

国土舘大学審査学位論文

「博士学位請求論文の内容の要旨及び審査結果の要旨」

「固定設置型流速計を用いた自動流量観測システムの構築」

本永 良樹

学位論文要旨

研究科 工学研究科

専攻名 応用システム工学専攻 博士課程

氏名 本永良樹

1. 題目(外国語の場合は、和訳を併記する)

固定設置型流速計を用いた自動流量観測システムの構築

2. 要旨(2000字程度にまとめる)

我が国の河川における高水流量観測においては、従来より浮子測法が用いられてきた。これは我が国の河川においては高水時は流速が速く、かつ流況が激しくなることが多く、また流木などのゴミが大量に流れてくるため可搬式流速計等の使用が難しいからである。この方法では高水時の水面下の流速の鉛直分布や河床高変動などを把握できず、これらについては仮定をした上で流量を計測していた。今後流量などの水文データは益々重要になり、その精度に対する要求も高まることが予想される。そこで従来は把握できなかった高水時の流速の鉛直分布や河床高変動を把握し、流量観測の精度向上を図る流量観測高度化の取り組みがなされている。本論文の著者はこの取り組みに従事している一員である。流量観測の高度化は ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) を搭載した橋上操作艇による横断観測を主たる方法として採用し、ADCP データ欠測時におけるデータ補間用に固定設置型流速計による自動流量観測を補助的に並行して実施するものである。ADCP による観測については従来より多くの優れた研究がなされており、既に実用化の段階に至っていると著者は考える。よって本論文では流量観測高度化のもう一つの構成要素である固定設置型流速計による自動流量観測システムの構築について検討する。固定設置型流速計とは河道内に固定設置し、自動かつ時間的に連続して河川の代表流速を計測できる観測機器である。主なものに電波式流速計、超音波式流速計、H-ADCP などがある。

固定設置型流速計による自動流量観測では、河川の代表流速を測定し、その測定結果に流速補正係数を乗じて流量測定断面の断面平均流速に変換し、それに同断面の河積を乗じて河川流量を算出する。このようなシステムを構築する上で、①代表流速の測定、②流速補正係数の設定、③河床高の自動モニタリング、の3項目についての検討が必要である。本論文ではこれらの項目について、実際の河川における観測データを基にして議論した。

代表流速の測定に関しては、我が国の河川における高水時の危険な状況と現時点での実用性の高さから固定設置型流速計として非接触型である電波式流速計を使用するとした。電波式流速計は橋梁上などから流れに向けて照射した電波が河川表面の位相により反射して戻ってくる際、ドップラー効果により周波数が変化することを利用して、その周波数の差から河川表面流速を求めるものである。そのため、強風時には風波の移動速度を捉え計測精度に影響を受けることが言われてきたが、実観測におけるデータから、その影響の程度が従来言われているより数倍程度大きいことを示した。また、そ

の影響を除去する方法を示した。

流速補正係数の設定に関しては、ADCP による流速の鉛直方向分布データを基に実際に計算し、その結果、河床変動のない河川では同係数はほぼ一定であること、河床変動の顕著な河川では同係数が激しく振動することを示した。そして ADCP を用いずに電波式流速計、水位計、河床高自動モニタリングシステムそれぞれによる表面流速、水面勾配、水深の連続観測データより流速補正係数をリアルタイムで計算するシステムを考案し、その実用性について検討した。その結果、このシステムで算出される流速補正係数は実際の値と等しいか若干大きく出る傾向があること、これは最終的に求める流量を“危険側”に評価していることになり、河川管理上大きな支障はないことを示した。

河床高の自動モニタリングについては、橋脚あるいは河道内に設置した H 鋼などに音響測深機を斜めに向けて取り付け、出水時にこれらの構造物による流れへの乱れの影響を受けない離れた地点の河床変動を測定するシステムを考案した。同システムにおいては音響測深機を高い位置につけるほど構造物等からより離れた地点の河床高を計測できるが、位置が高すぎると出水時の水位が音響測深機に達せず河床高が測定できなくなるため現場にて調整が必要である。出水中、河道断面内に平均河床高とほぼ等しい河床高を示す地点が必ず存在し、その地点に音響測深機を向けることで同システムにより断面内の平均河床高を連続して計測できることを示した。

上述した完全な形での自動流量観測システムを全ての流量観測地点に一斉に取り付けるのは現実的ではなく、観測地点によって得られるデータの重要度に応じて観測技術のランク分けをすることを提案した。そして完全な自動流量観測システムを実施すればデータの誤差は 10%以内に抑えられること、河床変動が生じている河川において最低ランクの観測を実施すれば当然精度は低くなるが、それでもデータの誤差は 20%程度であることを示した。

以上の結果から、本論文で示す流量自動観測システムが十分に実用に資することができることを示した。(1995 文字)

学位論文の審査結果の要旨

工学研究科 博士課程

専攻名	応用システム工学	学籍番号		氏名	本永 良樹
-----	----------	------	--	----	-------

我が国の河川における高水時の流量観測では、従来浮子測法が用いられてきた。これは我が国の河川において高水時は流速が速く、かつ流況が激しくなることが多く、また流木などのゴミが大量に流れてくるため可搬式流速計等の使用が難しいことなどが理由である。この方法では高水時の水面下の流速の鉛直方向分布や河床高変動などを把握できず、これらについては仮定をした上で流量を計測していた。今後流量などの水文データは益々重要になり、その精度に対する要求も高まることが予想される。そこで従来は把握できなかった高水時の流速の鉛直分布や河床高変動を把握し、流量観測の精度向上を図る流量観測高度化の取り組みがなされている。流量観測の高度化は ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) を搭載した橋上操作艇を用いての横断観測を主たる方法として採用し、ADCP データ欠測時におけるデータ補間用に固定設置型流速計による自動流量観測を補助的に並行して実施するものである。ADCP による観測に関しては従来多くの優れた研究がなされており、既に実用化の段階に至っている。本論文は、流量観測高度化のもう一つの構成要素である固定設置型流速計による自動流量観測システムの構築について検討したものである。固定設置型流速計とは河道内に固定設置し、自動かつ時間的に連続して河川の代表流速を計測できる観測機器である。主なものに電波式流速計、超音波式流速計、H-ADCP などがあるが、本論文では、電波式流速計を用いている。

電波式流速計は、1 地点の表面流速のみが計測できる装置で、これを横断方向に数個設置しても、河川流量を直接計測できる訳ではない。これらのデータから流量を算定するシステムを構築するため、さまざまな観点から検討を加えて、実用に供するに至った。その内容は、全 7 章の論文構成で述べられている。

第 1 章「序論」では、我が国における流量観測の現状について説明し、その課題を述べた上で、課題に対処するための流量観測の高度化について説明した。ここで流量観測の高度化のうち、本論文で検討する固定設置型流速計を用いた流量観測システムについて概要を説明し、同システム内において検討を要する項目を明確にした。

第 2 章では、現在連続して流量を把握するために使用されている HQ 曲線式を用いて水位から流量を換算する手法について、水面勾配の効果を取り込み、流量算出精度を向上する手法について検討した。流量観測の高度化については ADCP による観測と固定設置型流速計による観測を併用することが原則となる。しかしながら、観測所の重要性や機器が高価であることなどを考えると、全ての観測所において完全な流量観測の高度化を一斉に実施することは現実的ではない。ここでは、観測流量の精度自体は ADCP 観測などにより向上させるとした上で、固定設置型流速計による自動流量観測システムは採用せず、HQ 曲線式を用いて水位から流量を換算する従来の手法を継続する場合における流量算出精度の向上について検討している。

第3章では代表流速の測定について検討した。機器の開発状況やこれまでの使用実績などから、固定設置型流速計として電波式流速計が現時点では最も有力であると考え、この電波式流速計を使用する際の課題について説明し、その解決方法について現地における観測データを基にして検討した。

第4章では流速補正係数の設定について検討している。流速補正係数とは、固定設置型流速計により測定した代表流速を断面平均流速に変換する係数である。電波式流速計により計測した代表流速は、河川表面流速である。ADCPにより測定した流速の鉛直方向分布を基にして、流速補正係数を検討する。ここでは河床変動が生じている場合と生じていない場合について、どのように流速補正係数を設定すべきかについて検討している。

第5章では河床高変動のモニタリングについて検討した。音響測深機を用いた河床高自動モニタリングシステム自体はYorozuyaらが既に構築しており、これを用いて富士川において河床波の通過と思われる河床変動を捉えた実績がある。同システムでは、音響測深機によりある一地点における河床高の変動を把握する。固定設置型流速計による自動流量観測システムでは、各区分断面の平均的河床高を用いて区分断面積を求める。そのため一地点における河床高を測定することで、当該区分断面の平均的河床高を把握することが可能かどうかについての検証が必要である。本章では河床高自動モニタリングシステムの概要について説明するとともに、一地点の河床高の把握から区分断面における平均的河床高を把握することの可能性について検証した。

第6章では固定設置型流速計による流量観測において、システムの設定レベルを変更した場合に、どの程度流量データに誤差が生じるかを検証した。観測所の重要度を考えると全ての観測所において一斉に完全な流量観測の高度化を実施することは現実的ではない。ADCP観測の補助的な位置づけである固定設置型流速計による流量観測について、観測所の重要度によってはシステムの設定レベルを下げることも考えられる（例えば、流速補正係数は一定値とする、河床変動はモニタリングしない等）。ADCPによる観測流量を“真値”とし、固定設置型流速計による観測流量との誤差が採用レベルの条件を変えることでどの程度変動するかを調べている。

第7章では、第2章から第6章までの内容についてまとめ、流量観測高度化システムの構築に向けた提言を行っている。

本論文の成果は、学問的のみならず、現地での流量観測を容易にできるようにし、それによる観測データの収集が、河川の治水・利水計画に反映される可能性が大きい。また、流量観測がほとんど行われていない開発途上国では、このシステムの適用により、水害の発生を減少させ、人的・経済的損害を減らすことに貢献できると考えられる。よって、博士（工学）の学位論文としての価値があるものと認められる。

最終試験の審査結果の要旨

工学研究科 博士課程

専攻名	応用システム工学	学籍番号		氏名	本永 良樹
-----	----------	------	--	----	-------

①本論文は、電波式流速計を用いて、河川流量を連続自動観測出来るシステムを構築するために必要な事項を、計測精度の高い ADCP の計測データを元に詳細に検討し、表面の流速しか計測できないこの流速計でも比較的精度良く河川流量を計測できる手法を開発したものである。精度の向上は、流速補正係数（従来の浮子観測における較正係数に相当）の理論的裏付けによる決定、観測期間中の河川横断面積の計測から得られる。本論文は、この点を従来手法から改良・発展させたもので、独創性が見られる。また、学術的貢献度が高いだけでなく、実務に対する貢献度も大である。

② 審査制度のある学術論文への掲載論文

- 1) 本永良樹・銭 潮潮・山田 正・山坂昌成：水位・通水能曲線（HK 曲線）を利用した新しい流量算出手法，土木学会論文集 B1(水工学), Vol.68, No.4, pp.1357-1362, 2012.2.
- 2) 本永良樹・萬矢敦啓・深見和彦：河床変動及び強風を伴う河川表面流速の特性と風による影響の補正に関する検討，土木学会論文集 B1(水工学), Vol.69, No.4, I_745-I_750, 2013.
- 3) 本永良樹・萬矢敦啓・深見和彦・山坂昌成：異なる河床変動特性に応じた流速補正係数に関する考察，河川技術論文集，Vol.19, pp.195-198, 2013.
- 4) Yoshiki MOTONAGA, Atsuhiko YOROZUYA, Kazuhiko FUKAMI, Masashige YAMASAKA : Characteristic of Velocity Index in Rivers with Riverbed Fluctuation during Flood, Proceedings of the 35th IAHR World Congress(USB), Chengdu, China, 2013.

①および②は、「国士舘大学大学院工学研究科博士課程における学位審査のめやす及び博士候補者資格の判定に関する申し合わせ」の第 1 条を満たしている。

③ 提出された学位論文の査読および公聴会の質疑応答を通じ、当該分野の基礎に対する理解も深く、論文作成法も十分体得していることが確認できた。

以上により合格とする。