

4・5 堰等による流量観測

流れをせき止めて、その上を越流させる構造物を堰という。堰が常流から射流に遷移する流れを発生させるとき、支配断面が形成される。支配断面では、1対1の水位－流量関係が成り立ち、越流水深から流量を算出できる。この越流水深と流量の関係を堰公式という。堰下流の水位が高い流れでは限界水深を生じない場合がある。このような場合、上・下流2地点の水位差とその区間の摩擦損失等を考慮した流量推定式が必要になる。

堰に類似した流量測定の方法に「限界流フリユーム」による方法がある。これは水路底部に突起を設けたり水路幅を狭くすることにより限界水深を発生させるものである。この観測原理は堰と同じなので、本節では限界流フリユームによる観測も含めて堰による流量観測として扱う。

ダムや水門等の構造物を通過する流れも堰と同様に支配断面を形成するか、流れを拘束して水位－流量の関係を単純化する。この場合にも水位（水位差も含めて）、水門の開度、等から流量を算出する関係式を作成して流量が算出される。こ

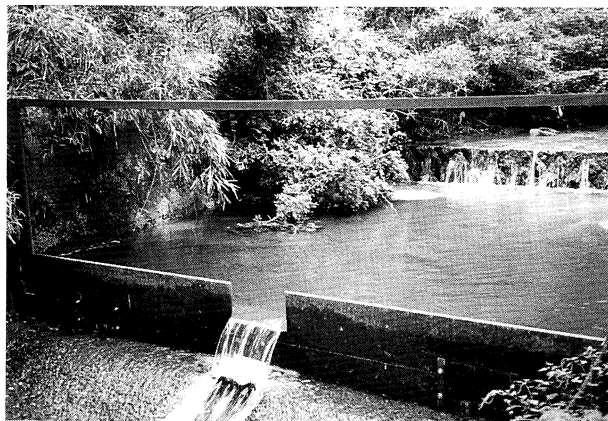


写真4・5・1 堰による流量観測所
(独立行政法人土木研究所 裏筑波流出試験地 山口川観測所)

の関係式は通常、水理実験によって作成される。これらの構造物は本来、流量を観測する目的で設置されているものでないので、流量観測の手段に位置付けることはできない。しかし、これらの構造物を通過する流量を算出することが行われているので、ダムや水門等の通過流量を算出するのに現在使用されている方法も本節にあわせて記述した。

解 説

- ① 堰は常流から射流に遷移する流れを発生させ、堰頂で支配断面を形成する。支配断面では、粗度や上下流の水位等の周辺のいかなる流れの条件の影響を受けない1対1の水位－流量関係が成り立つ。接近流速を無視できる堰上流側の水位と堰頂位置の差を越流水深と言い、越流水深と流量の関係を表す堰公式から流量を算出する。堰公式は、堰の形状がJIS等の規格に合致していれば、その規格に対する公式を用い、規格外であれば実験を行い堰公式を作成する。
- ② 下流水位が高くなり、限界水深が発生しないもぐり堰の状態になると堰公式は成り立たなくなる。もぐり堰での流量は、上流水位のみ関数ではなく、下流水位にも依存するため、上流及び下流の水位を測定する必要がある。加えて、もぐり堰付近での摩擦損失や圧力分布は堰の形状や流れの状況により大きく変化するので、状況に合った公式を用いるか水理実験により流量係数を調べて実験式を作成する。
- ③ 限界流フリユームによる方法は、堰と比較して落差をあまりとらないで測定できること、流送土砂の影響が少ないなどの特徴がある。
- ④ ダムからの放流量やダムへの流入量、水門からの流出量も同様な手法で算定されている。水門を通るもぐり流出（開口部が水没している状態での流出）は、上下流の水位差の関数として表されるが、もぐり堰と同様に構造物の影響や流れの状況の影響を大きく受け、結果として流量係数が変化する。

4・5・1 堰、限界流フリユーム等の種類

堰は、その形状から、刃型堰、広頂堰、越流頂に分類される。限界流フリユームには、ベンチュリー・フリユーム、パーシャル・フリユーム等がある。これら以外にダム等のゲートやバルブ、河道を横断して設けられる水門等がある。

解 説

① 刃形堰

図4・5・1に示す刃形堰は鋭縁堰とも呼ばれ、堰の断面が刃型である堰である。刃型堰からのナップ（堰から越流する水脈）は堰板に接しない。刃型堰はさらに越流部の断面形状によって全幅堰、三角堰、四角堰、合成堰に分類される。設置が容易な人工水路や小河川に適し、適切な維持管理がなされれば観測精度は高い。

② 広頂堰

堰の頂部が長い堰を広頂堰と呼ぶ（図4・5・2）。支配断面は長い堰頂のどこかに位置する。広頂堰は、河川での取水堰に設置される例が多い。小河川あるいは人工水路等では、既設の砂防ダムや落差工等を用いて、同様に観測する場合もある。

③ 越流頂

越流頂は、ダムの余水吐等に用いられる放物線に近い形をした図4・5・3のような構造である。その形状は

(a) 自由越流時になるべく大きな流量係数を得る（与えられた水深で大きな流量を流す）

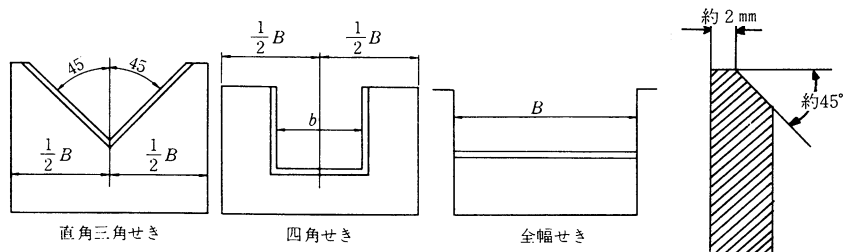


図4・5・1 刃型堰の形状

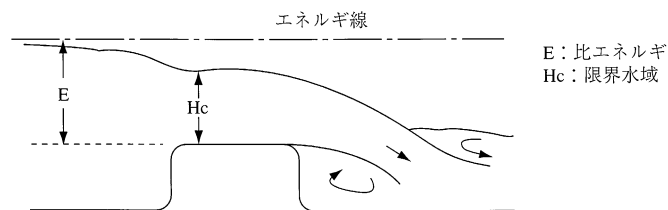


図4・5・2 広頂堰の形状

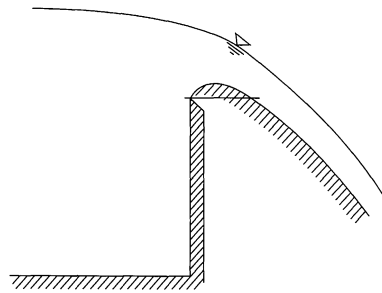


図 4・5・3 越流頂の形状

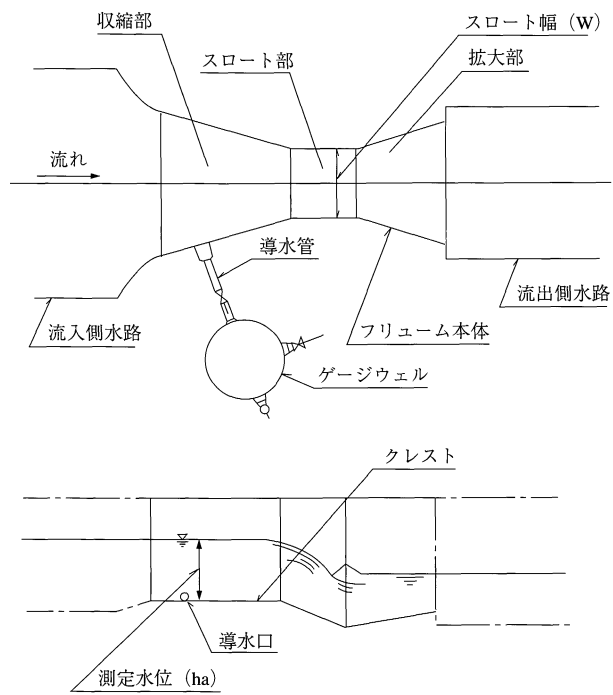


図 4・5・4 パーシャル・フリユームの形状

(b) 越流面に危険なキャビテーション（負圧）を発生させないよう設計される。その断面形状を越流させるべき洪水流量に対応して自由ナップの下側曲線に一致させるので、ナップ形堰とも呼ばれる。

④ 限界流フリユーム

限界流フリユームは、水路底部に突起を設けたり水路幅を狭くすることにより限界水深を発生させる施設で、ベンチュリー・フリユームとパーシャル・フリユーム（図4・5・4）がある。限界流フリユームは、流送土砂が多い場合や十分な落差を確保できない場合に適している。

(a) ベンチュリー・フリユームは、矩形断面水路の途中に狭窄部を設けて支配断面を発生させる施設である。

(b) パーシャル・フリユームは、側壁の狭窄に加えて底面も高くし、射流に移行しやすくした施設である。

4・5・2 堰による流量観測

堰および限界流フリユームによる流量観測はほぼ類似であるので、ここでは主に堰による流量観測を記述し、限界流フリユームについては特に必要とされる事項のみ記述する。

(1) 観測所の位置選定

実際の河道において堰を設置する場合には、「4・2・2 観測所の位置選定」に従い次のような場所を選定する。

- ① 一様な断面形状の水路が一定の長さ続くところ。あるいは、人工水路を構築できるところ。
- ② 水路あるいは河川の幅がそれほど大きくないところ。数メートル以上の川幅では構造物にかかる大きな圧力に耐える大きな構造物が必要になり、経済的あるいは維持・管理上問題となることがある。また、刃型堰のような流れを横断する構造物が河川、水路に存在すること自体が管理上問題を生じることもある。
- ③ 完全越流できるような適当な落差を確保でき、勾配が小さなおとろ。
- ④ 堰による上流側の水位上昇があっても、堰上流区間での浸水や堤防漏水等の問題を生じないところ。
- ⑤ 下流の水位の上昇によって堰がもぐり状態になる可能性のないところ。

解 説

上記の選定条件とともに次の事項についても検討する必要がある。

- ① 堰を設置するサイトの地盤の漏水の有無、及びそれに伴う遮水矢板、グラウティング等の遮水工法の必要性の検討。
- ② 洪水時に氾濫が生じないために堤防が必要かどうかの検討。
- ③ 堤防の安定性、立木等の伐採、護岸の必要性。
- ④ 取つけ水路底部から岩や玉石の除去。
- ⑤ ゴミ、土砂・流木等が観測データの精度に大きく影響するため、これらの影響を除去するための対策の検討。

(2) 観測施設

堰による観測施設は、堰本体、上流取付け水路、下流側水路及び水位観測施設よりなる。上流取付け水路上に沈砂池、土砂止め工を設けるとともに、必要に応じて下流側水路に河床保護工を設ける。これらの施設が設置可能な地点を選定する必要がある。

限界流フリユームによる方法においてはフリユーム本体及び水位観測施設よりなる。

① 堰 本 体

堰あるいは限界流フリユームの本体部分は、観測が必要な流量の範囲を考慮して、設置場所に適合する形状、寸法のものを選択する。

解 説

- ① 堰により流量観測を行うには、次のような点に注意する必要がある。
 - (a) 堰は、構造的・材質的に十分堅固であり、洪水時の水圧、土石や流木等の衝撃によって変形・破壊されないこと。
 - (b) 堰あるいはその周囲から漏水を生じないこと。
 - (c) 堰頂は、水平かつ流心に直角であること。
 - (d) 計測する流量範囲でもぐり堰の状態にならないこと。
 - (e) 貯水池内の土砂・流木・ゴミ等の流入防止及び排除対策を講じること。
- ② 刃形堰設置の留意点
刃形堰を設置する場合、次の事項に注意する。
 - (a) 四角堰の場合、切欠き開口幅は、最大越流水深の3倍以上を確保する。

- (b) 越流水深は、10cm～1.0mとし、水路の水深との比は公式の適用条件を満たすようにする。
 - (c) 完全越流するように落差を十分確保する。
 - (d) 堰の刃型部の形状は図4・5・1に示す形状とする。ナップが堰本体と接してナップの形状が不安定にならないように、この内縁の角は鋭くする。材質は腐食に耐えるステンレスや真鍮を用いる。
 - (e) 四角堰や全幅堰で平常時の流量に対応する越流深が小さくナップの形状が不安定になる場合には、三角堰を用いる。
 - (f) 低水時と高水時の流量変化が大きく、小流量も精度良く観測したい場合には、四角堰あるいは全幅堰に小さな低水流量観測用の切欠きをつけた合成堰を用いる（写真4・5・1、参照）。
 - (g) 切欠き部は左右対称とし、かつ水路の中心線に位置させるものとする。
 - (h) 貯水池内の排砂対策として、堰本体に排砂口等を設ける。
- ③ 広頂堰設置の留意点
- 既設の堰等を用いて流量観測を行う場合、次の事項に注意する。
- (a) 堰頂が、流心に直角かつ水平で、幅方向に一様に越流すること。
 - (b) 越流部の表面は、なめらかであること。もし、なめらかでない場合は、モルタルあるいは非溶解性の塗料等を用いなめらかにする。
- ④ 限界流フリウム設置の留意点
- 限界流フリウム法は、流送土砂が多い場合や十分な落差を確保できない場合に適している。フリウムの大きさ、形状により観測できる流量の範囲が限定されるので、適切なものを選択する。（パーシャル・フリウムはJIS B7553及びISO 9826に規定されている。）
- 施工にあたっては特に側壁面、底面をなめらかに仕上げるように留意する。

② 沈砂池及び土砂止め工

取付け水路の上流に、沈砂池、または土砂止め工を設ける。

解 説

- ① 堰による流量観測では、土砂の堆積により堰の貯留容量が減少すると、貯水池内の接近流速水頭が大きくなり、精度に影響する。沈砂池や土砂止め工は、堰の貯留容量及び水深を確保するため、堰の貯水池への土砂流入を防ぐことを目的として設けられるものである。
- ② 沈砂地は上流取付け水路の上流端の河床に土砂留め用の容量を確保するもので、流速を急激に減じて土砂を沈降させる役目をもつ。
- ③ 土砂止め工は、上流取付け水路のさらに上流河道に小型の砂防ダムを設け、ここに土砂を堆積させるものである。

- ④ 沈砂池の容量は、沈砂池の貯留効果による遅れが大きく影響しない程度のもので、排砂しやすい場所に設ける。土砂止め工の容量は、1年程度の土砂をためる容量をもつ必要がある。場合によっては沈砂池と土砂止め工を併設する。

③ 上流取付け水路

上流取付け水路は、堰により貯水池となる。この貯水池は堰への接近流速を減じるために設ける。

解 説

- ① 取付け水路の貯水池は、接近流速水頭を無視し得る程度に流速を遅くする役割と貯水位を平穏にし観測しやすくする役割をもつ。
- ② 堰による水位上昇の影響を考慮し、計画流量であっても河道内で安全に処理できるものでなければならない。必要に応じて堤防の強補を行ったり護岸工を設ける。

④ 下流側水路及び河床保護工

下流側水路は、堰本体及び下流水路に悪影響を与えないように、越流水を安全に流下させるため設ける。

必要に応じて河床保護工を設ける。

解 説

下流側水路及び河床保護工は、越流した流水によって下流河床が洗掘されるのを防止し、かつ、堰本体の構造の安定を図ることを目的として設置される。

その設計・施工にあたっては次の事項に留意する。

- ① 下流側水路は、洪水時においても堰からの完全越流が確保されるように、十分な断面積を有するようにする。
- ② 越流水の流速が速くて河床が洗掘され、堰本体及び下流の堤防や護岸に悪影響が及ぶ恐れのある場合には、河床保護のため減勢工を設ける。落差が大きい場合には、ダム・砂防ダムの減勢工に準ずる。落差が小さいときは、コンクリート水叩・ブロック・ふとんかご等を用いる。

⑤ 水位観測施設

水位観測施設として、水位標及び水位計を設ける。

解 説

- ① 水位観測施設は、第3章水位観測に準ずる。
- ② 堰の水位観測は、堰の越流水深を測定するために行うものであり、接近流速によるエネルギー損失の影響を防ぐため、水位標や水位計はこの影響が無視できる位置（ひとつの目安として、予想される最大水深の2～3倍堰から上流側に離れたところ）に離して設置しなければならない。
- ③ 水位標は、最大流量時の越流水深が読みとれるよう余裕をもって設置する。
- ④ 水位計の設置上の留意事項は3・4 観測施設を参照されたい。

(3) 観測方法

堰による流量観測は越流水深の観測と堰公式による流量計算からなる。越流水深は水位観測で求められるので、第3章水位観測と同様である。

解 説

観測方法は、河川の水位観測と同様である。ただし、水位を観測する場所が貯水面をもつ水路であるため、水位振動の影響を除去することが必要となる。

(4) 維持管理

堰による観測の条件を常に良好に保つためには、定期的あるいは洪水の前後に次の事項に注意し、点検・管理を行う。

- ① 土砂の堆積
- ② 流木・ゴミ
- ③ 刃形部の状況

解 説

- ① 土砂の堆積
貯水池内に堆砂を生ずると貯水地内の流速が大きくなり、接近流速水頭を無視できなくなる。これに伴い、検定した越流水深と流量の関係が成立しなくなり、流量観測精度が悪化してしまう。このため、貯水地内、沈砂池、土砂止め工の排砂を行い、観測条件を常に良好に保つことが必要である。
- ② 流木・ゴミ
堰に流木やゴミ等が引っかかると越流水深－流量の関係が変化するので、流入を防ぐことが重要である。流木やゴミ等が多いところでは、沈砂池や土砂止め工の地点に金網等でゴミよけを設けておく。

③ 刃形部の状況

刃形部が変形すると越流条件が変化して越流水深と流量の関係の変化につながる。刃形部が変形した場合には成形しなおす。完全に成形しなおすことができない場合には、新しいものと交換する。

(5) 観測資料の整理と堰公式

堰による流量観測の資料整理には、水位観測資料の整理と流量計算がある。水位観測資料については、第3章水位観測を参照されたい。流量計算は堰の公式を用いて越流水深を流量値に変換する。

堰の公式に用いられる流量係数を求める方法として、次の方法がある。

- ① 相似則を用い模型実験から求める方法
- ② 堰に関する公式を適用する方法

堰に関する従来提案されている代表的公式を整理したのが、表4・5・1である。

解 説

堰形状、適用範囲が、各公式の適用条件を満たすものであれば、これらの公式をそのまま用いることができる。そうでない場合には、模型実験を行い越流水深と流量の関係式を求める必要がある。また、現地に設置した後にも、定期的に流量観測（精密測定）を行い、堰公式の検定を行うのが望ましい。小流量であれば越流をせき止め、ある時間内の水位上昇量から流量を求めることもできる。

表4・5・1に示した公式のうち、従来からよく用いられてきた全幅堰、四角堰、直角三角形堰について、公式を紹介する。

① 全幅堰

石原・井田の式

$$Q = CBh^{3/2}$$

$$C = 1.785 + \left(\frac{0.00295}{h} + 0.237 \frac{h}{D} \right) (1 + \varepsilon)$$

ここに、 Q ：越流量 (m^3/sec)、 B ：せきの幅 (m)、 h ：越流水深 (m)、 C ：流量係数、 D ：水路底面より堰下縁までの高さ (m)、 ε ：補正項で $D \leq 1m$ のとき $\varepsilon = 0$ 、 $D > 1m$ のとき $\varepsilon = 0.55(D-1)$

適用範囲は、 $B \geq 0.5m$ 、 $0.3m \leq D \leq 2.5m$ 、 $0.03m \leq h \leq 0.8m$ (ただし、 $h \leq D$ で、かつ $h \leq B/4$) である。この範囲における本式の総合誤差は $\pm 1.8\%$ であるが、 $D > 2m$ かつ $h < 0.06m$ および $h \geq 0.5m$ の範囲では最大推定誤差は $\pm 5\%$ 以上に達する。

表4・5・1 堰公式一覧

堰	種別	公式	規格	備考
刃形堰	全幅堰	石原・井田の式	JIS8302	全幅に対する修正Rehbockの式
	四角堰	板谷・手島の式	JIS8302	修正Rehbockの式
		Kindsuater-Carterの式	ISO1435	
	直角三角形	沼知・黒川・淵沢の式	JIS8302	
三角堰		ISO1438		
広頂堰	長方形の断面の堰		ISO3843	完全越流の場合
	上流端に丸みのついた堰		ISO4361	
クランプ堰			ISO4360	完全越流の場合
			ISO4360	もぐり状態の場合
越流頂	ナツプ形堰	岩崎の式		自由越流の場合
		石井・藤本の式		橋脚がある場合
限界流 フリユーム法	製方形断面		ISO4359	
	パーシャル・フリユーム		JISB7553	最大流量3.95m ³ /sまで12種類
			ISO4359	最大流量93.04m ³ /sまで22種類

② 四角せき

板谷・手島の式

$$Q = CBh^{3/2}$$

$$C = 1.785 + \frac{0.00295}{h} + 0.237 \frac{h}{D} - 0.428 \sqrt{\frac{(B-d)h}{BD}} + 0.034 \sqrt{\frac{B}{D}}$$

ここに、Q：越流量 (m³/sec)，b：切欠きの幅 (m)，h：越流水深 (m)，

C：流量係数

適用範囲は、0.5m ≤ B ≤ 6.3m，0.15m ≤ b ≤ 5m，0.15m ≤ D ≤ 3.5m，

bD/B² ≥ 0.06，0.03m ≤ h ≤ 0.45√b mである。

この範囲における本式の予想誤差は±1.4%である。

③ 直角三角せき

沼知・黒川・淵沢の式

$$Q = Ch^{3/2}$$

$$C = 1.354 + \frac{0.004}{h} + \left(0.14 + \frac{0.2}{D}\right) \left(\frac{h}{B} - 0.09\right)^2$$

ここに、 Q ：流量 (m^3/sec)、 h ：越流水深 (m)、 C ：流量係数、 D ：水路底部から切欠き下線までの高さ (m)、 B ：水路幅 (m)

この式は切欠き面積にくらべて水路断面積が十分大きくない場合について得られたもので、適用範囲は、 $0.5m \leq B \leq 1.2m$ 、 $0.1m \leq D \leq 0.75m$ 、 $0.07m \leq h \leq 0.26m$ (ただし $h \leq B/3$) である。 $B > 1.2m$ 、 $D < 0.75m$ の場合には、 $0.07m \leq h \leq h'$ で h' が次に示す h_1' または h_2' のうち小さいほうを取り、その範囲での h に対して本式が適用される。

$$h_1' = (B - 0.24) / 4, \quad h_2' = D / 3$$

本式の適用範囲における流量算定の予想誤差は±1.4%である。

4・5・3 ダム放流量、流入量の算出

ダムからの放流量は貯水位及び流量調節ゲート開度から、流入量は貯水位変化と放流量から算定する。いずれも貯水池の水位観測が基本となる。

(1) 貯水池の水位観測

貯水池の水位は、ダム堤体の上流側等に水位計を設置して行う。貯水池の水位観測は必要なバックアップ機能を持たせて欠測がないようにすること、いろいろな周期の波の影響をできるだけ除去できる観測施設を設置し、必要なデータ処理を行うことが必要となる。

解 説

① 水位計設置条件

水位計設置にあたっては以下の条件を満たすようにする。

- ・水位計の計測範囲は、放流施設敷高からダム天端までとする。
- ・放流による水面移動、風による波浪、流木、ゴミの影響が少ない位置とする。
- ・水位計は一般に、ダム堤体に観測井筒が設置できるコンクリートダムではフロート式を使用する。ダム堤体の構造上、観測井筒が設置できない場合やフィルダムでは、水圧式、超音波式等を用いる。

② 波の影響の除去

- (a) 貯水池では風波浪等による水位変動が生じるため、観測井筒はこの影響

を除去する構造にする。

- ・フロート式水位計用の観測井筒は、直径0.6～1 m程度の管が用いられる。これに対する導水孔断面を1/400～1/500とし、2～3箇所の導水孔に分割して設ける。

- ・図4・5・5は、導水孔断面積と井筒断面積との比 F/A 及び湖面振動周期 T に対する井筒内における水位変動 H_2 の湖面の水位変動 H_1 に対する比を示した図である（ここでは $H_1 = 10\text{cm}$ とした）。導水孔の大きさは一般的に観測井筒径の5%（ $F/A = 1/400$ ）が多く採用されており、貯水池振動周期10秒以下の短周期変動に有効である。

減衰された短周期の変動をさらに除去するために、一般的には2秒間隔データ30個の計測貯水位の平均化処理を行う。

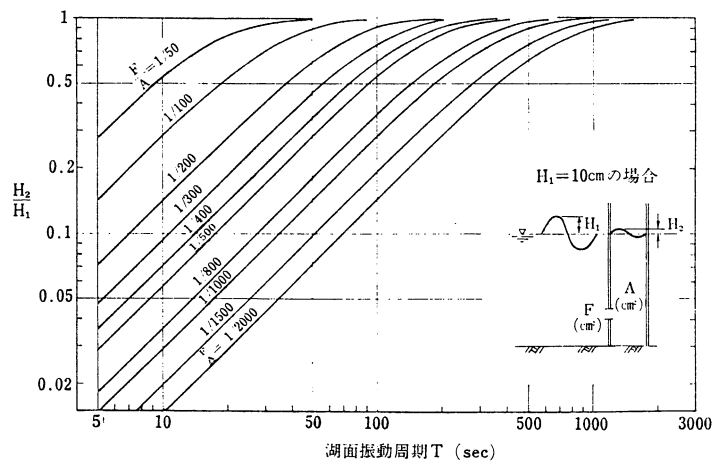


図4・5・5 水位計井筒による波浪減衰効果の例
(第27回建設省技術研究会報告, 昭和50年)

(b) ダム貯水池ではセイシュと呼ばれる数10分～数時間の長周期の波が発生し、平均的な貯水位が把握できないことがある。これを避けるため、セイシュの周期を把握し、適切な平均化を行う必要がある。概略の周期は次式により求めることができる。

$$T_c = \frac{2L}{\sqrt{gV/A}}$$

ここに, T_c : 固有周期 (秒), L : 貯水池湛水長 (m), V : 貯水容量 (m^3),
 A : 湛水面積 (m^2)

セイシュによる長周期の変動を除去する方法には, 上下流方向の複数の
 箇所の観測値を平均化する方法や貯水池の挙動のシミュレーションに基づ
 く方法がある。

(2) 貯水池からの放流量の算出

ダムからの放流量は, 貯水位及び流量調節用ゲート開度から求められる。放流
 量計算式は放流施設が越流形式か管路流形式かにより違うが, いずれも流量係数
 を水理実験により予め求めておく。

解 説

① 越流形式の場合

ダムの非常用洪水吐等に用いられる越流頂は, 流量係数が大きく, 越流面
 に危険な負圧を生じさせない刃形堰の自由越流水脈の下面曲線と一致させた
 形状の標準型越流頂が一般に用いられる。越流頂からの越流量算定公式は,
 基本的に堰の越流公式と同様で, ダムの標準型越流頂に対しては下記の岩崎
 の式が用いられる。

$$Q = CBH^{3/2}$$

$$C = 1.6 \frac{1 + 2a(H/H_d)}{1 + a(H/H_d)}$$

$$a = \frac{C_d - 1.6}{3.2 - C_d}$$

$$C_d = 2.200 - 0.416(H_d/W)^{0.990}$$

ここに, Q : 越流量越流幅 (m^3/s), H : 越流頂最高点を基準とした越流水
 深 (m), H_d : 越流頂最高点を基準とした設計水頭 (m), W : 堤高 (m), C :
 流量係数 ($m^{1/2}/s$), C_d : $H=H_d$ における流量係数

なお, 実際の越流面の縦断面形状は標準型から外れること及びダムの堤頂
 に設置される橋脚や橋台による縮流の影響を受け, 流量調節用ゲート半開時
 にはゲートの影響を受けるので, 水理模型実験による係数の確認を常に行う。

② 管路流形式の場合

ダムの洪水調節用の放流管等で流量調節用のゲートを設置する場合には,
 次式により放流量を算出する。

$$Q = C_g C_c A \sqrt{2gH}$$

ここに、 C_g ：同じ貯水位におけるゲート半開時放流量の全開時放流量に対する比、 C_c ：ゲート全開時の流量係数、 A ：吐口断面積 (m^2)、 H ：貯水位と吐口断面中心の標高差 (m)

なお、流量係数 C_c 及び流量比 C_g は、放流管の形状により異なるので、水理模型実験により決定する。

(3) 貯水池流入量の算出

貯水池への流入量は、一定時間内の水位変化から求めた貯留量変化と放流量から求める。

解 説

一般的に、ダム貯水位は2秒毎、放流量は1分毎のデータを取り、以下のように入流量を算出する。

- ① 貯水池に対する流入量が小さい場合、すなわち貯水位の変化に要する時間が長い場合には、流入量は一般的に貯水位変化に要した時間 (T 分) における貯水量の変化 (増加を正、減少を負とする) と平均全放流量の和として算出する。その際、湛水面積は一定と仮定する。
- ② 上記①の方法では、各瞬間の平均全放流量は過去 T 分間の移動平均により算出されるため、時間遅れが生じることになる。貯水池への流入量が大きき場合にはこの時間遅れが放流量制御の問題となることがある。これを軽減する方法として、過去 T 分間の全流入量の時間変化傾向を外挿し補正する方法がある。

4・5・4 水門からの流出量の算出

水平な底面の上に設置された鉛直引上型の水門からの流出は、水門からの水脈が水没する場合と水没しない場合 (自由流出あるいは完全流出) に分けられ、異なった流量公式が用いられる。

流出量を算出するためには、いずれの場合も、流量係数は水門扉の形状や上下流水位 (射流のときは上流水位のみ) に依存するので、水理実験から求める必要がある。また、いずれの場合も原則として上流の水位、下流の水位、水門の開度の観測値が必要である。

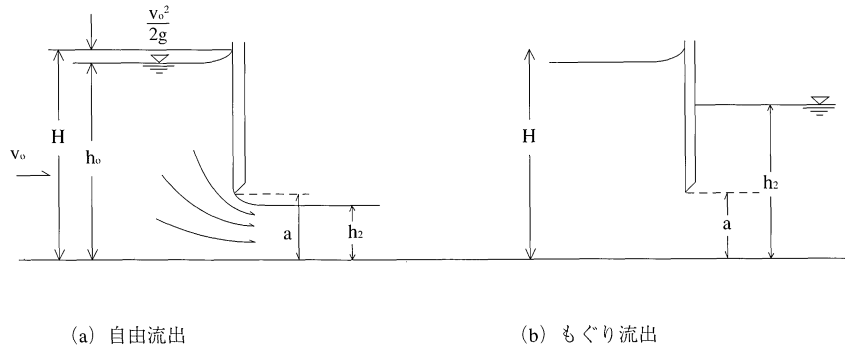


図4・5・6 水門からの流出形態

解説

- ① 水脈が水没する（もぐり流出）の場合、過去の経緯から以下の式で流量を算定するのが一般的である。

$$Q = C_1 BA \sqrt{2gh_0}$$

流出量 Q は下流の水深 h_2 に大きく依存する。この式形に下流の水深は含まれていないようにみえるが、実際はもぐり流出の流量係数 C_1 に含まれる。もぐり流出の流量係数 C_1 と下流水深/開口高さ h_2/a の関係は、例えば、図4・5・7のように与えられる。

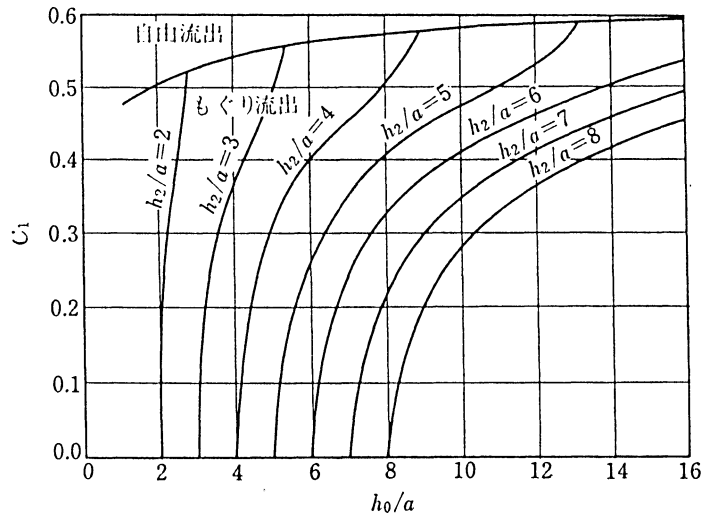


図4・5・7 流量係数 (C_1) と上流水深/開口高さ (h_0/a) の関係
(Henry, H.R. : Discussion of "Diffusion of Submerged Jet," Trans. ASCE, Vol.115, 1950)

- ② 水脈が水没しない自由流出の場合，以下の式で流出量を算定できる。

$$Q = CBA\sqrt{2g\Delta h}$$

ここで，C：流量係数，a：開口高さ，B：水門幅， Δh ：上下流の水位差，である。流量係数Cは，扉下部の形状等の影響を受けるので，水門扉の形状に応じた値を水力実験や流量観測により求める。

- ③ 刃形リップをもつ水門扉からの自由流出の場合で，水門下流の流れが図4・5・6 (b)のように水深が収縮した後に射流が形成されるとき，収縮係数は開度によるほぼ一定値をとる。このような場合，下流の水位を下式のように開口高さから求めることができる。

$$h_2 = \mu a$$

収縮係数 μ は表4・5・2のとおりである。

- ④ 底が平でない，水門の形状が特殊である等，実際の水門とその付近の諸条件が一般化された実験公式の条件と違う場合，水力実験あるいは流量観測を行い，流量係数を流れの状態（自然流出，もぐり流出の別）と開度の関数として整理することが必要である。

表4・5・2 収縮係数 (μ)

開度 a/H	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
収縮係数 μ	.611	.612	.616	.622	.633	.644	.662	.687	.722	.781

4・6 超音波流速計による流量観測

超音波流速計による流量観測では，無人で河川の横断方向の平均流速を時間的に連続して観測することができ，さらに，水位計を連動させ演算処理を行うことにより，断面測量結果から流水断面を算出し，時間的に連続した流量を求めることができるという特徴がある。

河川の中に設置する送受波装置は，流れをせき上げるような大きなものでなく，送波・受波の切換えを電気回路により行うので可動部分がない。

4・6・1 観測施設

河川の水中に超音波の送受波器を設置する。観測小屋の中には、電源部・制御部・処理部・記録部をおき、ケーブルで送受波器と連絡する。流量を求めるためには水位を同時に観測しなければならないので自記水位計を設置し、できれば水位及び流速を同一記録部に記録する。

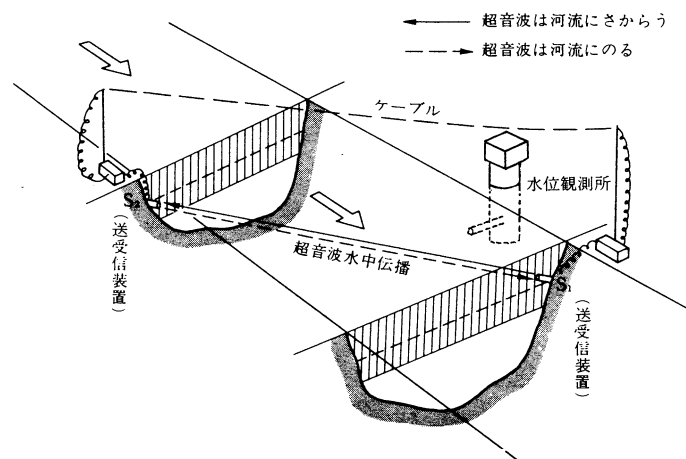


図4・6・1 超音波流速測定模式図

解 説

- ① 観測地点としては浮遊物質が少く、あまり湾曲していない測になった所がよい。感潮河川などには適している。観測施設として機器構成の節で述べる電源部以下の各部分が必要であるが、エレクトロニクス部品であるため、気温・湿度の激しい変化や日光の直射は避けられるような観測小屋に収納されることが必要である。勿論、水分・塩分、のかからないようにしなければならない。
- ② 設置の前に事前調査をして、ノイズを消去するなどの必要があれば、処理回路を組むこと。
- ③ 超音波で測られた流速を流量へ換算するためには流水断面積を知る必要がある。水位計は必ず設置する。なお超音波流速計は水平方向の平均的な流速を検出する方式であるので、断面が長方形に近い形のところを選定する必要がある。

4・6・2 原理

超音波送受波器1対を河川の水中両岸に斜めに対向して設置する。この1対の送受波器について上流側から下流側へ超音波が伝播するのに要する時間と反対に下流側から上流側へ伝播するのに要する時間の差は超音波伝播線上の平均流速に比例する。水深の異なる各層にそれぞれ1対ずつ送受波器を設けて測られた各層の平均流速を上下方向に積分すれば流量が求められる。

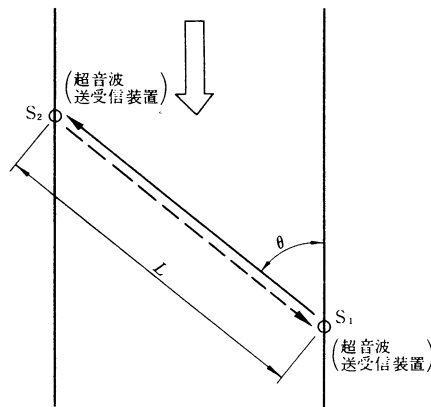


図4・6・2 超音波流速計の原理

解説

- ① ここに言う送受波器とは1個で超音波を送波・受波することのできるもので、2個を1対として用いる。3個を1対とする改良型もある。(図4・6・4)
- ② 上流側・下流側の送受波器をそれぞれS1・S2として、その間隔(川幅でない)をLとする。流速Vの方向とLとのなす角を θ 、音速をCとする。S1からS2へ超音波が伝播した時の伝播時間を t_1 とし、S2からS1へ伝播した時の伝播時間を t_2 、とすると、

$$t_1 = \frac{L}{C + V \cos \theta}$$

$$t_2 = \frac{L}{C - V \cos \theta}$$

パルス伝播時間差法ではこの両者の差を求める。

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{2LV \cos \theta}{C^2}$$

時間差 Δt が流速 V と比例していることから V が求められる。

- ③ シングア라운드法では、S 1 から発信された超音波が S 2 に受信されると電気信号として回路を伝わり、直ちに S 1 から再び超音波が発信され、それが S 2 に受信され…という繰返しが単位時間内に何回行われるか（シングア라운드周波数）を測る。次に S 2 から発信された超音波が S 1 に受信されると電気信号として回路を伝わり、直ちに S 2 から再び超音波が発信され、それが S 1 に受信され…という繰返しが同じ単位時間内に何回行われるかを測る。それぞれのシングア라운드周波数の差 Δf から V が求められる。

$$\Delta f = f_2 - f_1 = \frac{2V \cos \theta}{L}$$

- ④ パルス伝播時間差法で、 t_1 、 t_2 を求めたら、それぞれの逆数を求めてその差をとれば音速補正が不用となる。

$$\Delta \left(\frac{1}{t} \right) = \frac{1}{t_1} - \frac{1}{t_2} = \frac{2V \cos \theta}{L}$$

- ⑤ 超音波伝播線 L の上に流速の違いがあっても、 V はそれを平均したものとして求められることが大きな長所である。
- ⑥ 水深が深く、表層と底層とで流速の違う場合は、各層にそれぞれ 1 対づつ送受波器を設ける。各対の代表する流水断面積を掛けて加算すれば流量が求められる。

可搬式流速計の測点は水深の 2 割、8 割というように定められているので、

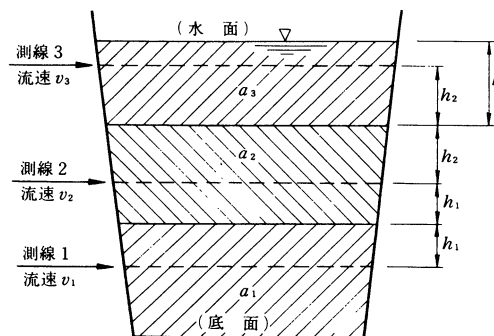


図 4・6・3 超音波流速計の測線図（横断面）

a_1 、 a_2 、 a_3 は各区分断面の面積を示す

水深とともに変化するが、超音波流速計は、送受波器が杭等に固定されていて、水深が変わっても一定であるので、流速を測っている位置が両者互いに異なるのはやむを得ない。超音波流速計の特徴を生かして、流量算出の方法をこのように定めた。

- ⑦ 超音波流速計の規格についてはIS06416号に規定されている。

4・6・3 器械構成

電源部・制御部・処理部・記録部・1対（一般にはN対）の送受波部よりなる。送受波部は送受波器、それを水中で支える柱、信号を送るケーブルよりなる。

解 説

① 電源部

AC商用100Vの電源があれば、それをを用いる。なければDC12Vの電池を用いることも可能であるが、電池の容量は十分余裕をみておくこと。

② 制御部

定められた時刻又は時間間隔に超音波を送波するもので、さらに全体を制御する。

③ 処理部

基本式に従って流速を求める。音速補正を加えたり、又4・7・4に述べるような雑音除去、精度向上のためのデータ処理も行う。

④ 記録部

打点式記録計を用いる時、チャンネルに余裕があれば、関連事項をも記録しておくこと万一故障等のとき原因を発見しやすい。関連事項とは受波レベル、水温分布（表層と底層との水温）などである。

印字式記録計では、流量データの用途に応じ、30分平均、1時間平均などを印字させることができる。

⑤ 送受波器

圧電磁器などでできた板に電圧をかけると板が振動をはじめ、それが周囲の水・空气中に超音波を伝播させる。逆にこの板に超音波が入射すると振動して電圧が発生し、それが超音波を受信したことになる。このように1つの板が送波・受波の2役を兼ねる。

⑥ 支柱

(a) 送受波器を支える柱は、洪水の時の高流速で倒れたり、常時の洗掘で倒れたりすることのないように強固に立てなければならない。

(b) 送受波器にはあまり厳格ではないが指向性がある。2つの送受波器を水中で対向させ1対として機能させるためには微調整を含めた設置作業が必

要である。送受波器には直接、流木が当たり、ゴミがからまったりしないようにしなければならない。

(c) N層で測るのであればN対の送受波器を支柱にとりつけること。

⑦ ケーブル

送受波器を制御部、処理部と結合させるためにケーブルを川の中に設置しなければならない。超音波流速計の故障の中にはケーブルの断線によるものが多いので、注意する。シジミ採り等で切られることもある。洪水時の速い流速で切れたこともある。

4・6・4 注意事項

超音波流速計を設置する上で次の事項について注意する。

- ① ノイズ（雑音）の事前調査
- ② 浮遊物質による減衰
- ③ 水温等による音速の鉛直分布

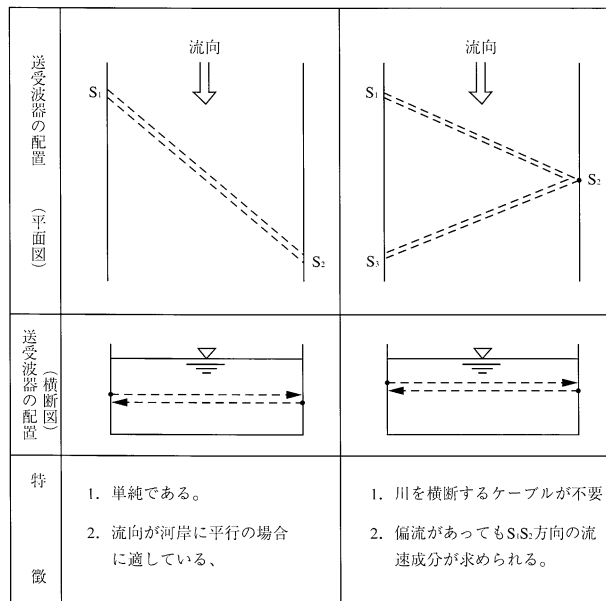


図 4・6・4 送受波器の配置

- ④ 超音波周波数
- ⑤ 送受波器の配置

解 説

- ① 河川にはそれぞれ個々のノイズがある。またモーターボート等の発するノイズもある。連続性ノイズよりパルス性ノイズの方が有害である。ノイズに対しては、通常装置に内蔵されたノイズ除去装置によって対応することが可能である。
- ② 洪水時には浮遊物質は多い。特に小さい粒子が多量にある場合は減衰が大である。気泡が混在する場合も同様の傾向を示す。
- ③ 水温・塩分などにより音速が変わる。時間変化に対しては音速 C を測ってリアルタイムで補正することができる。音速に鉛直分布があると音線が屈折され、対岸の受波器へ届かなかつたり、何回も表面・河底に反射して減衰し、また異った伝播経路の音波が干渉し合つて、受波波形の立ち上りが悪くなり観測できなくなる。そのため水温に鉛直分布がある場合には、音波の屈折や受波状況を調べて、伝播距離を短くする（中間に杭を打つて、伝播距離を分割する）等の対策が必要とされる場合がある。
- ④ 周波数として100～400KHzがよく用いられる。高い周波数による観測値は精度がよいが、音波の減衰が著しい。低い周波数は減衰はあまり著しくはないので測定可能な川幅は広がるが、精度は若干低下することがある。河川の状態に応じて周波数を選ぶ必要がある。
- ⑤ ケーブルには事故が多いので、対岸からはケーブルを引くことはせず、図4・6・4のように3個の送受波器を1対として使う方法がある。S1を発した超音波がS2に達すると、S2からは直ちに超音波が出てS3に達する。その時間を t_1 とする。こんどはS3を発した超音波がS2を経てS1に達する。前と同様の式で流速・流量が求められる。この方法はケーブルの節約のみならず、S1、S3方向の流速成分が測られるので、偏流がある場合にその影響を除去できる。
- ⑥ 超音波流速計の詳細については、例えば木下武雄：超音波読本—超音波流量観測の第一歩，水文環境技術レポートNo.1，(株)水文環境1994年7月を参照されたい。

4・7 新しい流量・流速の観測法

4・7・1 概 要

近年、流量や流速の観測に新しい計測機器を用いた方法が開発・導入されている。それらには、ドップラー効果や画像解析によって表面流速を計測する非接触型流速計、水圧式水深流速計、流速プロファイラー（ADCP）等がある。こうした新しい手法については、現場への積極的な試験導入を通じて技術の評価・改良を重ね、流量観測業務の普及と省人化、及び精度管理・向上に役立てていくことが望まれる。

解 説

- ① 近年、流量観測業務の普及と省人化及び精度管理・向上を図る観点から、新たな流量・流速観測システムが開発されてきている。それらには、非接触型流速計（電波流速計、超音波流速計、PIV流速計、オプティカルフロー流速計）、流速プロファイラー水圧式水深流速計がある。その他、管路において実用化が図られている電磁流量計の開水路への応用等も研究が進められている。
- ② 新しい観測手法はおのおの特徴があり、適切に採用すれば、従来の観測手法を補うものになると考えられる。但し、流量観測実務への導入にあたっては、実河川での試験導入によって適用条件の見きわめや、技術の評価・改良を積み重ねることが大切である。

4・7・2 非接触型流速計

非接触型流速計は橋梁等に設置される受発信器を用いたドップラー効果によるもの（電波方式、超音波方式）及び、橋梁もしくは川岸等に設置されるカメラの映像を画像解析することによるもの（PIV方式、オプティカルフロー方式）に大別される。いずれの機器も表面流速を自動観測するシステムであり、その表面流速観測値をあらかじめ求めて定める補正係数によって断面平均流速に換算することにより、河川の実時間流量観測に応用することが試みられている。

解 説

- ① 本法は流水に非接触で観測する方式であるので、ゴミや流木などの浮遊物

質に影響されことなく利用できる。流速の計測は橋梁上流でも観測できるので、ピア後流域の影響を避けることができる。ただし、計測するのは表面流速であることから、流量を算出するには、表面流速を断面平均流速に変換するための補正係数をあらかじめ求めておく必要がある。

② 流量は以下の式により算出する。

$$\text{区分流量 } Q_i = (f_v \cdot V_{si}) \cdot A_i$$

$$\text{総流量 } Q = f_h \cdot \sum q_i$$

f_v : 表面流速計測値を鉛直方向平均流速に変更するための更正係数

V_{si} : 非接触型流速計による区分表面流速計測値

A_i : 区分流水断面積

f_h : 水平方向流速分布補正係数（規程通りの測線数を確保した場合は1.0）

H11～H13に実施された土木研究所等による共同研究によると、安芸式において、吃水をゼロとして算定した更正係数 f_v により、浮子流量観測値との差異を5%程度以内にできるとしている。

③ 強風時には、表面流速計測値に風の影響が及ぶと予測されるため、風向・風速を同時に観測しておく必要がある。具体的な補正手法は、上述の共同研究等で研究が進められている。

4・7・2・1 電波流速計

電波流速計は、橋梁等に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。測線ごとに受発信器を設置することにより、小河川から大河川まで対応することができる。水位計や流量演算処理装置等を組み合わせて河川流量観測システムを構築することで、河川の水位、流速、流量を連続観測することが可能である。

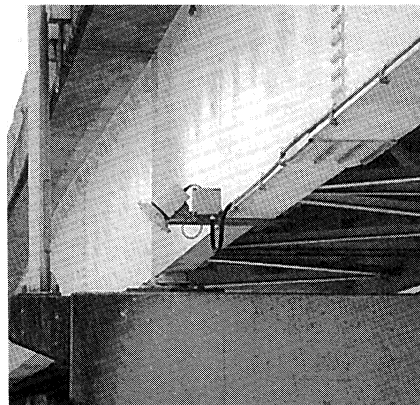


写真 4・7・1 電波流速計

(1) 観測方法

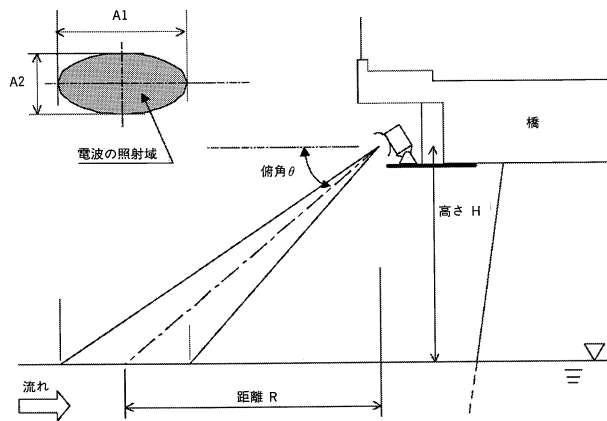


図4・7・1 電波流速計による観測模式図

電波流速計発信器を橋梁等に固定設置し、河川の上流に向けて（下流でも良いが、ピアの後流域の影響を避けるため、上流に向けることが望ましい）俯角40度で電波を投射し、ドップラー効果による反射波の周波数変化から表面流速を測定する。

解 説

- ① 橋桁に防震対策を施した取り付け金具で固定する。
- ② 受発信器の取り付け角度は俯角30度～45度、偏角±20度の範囲内に収まるように設置する。
- ③ 電波流速発信器は微弱な電波を投射するため、流速が2 m/s未満の時は、電波の到達距離が20m以内（2 m/s以上の時は40m以内）になるように設置する。
- ④ 観測に適さない流れとして、上流の河道が湾曲している場所、電波照射域に、大きく流速の違う複数の流れが存在する場所、渦を巻くような流れになる場所、上流に中州や木、橋脚等の流れを乱すものがある場所、が挙げられる。

(2) 注意事項

「電波法」により、無線局を解説して使用することが必要であり、取扱者は「電波法」に定める資格が必要である。ただし、通常の実操作は電波法等で定める簡易な操作の範囲内であるため、無線従事者の資格を有していない人でも行うことができる。

また、水面の不規則波からの反射を計測するため、計測に有効なマイクロ波の反射波が得られるのは流速が0.5以上の場合とされている。

解 説

- ① この流速計を使用するには電波法に規定された手続きが必要である。
- ② 測定できる流速の下限値は、河川の状況、俯角偏角、水面までの距離等によって変わる場合がある。
- ③ 本システムを設置する場合は、当該箇所での流速観測調査結果等に基づいて、表面流速観測値から平均流速を推定するための換算係数を設定する必要がある。

4・7・2・2 超音波流速計

超音波流速計は、橋梁等に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。測線ごとに受発信器を設置することにより、小河川から大河川まで対応することができる。水位計や流量演算処理装置等を組み合わせて河川流量観測システムを構築することで、河川の水位、流速、流量を連続観測することが可能である。

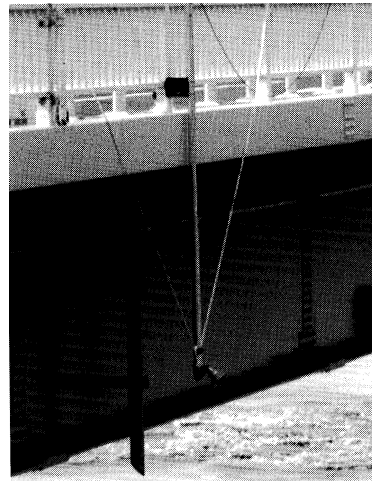


写真4・7・2 超音波流速計

(1) 観測方法

超音波流速計受発信器を橋梁等に固定設置し、河川の上流に向けて（下流でも良いが、ピアーの後流域の影響を避けるため、上流に向けることが望ましい）俯角45度で電波を投射し、ドップラー効果による反射波の周波数変化から表面流速を測定する。

解 説

- ① 橋桁に防震対策を施した取り付け金具で固定する。

- ② 受発信器の取り付け角度は俯角30度～45度の範囲内に収まるように設置する。
- ③ 送信超音波の減衰・散乱等の理由から、超音波の到達距離が10m以内になるように受発信器を設置する。
- ④ 超音波受発信器の中心線から中心角±5度以内の円錐区域内に、水面が確保できる場所で、かつ中心角20度の円錐区域内に、河床の露出や護岸の張り出し、大きな石や橋脚等が無い場所に設置する。
- ⑤ その他、観測に適さない条件は電波流速計の項を参照。

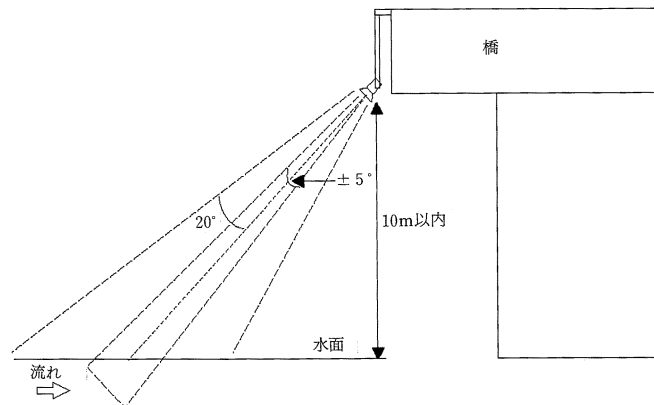


図4・7・2 超音波流速計による観測模式図

(2) 注意事項

水面の不規則波からの反射を計測するため、計測に有効な超音波の反射波が得られるのは流速が0.5以上の場合とされている。

解 説

- ① 測定できる流速の下限値は、河川の状況、俯角偏角、水面までの距離等によって変わる場合がある。
- ② 本システムを設置する場合は、当該箇所での流速観測調査結果等に基づいて、表面流速観測値から平均流速を推定するための換算係数を設定する必要がある。

4・7・2・3 PIV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像か

ら、画像上の小領域パターンが Δt 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。河道幅が200m以下であれば、河道の兩岸にカメラを設置することで橋梁等の構造物が無いところでも観測が可能である。流量演算処理装置等を組み合わせて河川流量観測システムを構築することで、河川の水位、流速、流量を連続観測することが可能である。また、面的な流れの把握が可能であるため、構造物周辺や合流点などでの複雑な流れの解析や対策の検討にも有効である。

(1) 観測方法

河岸、橋梁等にカメラを設置し、撮影範囲が河道全体をカバーするようにする。また、水位の値も評定要素として計測精度に影響することから、水位計と連動させ、リアルタイムで水位を監視する必要がある。

解 説

- ① 1台のカメラの計測範囲として、撮影距離を100m以内とする事が望ましい。100m以上の川幅を有する河川については、兩岸、橋梁等に設置された複数のカメラで分割して撮影する。
- ② PIV流速計は既存の水位計が利用できる所に設置するか、もし、無ければ新たに水位計を設置する必要がある。
- ③ 夜間観測を行う場合には、照明や高感度カメラ、赤外線カメラを利用する必要があるが、発光浮子の利用によっても夜間の観測は可能である。

(2) 注意事項

PIV流速計で測定できる流速の範囲は0.5~10m/sである（トレーサーを使用した場合、0.1~10m/s）。また、カメラの視界を確保することが必要である。さらに、太陽高度とカメラアングルとの関係で、水面にハレーションが生じた場合は計測が困難になる。

解 説

- ① カメラのズーム機能を用いて、高流速時は画角を広く、低流速時は画角を狭くとる必要がある。
- ② 極端な逆行やハレーションが起こらないように、光源（昼間は太陽の位置、夜間は該当等の照明器具）と観測対象・カメラの位置を確認する。もし、好条件の場所にカメラが設置できない場合は、変更フィルターの利用や複数の

カメラを利用して光源を避ける等の対策が必要である。

- ③ 観測生データは短時間での瞬時流速のため、そのばらつきは大きい。3～5分程度の平均処理を行うことにより安定したデータを提供出来る。
- ④ 幾何補正を行うための目印は標準で6点必要とする。(図4・7・3参照)

4・7・2・4 オプティカルフロー流速計

オプティカルフロー方式は水面の動画像から各点(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手法である。

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、連続する次の画像(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、流速を測定する。

(1) 観測方法

PIVと同様に河岸、橋梁等にカメラを設置し、撮影範囲が河道全体をカバーするようにする。また、水位の値も評定要素として計測精度に影響することから、水位計と連動させ、リアルタイムで水位を監視する必要がある。適用にあたっては、常に波立っている濁水が適している。

解 説

- ① 1台のカメラの計測範囲として、撮影距離を50m以内とする事が望ましい。50m以上の川幅を有する河川については、兩岸、橋梁等に設置された複数のカメラで分割して撮影する。
- ② 予想最大流速値 v (m/s) の2倍以上の画面広さ [$2v$ (m)] を撮影できる必要がある。
- ③ オプティカルフロー流速計は既存の水位計が利用できる所に設置するか、もし、無ければ新たに水位計を設置する必要がある。
- ④ 夜間観測を行う場合には、照明や高感度カメラ、赤外線カメラを利用する必要がある。
- ⑤ 波が無く目視で流れの有無が判断できない場合や、河床が見える河川上流部の清流及び、水面に周りの木立が映るような場合は、表面流速の画像解析が困難であるため、適さない。

(2) 注意事項

オプティカルフロー流速計で測定できる流速の範囲は0.5～10m/sである。PIVと同様、カメラの視界を確保することが必要である。さらに、太陽高度とカメラアングルとの関係で、水面にハレーションが生じた場合は計測が困難になる。

解 説

- ① カメラのズーム機能を用いて、高流速時は画角を広く、低流速時は画角を狭くとる必要がある。
- ② 極端な逆行やハレーションが起こらないように、光源(昼間は太陽の位置、夜間は該当等の照明器具)と観測対象・カメラの位置を確認する。もし、好条件の場所にカメラが設置できない場合は、変更フィルターの利用や複数のカメラを利用して光源を避ける等の対策が必要である。
- ③ 観測生データは短時間での瞬時流速のため、そのばらつきは大きい。3～5分程度の平均処理を行うことにより安定したデータを提供出来る。
- ④ 幾何補正を行うための目印は4点必要である。

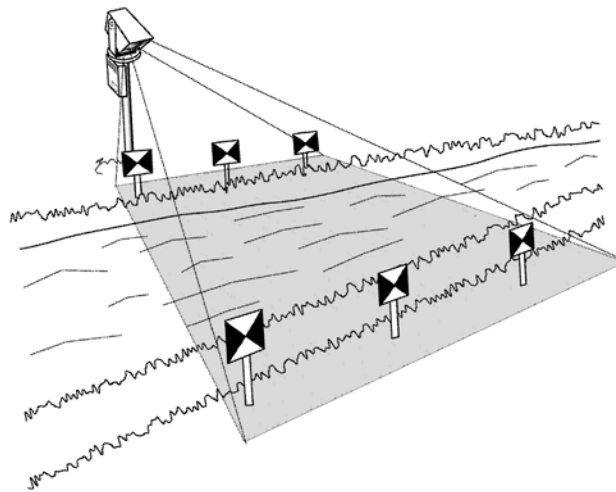


図4・7・3 画像処理方式流速計 (PIV及びオプティカルフロー) による流量観測イメージ

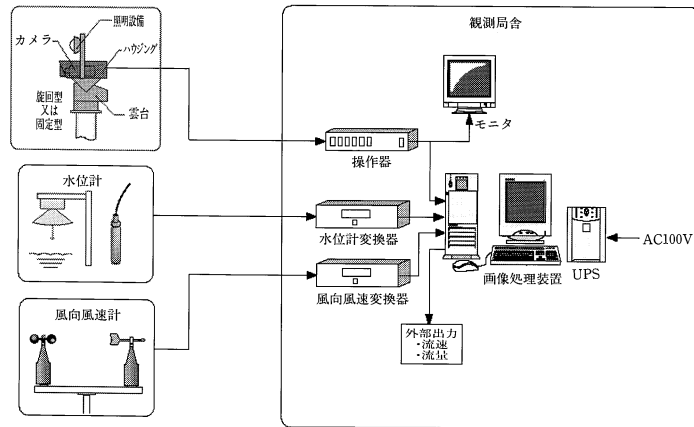


図4・7・4 画像処理方式流速計（RV及びオプティカルフロー）による流量観測システム構成図

4・7・3 水圧式水深流速計

水圧式水深流速計は、ピトー管の原理を応用して河川の水深と流速を同時に測定する機器である。回転式流速計等従来の流速計では測定困難な洪水時の河道断面内の流速の鉛直分布を直接測定することができる。

解 説

- ① 水深流速計の外形及び内部構造を図4・7・5、図4・7・6に示す。測定原理はベルヌーイの定理に基づいて、動水圧孔部に作用する水圧 P と、静水圧孔部に作用する水圧 P_1 の差圧から

$$v = \sqrt{2gK(P - P_1)}$$

によって流速を求めるとともに、静水圧と大気圧との差から水深が求まる。ここで、 K は孔の形状による補正係数である。

- ② 圧力の計測には、測定レバーの歪みを抵抗係数変化として検出し、それを電気信号に変換する半導体圧力センサーを用いている。なお、図4・7・6において第一圧力センサーは、動水圧孔と静水圧孔の圧力の差圧を、また第二圧力センサーは静水圧孔の圧力と大気圧導入管からの大気圧との差圧を検出するものである。動水圧孔には水になじまない油液を注入してあり、これを介して圧力センサーに伝わるため、河川流水中の懸濁物質の影響を排除でき

るようになっている。

- ③ 水圧式水深流速計は、実用化実験の段階であるが土木研究所流速計検定施設での検定によれば、0.5～5.0m/sの範囲の流速に対して±2%の精度で測定できることが確認されている。今後、実河川での洪水観測に導入することにより、洪水流の特性解明に寄与することが期待される。

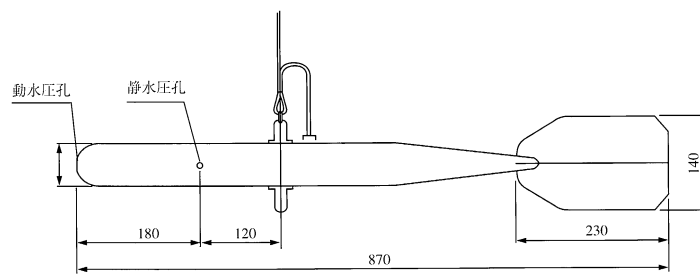


図4・7・5 水圧式水深流速計の外観

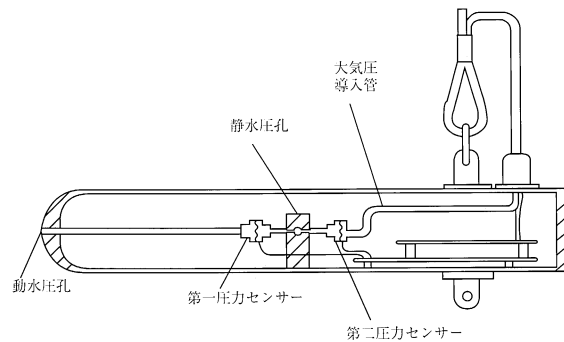


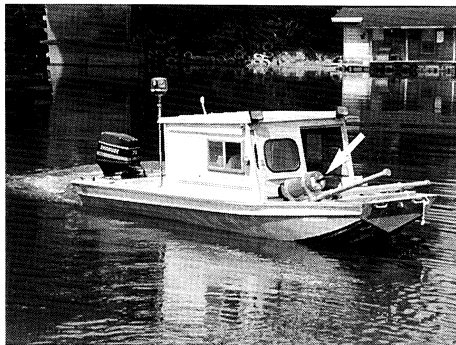
図4・7・6 水圧式水深流速計の構造

4・7・4 流速プロファイラー（ADCP）

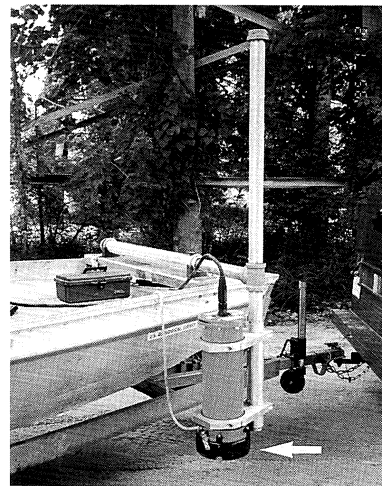
流速プロファイラー（ADCP, Acoustic Doppler Current Profiler）は、超音波のドップラー効果を応用して河道断面内の3次元の流速分布を測定する機器である。この測定機を船等に搭載し、河川や湖沼を運航しながら測定することによって、運航断面内の流量を短時間で観測することができる。

（1）流速プロファイラーの原理

超音波を水中に向けて放射した場合、水中の浮遊物質などの散乱体によって反射される。この時散乱体が移動していれば、ドップラー効果によって反射波の周波数が変化する。この周波数の変化量を解析することによって、河道断面に鉛直方向の散乱体の移動速度の分布を求めることができる。流速プロファイラーは、超音波の送受波器を通常4基使用し、各送受波器から得られる流速成分を合成することによって3次元流速分布（流速プロファイル）を求めるものである。さら



写真A モータボートに搭載した ADCP（矢印の円筒型の部分）。計測データはパソコンに取り込みリアルタイムで処理・表示される。



写真B 観測時には超音波パルスの受発信部（矢印の黒い部分）を水中につける。

写真4・7・3 ADCPによる観測状況

に、この流速プロファイルをもとに、河川の横断面に垂直な流下方向流速成分を積分することによって、流量を計算することができる。

解 説

- ① 散乱体とは、超音波を反射する物質で、水中に浮遊するプランクトン、浮遊砂、ゴミ等である。
- ② 流速プロファイラーは、通常2対、合計4基の送受波器を持っており、それぞれの流速成分を合成することによって3次元の流速プロファイルを求めることができる。
- ③ 流速プロファイラーによる流量は、船の運航断面の法線方向の流速成分を求め、これを積分することによって算出する。
- ④ 超音波パルスを発射して受信態勢が整うまでに、反射してきた信号はとらえることができないために、表層の一定部分は観測不能域となる。例えば、1,200KHzの場合、送受波器面から約50cm以内の観測は不可能である。また、放出する超音波の中心軸は鉛直方向から θ だけ傾いているが、鉛直方向にも弱い超音波（サイドローブ）が放出されている。この音波は河床で強い反射波を生じるため、これと同時に返ってくる領域からの観測データはとれない。すなわち、送受波器から河床までの距離をH、送受波器の鉛直方向からの傾きを θ とすれば、この測定不可能な高さ H_b は次式で与えられる。

$$H_b = H \cdot (1 - \cos \theta)$$

例えば、 $\theta = 20^\circ$ 、 $H = 5 \text{ m}$ とすると、河床から約30cmが計測不可能となる。

- ⑤ ADCPの計測原理の詳細については、例えば寺川・新行内：The Application of ADCP for Measuring Discharge at the Lower Reach of Tone River, 第3回PWRI-USGS水文水資源ワークショップ報告書、土木研究所資料第3373号、PP. 181～189、1995年11月を参照されたい。

(2) 観測方法

流速プロファイラーを船に設置して、河川等の横断方向に船を運航しながら、鉛直線上の流速を計測する。観測船には、電源部と制御部、処理部、記録部を受け持つ携帯型パソコンを搭載する。

解 説

- ① 流速プロファイラーは、船等に設置して運航しながら運航断面内の流量を測定することができる。計測される流速は、船の移動速度と流れによる流速の合成速度である。流速プロファイラーは、河床からの反射音波から船の移動速度（対地速度）を換算することができるので、合成流速から船の移動速

度を引くことによって、水中の流速成分を計算することができる。この場合、河床は固定されているという前提であるため、河床が大きく流動しているような場合には誤差が大きくなる。

- ② 船の移動と流速の合成流速を計測するため、遅い流速の場では船速を遅くすると精度が上がる。
- ③ 洪水時の観測のために、無人のラジコンボートに流速プロファイラーを搭載して観測することも試みられている。
- ④ 観測は、一定時間（例えば1秒間）の測定データの平均値として処理するので、船速や移動方向の急激な変化は避ける必要がある。

(3) 注意事項

流速プロファイラーは、超音波の反射音を利用した測定機器であるため、観測する流れの状況や求める精度、分解能に応じて、予め適切な機種を選択と綿密な観測計画の立案が重要である。その時の考慮すべき事項には、①測定精度、②気泡、③濁流、④機種の選定、⑤移動速度、⑥送受波器の保護、⑦漏電、⑧定期点検、等がある。

解 説

- ① 流速プロファイラーは、流速、対地速度（船速）ともに最大±10m/sまで測定可能である。流速プロファイラーの測定精度は、水深、層厚、サンプリングタイムおよび観測環境（風、波）によって変動する。流速プロファイラーを使用した実測事例によれば、1横断面で多数回、往復の繰り返し計測を行った結果、1～10%の繰り返し偏差が観測された。流量規模が小さい程、繰り返し観測結果の偏差が大きくなっている。
- ② 超音波の伝搬速度は水中と空中で大きく異なるため、気泡を含む流れの場の測定は困難である。
- ③ 濁流など、散乱体の密度が非常に高い流れでは、超音波の減衰が大きくなるため、測定できない場合がある。このような場合は、透過性の高い低周波数の流速プロファイラーを用いるのが望ましい。
- ④ 河川用の流速プロファイラーとしては、超音波の周波数に応じて300KHz、600KHz、1,200KHz、2,400KHzの機種が市販されている。水深が深い場合、平均流速が速い場合、散乱体の密度が高い場合には低周波の機種を、また、求める精度が高い場合や高分解能が必要な場合は高周波の機種を用いる必要がある。
- ⑤ 船などに設置して流量を観測する場合、精度よい測定のためには、流れの

場の時間変化を考慮しつつ、できるだけ直線でゆっくり移動するのが望ましい。

- ⑥ 流速プロファイラー本体は耐水性であるが、データ処理コンピュータやケーブルコネクタは防水されていないため漏電の恐れがあるので、水がかからないよう十分注意する。

4・7・5 その他の流量観測法

その他、流量の無人・連続観測を目ざして次のような方法について、実用化に向けた調査が進められている。

- (1) 管路における電磁流量計を開水路に応用する方法
- (2) 水面の移動物体をビデオ画像で計測する方法
- (3) 河底に設置された管から空気を放出し、その水面までの移動量を計測する方法

これらは、いずれも開発途上にあり、実河川における水文観測実務への導入に際しては、今後調査・検討を重ねる必要がある。

また、諸外国ではトレーサーとなる物質を流れに投入しその希釈程度や移動量を測定することによって平均的な流速を求める手法等も実用化されている。

解 説

- ① 電磁流量計の原理は、磁界の中を電気的導体（流水）が動くとき導体の両側に導体の速度に比例した起電圧が生じるというファラデーの法則により断面内平均流速を直接計測し、流量を求めるというものである。管路ではこの方法による流量計測が実用化している。幅10m程度以下の小規模な3面張り水路等で流量の連続・無人モニタリングをするのに適している。
- ② 画像処理による方法は、河岸あるいは橋上に設置したビデオカメラを用いて河川表面流の状況を撮影し、その画像上のゴミや水面の斑紋等の移動を解析することで、表面流速を計測するものである。横断測量線上の水深と河川表面の流速分布から流量を算出する。データ収集に用いる機器は、家庭用VTR（8ミリやVHS等）あるいは工業用のCCDカメラ等である。また撮影したビデオ画像の解析システムは、パーソナルコンピュータとそれに装着して使用する画像ボードおよびモニタで構成される。可視画像を用いているため、暗闇（夜間）での観測は困難である。
- ③ 河底から空気泡を放出すると、水面まで上昇する間にその間の流速の積分值に相当する距離だけ下流に流される。この位置を知ることによって平均流

速を求めることができる。実河川での水文観測実務に応用するには、泡の移動位置の自動記録方法や、河床の変動対策や管の敷設方法等について検討していく必要がある。

4・8 特殊な場所での流量観測

4・8・1 結氷河川の流量観測

結氷河川とは、河川表面に氷が張った河川であるため、非結氷河川と較べその流量観測には、次の点について相違点がある。

- ① 観測器材
- ② 観測方法
- ③ 仮に水位観測ができて、河川表面が氷板に覆われ管路内の流れと同様な状況となるため、水位流量曲線が描けないこと

等である。

解 説

- ① 気温が 0°C を下まわる日が続くと、河川の流水は過冷却となって氷の結晶（晶氷）が発生し、これが流れにとりこまれて図4・8・1のように成長していく。また、最初の晶氷が水中で形成されるのではなく、氷点に近い低温の流水面に落ちた雪の結晶より氷が成長していく場合も多い。

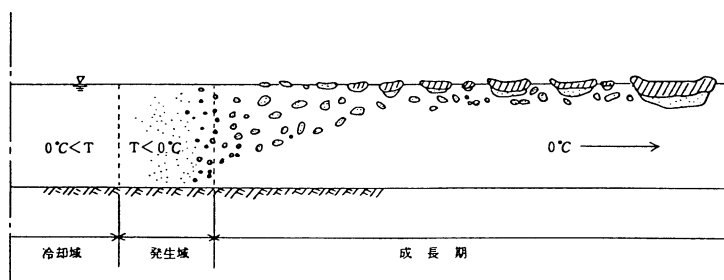


図4・8・1 晶氷の成長の概念図

- ② 個々の晶氷が成長、凝集しあって、“モロミ”などと呼ばれるシャーベット状の氷の集合体となって大きさを増し、氷板へと成長していく。
- ③ 河川の結氷が進行していく過程には、特徴的な2つのパターン、すなわち
(a) 緩流河川の蛇行区間・淵などの流れのゆるやかなところからモロミの滞留がはじまり、全幅にわたり短期間に氷板を形成し、上流に結氷が進行していくもの。
(b) 晶氷が途中で滞留しないような比較的急流で、両河岸や洲付近などの流れの弱いところから流心に向かって横断方向に成長する岸氷の場合。(写真4・8・1)がある。結氷下の流れは、前者のパターンの全面結氷した河川では断面積が異なる管路内の流れと同様な状況になっている。また、後者の岸氷が発達した河川断面内の流れは、自由水面をもつ部分に集中する傾向がある。
- ④ 氷板の結氷状況、氷板厚の分布は横断方向にも、流下方向にも一様でなく、また、同一地点でも時期的な変化がある。さらに氷板の下面が流水の作用を受けてゆるやかな波形となるなど、氷板下面の状況によって流水抵抗が変化する。
- ⑤ 結氷期には水位と流量の関係だけでは流量の予測が難しく、流量観測時に結氷状況を観測し、結氷状況と流量の関係を明らかにする必要がある。また観測所ごとの特性を把握しておくことが不可欠である。
- ⑥ 特に結氷の初期および解氷期は、結氷状況が時間的に複雑に変化するので、観測の間隔を密にするとともに、結氷、解氷の進行過程を観察し、気象条件、水理条件などとの関係を把握しておくことが必要である。



写真4・8・1 岸氷の発達(石狩川 平成8年1月)

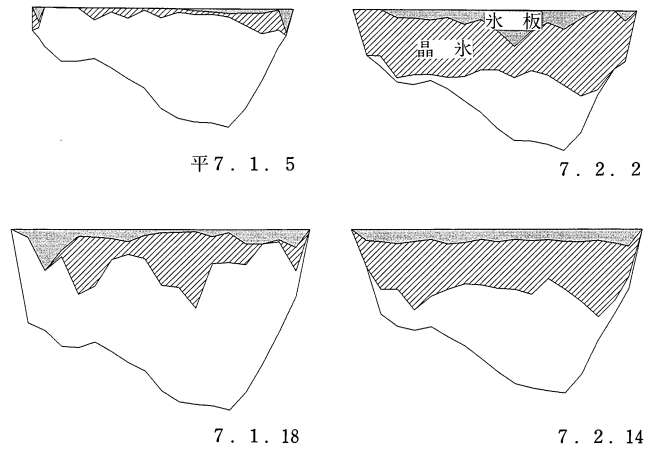


図4・8・2 氷板化の変化（空知川）

(1) 観測施設

観測施設としては非結氷河川の流量観測施設と特に変るところはないが、水位観測施設については、凍結の防止、流氷に対する防護、水位標支柱の氷板の動きによるせり上がりなどの対策が必要である。

解 説

- ① 観測所の河道条件は、第3章の「3・2 観測所の配置と位置選定」に示されている要件のほかに、次のような条件を備えていることが望ましい。
 - (a) 完全結氷が早く完結することこれは、部分結氷と完全結氷とで、流れの状態が著しく異なるため、一定の状態になることが必要であり、また、観測もしやすい。
 - (b) 氷板下における晶氷の滞留が少ないこと
 - (c) 流れ方向の氷状が一様であること



写真4・8・2 氷割り

- (d) 冬期に観測所への進入路の確保が容易であること
- ② 断面変化の激しいわが国の河川では、氷状によって流量観測断面を移動することは観測精度の低下につながると考えられるので、非結氷時と同じ断面を用いることに努め、部分結氷の場合も氷板を壊したりせず、できるだけ自然状態を保持した方が良い。
 - ③ 自記水位計は観測井（リードスイッチ式では測定柱）内の水面が凍結し、正しい記録が得られなくなるので、ヒーターを取り付けるか、油を入れるなど凍結防止対策が必要である。リードスイッチ式水位計の測定柱は、融雪初期の増水時に大型の氷板の流下による破損に注意する。
 - ④ 水位標の支柱は水位変動に伴う氷板の昇降により動くことがあるので、強固なものにし、流量観測の都度水準点との関係をチェックする。また、氷の付着力を弱める対策を検討することも重要である。

(2) 器械器具

非結氷時の低水流量観測の装備に加えて、除雪、氷割り器具、氷厚測定器具、防寒着衣などが付加される。測定器具は低温、凍結による機能低下に特に注意する必要がある。

解 説

- ① 結氷時流量観測班の基本装備としては、写真4・8・3(a)～(e)に示すような器械器具が必要である。また固形燃料など熱源の用意も必要である。
- ② 低温下では電池の機能低下が早いので予備を用意し、早めに交換すること。
- ③ 電磁流速計など信号変換、表示、記録部に半導体が使用されている機器には、氷点下になると機能が低下するものがあるので保温対策が必要である。

(3) 観測方法

流速の測定間隔は非結氷時の間隔を標準とするが、晶氷などの滞留のため流量が偏在している場合は、その区間での測定間隔を密にし十分な測線数を確保することが望ましい。また、測定用の孔は流速計が容易に入る大きさのものとする。流速測定は孔の上流端に流速計を設置して、一般の河川と同様に2点法（水面から2割、8割の水深）または1点法（水面から6割の水深）で測定する。平均流速も同様に算出する。孔に浮上してくる晶氷は、流向確認などの場合は他は取り除かない。また、流速計の凍結には十分注意し、水中に沈めた流速計はできるだけ水面上に出さないようにする。



写真 4・8・3 (a)

- | | | |
|-----------------------------|--------------------|---------|
| ① 作業車 (5人乗) | ⑤ 船外機 (5ps, 電動) | ⑨ 救命胴着 |
| ② 作業船 (グラスファイバー
ボート3人乗り) | ⑥ 燃料タンク | ⑩ 救命浮き輪 |
| ③ カヌー | ⑦ ワイヤー (φ 3mm~6mm) | ⑪ 長靴 |
| ④ オール | ⑧ 間縄 | ⑫ 胴付長靴 |

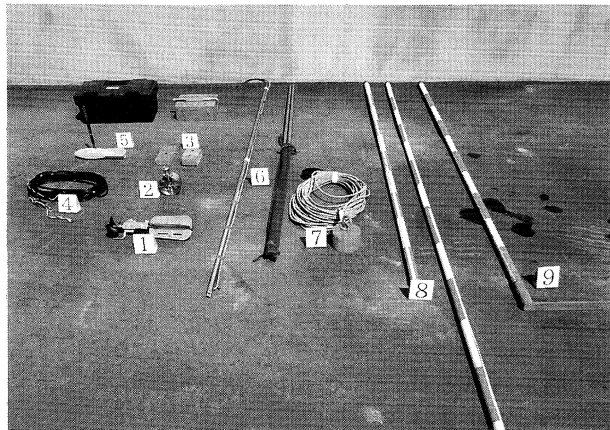


写真 4・8・3 (b)

- | | | |
|-------------|------------|--------------------|
| ① 流速計 (三映型) | ④ キャピタルコード | ⑦ 水深測定レット |
| ② 流速計 (広井式) | ⑤ 流速計釣り下げ鐘 | ⑧ 水深測定ポール (3m, 2m) |
| ③ 分数ブザー | ⑥ 測桿棒 | ⑨ 氷厚測定目盛付ポール |

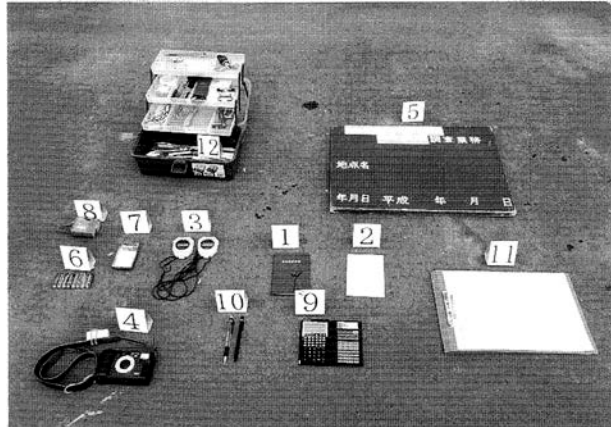


写真4・8・3 (c)

- | | | |
|----------------|----------|--------|
| ① 低水観測野帳（防水） | ⑤ 黒板 | ⑨ 電卓 |
| ② 高水観測野帳（防水） | ⑥ 電池 | ⑩ 筆記用具 |
| ③ デジタルストップウォッチ | ⑦ チョーク | ⑪ H-Q図 |
| ④ カメラ（防水，防塵） | ⑧ コンベックス | ⑫ 工具箱 |

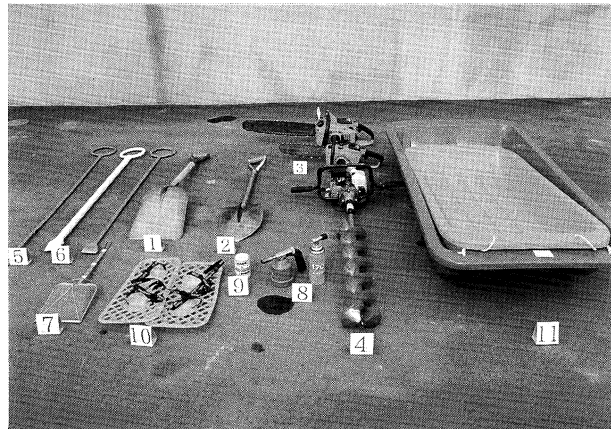


写真4・8・3 (d)

- | | | |
|----------------|-----------|---------|
| ① 除雪用角スコップ | ⑤ 開氷用ピック | ⑨ 固形燃料 |
| ② 除雪用剣先スコップ | ⑥ 開氷用ヘラ | ⑩ カンジキ |
| ③ チェンソー | ⑦ モロミすくい | ⑪ 運搬用ソリ |
| ④ 氷穴あけドリル（発動型） | ⑧ 解氷用バーナー | |



写真 4・8・3 (e)

- | | | |
|------------------|--------|--------------|
| ① 防寒着上 (フロートタイプ) | ③ 防寒靴 | ⑤ 胴付長靴 (冬期用) |
| ② 防寒着下 | ④ 防寒手袋 | ⑥ ドライスーツ |

写真 4・8・3 (a)～(e) 観測用の器材の一覧

水深測定は、流速測線およびその中間点において実施するが、その際には以下の事項についても測定する。

- (1) 河床より水面までの深さ
- (2) 水面下の氷の厚さ
- (3) 水面上の氷の厚さおよび：積雪の深さ
- (4) 水面より氷板下に滞留する晶氷の下面までの深さ

解 説

- ① 水深測定において(2)の測定にはL字形測尺を用い、(4)には幅の広いL字形測尺または流速計を下方よりゆっくりと上昇させて流速が0となる水深をもって決定する。
- ② 流速測定孔は50×50cm程度とし、測定開始に先立って必要な個数を、アイスドリル、チェーンソー、つるはし、つき棒などにより開けておく。また、測定終了後孔に雪をつめ、木枝などを刺しておくこと次回の観測で作業が容易である。
- ③ 完全氷結した河川の流速については精密法で求めた流速分布からみて、2点法、1点法で平均流速を求める場合の流速補正係数が提案されている。しかし、本書では従来から結氷河川についても一般河川と同様な算出法が北海

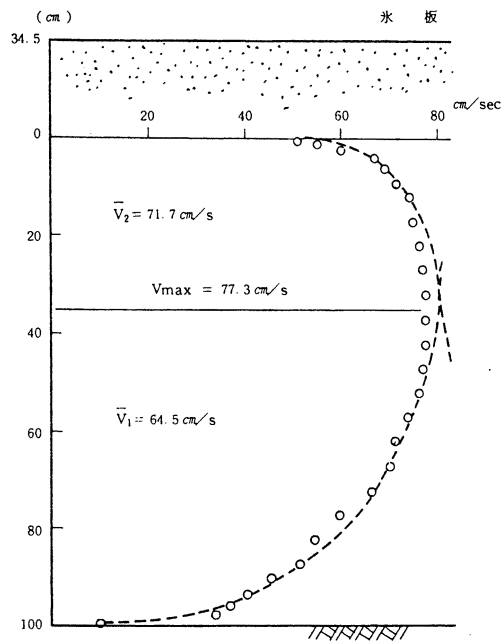


図4・8・3 氷板下の流速分布の例

道で採用されてきたことを考慮して、一般河川と同様な手法を採用することにした。これらについては、さらに研究を進める必要がある。

- ④ 水深の測定時には、本文の(1), (2), (3), (4)の他に河床のアンカーアイスの厚さも求めることが望ましい。
- ⑤ 氷上にも流水がある場合には、その部分について表面流速、水深等を測定して流量を求め、氷板下の流量に加算する。
- ⑥ 測定断面の上下流における結氷、積雪の状況および晶氷の滞留量の変化などについてできる限り記録する。同時に観測断面の横断方向および上下流方向の写真を撮影する。
- ⑦ 非結氷時に比べ測定項目が追加されるので、結氷時専用の観測野帳を用意することが望ましい。結氷時用の観測野帳は記入が容易であり、スケッチなどのための余白を持ち、現場において測定値をすぐチェックできる様式でなければならない。

(4) 注意事項

結氷河川の流量観測は、通常氷板上より氷を割って設けた孔を通して行われる。寒冷な気象条件に加え、積雪中での器材運搬、氷割りなど作業量も多く、測定には非結氷時と異なる種々の困難と危険を伴う。防寒と、安全対策には十分な配慮が必要である。

解 説

- ① 氷上作業の危険性を十分念頭におき、氷板の強度などの安全を確認してから作業にかかる。特に、積雪のため外観から氷状を判断できない場合は、あらゆる方法で入念に安全を確認する必要がある。
- ② 氷板の強度が十分でない結氷初期、解氷期に氷板上がることや、氷板が流れている時に舟を使用することは危険である。このような状況の場合には、現場の状況を勘案して観測実施の可否を決定しなければならない。
- ③ 氷面上がる場合は、ポールなどを横に持ち万が一に備えるようにし、救命胴衣の着用を義務づける。場合によってはスキーの着用も有効である。
- ④ 水際作業に当っては、冬期間はすべり易いので、転落を防ぐため足下を十分に踏み固め、命綱を必ず装着すること、また、周囲の雪の崩落にも十分注意が必要である。

(5) 観測資料の整理

結氷河川においては氷状によって流れが左右され、結氷期間では水位と流量の一義的な関係を得ることが一般に困難であり、結氷期間の日水位、日流量は一般に次のようにして求めている。

- (1) 観測流量を非結氷期の水位流量曲線式に代入して、非結氷期同一流量相当の水位を各観測流量について求める。
- (2) 各観測日間の水位変化は直線変化として近似させ日水位を求める。
- (3) この水位をもとの水位流量曲線式に代入して日流量とする。

解 説

- ① 本文の方法は結氷初期、解氷期の降雨、融雪などによる流出変化のある期間について問題があり、より密な間隔の観測と氷状変化の観察、気象データなどをもとに精度の向上をはかるように努める必要がある。
- ② 発電ダムなどにより冬期間も日流量変化のある観測所については、放流記録などの収集とともに水位記録への反応特性を把握するなど、適切な流量推定方法を検討しなければならない。

(6) 資料の照査

結氷河川は、非結氷期に比べ有効流水断面形がモロミの状況や氷板の昇降の影響で複雑になっており、かつ変化する。さらに、冬期間は作業環境も厳しいため、流量観測値に誤差の入り込む余地が大きいため慎重な観測とそのチェックが重要である。

解 説

- ① 結氷の安定期に入ると、流量は地下水流出が主体となり一定の逓減のもとに推移すると考えられるので、前回観測値および過去の逓減特性などからチェックする。
- ② 前回観測値との差が大きい場合は、その要因を調べ付記する。
- ③ 水位、流量、降雨、降雪、気温、氷厚、積雪深、結氷率（結氷部分の幅の全川幅に占める割合）、結氷状況などについて過去の記録を整理しておき、当年度の経過と対比しながら作業を進め、異常値には直ちに対処するように努める。

4・8・2 河口感潮部における流量観測

河口感潮部における流量観測もこれまでに述べた流量観測と原則的に異なるところはない。しかし、河口感潮部では潮汐の影響で時々刻々水位と流量が変動するので在来の手法（例えば可搬式流速計等による観測）では流量観測が困難であるし、流量を水位のみの関数で表現することができないため、連続した流量値を求められない。新しい手法（例えば超音波流速計）を導入することにより、時々刻々の流量が観測できる。以下、河口感潮部の流量観測における基本的事項を述べる。

解 説

感潮部では、次の事実がある。

- ① 水位が潮汐の周期（通常約12時間半）で変動する。
- ② 従って、水面勾配が変動する。
- ③ 流れが水位につれて変動し、逆流（上流へ向く）することもある。
- ④ 塩水が侵入していることもある。
- ⑤ 水位流量曲線がループを描く。

この結果、流量観測上注意すべきことは、次の通りである。

- ① 水位・流速の変動があるから、通常の流量観測よりは手早く行わなければ

ならない。

- ② できれば、流速又は流量を連続・自記できる手法を導入する。
- ③ 通常の水位流量曲線のように観測された水位から流量に変換することはできない。
- ④ 満潮・干潮など潮汐をよく考慮して観測計画をたてなければならない。
- ⑤ 河口感潮部では常時の流量観測において上記の注意が必要であるが、高水の流量観測で高水による水面勾配が河床勾配以上になっても、上記の注意が必要である。
- ⑥ 潮汐の振動には天体潮と気象潮とがある。
 - (a) 天体潮は周期的に変化し、年変化で言うと春分、秋分のころが振動が大きい。従って、感潮部が河川下流部のどこまではいっているかを調査するのは3月末（融雪期に一致する場合は別に選ぶ）の大潮の満潮時を選ぶとよい。
 - (b) 気象潮は台風などの気象現象により引き起こされる潮汐である。台風などの風の吹送・気圧低下による吸い上げ・その他の擾乱による大きな気象潮を特に高潮と呼び、河川計画・管理上は洪水とともに重要である。
- ⑦ 河口部では風波、うねり、津波なども侵入してくるし、魚介類が棲息しているので、観測施設の維持には特に留意しなくてはならないし、船舶の出入りする河口部においては、船舶及び流量観測作業双方の安全をはからなければならない。

(1) 観測所の配置

観測所の配置については4・2を適用するが、さらに次の点に注意を要する。

- ① 波浪・潮汐の影響
- ② 津波・高潮の影響
- ③ 河口閉塞の影響

解 説

- ① 4・2で述べた観測所の配置は上流から下流へ流れる水の観測のためのものであるが、ここではさらに、下流（海）からの影響も考慮しなければならない。
- ② 波浪の影響を避けられる所に観測所を配置する。波浪は海から伝搬するものと、河川内で発生するものがある。河口の形状、河川と卓越風向などを勘案して波浪の影響を避ける。

潮汐は周期が長いので、広く伝搬する。これまで潮汐の影響はないと考えられていた観測所でも、河床低下・地盤沈下などにより潮汐の影響を受ける

ようになっている場合もあるので、水位・流量記録を調査して、もし潮汐の影響があれば、本項の注意事項に従う。

潮汐の影響の他の面は、塩分による観測器械の腐食・劣化及び魚介類などの生物の付着による観測の障害である。常に巡回して、欠測の発生する前に予防しておかねばならない。

- ③ 津波・高潮については、波浪とともに観測施設が破損されないように注意を払わねばならない。
- ④ 河口閉塞は、土砂の供給と移動によっておこる。閉塞すれば水位は著しく堰上げられるし、開口すれば低下するというように不連続な状態になる。洪水の直後には開口しているが、低水が続くと閉塞するというような変化があるので、なるべく閉塞の影響の少ない所に観測所を設けるようにする。
- ⑥ 船舶の往来のはげしい所は船舶及び流量観測作業双方の安全のため好ましくない。観測施設は、一般に繫船に便利なので、配置の段階でそのようなことに利用されないように配慮する。

(2) 観測所の設置と観測施設

観測所の設置については「4・2 観測所の配置と位置選定」を適用する。観測施設については第3章 水位観測及び第4章 流量観測の該当する部分によるものとする。

解 説

河口感潮部における流量観測について配慮すべき点のうち設置・施設にかかわることはすでに(1) 配置 の項で述べた。河口感潮部での流量の観測は、可搬式流速計(4・3)又は超音波流速計(4・6)などで測った流速に断面積を掛けて流量を求める方法が一般的である。施設としてはそれらに必要なものを4・3・2項、4・6・1項を参照して備える。

(3) 断面積の測定

断面積の測定については4・3・5及び4・4・7の断面測定を適用するが、実作業は手早く行うように配慮する。

解 説

- ① 手早く行うためには2班編成して左右両岸から断面積・流速の測定を行うとか、あるいは3班又はそれ以上の集団で行うことも考慮する。

(4) 可搬式流速計

可搬式流速計による流速測定については「4・3 可搬式流速計による流量観測」を適用する。流速測点を流速測線上鉛直方向に水深の2割，8割位置に選定するのは順流でかなり流速がある場合にはよいが，逆流の場合及び流向が変わる場合には表層と底層とで流向・流速が異なる場合があるので注意しなければならない。逆流の可能性のある区間では流向も測れる流速計を用いなければならない。実作業は手早く行うよう配慮する。感潮河川では，流量を水位のみの関数で表現することはできない。

解 説

- ① 流速測点数については，迅速性を重視すれば水深の2割，8割の2点法であるが，逆流の場合，流向が変わる場合など複雑な流速分布が予想される場合には多くの測点が必要である。代表的な潮汐条件のとき精密法で測っておき，いかなる深さの流速でその測線上の平均流速を表わせるかを予め調べておくことよい。
- ② 流向を測れる流速計でも低流速になると，流速計が流れの方向を向かないことがあるので注意を要する。
- ③ 流速観測を短時間で実施するため，複数の流速計を同時に使用して観測する方法がとられることもある。

(5) 超音波流速計

超音波流速計による流速測定については「4・6 超音波流速計による流量観測」を適用する。

解 説

- ① 感潮河川において超音波流速計を用いる場合の長所・短所は以下の通りである。
 - (長 所)
 - (a) 超音波伝搬路上の流速を順流・逆流に拘わらず，観測できる。
 - (b) 自記方式で無人で連続的に観測できる。
 - (c) 水深に応じ，何層かで測れば，流速分布の不明の深い河川でも断面積を掛けて容易に流量を連続的に観測できる。
 - (短 所)
 - (a) 水温・塩分の鉛直分布があると音線が屈折するので，測定できる川幅に

限界ができる。(河川を区間に分ければ解決できる。)
(b) 電気によるので、ケーブルの断線・停電などの対策が必要である。

(6) 流速プロファイラーによる流量観測

流速プロファイラーの利用については、「4・7・4 流速プロファイラー (ADCP)」を適用する。

解 説

感潮河川における流速プロファイラーの長所・短所は次のように整理できる。

- ① 水深が深い方が観測しやすいので、感潮河川で利用しやすい。
- ② 操船を必要とするので、人手が必要である。そのため、感潮部流量を連続的に観測することはできない。