

ITV施設を利用した河川流の画像計測

MEASUREMENTS OF RIVER FLOW BY ITV VIDEO CAMERA

藤田一郎¹・竹原幸生²・綾史郎³・酒井信行⁴・玉井昌宏⁵・高野保英⁶・宮本仁志⁷
Ichiro FUJITA, Kosei TAKEHARA, Shiro AYA, Nobuyuki SAKAI, Masahiro TAMAI,
Yasuhide TAKANO, and Hitoshi MIYAMOTO

¹正会員 学博 神戸大学助教授 都市安全研究センター (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)

²正会員 博(工) 近畿大学助教授 理工学部 (〒577-8502 東大阪市小若江3-4-1)

³正会員 工博 大阪工業大学教授 工学部 (〒535-8585 大阪市旭区大宮5-16-1)

⁴国土交通省近畿地方整備局淀川工事事務所 事業対策官 (〒573-1191 枚方市新町2-2-10)

⁵正会員 工博 大阪大学大学院助教授 工学研究科 (〒565-8871 吹田市山田丘2-1)

⁶正会員 博(工) 近畿大学助手 理工学部 (〒577-8502 東大阪市小若江3-4-1)

⁷正会員 博(工) 神戸大学助手 工学部 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)

Surface velocity distribution of the Uji River in normal flow condition was measured by an image analysis technique, i.e. the large-scale particle velocimetry (LSPIV) proposed by one of the authors, using various types of flow tracers. In LSPIV, small ripples appeared on the water surface has been used as a kind of tracer representing the surface velocity. In this research, other conventional floats such as surface floats, 1m-long floats and 2m-long floats together with biodegradable tracers were used to examine the traceability of surface ripples used in LSPIV. The river surface images were videotaped by a CCTV camera, controllable from the Kinki Regional Bureau of the Ministry of Land, Infrastructure and Transport. Simultaneous surface image capturing was also conducted using several conventional digital video cameras placed on one side of the riverbank in order to compare the accuracy of the method under different viewing angle conditions.

Key Words : river flow measurement, LSPIV, river surface flow, flow tracer, float, CCTV, ITV, image analysis, traceability

1. まえがき

近年, 情報通信のインフラ整備の一環として一級河川の堤防を利用した光ファイバー網の敷設が全国規模で行われ, 主要な地点には ITV(Industrial Television)施設が配備されるに至っている. この光ファイバー網はいわゆる総合防災情報ネットワークのシステムを構築するものであり, 水系全体の流況や河川管理施設の状況を24 時間体制で集中管理することがその主目的とされている. 例えば, 淀川水系では水位観測所, 樋門, 排水機場等の計 51 地点においてその設置が完了し, 現在稼働している. ITV 施設の具体的な目的は多種多様だが, 例えば取水施設の監視, 不法行為 (不法取水, 不法工作物, 不法投棄) の監視, 河川環境 (植生, 鳥類などの生態) の状況把握, 洪水時の河岸状況の監視などがあげられる. 特別なケースとしては遊水地や地すべり地区などを対象とした集中管理の手段として利用されることもある. 各 ITV 施設に設置された CCTV(Closed Circuit

Television)カメラは, 各地方整備局の工事事務所内に備え付けられた操作パネル (専用パソコン) によってチャンネルの切り替えが容易に行え, 各チャンネルのカメラアングルやズームを自在に制御できるようになっている. もちろんビデオ画像の録画も可能である. 配備されている CCTV カメラ本体の性能は, ズーム倍率だけを比較しても一般的な家庭用ビデオカメラよりははるかに高性能なものであり, 外部光が弱まると自動的に光蓄積モードになるため微弱な明かりの下でも観測が可能となっている.

以上のように, 高性能なビデオカメラが ITV 施設に配備されるなど, 河川網をめぐるインフラが十分に整備されつつあるのは確かであるが, ITV 施設利用の現状は, 緊急的な災害時を除けば必ずしも有効活用されていないのが実態のように思われる. これは, ITV 施設の利用形態がいわゆる監視のレベルにとどまっているためであり, 必要に応じて CCTV カメラから定量的な情報を引き出すことが可能であれば, ITV 施設の活用範囲は格段に拡がることが期待できる. ビデオ画像から引き出せる可能

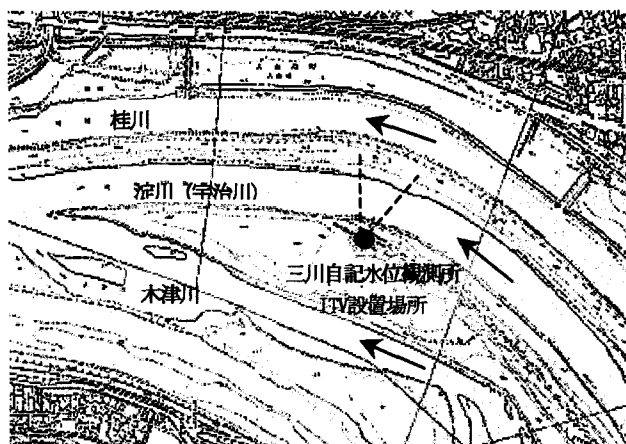


図-1 ITV設備設置箇所付近の平面図

性のある定量的な情報としては、流れに関する情報、河川周辺の植生繁茂状況、さらには河川公園などの利用実態（利用者数）などが考えられる。あるいは、定量的な情報ではないが、洪水時における河岸危険個所のリアルタイムのモニタリング、すなわち河岸の侵食、崩落や変形を自動的に検出して水防活動を支援するシステムの構築などにも ITV 施設は有効であると思われる。ここでは、以上の可能性の中から、まず、流れ場に関する情報を対象として研究を行った。流れ場の画像計測に関しては LSPIV (Large Scale Particle Image Velocimetry) ¹⁾⁵⁾ としてこれまで藤田、綾のグループが計測法の開発を行ってきているからである。本研究では、特に流れの追跡に利用するトレーサに関する検討および河岸に設置したデジタルビデオによる同時計測結果との比較から、ITV を利用する際の問題点などについて検討を行った。

2. 現地観測の概要

(1) 現地の流況

現地観測の地点は、淀川水系における木津川、宇治川、桂川の三川合流地点（淀川距離標35.8km付近）に設置してあるITV施設のサイトである。このITV施設は国土交通省地方整備局淀川工事事務所内から遠隔操作できる。ITV設備設置箇所付近の平面図を図-1に示す。この地点では、桂川、淀川（宇治川）および木津川の三川がほぼ並行して流下し、宇治川と桂川は左岸方向に湾曲しながら合流点に達する。ITV施設はその湾曲部のほぼ頂点にあたる地点に設置された自記水位観測所に併設されている。この付近には橋はなく、最も近い橋（御幸橋）でも上流へ約1km以上の地点にある。この地域の特徴は河岸に沿って植生や樹木が十分に繁茂し、豊かな自然が残されている点にある。ただし、それらがITV設備から望むことのできる河川部分を制限しているのも事実である。そこで、今回の検討では、三川全体ではなく比較的視野

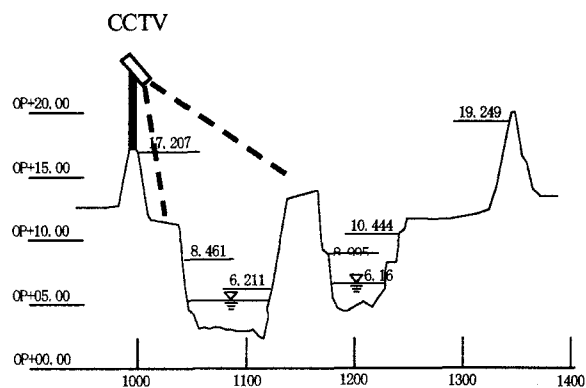


図-2 横断河床形状（宇治川36km）

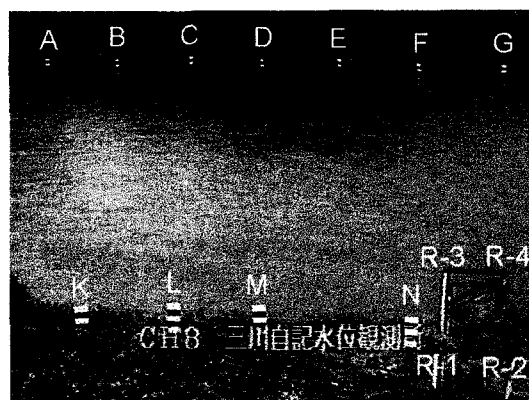


図-3 標定パネルの設置状況（CCTVカメラより、下流側アングル）

の良好な宇治川サイドの河川区間（図-1中の破線で示された区間）を計測対象とすることとした。36km地点の宇治川の河床横断形状を図-2に示す。湾曲の影響で宇治川では外岸側の河床が若干低下していることがわかる。平水時の水面幅は70m程度で、この区間の河川幅はほぼ一定である。CCTVカメラの設置高さは堤防上約8.6mなので、最遠点である対岸（宇治川右岸）を見下ろす俯角は10度程度となる。これは、LSPIVの適用において良好な計測を行うための目安⁴⁾に相当しており、このITV施設は宇治川画像計測に十分な撮影アングルを有していることがわかる。本研究では、撮影アングル比較のためにITV施設近辺の河岸にビデオカメラを設置し、同時撮影を行った。この場合の撮影俯角は最遠点で約6度であり、CCTVカメラの俯角と比べると半分程度であった。

LSPIVでは斜め画像の幾何補正を行うために、河岸にいくつかの標定点を必要とする。本研究では、高さ1.5m、幅40cm、厚み2cm程度の木製の標定パネルを作成し、両河岸に沿って配置した。標定パネルには、縦方向に20cm間隔で白黒の模様をつけた。これは、同一地点で高さの異なる標定点座標を容易に得るためである。標定パネルの設置状況を図-3に示した。また、今回の撮影では2つのプリセットアングルを設けたが、各アングルに対する

幾何補正画像を合成したものを図-4に示した。図からもわかるように標定点は、右岸側に10ヶ所(A~J)、左岸側に7ヶ所(K~Q)の合計17ヶ所に設置し、各々の座標を三次元測量した。図中には河岸に設置した3台のデジタルビデオカメラの撮影アングルも同時に示してあるが、明らかに撮影範囲が狭くなっているのがわかる。広角レンズを利用すればこの範囲を多少広くすることはできるが、その場合はレンズの歪による影響は避けられなくなる。

(2) CCTVの機能

ITV施設に装備されたCCTVカメラは、前述のようにズームやアングルを自在に制御できることに加えて、特定の撮影状況をプリセットできること、すなわち指定したカメラのアングルやズームの状態を記憶(予約)できる点も重要な長所である。淀川工事事務所施設の場合には、最大10までのプリセットが可能となっている。この機能を利用することによって、別の日時に発生した洪水流を同一の視野で比較できるようになる。ただ、よく調べてみると、プリセットにはアングル、ズームのどちらにも多少の「あそび」があり、最大で5~10画素程度のずれが生じることがわかった。このずれは、対岸側ではメートルオーダーの誤差を引き起こし無視できないため、画像の幾何補正にはやはり十分な注意が必要である。

一方、CCTVからの映像は光ケーブル内をデジタル圧縮信号として伝送されるが、端末の出力時にはNTSC規格のアナログ信号に変換されてしまうため、画質は本来の映像よりもかなり劣化していた。

(3) トレーサに関して

LSPIVでは、洪水時の水面に発生する波紋などを表面トレーサの代替物として利用するが、波紋の表面流追従性に関する直接的な検証はこれまで行っておらず、得られた流量が妥当なことから間接的にその妥当性を論じてきたにすぎなかった³⁾。そこで、ここでは波紋だけではなく洪水観測に利用される浮子や表面を浮遊するトレーサなどを用いて流速分布を求め、波紋利用の有用性に関する検討を行うこととした。用いたのは、通常洪水観測に用いられる3種類の浮子(表面浮子、1.0m浮子および2m浮子)、生分解性の緩衝材(製品名:日祥製ノボンフォーム、直径2cm、長さ10cm程度の澱粉)、および直径15cm程度の”せんべい”である。浮子は通常、水深に応じて表面浮子(水深0.7m以下)、0.5m浮子(0.7m~1.3m)、1m浮子(1.3m~2.6m)、2m浮子(2.6m~5.2m)、および4m浮子(5.2m以上)が使い分けられ、各々の更正係数 α はそれぞれ0.85、0.88、0.91、0.94、0.96とされている。ここに、更正係数は浮子流速に乗じてその地点の平均流速を推定するための係数である。現地観測当日の水深は3m程度(水位:OP6.21m)だったので本来ならば2m浮子のみを使えばよい訳だが、比較のために敢えて短い浮子も同時に用いることとした。近くに橋がないため、

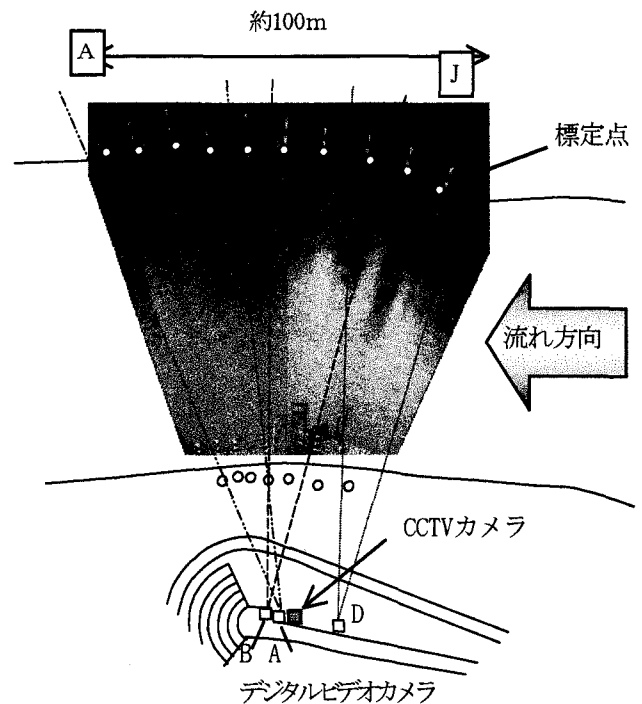


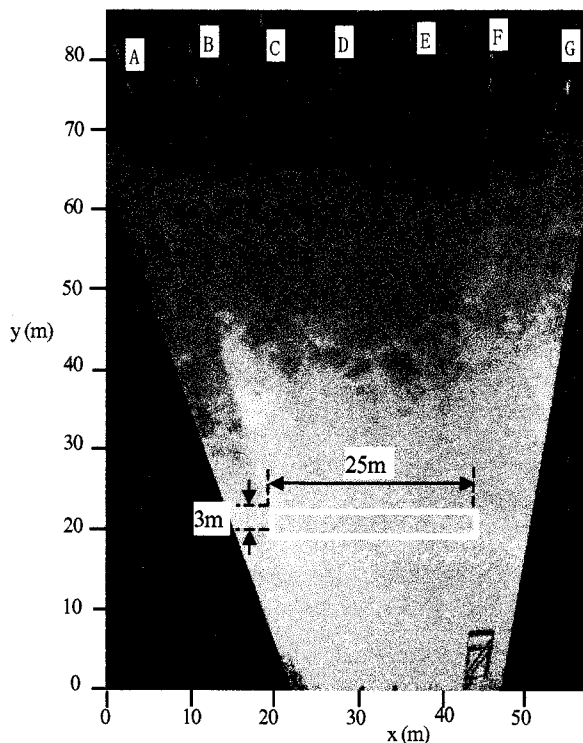
図-4 撮影状況

これらの浮子やトレーサは、計測断面の100m程度上流側で2人乗りの原動機付きボートから投入した。投入に際しては、ボートによって生じる航跡波の影響を最小限にとどめるために、上流側でモーターを停止させて波の減衰を待った後に、河川を横断しながら投入を行うよう心がけた。

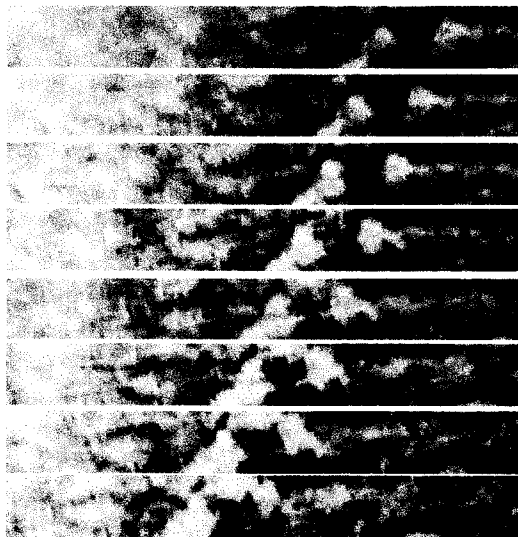
現地観測当日は、琵琶湖からの放流による小洪水を期待していたが、それまでの少雨のため琵琶湖の水位がそれほど上昇しておらず、放流量は例年よりは少なかった。それでも目測で1m/s程度の流速は生じているようだった。ただ、LSPIVで利用する河川表面の波紋を常時見出すことはできなかったため、時折、水面に吹きつける風によって明瞭に現れる波紋を利用することとした。この場合の風によって生じた波紋は航跡波のような重力波とは明らかに異なっていて、水面の凹凸を際立たせるだけの波高数ミリのものであり、それ自身の波速は無視できる程度であった。水面の凹凸は斜め撮影のために光の濃淡がかえって強調され、LSPIVで効果的に利用することができた。波紋の持続時間は1~2分程度で、間欠的に現れた。

(4) 波紋の移流状況

水面に現れた波紋の移流状況をわかりやすく説明するために、河川表面のある枠内の濃淡分布の時間変化を図-5に示した。図-5(a)に記した枠内(サイズ:25mx3m)の輝度分布を強調し、1秒間隔の画像を上から順に並べたのが図-5(b)である。画像の強調にはヒストグラム平均化法を用いている。この図より、河川表面にはメートルオーダーのスケールを有する構造が存在していること



(a) フレーム位置とサイズ (無歪画像上)



(b) 表面輝度分布の時間変化

図-5 CCTVカメラから撮影した水面波紋の移流状況 (上から順に1秒間隔, フレーム内の輝度はヒストグラム平均化により強調)

がわかる。また例えば、図-5(b)の右端上の白いスポットに着目すると7秒後には約8m流下しており、このスポットの平均移流流速が1.26m/s程度であることが知れる。LSPIVではこのようなパターン移動量のサブピクセルレベルでの計測を行っている。

3. 画像解析の方法

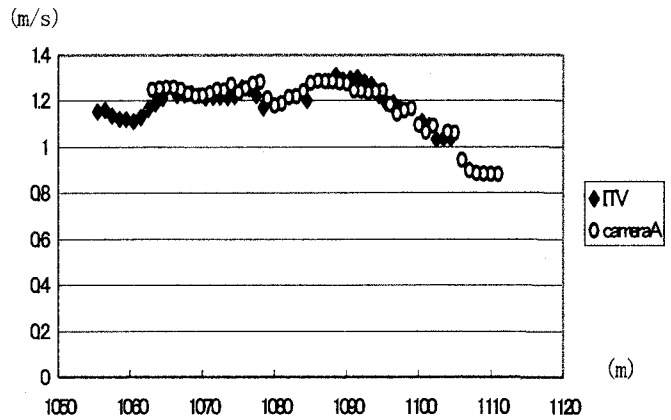


図-6 CCTVカメラと河岸デジタルカメラによる流速分布の比較 (トレーサ: 煎餅)

(1) 画像のデジタル化

前述のように、本観測で得られた CCTV からのビデオ画像はアナログデータ (VHS テープに記録) だったので、アナログキャプチャボード (ディテクト製, DIG-PCI) を用いてサンプリングを行い、640x480 画素の BMP(ビットマップ)ファイル群 (最大で連続 450 枚程度) を得た。一方、デジタルカメラによる映像 (DV テープに記録) は、DV キャプチャボード (カノーパス製) でムービーファイル(AVI ファイル)としてサンプリングした後、それをファイル分割して BMP ファイル群(720x480 画素)を得た。画像のサンプリングは最大 30Hz で行えるが、ここでは幾何補正後の連続画像間でトレーサを 20 画素程度移動させるために、どのケースにおいても 10Hz で画像サンプリングした。

(2) 表面流速の算出法

各トレーサの流速分布は、1画素を5cmとして幾何補正した無歪み画像を用いて求めた。水面波紋には通常の PIVを適用し、煎餅とノボンフォームにはその通過軌跡上でのみPIVを適用した。テンプレートサイズは51x51画素 (2.6m四方) とした。浮子の場合の一部が水面より突出しているため、画像の多重合成を行った後、マニュアル操作で水面に接した部分の座標を読み取って流速を求めた。

(3) 斜め画像の幾何補正精度

斜め画像の幾何補正を行い得られた無歪み画像に対して PIVを適用するのがLSPIVの特徴だが、幾何補正の精度は対岸が遠くなるほど対岸標定点のCRT座標の誤差が大きくなって画像変換精度が低下する。今回対象としたのはカメラから対岸標定点までが120m程度の水面領域だったが、幾何補正の精度を確かめるために水面に長さ 2 m のポール (20cm間隔の赤白の縞がついたもの) をカメラから様々な距離の場所に浮かべ、その長さを幾何補正画

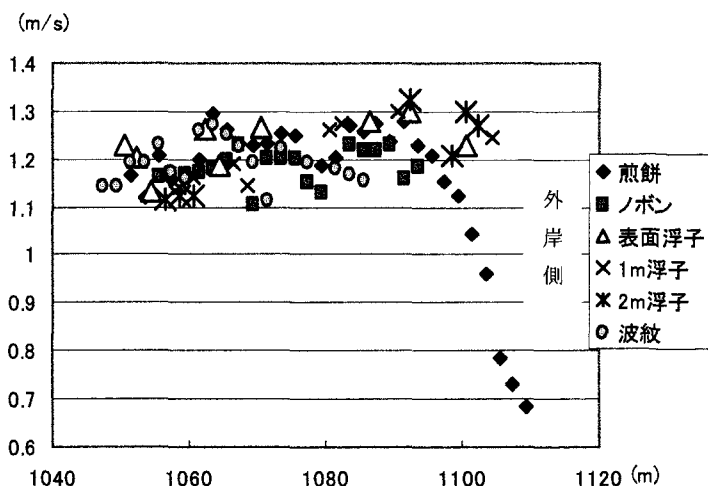


図-7 トレーサ別の流速分布の比較(x=200mの横断測線上)



図-9 右岸の循環流 (河岸ビデオカメラから)

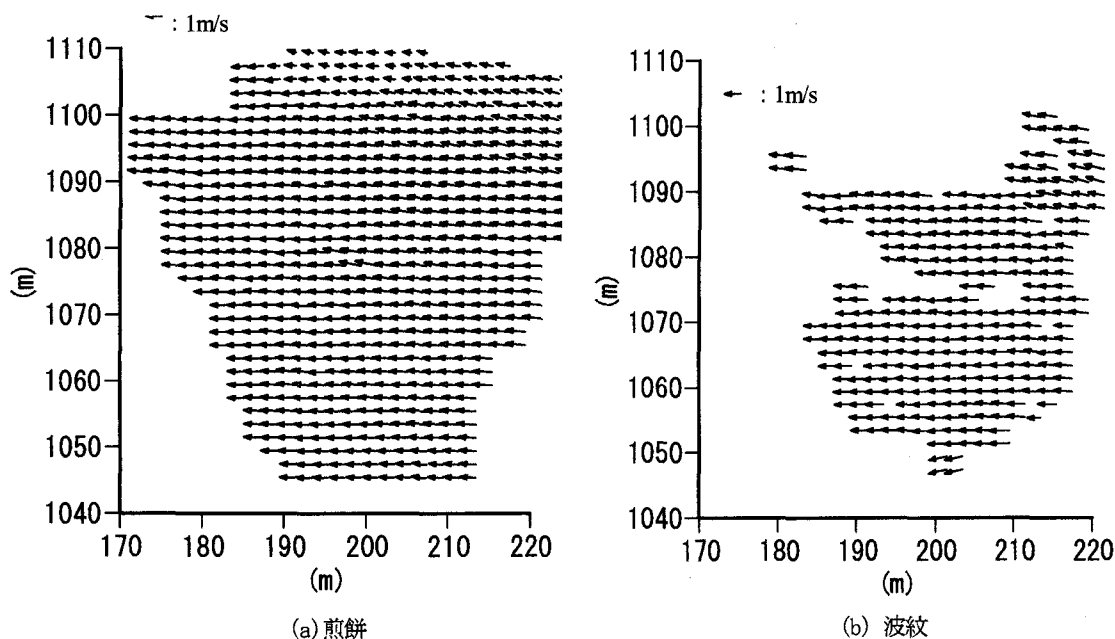


図-8 表面流速分布の比較 (CCTV, 下流側アングル)

像上で調べた。その結果、CCTV画像ではポール長の計測誤差が1.0パーセント程度だったのに対し、河岸からのデジタルビデオ画像では最大10パーセントの誤差が生じた。画質の点で優位なはずの后者の結果が悪かったのは、小俯角のためにポールの水平面内での傾きをうまく捉えられなかったためと思われる。この点はポールではなく円盤状のものを利用すれば改善可能と思われる。横断測線上の流速分布を直接比較したのが図-6である。両者はよく一致しており、良好な幾何補正が行われていたことがわかった。また、明瞭なトレーサがあれば俯角が10度以下でも解像度の良いビデオカメラを用いて流速計測可能であることが明らかとなった。

4. 結果と考察

(1) トレーサの比較

トレーサ別の主流方向流速分布を図-7に示す。波紋以外は瞬間流速値を表している。まず、表面流に対する追従性が良いと思われる煎餅と緩衝材(ノボン)を比較すると若干の差異は認められるものの両者の結果は良く一致している。ただ緩衝材は分解速度が速く、流下中に消失することがあったため長い区間での計測には不向きであった。一方、波紋は表面トレーサの結果にほぼ一致しており、十分にトレーサの代替物として活用できることがわかった。図-8には二次元流速分布を比較したが、流向、流速とも同様の分布を示している。ただし、CCTVの画質が悪いのに加えて、太陽光の鏡面反射などで輝度が飽和状態となった部分や対岸の背景が水面に明瞭に映った部分では波紋のパターン識別が困難であったこと

もあり、解析範囲は表面トレーサよりは狭くならざるを得なかった。ただし、波紋利用の場合は表面トレーサを散布する労力がまったく不要であり、また、洪水時には波紋発生領域がさらに広がることが期待されるため、波紋の有効利用はやはり重要と思われる。

棒浮子の結果も全体的には表面トレーサと同様の傾向を示すが、浮子が長いほど外岸（右岸）に近づくにつれて流速が増大した。これは前述のようにこの観測地点が湾曲部にあるため、水面下で大きな流速を有する内部流れ（湾曲二次流）の影響が現れたものと思われる。これに対し、外岸側で表面トレーサの流速が急激に減少しているのは、図-4からもわかるように、上流側（標定点Jの前面付近）の右岸が若干突き出ており、その下流側で流れが剥離しているためである。河岸のビデオカメラがとらえたこの剥離循環流の可視化画像を図-9に示す。トレーサは緩衝材である。上流側に中心軸を持つ剥離循環流を良好に可視化できた。ただし、この循環流は波紋では観測できなかった。前述のように棒浮子は本来、平均流速と関連付けて流量計測に利用するものであるため、表面流では検出できない二次流に伴う水面下高速流を捉えた点は評価できる。ただ、このような流れ場に対する校正係数が不明なことも事実である。表面流速を利用して湾曲二次流が卓越する場の河川流量を高精度に計測するには、二次流の特性を考慮した校正係数を予め検討しておく必要がある。

(2) 全体的な流況

図-10にプリセット設定した2つのカメラアングルから得られた表面流速分布の合成図を示した。トレーサは煎餅である。流速値はメッシュ上の値に補間してある。表面流速は上流側では外岸に向かうが、下流側では河道にほぼ平行に向かう様子が良好に捉えられている。また、循環流の影響で対岸に沿った流れが減速している状況も得られた。

(3) CCTVカメラの問題点

今回の現地計測において明らかになったITV施設の問題点は、1)ビデオカメラ装置は高機能だが、光伝送時に画像が圧縮されるため、画質の劣化が著しい 2)カメラは数多くに設置してあるが、動画の記録装置が一台しかないため、多点同時計測が行えない 3)必ずしも最適な地点にITV施設が配置されていない等である。

5. あとがき

本研究では、一級河川を中心として広範囲に設置されているITV施設を有効に活用する方法として、河川表面流の画像計測法（LSPIV）の利用を提案した。LSPIVの活用において特徴的な水面波紋の流速追従性

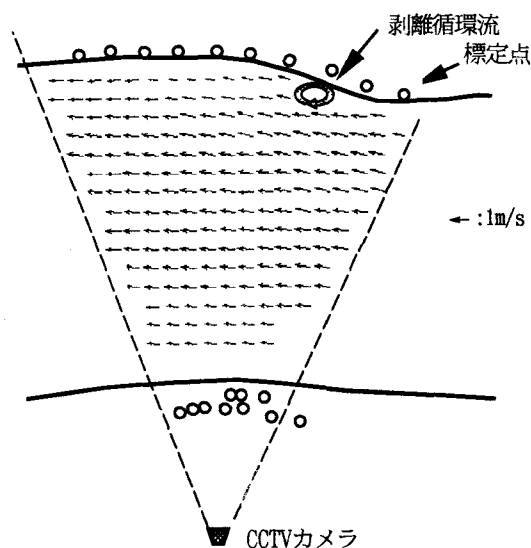


図-10 全体的な流速分布（2つのアングルによる結果の合成図；トレーサ：煎餅）

（traceability）を確認するために、種々の他のトレーサとの比較を行った結果、水面に生じた波紋は表面流速を代表するものとして利用できることを示した。一方で、ITV施設の問題点も明らかになった。特に、画像計測を行う上で画質の問題は致命的であり、高解像度・低照度対応のビデオ機器（例えばハイビジョンカメラなど）の導入など今後の改善が望まれる。

謝辞：本研究は土木学会水理委員会河川懇談会の共同研究「画像計測による河川環境の総合モニタリング技術の開発：研究代表者 藤田一郎」の研究の一環として遂行されたものである。現地観測では淀川工事事務所の方々、近畿大学、大阪工業大学、神戸大学の学生諸君の協力を得た。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 藤田一郎，河村三郎：ビデオ画像解析による河川表面流計測の試み，水工学論文集，Vol.38，pp.733-738，1994.
- 2) 綾史郎，藤田一郎，柳生光彦：画像解析を用いた河川の洪水時の流れの観測，水工学論文集，Vol.39，pp.447-452，1995.
- 3) Fujita, I., Aya, S. and Deguchi, T.: Surface velocity measurement of river flow using video images of an oblique angle, *Proceedings of the 27th Congress of IAHR, Environmental and Coastal Hydraulics*, pp.227-232, 1997.
- 4) Fujita, I., Muste, M. and Kruger, A.: Large-scale particle image velocimetry for flow analysis in hydraulic engineering applications, *Journal of Hydraulic Research, IAHR*, Vol.36, No.3, pp.397-414, 1998.
- 5) 藤田一郎：トレーサを利用した実河川水制周辺流れのビデオ画像解析，水工学論文集，Vol.42，pp.505-510，1998.

(2002. 4. 15 受付)