

# 都市二級河川における洪水流量観測と 河川計画上の課題

## FLOOD DISCHARGE OBSERVATION USING ROD FLOAT AND RIVER PLANNING ISSUES IN CLASS B URBAN RIVER

宮本守<sup>1</sup>・宮本強平<sup>2</sup>・岩井茂雄<sup>3</sup>

Mamoru MIYAMOTO, Kyohei MIYAMOTO and Shigeo IWAI

<sup>1</sup>正会員 博士(工学) 独立行政法人土木研究所 水災害・リスクマネジメント国際センター  
(〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

<sup>2</sup>学生員 日本大学大学院理工学研究科 社会交通工学専攻  
(〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

<sup>3</sup>正会員 博士(工学) 日本大学理工学部教授 社会交通工学科  
(〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)

Most rivers located in urban areas are small- and medium sized rivers. In recent years, flood disasters and accidents in such rivers are increasing. To cope with those issues, river administrators have addressed flood control measures such as river improvement, construction of retarding basins and continuous observation of hydrological index. However, it is still nearly impossible to accurately estimate flood discharge and stage-discharge relation in small- and medium- sized rivers. Because of that, it is difficult to carry out river planning based on past flood discharge records.

In this study, high water discharge observation was carried out in the rapidly urbanized Ebi River. The study also examined the accuracy of observation in details under different conditions and discussed river planning issues in small- and medium-sized urban rivers.

**Key Words :** Flood discharge observation, H-Q curve, rod float, compound cross section, class B river, urban river, river planning

### 1. はじめに

都市域および周辺地域を流れる河川のほとんどは二級河川もしくはさらに小規模な河川であり、近年ではこのような小規模河川における水害、事故が増加している。河川を管理する自治体等は、治水対策として河川改修や遊水地の建設、そして雨量や水位の継続的な水文観測を行っている。しかしながら、二級河川を含む多くの小規模河川では、洪水時の流量データや水位流量関係が不明であり、洪水流量実績に基づいた河川計画が困難になっているのが実情である。

本研究では、近年において急激に都市化が進んだ千葉県船橋市の二級河川海老川を対象に浮子を用いた洪水流量観測を行い、水位流量関係式の作成を行った。その際に、観測時の浮子の使用等に関する測定精度や複断面における水位流量関係の算出について検証した上で、観測実施条件が測定結果に及ぼす影響について考察した。さ

らに、実際に河川計画上用いられている既存の水文観測データと著者らが行った出水時観測のデータを比較し、各流量データから算出された水位流量関係や流出特性を比較検証した。以上の結果から、二級河川のような洪水流量データが不十分な小規模河川における河川計画・管理上の現状の問題点と留意すべき点、今後の課題について考察した。

### 2. 海老川流域の概観

#### (1) 海老川流域の緒元

海老川流域は流域面積27.1km<sup>2</sup>、流域人口約21万人の小規模の都市流域である。河口である船橋港から約2.2km上流までが二級河川の海老川、さらにその上流が念田川である。海老川には、長津川、北谷津川、高根川、宮前川、飯山満川、前原川・中野木川の7支川が合流している。図-1は2003年時の海老川流域の土地利用である。

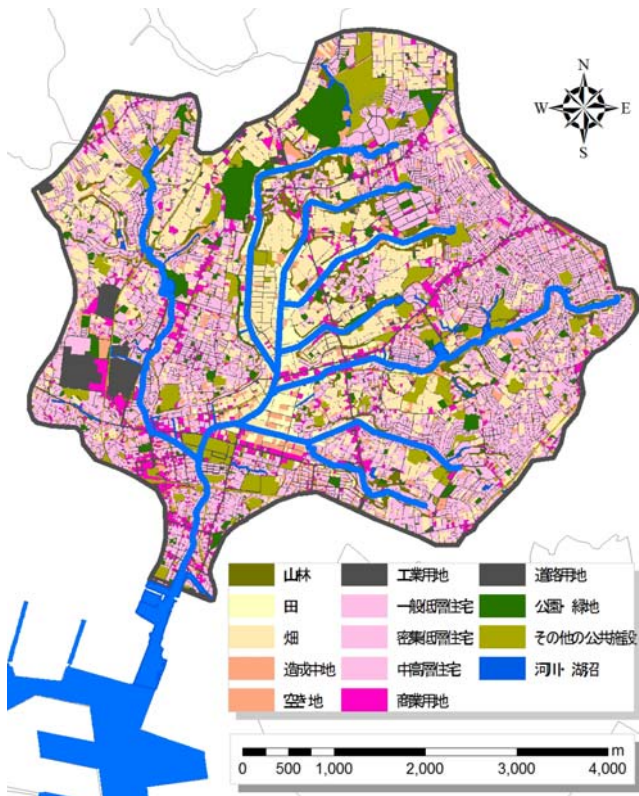


図-1 海老川流域の土地利用図

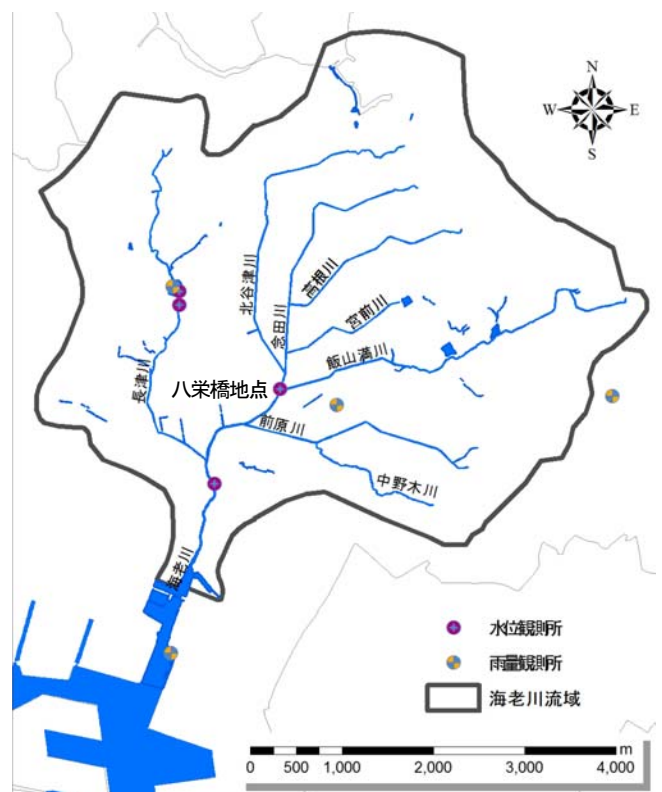


図-2 海老川流域内の水文観測施設

流域の土地利用形態は、流域中心部と北部に残存する一部の田畑を除くほとんどの地域を市街地が占めている。昭和20年代には市街化率15%程度であったが、昭和30年代以降の急激な開発により現在の市街化率は約70%以上になっている。

### (2) 海老川流域における継続的な水文観測

海老川流域では、4つの水位観測所（船橋本町、八栄橋、長津川外、長津川内）と2つの雨量観測所（船橋東、長津川調節池）が設置されており、1996年から継続的な水文観測が行われている。図-2は流域内の各支川と水文観測施設である。なお、流域外ではあるがAMeDASの船橋地点が流域近くに設置されており、流域を雨量観測所でThiessen分割した際にはこの観測所も流域内に面積を有する。

### (3) 海老川流域が抱える河川管理上の問題

昭和30年代以降の急激な市街化を受けて、海老川流域では洪水氾濫、低水流量の減少、水質悪化、水利用形態の変化、生態系の変化等の多様な問題が発生している<sup>1)</sup>。特に洪水氾濫に関しては、海老川流域ではおおそ2年に1回程度の頻度で浸水被害が発生しており、上流部や支川では20mm/hour程度の降雨でも浸水被害が発生した事例もある。

### (4) 水循環再生のための施策

海老川流域の水循環再生を目指す、海老川流域水循環

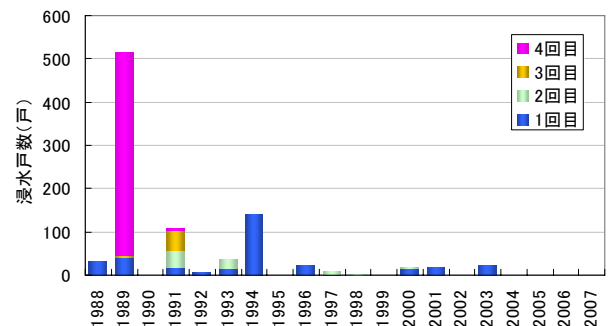


図-3 海老川流域における年別浸水戸数

再生推進協議会では、水循環再生を目指してこれまでに河道改修、下水道の建設、雨水浸透施設の設置、環境用水量の確保、多自然型川づくり、公園・緑地の整備と保全等の主として治水に関する施策を行ってきた<sup>2)</sup>。治水に関する施策はこれまでに概ね実行されてきたため、現在では特に「清らかで豊かな流れの創出」を目指し、水質の浄化、低水流量の確保、湧水の保全と再生に対する取り組みがなされている<sup>3)</sup>。低水流量の確保のためには、高校等の公的用地における雨水浸透施設の設置や調節池による環境用水の確保に加え下水処理水の利用を試みており、湧水の保全・再生に関しては、新規住宅に対する雨水処理施設の設置促進を行っている。水質浄化のためには、下水道の整備を推進することに合わせ合併処理浄化槽の普及、流域外である印旛沼流域下水道からの下水処理水の導水を行っている。

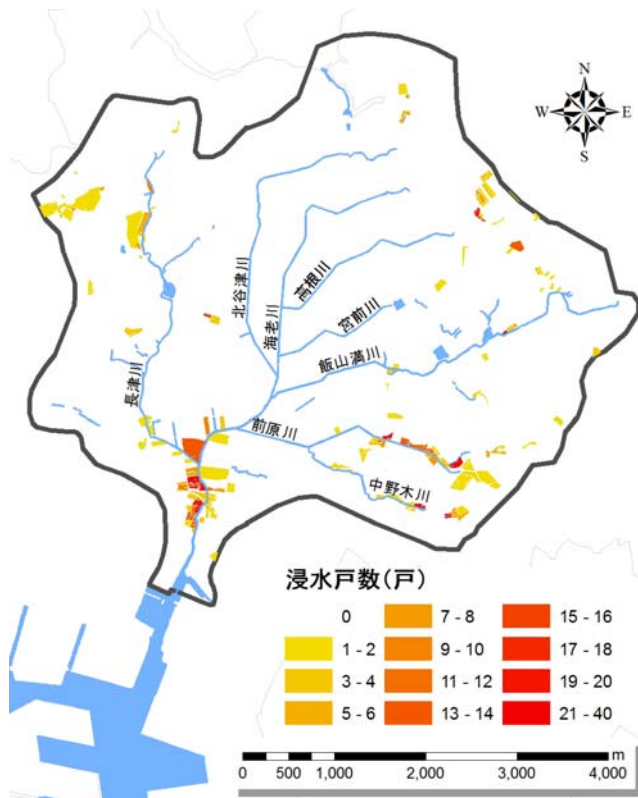


図-4 海老川流域の総浸水箇所

(1988年から2007年までの20年間に発生した23洪水)



図-5 海老川流域内で実施された治水事業

### (5) 海老川流域における水害実績

資料が存在する1988年から2007年までの20年間を対象に、船橋市の水害実績から海老川流域における浸水戸数を整理した。船橋市の水害実績としては、1966年からの記録が残っているが、浸水区域の詳細な番地が不明であるため、本研究では上記の期間とした。対象期間中の海老川流域内における水害は過去20年間で23回発生している。図-3は過去20年間の浸水戸数を洪水別に表示している。最近10年間での浸水事例は小規模な浸水のみであり、1回の洪水に対する浸水被害の規模は縮小傾向にある。図-4は1988年から2007年までの20年間に発生した23洪水の総浸水戸数の空間分布である。浸水戸数の多いエリアは河川に隣接したエリアであることから、外水氾濫による浸水被害であると考えられる。一方、上流部では内水氾濫によって河川から離れたエリアにおいて浸水が発生しているおり、近年においてもこのような小規模な浸水は発生している。

### (6) 海老川流域の治水対策

海老川流域ではこれまで数多くの水害に見舞われ、甚大な被害を被ってきた。そのため洪水被害を軽減すべく多く治水事業が取り組まれている。図-5は海老川における河道改修および調節池設置箇所であり、表-1は治水事業の緒元である。海老川下流部および長津川下流部では1980年前後に河道改修が開始され、河道改修後に大規模な氾濫が発生していないことがわかる。

表-1 海老川流域における治水事業の緒元

河川	事業名	規模	整備期間	区分
海老川	広域基幹河川改修事業	2670 m	1976～	河道
		22 ha	1979～	調節池
	激特事業	830 m	1986～1990	河道
長津川	災害関連事業	907 m	1996～1997	河道
	都市小河川改修事業	2935 m	1983～1993	河道
飯山満川	河川災害復旧助成事業	2274 m	1984～1988	河道
		2780 m	2006～	河道
	1.447 ha	調節池		

### (7) 海老川流域を対象とした既往の研究

海老川流域を対象とした既往研究としては、Jiaら<sup>4)</sup>による数値解析が挙げられる。Jiaらは分布物理型の水・熱循環解析モデルであるWEP (Water and Energy transfer Process)モデルを開発し、雨水浸透施設を導入した場合の流域対策の効果を検証した。さらに防災調節池の洪水流出抑制効果を検討した上で、防災調節池の有無と浸透施設の有無の組み合わせた4ケースで、洪水流出抑制の効果を比較している。

## 3. 洪水流量の集中観測

海老川流域ではこれまでに、浸水被害に対する治水対策を施してきており、実際に河川改修等により被害は縮小傾向にある。しかしながら、浸水被害の可能性は今後も有しており、異常気象に起因する超過洪水等への対応も考えなければならぬ。したがって洪水観測に基づく



写真-1 平水時の海老川八栄橋地点

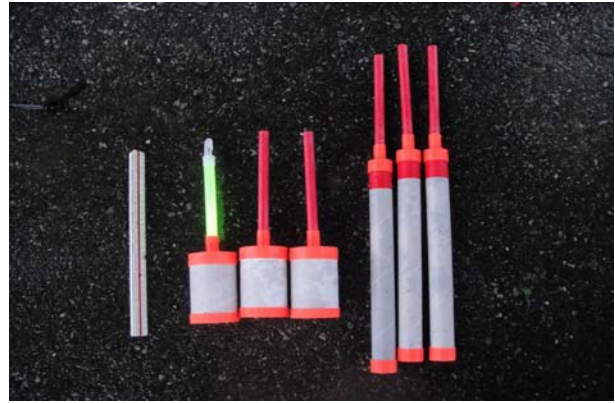


写真-2 流速測定に用いた浮子

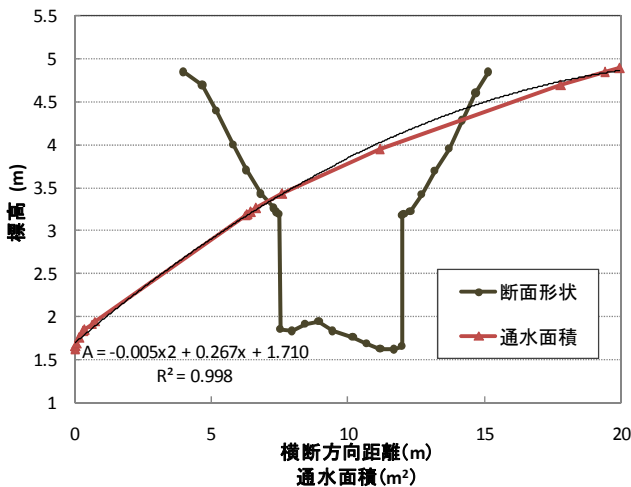


図-6 海老川八栄橋地点の断面形状と通水面積

河川計画・管理が求められ、そのためには出水時に現地観測を行い、洪水の詳細な流況を解明することが不可欠である。

### (1) 洪水時流量観測の実施概要

洪水流量観測は、海老川の河口から2.2km上流の八栄橋地点において2009年10月8日3時20分から10時50分までの7時間30分実施された。八栄橋地点の横断面形状は、写真-1に示したように低水路が直立コンクリート護岸になっており、その上部が斜面になっている複断面形状である。八栄橋地点の断面形と通水面積を図-6に示す。流速測定には浮子を用い、水位および流速の測定は10分間隔で行った。用いた浮子は写真-2に示した表面浮子と吃水浮子(30cm)の2種類である。夜間時の測定では、発光素材(ルミカライト)を用いて行った。また、測定に用いた浮子を回収可能であった場合は、次の測定に再度用いた。

流速計測区間は直線区間が確保できる30m、助走距離は約15mとして左岸側から浮子を投下し、測定区間を流れる時間をストップウォッチにより計測した。本観測では、低水路幅が約4mと狭小であることから、測線は河川



写真-3 観測風景

中央のみの1測線とし、各測定で表面浮子と吃水浮子をそれぞれ1ずつ投下した。投下の際には、表面浮子と吃水浮子が混同したり、衝突したりしないように数秒間の時間差を設けて投下した。観測時の様子を写真-3に示す。

なお、本観測では当初、浮子による流速測定に加え、TRDI社製のドップラー流速計V-ADCP(2400kHz)を用いた流速測定を予定していたが、河床材料が主に砂地であったため、センサーが流されないように入水前に河床に固定することが困難であった。したがって本観測ではドップラー流速計による測定は断念し、浮子による測定のみを行った。ドップラー流速計による流速測定は、高精度で詳細に測定可能であるが、二級河川のような小規模河川では洪水流出の降雨に対する応答が早く、台風上陸時等の集中観測では、観測準備に時間と手間が掛かることが課題となった。

### (2) 流量観測結果

観測時の水位および流速の測定結果を図-7、図-8に示す。雨量はAMeDASの船橋地点の値である。更正係数は表面浮子を0.85、吃水浮子を0.88として平均流速を算出した<sup>5)</sup>。水位のピークは、降雨の2つ目のピーク時である5時に来ているが、流速のピークは降雨の3つ目のピーク

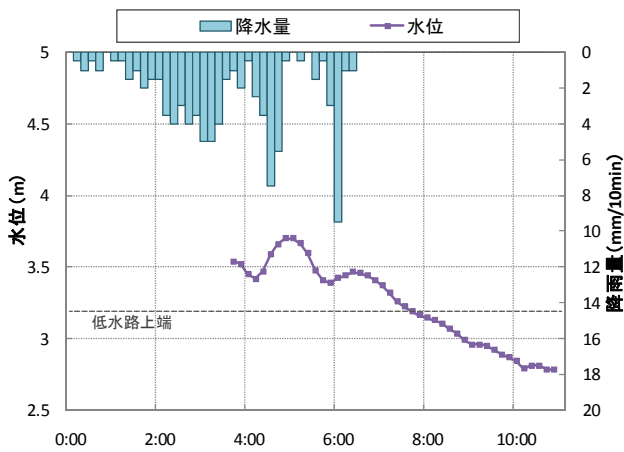


図-7 水位の観測結果

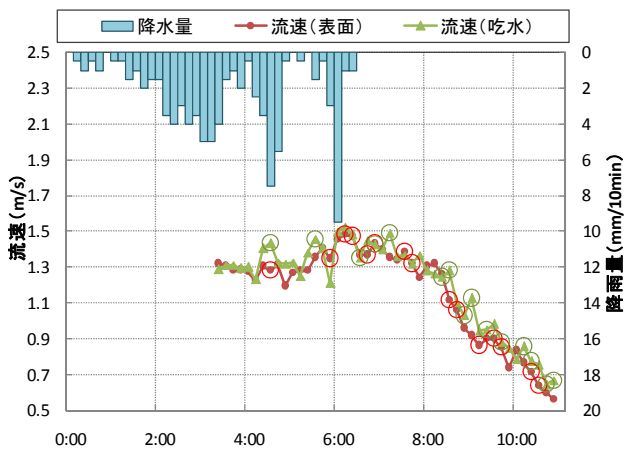


図-8 流速の観測結果

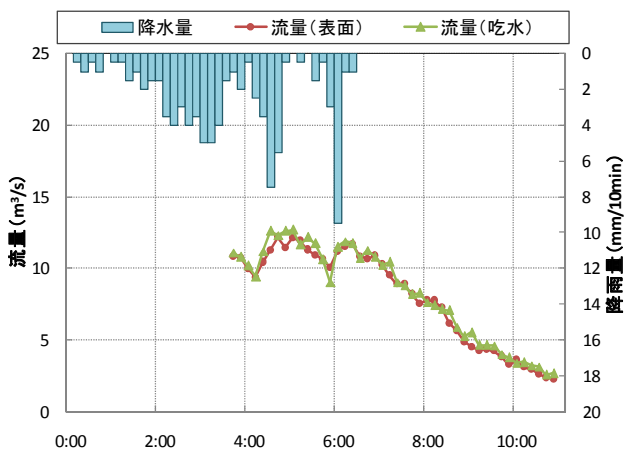


図-9 観測流量の比較

である6時10分に来ている。本観測中の水深は約1mから2mの範囲であったため、浮子選定の適用範囲としては吃水型が該当している<sup>9)</sup>。観測結果では、表面浮子と吃水浮子の流速はほぼ同じ値をとっているが、吃水浮子の方がややばらつきが大きくなっていることがわかる。これは、海老川流域は横幅約4mの小河川であり護岸の影響等により横断方向の流れが影響していることが考えられる。なお、図-8において丸で囲まれたプロットは再利用した

表-2 各観測データから決定されたa, bの値

	使用したデータ	a	b
表面浮子	全データ	4.603	-1.952
	高水敷のみ	1.052	-0.288
	低水路のみ	10.200	-2.286
吃水浮子	全データ	4.437	-1.902
	高水敷のみ	1.488	-0.760
	低水路のみ	9.144	-2.224

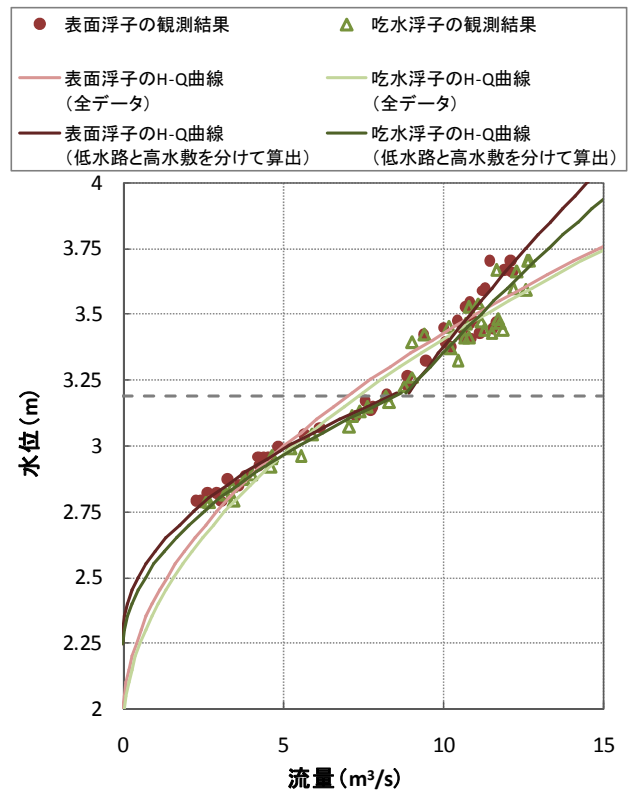


図-10 観測結果から作成した水位流量曲線

浮子による測定結果であるが、浮子の再利用による大きな測定誤差は見受けられなかった。

図-9は観測結果から得た流量の時系列である。表面浮子と吃水浮子の流量値はほとんど同じ値をとっているが、4時30分から5時までのピーク付近では、吃水浮子による測定の方がやや大きな値となっている。また、降雨終了後の8時頃に流量が増加している。これは、海老川の横断面形状が高水敷斜面に植生を有した複断面であり、断面特性が標高3.19mの上部である高水敷と下部である低水路で大きく異なっていることが影響していると考えられる。つまり、この時間帯に水面が高水敷から低水路内に低下し、表面流速が増加することで、算出流量が増加したものと考えられる。

また、降雨と流量のピーク時間の差は約10分であった。流域面積が約8.25km<sup>2</sup>の八栄橋地点における洪水到達時

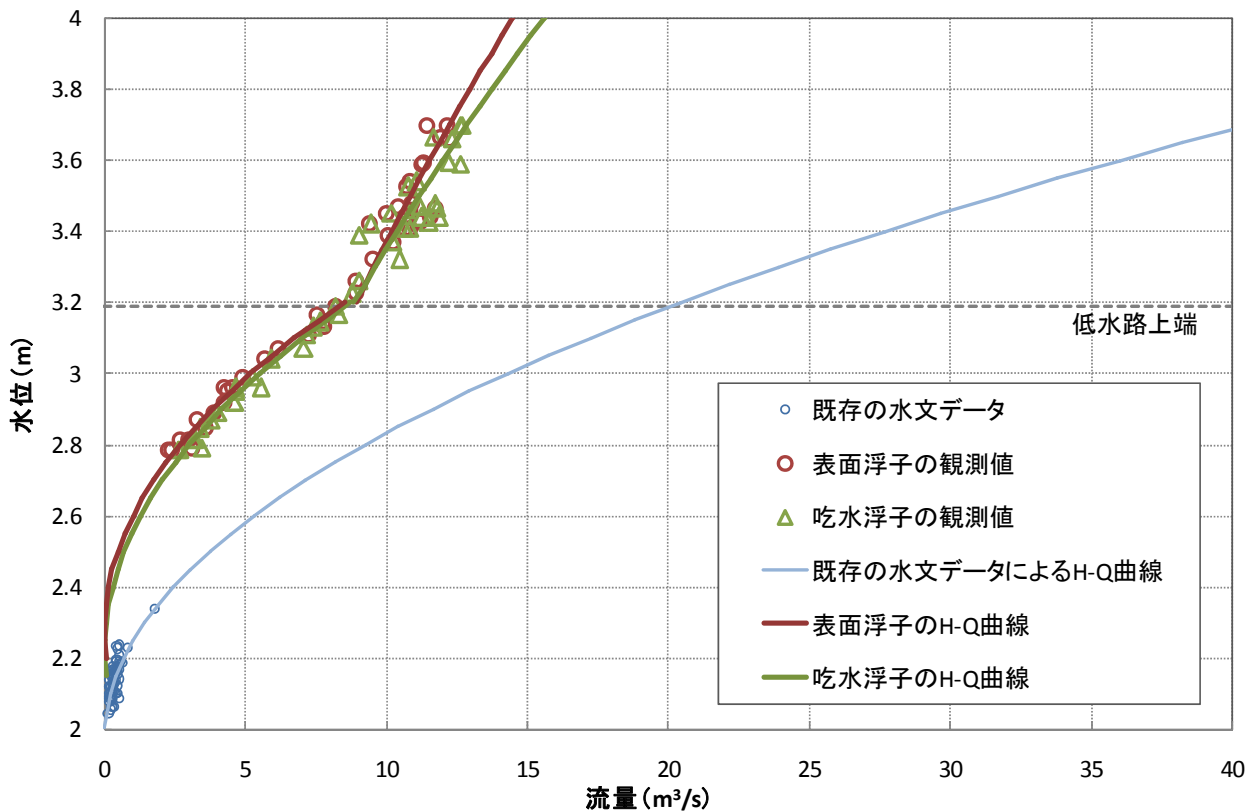


図-11 観測結果と既存の水文データから作成した水位流量曲線の比較

間としては非常に短い。つまり、降雨に対する流量の応答が早く、河川水位が急激に増水する都市小流域特有の流出特性を有している。

### (3) 水位流量曲線の作成

表面浮子と吃水浮子のそれぞれの観測結果から水位流量曲線を作成した。水位流量曲線の作成に当たっては、式(1)の2次曲線式の定数算定を最小自乗法の適用により行った。

$$Q = a(H + b)^2 \quad (1)$$

なお、八栄橋地点の横断面は標高3.19mが低水路と高水敷の境界であり、断面特性変化点であるため、各浮子の観測結果に対して全データを用いて算出したH-Q曲線、断面特性変化点を境界にして低水路と高水敷のそれぞれのデータを用いて算出したH-Q曲線を作成した。

求めた定数a, bは表-2に示した通りである。図-10は各観測結果から作成した水位流量曲線である。表面浮子と吃水浮子の結果を比較すると、わずかではあるが、表面浮子より吃水浮子の方が常に流量が多くなっている。

特筆すべきは、全観測データを用いて作成した水位流量曲線と低水路と高水敷を分けて作成した水位流量曲線を比較すると、最大で2m³/s以上の差が生じていることである。観測結果の分布からも低水路と高水敷の境界で分布特性が異なっていることが確認できるように、断面特性を無視した水位流量曲線の作成では、洪水流量を忠実に再現することは困難である。

## 4. 流量観測結果と既存水文データの比較

海老川流域では、雨量と水位の継続的な水文観測の他に不定期な流量観測が2003年から2008年まで実施されている。ただし、この流量観測は平水時に実施されており、出水時のデータ取得までには至っていない。したがって本観測結果との単純な比較はできないが、この流量観測の結果からも水位流量曲線は作成されており、河川計画上の参考資料としては扱われている。図-11は本観測結果から作成した水位流量曲線とこれまでの平水時の流量観測から作成した水位流量曲線の比較である。既存の観測結果から作成された水位流量曲線の定数は、 $a=13.676$ 、 $b=1.977$ である。既存の観測結果は平水時のみのデータであるため出水時のデータが十分でなく、その水位流量曲線は洪水時の流量が本観測結果の約3倍程度になっている。このことから、既存の流量観測結果から作成された水位流量曲線を用いると、出水時の流量は非常に大きく算出することになり、適切な河川計画・管理は困難になる。

都市流域とはいえ二級河川のような小規模河川では、このように出水時の観測データが十分ではなく、そのような状況下で河川計画・管理に取り組まなければならないのが実情である。これは海老川流域に限ったことではなく、多くの小規模河川の管理に際して共通した現状であるが、平水時のデータから洪水流量を算出することは、

図-11に示したように大きく実測値と異なる値となることは留意しなければならない。

## 5. おわりに

本研究では、千葉県船橋市の海老川流域を対象に洪水時に浮子を用いた流量観測を行い、水位流量関係式の作成を行った。その際に、観測時の浮子の使用等に関する測定精度や複断面における水位流量関係の算出について検証した。さらに、実際に河川管理上用いられている水文観測データと著者らが行った出水時観測のデータを比較し、各データから算出される水位流量関係や流出特性を比較検証した。以上の結果から、得られた知見を以下に整理する。

- 1) 洪水時の浮子による流速測定結果では、表面浮子と吃水浮子を用いて実施したが、測定値に顕著な違いは見られなかった。
- 2) 海老川のような明確な複断面河川では、低水路と高水敷を分けて水位流量曲線を作成する必要がある。全データを用いた水位流量曲線と比較すると最大で $2\text{m}^3/\text{s}$ 以上の差が生じている。
- 3) これまでに海老川で実施された流量観測は平水時のみであるが、この結果により作成した水位流量曲線から洪水流量を算出すると、本観測より約3倍程度大きな値となる。
- 4) 洪水実測データの不足は多くの二級河川のような小規模河川が計画・管理上抱える課題である。しかし

ながら平水時のデータから洪水流量を算出すると実際の流量とは大きく異なることは、河川計画・管理の際に十分留意しなければならない。

**謝辞：**本論文における雨量、水位、流量に観測データは千葉県葛南地域整備センターより提供して頂きました。また船橋市の浸水実績は船橋市より提供していただきました。ここに記して謝意を示します。

## 参考文献

- 1) 海老川流域水循環再生構想検討協議会：海老川流域水循環再生構想—みんなで取り戻そう私たちの海老川—，1998年3月。
- 2) 海老川流域水循環再生推進協議会：海老川流域水循環系再生行動計画—みんなで取り戻そう私たちの海老川—，1999年12月。
- 3) 海老川流域水循環再生推進協議会：海老川流域水循環系再生第二次行動計画—みんなで取り戻そう私たちの海老川—，2006年3月。
- 4) Yangwen JIA, Guangheng NI, Yoshihisa KAWAHARA and Tadashi SUETSUGI: Simulation of hydrological cycle in an urbanized watershed and effect evaluation of infiltration facilities with WEP model, *Journal of Hydroscience and Hydraulic Engineering*, Vol. 19, No.1, pp.43-52, 2001
- 5) 建設省水文研究会：水文観測，社団法人全日本建設技術協会，1996年11月。

(2010. 7. 20受付)