

# 緩混合河川における流量観測とその評価

Assessments of Discharge Observation at Partly mixed River

株式会社福田水文センター ○正 員 横尾啓介 (Keisuke Yokoo)  
 株式会社福田水文センター 橋場雅弘 (Masahiro Hashiba)  
 北海道開発土木研究所 正 員 吉川泰弘 (Yasuhiro Yoshikawa)

## 1. まえがき

河川管理において流量は、最も重要な水理量の一つである。実際河川流量は、流域特性に合わせて観測所を設置し、その実態を把握することが必要であるが、その中で、流域全体を網羅し得る最下流部で把握することも重要である。しかし、河口域では特に渦水期になると、潮汐の影響や塩水の遡上などにより、通常の流量観測法<sup>1)</sup>ではその精度に問題が生じる。

本研究は、緩混合型で塩水が遡上する河川感潮域において、流量観測を連続3昼夜全18回行い、水位変動による流況変化を把握した。また、当該箇所における観測法の違いによる特性を明らかにするために、可搬型流速計による2点法、精密法のほか、ドップラー流速計(ADCP)を用いた観測も同時に行った<sup>2)</sup>。それらの結果を基に、流量変動と、それぞれの観測法について比較、検証を行い、河川感潮域において最適な流量観測方法の提案を試みた。

## 2. 観測地点と観測方法

本研究において対象とした地点は、図-1に示す常呂川常呂河口観測所(KP1.2)とした。常呂川は、延長120kmで流域面積1,930km<sup>2</sup>を有し、オホーツク海に河口を持つ一級河川である。河川感潮域における塩水遡上形態は、弱混合(塩水楔)、緩混合、強混合型と3種類に大別され、この混合状態の相違は、河床粗度や河床高など地形的要因も作用し、時間的、空間的に異なった形態を呈することも多いが、主として潮位差の違いにより生じるものである<sup>3)</sup>。オホーツク海は年間平均潮位差約1mであり、緩混合型で塩水が河川に遡上するが多い。

今回観測した項目を表-1に示す。水位計(光進電気MC1100-WA)を観測基準断面と、水面勾配測定用として観測基準断面から上下流それぞれ250mの位置に設置した。流量の観測は、図-2に示す水面幅63.5mの基準断面において、9測線で流速測定を行った。流速の測定は、可搬型流速計である三映式II型流速計を船上から、河床に向かって降ろすことにより行い(キャプタイヤコード使用)、鉛直水深は従来から行われている2点法(2、8割水深)のほか、精密法(最大0.3m間隔)により実施した。また、ADCP(RDI Workhorse 1200kHzハイレゾリューションモード0.1m間隔)も船に固定し、同時に観測を行った。フローを図-3に示す。測定は最長180秒とし、20、40、60、120および180秒間の平均

表-1 観測項目

項目	形式	備考
水位	光進電気 MC1100-WA	基準・上下流250m
流量観測	三映式II型	船使用
	RDI Workhorse 1200kHz	ADCP
塩分	ALEC STD	流量観測と同時
	ALEC Compact-CT	常呂大橋(KP1.5)

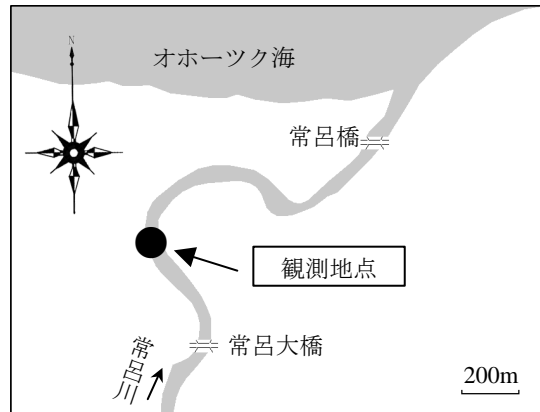


図-1 観測地点

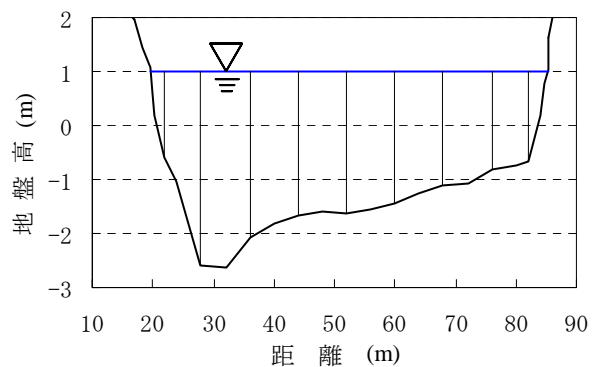


図-2 流量観測横断面と測線

値として処理した。各流量観測開始時と終了時にはSTD(ALEC STD)を用いて最深河床部であるDIS=28mの測線で水温、塩分の鉛直分布(0.1m間隔)を把握したほか、上流常呂大橋(KP1.5)の最深部に塩分計(ALEC Compact-CT)を設置し、塩水遡上、後退過程も観測した。

観測期間は、潮汐影響が最も顕著に現れる大潮時の2005年8月18日～21日に行った。また、水位（潮位）変化による流量変動を見るために、図-4に示す高低潮、上げ潮、下げ潮最盛時等の極大時に1日6回、計18回行った。実際に、これらの観測を1班で行うことは非常に時間を要するため、潮汐影響を極力排除できるように1班2名の5班体制で最長でも1時間30分以内で観測を行った。

### 3. 観測結果

#### 3.1 水位変動による流況変化

今回観測時の水位と流量観測時刻の関係を図-4に示しているが、同図には、観測所上流の常呂大橋（KPI.5）の底層で計測を行った塩分の時系列データについても示している。今回大潮時での水位差は約1.3mであり、下層に塩分が感知されたのは、5、6、7、11、12回目であった。塩分挙動の詳細については次節で述べるが、塩水の遡上は、塩淡水域層をある程度有する緩混合型の遡上形態となっていた。この塩水が感知された5回の観測時のうち、逆流現象まで見られたのは5、11回目であった。どちらの場合も、河川水位が上げ潮からピークの観測時であり、塩分値を見ても、塩水が遡上している過程がよくわかる。

図-5は水位と断面平均流速の関係を、図-6は水位と流量の関係を示したものである。後述するが、ここで用いた断面平均流速、流量はともに、今回複数の観測方法で最も真値に近いと思われるADCP精密法180秒の値に基づいている。図-5より断面平均流速は、水位変動に呼応して水位下降時に流速が増し、上昇時に減少傾向という周期的な増減を繰り返している。しかし、水位と流速のピークは一致しておらず、流速は水位からある程度の位相差を持つ。また、最大0.3m/sある流速も、上げ潮時には0.1m/s以下となっている。

次に、図-6に示す水位と流量の関係をみると、流速同様の増減を繰り返しているが、一潮汐間で約10 m<sup>3</sup>/s以下から30 m<sup>3</sup>/s以上と3倍を超える変動を生じていることがわかる。観測期間中8月20日午後から10mm程度の降雨があったものの、少なくともそれ以前1週間は降雨が無く、上流から供給される流量は、渇水状態で安定していたと思われる。このように感潮域での流量は、上流で流量一定の定常状態であっても、下流では潮汐によって時間的に大きく変動している。

このように、感潮域の流量を把握するためには、例えば日1回のスポット観測では代表的な値が得られるとは言いきれず、潮位変動に合わせてある程度集中的に観測を行い、その流況を把握することが必要であることがわかった。

#### 3.2 観測方法、時間の違いによる流速測定結果の変化

ここでは、前述図-3で示したそれぞれの流量観測方法の違いによる結果から、その特性を把握した。

図-7は観測所の流況を代表している流心部かつ最深河床部であるDIS=28mの流速鉛直分布（ADCP 180秒による測定結果）を時系列に示したものである。

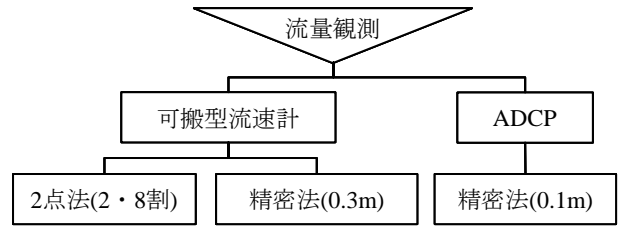


図-3 流量観測法フロー

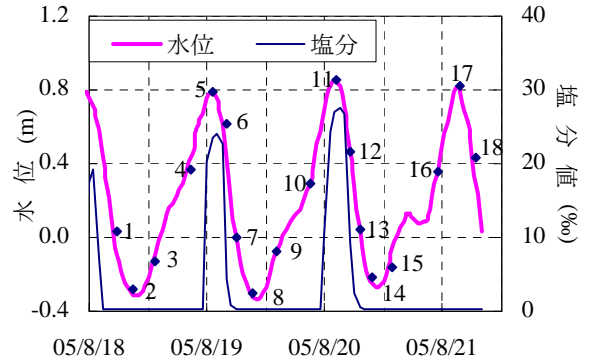


図-4 流量観測と水位、塩分の時系列

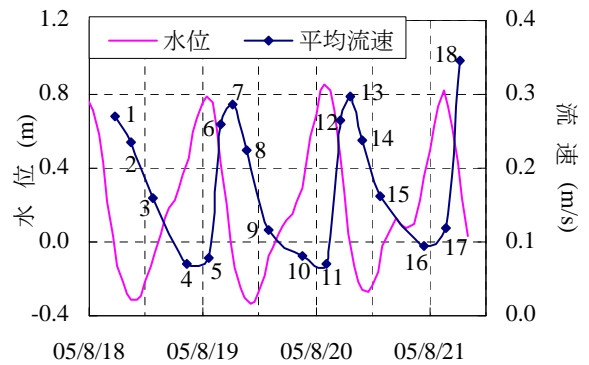


図-5 水位と平均流速の関係

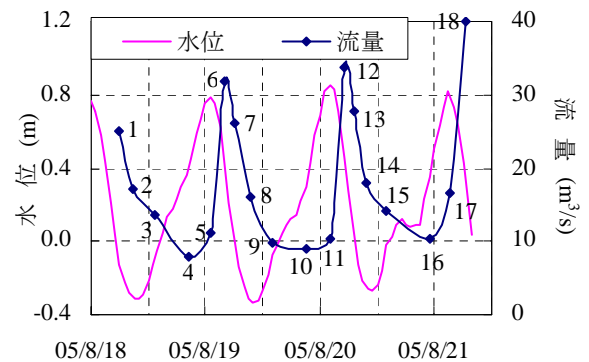


図-6 水位と流量の関係

同図より、流況は短時間で大きく変化しており、水位低下時（下げ潮）から干潮にかけて、流速は全層順流となり最大値を示している。

一方、それとは逆に、水位上昇時（上げ潮）に向かっては流速が急激に小さくなっている。その後、満潮時前

後では流れがほとんどなくなり、標高-0.5~-1.0m 付近を境界として上層は順流、下層では逆流の発生が見てとれる。

この中から、特徴的な流れとなっている満潮時の5回目と干潮時の8回目の流速と塩分の鉛直分布を図-8に示す。図-8の5回目(満潮時)では、上層が順流であっても下層は逆流している。この現象は11回目(満潮時)にも見られているが、どちらも河川水位の極大時に発生している。これは、同図に示したSTDによる塩分の鉛直分布からもわかるように、下層に塩水が侵入しており、水位上昇は河川流量の増加によるものではなく、下流側の潮汐の上げ潮に伴う塩水遡上によって生じている。一方、8回目(干潮時)では、塩水は遡上しておらず、これは下流に後退したことを意味している。同観測時の流速分布を見ると、水面付近で最大、河床付近で最小となり、一般的な開水路流の様相を呈していた。また、このほかの観測回についても流速は水位下降時に増し、上昇時に減少傾向となり、潮汐変動による周期的な増減を繰り返していることがわかった。

このように感潮域では、たとえ上層は順流であっても、下層では逆流していることがあり、それは、最深部から生じるため河川表面からの判別は特に難しい。従って、塩分計や電気伝導度計等を用いて塩水の有無を確認することや、その深度を把握することが必要である。また、流量観測を行う際には、事前に潮位による影響を把握して計画することや、現地においても単に流速のみで判断せず、流向も同時に計測できる機器を選定することが必要であろう。

次に、測定時間による違いによる結果から、その特性を把握した。測定時間は、それぞれの観測について20~180秒間サンプリングし、平均化することによって流速を求めているが、その中から、可搬型流速計の2点法(20、180秒)と精密法(20、180秒)および、ADCP(180秒)の平均流速の比較を図-9に示す。また、ADCP(180秒)を1とした偏差を図-10に示した。

図-9の平均流速の比較では、どの観測方法を用いてもそれほど大きな違いは見られない。しかし、ADCPと比較した流速比は、4回目、10回目の水位上昇にともなう低流速時に1より小さくなっている。これは、流速0.1m/s以下と、可搬型流速計測定範囲の下限値(約0.05m/s)近くとなっており、流速計が流れに追従できず、その結果測定誤差が大きくなることが原因と思われる。次に、その直後である5回目、11回目の水位ピーク付近(満潮時)では約2倍となっている。これは、逆流の発生を感知できない可搬型流速計が全て順流として流速を計測したことが原因である。一方、水位下降時(下げ潮)の流速増大時には、可搬型流速計とADCPの差はほとんど生じていない。このように流れに指向性があり、ある程度の流速が維持されて流れている場合には観測手法を選ばないことがわかる。

また、ADCPの測定時間の違いによる流速差を図-11に示す。図は180秒の平均流速を基準とし、その流速差を示したものである。図より0を中心とした尖度の高い正規分布となっており、20秒においても±0.02m/sに

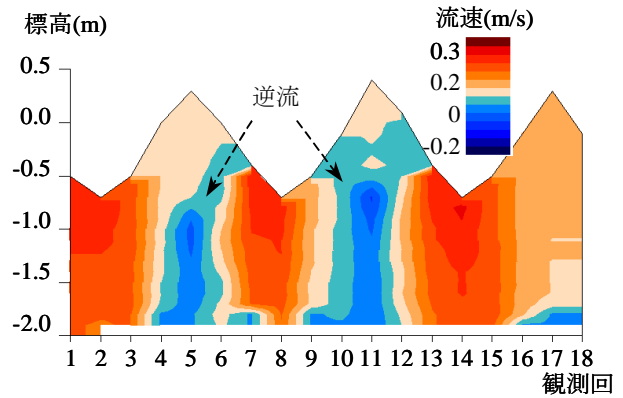


図-7 流速鉛直分布の時系列

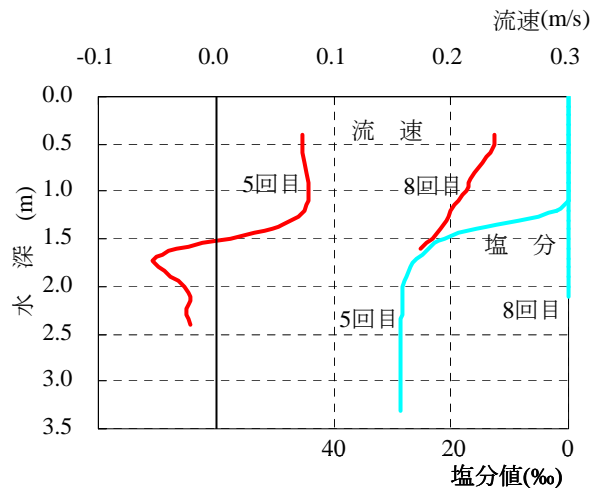


図-8 流速、塩分の鉛直分布

85%以上が入っていることから、測定時間の差は小さいと判断できる。なお、紙面の都合上詳細については割愛するが、可搬型流速計でも、2点法、精密法ともに、20~180秒では大きな差がなかった。

一般的には流れが乱れを伴う場合、測定時間が長いほど流速の精度が向上すると思われるが、感潮域では潮位変動に伴って時々刻々大きく変動するため、できるだけ短時間で1観測が終了するように、測定時間は許容される範囲でなるべく短い方が良いと考える。このことから、本調査においてはADCPの20秒観測で、ある程度の精度は確保されるものと判断される。

今回の研究では、感潮域の特に逆流も生じる場合においてADCPによる観測の有効性が確認されたが、水深の浅い観測所では機器特性である不感帯の割合が多くなる等の問題もあり、今後、従来の観測手法にとらわれず、さらに新しい観測手法を策定することが必要であろう。

### 3.3 水面勾配の変化

通常の流量観測方法では、流速測定の外に水位および、上下流の水面勾配も同時に計測することが示されている。これは、水面勾配が河道計画に極めて重要である河道の流れに対する抵抗に密接に関係しているためである。図-12は、観測所上下流間の水面勾配を、時系列に示し

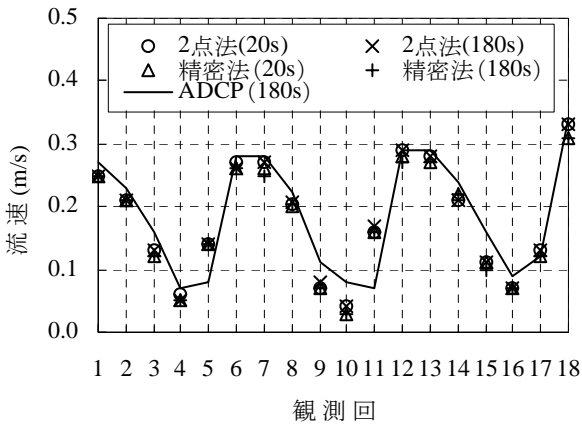


図-9 観測法による流速の比較

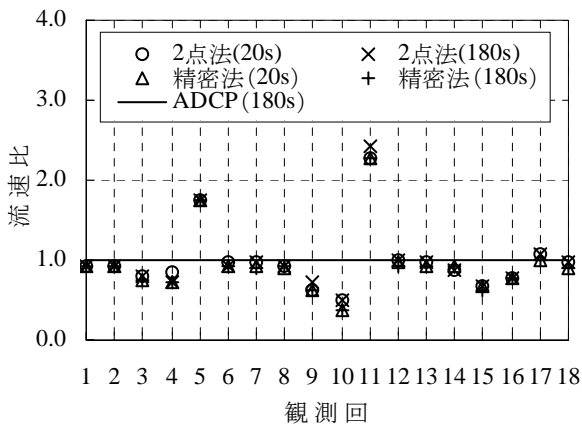


図-10 観測法による流速比の比較  
(ADCP180秒を1としている)

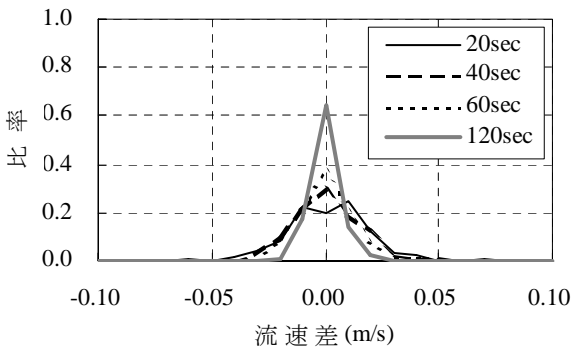


図-11 ADCPによる測定時間別の流速差  
(ADCP180秒の平均流速を基準としている)

たものである。図より勾配は、 $10^{-5}$  オーダーと非常に小さい値となり、さらに、細かい変動を起こしている。これは、沿岸波浪特有の高周波成分の伝播を受けて、水位は小さいながら微振動を起こしていることが原因と思われる<sup>4)</sup>。また、図からは勾配が逆転している時間が見受けられる。この時間帯は、ほぼ上げ潮から高潮時に発生しており、これも、潮汐影響が下流から上流に伝播するために起こる現象に他ならない。このように勾配が逆転している場合、例えば Manning 則では、 $\sqrt{v}$  が虚数とな

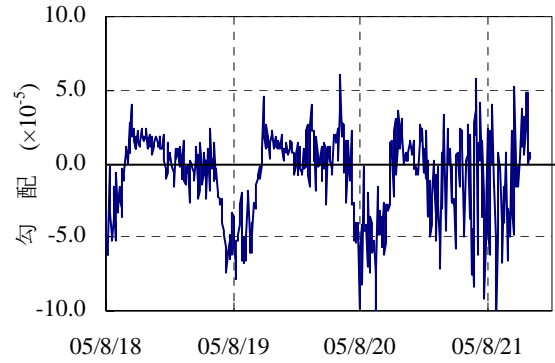


図-12 水面勾配の時系列

るため、粗度の算出も、平均流速の算出も行えない。

そもそも水面勾配を計測するという事は、流れを生じさせる力は重力の作用であると定義し、流体の位置エネルギーが運動エネルギーに転化する（つまりは流速が勾配の関数となりうる）場において成立するものであり<sup>5)</sup>、感潮域のような下層に塩水が遡上している地点や、勾配が小さく、かつ水位と流量（流速）が一時的に決定されない地点での使用は注意を要する。

#### 4. あとがき

本研究で得た結論を以下に示す。

- (1) 今回の満干潮の水位差は約 1.3m であり、塩水は緩混合型で遡上していた。流れは上げ潮から満潮付近で流れにくくなり、下層には塩水の逆流も観測された。
- (2) 直接的な塩水の逆流がなくても、感潮域では潮汐によって流速、流量は時系列に大きく変動する。従って、1回の観測をもって代表流量とはならない。
- (3) 感潮域での流速は、逆流現象など潮汐変動によって周期的な増減を繰り返しているため、観測時に塩水位置や水位変動、流向などの水理条件も把握する必要がある。そのため、可搬型流速計よりも流向流速が計測できる ADCP の方が望ましい。
- (4) ADCP による観測において、測定時間 20 秒と 180 秒の流速差は小さく、20 秒の観測でもある程度の精度は確保されることが分かった。従って感潮域での流量観測は流況の変化が速いため、測定にかかる時間を許容範囲内で、できるだけ短くし、短時間で 1 観測が完了する方法が望ましい。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省河川局監修：水文観測（平成 14 年度版）、全日本建設技術協会、2002
- 2) 吉川泰弘、渡邊康玄：結氷時と解氷時の感潮域に関する現地観測、土木学会北海道支部、論文報告集第 62 号、2006
- 3) 土木学会編：水理公式集（平成 11 年版）pp.556-557
- 4) 横尾啓介、中津川誠、羽山早織、大熊正信：超音波流速計の連続観測に基づく流量推定手法、土木学会河川技術論文集第 10 巻、pp.369-374、2004
- 5) 日野幹雄：明解水理学、pp.140-141、丸善、1983