田川の和田見橋と善福寺川の白山前橋の2地点である。この2地点には東京都水防災総合情報システム（以下、システム）の水位観測所および映像監視局が設置されている。また、令和3年度の高水流量観測において和田見橋では88.7m^3/sの流量を観測し、白山前橋では65.5 m^3/sの流量を観測している。

2025年9月11日の14:00～17:00の監視局映像を用いて流量を算定した。流量を算定した時刻は、図－2



図－1　対象地点



図－2　流量算定時刻

表－1　フレームレート

番号	神田川　和田見橋		番号	善福寺川　白山前橋	
	時刻	フレームレート		時刻	フレームレート
①	14:25	10.0	⑪	14:32	9.7
②	14:30	10.0	⑫	14:35	9.7
③	14:41	10.0	⑬	14:47	9.7
④	15:00	10.0	⑭	14:58	9.7
⑤	15:15	10.0	⑮	15:10	6.9
⑥	15:19	10.0	⑯	15:22	6.9
⑦	15:35	10.0	⑰	15:45	6.9
⑧	16:00	10.0	⑱	16:00	9.6
⑨	16:30	10.0	⑲	16:30	9.6
⑩	16:59	10.0	⑳	16:59	9.6

のように、和田見橋は①～⑩、白山前橋は⑪～⑳であり、各地点で水位が最も高いのは⑦と⑯である。

2地点の監視局映像は、いずれも1280×720ピクセルの大きさであり、流量算定には30秒間の映像を用いた。各映像のフレームレートは表－1のとおりである。和田見橋は全ての時刻で10フレーム/秒であるが、白山前橋は時刻によって6.9～9.7フレーム/秒と変化し、映像によっては手引きで最低確保するとされている7.5フレーム/秒を下回っている。

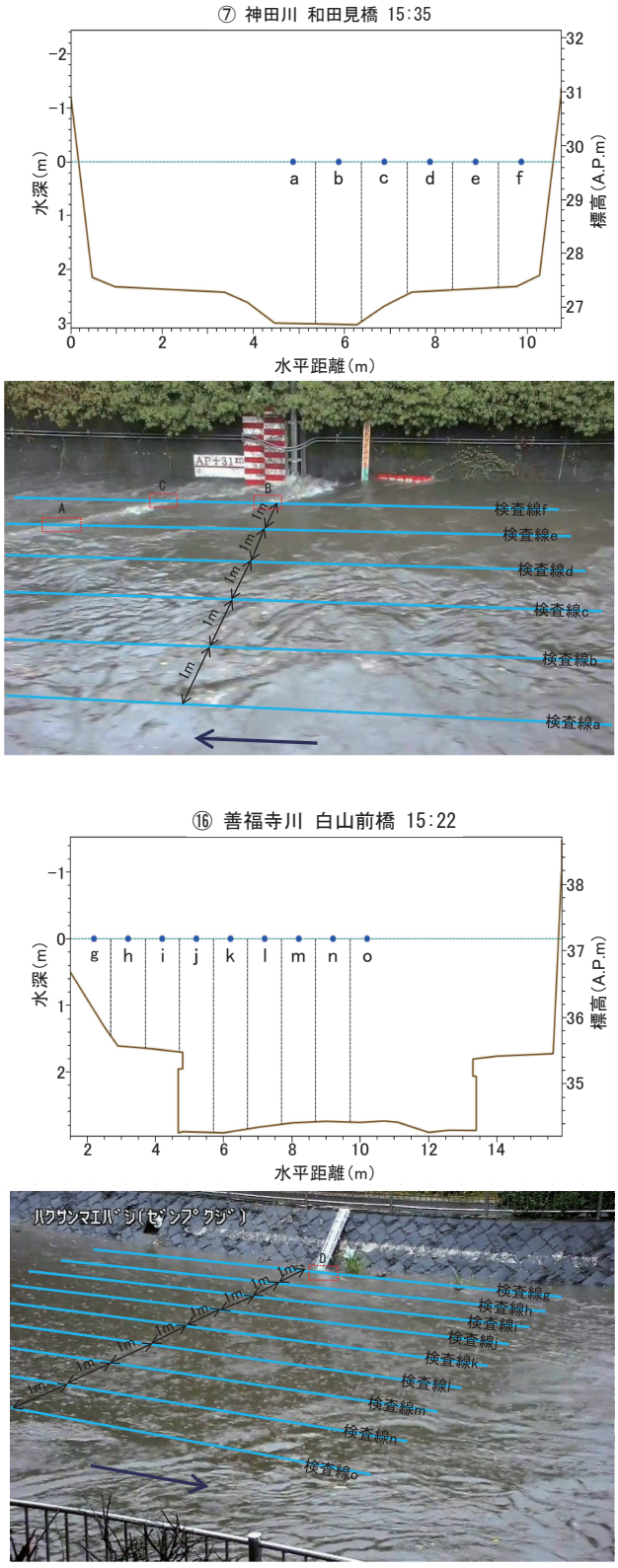
3.　STIV法による流量算定

STIV法は流速計測の測線となる検査線を設定し、映像の各フレームにおける検査線上のピクセルを縦方向に並べたSTI画像を作成し、STI画像上の縞模様の傾きを判定して流速を計測する。

ここでは、検査線を1m間隔で設定し、STI画像の作成には、STIV解析ソフトHydro-STIV（株式会社ハイドロ総合技術研究所）を用いた。

図－3に横断面上および監視局映像上に検査線の位置を示した。和田見橋は映像の左側が下流であり、白山前橋は映像の右側が下流である。カメラの位置と河道断面形状の関係で、カメラが設置されている側の水面は映像に映っていないため、検査線の設定がない。

作成したSTI画像の例として映像⑦および映像⑯における各検査線のSTI画像を図－4に示す。検査線位置のピクセルをそのまま並べると映像⑦のSTI画像には傾きが左下の縞模様ができるが、傾きの判定を容易にするため縞模様の傾きが右下とするSTI画像を作成している。



図－3　検査線の位置

図－4に示した全てのSTI画像(a)～(o)に縞模様がみられる。手引きにおいて、STI画像の縞模様の傾きが15～75度の範囲であれば精度が保たれるとされているが、STI画像(a)～(o)縞模様の傾きは水平に近くなっている。

映像⑦　神田川　和田見橋　15:35

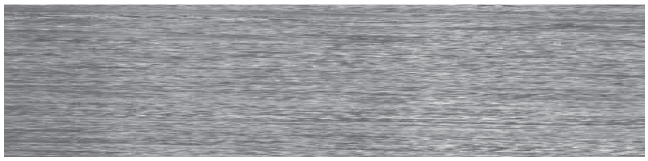
(a) 検査線a 1277×299ピクセル



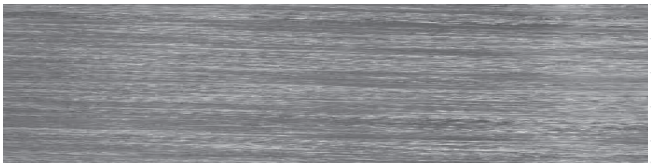
(b) 検査線b 1277×299ピクセル



(c) 検査線c 1256×299ピクセル



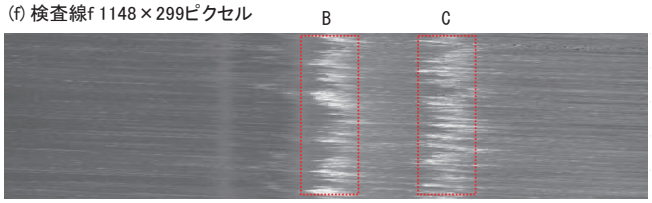
(d) 検査線d 1219×299ピクセル



(e) 検査線e 1190×299ピクセル

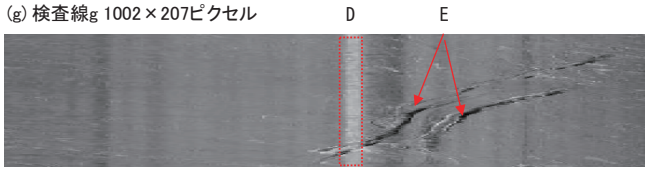


(f) 検査線f 1148×299ピクセル



映像⑯　善福寺川　白山前橋　15:22

(g) 検査線g 1002×207ピクセル



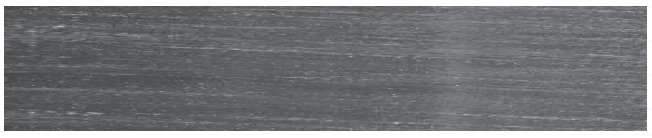
(h) 検査線h 1034×207ピクセル



(i) 検査線i 1069×207ピクセル



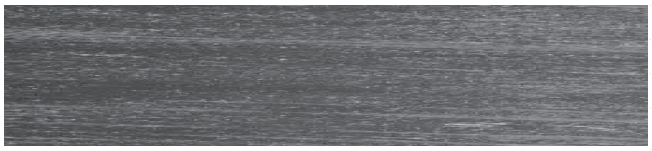
(j) 検査線j 1065×207ピクセル



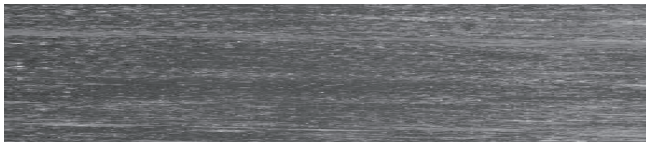
(k) 検査線k 1021×207ピクセル



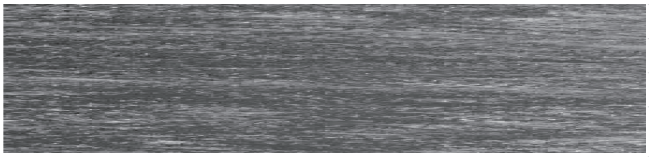
(l) 検査線l 970×207ピクセル



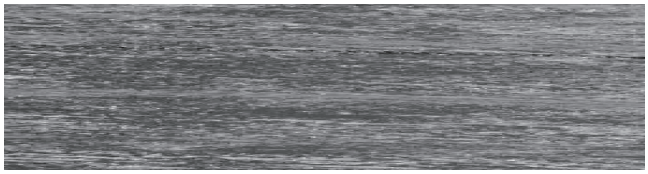
(m) 検査線m 914×207ピクセル



(n) 検査線n 849×207ピクセル



(o) 検査線o 776×207ピクセル



図－4　STI画像

図－3および図－4の図中のA、B、Cの枠内に白い部分は、水位計付近で発生した白波によるものである。また、図－3および図－4の図中のDの枠内の白い部分は、量水標が水面に映り込んだものである。図－4の図中のEは図－5に示したように水鳥によるものである。STI画像において、こうした流れに関係がない模様は、流速を判定する際に影響を及ぼす可能性がある。

STI画像を用いた流速判定は、3種類の方法（ディープラーニング、輝度勾配テンソル、フーリエ卓越各解析）で自動解析後、技術者が目視で補正した。こうして得た流速を表面流速とし、表面流速に更正係数を掛けた値を平均流速とした。更正係数の値について、手引きでは検証ができない場合0.85を使用しても良いとしており、ここでは、更正係数の値を0.85とした。区分求積法により平均流速と流積から流量を算定した。

図－6にSTIV法による流量と水位の関係を示す。図について同じ水位に対する流量をみると、2地点共にSTIV法による流量算定は流量観測によって得られる流量より小さい傾向がみられる。

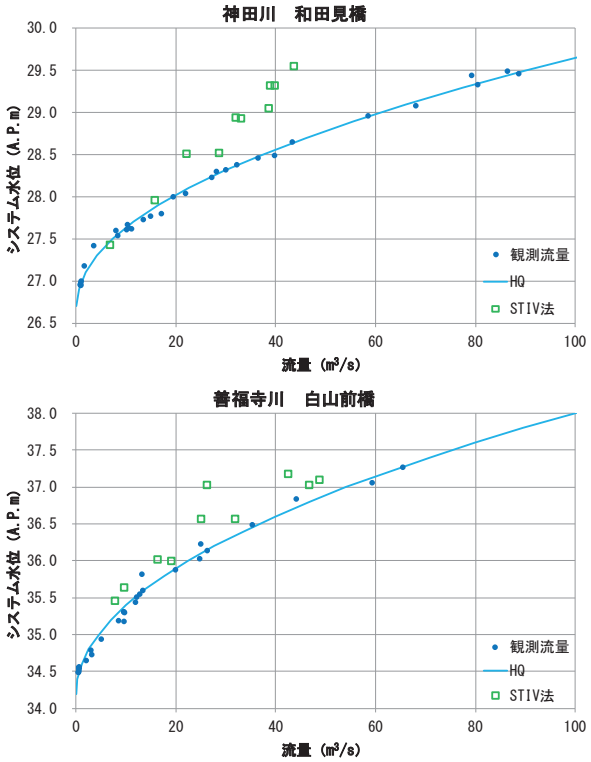
4.　時空間画像（STI）の流速判定方法の検討

STIV法はSTI画像に現れた縞模様の傾きの角度を計測することで流速を求める。図－4に示したように2地点の縞模様の傾きは水平に近く、判定した角度が少し変わるだけで流速の計測値は大きく変化する。フレーム1つ分の画像（以下、検査線画像）を流下方向に移動させながら、移動させていない検査線画像との比較によって流速を評価することで、縞模様の傾きが水平に近い場合でも、適切な流速の判定が可能だと考えられる。

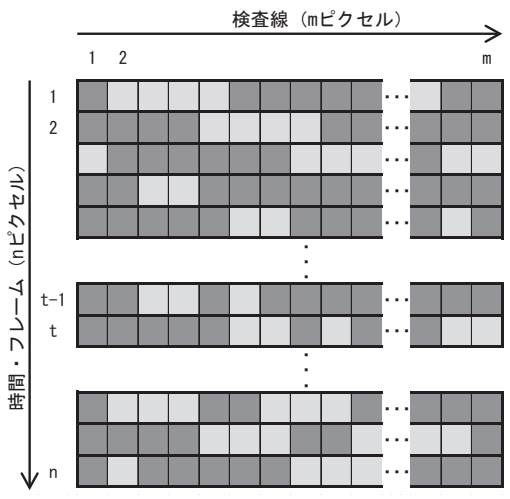
図－7に示すSTI画像から流速を計測する。STI画像の幅mピクセルは検査線の長さに対応し、高さnピクセルは映像に含まれる全フレーム数に対応する。映像開始からのフレーム数にフレームレートを掛けたものが映像開始からの経過時間となる。フレーム(t)の検査線画像を以下、検査線画像(t)と表す。検査線画像(t)および検査線画像(t-1)を流下方向にjピクセル移動させて比較するときの状況を図－8に示す。図で



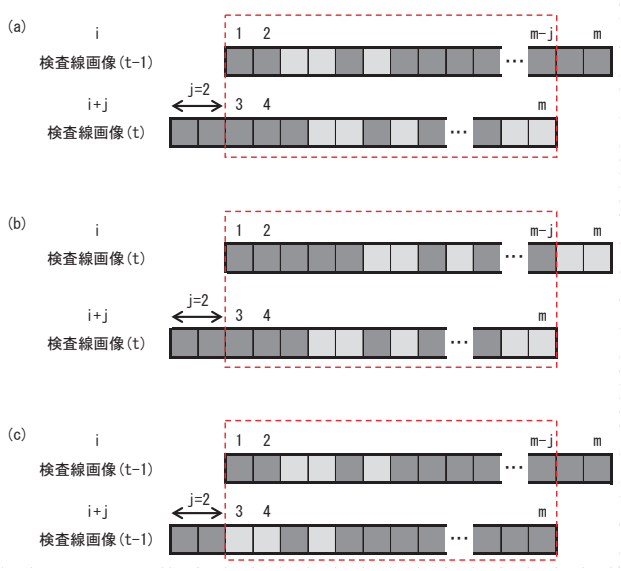
図－5　水面上を移動する水鳥



図－6　STIV法による流量と水位



図－7　STI画像



図－8　検査線画像の比較（j=2）

は2ピクセル移動（j=2）の状況を示している。

図の(a)は検査線画像(t)と移動させた検査線画像(t-1)の比較であり、流れに関係する模様を評価するのに用いる。検査線画像(t-1) のiピクセルのグレースケール値（以下、ピクセル値）を$P_{t-1,i}$とし、検査線画像(t) のi+jピクセル値を$P_{t,i+j}$とする。移動量jの評価値$R1_{t,j}$を式(1)、式(5)、式(6)によって算定する。$R1_{t,j}$は動きがある模様に対して評価が高くなる。

図の(b)は検査線画像(t)の比較であり、流れに関係がない模様を評価するのに用いる。iおよびi+jのピクセル値をそれぞれ$P_{t,i}$、$P_{t,i+j}$とする。移動量jの評価値$R2_{t,j}$は式(2)、式(4)、式(5)で算定する。$R2_{t,j}$は映り込みや定位置での白波の発生等、動きがない模様に対して評価値が高くなる。

図の(c)は検査線画像(t-1)の比較であり、(b)同様に流れに関係がない模様を評価するのに用いる。iおよびi+jのピクセル値をそれぞれ$P_{t-1,i}$、$P_{t-1,i+j}$とする。移動量jの評価値$R3_{t,j}$は式(3)、式(6)、式(7)で算定する。$R3_{t,j}$は動きがない模様に対して評価値が高くなる。

検査線画像(t)と検査線画像(t-1)による移動量jの評価値$E_{t,j}$を式(8)によって算定し、STI画像全体の移動量jの評価値$E_{STI,j}$を式(9)で算定する。最も評価の高い移動量jをSTI画像の1フレームあたりの移動量とする。移動量に検査線1ピクセル当たりの長さを掛けて表面流速とする。

$$R1_{t,j}=\frac{\sum_{i=1}^{m-j}\left(P_{t-1,i}-\overline{P_{t-1,j}}\right)\left(P_{t,i+j}-\overline{P_{t,j}'}\right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m-j}\left(P_{t-1,i}-\overline{P_{t-1,j}}\right)^2\sum_{i=1}^{m-j}\left(P_{t,i+j}-\overline{P_{t,j}'}\right)^2}} \quad (1)$$

$$R2_{t,j}=\frac{\sum_{i=1}^{m-j}\left(P_{t,i}-\overline{P_{t,j}}\right)\left(P_{t,i+j}-\overline{P_{t,j}'}\right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m-j}\left(P_{t,i}-\overline{P_{t,j}}\right)^2\sum_{i=1}^{m-j}\left(P_{t,i+j}-\overline{P_{t,j}'}\right)^2}} \quad (2)$$

$$R3_{t,j}=\frac{\sum_{i=1}^{m-j}\left(P_{t-1,i}-\overline{P_{t-1,j}}\right)\left(P_{t-1,i+j}-\overline{P_{t-1,j}'}\right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m-j}\left(P_{t-1,i}-\overline{P_{t-1,j}}\right)^2\sum_{i=1}^{m-j}\left(P_{t-1,i+j}-\overline{P_{t-1,j}'}\right)^2}} \quad (3)$$

$$\overline{P_{t,j}}=\frac{\sum_{i=1}^{m-j}P_{t,i}}{m-j} \quad (4)$$

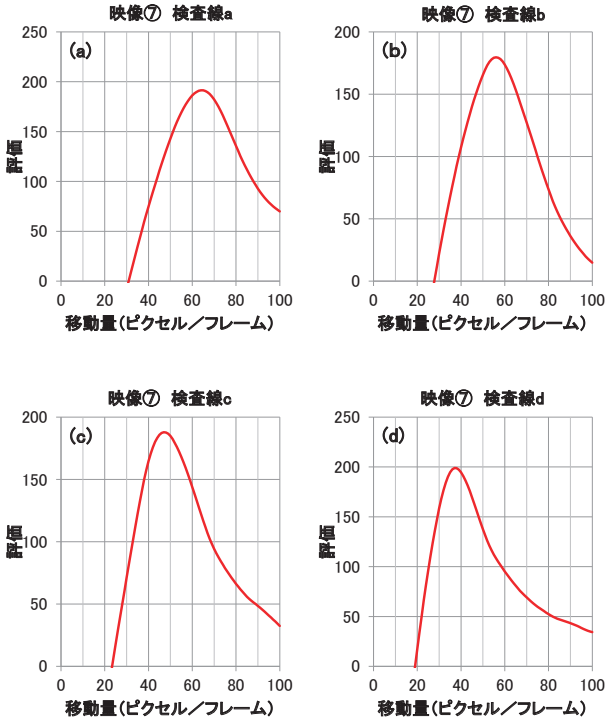
$$\overline{P_{t,j}'}=\frac{\sum_{i=1}^{m-j}P_{t,i+j}}{m-j} \quad (5)$$

$$\overline{P_{t-1,j}}=\frac{\sum_{i=1}^{m-j}P_{t-1,i}}{m-j} \quad (6)$$

$$\overline{P_{t-1,j}'}=\frac{\sum_{i=1}^{m-j}P_{t-1,i+j}}{m-j} \quad (7)$$

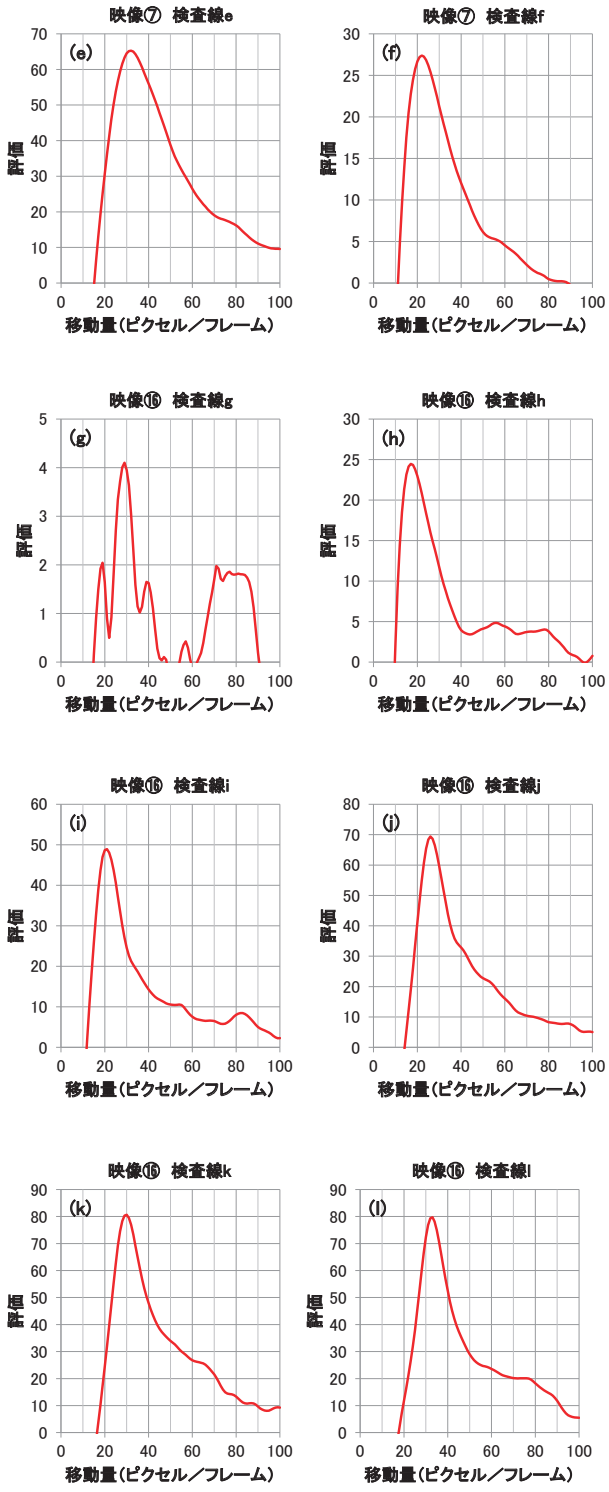
$$E_{t,j}=2\times R1_{t,j}-R2_{t,j}-R3_{t,j} \quad (8)$$

$$E_{STI,j}=\sum_{t=2}^{n}E_{t,j} \quad (9)$$

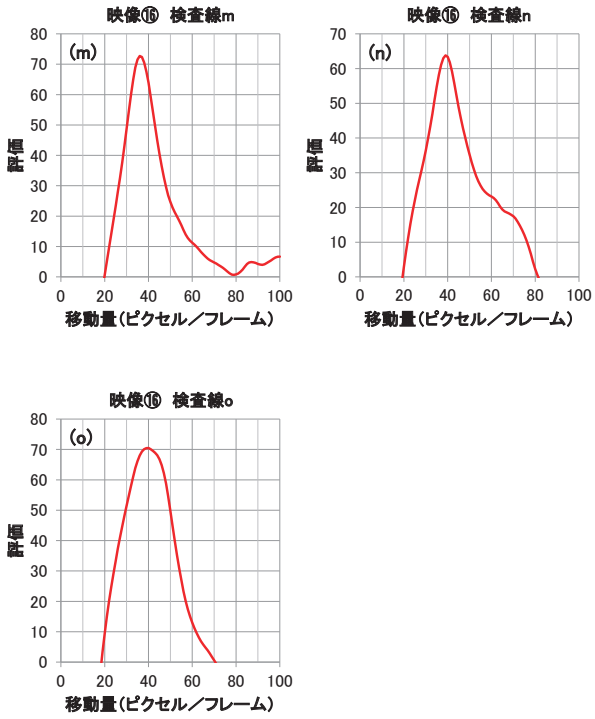


図－9(1)　移動量の評価（a～d）

式(1)～(9)によるSTI画像の移動量の評価値を図－9に示す。



図－9(2)　移動量の評価（e～i）



図－9(3)　移動量の評価（m～o）

5.　更正係数の検討

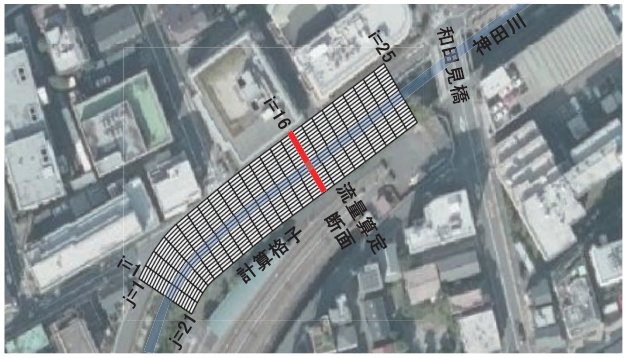
表面流速を平均流速に換算する際に、表面流速と平均流速の比である更正係数を用いる。水路における検討では[3]水深に対して水路幅が小さい場合に係数が0.9以上となっており、矩形に近い断面では更正係数が0.85と大きく異なることが考えられる。

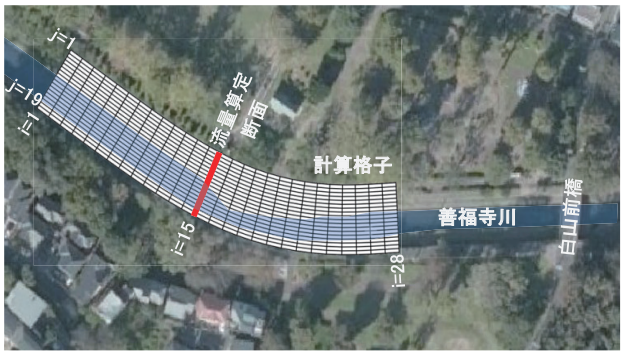
2地点の更正係数を把握するため、3次元不定流計算をおこなった。計算にはiRICの解析ソルバーNays CUBEを用いた。計算範囲を図－10に示す。格子の大きさは、i：流下方向4m、j：横断方向1mとし、k：鉛直方向の分割は10とした。流量は10m^3/s間隔で和田見橋は10～80m^3/sの8ケース、白山前橋は10～60m^3/sの6ケースの計算をおこなった。計算は一定流量を入力し200秒経過時の結果を出力した。地形データは東京都デジタルツイン実現プロジェクト区部点群データのグリッドデータDEM(0.25m)を用いた。

流量算定断面の中心付近における流速の鉛直方向の分布を図－11に示す。図中のk=11の流速を表面流速とし、k=1～11の平均を平均流速とした。平均流速を表面流速で割ったものを更正係数とした。1m間隔に更正係数を算定し、これらを平均した値を断面の更正係数とした。

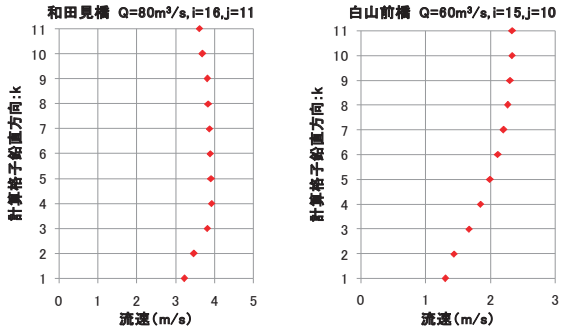
更正係数を図－12に示す。和田見橋では流量増加と共に更正係数が大きくなる傾向がみられ、流量が小さい場合でも0.85より大きくなった。白山前橋では流量に拘らず更正係数は概ね一定であり、0.85に近い値となった。

都内全域でグリッドデータDEM(0.25m)が整備され

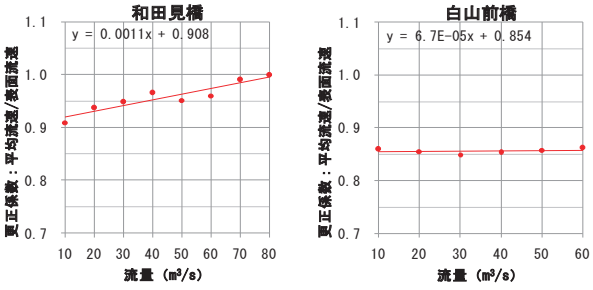




図－10　水理計算範囲



図－11　鉛直方向の流速分布



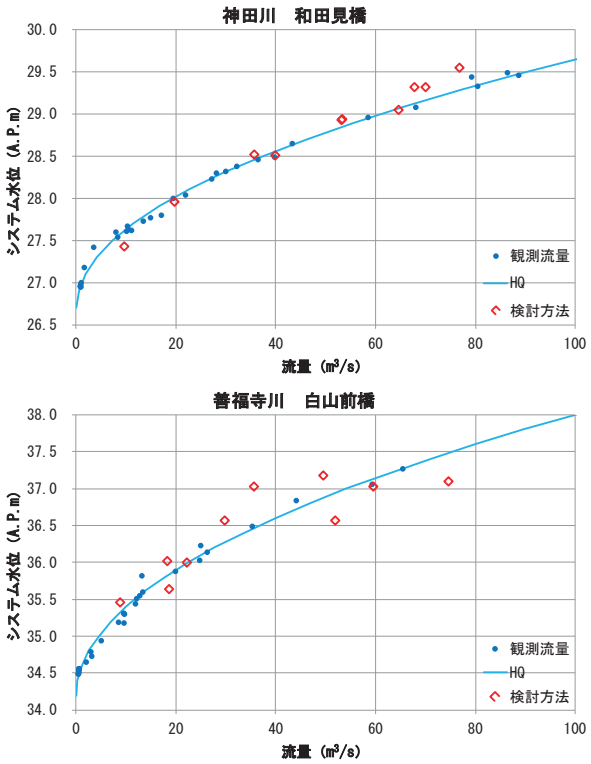
図－12　更正係数

ており、都内中小河川の更正係数を把握する方法として3次元の水理計算を用いることは有用だと考えられる。

6.　検討手法による流量算定

式(1)～(9)によりSTI画像の移動量を評価し、検査線の空間スケール（m/ピクセル）と映像のフレームレートを用いて表面流速を算定した。表面流速に更正係数を掛けて平均流速を求め、区分求積法により流量を算定した。更正係数は図－12に示した式を用い、流量算定に用いた更正係数と流量から算定した更正係数が一致するまで繰り返し計算をおこなった。

検討した手法による算定流量とシステム水位の関係を図－13に示す。白山前橋では流量のばらつきが大きいといった課題はあるものの、2地点共に流量観測に近い結果が得られており、監視局映像により流量の把握が可能だと判断される。



図－13　検討手法による流量と水位

7.　まとめ

都内中小河川の監視局映像を用いて流量を算定する方法を検討した。2地点の監視局映像に対してSTIV法をそのまま適用した場合は流量を小さく評価する傾向がみられた。この原因として1フレームあたりの移動量が大きくSTI画像の模様の傾きが水平に近いこと、流れに関係がない水面への映り込み等が影響を及ぼしていること、矩形に近い断面形状では更正

係数が大きくなることが考えられた。

STI画像から流速を判定する計算式を提示するとともに、三次元の水理計算により流量と更正係数の関係を求めた。これらを用いて2地点の流量を算定した結果、従来の流量観測に近い流量が得られた。このことから引き続き検証は必要であるが、都内中小河川における実際の流量を監視局映像によって把握することは可能だと判断された。

参 考 文 献

1) 国土交通省 水管理・国土保全局 河川計画課 河川情報企画室（2023）：非接触型流速計測法の手引き（案）

2) 東京都（2026）：令和8年度東京都水防計画

3) 鈴木弘（1960）：ボール浮子の実験的考察－水位のちがいによる浮子更正係数の推移－，農業土木研究，27巻，7号，pp.453-456.