

## 都賀川水難事故調査について

土木学会都賀川水難事故調査団

### I. 事故概要および流況、ピーク流量の推定

神戸大学大学院工学研究科

藤田 一郎

#### 1. はじめに

平成 20 年(2008 年)7 月 28 日午後 2 時 40 分頃、神戸市灘区内を流れる都賀川において突発的で局地的な集中豪雨(ゲリラ豪雨)が発生し、その結果、急激な水位上昇によって河川を利用していた市民・学童 5 名の人命が失われるという水難事故が発生した。都賀川は、官民一体による河川整備の成功例として知られ、様々な親水活動や環境学習のフィールドとして利用されてきたが、今回の水難事故は河川管理者と利用者である流域市民に対し、親水利用に関してこれまでに想定されていなかった新たな諸問題を投げかけている。本事故調査団では、今回の事故の要因を科学的に分析するとともに、事故防止施策に関する提言をまとめる。

#### 2. 都賀川流域の概要

都賀川流域は兵庫県の南部、阪神地域の六甲山から瀬戸内海に注ぐ表六甲河川 24 水系の一つである(図-1)。都賀川は、上流の六甲川と柚谷(そまたに)川の合流点から河口までの 1.79km の河川で、治水基準点西灘橋における流域面積は 8.57km<sup>2</sup> である。河床勾配は河口から 800m の国道 2 号付近までが 1/200 から 1/60 程度、そこから 800m 上流の甲橋付近は 1/35 程度、それから上流は 1/20 程度と全体的に非常に急になっている。河川幅は 15 ~ 20m 程度である。流域の大半は六甲山系の山林であり、流域の下流側では山際まで市街地が開発されている。市街地には雨水幹線網が整備されており、市街地に降った雨の多くは雨水幹線を通して都賀川に横流入する。

都賀川で平成 8 年から 17 年にかけて行われた河川改修では、治水機能を高めるだけで

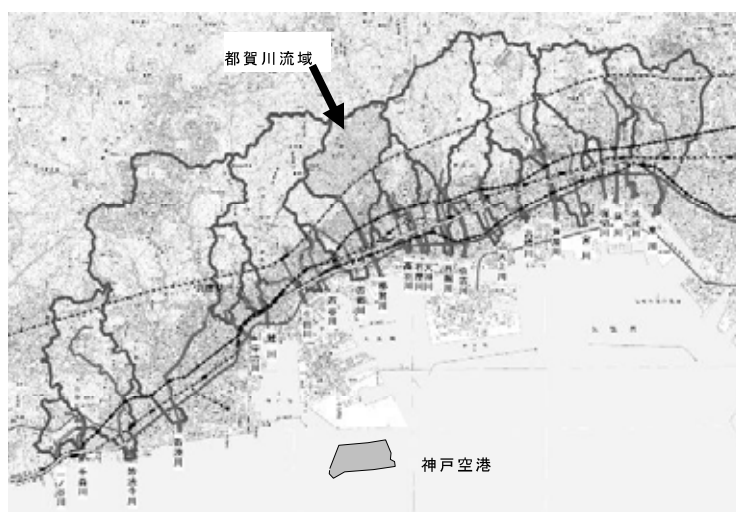


図-1 表六甲河川

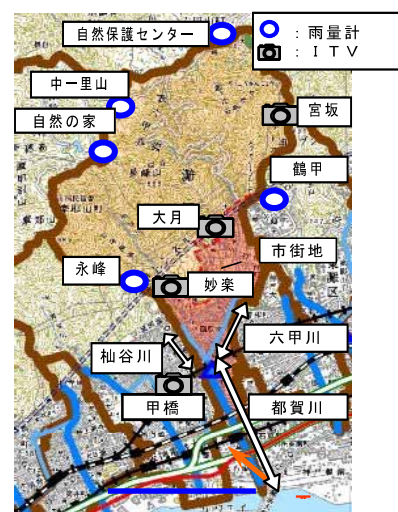


図-2 水文観測地点など

なく、30年以上の歴史をもつ「都賀川を守ろう会」や都賀川を利用する市民からの要請もあり、環境への配慮を考えた親水施設の整備が進められた。また、阪神大震災時には都賀川の水を生活用水に利用したことから緊急時の河川水利用施設整備のニーズも生まれていた。その結果、階段・スロープ・遊歩道などの親水施設の整備や自然石や環境ブロックを使用した生物にやさしい水路整備が行われると同時に、注意喚起看板設置や出前講座など安全・マナーについての啓発を行うなどのソフト面の取り組みも行われていた。

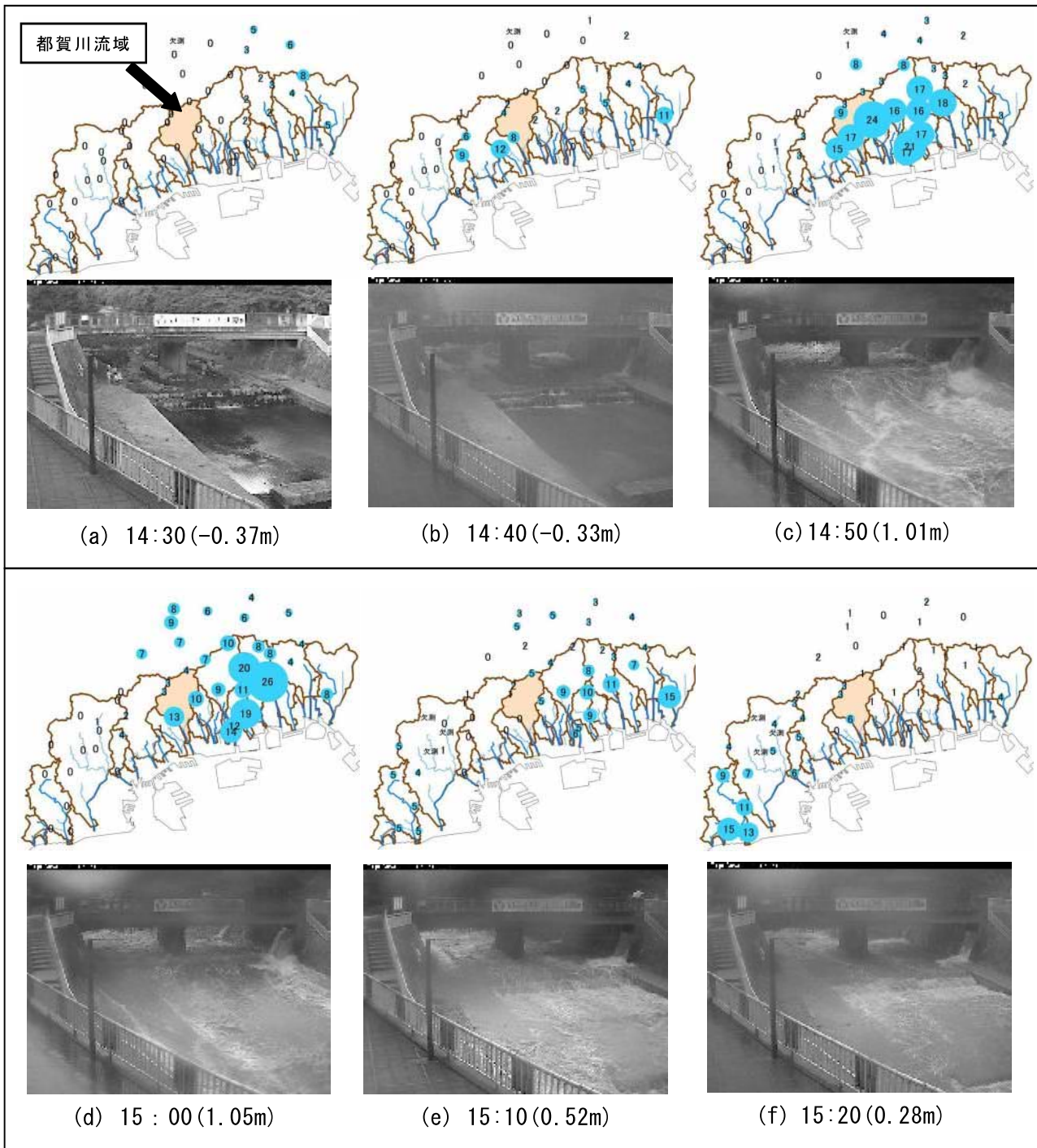


図-3 降雨分布と甲橋監視カメラの画像（カッコ内は水位）

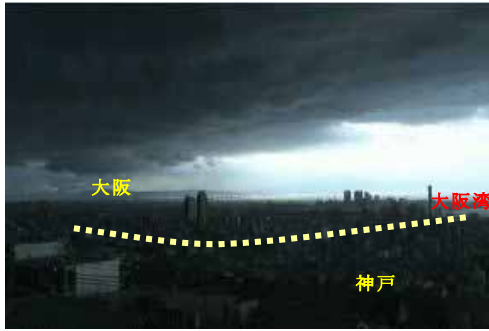


図-4 都賀川上空の雲(14:20頃)



図-5 流入直後の監視カメラの画像(14:44)

### 3. 降雨と流出の状況

神戸市では、表六甲河川の主要地点 30 カ所に河川モニタリングカメラを設置しており、都賀川では甲橋のカメラが事故当日の様子を鮮明にとらえていた。このカメラでは2分間隔で静止画を記録しており、最新の画像および過去6時間のデータを30秒に圧縮した動画をインターネットで公開している。甲橋の直上流には水位計が設置してある。また、流域の周辺には雨量計や国土交通省六甲砂防事務所の監視ビデオ(ITV)が設置してある(図-2)。ここでは、当日の表六甲河川の流域の降雨の状況と甲橋カメラの画像を図-3と比較し、その他の情報とあわせて水難事故当日の状況について説明する。

モニタリングカメラの画像から急激な水位上昇が生じたのは、14:42分頃と推測できる。その約10分前の14:30には雨は降っていないが、上空では黒い雲が南下しつつあり周囲が暗くなってきている(図-4、市民提供の上空ビデオより)。橋の下の遊歩道にはまだ人が残っているが、雷鳴などもあり河川内にいる人は少なくなっている。実際に雨が降り始めたのは14:36頃であり、14:40には視界が悪くなるほどの降雨が発生している。西側支川の柚谷川上流(永峰)では10分間雨量で8mm、東側支川の六甲川上流(鶴甲)では2mmが計測されている。14:50には、表六甲の中央の山麓部で10分間に15~20mm程度の非常に強い雨が観測されているが、都賀川ではすでに14:42に大規模な流入が始まっている。水位計では15:00までの10分間で1.3m程度の水位上昇が記録されているが、監視カメラの

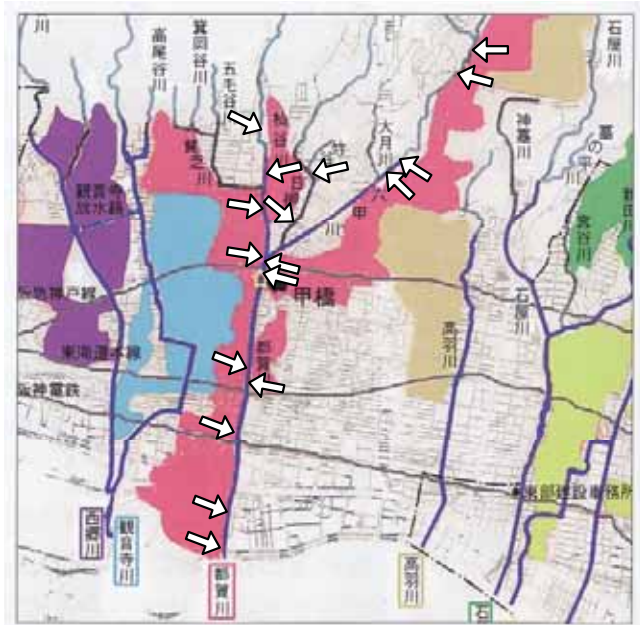


図-6 雨水幹線排水域と流入箇所

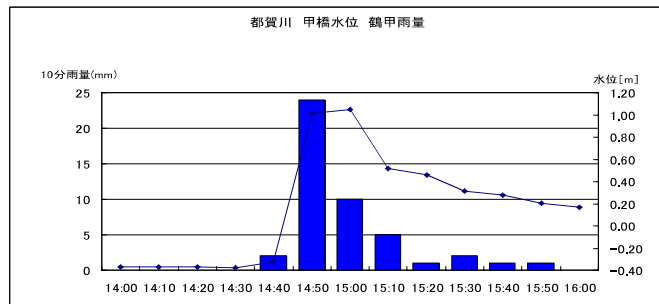


図-7 鶴甲雨量と甲橋水位



画像では 14:44 にはすでに同程度の水位上昇が確認できる（図-5）。したがって、実際には 1m を超える増水は 2 分以内に生じていることがわかる。ここまでの間、六甲川上流にある宮坂 ITV と大月 ITV では河道内流れの発生が見られず、柚谷川上流の妙楽 ITV では水位の上昇を確認できることから、初期の増水は主に柚谷川サイドに降った雨が主要な要因と考えられる。

図-6 には都賀川流域の雨水幹線排水域と流入箇所を示すが、上流の排水域はそのほとんどが住宅地で道路舗装も進んでおり、加えて地形が 1/20 以上の急勾配であるため、排水域に降った雨が雨水幹線や普通河川を経て一気に本川に流入する構造となっている。このような流域に急激にきわめて強い雨が降った結果、実河川ではきわめてまれな段波的な流れが発生したと思われる。仮に水深が 1m とすると段波の流下速度は毎秒 3m 以上にもなるため、発生した段波的な流れは 1~2 分で最初の水難事故現場に到達している。この時間スケールは、甲橋の監視カメラによる増水状況と一致する。

14:50 以降は、引き続き強い降雨の影響で高い水位が 10 分程度継続し、15:00 には水位のピークが生じている。この間、河道内両側の遊歩道は冠水している。水位は、降雨の減衰に伴って急速に低下し、15:10 では遊歩道も見えるようになっている。図-7 に最大の 10 分間雨量データを記録した鶴甲でのハイエトグラフと甲橋での水位ハイドログラフを示す。鶴甲でのピーク雨量は 1 時間換算で 144mm に相当するきわめて大きなものであり、この部分の降水量が 10 分間程度続く高い水位の要因となっている。神戸大学工学部学舎は六甲川の排水域に含まれるが、この間、構内の舗装道路などは 10cm 程度冠水している。一方、この間も六甲川上流の ITV には水面を有する流れの発生が認められず、森林域からの直接の流出はほとんどなかったと言える。すなわち、それまで晴天が続いたこともあって、初期の降水の大部分は地下浸透したと考えられる。したがって、今回の急激な出水は突発的で急激な降雨、いわゆるゲリラ豪雨が雨水幹線の排水域に降ったために生じたものとみなせる。

#### 4. 水難事故の状況

以上のように、今回の出水は異例とも言えるような急激なものであったため、逃げ遅れた 5 人の方が亡くなるという痛ましい水難事故が発生した。新聞報道等による水難事故の状況はおおよそ以下のようなものである（図-8）。

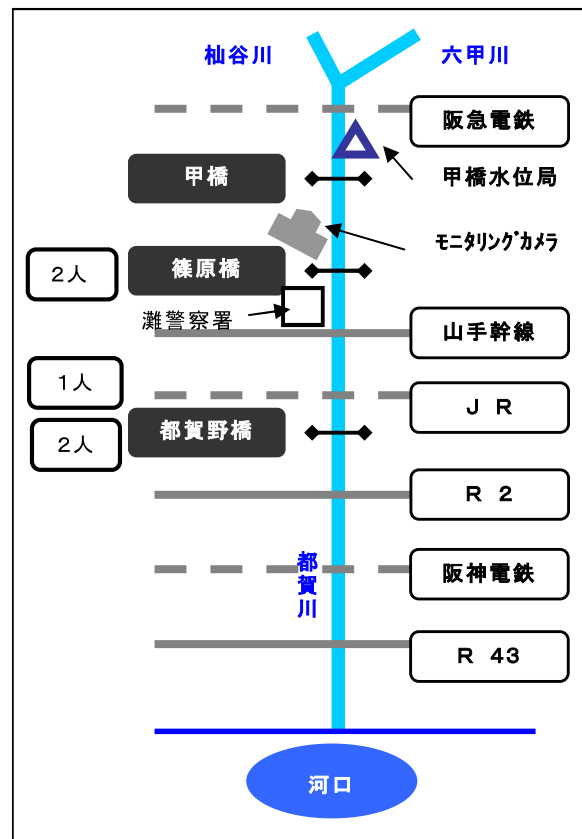


図-8 水難事故地点



図-9 新都賀川橋橋脚周辺の流況（四角の部分ブレ補正用の目印）

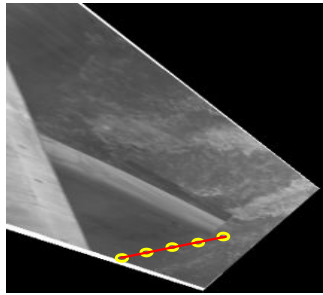


図-10 幾何補正後の画像と浮遊物の軌跡

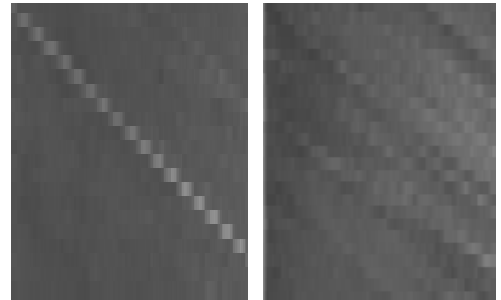


図-11 時空間画像の例（横軸=3m, 縦軸=0.67秒、左：浮遊物、右：泡など）

篠原橋近くでは小学生の児童二人、都賀野橋では保育園児一人と大人の女性が流されて亡くなり、翌々日になって JR 神戸線の高架下の遊歩道で休憩中だったと思われる行方不明の男性が河口付近の海上で遺体で発見された。

今回の出水では他にも子供を含めた多くの人々が流され、ロープを使って救出などもあった。灘署の発表では、救助された人は 11 人、自力で避難した人は 41 人に上った。都賀川には、他の表六甲河川と比べるとかなりの数の階段工が設置してあるが、あつという間に水位が上昇したため、近くの階段にさえもたどり着けなかったという証言が多かったようである。したがって、状況によってはさらに犠牲者がでた可能性もあったと言える。

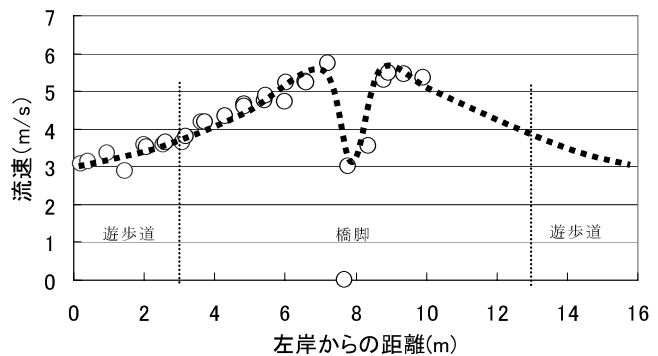


図-12 橋脚下流の横断表面流速分布

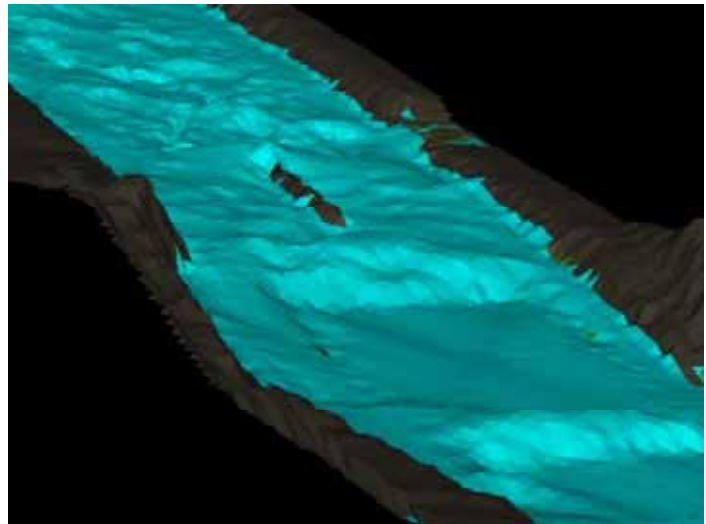
## 5. 放映ビデオ映像の解析による流量流速の推定

今回のような急激な降雨に対する出水の状況を正確に把握するためには流量の推定が必須だが、都賀川では流量観測は行われていないため、甲橋下流の新都賀川橋で作業員を救出中の放映ビデオ（NHK）の画像解析から流量の推定を行った。撮影開始時刻は 14:50 頃からで高水位で流れている時間帯に入る。図-9 は橋脚周辺の画像で、実際には救出を待つ作業員の方が橋脚の後ろに待機されている（画像ではマスキングしている）。放映画像は手ブレの影響が大きいため、図中のいくつかの固定の目印（コンクリート上の傷など）を参照にし、各瞬間画像をアフィン変換して固定視点からの映像を作成した。これらの目印の測量座標を用いて水面の幾何補正画像を作成した例が図-10 である。図にはたまたま流れてきた浮遊物の 1/6 秒間隔の軌跡を丸印で示しているが、丸印を結んだ直線（検査線）上の画像の輝度分布の時空間画像に現れる縞パターンの勾配（図-11）から STIV(Space-Time Image Velocimetry)法により流速値を求めた結果、流速は 5.2m/s であることがわかった。河川表面にはこのような浮遊物だけでなく、泡などの移流も確認でき

るため、これらに対しても時空間画像を作成したところ、**図-11(右)**に示すように浮遊物の場合とほぼ同じ傾きを示しており、表面流のトレーサとして利用できることがわかった。

このようにして求めた橋脚下流での表面流速の横断分布を**図-12**に示す。映像では手前の水面が隠れているために全体の流速分布を描くことはできないが、遊歩道(幅 3m)のある河岸から河川中央に向かって流速が増大していることがわかる。中央部での流速減少は橋脚背後の流れによるものである。この場所には橋脚を保護するための橋台(幅 5m程度)

や遊歩道部分などがあり、平面的にも空間的にも複雑な河床形状となっており、正確な水位も不明なため、表面流速から正確な流量を推定することは容易ではない。ちなみに、流速値算出面の流水断面積と表面流速分布から求めた流量は約  $37\text{m}^3/\text{s}$ 、平均流速として表面流速に  $0.85$  を乗じて求めた値は約  $31\text{m}^3/\text{s}$  となった。**図-9**からもわかるように、遊歩道部分でも  $20\text{cm}$  以上冠水し、流速も  $3\text{m/s}$  以上もあるため、仮にその場に取り残されていた場合にはそこから避難すること非常に困難であったことが推測される。



**図-13 甲橋におけるピーク流量時の水面形状**  
( $Q=30\text{m}^3/\text{s}$ ,  $n=0.035$ )

## 6. 平面二次元計算による流れの再現

本調査団では河川整備基金および兵庫県による支援を受けて、都賀川本川約  $1.8\text{km}$  の河道区間の地上型レーザ計測を行った。レーザ計測では水面下のデータは得られないが、計測時は最大水深でも  $1\text{m}$  程度であったので、計測結果はこれらの実測値を用いて補正した。また、橋桁の部分のデータも除去し、平面二次元計算に使えるようにした。計算には、非構造格子のモデルを用い、流量  $30\text{m}^3/\text{s}$  を上流端で与えた。平均的な格子サイズは  $60\text{cm}$  とし、橋脚周辺など局所的に流れの変化が大きい場所ではサイズを細かくした。計算範囲は、合流点から新都賀川橋の下流部分までとした。六甲川と柚谷川からの流入は  $1:1$  としたが、比率を変えた計算でも下流への違いはみられなかった。ハイドログラフは段波的に流入するようなケースを想定した。また、粗度係数を変化させた計算を行い、画像が得られている遊歩道の冠水状況および新都賀川橋での流速分布などの比較から粗度係数は  $0.035$  と推定した。甲橋の監視カメラと同様のアングルからみた場合の計算結果を**図-13**、河床高、水深と流速の分布を**図-14**に示す。詳細な河床形状のデータを利用できたために、**図5**に示す実際の水面に近い流れの状況を再現することができた。この結果によれば、遊歩道における水深は場所によって大きく変化しているが  $80\text{cm}$  程度まで上昇し、流速も  $1\text{m/s}$  以上に達しているため、この状況での退避はほとんど困難である。また、段波的な水面上昇は  $1\text{m}$  以上の波高を有し、約  $3\text{m/s}$  で下流に移動していることも計算された。

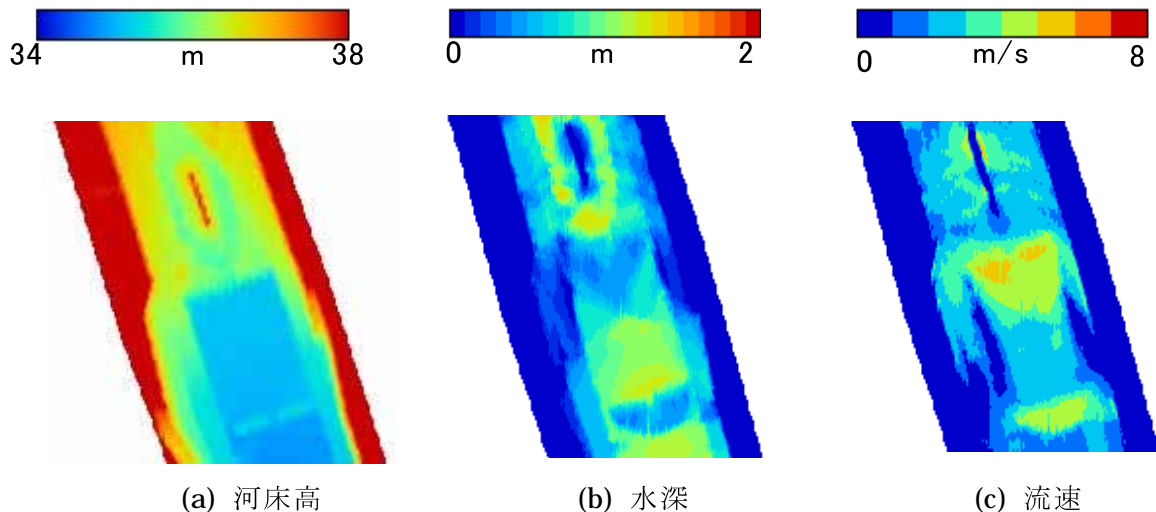


図-14 甲橋における河床高およびピーク流量時の水深と流速分布

## 7. おわりに

今回の水難事故に関しては様々な映像情報を取得することができたため、事故発生時の流れの状況のある程度把握することができた。特に、ITVによる画像は水位変化だけではうかがい知ることのできない詳細な流況を明らかにし、流れの再現計算時にも非常に有用な情報として役に立った。

今回の調査結果から言えることは、以下のような点である。

- ・降雨が短時間の間に局地的に発生した
- ・その結果、都市化した住宅地に整備された雨水幹線からの排水が一気に本川に集中した
- ・初期の出水には山地部からの流出は寄与しなかった
- ・本川の水位は2分以内に1m程度上昇し、その段波的な流れは約3m/sで流下した
- ・約10分間続いた高水位の状態では遊歩道部分でも水位流速が大きく避難行動を阻害した

一方、今回の水難事故で忘れてはならないのは、出水直前まで晴れていたとは言え、約2時間前の13:20には大雨・洪水注意報、13:55には大雨・洪水警報が発表されていた点である。したがって、このような警報発表の事実が予め、河川利用の人々に十分に伝わっていれば、被害は軽減できた可能性が高い。このような観点に立って、兵庫県ではこのような気象情報と直結した警報システムの導入を決定している。

最後に、以下の点を提言する。

1. 高解像度の降雨レーダーとリンクした警報装置の設置
2. 大雨洪水警報などの発令状況が現地利用者にわかる仕組みの開発
3. 警報発令時の行政と地元のボランティア組織が連携した見回り体制の確立
4. いざというときに水に流されない装置の設置(手すり、取っ手、人が登れる護岸など)
5. 災害教育の啓蒙、そのための教材作成と配布
6. 流れる水の力の強さを知る体験教育
7. 水位の急増を疑似体験できるソフトウェアの開発