

高水流量観測の省力化に向けた測線設定について — 次世代型流量観測の導入に向けた検討 —

札幌開発建設部 河川計画課 ○臼田 峻曹
高橋 賢司

高水流量は事業計画や防災対策を検討する上で重要な水文資料となる。石狩川等の大河川では、測線数が多く1回の観測に時間を要するため洪水時のピーク流量を的確に捉えることが難しくなる。そこで本研究では、当部管内全観測所の平成28、30年の高水流量観測データを分析し、川幅や出水規模に応じて必要な精度を確保できる最小測線数を検討した。また、次世代型流量観測における観測の無人化・省力化に向けて適用性を検討した。

キーワード：高水流量観測、省力化、次世代型流量観測

1. はじめに

高水流量観測データは、さまざまな事業計画や防災計画に活かされる重要な基礎資料であり、高い精度と取逃しの無い確実な観測が求められている。近年の記録的短時間豪雨や局所的な集中豪雨による高水出水では、急激な水位上昇量に対応できるように可能な限り短時間で確実な観測が必要である。現在行われている浮子を用いた高水流量観測は、昭和20年代に規定された方法が使われており、水面幅に対応した浮子流速測線数が規定されている。標準的な浮子流速測線の目標数（ここでは標準法と呼称する）は、表-1のように規定されており¹⁾²⁾、やむを得ず緊急かつ迅速に観測を行わなければならない場合（ここでは緊急法と呼称する）は表-2に示す測線数の下限数が規定されている¹⁾²⁾。河川砂防技術基準調査編²⁾では、より精度の高い観測を行うため、表-2の緊急法の測線数を下限数として、標準法を目標にして測線数を確保することを求めているが、鈴木ら³⁾は、緊急法でも水面幅200mでは6割が60分以上、水面幅400m以上では5割が75分以上の時間を要しており、実際に迅速な観測が難しい現状から、観測測線数に着目し、代表的な河床形状の4箇所において測線数を簡略化しても流量精度を維持できる可能性を示した。簡略化した観測手法の導入は現場の負担を軽減し、省力化が期待できるが、事例が限定されているためすべての観測所で適用できるかは検証の必要があった。一方で、流量の観測手法については、革新的河川技術プロジェクト第4弾や次世代型流量観測検討会等で検討が進められており、画像カメラや電波流速計などの非接触機器を固定設置して自動観測することで高水流量観測の無人化が期待できる。実際に、菊地ら⁴⁾は、雨竜川と幾春別川で固定式遠赤外線カメラを用いた画像処理型の観測によって無人で流量を取得して水位流量曲線式を作成することに成功している。しかしこれ

らはいずれも水面幅が150m以下であり、図-1のような高水敷が広い河川では、片岸堤防上にカメラを設置しても見通しが効かない場合がある。この場合、橋上に電波流速計等を設置した観測方法の導入も考えられるが、表-1、表-2に準じて横断測線上に機器を設置すると相当の台数が必要になり、膨大なコスト増が予測される。よって、効率的な測線設定の検討は次世代型流量観測を推進する上で、コスト削減の観点からも必要である。本研究では、石狩川下流域で高水流量観測を行った本支川全観測所（48箇所）での、観測測線設定と流量の関係を整理し、精度を維持しながらどこまで観測測線を簡略化できるかを検討した。同時に、水位（水面幅）によらず、測線を固定した場合での精度検証を行い、次世代型流量観測手法での固定式設置機器を想定した適用性を検討した。

表-1 水面幅に対応した浮子流速測線数の目標数（標準法）

水面幅	20m未満	20～100m未満	100～200m未満	200m以上
浮子流速測線数	5	10	15	20

表-2 やむを得ず流量観測を緊急かつ迅速に行わなければならない場合の水面幅に対応した浮子流速測線数の関係（緊急法）

水面幅	50m未満	50～100m未満	100～200m未満	200～400m未満	400～800m未満	800m以上
浮子流速測線数	3	4	5	6	7	8



図-1 堤防からの見通し（石狩川岩見沢大橋）

2. 検討方法

(1) 対象観測所及び対象洪水

札幌開発建設部管内27河川48箇所の流量観測所を対象として、管内の石狩川最上流の観測所である納内（第1種）で、はん濫危険水位を超過した平成28年（2016年）と平成30年（2018年）の高水流量観測データを収集した。対象河川と観測所数の一覧を表-3に示す。

(2) 河床形状による分類

河床形状を鈴木ら³⁾の分類に合わせて、図-2のようにおわん型、皿型、複断面型、偏おわん型に分類した。

- ① おわん型：中心部が深く両岸に向かって浅くなる横断形
- ② 皿型：全体的に水深が浅い横断形
- ③ 複断面型：高水敷と低水路が明確に分かれている複断面型
- ④ 偏おわん型：おわん型であるが最深部が河岸に偏っている形状

結果は図-3のとおり、おわん型が20箇所でもっとも多く、ついで、皿型で18箇所となり、砂防河川や小規模河川に多くみられた。複断面型は8箇所ではほとんどが広い高水敷をもつ石狩川本川にみられた。偏おわん型は2箇所であるが、自然河川の場合は、河道は自然に蛇行する傾向があり、砂州や上下流の湾曲などの影響も受けて、少なからず偏おわん型になりやすい。しかし、ここでは水深が深く、断面積のほとんどが河岸に偏っている石狩川石狩大橋と豊平川雁来の2箇所のみとした。

(3) 観測測線数と流量精度の検討方法

浮子観測で実施された全測線を基準とし、観測流量を真値と設定する。次に、図-4のように、基準断面の水位をもとに水面幅及び断面積から均等に3測線、2測線、1測線を

測線に分割し、流速値を抽出して流量を算出した。結果は、第一断面、第二断面それぞれの断面で流量を算出して比較した。

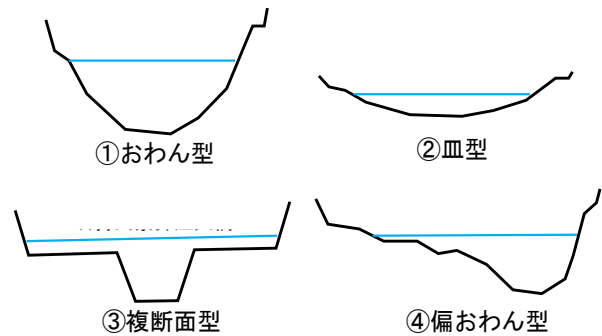


図-2 河床形状による分類

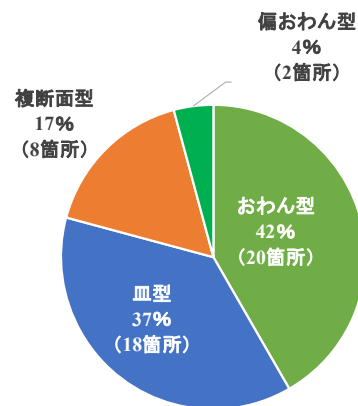


図-3 対象観測所の河床形状分類

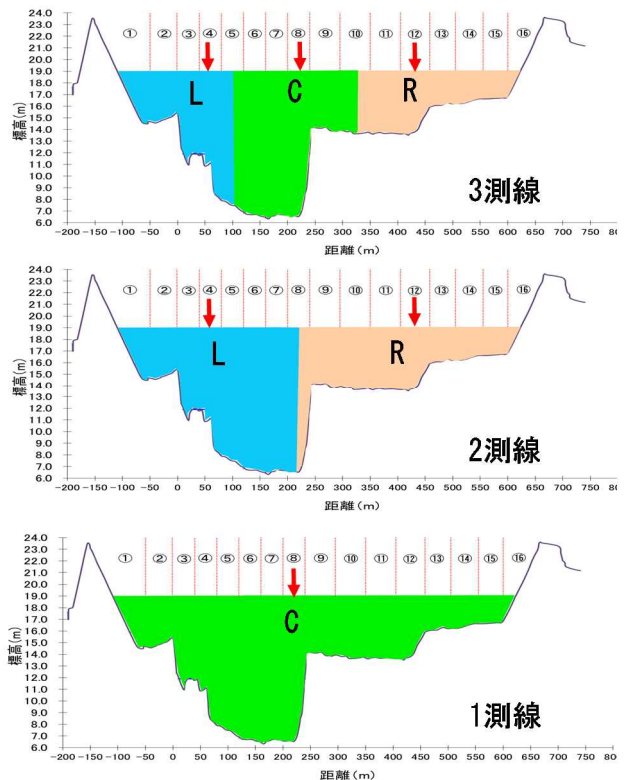


図-4 測線設定方法

表-3 対象地点とデータ数一覧

No.	河川名	観測所名	データ数	No.	河川名	観測所名	データ数
1	石狩川	納内	15	25	千歳川	舞鶴	8
2	"	妹背牛	14	26	"	西越	5
3	"	伏古	11	27	"	裏の沢	8
4	"	橋本町	12	28	鯉淵川	鯉淵	9
5	"	奈井江大橋	12	29	漁川	目の出橋	7
6	"	月形	23	30	輪厚川	輪厚	6
7	"	岩見沢大橋	20	31	島松川	下島松	11
8	"	石狩大橋	12	32	豊平川	石山	8
9	"	篠路	9	33	"	藻岩	9
10	雨竜川	幌加内	5	34	"	雁来	9
11	"	多度志	12	35	当別川	当別川下	3
12	"	雨竜橋	13	36	月寒川	月寒	6
13	"	千秋	4	37	望月寒川	望月寒	8
14	"	旧雨竜橋	12	38	厚別川	厚別	6
15	大鳳川	大鳳橋	13	39	白井川	白井	4
16	空知川	幾寅	15	40	白水川	白水橋	5
17	"	布部	12	41	小川	薄別	4
18	"	赤平	15	42	オカバルシ川	オカバルシ	6
19	"	空知大橋	14	43	南の沢川	南の沢	3
20	夕張川	円山	8	44	下北の沢川	下北の沢	2
21	"	清幌橋	7	45	真駒内川	真駒内常磐	3
22	旧美唄川	大豊橋	5	46	中の沢川	中の沢	4
23	幾春別川	藤松	5	47	麓舞川	麓舞	5
24	西川向	西川向	9	48	盤の沢川	盤の沢川	2
合計			418				

3. 検討結果

(1) 河床形状による測線設定

河床形状（おわん型、皿型、複断面型、偏おわん型）から1箇所ずつ、及び皿型は傾向の異なる河川から2箇所、合計5箇所を出し、観測流量と1測線、2測線、3測線の流量を比較した。図-5のおわん型河床の雨竜川多度志では、中央1測線は過大になるが、左右岸2測線では-10%をやや下回る。左岸・中央・右岸の3測線では概ね±10%以内であった。図-6の皿型河床の空知川布部では、中央1測線が過小、左右岸2測線がやや+10%を超過した。左岸・中央・右岸の3測線はやや-10%を下回る傾向がみられた。図-7の皿型河床は豊平川藻岩で、中央1測線はプラスマイナスで大きく外れ、左右岸2測線もばらつきが大きい。左岸・中央・右岸の3測線はやや収束するが、流量は±10%を超過する差もみられる。皿型河床は河床が平坦で水深が浅いため、水位によって流況が変化することも考えられ、傾向も空知川、豊平川で異なる結果となった。皿型河床の場合、明瞭な流況が無い場合は、代表的な測線を設定しにくい。よって、流量精度を確保するには測線数を増やすのが良いと推察できるが、水面幅や断面積の均等割りだけでなく、出水毎の流速分布の変化を把握して測線設定する必要がある。図-8の複断面型河床の石狩川奈井江大橋では、中央1測線では過大、左右岸2測線が過小になる傾向がみられたが、左岸・中央・右岸の3測線ではほとんどが流量差±10%以内であった。図-9の偏おわん型河床の豊平川雁来では、中央1測線が過大になり、左右岸2測線は-10%を下回る場合もあるが概ね±10%以内、左岸・中央・右岸の3測線ではすべて±10%以内であった。

これより、測線設定が最も容易なのは、おわん型河床、偏おわん型河床で2測線、3測線でも概ね±10%程度の精度を確保しやすい。ついで、複断面型河床で、測線設定は3測線必要で流量差は±10%程度になった。皿型河床は最低でも3測線以上の測線設定が必要と考えられるが、流量差は±10%を超過するばらつきもみられた。

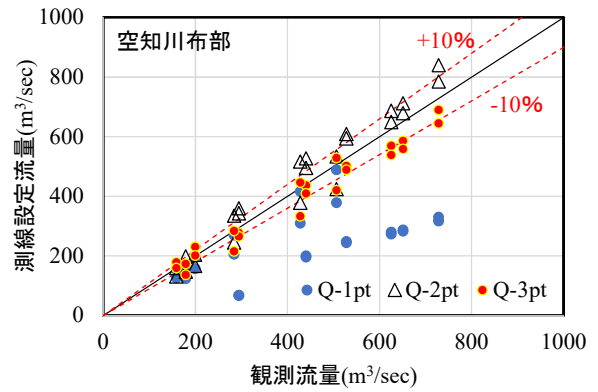


図-6 測線設定流量比較（河床形状：皿型）

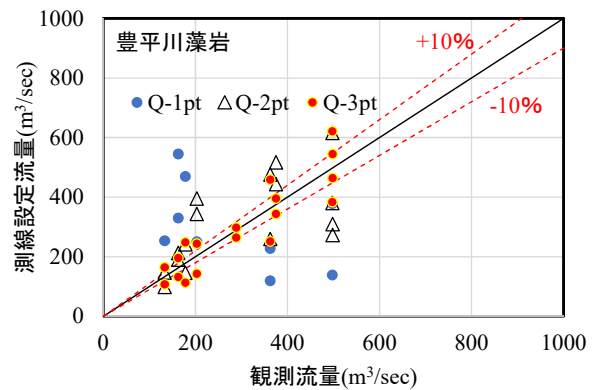


図-7 測線設定流量比較（河床形状：皿型）

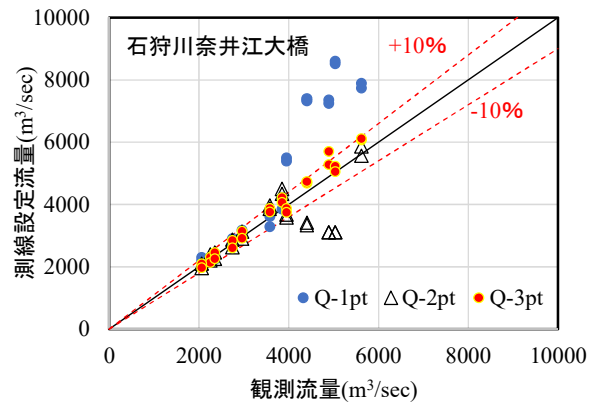


図-8 測線設定流量比較（河床形状：複断面型）

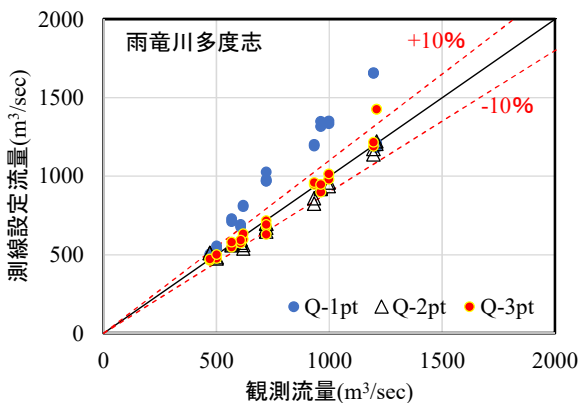


図-5 測線設定流量比較（河床形状：おわん型）

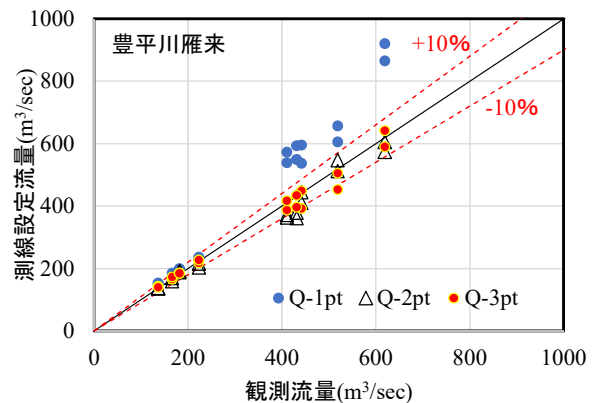


図-9 測線設定流量比較（河床形状：偏おわん型）

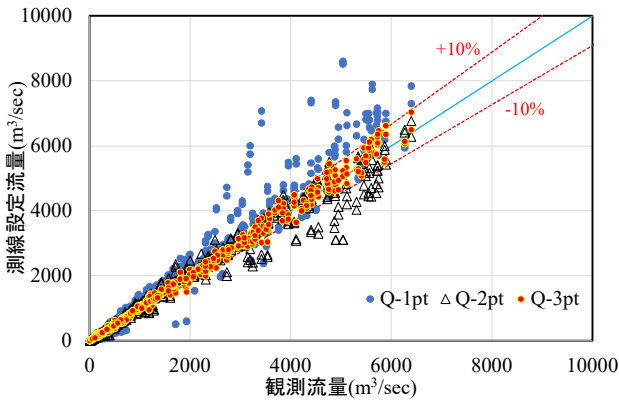


図-10 測線設定流量比較 (全データ)

対象48観測所の全データによる流量比較を図-10に示す。ただし測線設定は水面幅、断面積に応じて、均等分割した測線配置としており、同じ観測所でも水面幅によって測線位置を変更している場合がある。図-10に示す結果は、中央1測線は流量が大きくなるほど観測流量よりも過大な流量になる傾向がみられた。逆に、左右岸2測線は過小になる傾向がみられた。一方で、左岸・中央・右岸3測線は、ほとんどが±10%前後に収まる傾向がみられた。

これより、左岸・中央・右岸の3測線を適切に選定できれば、流量規模に関わらず緊急法での浮子観測流量と同レベルの流量精度が確保できる可能性があることが示唆される。

(2) 小規模河川の測線設定

小規模河川や砂防河川等、水面幅 50m未満の場合は緊急法で左岸・中央・右岸の3測線で観測が行われている。対象となる観測所を表-3の全48箇所から、表-4に示す20観測所、全112データを抽出した。

ここでは、断面の中央1測線のみで流量を算出した場合との流量差を表-4、比較散布図を図-11に示す。夕張川清幌橋は流量が600m³/sec以上になるが、水面幅が50m未満のため、緊急法3測線で観測されている。中央1測線での流量はやや大きめに算出するが流量差概ね10%前後に収まっている。厚別川厚別も流量が150m³/sec程度になるが、流量差は10%以内となる。一方で、240m³/sec以上になる幾春別川西川向、150m³/sec程度になる当別川当別川下では、中央1測線では20%程度多くなる傾向がみられるなど、観測所によって差異が発生している。

しかしながら、図-12のように40m³/sec以下の流量を抽出した場合は、中央1測線の流量と観測流量が概ね±10%以内で合致する傾向がみられた。流量40m³/sec以下の小規模河川では、河床形状が平坦で水深の浅い皿型

表-4 小規模河川一覧 (中央1測線での流量比較)

No.	河川名	観測所名	流量差
1	夕張川	清幌橋	9%
2	幾春別川	藤松	4%
3	幾春別川	西川向	21%
4	当別川	当別川下	17%
5	輪厚川	輪厚	22%
6	漁川	日の出橋	18%
7	島松川	下島松	17%
8	峻淵川	峻淵	19%
9	望月寒川	望月寒	26%
10	厚別川	厚別	9%
11	薄別川	薄別	13%
12	オカバルシ川	オカバルシ	5%
13	下北の沢川	下北の沢	10%
14	白井川	白井	16%
15	中の沢川	中の沢	-3%
16	白水川	白水橋	14%
17	盤の沢川	盤の沢川	8%
18	真駒内川	真駒内常磐	8%
19	簾舞川	簾舞	15%
20	南の沢	南の沢	6%

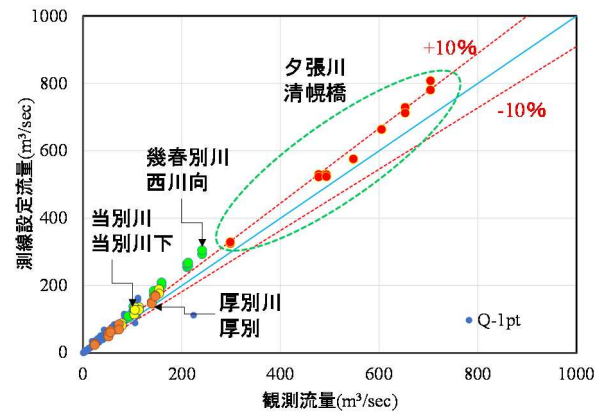


図-11 測線設定 (小規模河川)

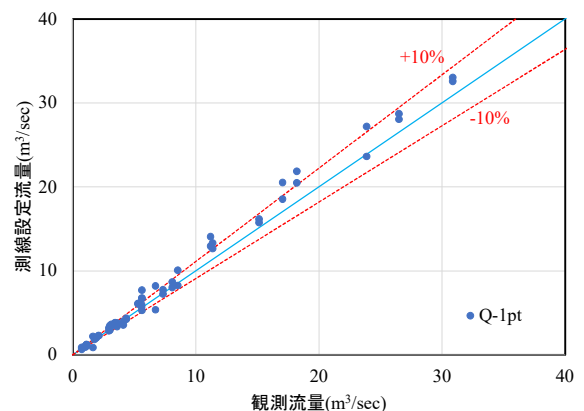


図-12 測線設定 (40m³/sec以下の抽出)

の場合が多い。水面幅の広い皿型河床は、図-6、図-7のように、測線設定流量にばらつきがみられたが、川幅の狭い河川では、横断方向の流速分布が様になりやすいため、代表的な測線を設定しやすいと推察される。

4. 次世代型流量観測への適用性

(1) 測線固定による高水流量の検証

次世代型流量観測の非接触機器を橋梁に固定設置で観測を行う場合、水面幅によって測線を切り替えることは現時点ではできない。よって測線を固定した場合でも水位によらず、高水流量の精度確保ができるかを検証する必要がある。検討箇所は、高水敷や水面幅が広く、次世代型非接触機器である画像カメラの堤防上からの観測が難しいと推察される石狩川本川下流とした。この場合、橋梁に電波流速計を配置することを想定して測線設定を行った。表-5に固定した測線を示し、図-13～図-17に観測流量との比較を示す。いずれも平成28年と平成30年の最大流量時の水面幅を基準として、左岸・中央・右岸の3測線設定した。

(2) 測線固定による高水流量の適用性

図-13の石狩川納内では、 $1500\text{m}^3/\text{sec}$ 以上は設定した3測線で観測ができるが、 $1500\text{m}^3/\text{sec}$ 以下では水面幅が狭くなるため2測線だけが対象となる。しかしながら、結果はいずれも流量差 $\pm 10\%$ 以内となり、3測線を固定しても中規模から大規模出水までの高水適用が可能であった。図-14の石狩川奈井江大橋も同様に、水面幅が広がる $5000\text{m}^3/\text{sec}$ 以上は、3測線で観測可能だが、それ以下では、1測線は陸上となり、2測線しか観測できなかった。しかしながら結果は、流量差が概ね $\pm 10\%$ 以内となり、中規模出水も対応可能なことがわかった。図-15の石狩川月形はすべて3測線であり、いずれも流量差 $\pm 10\%$ 以内であった。図-16の石狩川岩見沢大橋は、流量が $4000\text{m}^3/\text{sec}$ 以上で3測線すべてが観測可能だが、それ以下では2測線が水面、1測線は陸上となった。しかしながら、3測線、2測線問わずすべて流量差 $\pm 10\%$ 以内となった。図-17の石狩川石狩大橋は $3000\text{m}^3/\text{sec}$ 以上の中規模出水（高水敷冠水程度）からはすべて3測線で対応でき、流量差もすべて $\pm 10\%$ 以内となった。

以上より、水面幅が広い石狩川下流では、大規模出水を基準とした固定測線を設定すると、水面幅が小さい中規模出水では2測線しか観測できなくなる可能性があるが、今回のような測線設定を行うことで、流量精度は $\pm 10\%$ 程度を確保できると考えられる。

表-5 測線固定一覧

No.	河川名	観測所名	測線距離(m)			河床形状
			左岸	中央	右岸	
1	石狩川	納内	25	70	120	複断面型
2	石狩川	奈井江大橋	60	200	420	複断面型
3	石狩川	月形	70	160	210	複断面型
4	石狩川	岩見沢大橋	60	150	240	複断面型
5	石狩川	石狩大橋	90	250	370	偏おわん型

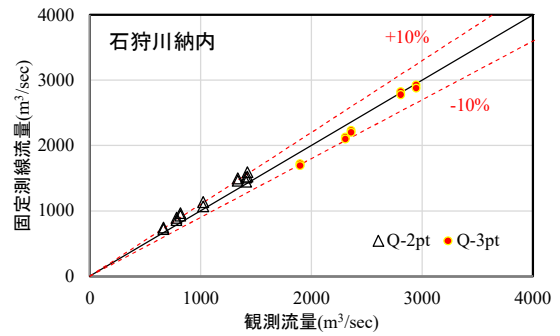


図-13 固定測線流量比較（石狩川納内）

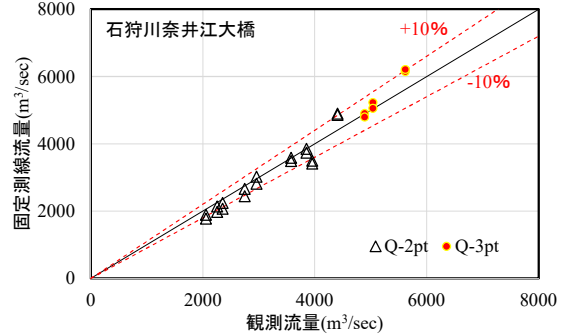


図-14 固定測線流量比較（石狩川奈井江大橋）

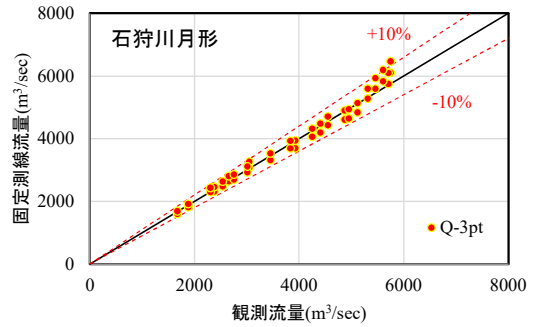


図-15 固定測線流量比較（石狩川月形）

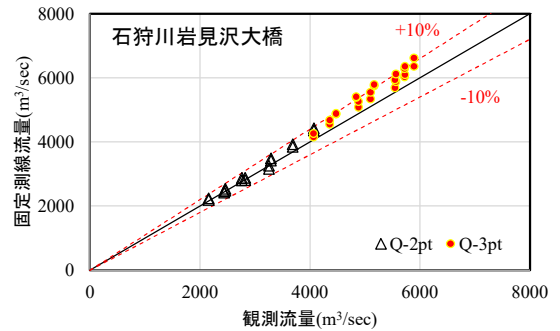


図-16 固定測線流量比較（石狩川岩見沢大橋）

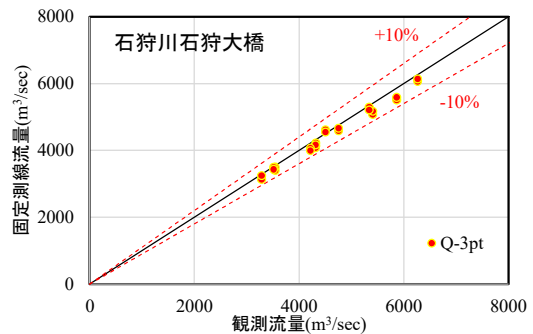


図-17 固定測線流量比較（石狩川石狩大橋）

5. 考察

(1) 測線設定の現行基準の考え方

流量観測における測線数は、大正7年8月の水力調査規定（公達第707号）がはじめて流速測線間隔について規定を設けている⁹⁾。ここでは、水深は2m、流速は4m以内としており、この時は低水を対象として、川幅の狭い上流河川に限定していた。その後、昭和26年の水理調査基準要項で、低水流量観測の場合は、流量誤差を10%以内にするため、流速測線間隔を川幅の10~15%以内とすることを規定している。高水流量観測については流況が刻々と変わるため、流量の精度を論ずることが難しく、浮子測線間隔は大まかな規定しか作られなかった。このように、既存文献からは、現在の測線数設定について明確な根拠資料は見つかっていないが、現行の水面幅100mで10測線等は、水理調査基準要項の規定の流速測線間隔10~15%と概ね合致することから、明確な水理学的な研究から出てきたものではなく、上記の流れで設定されたものと推察できる。

(2) 測線設定と水理学的考察の必要性

本研究では、観測流量を用いた感度分析によって、測線数を左岸・中央・右岸の3測線にすることで省力化した流量の有効性を示した。しかし、これはあくまでも統計的なアプローチであり、水理学的な検証ではない。鈴木ら³⁾は、運動方程式をベースとしたDIEX法を用いて、流心1測線から算出した流量が観測値と合致し、ポイントとなる計測値を実測しておけば、計測値が少なくても、運動方程式に基づく内外挿で観測流量に近づくことが実河川でも可能であることを示している。今後、適切な測線を選定できれば測線の簡略化は十分可能と評価するためにも、水理学的な根拠付けを加えて整理していく必要があるだろう。

(3) 測線設定の課題

大規模な河床変動によって滞筋の変化が発生するような場合は、流速分布や河道内の断面積の変化により、測線設定が成り立たなくなる場合がある。現在の電波流速計等は橋上に設置すると測線を動かすことはできないが、雲台方式で電波ヘッドが稼働する電波流速計も開発されており、今後の観測機器の進化に期待できる。一方で、高水流量観測の課題として、出水中の断面計測ができないことがあげられる。現行法の浮子や非接触機器では河床高を計測できないため、出水前後の横断測量結果を用いて断面算出を行っている。河床の変化をリアルタイムで計測するには、ADCPや音響測深器等で代表点の河床高を時系列で測定することは可能だが、水中への設置になることや、1点での計測値でしかない。横断形状の測定であればマルチビーム・エコーサウンダー等の活用も考えられるが、今のところ水中設置用の仕様にはなっ

ていない。そのため、今後、出水中の水面波や表面流速等の水面情報から断面計測を可能とする研究が期待される。

(4) 今後の展開に向けて

次世代型流量観測の整備に向けて、測線固定で観測測線を簡略化しても、必要な観測精度を確保することができれば、効率的な観測機器の設置や費用面で大きなメリットである。今後も、管内の設置候補地点での測線配置に活用し、効率的な施設整備を行ない検証を進めていきたい。

6. まとめ

- ・ 高水流量観測の測線数は、管内全48箇所、左岸、中央、右岸の3測線で算出した流量が、河床形状や水面幅に関わらず、流量差10%前後と概ね一致した流量となった。
- ・ 水面幅50m以下の小規模河川20箇所では、観測所によってばらつきがあるが、40m³/sec以下では中央1測線でも一致する傾向がみられた。
- ・ 河床形状では、おわん型や偏おわん型で測線簡略化が容易だが、水面幅のある皿型は、代表的な測線設定が困難なため不安定であった。
- ・ 次世代型機器の固定設置を想定して、3測線固定した場合は、水面幅の変化で2測線になっても観測流量との流量差が±10%程度であった。
- ・ 大規模な河床変動によって滞筋の変化が発生するような場合は、河道内の断面積の変化により、測線設定が成り立たなくなる場合がある。
- ・ 高水敷幅や水面幅が広い石狩川下流では、次世代型流量観測の整備に向けて、測線固定で観測測線の簡略化しても、必要な観測精度を確保することができれば、効率的な観測機器の設置や費用面で大きなメリットである。今後、効率的な施設整備を行い、検証を進めていきたい。

参考文献

- 1) 全日本建設技術協会：水文観測 平成14年度版，第4回改訂版，2002.
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局：河川砂防技術基準（調査編），平成26年4月改訂，2018.
- 3) 鈴木応徳・高橋賢司・白田峻曹：高水流量観測における測線設定について—観測の省力化に向けた精度検証—，第64回北海道開発技術研究発表会論文，2020.
- 4) 菊地亮介・高橋賢司・白田峻曹：設置型カメラによる流量観測無人化—画像処理型流量による水文統計資料の整合性評価—，第64回北海道開発技術研究発表会論文，2020.
- 5) 竹内俊雄：流量調査の歴史（1），水利科学，98号，pp.16-48，1974.