

### 1-3 水文観測精度向上に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 7～平 15

担当チーム：水理水文チーム

研究担当者：吉谷 純一、深見 和彦、  
天羽 淳、大手 方如、  
清水 敬生、篠原 努

#### 【要旨】

近年、我が国において河川計画の立案・河川（流域）管理体制は、社会的な要請も含めて極めて大きくかつ多様化しており、その根幹である水文観測もまた、観測システム・設備の見直し、観測データの品質確保・向上、水文観測に係る技術開発・人材育成、データベースの整備など諸課題に対する喫緊の取り組みが求められている。そこで本研究は、そのような課題の再認識を行った上で、水文観測が抱えている問題点（誤差要因）を社会なニーズとあわせて把握し、その中で特に水位・流量の技術的課題を全国水文観測網の総括点検による実踏査をもとに整理するとともに、これらの課題克服のための当面の技術開発事項について提案を行った。さらに、観測データの品質確保・向上、洪水流量観測に係る技術開発に着目した。観測データの品質確保・向上の観点からは、実務における利便性を考慮した機能や必要なデータを保存・管理し、計算、作図の自動化によって水位流量曲線式作成照査の判断を支援するシステムを開発した。洪水流量観測に係る技術開発の観点からは、安全かつ連続的な洪水流量観測を可能とする非接触型流速計の開発を実施した。浮子測法による流量観測を補完するシステムとして期待される。

キーワード：流量観測、観測データ照査支援、非接触型流速計

#### 1. はじめに

水文観測データは、治水・利水計画を立案するための基礎資料であると同時に、洪水予報、水防活動や濁水対策など河川管理にも必要な資料であり、社会基盤を支える国土情報の一つでもあると言える。

近年では、平成9年の河川法改正及び平成11年の情報公開法制定、平成13年の水防法の改正に伴い、新しい社会的な要請に応じて、流量観測の重要性、データの品質の確保・向上及び情報の共有化・公開の重要性がクローズアップされている。

したがって、本研究では、水文観測、とりわけ水位・流量観測に関する観測網の現状に対し、データ公開に伴う説明責任から、主な誤差要因の実態について整理するとともに、現地踏査により水文観測が抱える現況の問題点について把握・整理を行った。また、水文観測技術に関する最新の知見等も踏まえつつ、流量観測技術基準の見直しを視野に入れた技術開発の方向性を整理した。さらに、それらの成果を基盤として、流量を決定するまでのプロセスの中で人為的ミス等による誤差要因を抑制するとともに、観測生データのデータベース化・共有化を図ること

を目的とした水位流量曲線式作成照査支援システムを開発するとともに、安全かつ連続的な洪水流量観測を可能とする非接触型流速計を民間との共同研究により開発した。

#### 2. 水位・流量観測網の全体精度評価

##### 2.1 水文観測の主な誤差要因の感度分析

地点降雨の観測から流量値確定までに至る水文観測の個々のプロセスでの誤差の原因を網羅的に調査し、その実態と観測ネットワーク全体としての誤差との定性的な相互関係を明らかにした。（図-1）

図-1に示す主な誤差要因は、ある条件下のもとで発生する水理的な現象に起因する誤差及び機器の性能による誤差、観測場所の選定や観測者が注意すれば未然に防ぐことが出来る誤差の3種に分けることが出来る。前者2項に関しては、技術的な課題、水理的な現象の定量的な把握や更なる高度な観測機器の開発が望まれており、早急な解決は極めて困難であり、長期的に取り組むべき課題である。一方、後者は、河川管理者や観測者の精度管理体制に依存する部分が大きく占めており、観測体制やデータ処理

体制の強化により、誤差要因を除去出来る可能性があり、早急な対応が必要である。

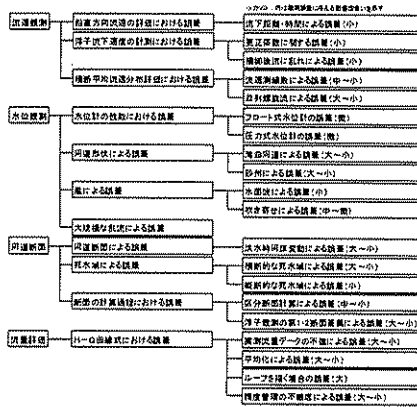


図-1 流量観測及び評価における誤差要因構造図

## 2. 2 全国水文観測所総括点検による課題の抽出

前項において、観測体制やデータ処理体制における誤差要因の除去の重要性が明らかになったことから、国土交通省河川局河川環境課に設けられた水文観測検討会の活動の一環として、平成13年度開始された全国規模での主要水位流量観測所総括点検に土木研究所も参画した。

そこで明らかとなった水文観測所が抱える現状の問題点・課題をまとめた結果を以下に示す。

- 1) 観測所の立地・状況が悪い箇所がある(急流、湾曲、急拡、急峻部、河床変動等)。
- 2) 浮子助走区間の設定状況が悪い、浮子観測の設定測線が少ない、等の要因で観測精度低下の要因を作っている。
- 3) 観測体制の確立が、洪水立ち上がり、洪水ピークの観測に間に合わない。
- 4) 高水観測データの計測回数が少ない、高水敷で流速を測っていない、等により、水位流量関係が適切に把握できていない。
- 5) 水位流量曲線(以下HQ式と呼ぶ)作成・照査において、断面変化を反映した曲線分離や、水面勾配変化に起因したループの処理等が適切に行われず、HQ式の適合性が低下している。
- 6) 委託業務化に伴い専門技術者が不足している。
- 7) 観測施設、定期点検が十分でない。
- 8) 技術基準に沿った観測の徹底が不十分である。
- 9) HQ式の作成・照査を含め、データの品質管理体制が確立されていない。

※1)～4)は、現場での観測(外業)に係る問題点であり、5～10)は、データ整理等の内業

や観測体制に関する課題である。

これらの総括点検の成果も踏まえ、国土交通省河川局河川環境課の指導のもとで水文観測資料を照査するための検討組織が平成14年度に全国地方整備局において発足した。土木研究所もほとんどの検討委員会に継続的に関与しており、2年間の経験の蓄積から照査体制のあり方にもいくつかの課題が明らかになりつつある。

以下に、今後、取り組むべき課題とそれに対する対策試案をまとめた結果を示す。

- 1) 事務所で行う観測機器の設置環境や点検情報を、照査工程に適切に反映させる。
- 2) 自動化された照査システムだけに頼らず、データを図化し人間が目視で照査する工程を組み込む。
- 3) 事務所で照査が適切に行われない場合も想定し、専門技術者による高度品質照査(高度MQC)から事務所の専門技術者による標準品質照査(標準MQC)へ差し戻す工程を設定する。
- 4) 少なくとも自動処理による標準品質照査(標準AQC)の閾値の設定や照査結果を高度MQC照査に報告する工程を設定する。
- 5) 高度MQCが不必要に多くの異常データを検出すると、作業が膨大となりエラーを見逃す可能性が高まる。例えば、感潮区間にある観測所ではAQCにおける定数設定方法のマニュアル化を進める。
- 6) 照査の結果、欠測となった観測所情報は事務所にフィードバックし、事務所で改善計画を作成した上でそれを実行する。
- 7) 現場での観測データ収集から事務所でデータ登録・整理に至るすべての工程を照査の対象とする。
- 8) 考え得るエラーの種類・原因や発生場所を列挙し、それぞれの照査方法で検出できるかどうかの対応表を作成する。検出できない場合もあることを認識し、照査判断の材料とする。

上記の試案のうち、一部は既に平成16年度までに改善された(またはされる見込み)の点も含まれる。今後、これらの点を水文観測・照査体制の見直しに反映できるよう努力して参りたい。

### 3. 新しい流量観測体制への提案

#### 3.1 流量観測体制の課題整理

流量観測には一部2. で述べた点と重複するが、以下のような課題が散在している。

##### 1) 洪水流量観測の課題

- 1-1) 数人のチーム編成を要する人力観測を基本としている要因から洪水立ち上がり、ピーク期の観測に間に合わない、中洪水の観測データが少ない、1洪水中のデータが少ない、緊急法による流速測線の間引き等の問題がしばしば発生している。
- 1-2) 植生等の影響を受けて、高水敷上で浮子流速が測定できないケースがある。
- 1-3) 浮子測法に特有の技術的問題（更正係数、橋脚後流、並列螺旋流の影響の可能性等）が残る。
- 1-4) 河床変動が激しい箇所では、洪水ピーク前後において、大きな河床洗掘と埋め戻しが発生することにより、流水断面積の誤差を通じて流量の誤差が生じている可能性がある。
- 1-5) 2級河川等の中小河川において人員・予算確保が困難なため、必要性に反して洪水流量観測が実施されていないケースがある。
- 1-6) 国内外の基準の相違による精度への影響を定量的に説明するための基礎資料が不足しており、国内・国際的に説明責任を果たすことが困難な状況にある。

##### 2) 低水流量観測の課題

- 1-1) 低水流量は低水管理等のための基礎データとしての位置付けから高い精度の確保が必要となっているが、現状の低水流量観測においてどの程度の観測精度で確保されているのか定量的に把握されていない。
- 1-2) 近年、流速計測機器の技術開発が進展してきているが、河川の水利特性、観測特性に関する基礎データが統一的に集約されておらず新技術の導入を含む技術基準の改訂に向けて障害になっている。
- 1-3) 国内外の基準の相違による精度への影響を定量的に説明するための基礎資料が不足しており、国内・国際的に説明責任を果たすことが困難な状況にある。
- 1-4) 2級河川等の中小河川において人員・予算確保が困難なため、その必要性に反して洪水流量観測が実施されていないケースがある。

#### 3.2 実証試験の取り組み

上記の問題に対処するため、平成14年6月から国土交通省河川局河川環境課、各地方整備局河川部の担当課及び独立行政法人土木研究所が一同に会して、情報交換・協議を行う水理担当者会議の中に、技術開発課題を専門的に調整・議論するワーキンググループ（以下、WGという）を設置し、必要な技術開発を進めることとした。WGは、4つのテーマから構成し、①非接触型流速計検討班、②構造物利用流量観測検討班、③精密高水流量観測検討班、④精密低水流量観測検討班に分けられている。WG4課題のそれぞれ主要な検討事項については以下のとおりである。

##### (1) 非接触型流速計検討班

洪水流量観測の無人化・省コストへ向けた非接触型流速計のパイロット試験を実施する。主な検討事項は、表面流速から鉛直平均流速への補正係数の試験地における妥当性、高水敷の流れ場での有効性、について幅広い条件下で把握し、洪水流量観測システムとして期待される性能を把握できるかを実証的に検証することを目的とする。

##### (2) 構造物利用流量観測班

既存の河川横断構造物（堰・落差工等）を活用した中小河川における簡便な流量観測手法の開発検討を実施する。主な検討事項は、越流公式の適用性を把握し適用可能な水位範囲の検証を含め、流量観測システムとしての精度と適用範囲、問題点・課題の明確化を図ることを目的とする。

##### (3) 精密高水流量観測班

現状の洪水流量観測（浮子測法）に関する技術的課題の検討を実施する。主な検討事項は、橋脚後流の影響、浮子の更正係数の妥当性、洪水による河床変動の影響等について現状の精度を実証的に明らかにし、精度低下に影響を及ぼす因子に対する対応策を検討することを目的とする。

##### (4) 精密低水流量観測班

現状の低水流量観測に関する技術的課題の検討を実施する。主な検討事項は、河川局基準（標準法・精密法）とISO基準で得られる低水流量観測データの測線・測点・計測時間の違いによる測定精度の実態、低水流量観測の精度確保・向上と国際基準との整合性を図るための方策等の検討である。

平成13年度には、各整備局の主要水系において、各班単位に技術開発を実施すべき水位流量観測所を選定した。その中で一部の検討班の観測所について

すでにデータ収集・解析を開始しているが、すべての観測所において実証試験が終わっていないため全国レベルでの観測技術基準改定へ向けての基礎データとしての定量的な評価は今後の課題であり、引き続き検討を進めていく予定である。

#### 4. 水位流量曲線式作成照査支援システムの開発

##### 4.1 はじめに

流量観測の精度・正確性を向上させるためには、現場における流量観測作業（外業）における精度向上だけでは不十分であり、その観測値を最終的に確定させるための水位流量曲線式の作成（内業）における誤差を含めて除去する必要がある。そこで、流量観測時の流れの状況を考慮して、測線毎の観測値やHQ曲線適用範囲等の試行錯誤を含む繰り返し計算を通して照査でき、かつ必要なデータを保存・管理し、計算・図表作成の自動化によってHQ曲線式作成及び作成したHQ曲線の照査(精度確認)を簡便に行えるような計算支援ソフトウェアを開発した。

##### 4.2 システムの概要について

本システムは大きく分けて以下の2機能を有している。

- 1) 既存データベース・様式との互換機能
    - 1-1)国土交通省水文水質データベースとの接続  
(図-2)による基本データ入力の自動化
    - 1-2)水文観測業務規程に定められている流量観測業務に関連する様式の作図・作表の自動化
  - 2) 流量観測野帳データのデータベース機能
    - 2-1)流量観測野帳データを用いたHQ曲線式作成
    - 2-2)精度管理に必要な各種照査図の作成
    - 2-3)水面勾配を考慮したHQ曲線式作成
- その他の機能として、保存されたデータをEXCEL形式によりインポート、エクスポートすることができ、データの共有化を簡便に図ることができる。

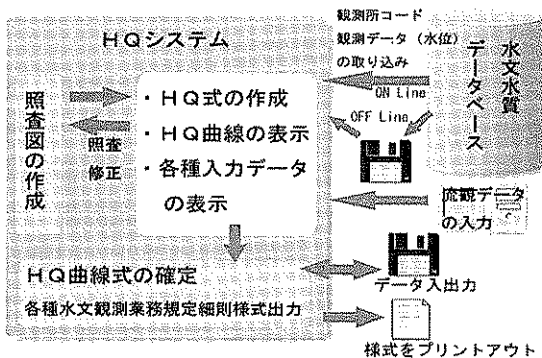


図-2 HQシステムの模式図

##### 4.3 システムの照査機能説明

水位流量曲線は、流量算出の基本であり、十分に照査する必要がある。流量観測値の入力からHQ曲線式を作成し、その式の精度・妥当性を照査するまでの過程を図-3に示す。

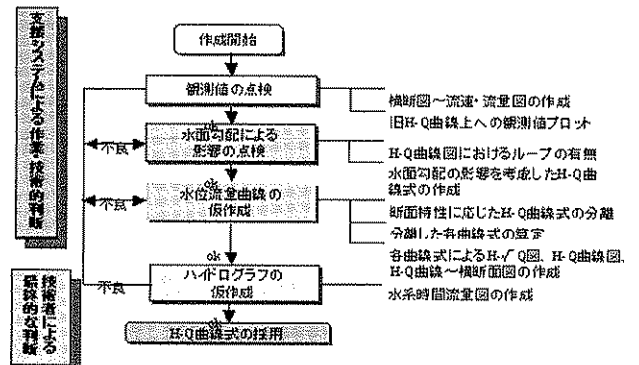


図-3 HQ曲線式作成フローチャート

これらの過程を忠実かつ簡便・迅速に実施できるように本システムは設計された。

照査作業を支援するために本システムで自動作成を行う照査図面は、以下の観点から選定を行った。

- 1) 流速と河道形状の関係の把握
- 2) 経年的な水位－流量の遷移の把握
- 3) 経年的な断面形状の変化の把握
- 4) 曲線分離と河道横断面の関係の把握
- 5) 近傍観測所とのハイドログラフ相互比較

以上の照査の観点は、観測データが当該現場に適合した妥当な値なのか否かを最終的に技術者が正確かつ迅速に判断できるように支援するものである。以下、具体的な照査支援図の例を示す。

- ・水位-流速、水位-断面積の関係
- ・横断-流速・流量図 (図-4)
- ・観測水位流量図 (図-5)
- ・年間横断面図 (図-6)
- ・水位流量曲線-横断面図 (図-7)
- ・水位時間流量図 (図-8)

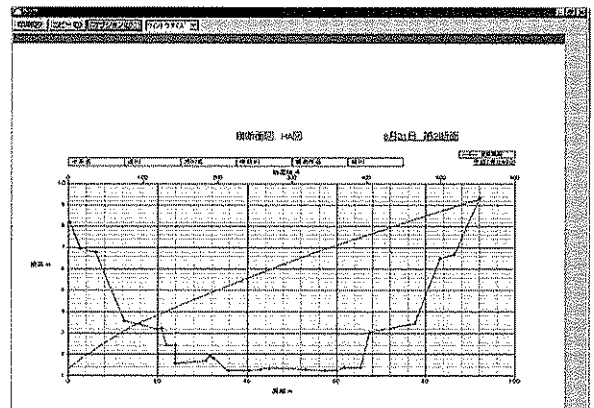


図-4 横断-流速・流量図

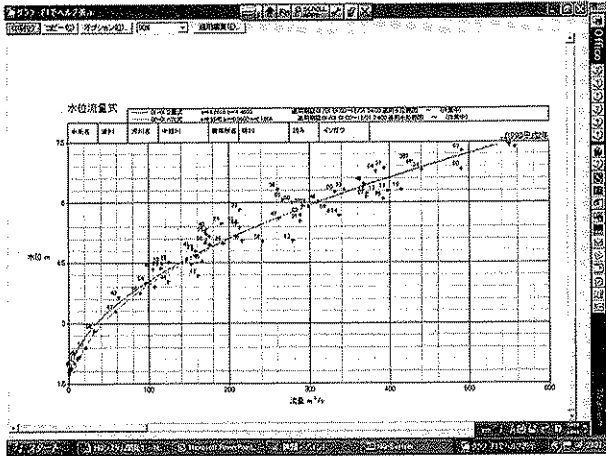


図-5 観測水位流量図

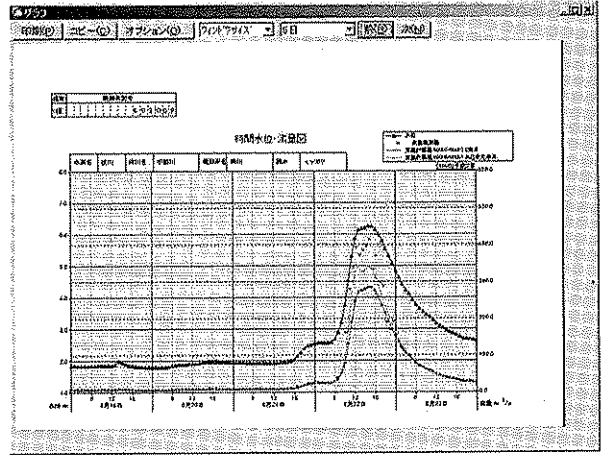


図-8 水位時間流量図

主に上記5つの照査終了後、観測エラーデータが確認された場合、図-9により観測エラーデータを選択し水位流量曲線式から除去することができ、最終的に、最適な水位流量曲線式(図-10)を作成することができる。更に、HQ曲線適用範囲等の試行錯誤を含む繰り返し計算を行うことができる。

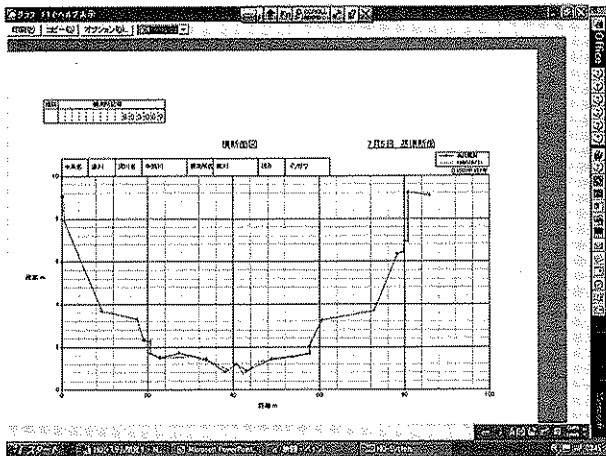


図-6 年間横断面図

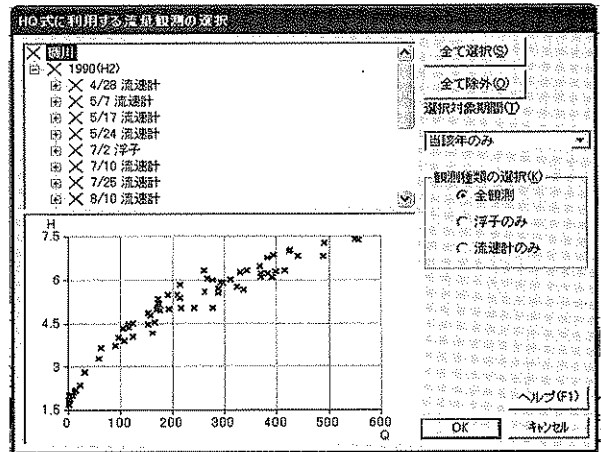


図-9 観測データ選択画面

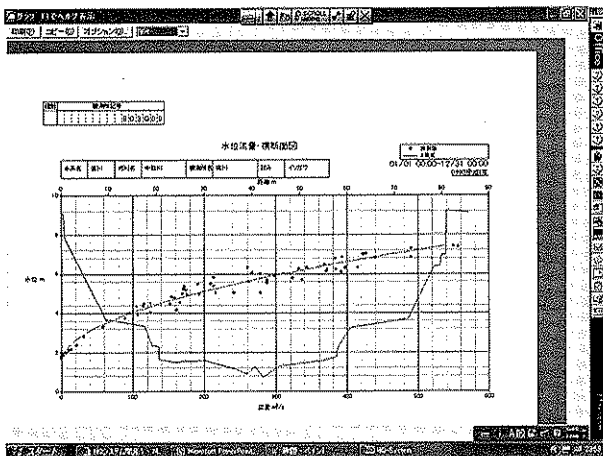


図-7 水位流量曲線-横断面図

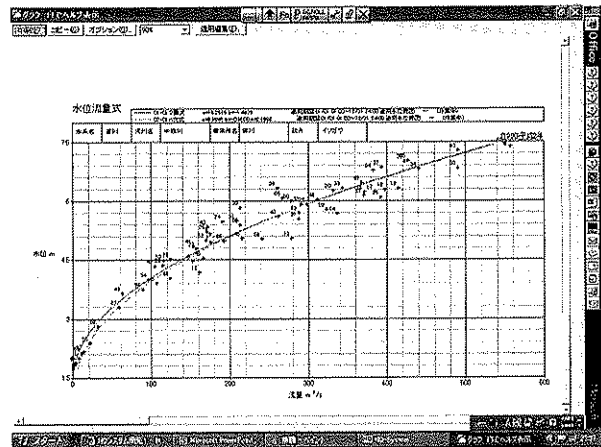


図-10 最適な水位流量曲線式

水位流量曲線式の作成は、通常使用される2次曲線だけではなく、n次曲線式、水面勾配法、及び水位変化率法による水位-流量関係式の最適定数の算定も自動計算・作図を行うことが可能である。上記4手法による水位流量曲線群を1画面中において同時に描くことにより、最適な算定手法を容易に比較出来るようになっている。

#### 4.4 まとめと今後の方向性

平成10年度に試作版を開発して以来、3度のバージョンアップを図り、その度に国土交通省職員及び流量観測に携わる関連業者に対して開発したソフトウェアを無料で配布してきた(表-1にこれまでの開発経緯を示す)。現在まで試験運用も含めて、多くの方々のご意見を参考に必要なものについて積極的に本システムに取り込み、国土交通省職員ならび流量観測に携わってきた民間業者等に対して実用的なシステムとして構築することができた。今後は、国土交通省職員、流量観測業者のみならず地方自治体職員及び関連機関、大学、業者等の方々にも積極的に幅広く活用して頂けるように、より多くのご意見を本システムに反映し、更なるバージョンアップを図っていく予定である。

表-1 これまでの開発経緯

年度	開発経緯	配布先	配布枚数
10	ソフトウェア試作版の開発	-	-
11	国土交通省の一部事務所において試験運用	-	-
12~13	上記へのヒアリングをもとに一部改良	-	-
14.4	ソフトウェア Ver. 1.2の開発	国土交通省	100*
14.8	ソフトウェア Ver. 2.0の開発	国土交通省、民間	130*
15	ソフトウェア Ver. 3.0の開発	国土交通省、民間	210*

\*は推定値

## 5 非接触型流速計測法の開発

### 5.1 はじめに

現状の河川流量観測、特に洪水時の浮子測法は3.1で述べたように様々な技術的課題及び観測体制の不十分さによる問題を抱えている。そこで、とくに後者の課題を解消すると同時に将来的な流量観測のコスト縮減やリアルタイムの流量値配信などを行うことが出来るシステムを構築する目的で、平成11年度~平成13年度にかけて(独)土木研究所、(財)土木研究センター、横河電子機器(株)、小糸工業(株)、(株)拓和、アジア航測(株)、(株)東京建設コンサルタントの計7機関で非接触型流速計の共同研究を行った。

## 5.2 各種流速計の概要について

### 5.2.1 電波型流速計

電波流速計は、橋梁等、河川横断方向に固定して設置された数台の電波受発信器を用いて、マイクロ波のドップラー効果により、表面流速を時間的に連続して無人観測する装置である。受発信器の台数を変えることにより、小河川から大河川まで対応することができる。

### 5.2.2 超音波型流速計

超音波流速計は、橋梁等、河川横断方向に固定して設置された数台の超音波受発信器を用いて、超音波のドップラー効果により、表面流速を時間的に連続して無人観測する装置である。受発信器の台数を変えることにより、小河川から大河川まで対応することができる。

### 5.2.3 PIV型流速計

PIV (Particle Image Velocimetry : 粒子画像速度計測) 流速計は、河岸等に設置されたカメラを用いて、時間の経過に従って変化する水面を撮影した動画画像から、画像上の小領域パターンが $\Delta t$ 時間後に移動した量をパターンマッチングにより検出することで表面流速を計測する装置である。河道幅が200m以下であれば、河道の両岸にカメラを設置することで橋梁等の構造物がないところでも観測が可能である。

### 5.2.4 オプティカルフロー型流速計

オプティカルフロー流速計は水面の動画画像から各点(画素)の濃淡の空間的変化と時間的変化を調べ、各点がどの方向へどのくらいの速さで移動したかを求める装置である。すなわち、撮影した画像上の画素は256段階の濃淡情報(白黒)に変換され、時刻 $t$ の画面上における濃淡のパターン(勾配)が、次の画像(時刻 $t+\Delta t$ )において、どこにどのくらい移動したかを求めることにより、流速を計測するものである。

## 5.3 研究方法

最初に、各4種の流速計測法の表面流速の基本的な計測精度を検証するとともに、風の影響を検証するための室内実験を実施した。一方で、実河川フィールドにおいてトレーサによる表面流速の観測結果と各種流速計の計測結果を比較し、観測精度の確認を行うとともに、フィールドにおける風の影響についても合わせて調査を行った。

さらに、本研究開発の最終的な目的は、「非接触型

流速計測法」を用いて計測された河川の各表面流速値から河川の流量値を算出する手法を確立することである。そこで、河川の流量値を算出するために必要な河川の平均流速を求める更正係数についても検討を実施した。

### 5. 3. 1 室内実験における表面流速の計測精度の評価方法

以下に示す室内実験によって、各流速計測法の表面流速の基本的な計測精度を検証した。使用した水路は、国土交通省国土技術政策総合研究所内の拡散実験水路である。(図-11)

実験では、計測する流速規模として3ケースを設定し、各流速計測手法を用いた表面流速を、トレーサ(50mm×50mm×2.5mmのコルク片)の速度と比較することにより検証した。

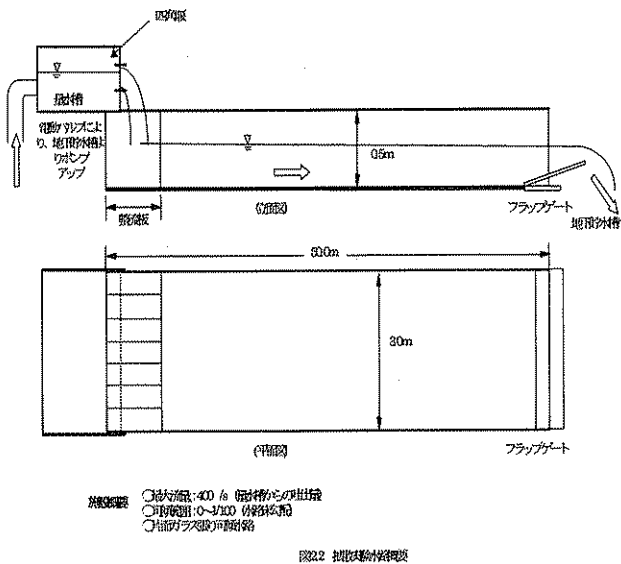


図-11 拡散水路概略図

### 5. 3. 2 室内実験における風の影響評価方法

次に、風が吹いている状態における各流速計測法の精度について検討した。図-12、図-13に示すように、風がある時には風の影響で水の流れの表面に吹送流が発生し、実際に測定される表面流速は、無風時の流速に吹送流が加わった値になると考えられる。そこで、土木研究所内の拡散実験水路に風洞を設置し、以下の実験を行った。なお、実験装置の概略図は図-14~図-15のとおりである。

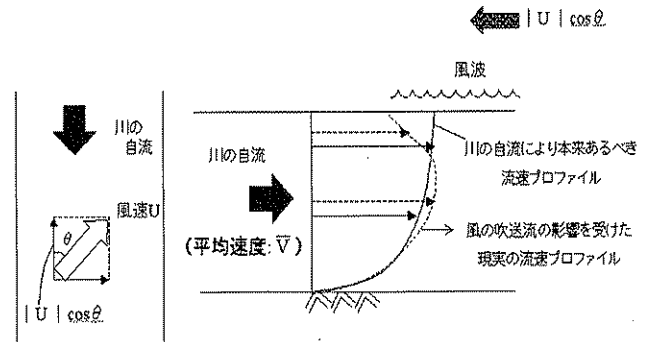
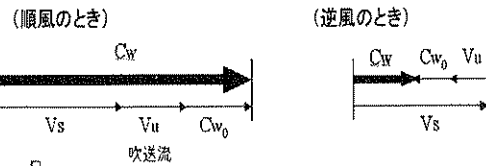


図-12 風の影響を受けた鉛直方向流速プロファイルの概念図(逆風の場合)

固定座標系から見た風波の速度Cは、以下のように構成される。



$V_s$ : 川の自流水速  
 $V_u$ : 風による吹送流  
 $C_{w_0}$ : 静止水面上の微小振幅波の波速

$$C_w = V_s + V_u + C_{w_0} \quad \dots(1)$$

$$\therefore V_s = C_w - V_u - C_{w_0} \quad \dots(2)$$

$$\bar{V} = \alpha \cdot V_s \quad \dots(3)$$

$\alpha$ : 表面流速から、平均流速を出す更正係数で求まる。

図-13 風の影響の除去方法

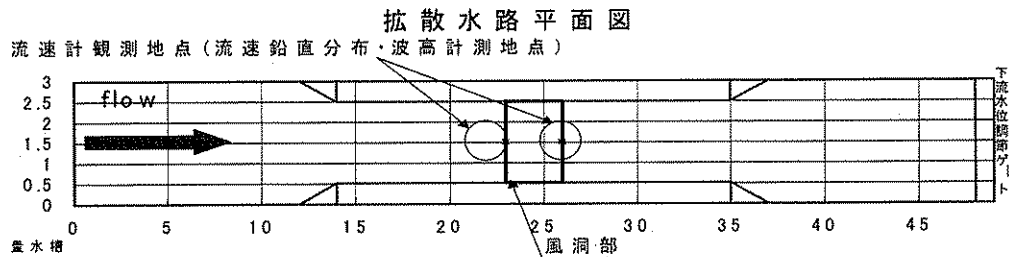


図-14 実験水路概略図1

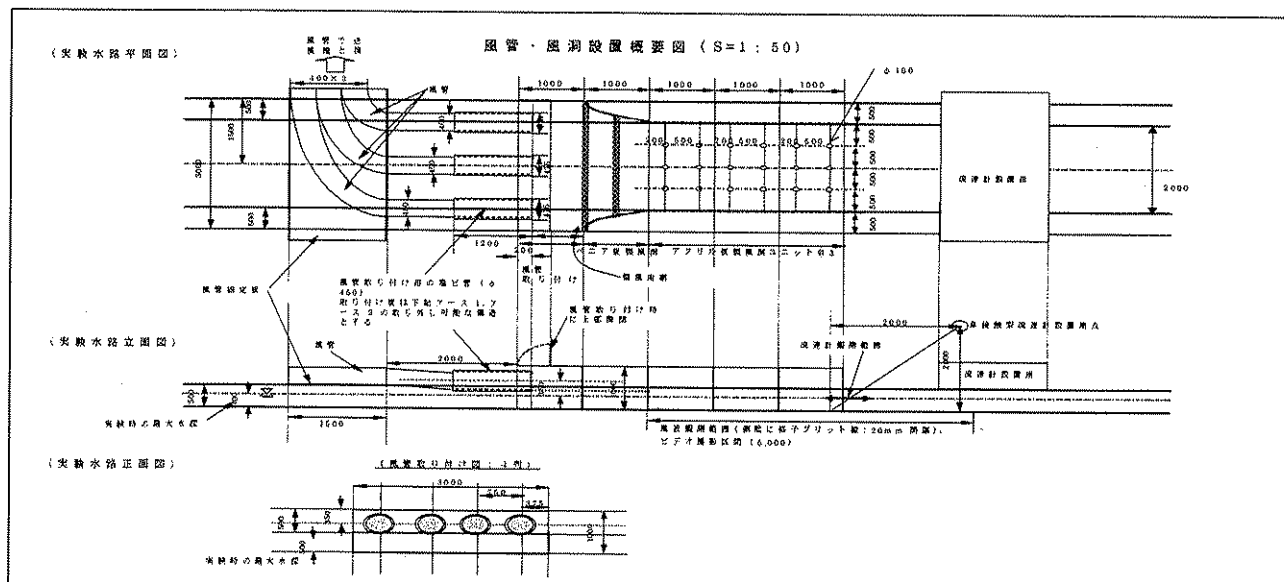


図-15 実験水路概略図2

### 5. 3. 3 フィールドにおける表面流速の計測精度の評価方法

フィールド試験は、信濃川水系魚野川堀之内地区（根小屋橋）において、平成12年4月12日および平成13年4月10日に行った。

現地の観測地点の河道特性は下記のとおりである。

- ① 河床勾配：1/430程度
- ② 低水路幅および堤間幅：約190m
- ③ 観測地点横断形：単断面

実験では、トレーサ投下装置を用いてトレーサを水面に投下し、表面流速を観測した。また、観測時に橋梁上に設置した風向・風速計により、風向・風速についても記録した。

また、利根川下流柴橋地点（布川観測所）においてもフィールド試験を行った（平成13年8月23日及び9月12日）。現地の観測地点の河道特性は下記のとおりである。

- ① 治水的な重要度：水防基準点
- ② 河床勾配：1/1,640程度
- ③ 低水路幅および堤間幅：約192m
- ④ 観測地点横断形：単断面

実験では、トレーサ投下装置を用いてトレーサを水面に投下し、表面流速を観測した。また、観測時に橋梁上に設置した風向・風速計により、風向・風速についても記録した。なお、日没の関係から、画像型流速計の観測は行わなかった。

### 5. 3. 4 流量換算係数の検討方法

上記のフィールド試験においては、各非接触型流速計による計測とともに、水圧式水深流速計による流速測定、ならびに浮子による流量観測をあわせて行った。これより、測線ごとに表面流速値で水深方向の平均流速とするための最適な更正係数の検討を実施するとともに、最終的に浮子測法による流量値との比較により更正係数設定手法と観測精度の検証も実施した。

平均流速と表面流速の比を表す更正係数は、以下の4種類の方法で算出した。

#### 1) 対数式

対数式から、更正係数は下式で表せる。

$$\text{更正係数} \frac{\bar{V}}{V_s} = \frac{6.0 + 5.75 \log(h/ks)}{8.5 + 5.75 \log(h/ks)}$$

このとき、 $h$ ：水深(m)

$ks$ ：粗度

ここで、上式の粗度には当該地点の河道計画逆算粗度係数を与えた。

#### 2) 安芸の式①

更正係数=0.85(表面浮子の更正係数)で固定した。

#### 3) 安芸の式②

各測線毎の水深に応じて表-2に示す更正係数を用いた。



表-2 安芸の式による更正係数表

h (水深)	a	C	更正係数
0~1m	0.0	30	0.8181 (0.818)
1~2m	0.1	34	0.8793 (0.879)
2~4m	0.2	38	0.9344 (0.934)

4) 安芸の式③

$$\text{更正係数} = C / (C + 14/3)$$

このとき、 $C = \left(\frac{1}{n}\right) \times R^{1/6}$

n: 粗度係数

R: 経深

ここで、水圧式水深流速計の観測結果より水深方向の最大流速発生位置  $a = 0.1$  とし、河道計画逆算粗度係数を用いて係数  $C$  を算出した。

5) 水深流速計の観測結果による更正係数

水圧式水深流速計による鉛直方向流速プロファイルの多数の実測値に基づく更正係数の平均値としては、魚野川において 0.85、利根川において 0.83 が算出された。なお、魚野川については安芸の式①と同じ値になっている。

5. 4 実験結果

5. 4. 1 室内実験結果

5. 4. 1. 1 静水時における風の影響について

図-16 に静水時のトレーサ流速と吹送流の関係を求めた実験結果を、既往文献の結果とともに示した。風速は弱風時 ( $U = \text{平均 } 5.6\text{m/s}$ ) と強風時 ( $U = \text{平均 } 7.53\text{m/s}$ ) の 2 種類で実験している。

既往論文による吹送流速は風速の 3~4% (弱風時で  $0.17\text{m/s} \sim 0.22\text{m/s}$ 、強風時で  $0.23\text{m/s} \sim 0.30\text{m/s}$ ) であるのに対し、今回の吹送流速の実測値は弱風時で  $0.09\text{m/s}$ 、強風時で  $0.12\text{m/s}$  と風速  $U$  の平均 1.6% 程度となっている。この理由としては、本実験では既往論文で検討されている吹送距離 (海上を想定) よりも水路が短いことが影響した可能性がある。しかし、現地河川での吹送距離条件も相似的に同様の条件下にあると考えられとともに、必要以上の観測値の修正も不適切となる可能性があることから、現時点で風による吹送流の影響を補正する際は、今回の実験値である風速の 1.6% を採用するのが良いと判断される。

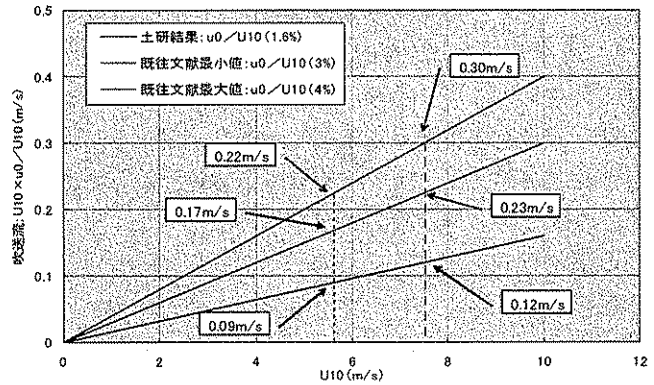


図-16 静水時における風の影響の比較

5. 4. 1. 2 流れがある場合の計測精度

水の流れがあるときの表面流速は、無風時の表面流速に吹送流による速度が加算された値と考えることができる。そこで、送風時に計測した表面流速計測結果と、無風時に計測した表面流速の計測結果に静水時の実験から推定した吹送流の計算値 (地上 10m の風速の 1.6%) を加算した値 (以下、計算値という) とを比較検討することとした。その結果を図-17 に示す。すなわち、流水の表面流速が大きく、風速が小さい場合、補正結果は非常に良好であった。表面流速が小さく、風速が大きいケースで一部に補正が不十分なケースもあったが、全体としてみれば、確実に誤差の縮小を図ることができることが示されたと言える。

なお、風の影響下にある場合の非接触型流速計の計測値には、吹送流だけでなく風波伝搬速度の影響も本来含まれると想定される。しかし、吹送距離が不十分な河川では卓越波を仮定することが困難であるため、風波の少なくとも一つの特性値 (波長等) の独立した観測値がないと風波伝搬速度の評価は困難である。したがって、上で述べた過剰な補正の可能性も併せて考慮し、現状では、風波伝搬速度の影響を定量的かつ確実に除去することは現実的には困難であると同時に、その必要性も低いと判断される。

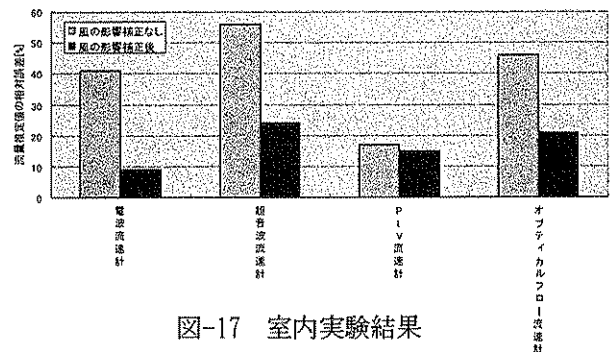


図-17 室内実験結果

#### 5. 4. 2 フィールド実験結果

図-18に根小屋橋(魚野川)および布川観測所(利根川)におけるトレーサ流速と各流速計により計測された流速との相関図を示す。なお、図にはトレーサ流速との誤差が5%になるライン破線で示してある。各流速計の測定値のエラーバーは、トレーサの標準偏差を示す。グラフより、フィールドにおける観測精度はほぼ、トレーサより求めた流速の5%程度に収まっていることがわかった。なお、誤差5%以下に収まるデータの割合は、画像型の計測器よりもドップラー型の計測値の方がやや多くなった。また、誤差が10%を超えるような特に誤差の大きいデータは、すべての計測法でほぼ同じ時刻に発生していることから、この誤差の要因として、偏流や風の影響によってトレーサが正常に流下しなかったことによるものと推定される。

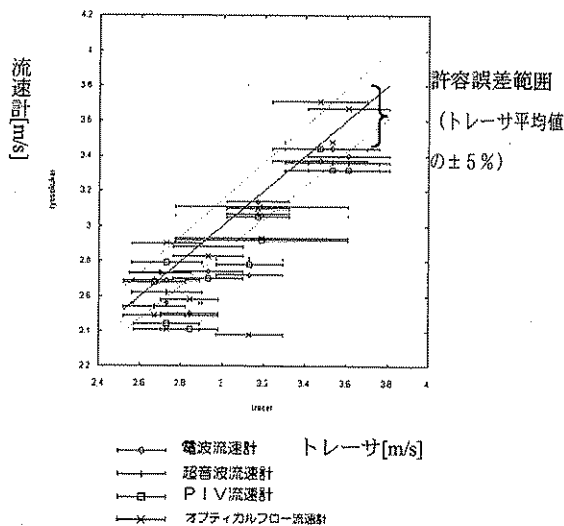


図-18 各流速計と浮子の相関図

#### 5. 4. 3 フィールドにおける風の影響分析結果

次に、各フィールド、各計測手法における表面流速計測値の時系列変化と、その流下方向の風速成分との関係について分析を行った。その結果、両者に明瞭な関係は見受けられなかった。但し、今回の観測条件下では、風速成分が $\pm 5\text{m/s}$ を超えるようなケースがほとんどなかったことから、元来風速影響成分を検知することが極めて困難な状況下にあったことを考慮する必要があり、室内実験の成果に基づく上述の吹送流補正手法の妥当性を否定するものではない。

#### 4. 4. 4 流量換算係数の検討結果

各手法(更正係数)による全断面換算流量の算定結果を、図-19~図-26に示す。図中の破線は、浮子流量に対し、換算流量の誤差が $\pm 5\%$ となる境界線を示している。流速の検定では誤差5%を合格の基準としていることを考慮すると、この範囲にあるデータは許容される計測精度の中にあると言ってよいであろう。図-19~図-26によれば、根小屋橋観測所(魚野川)の結果では、電波型流速計とオプティカルフロー型流速計は安芸式③、超音波型流速計とPIV型流速計は安芸式②において、浮子との相関が最も高い。また、布川観測所(利根川)の結果では、いずれの場合も安芸式②が最も浮子との相関が高い。上記結果を総合的に考慮すると、4機種すべての場合においても安定して浮子流量と適合する方式は安芸式②のケースである。すなわち、安芸の式において $a=0$ 、 $C=30$ としたときの流量換算係数を用いて表面流速計測値を補正して流量に換算するのが妥当と考えられる。

#### 4. 5 非接触型流速計に関する共同研究のまとめ

今回の共同研究の成果を総括すると、以下のとおりである。

- 1) 水路での室内実験では、各流速計で計測した流速値はトレーサの流速と比較して5%程度の誤差範囲内に収まっていた。
- 2) 主に海岸工学分野の既往論文の成果を基礎としつつ、現実の河川条件を考慮することにより、風による吹送流の影響を補正する簡便なアルゴリズムを開発し、室内実験により、実験的に定数の評価を行った(特許申請中)。但し、フィールド実験では風速が $5\text{m/s}$ 程度以下と小さかったため、風速の影響があったとしても極めて微小であり、それを確認するには至らなかった。
- 3) 今回のフィールド実験によれば、各流速計による表面流速計測値から各測線での水深方向平均流速を算出する場合、安芸式②を用いるのがよいと考えられる。この流量換算係数を用いて全断面流量を計算することにより、浮子観測から求める流量値との差異を5%程度以内に収めることができた。

なお、今後は、より多くのフィールドにおいて実測データを積み重ねることにより、さらなる精度向上を確保していく必要がある。

①電波流速計相關圖

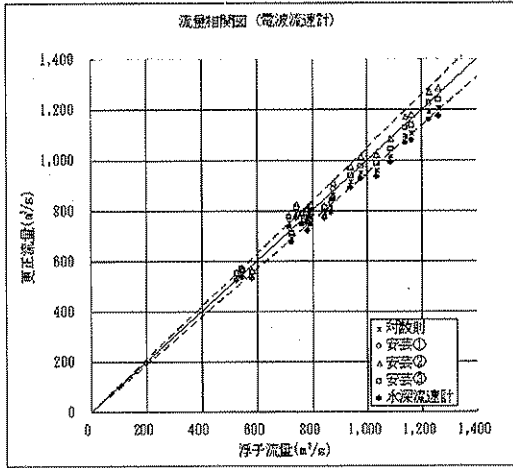


図-19 魚野川での結果

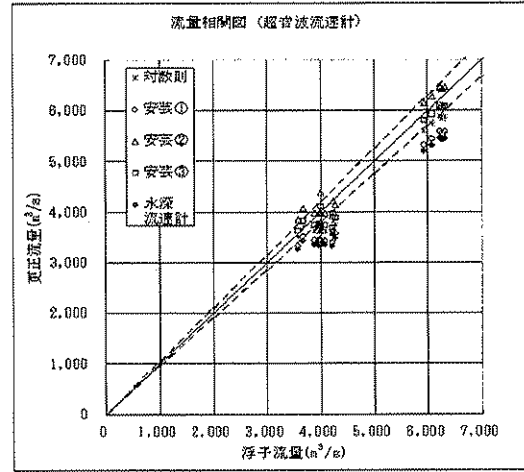


図-22 利根川での結果

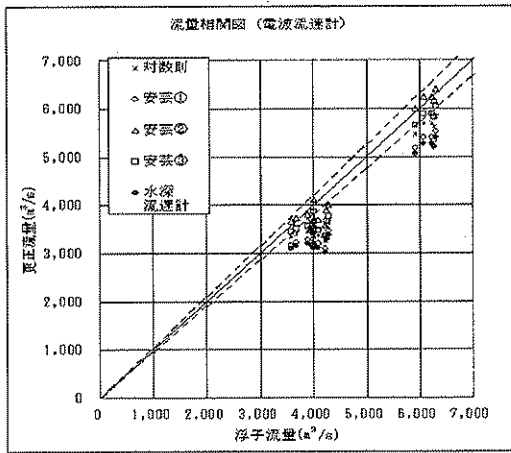


図-20 利根川での結果

③PIV流速計相關圖

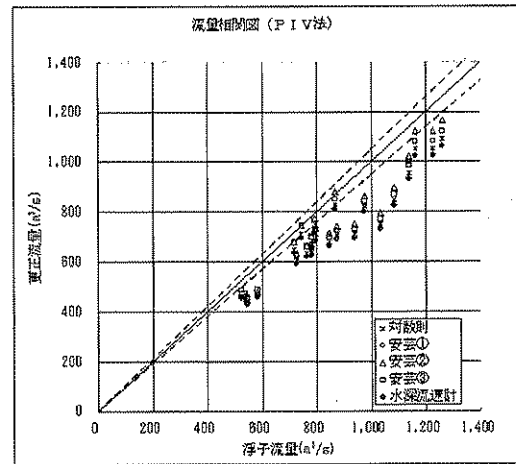


図-23 魚野川での結果

②超音波流速計相關圖

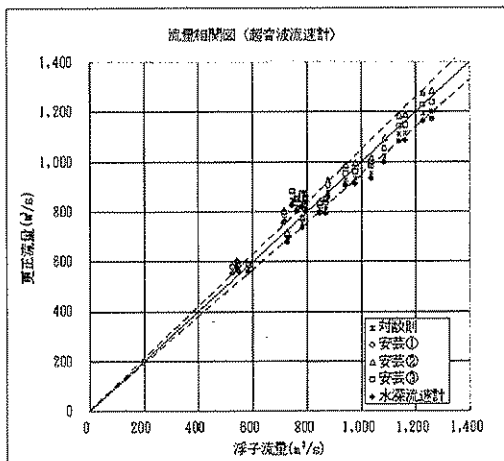


図-21 魚野川での結果

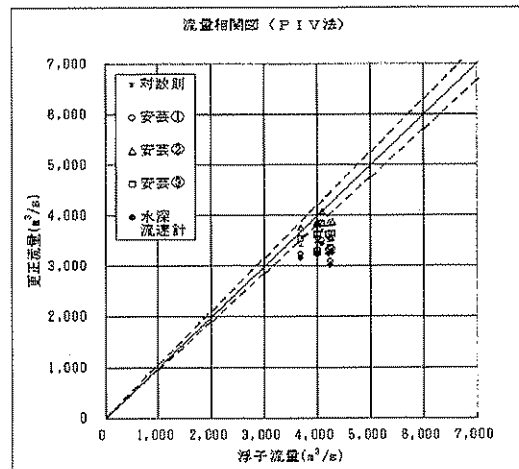


図-24 利根川での結果

#### ④ オプティカルフロー流速計相關

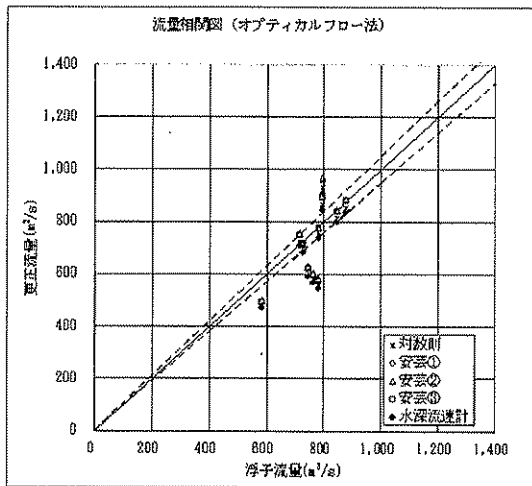


図-25 魚野川での結果

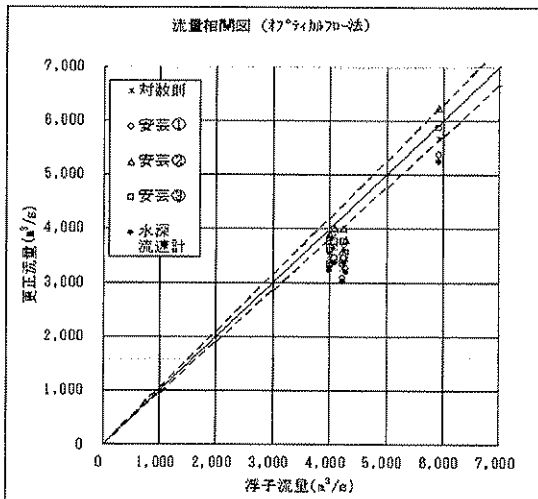


図-26 利根川での結果

注) “水深流速計と示しているのは、水深流速計の観測結果から算定した更正係数を用いて更正した流量のことである。

#### 5. 1 まとめ

本研究の主な成果は、以下のとおりである。

- 1) 水文観測が抱えている問題点（誤差要因）を網羅的に整理し、特に水位・流量観測の運用上及び技術上の課題を全国水文観測網の総括点検による実踏査から抽出し、それらに対する対処方策について整理した。また、国土交通省河川局と連携して、流量観測の運用上・技術上の課題を克服するための技術開発を行う研究ワーキンググループを構成し、研究を継続することとしている。

- 2) 観測データの品質確保・向上の観点から、実務における利便性を考慮した機能や必要なデータを保存・管理し、計算、作図の自動化によって水位流量曲線式作成・照査の判断を支援するシステムを開発した。今後、国土交通省のみならず、水文観測に携わる関係機関、民間業者に対して、実用的な照査支援ソフトウェアとして期待され、新しい流量観測データの整理・保存と照査の方法を提案することができた。
- 3) 水文観測に係る技術開発の観点から、安全かつ連続的な洪水流量観測を可能とする非接触型流速計の開発を共同研究として実施した。その結果、風による吹送流の影響を補正する簡便なアルゴリズムを開発するとともに（特許申請中）、表面流速計測値から各測線での水深方向平均流速を算出する最適な換算係数を魚野川及び利根川において明らかにし、その流量換算係数を用いて全断面流量を計算することにより、浮子観測から求める流量値との差異を 5%程度以内に収めることができることを示した。今後、1級河川では浮子測法による流量観測を補完するシステムとして、2級河川等では長期的な視点で洪水流量観測のコストを低減するシステムとしての普及が期待される。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省河川局河川環境課監修：水文観測業務規程集、(財)河川情報センター、2002年9月
- 2) 国土交通省河川局監修、独立行政法人土木研究所編著：平成14年度版水文観測、(社)全日本建設技術協会、2002年9月
- 3) 深見和彦、東高德、吉谷純一、田村正秀：河川流量調査を目的とした非接触型流速計に対する風の影響-1.既往の知見に基づく風の影響モデルの構築、土木学会第57回年次学術講演会概要集、II-157、pp313-314、2002
- 4) 東高德、深見和彦、吉谷純一、田村正秀、淀川巳之助、中島洋一、小林朗、小林範之、永山正典：河川流量調査を目的とした非接触型流速計に対する風の影響-2.室内実験、土木学会第57回年次学術講演会概要集、II-158、pp315-316、2002
- 5) 独立行政法人土木研究所、小糸工業株式会社、横河電子機器株式会社、株式会社拓和、アジア航測株式会社、株式会社東京建設コンサルタント：「非接触型流速計測法の開発」共同研究報告書、2003.3
- 6) 特集：土木技術資料、2003.2