

流量計測読本(第2版)

もくじ

はじめに	1
1. 流量ってなんだ。	2
2. どうやって流量を測るの？	5
3. 開水路の流量測定	8
4. センサを知ろう	11
5. 平均流速のお話	18
6. せき式流量計	21
7. フリューム式流量計	25
8. 水位－流速式流量計	30
9. 上手に Manning 公式を利用しよう	32
10. 最後の手段、水位－流量近似式の利用	34
11. 精度のまえに目的あり	36
12. グループ調査は難しい	39
13. ロケーションこそ命	41
14. データをよく見よう	42
15. 流量計なんか、いらない？	44
16. 施設の大きさに異なる調査方法	46
17. 流量計測の実務と要点	48
18. おわりに	52

はじめに

この「流量計測読本」は、実際に開水路で流量計を使って調査をされる方を対象に、流量測定と調査上のポイントについて、できるだけ分かり易いように、副読本としてとりまとめたものです。

「流量計があってもうまく計測できない」とか、「流量調査をしても結果を出せない、生かせない」という話は今でも良く耳にしますし、あげくは流量計のせいにされてしまうことも度々です。私自身、米国製の流量計販売を手始めに流量計の開発を手掛け、お客様の要望に答える形で調査に携わるようになって20年以上経ちますが、その間、多くの調査の失敗を経験してきました。この経験から「流量測定」にはちょっとしたコツがあり、「流量調査」には流量測定以外の周辺知識が若干必要であることが、身に沁みて判っています。

そこで、これらのコツや周辺知識についてできるだけ判りやすくお話ししたいと思い、筆を起しました。失敗談がベースなので、この読本では水理や流量計の構造などの難しい話は抜きです。もしこの読本で水理や流量計のことに興味を持たれたら、良い専門書がたくさん出回っていますから、どうぞそちらを当たってください。

この読本では流量の基本式に始まって、計測原理や、センサ、各種の流量計などをできるだけ簡単に解説し、流量調査のポイントを経験に即して実用本位で説明しています。判りやすく説明しようとするために、わざと簡略化した表現にしているところもあります。「違うぞ」と、筆者の浅学にお叱りを受けることもあるかと思えます。どうかご意見をお寄せください。みなさまのご意見を参考に、版を改めてより良い読本にしたいと願っています。

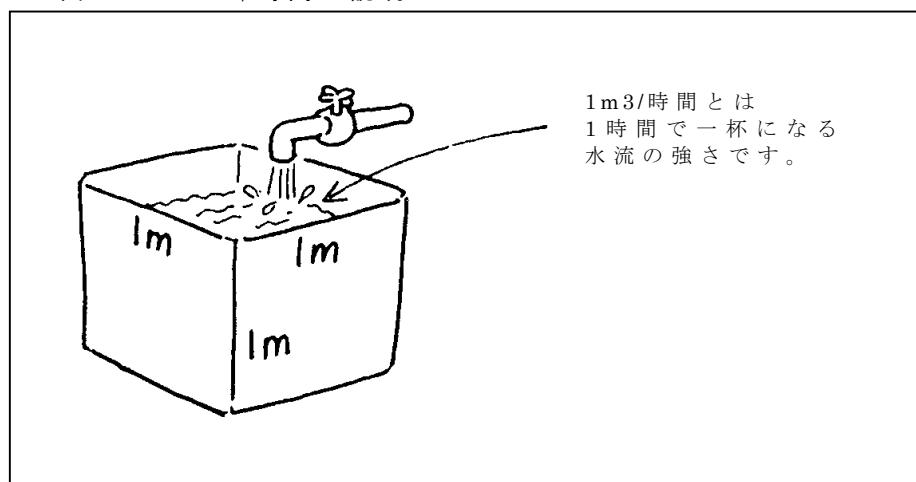
なお第2版では初版の内容を整理して、質問の多かった、小口径管と大口径管に分けた流量調査のポイントや、流量データの処理に関わる実務について、弊社ソフトを利用した実務的な内容を追補しています。

1. 流量ってなんだ。

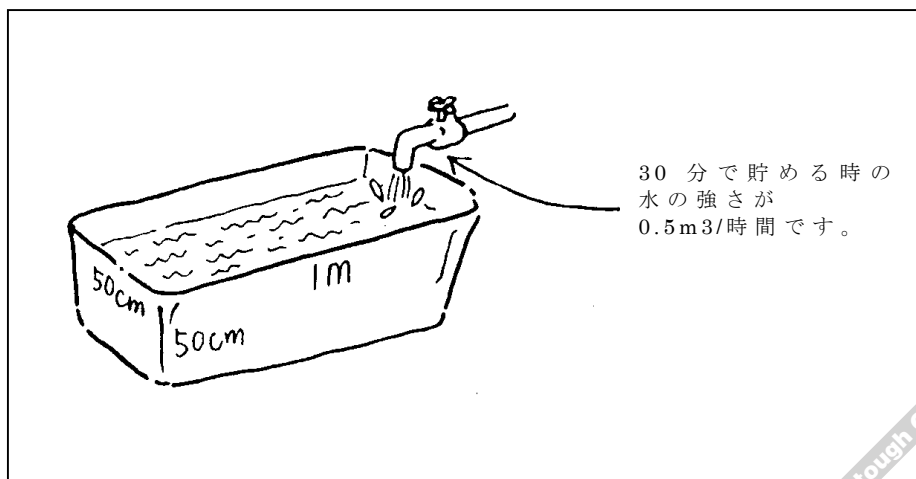
1-1.1m³/時間をイメージしよう

何気なく使っている「流量」とはどんな概念でしょうか。そこで、**1 m³/時間**という流量を具体的にイメージするところから、お話を始めたいと思います。

1 m³/時間の流量とは、たとえば1 m×1 m×1 mの水槽に、ちょうど1時間で一杯になるように水道の蛇口を調整したときに出る「水の強さ」を表しています。

▼図 1.1 1 m³/時間の説明 1

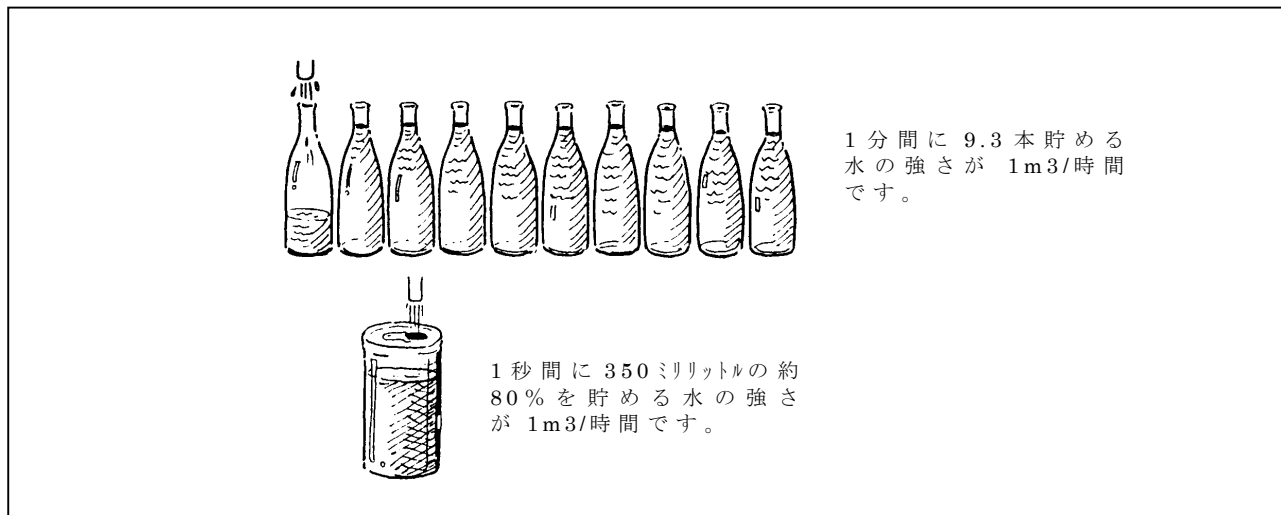
身近なバスタブに水を張ることで、1 m³/時間を実際にイメージすることができます。バスタブの大きさを1 m×50cm×深さ 50cmとしたとき、蛇口を調節して15分でバスタブを満杯にする「水の強さ」が、1 m×0.5 m×0.5 m / 15分(0.25時間) = 1 m³/時間です。ふつう30分前後で水を貯めることが多いので、蛇口を一杯にひねったとき、の流量はだいたい0.5 m³/時間であることがわかります。

▼図 1.2 1 m³/時間の説明 2

また1升(1.8ℓ)瓶やジュース缶(350ml)からも、1 m³/時間をイメージすることができます。

$$\begin{aligned} 1 \text{ m}^3/\text{時間} &= 16.67 \text{ ℓ}/\text{分} \text{ (毎分、一升瓶約 } 9.3 \text{ 本分)} \\ &= 278 \text{ ml}/\text{秒} \text{ (毎秒、ジュース缶の約 } 80\%) \end{aligned}$$

▼図 1.3 1 m³/時間の説明 3



1-2.流量と水量の違いが判りますか

流量がイメージされたところで、流量と水量との違いについて説明します。データ処理の時にこれを取り違えるケースが散見されますので、注意してください。

流量は「水の強さ」すなわち、蛇口の大きさと水の速さで表される瞬間瞬間の状態を表すのに対して、水量は積算された結果としての「水の量」を表しています。

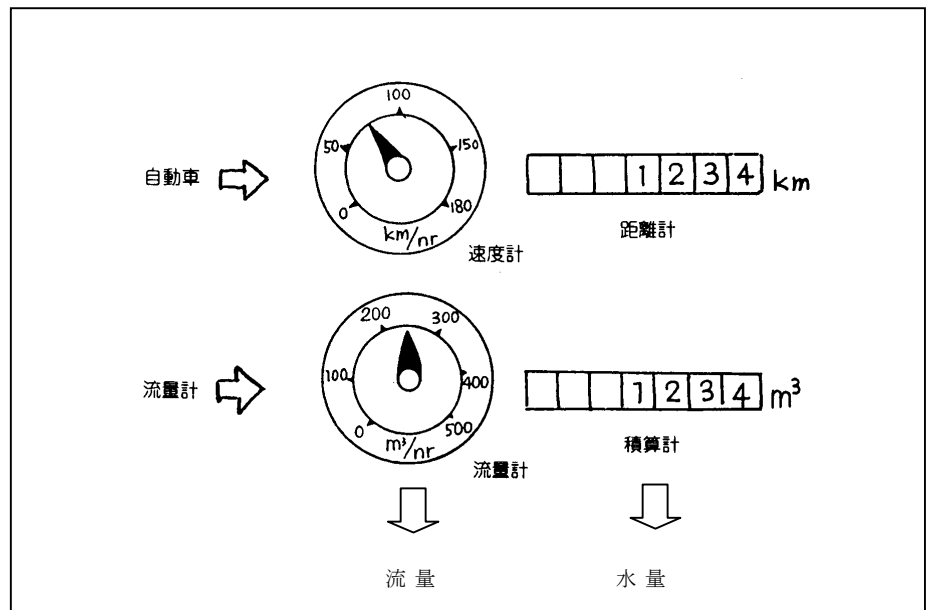
流量と水量の違いは、自動車のスピードメータとトリップメータの違いに良く似ています。流量はスピードメータのように瞬時の状態を表し、水量はトリップメータのように積算されたものを表しています。つまり、「流量は指示計で水量は積算計」で表されるものと考えれば解りやすいと思います。

流量と水量を取り違える大きな理由は、ともに使われている「量」という言葉にあります。「量」という文字からは積算されるものとして同様のイメージがもたれやすいのです。逆に水量を、時系列で区切って表現すると平均値としての流量になるため、流量と同次元で処理され、混同されることも少なくありません。

1.流量ってなんだ。

このような混同から、水量積算計を流量計というのは日常茶飯ですし、指示流量、積算流量と言ってわざわざ区別した表現をすることも少なくないのです。しかし、自動車メータの例で言うと、積算距離のことを積算速度と表現するとかえって分かりづらいので、この読本では、「水の強さ」を流量、結果としての「水の量」を水量と表現します。

▼図 1.4 流量と水量の違い



2. どうやって流量を測るの？

2-1. 流量基本式

$$\text{流量 } Q = \text{流積 } A \times \text{平均流速 } V \text{ m}$$

これが流量の基本式です。流量の単位としては、流積 m^2 と流速 m/s の積である m^3/s を用いますが、日常生活で取り扱う量としては、小数点以下何桁かの小さな値になることが多く、煩わしいので m^3/h や l/s などの単位も良く用いられます。下水や排水では河川レベルの大規模なものを除き、表現として1時間ごとの積算流量を基本に考えることが多いので、単位としては m^3/h とするのが多いように思います。

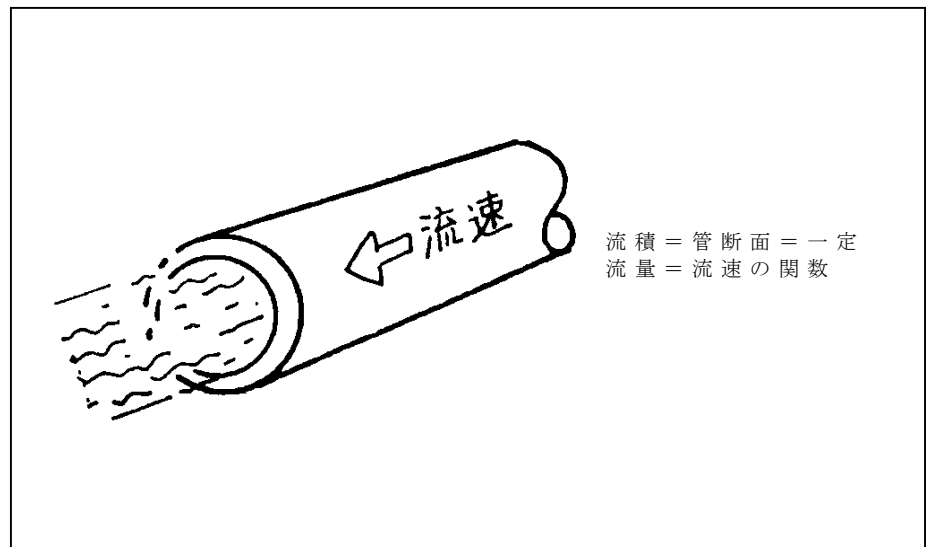
流量は基本式のように、流積と平均流速の積として表現されます。流積とは流れる水の断面積のことで、開水路では水路の断面と水深から計算します。また平均流速とは、ある水深でその流積面全部の流速を平均したものです。

流量計も原理的にはこの式に則り、積算式と併せて4つのタイプに分けられます。

2-2. 流速流量計

流積を一定にして流速を測り平均流速に変換して流量に計算します。電磁流量計や超音波流量計など、管水路(満管)用流量計がこれに当たります。

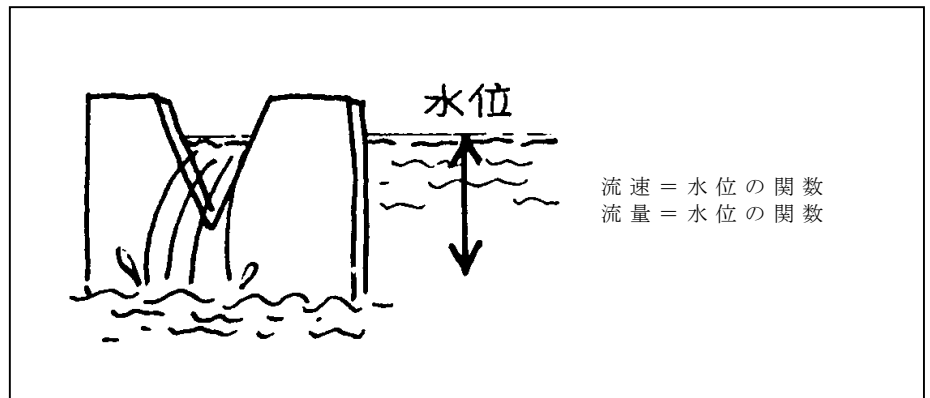
▼図 2.1 流速検出型流量計



2-3. 水位流量計

せきやフリュームなど、水位と平均流速の関係が水理的に既知な計測施設を利用し、水位から流量を計算します。平均流速公式や水位と流速の検量線を用いる方法もこれに当たります。開水路(非満管)用流量計の一部で用いられています。

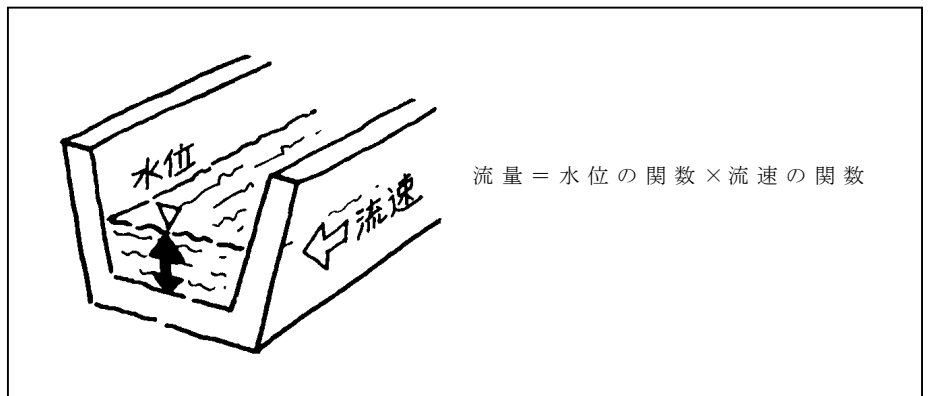
▼ 図 2.2 水位検出型流量計



2-4. 水位・流速流量計

水位から流積、流速から平均流速を計算し、これに乗じて流量に計算します。開水路一管水路兼用流量計として用いられます。全断面の流速を測って平均流速を自動計算すると称するタイプも有りますが、対応水路の形状は様々なため、筆者の知る限りでは、精度的に厳密なものは見あたりません。矩形渠や馬蹄渠では流速分布実測による補正を必要とし、補正しないばあいは、円形管など限られた形状で利用するのが一般的です。

▼ 図 2.3 水位・流速検出型流量計

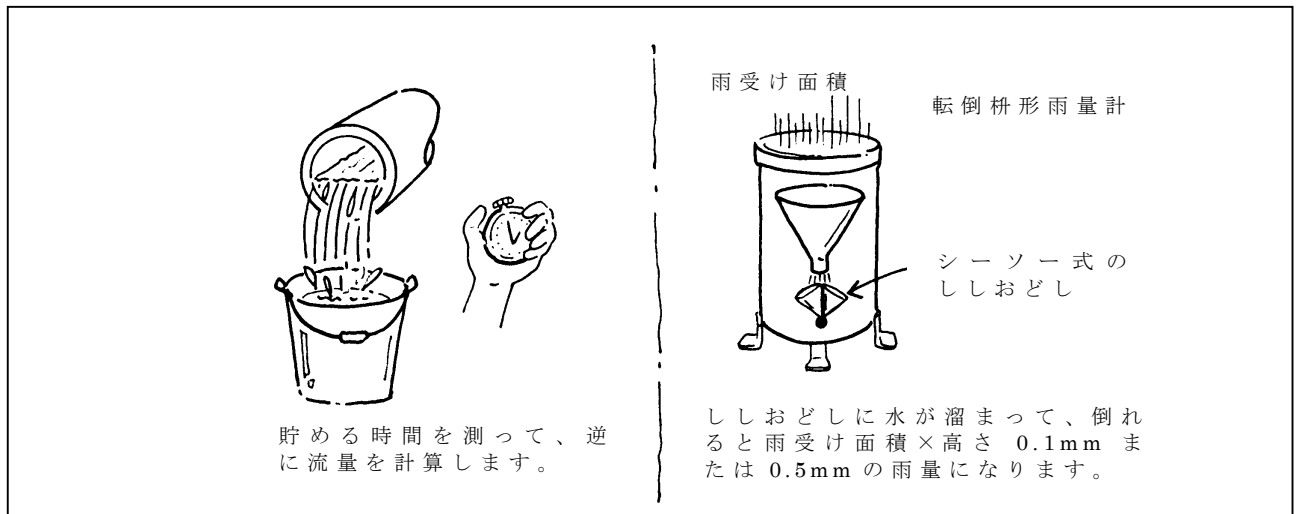


2-5. 積算水量計

一定容量に達する時間、又は一定時間に流入する容量を測るタイプのもので、積算流量計と呼ばれるものです。原理から指示流量計を構成しにくいので、ガソリンメーター、プロセス流量計などの積算流量計(量水器)としては見受けられるものの、下水・排水用流量計ではほとんど見当たりません。ただし瞬時流量指示のない積算カウンタ表示式の流量計はこれに分類されます。

転倒柵型の雨量計もこの典型で、ししおどしの要領で積算水量を計算し、転倒柵の降水面あたりの水位として、降雨量を測定します。

▼図 2.4 積算水量計



2-6. 流量計とは

下水や排水の計測ではほとんど見あたらない積算水量計を除き、大雑把に言ってしまうと流量計とは、

水位計と流速計のいずれか、または両方である。

と言えます。

流量計というと、水位計に比べて原理的に難しいというイメージが付きまとうのですが、水位計または流速計であると考えれば実際はそれほど理解しやすくなります。

流量計の計測精度は、水位又は流速の計測精度に依存します。ただし、総合的な流量精度は、ロケーションや調査目的適合状況などにも大きく影響されるため、計測精度だけでは語ることはできないという、長年の調査経験から得た実感をもっています。その詳細については後段で改めてお話します。

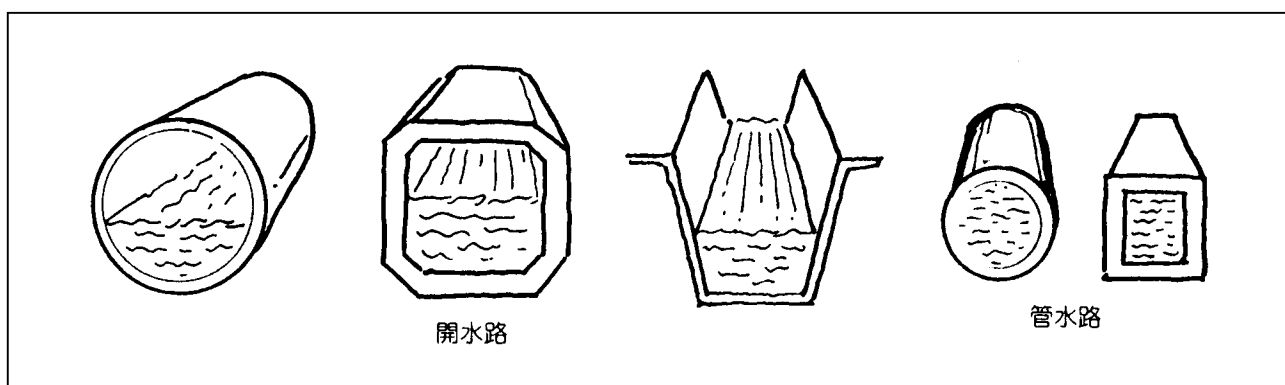
3. 開水路の流量測定

3-1.開水路と管水路

開水路（オープンチャンネル）とは、河川や用水路などのように上方が開放されている水路をいいます。また下水管や蓋をした用水路であっても、満管にはならず水深が自由に変動し、水面が大気圧に開放されている水路もまた開水路といえます。これとは逆に常時満管になっている水路を管水路といい、流れは圧力水になっています。

開水路では水位計型または水位＋流速計型、管水路では流速計型の流量計を用います。

▼図 3.1 開水路と管水路の違い



3-2.開水路流量計測の難しさ

では開水路と管水路、どちらの流量計測が難しいのでしょうか。経験から言えば、圧倒的に開水路の流量計測のほうが難しいといえます。

その大きな理由は平均流速を計算することの難しさにあります。流積の計算は、管水路のばあい流積＝管の断面積なので高い精度を維持できますし、また開水路のばあいでも流積＝水位の関数なので、水位計の精度からみて比較的高い精度を維持することが可能です。

しかし平均流速は残念ながら簡単に計算できません。とくに開水路では難しく、この問題を解決するために各種のせきやフリュームが発達したといっても良いくらいです。管水路では流速の変化を流量として検出しますが、水理的に安定した直管部分の流速分布の比率は乱流域ではほとんど一定であることが知られており、特定部分の流速測定によって比較的高い精度の流量を測定できます。

これに対して、開水路では水路形状や水深の変化によって、様々な流速分布が変化しやすく、その分精度を確保することは難しいのです。

もうひとつの理由は、開水路の流れが下流側条件に影響されやすいことにあります。一般に流量計測の目的は、測点へ流れてくるものの定量です。ところが下流側の制約を受けて、測点付近が滞留したり、逆流するケースでは、目的に沿った流量計測は不可能になったり、極端に精度が落ちます。計器によってはマイナス流量を計測できるようになっているものもありますが、流入するものの測定ができないという点からは同じで、下流の影響を受けた時点で流入流量計としての精度は保てません。これを、

滞流量(下流条件に制約される流量)は、流入流量(測定目的に合う流量)ではない。

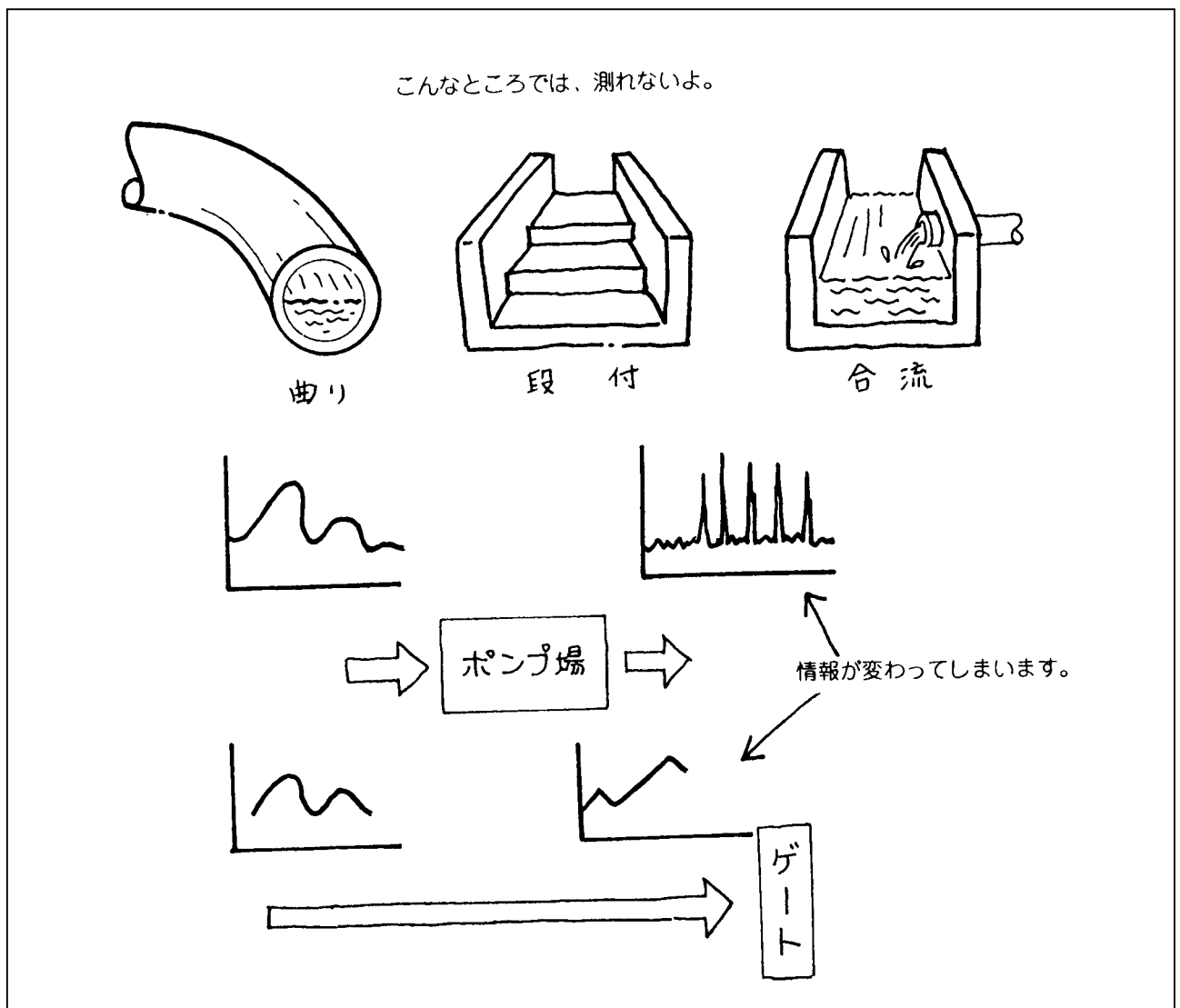
と言います。

3-3.開水路流量計測 のポイント

この章の最後に、開水路で流量を測るポイントについてとりまとめます。

- (1) 水路断面が一定で、流速分布の乱れが起こりにくい場所を選ぶ。
- (2) 滞留・逆流箇所は、目的とする流量が測れないことが多いのでできる限り避ける。
- (3) ポンプ排水を出口側で計測するときは注意が必要である。それは流入側の時系列情報とは異なるためで、また開水路では安定した流速分布を得にくいので精度も悪くなることに注意。
- (4) ポンプ場や処理場の流入ゲート付近は滞留や逆流を生じ易いので、調査目的から許容される範囲で上流側へ移動したほうが良いことが多い。
- (5) 流速が極端に遅くなると、ちょっとした付着堆積物、管の曲がり、水面の風向などの影響を受けて流速分布が乱れやすく、この意味で精度を保てないことが多いので、そのような場所はできるだけ避ける。
- (6) できるならば、平均流速を測らなくても良いセキやフリュームなどを利用した方法を選ぶ。

▼図 3.2 流量計測のポイント



4. センサを知ろう

4-1. センサの計測原理と適用

流量を測るときに、センサの基本的な働きを理解しておく、ととても役に立ちます。本章ではセンサの計測原理について簡単に説明します。流量センサといっても流量計は水位計と流速計の組み合わせなので、水位センサと流速センサの説明になります。

このほか水中設置型のセンサではセンサ自身の大きさやケーブル・固定金具なども、流れに影響を与えて誤差になるため、誤差の要因がセンサの精度だけではないことを説明します。

4-2. 超音波式水位センサ

超音波式水位センサには空中型と水中型の2種類があります。いずれもスピーカーとマイクと温度計がセットになったもので、スピーカーから放射した音が水面で反射しマイクに届くまでの時間から、水面までの距離を計算し水位に換算します。温度計は音速が温度の影響を受けるのを補正(温度補償といいます)するためのものです。精度は±1～2mmまたはフルスケールの±2%の、どちらか大きい方程度です。

空中型の利点は、設置が簡単でメンテナンスが少ないことです。設置・撤去・点検の手間が僅かで済み、汚損による精度低下がほとんどありません。経験からいうと、多少精度を犠牲にしても空中型を使用したいのが本音です。

逆に空中型の超音波センサには次のような欠点があって、測定上の検討を要します。ただし流量計メーカー各社は、これらの影響が極力小さくなるよう、センサに様々な補正機能を組み込んでいるのが普通です。

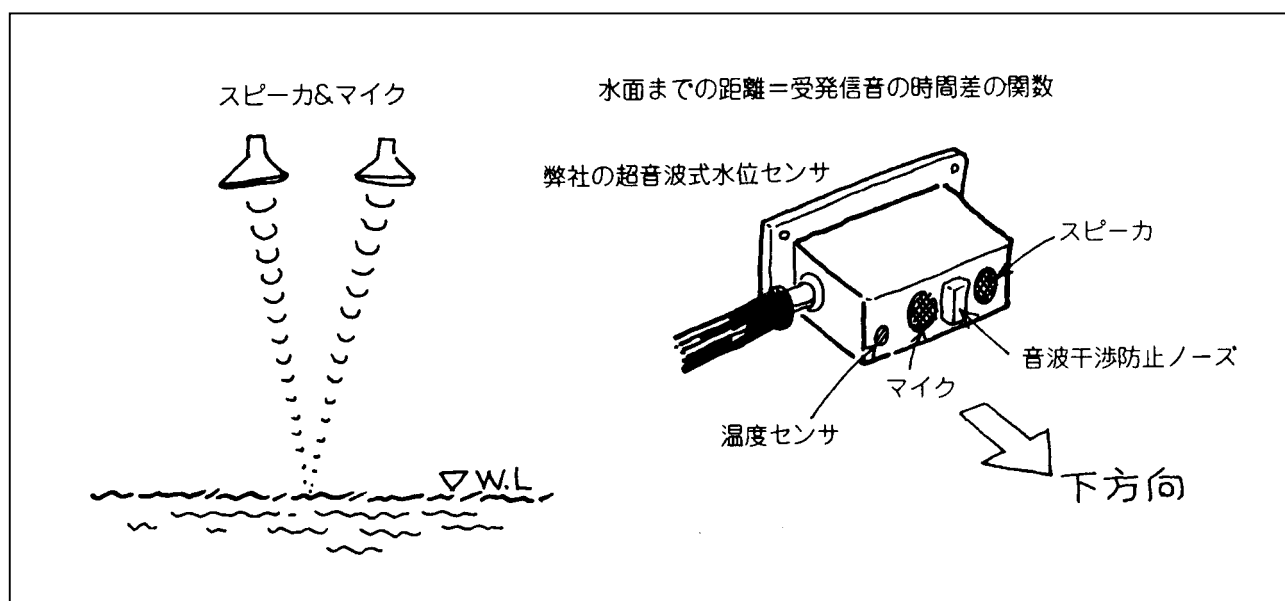
- (1) 急激な温度変化や強風の影響を受けて誤差を生じ易い。
- (2) 放射角内に障害物があると誤差を生じ易い。
- (3) 波立ちで反射が散乱し、誤差を生じ易い。
- (4) 狭い空間で用いると、水面と天井・側壁の突起物の間で何度も反射し、エコーノイズが生じることがある。
- (5) 浮遊物や厚密な泡で水面が長い時間覆われると、正し

く水面を検知しない。

(6) センサを超える水位や、センサに近いところは測れない(不感域がある)。

水中型の利点は、水面上の泡による乱反射が無いのでこの分の精度を高くして計測することができることです。ただし、受発信面の汚損や堆積物による影響は免れ得ないので、定期的なメンテを必要とすることがもっとも大きなネックになり、空中型よりも有利であるということではありません。

▼図 4.2 超音波式水位センサ



4-3. 圧力式水位センサ

圧力計とは、それが真上からの方向だけなら、体重計みたいなものです。図のように、体重計にかかる水と空気の重さ(絶対圧)を測り、空気の重さ分を差し引いた水の重さ(ゲージ圧)から水位を計算しています。空気の重さ(気圧)は最大 10% 近く変化することがあって、1 m 水深では最大 5% 近い誤差を生じることがあるため、絶対圧だけでは水位計の精度を保つことができません。したがって、ゲージ圧の精度を確保するために、水位計としてはセンサ受圧面の反対側を大気に開放する背圧補償型か、絶対圧と大気圧を別々に測る分離型のセンサを用います。

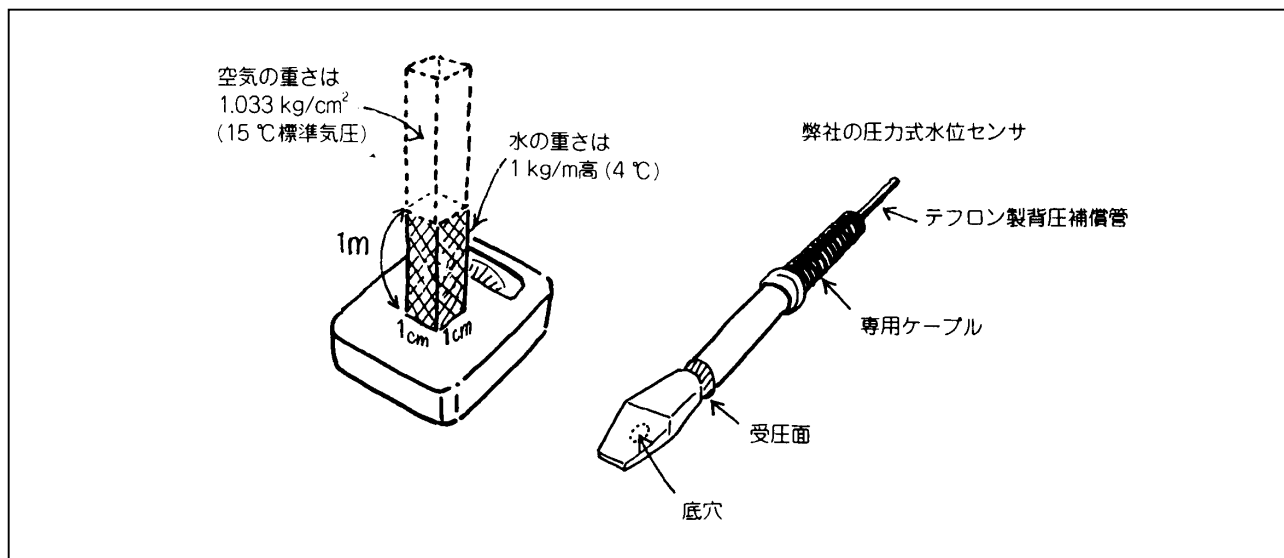
圧力式の精度は±0.1~0.5mm またはフルスケールの 1% 未満で、超音波式より良いといえます。ただし、実用的にはほとんど差がなく、弊社では空中型の超音波水位センサの設置が不利なケースに用いることがもっぱらです。

4. センサを知ろう。

このセンサの利点は精度が良いこと、水槽などの水位測定では投げ込み式にすることができて、設置が簡単なことにあります。また管水路になっても測れることがほとんどなので、合流式下水道の流量測定などにも向いています。逆にこのセンサの欠点は次のようです。

- (7) 受圧面もしくは受圧面につながる通水孔が、付着堆積物で覆われると誤差を生じ易い。
- (8) 受圧面に動圧(流れ方向からの圧力)を受けると、誤差を生じ易い。
- (9) 小口径管内や僅かな水深時などでは、センサ自身が流れの邪魔をして誤差になることが多い。
- (10) 湿気等で背圧補償管に水滴が溜まると誤差を生じ易い。
- (11) 下水調査などでは、汚物がセンサやケーブルにまとわりついて、メンテが面倒で誤差を生じ易い。

▼ 図 4.3 圧力式水位センサ



4-4. その他の水位センサ

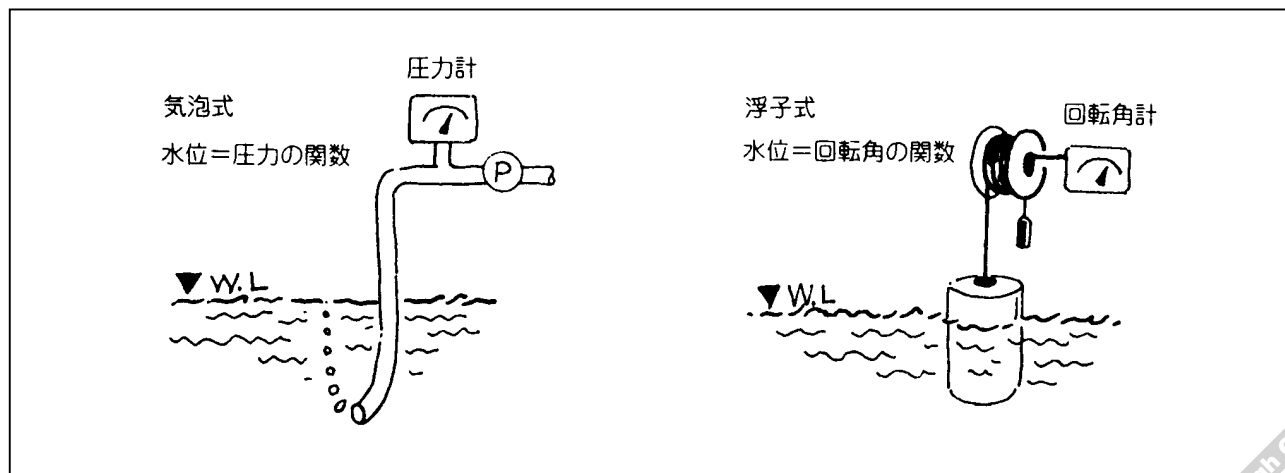
超音波式と圧力式以外にも、次のような水位センサがあります。

- (12) 気泡式水位センサ：米国では超音波式・圧力式と並んでポピュラーな水位センサです。原理は、ストローで息を水の中に吹き出そうとするとき、ストローの先までの水深が深ければ深いほど息を入れる力(圧力)が必要で、この圧力と水位とが比例することを利用したものです。金魚水槽のポンプのようなもので少しずつ空気を入れながら抜けるときの圧力を圧力計

で検知し、水深に換算します。

- (13) 電波式水位センサ：マイクロ波を、周波数を換えながら水面に放射すると、反射波との周波数差が液面までの距離に比例すること利用したもの。超音波では困難な厚密な泡の下にある水面を検知でき、超音波式に比べ精度が高いといわれていますが、電波管理の問題があってメーカーと相談する必要があります。
- (14) 浮子式水位センサ：水位センサとしてはもっともポピュラーなもの。水面の上下に追従する浮子と物理的に連動するプーリーの回転角から水位に換算します。汚物が浮子に付着すると誤差になるので、どちらかというと清水向けで、流水の水位測定ではウェル（測定用水槽）を必要とします。
- (15) 静電容量式水位センサ：水の中に2つの電極を漬けて水位変動による電極間の静電容量の変化から水位に換算するもの。電極の形状に流量演算機能を持たせたものもあり、このタイプでは静電容量から直接、流量を計算することができます。汚物が電極に付着すると誤差になるので、どちらかというと清水向けです。
- (16) 触針式水位センサ：2電極式と1電極式があります。2電極式は長短の電極間に水位がくるようにセンサの上下を制御する方法で、また1電極式は液面検知と同時に電極を浮かせ、間欠的にセンサを下げる動作を組み合わせる方法で水面に追従させます。2電極式は主として河川の水位測定に用いられます。1電極式は下水用ですが汚物が触針の先に付くことがあって、最近ではほとんど用いられることがなくなりました。

▼ 図 4.4 その他の水位センサ



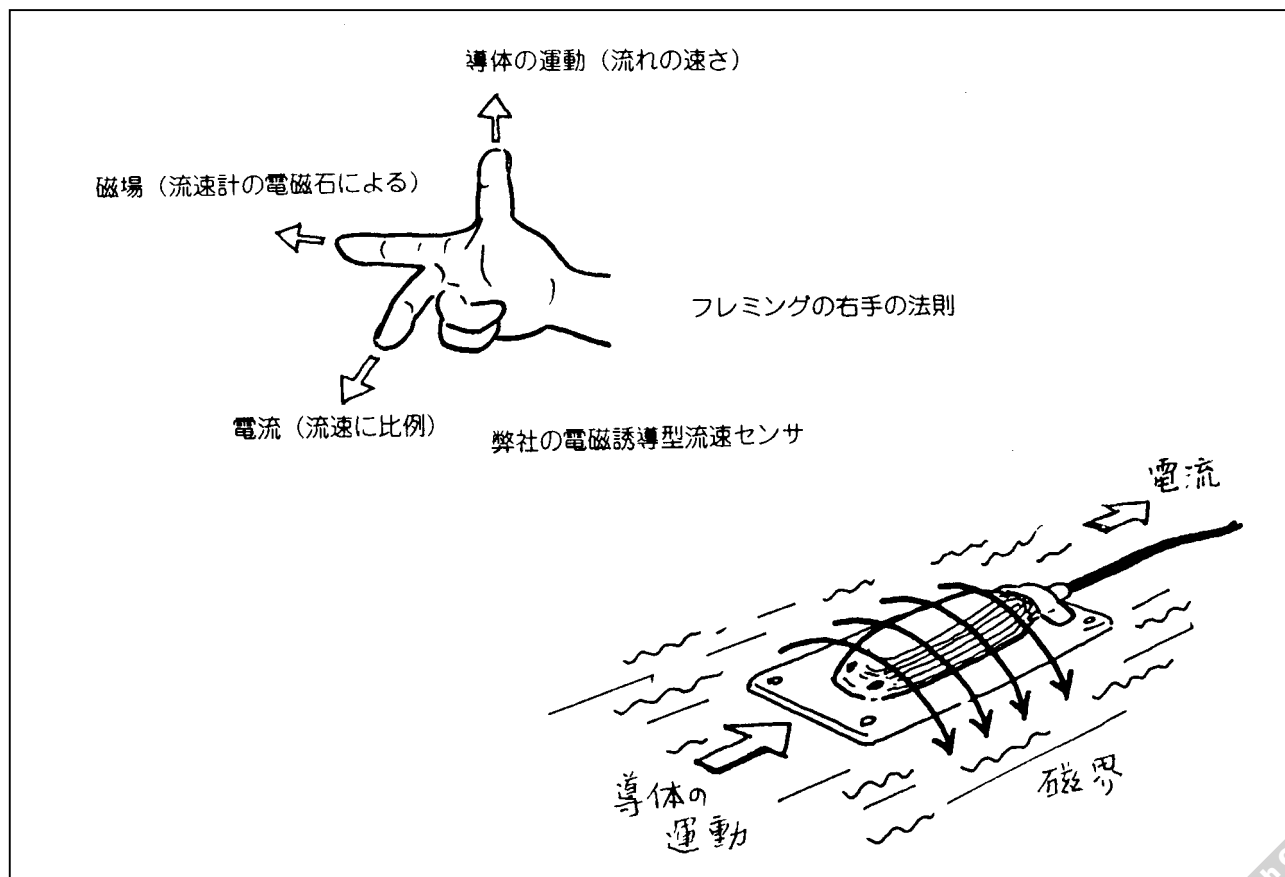
4-5. 電磁誘導式流速 センサ

管水路用流量計ではもっともポピュラーな、電磁流量計と同じ原理にもつ流速センサで、磁界を横切る流速に応じて起電力が生じる現象(ファラデーの法則)を利用して流速を検出します。流速の検出精度は高いのですが、センサに油膜がつくとゲインが低下するため、定期的なメンテを必要とするばあいがあります。また磁界に影響を与えるような障害、たとえば高压電線の真下や、センサのすぐ側を鉄筋が走る状況では計測が不安定になることを経験しています。

この方式ではセンサ周囲の流速を測るだけなので、流量計として用いるときは、平均流速への計算が必要です。

この方式には管内にセンサを設置する方式のほかに、管水路用流量をせき板に取り付け水中に設置する、潜水電磁式流量計タイプがあります。この方法は平均流速からみて精度が高いといえるのですが、上流側がせきあがるので場所的な制約を受けます。

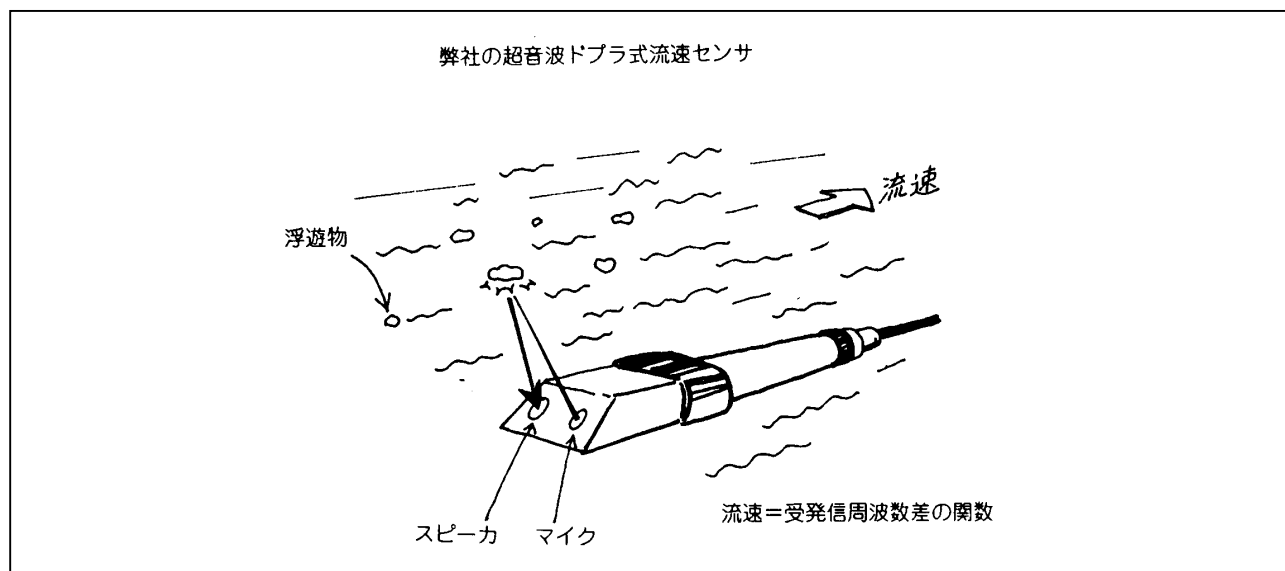
▼図 4.5 電磁誘導式流速センサ



4.センサを知ろう。

このほか、多方向の流速を測る方法や、平均流速と最大流速との高い相関をみて、最大流速を測る方法を用いた流量計が米国メーカーで発表されています。

▼図 4.5 超音波ドップラ式流速センサ



4-7.その他の流速センサ

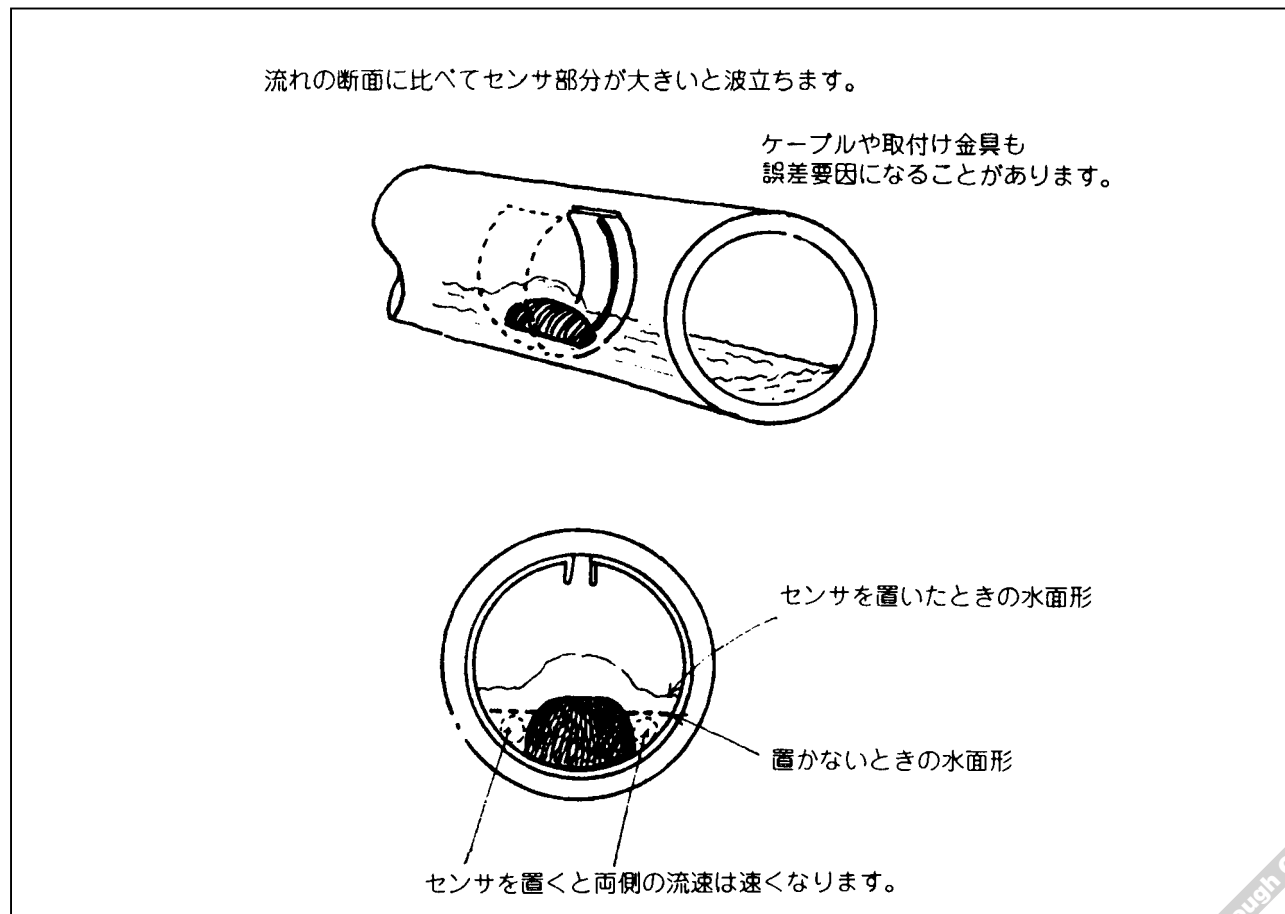
管水路流量計の応用として、開水路に丸い穴を空けた仕切り板(オリフィス)やベンチュリを置き、前後の水位差が流速に比例するのを利用した、差圧式流速センサがありますが、管路施設ではあまり用いられません。

4-8. センサが計測を 邪魔するケース

流量が少なく、流速が速いときに現場で観察するとよく判るのですが、流積に比べてセンサ断面の割合が大きいと、センサ周囲の流速が早くなり、水面が盛り上がり、センサ自体が流れの邪魔をして計測精度が確保できないケースがあります。またセンサばかりでなく、センサの固定金具やケーブルなども、流れを邪魔することがあって、小口径管の流量計測では大きな誤差になります。管路施設が大規模であれば無視できることでも、小規模施設ではセンサや周辺機器が流れを邪魔しないように充分注意して計測する必要があることも少なくありません。

このような理由で、小口径管で深夜流量のように微量な流量を測定しようとするばあい、できるならばセンサは流積断面に影響を与えない空中型が望ましく、そうなると平均流速を測ることが困難になるので、測らなくて良いセキやフリューム式流量計のほうが精度を保てる可能性が高いという、実感を持っています。

▼図 4.6 センサの大きさによる影響



5. 平均流速のお話

5-1.平均流速のイメージを造ろう

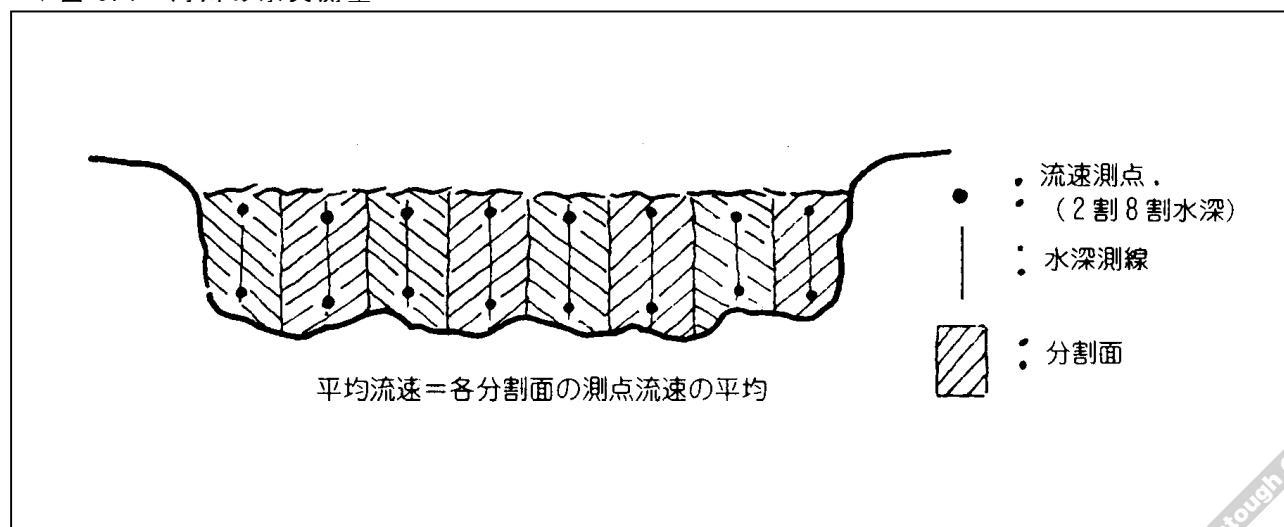
平均流速が簡単に測れるならば、流量計測は簡単です。調査の現場ではいつもこのことで思い悩みます。社内教育でも、「いま測っている流速と平均流速や流速分布との関係が現場でイメージできれば、流量を測る調査マンとしては、一人前である」と、つねに平均流速を念頭に置くよう指導しています。

平均流速の精度を得るためには、水断面の流速をくまなく測れば、良いように思いますが、水深(流速分布)の変化がほとんどないケースではともかく、測定対象そのものが時間的に変化するばあい、流速分布を測っている間に水深(流速分布)が変化しては何を測っているのか分からなくなってしまいます。

5-2.河川の水文測量

河川の水文測量などでは、全断面の流速は物理的に測ることが困難なので、水断面を垂直に等間隔で分割し、各断面2割8割水深の2点流速(または6割水深の1点流速)を計測して各断面の平均流速を計算し、さらに全体の平均流速を計算して流量を計算しています。しかしこの方法は流量(水深と平均流速)を連続的に測定するものではありません。そこで色々な水深時にこの方法で流量を計算して、水深ー流量の検量線を作り、水位の連続計測から流量計測を行います。

▼図 5.1 河川の水文測量



5-3.水位－流速式流量計の問題

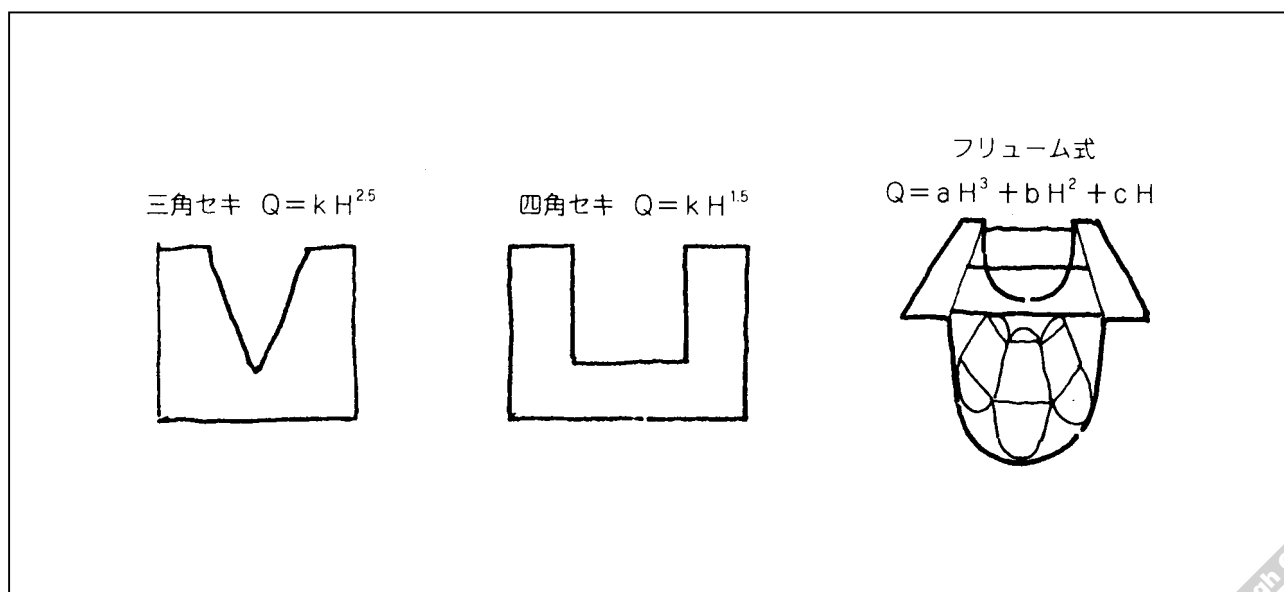
水位流速式とか面速式といわれる流量計でも測定流速と平均流速との関連づけが永遠のテーマといえそうです。弊社で開発した面速式流量計でも実験水路では結構良い精度が確認されるのですが、実際に現場で設置してみると、設置箇所周囲の水理条件によって精度をなかなか保てないのが現状です。特に滞流量になっているケースや流速が1～2 cm/s以下の遅いケースでは、流速分布そのものが様々に変化して方法の如何を問わず、目的精度を出すことは極めて困難であるといわざるを得ません。

5-4.セキやフリュームの利点

セキやフリューム式の流量計は、設置の手間はともかく、流速を測らなくて良いという点ではとってもやさしい流量計です。流速を測らなくても精度よく流量を測れるなら、それに越したことはないのです。計測ファクターが水位と流速の2つから、水位の1つに減ることも、精度や信頼性において望ましい方向であるといえます。

ただし実際的な設置条件には気を配る必要があります。それは上下流条件もさることながら、せきやフリュームの越流部分が上流から押しってくる状態になっていないかどうかを現場で具体的に確認しておかないと、実験精度を確保できないことがあります。

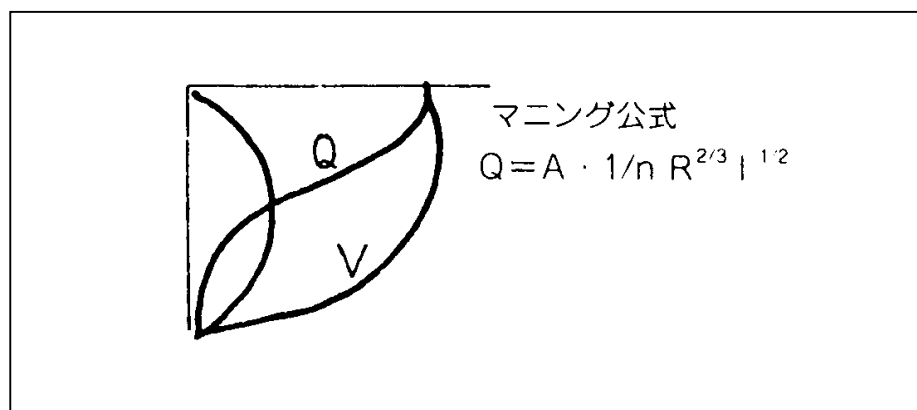
▼ 図 5.2 セキやフリュームの計算式



5-5.平均流速公式の 利用

平均流速公式を利用して、水位から平均流速を計算する方法もあります。実際に流速を測らなくて済みますから、この方法は手軽なのですが、ただし後述するように流量計に要求されるレベルの精度からは程遠いことも散見されるので、適用に当たっては注意が必要です。

▼図 5.3 平均流速公式



5-6.平均流速は難しい

いずれにせよ平均流速を測ることは難しく、このことに関してつぎのような実感をもっています。

- (17) 常に水位が変化するような開水路における、点流速や線流速から平均流速を計算するのは、理論はともかく実際は難しいことが多い。
- (18) 特に大規模水路や流速が非常に遅いときは、1点の流速から平均流速を計算することはほとんど不可能である。
- (19) 平均流速公式をそのまま利用する方法は、管路の勾配変化、付着堆積物の状態、粗度係数が実際は水位によって変化することなどから、流量計の精度を保つことは難しい。
- (20) 検量線による法(予め水位－流量曲線を準備調査結果に基づいて作成し水位の連続測定から流量を計算する)は、準備調査で測った水位の範囲でしか流量精度を保つことは難しい。
- (21) できるならば平均流速を測らない方法で流量を計測することが望ましい。

6. せき式流量計

6-1.せきの原理

下図のような施設で、水を溜めて溢れ口から水を排出させたばあい、溢れ口に向かって押してくるような流速がなければ、水位と流量の間に、次のような関係があることを容易に想像することができます。

(22) 流量が増えるにつれて、水位も増加しそうだ。

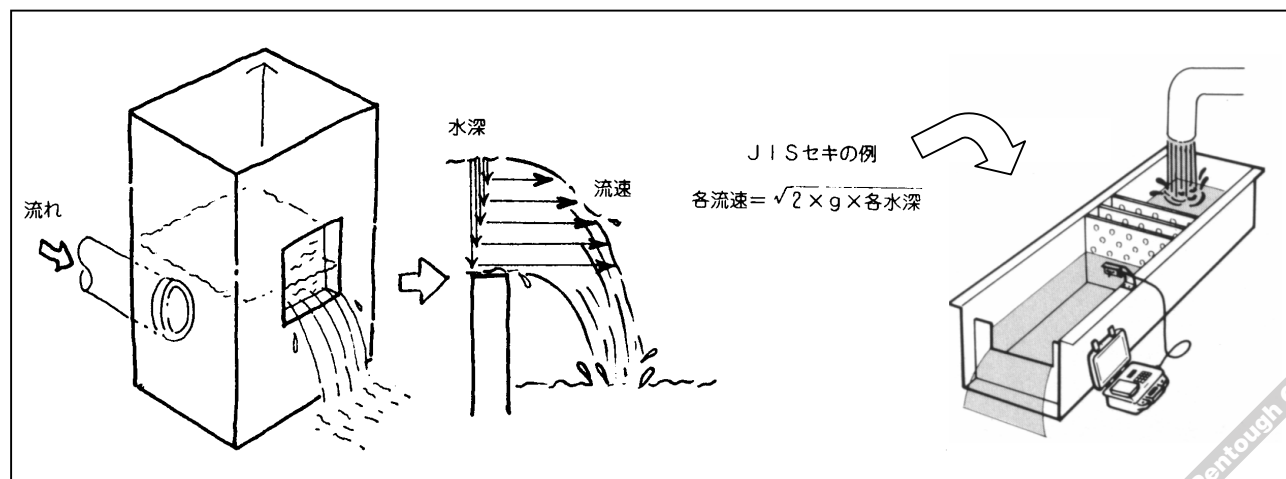
(23) あるひとつの水位のときには、ひとつの流量が対応しそうだ。

(24) したがって水位と流量の関係が分かれば、平均流速をいちいち測らなくても、水位計測から流量を測定できそうだ。

せきとは、水路の途中や水槽の溢れ口に設けられた板のことです。せきを用いるとせきを溢れる水の高さや平均流速の関係が、ほぼ一義的に決まってくるので、この越流水深を計測して流量に計算しています。流量計算の理論はそれほど難しくないのですが、実際には越流時の水頭損失や側壁面および切り欠き深さの影響があるため、多くの実験を元に、JIS規格で計算式を定めています。

流量計としてはJIS規格にあるような計測箱を作って計測することが望ましいといえます。しかし下水などでは汚物による影響があつて、整流板などを設けることができないために、JISに準ずる形で、別の計算式で計算することもあります。ただしどのような式を用いても実際に計測する場合は、せきの機能を損なわないようにすることと、せきの設置が上流に及ぼす影響を考慮しておく必要があります。

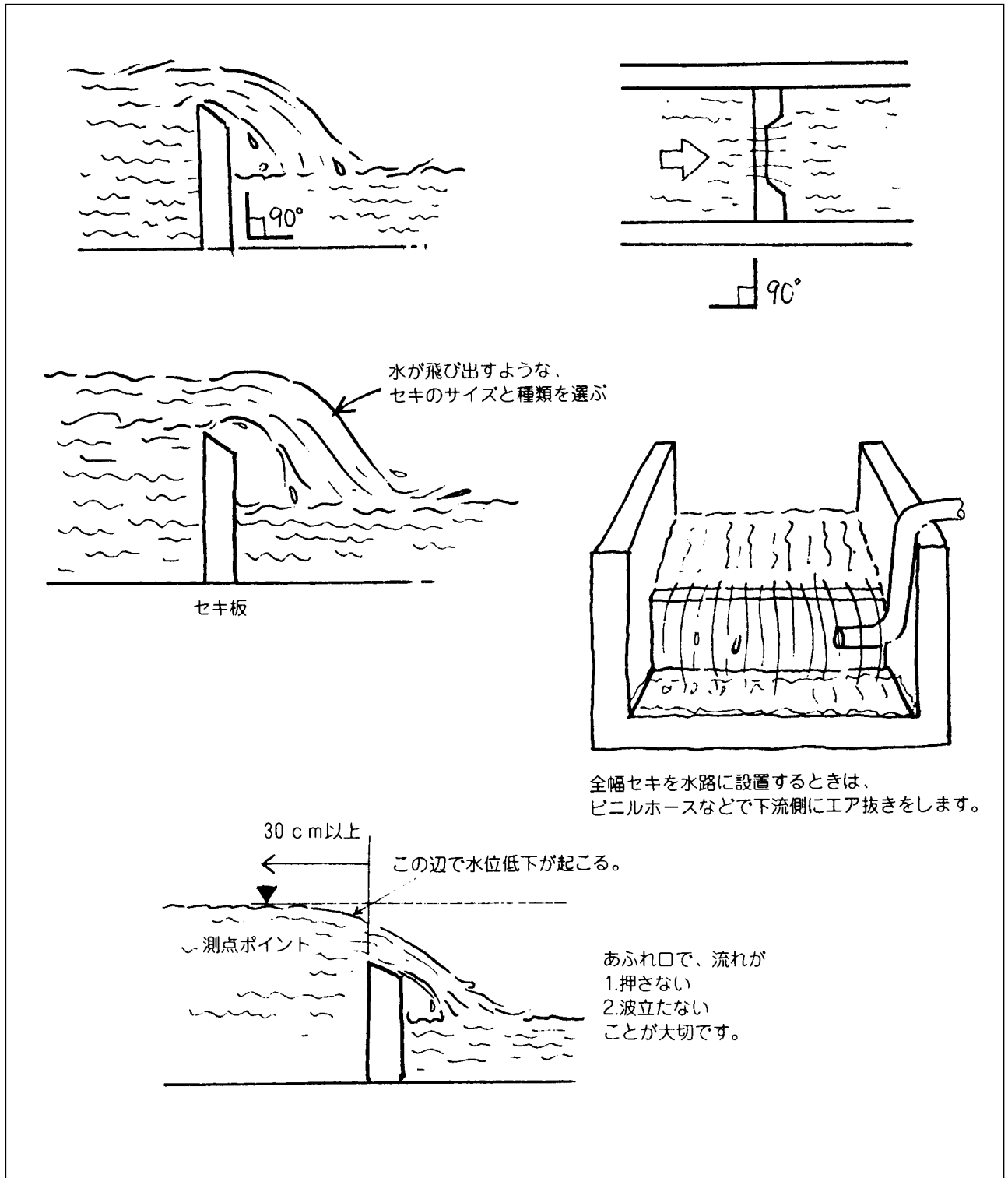
▼図 6.1 せきの原理



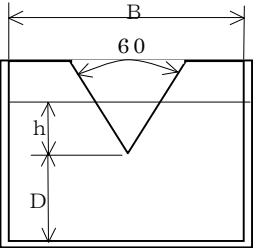
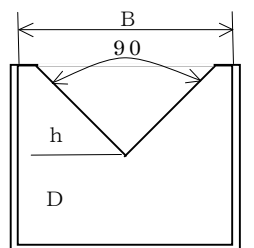
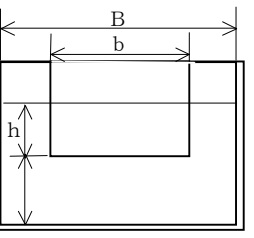
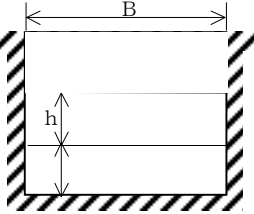
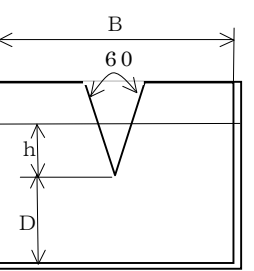
が多いので、四角せきを三角せきにしたり、全幅せきではせき板下流側に空気抜き用のビニルパイプを仮設したりします。

- (27) 押してくる流速の影響をできる限り小さくするために、切欠き深さを四角せきで 15cm 以上、全幅せきで 30cm 以上にする必要があります
- (28) 切り欠きが下流側（即ちせき設置前）の最高水位より十分高くなければ（経験的には 15cm 以上高いのが望ましい）、流量が多いときにせきが水中に潜ります。
- (29) 四角せきでは、側壁から壁に近い切り欠きまでの間に十分な幅（経験的には越流最高水位の 150% 以上）がなくては、四角せきの状態にならないため誤差が大きくなります。
- (30) 上流側がせき上がるため、思わぬ箇所で冠水することがあります。切欠き高さ、越流水深を考慮して上流側への影響を考慮します。
- (31) 下水などの汚水では、堆積物がせき板の上流側に溜まることが多く頻繁に汲み出さないと精度を保てません。またスカムなどが三角せきの切欠き部分に引っかかることがありますから、注意が必要です。
- (32) せきは一種の貯水施設なので、収集した流量データは生の流入データよりも平均化されたデータになります。逆にフリュームなどに比べ貯水能力が高い分、接近流速の影響を切りやすくフリュームでは困難な管勾配の流量を測定できることがあります。
- (33) 切欠き付近では、水位が低下するので切欠き上の水深を測ってはいけません。測定水位は切欠き高さを基準とした水位でせき板上流側 30cm のところで行うことを標準としていますが、それが困難なばあいは、水跡から判断して可能な位置で測ります。波立ちは水位計測の誤差になるので、整流板が無理でも邪魔板の設置が可能ならば取り付けると良いでしょう。

▼図 6.2 せきの設置要領



▼図 6.3 せきの規格と流量表

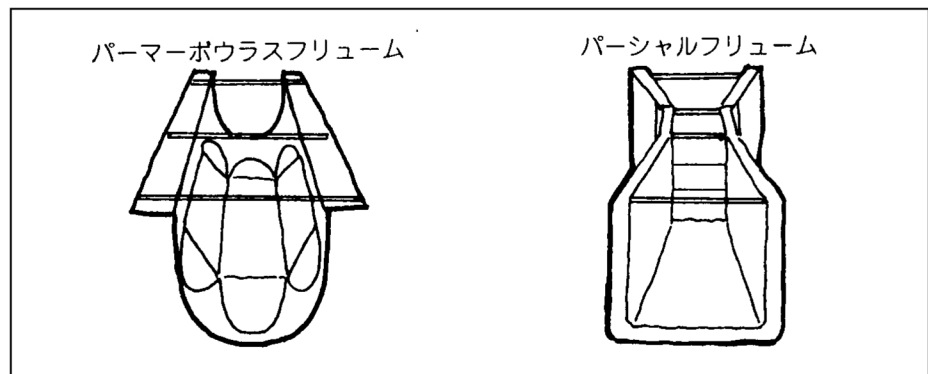
		JIS B8302		JIS K0094
		流量式	適用範囲	流量式
60度三角せき		$Q = 0.577Kh^{5/2}$ $K = 83 + \frac{1.978}{BR^{1/2}}$ R: (B = 水路の幅m) $0.1h\sqrt{\frac{h}{\nu}}$	$B = 0.44 \sim 1.00 \text{ mm}$ $h = 0.04 \sim 0.12 \text{ mm}$ $D = 0.10 \sim 0.13 \text{ mm}$	
直角三角せき		$Q = Kh^{5/2}$ $K = 81.2 + \frac{0.24}{h} + \left(8.4 + \frac{12}{\sqrt{D}} \right) \left(\frac{h}{B} - 0.09 \right)^2$	$B = 0.50 \sim 1.20 \text{ m}$ $D = 0.10 \sim 0.75 \text{ m}$ $h = 0.07 \sim 0.26 \text{ m}$ $h = \frac{B}{3}$ 以下	$Q = 1.401 \times h^{5/2} \times 60$ トムソンの公式
四角せき		$Q = Kbh^{3/2}$ $K = 107.1 + \frac{0.177}{h} + 14.2 \frac{h}{D} - 25.7 \sqrt{\frac{(B-b)h}{DB}} + 2.04 \sqrt{\frac{B}{D}}$	$B = 0.50 \sim 6.30 \text{ m}$ $b = 0.15 \sim 5.00 \text{ m}$ $D = 0.15 \sim 3.50 \text{ m}$ $\frac{bD}{B^2} \geq 0.06$ $h = 0.03 \sim 0.45\sqrt{bm}$	$Q = 1.838(b - 0.2h)h^{3/2} \times 60$ フランスの公式
全幅堰		$Q = KBh^{3/2}$ $K = 107.1 + \left(\frac{0.177}{h} + 14.2 \frac{h}{D} \right) (1 + \epsilon)$ Dが1m以下の場合 $\epsilon = 0$ Dが1m以上の場合 $\epsilon = 0.55(D-1)$	$B \geq 0.50 \text{ m}$ $D = 0.30 \sim 2.50 \text{ m}$ $h = 0.03 \sim D \text{ m}$ (ただし、 h は 0.8m 以下でかつ $B/4$ 以下とする)	$Q = 1.838 \times B \cdot h^{3/2} \times 60$ フランスの公式
備考	Q: 流量 (m ³ /min) h: 堰の水位 (m) K: 流量係数 B: 水路の幅 (m) b: 四角堰切欠の幅 (m) D: 水路底面より堰下縁 (m) V: 動粘性係数 = 0.01 cm ² /sec		設置現場の都合上 JIS B8302 の流量公式適用範囲を超えた場合は、JIS K0094 の流量公式により流量-水位を求める。	
30度三角せき		流量公式	適用範囲	発表者
		$Q = \frac{2\sqrt{2g}}{3} C_d B H^{\frac{5}{2}} = CH^{\frac{5}{2}}$	$\theta = 30^\circ$	渡辺 (1933)
		流量係数 C		

7. フリューム式流量計

7-1. フリュームの特徴

せき式流量計の欠点は、せき上がりによる上流側への影響と、汚水では汚物が溜まって維持管理が大変であるということです。これを解決するひとつの方法として考えられたのがフリユーム式流量計です。これは管水路のベンチュリ式流量計の開水路への応用で、日本では有名なものとして、主として処理施設の流入渠で用いられるパーシャルフリユームと、下水の人孔で管渠の流量を計測するために開発されたパーマーボウラス(PB)フリユームとがあります。

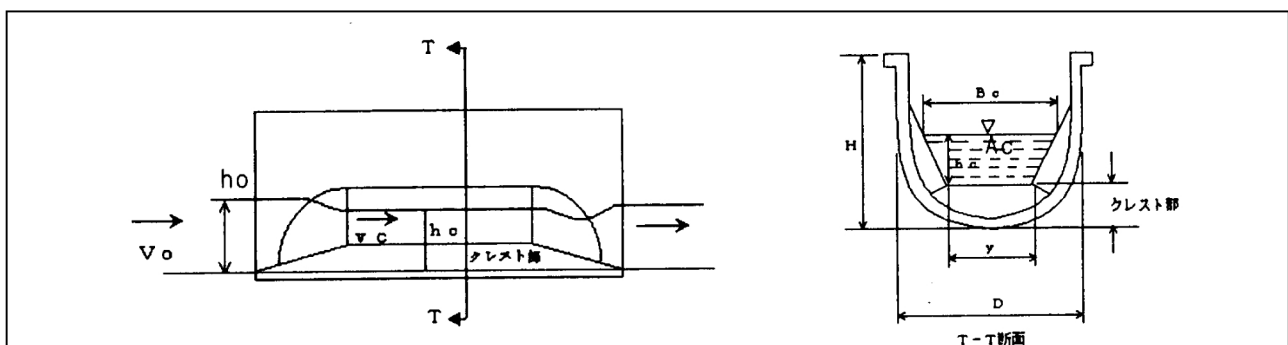
▼図 7.1 フリューム式流量計



7-2. フリュームの原理

原理はせき式と似ており、せきが水を溜めることによって下流の影響を切り、水深に対応する重力の加速度を利用して平均流速を計算したのに対して、フリユームは水路の途中を絞って、下流の影響を少なくし、似たような原理(詳細は巻末の計測原理参照)で越流水深から流量を測定しています。

▼図 7.2 フリュームの原理



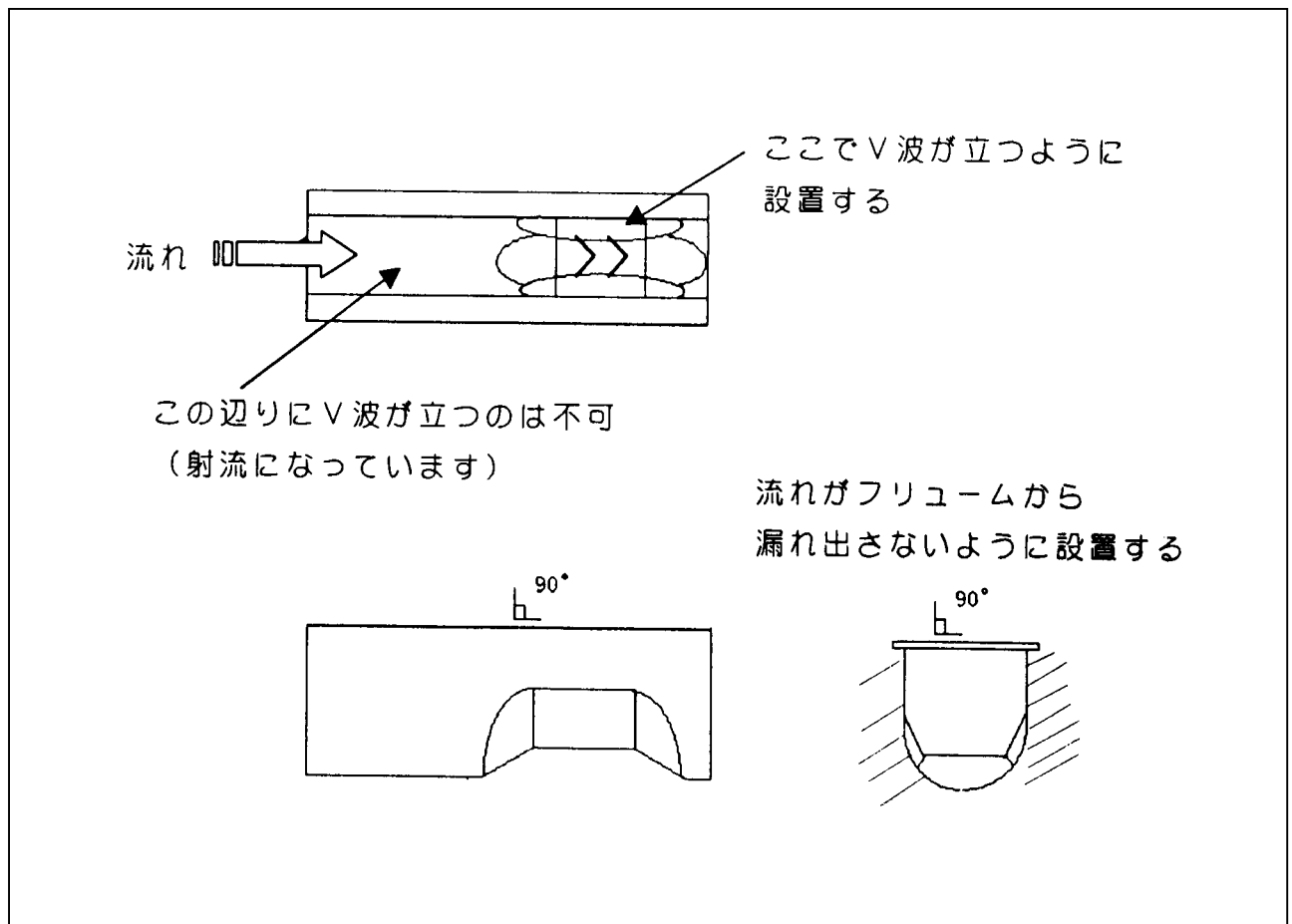
限界水深 h_c のとき、次式で表されるので、ベルヌーイの定理を用いてトライ&エラーで Q_c に対応する測点水深 h_0 を計算しています。

$$Q_c = \sqrt{\frac{A_c^3}{B_c}} g$$

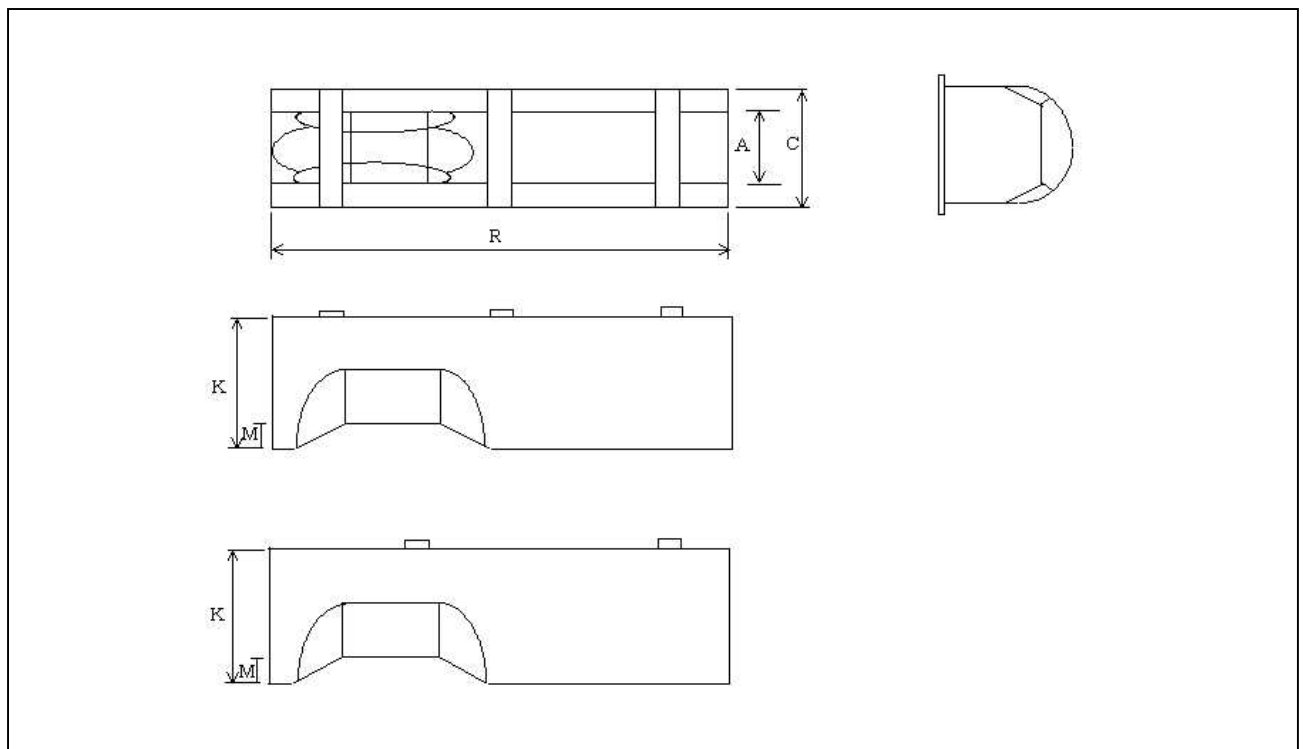
7-3.P B フリュームの 設置要領

- (34) フリュームは水平かつ原則として流れに並行に置き、流れの全てがフリューム内を通過するように設置します。また原則として上流側にフリューム径の10倍以上の下流側に5倍以上の直線流入長さを確保します。(下流側はバックがなければ流量計測精度にそれほど影響しません)
- (35) せきに比べて水路断面をさえぎる程度がわずかで、上流側へのせき上げも少ないので水路の流量計測に優れ、とくに小規模の汚水路における流量計測に適しています。
- (36) 逆にせきに比べると上流側の影響を受けやすく、射流状態の水路では設置することができません。P B フリュームでは水路勾配にすると10~20%位が限度になります。勾配が急になると上流側の流れがフリュームをつき抜けるような現象を生じます。正常なときは絞った部分だけにV字型の波が立ちます。
- (37) 流量が少ないことが続くと上流側に堆積を生じて、計測精度が悪くなります。このようなケースではフリュームのサイズを管径ではなくて、流量を精度良く測れる範囲にサイズダウンします。フリュームサイズの目安は予想平均流量の3倍程度にします。
- (38) 滞留箇所での測定は困難です。下流側水位が上流側水位の85%以上になるとうまく計測できなくなります。またゼロ流量時に下流側の水位が絞り部分鞍部(クレストといいます)の高さ以上になっても測定が困難になるので、フリュームを嵩上げするか、設置箇所を上流へ移動させます。
- (39) フリュームには様々な形状があり、鞍部が低いものは幹線下水道などの常時一定以上の流量が確保されケースに適し、鞍部の高いものは微少流量を比較的精度良く安定して測れるので小口径管用といえます。

▼図 7.3 PB フリュームの設置要領

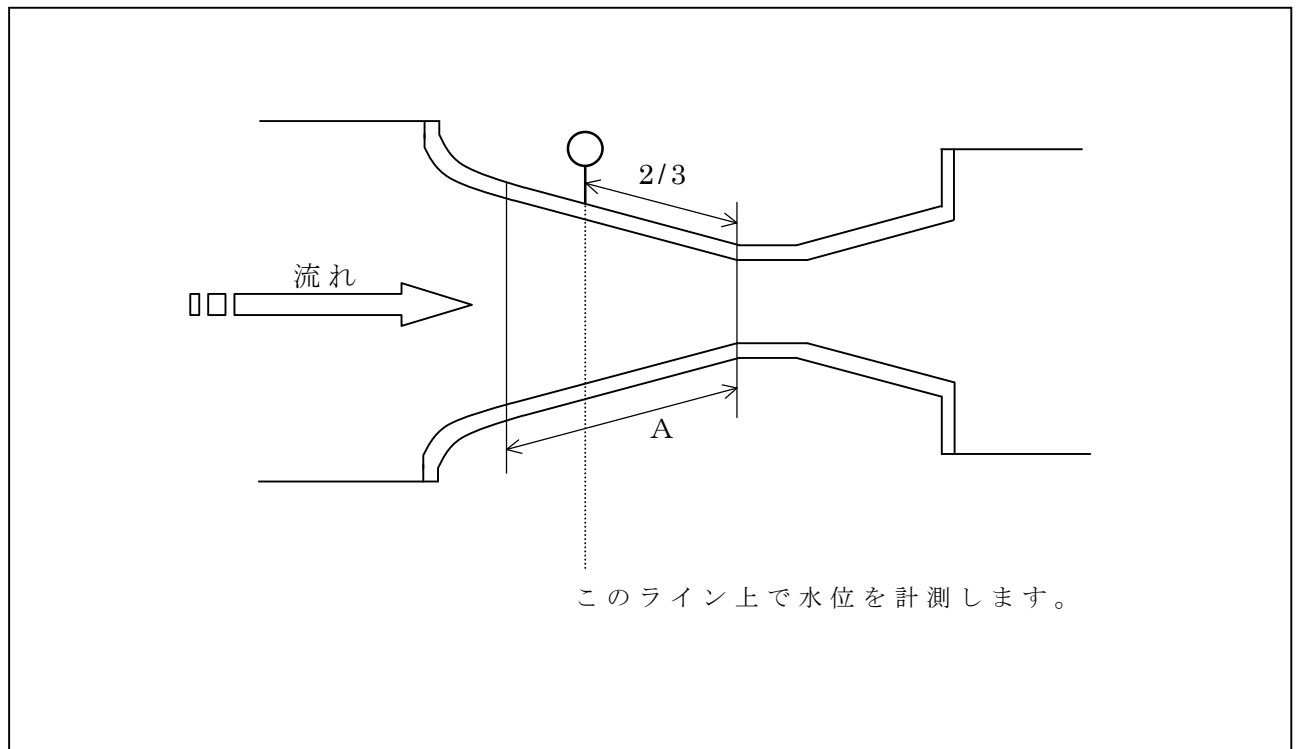


▼ 図 7.4 P B フリュームの規格と流量表



フリユーム サイズ	最大 流量	最大 水位	主要寸法 (mm)					流量式 $Q=ah^3+bh^2+ch$ (h : 水位)		
	m ³ /hr	mm	A	C	K	M	R	a	b	c
75	6.2	58	75	175	125	12.5	750	-4.05353E-06	2.07936E-03	4.03632E-04
100	13.0	78	100	200	150	16.7	750	-3.15999E-06	2.35148E-03	2.16779E-03
150	27.3	105	135	235	185	22.5	580	-2.30862E-06	2.66089E-03	6.09433E-03
200	59.3	143	185	385	235	30.8	780	-1.56191E-06	3.02380E-03	1.42050E-02
250	108.2	182	235	335	285	39.2	800	-1.07495E-06	3.32468E-03	2.52302E-02
							980			
300	173.9	220	284	384	334	47.3	930	-7.91366E-07	3.59660E-03	3.75025E-02
							1050			
							1176			
350	259.4	258	334	434	384	55.7	1050	-9.29225E-07	3.97392E-03	4.19037E-02
							1200			
							1376			
400	362.8	295	382	492	437	63.7	1080	-5.59683E-07	4.12063E-03	6.30783E-02
							1200			
							1350			
							1588			
450	498.0	334	732	542	487	72.0	1788	6.47348E-07	3.87920E-03	1.23061E-01
500	648.5	372	482	592	537	80.3	1988	-3.41222E-07	4.54868E-03	9.83116E-02
600	1038.5	449	582	692	637	97.0	2388	-2.21726E-07	4.94471E-03	1.37521E-01
700	1549.2	527	682	792	737	113.7	2788	-1.34140E-07	5.30333E-03	1.81986E-01
800	2179.8	604	782	892	837	130.3	3188	-7.44854E-08	5.63859E-03	2.30421E-01

▼図 7.5 パーシャルフリュームの規格と流量



Q (m ³ /hr) = K H ^a (H : mm)		
W (スロート幅)	K	a
3 in (7.62 cm)	1.9476	1.547
6 in (15.24 cm)	1.3647	1.580
9 in (22.86 cm)	1.6776	1.530
1 ~ 8 ft (30.48 cm)	$\frac{13.3776W}{116.6W^{0.026}}$	$1.393W^{0.026}$

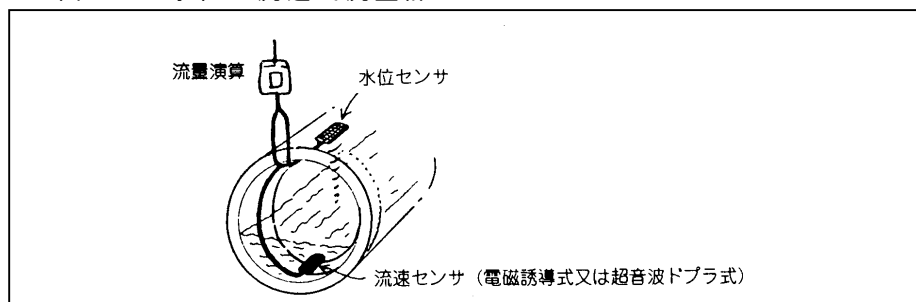
8. 水位－流速式 流量計

8-1.測定原理

この方式では、水位センサと流速センサを水路に設置して、測定水位から流積を、また測定流速から平均流速に変換して流量を計算します。センサには一体型と分離型がありますが、設置要領は同じです。

流積は水路形状が既知であれば水位から簡単に計算できます。しかし平均流速は流速分布が安定しなければ計算が困難です。水断面すべての流速を測って平均すれば良いと考えるのですが物理的に困難なことが多く、特定位置の流速から水理計算や周波数分析で平均流速を計算する方法が一般的です。

▼図 8.1 水位－流速式流量計



センサ周囲の流速を検出する方法では、通常、管底付近に流速センサを固定して流速データを読み取り、水理学の対数法則(粗な壁をもつ開水路の乱流では、水中の任意の高さにおける流速を径深と粗度係数を含んだ対数式で計算できる)を利用して、点または線流速と平均流速との関係を管径－水深比や水路幅－水深比で求め、平均流速を計算します。実際には水路実験によって式を補正する方法で流量計に用います。ただし対象水路と実験水路とでは水理条件が異なることも多く、常に予想精度が確保できるとは限らないのが現状です。

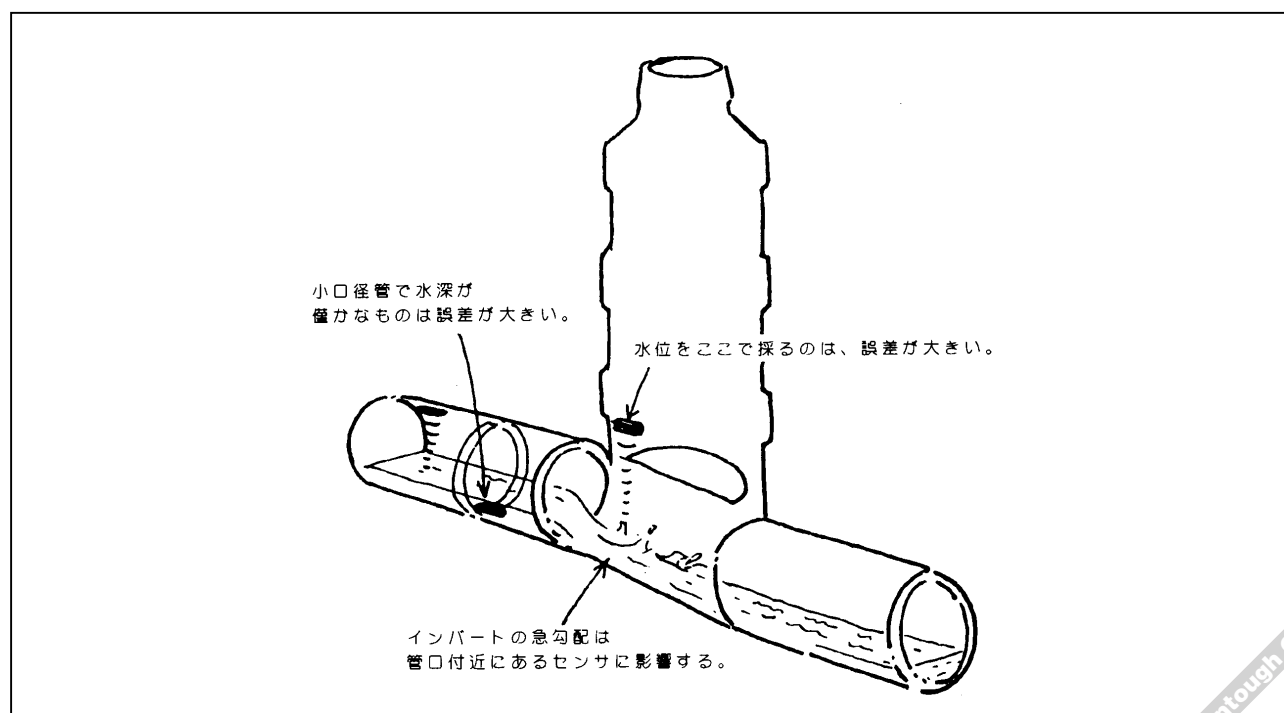
また水路をそのまま利用するので、管径に比して水深が小さいばあいは付着堆積物の影響を受けやすいので注意が必要です。

このように点流速や線流速から平均流速を計算する方法は、実用精度上の問題を指摘されることもあって、より高い次元でこの問題を解決するために、ゾーンの平均流速を測る機能を持ったセンサや、最大流速を測って平均流速に計算するセンサ、多方向の流速を測って平均流速に計算するセンサなどが、開発されています。

8-2.水位－流速式流量計の設置要領

- (40) 小口径管の流量測定ではセンサ自身が流積に大きな影響を与えることがあります。とくに深夜流量を精度良く測りたいケースなどではセンサ自身の物理的な影響に考慮してください。
- (41) 管渠に流量測定では、人孔内上流管口付近に設置することが多いのですが下流のインバート勾配が急になっているケースや、合流などで滞留気味になって上流側に影響するケースで水理条件から精度が確保できないことがあります。
- (42) センサケーブルや取り付け金具に汚物が付着して流れに影響し、誤差になることがあります。できるだけ流れの邪魔にならないように取り付けます。
- (43) 大口径管渠で流速が遅いケースでは、ちょっとした水路形状の変化や、堆積物などの影響を受けて、流速が様々に変化して実験水路のように、等高線を描くような一様の流速分布にならないことが多く、点や線流速から平均流速を測ることは非常に困難であり、実測上の補正を必要とします。
- (44) 雨水管渠や河川では、渇水時に水嵩が非常に下がる場合があります。センサの設置は見込める最小流量以下の水深に設置します。

▼図 8.2 水位－流速式流量計の設置要領図



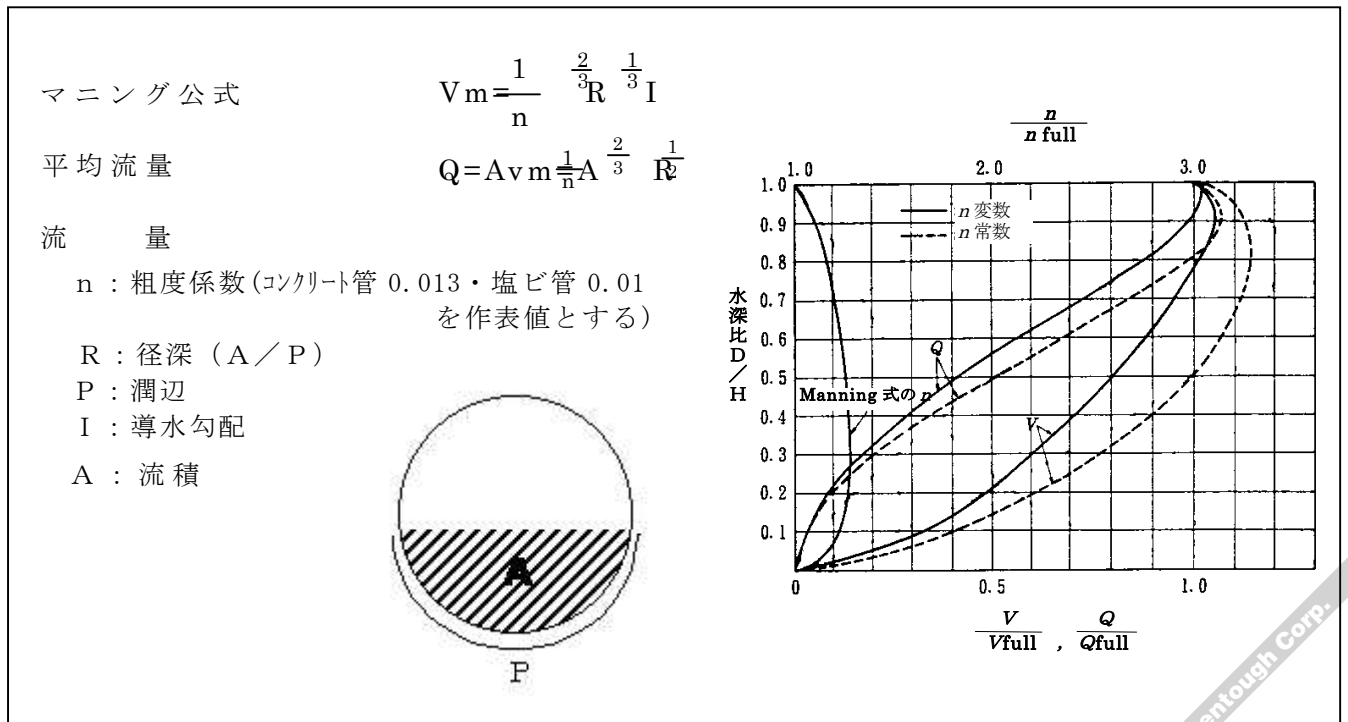
9. 上手に Manning 公式を利用しよう

9-1. Manning 公式の適用

流量を簡単に測る方法として、Manning や ガンギレー・クッターの平均流速公式を利用する方法があります。これらの式は、粗度係数(大規模水路では実用上一定と見なす)・径深(水路形状が決まると計算できる水位の関数)・動水勾配(開水路では水路勾配と同じ)をもとに計算するため、水路勾配や粗度係数が既知の場合、平均流速は水位の関数となり、水位を計測するだけで平均流速から流量を計算することができます。ただしこれらの式は本来、便宜式であり、採用された歴史を見ても、粗度係数には様々な実験で得られた定数を用いてあって、流量計としての精度を求めた厳密な式ではないことに注意する必要があります。

実際、粗度係数を一定とみなす方法で、たとえば上下流の流量を計測し、区間流量を計算するとマイナス流量になることを、ときおり経験します。だから、できるなら、もともと厳密な意味で流量計測用に考えられた式ではない平均流速公式を使って、流量測定をするのは避け、使用する場合も精度について注意を払って上手に利用してください。

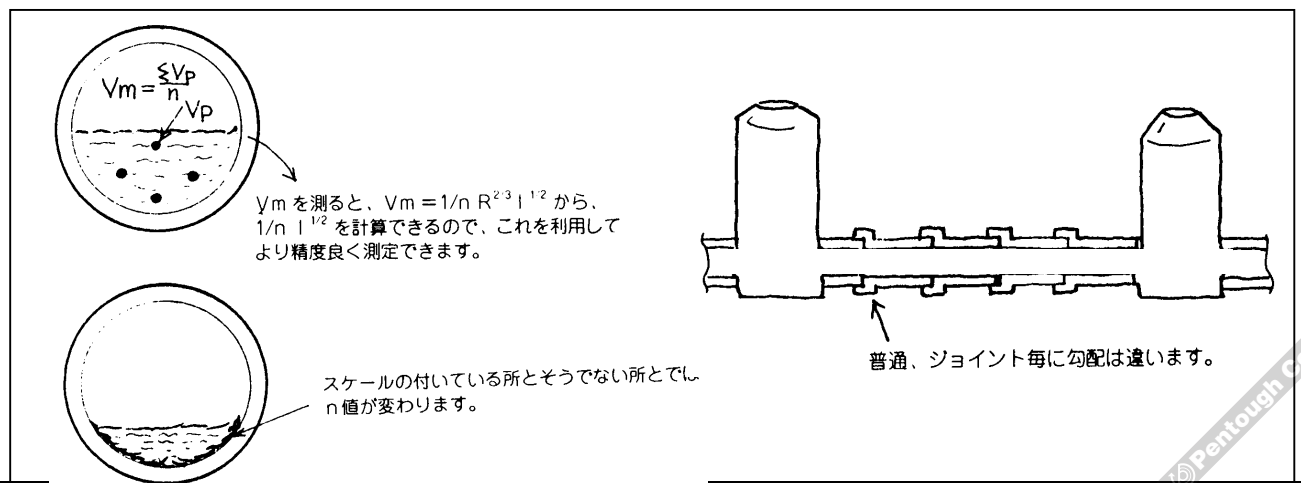
▼ 図 8.2 水位－流速式流量計の設置要領図



9-2.平均流速公式 を利用するとき の要点

- (45) 下水管渠(円管)の場合、粗度係数は管径－水深比によって30%近く変化しますので定数とみなして計算するときは、水深変化の少ない対象や、径深が常時50cm以上あるような水路を対象に選びます。(「下水道施設計画・設計指針と解説 前編－1994年度版－」図2-5円形管の特性曲線を参照。実際は管壁付着物などの影響でこのようにならないこともある)
- (46) 水路勾配や流速分布を実測し、計算した平均流速から逆に粗度・勾配係数($\sqrt{I/n}$)を計算して、これを何点かの水位で計算して補正すると、実用に耐える精度を確保できることがあります。円管のばあい、この実測補正と粗度係数を変数として流量計算するとより高い精度を確保することができます。
- (47) 下水管渠では、常時水面下にある場所にスケールが発生して、そうでないところと比べ、粗度に不連続な面を生じて、スケールの状態で粗度係数が変化します。
- (48) 管渠勾配はジョイント毎に変化しているのが普通で、人孔間の平均勾配を当てて、計算することは必ずしも正しいとは言えません。
- (49) 調査目的上もっとも精度を必要とする流量帯の流速分布を実測して、この値をもとに粗度・勾配係数を計算するのも、有効な調査方法です。このうえで、粗度計数を変数として扱うとより精度が確保できます。
- (50) 僅かな滞留でも測定誤差になり易いので、測点選びには注意してください。

▼図 8.3 平均流速公式を利用するときの要点



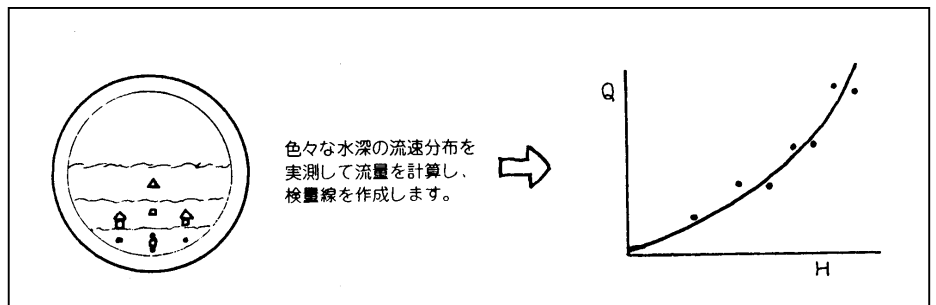
10. 最後の手段、水位－流量近似式の利用

10-1.ほかに方法が無いときは

費用のことも含んでほかに測る方法がうまく見つからないときは、水位－流量近似式の適用を検討します。この方法は河川の水文測量などで実際に行われており、流速分布を色々な水位で実測して平均流速を計算し、水位と流量の検量線を作って水位の連続測定から流量を計算します。

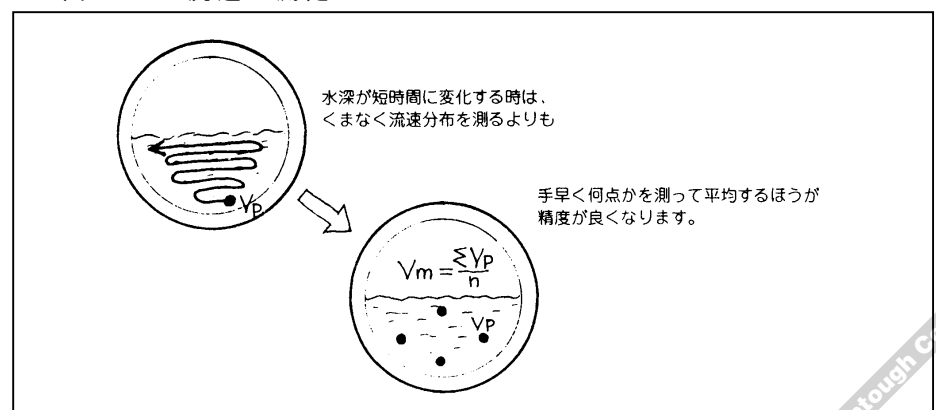
流速は、ポータブル型の電磁流速計などを使って測定し、特定水深比の流速または複数流速の平均が、平均流速と同等になることを利用して平均流量に計算します。

▼図 10.1 検量線の作成



河川や大規模な水路では、水断面を区分し、それぞれ特定水深の流速を何点か測って(2割8割水深の流速平均または6割水深の流速を区分断面の平均流速とすることが多い)、各区分断面の平均流速を計算して流量に計算します。全断面の流速をくまなく測って平均を取れば良さそうなものですが、手間が掛かり、水位が変化してしまえば何を測っているのか分からなくなってしまうので、通常この方法で測定して平均流速に計算します。

▼図 10.2 流速の測定



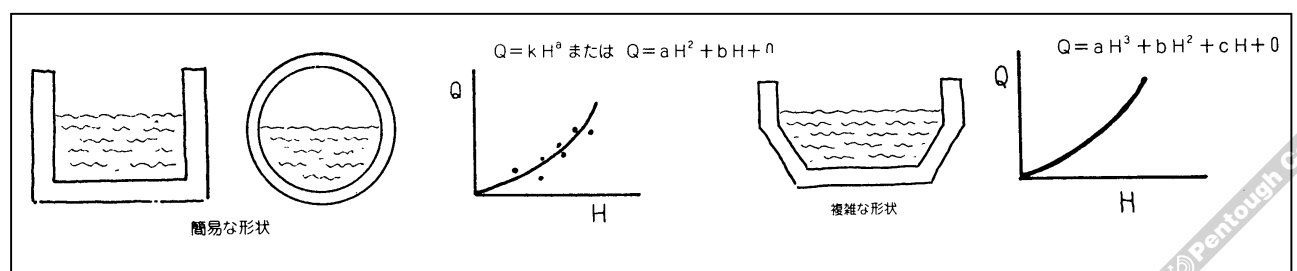
この方法の欠点は、流速分布の準備測定が面倒であり、流速分布の測定精度によって流量測定全体の精度が左右される不安定さをもっています。しかし滞留や逆流、波立ちやポンプ排水などで急激に流量が変化するような水路を除けば、他の方法では困難な箇所でも、それなりの精度で流量を測ることが可能です。

この方法の利点は、計測者が水路と水深、流速分布をイメージできることにあります。近似式の適用はエクセル(マイクロソフト社)などの表計算ソフトを利用すると、簡単にでき、水位、流速分布、平均流速、流量の関係がみえるこの方法は流量測定者の良いトレーニングにもなるでしょう。

10-2.水位－流量近似式の適用

- (52) 通常 40cm 水深までは 6 割水深の流速、それ以上は 2 割 8 割水深の流速平均を平均流速としますが、サイズや堆積の状態によって測点数を決めます。
- (53) 可能な限り高い水位まで流速分布を測ります。(準備測定データだけを信頼したばあい、測定精度が見込めるのは準備調査の水位－流速分布測定範囲に限定されます)
- (54) 回帰式には普通、べき乗式か、3 次ぐらいまでの多項式(Y 切片はゼロとします)を用います。
- (55) 水路の流速分布状況を十分観察して、流速分布が乱れているようであれば、できるだけ多測点の流速を測って平均流速を計算します。
- (56) 流量変化の激しいところでは、測点数をむしろ減らして水位変化に見合う範囲で 1 回分の流速分布測定が終わるように工夫します。
- (57) 必ずしも直線部分で計測できないことがあります。この時は流速分布を細かく測って精度を確保し

▼ 図 10.3 流速の測定



11. 精度のまえに目的あり

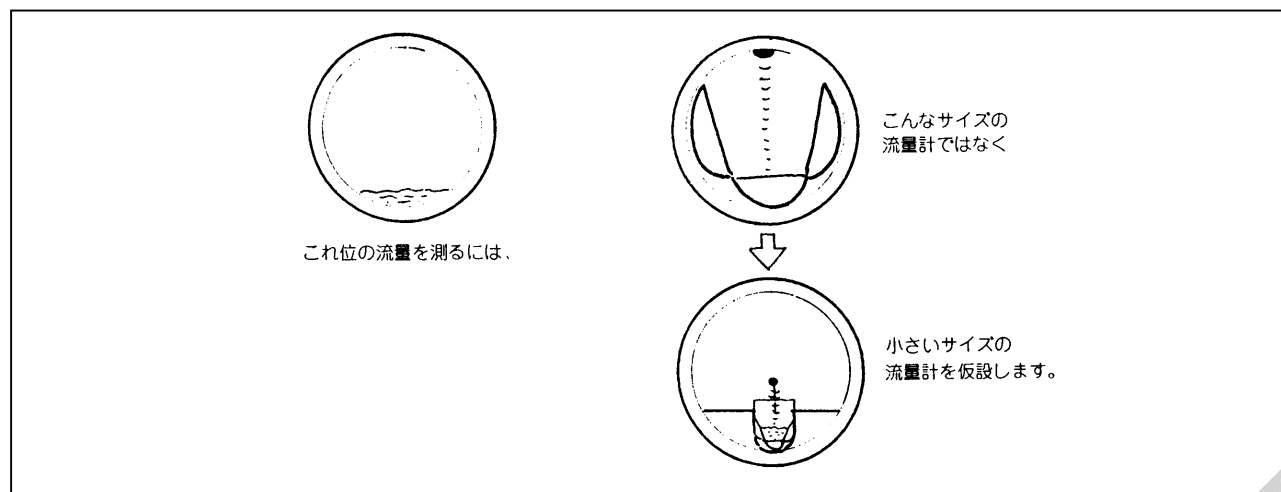
11-1. 実用精度について

流量計の善し悪しを、実験水路で得た流量精度をもって、比較しようとするのがよくあります。カタログ精度の比較です。しかし、開水路の流量計測では多くのばあい、既設水路の形状をそのまま利用して計測しなければならないことが多く、精度のある部分が現場条件に依存していることが非常に多いのです。開水路流量計の多くが JIS 化されていないのは、工場試験精度を現場で再現することが困難であることもひとつの理由であるといえましょう。

開水路では水位と、水位変化に対応する平均流速を測らなければならないので、管水路が流速だけの要素で流量計測できるの対し、計測要素が増える分、精度の確保がより難しいともいえます。したがって、ほかの条件さえ許せば、せきやフリュームのように流量計測を目的とした施設を利用し、計測要素を減らして計測するほうが全般的に望ましいといえます。

以前に流域下水道接続点の P B フリューム式流量計で流量精度が確保されないことが噂されたことがあります。調べてみるとフリュームサイズにくらべて計測時点の流量が非常に少なく、所定の精度が確保されていなかったのです。これも現場条件に左右されやすい開水路流量計の一つの特徴が現れたものといえなくもありません。対処としては、管路サイズより小サイズのフリュームを仮設したり、フリュームの絞り部分の形状を暫定的に縮めたりします。

▼ 図 11.1 実用精度について



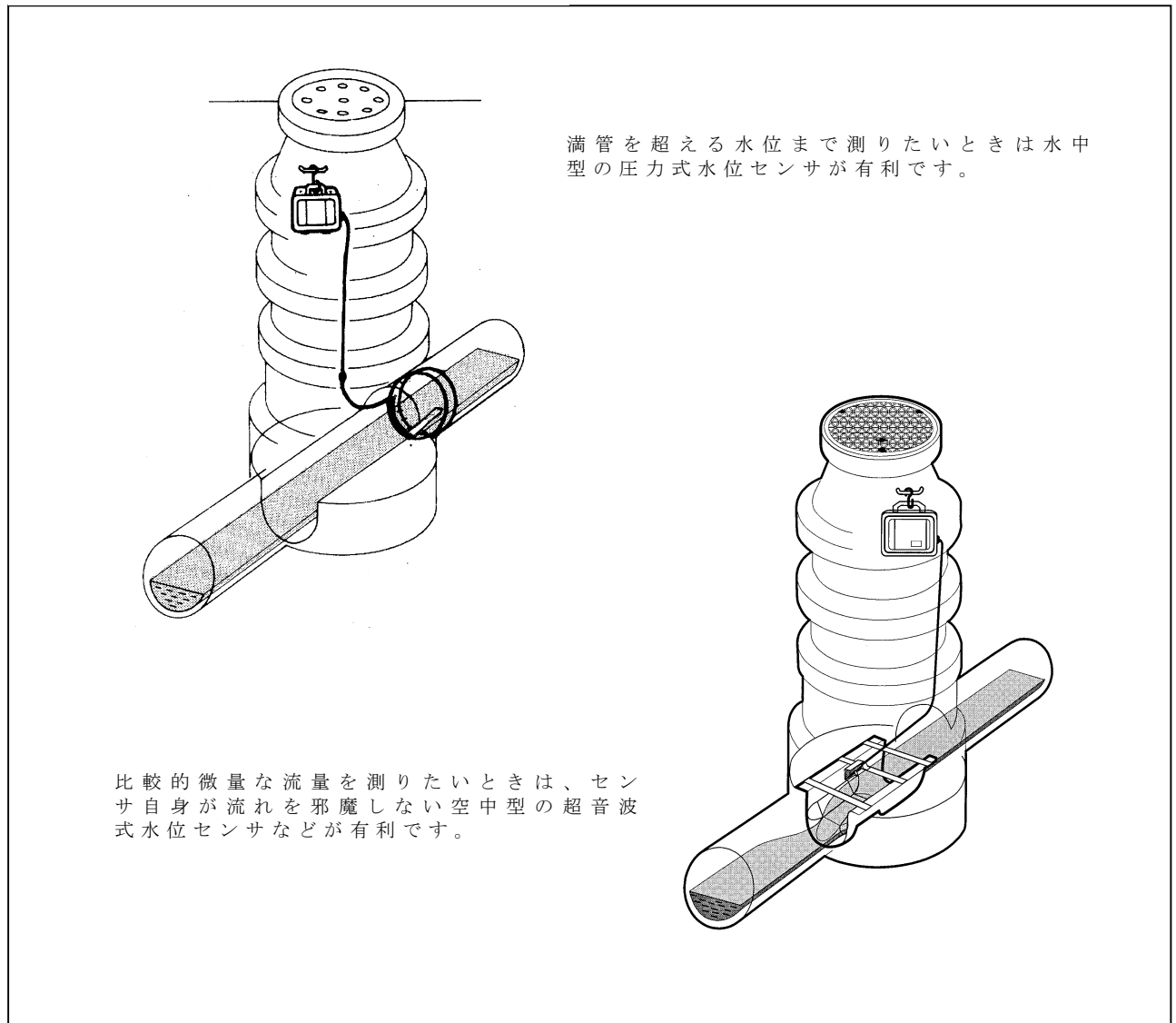
流量計の誤差は一般的にフルスケール誤差で表します。精度は方式や機種毎に異なり、平均的にはフルスケール精度で2～5%程度です。実際はもっと小さいことが多いのですが、この数字をそのまま鵜呑みにすれば、50%フルスケール量のときの誤差は4～10%、深夜量など10%フルスケール量のときの誤差は20～50%になって、目的とする精度は到底確保できません。また精度を保持できる流量計測範囲(流量比)は一般に1/20～1/30程度で、このことはフルスケールの3.3%～5.5%以下の流量は精度良く測れないことを意味しています。

結局、流量測定にあたって大切なことは、流量計のカタログ精度よりも測定目的や対象に適した流量計を選択することに有ることが判ります。

11-2.精度確保の要点

- (58) **測定目的の確認** まず、主に何の流量を測ろうとしているのかを明確にしてください。流量ではなく何の流量をどれ位の期間、測るのでしょうか？
- (59) **目的とする流量範囲の確認** 調査目的が深夜量であれば昼間はフルスケールオーバーになっても深夜量だけを正確に測ることに重点を置くことが有効です。逆に洪水時の用水路流量測定では、常時の微量な流量は無視して良いケースも多いのです。
- (60) **許容誤差の確認** どの程度の精度を、最低期待するのかを確認します。目的達成に必要な最小限度の精度があります。現場条件によって必要とする精度を得ることが困難なこともあるのです。
- (61) **費用効果の確認** 精度と費用は相関します。必要最小限以上の精度で目的を達成するためには、くらの費用を掛けるのが妥当なのかを検討します。連続測定ではなくバッチ測定や瞬時測定ではだめか、調査期間を短縮することはできないかなど、費用から逆に測定方法をかんがえることは、優れて実務的な方法であるといえます。

▼図 11.2 流量計選択の要点



12. グループ調査は 難しい

12-1.グループ調査 の要点

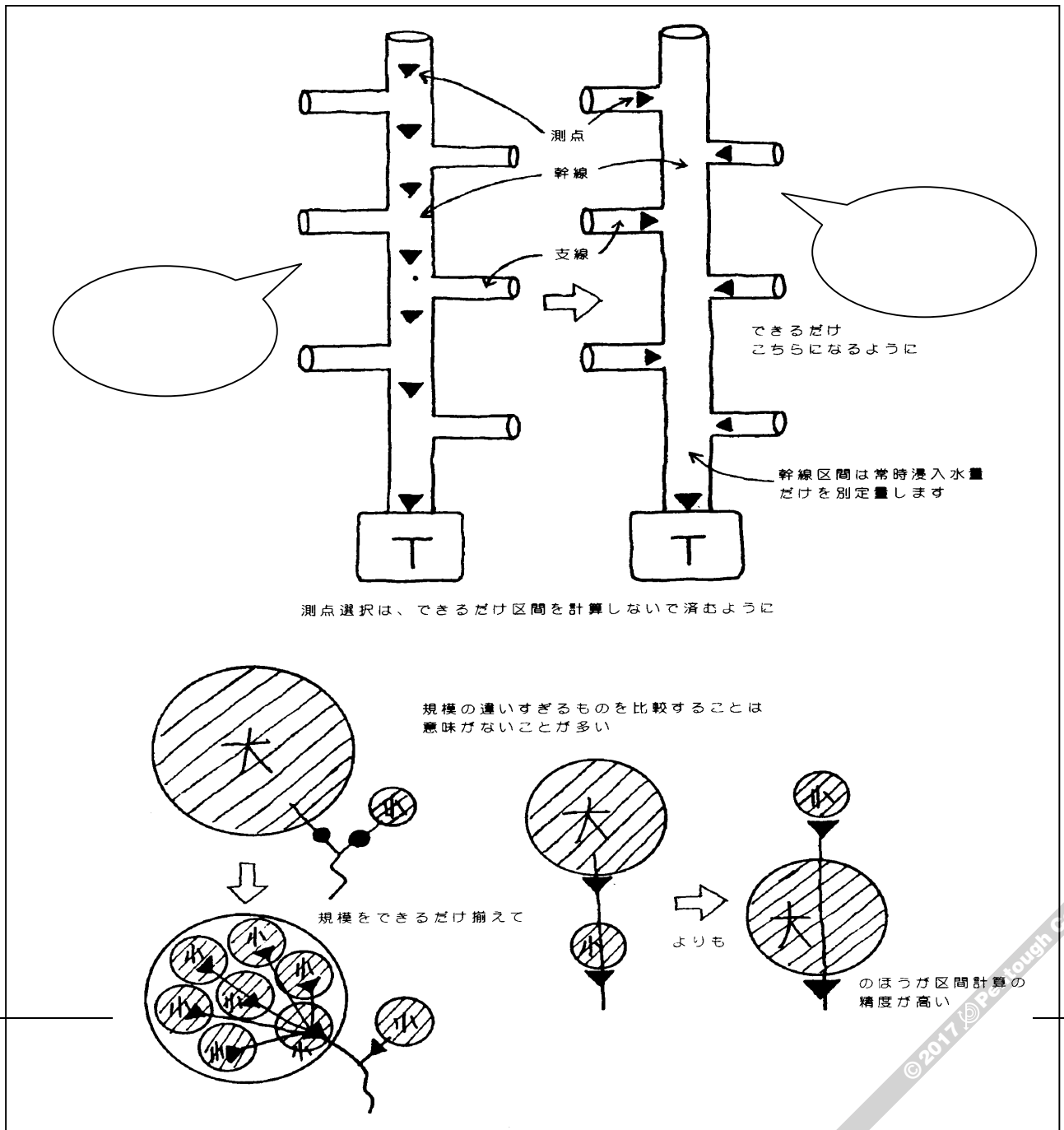
調査によっては、同時に多測点を計測することがあります。私たちはこれをグループ調査と呼んでいます。下水における不明水対策における基礎調査などは、グループ調査で行うことがほとんどです。グループ調査では単独調査とはまったく違う困難を伴います。その理由は上下流の測点流量から区間流量を計算する必要とすることが多いからで、グループ調査にあたっては次の点に注意してください。

- (62) **できるだけ全箇所同時に観測する。** グループ調査のコツは調査時期を分けないことにあります。経験的にいつ何回かに分けて調査すると、データを評価する条件が異なってしまい、評価そのものの資料価値を下げる 경우가少なくありません。
- (63) **できるだけ区間にならないように測点を決める。** 区間流量は、厳密にいうと測点流量に戻すことができません。測点が本来もつ情報は区間にするによって失われることが多いのです。実際は現場条件によって区間となるような測点も選択することが少なくないのですが、できれば区間を避けるように測点を決めて下さい。
- (64) **どうしても区間になるばあいは、下流になるほど区間流量が多くなるように測点を決める。** そうでないと区間流量が流量計のフルスケール誤差に紛れて、まともなデータにならないことがあります。とくに区間の規模が小さく、上流側の流量が多いときにこの傾向は顕著です。
- (65) **区間規模を揃える。** 区間精度を保つための(4)の内容とは矛盾しますが、測定規模を揃えることは、比較評価するときにとっても重要になってきます。規模が違い過ぎると、小さい規模の測点が持つ情報量が少ないために、面積単位量などに直して比較しても目的に適う精度と内容をもった評価は困難なことが多いのです。
- (66) **規模が違い過ぎるものを、同列で評価しない。** 極端な例で言うと、河川に流入する小規模な水路の流量を、水路を境にした上下流の河川流量を測って定量

するようなことはないと思います。しかし、これが250mmの小口径管渠と2000mmの大口径管渠の間では、時々見受けられます。幹線は幹線、小口径管は小口径管のレベルで流量を測定し、これらは別の次元で評価します。下水のグループ調査では、できれば幹線と支線とは別次元で評価して幹支線分離式の測点決めをし、幹線区間式の測点決めは避けます。

- (67) ほかの計測データと時系列単位を揃える 流量以外の計測データ、例えば雨量、水位、水質などのデータを計測するときには、できるだけ時系列単位を揃えて測定し、評価に用います。同じデータログを用いセンサだけを替えて測定することはこの意味で非常に有効です。

▼図 12.1 測点決めの要領



13. ロケーションこそ命

13-1.位置決めの大 切さ

グループ調査の例に見る迄もなく、ロケーションすなわち計測位置決めは、調査の成否を決める大切な条件です。自身の経験も含めて調査の失敗の多くはロケーションミスによることが本当に多いと実感しています。

調査目的に合った測点決めは、よく目的を理解して現場を観察しておかないと案外難しく、私たち調査屋の本領もこの辺にあるといえそうです。

13-2.測点決めの要点

- (68) 調査目的に適う位置か。
- (69) 区間になることを避けられないか。(測定対象だけを取り出せないか)
- (70) 測点の上流にバイパスはないか。(ルートと引き受け規模は正しいか)
- (71) 水嵩が増えると管水路になるおそれはないか。
- (72) 下流の幹線合流の影響を受けて下流流量が多いときに滞流量にならないか。
- (73) 勾配不良や下流堆積物で流れが滞留気味になっていないか
- (74) 測点人孔が合流になっていて、その影響を受けないか。
- (75) 射流になっていないか。(精度を確保できない)
- (76) 流量計を設置しやすいか。
- (77) 車道付近にあって交通の危険はないか。(人間の安全が最優先)
- (78) 工場排水などで有害物質による危険はないか。(人間の安全が最優先)
- (79) 酸欠の心配はないか。(人間の安全が最優先)

14. データをよく見よう

14-1. 流量計の限界

「流量計を信じないでください」

と書けばびっくりされますか？

仕事柄、他社のものを含め色々な流量計の資料を見ることが多いので、様々なデータに出くわします。そこからは、「オールマイティで信頼度 100%の流量計はない」という実感があります。だから計測した流量データの中身を吟味しないで鵜呑みして評価に当てることは、とてもできるものではありません。

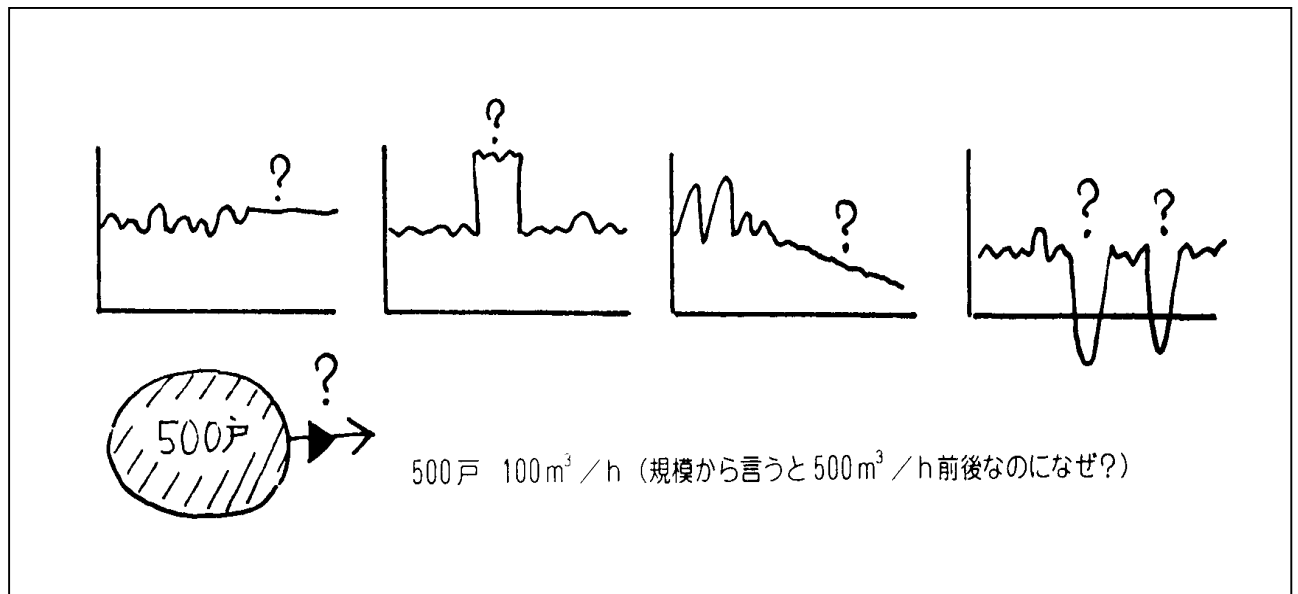
計測データを評価する前に、流量パターンに、問題がないかどうかをぜひとも確かめてください。そして何らかの異状が見つかったら、欠測処理をして評価対象から外すか、合理的な範囲で補正してから、解析・評価に当ててください。

14-2. データチェック の要点

- (80) 横線を引っ張ったような変化のないデータになっていませんか？ このような時は、センサなどのハード部分が破損して、機能が停止していることが多いのです。ポンプ排水のように恣意的に定量放流しているようなケースを除けば、一般に流量計測データは緩やかに変化します。
- (81) 流量パターンが断崖絶壁のような形で、急激に変化していませんか？ このようなときは、ポンプ排水のようなケースを除けば、何らかのセンサ異常やセンサへの障害が考えられます。
- (82) 流量が理由もなく徐々に減ったり、流量パターンの振幅が段々小さくなったりしていませんか？ このようなときはセンサの反応力(利得：ゲインといいます)が弱ってきていることが考えられます。
- (83) 定型的な流量パターンが見られるケースで、部分的に異なるパターンになっていませんか？ このようなときは、センサの設置位置など何らかのトラブルを考えておく必要性があります。
- (84) 逆流もしていないのにマイナス流量になったりしていませんか？ このような時はゼロ点調整が不十分で、全体が低めに指示されている可能性があります。

- (85) 他の情報から予想される流量と大きく食い違っていませんか？ 流量パターンから予想される流量と大きく食い違うケースでは、流量計側のトラブルが考えられますが、そうでないときは調査目的に関連した新しい発見があるかもしれません。私たち調査屋は他の情報との整合について、常に注意を払っています。なぜならば整合しないことから、調査目的に関連する情報を得るきっかけを掴むことが少なくないからです。

▼図 14.1 データをよく見よう



15. 流量計なんか、 いない？

15-1. 流量計を使わ ない静態調査

測定対象が時間的にほとんど変化しないことが分かっている場合、流量を連続的に測定する必要は必ずしもなく、瞬時測定結果から調査結果を得ることができます。また時間的な変化が非常に緩やかな場合も、瞬時測定を複数回組み合わせ合わせた調査で良いでしょう。

たとえば地下水などの浸入水を定量する目的で流量を測定するケースでは、わざわざ流量計を設置しなくても、深夜の安定した時間帯の瞬時流量を実測するだけで良いことが多く、河川の晴天日流量の測定も複数回調査で済ますことができます。

瞬時の流量だけを測ってデータを評価するような調査を静態調査、また複数回のデータから評価するような調査をバッチ調査といいます。時間的な変化についての情報がほしいときは、流量計による連続測定が必要ですが、時間的な変化が僅かであれば静態調査やバッチ調査で十分であるといえます。

静態調査やバッチ調査では、瞬時流量を測定しますが、その方法は対象の状況に合わせて選択します。

15-2. 瞬時流量測定 の方法

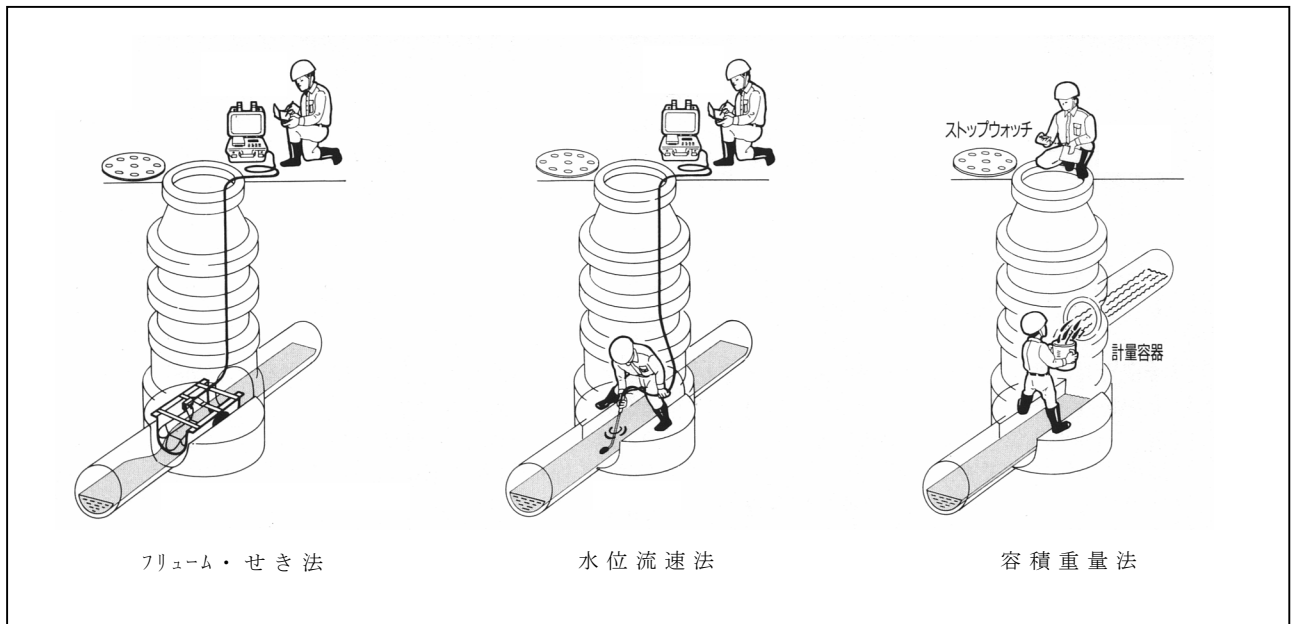
(86) **フリューム・せき法**：フリュームやせきを仮設して、越流水位の実測から流量を計算します。平均流速を測らなくて良いので精度は期待できますが、設置に多少手間取るのと、溜めて完全に越流するのを確認してからでないとな正確に計測できないため、微少な流量の時は計測に時間が掛かります。

(87) **水位流速法**：既知の水路形状の水深と流速を実測し、流量に計算します。流速は水深や堆積状態に合わせて、何点かを測定し平均流速を計算します。流速計は、河川や用水路では主として羽根車式、汚水や開水では電磁誘導式を用います。簡易には浮きを流して表面流速から平均流速を計算する方法があります。表面流速は水面を渡る風力と風向の影響を受けやすいので、河川などの大規模水路では、おもりの付いた浮きで一定の深さに浮きを沈めて平均流速に近いデータ

を得ます。この方法によるときは、測定者が流速分布のイメージをもって、適正な位置で流速を測る必要があります。

- (88) **容積重量法**：容器に流れを受けて、受けた容量または重量と、受けた時間から流量を計算する方法です。主に微量なものを測るときに用います。量が多くなるとその分計測時間が短くなって精度が落ちることが多いので、計測時間が短くなるにつれて、何度も繰り返して測り、特異値を除いたものの平均値で流量を計算します。

▼図 15.1 瞬時流量測定の方法



16. 施設の大きさを異なる調査方法

16-1.大口径管計測の要点

ここでいう大口径管とは、円管のほか矩形渠や馬蹄渠を含み、概ね管径または管幅が1 m以上のものを表します。大口径管では、処理場やポンプ場付近、合流地点や急な曲がりのある測点の調査で精度が保てないことがあります。以下に大口径管における計測の要点を示します

- (89) **管径ではなく最大流量に見合った計測方法を選ぶ。** 供用開始当初の管などでは、管径に比し僅かな流量しか流れていないのが普通で、フリームなど小口径管用の流量計測法の方が正確に流量を測ることができます。
- (90) **合流点や急な曲がり、管の形状が変化するところは、できるだけ避ける。** このような場所では流速分布が乱れるため、測定流速と平均流速の関係が不連続になりやすく、精度が保てないことがあります。
- (91) **流速が遅すぎるところは、できるだけ避ける。** 堆積が多いところ、処理場やポンプ場の流入ゲート付近で一部管内貯留させているケースがこれにあたります。流速が概ね5cm/s以下のばあい、ちょっとした障害物や、曲がりなどでも、極端に流速分布が不安定になって、精度を保つことが困難です。また流速が極端に遅いところは滞流量になっており、流入流量とは情報が異なるので、データの取り扱いに注意が必要です。
- (92) **区間量になるところでは、上下流の流量差が流量計の精度を上回らないように注意する。** これが測点決めの基本で、例えば計測誤差が±5%としたとき、調査区間の予想流量が上流流量の10%以下では、誤差に紛れて区間流量を正しく測ることができません。
- (93) **精度を保ち難い測点では流速分布を調べよう。** 上記の精度が保ち難い測点では流速分布を測定して、測っている流速と平均流速の関係を調べ、より正確な流量を計測しましょう。

16-2.小口径管計測の要点

管径250mm以下の小口径管では、深夜の微量流下時や満管流下時に精度が低下して、解析や評価に耐えないことが

よくあります。以下に小口径管における計測の要点を示します。

- (94) **小口径管ではできるだけセンサ自体の影響を小さくしよう。** 管径が小さくなればなるほど、水中にあるセンサや取り付け金具、ケーブルによる流積断面の欠損比が大きくなりがちで、これが原因で精度が悪くなることがあります。したがって、できれば小口径管では空中型の超音波式センサや、細いチューブの先だけを浸ける気泡式センサを用いる方が精度上有利です。
- (95) **深夜最小流量は実測補正を。** 常時浸入水の定量を目的とした深夜最小流量の計測は、精度を保つことが困難なケースが多く、とくに圧力センサなど水中型センサを用いた水位流速型の流量計では、微少流量を測れないケースも多いので、準備踏査に基づいて適用を検討してください。
- (96) **小口径管ではフリューム式が有利。** 急勾配や満管になるケースを除けば、流量計測上経験的に見て、フリューム式が精度上有利です。
- (97) **時折満管になるケースでは水位流速式流量計を利用しよう。** 時折満管になるケースでは、フリューム式で計測できないので、多の方法に拠るのが望ましい。流積が相対的に大きくなるため、水中にあるセンサ等の影響による誤差が小さく水位一流速式流量計が適しています。
- (98) **調査規模を考えて測定を。** 例えば10戸に満たないような一般家庭排水では排水パターンのばらつきが大きく、解析に耐えないことがあります。区間流量では区間誤差が大きくなり過ぎることも、少なくありません。

17. 流量計測の実務

と要点

17-1. 弊社の実務を

参考までに

初版からこの方、多く寄せられたご意見に、「実際に流量計を取り付けるときの要点を教えてください」というものがありました。そこで、弊社で行っている調査の手順を元に、PBフリーム式のグループ調査を例に、各作業のチェックポイントを説明します。実際はチェックリストを用いますが、ぜひとも作業手順を標準化して信頼度の高い調査を実現してください。

17-2. 準備作業

(99) **調査目的の確認** 設計書や計画書の内容を読み合わせ、調査の目的と最終レポートの形態を確認します

(100) **管路図の照査** 管路図にある測点位置を確かめ、各測点の引受規模から予想される区間誤差と調査目的の整合性から測点の妥当性を検討します。

(101) **準備踏査と調査方法の確定** 流況と管路施設の状態から調査方法を最終的に決めます。一般的には、小口径管ではフリーム式を用い、フリーム式に拠れない急勾配ではせき式、また簡易的には Manning 公式を利用した水位式を検討します。大口径管や満管になる小口径管では水位一流速式を用います。

(102) **機材の準備** 現場に合わせて必要な機材を準備します。

17-3. フリームの仮設

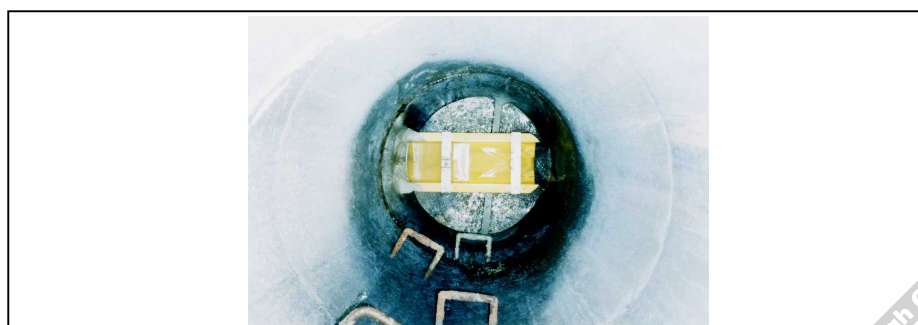
(103) フリームの上下流方向に間違いはないか

(104) レベルに据え付けられているか

(105) フリーム上流からの漏水はないか

(106) 計測部分に波立ちがなく、V字型の波がクレスト部分で立っているか

▼図 17.1 フリームの仮設



17-4. センサ・ロガー の設置

- (107) センサは計測ポイントにあり、受発信面が下方を向いているか
- (108) センサ自体が水平に据え付けられているか
- (109) 万一水に浸かっても流されないように、ロガー本体は固定されているか

▼図 17.2 センサ・ロガーの設置



17-5. 計測開始

- (110) IDほかの必要な情報はセットしたか
- (111) 流量計の指示水位は、計測部分の実測水位でオフセットされているか
- (112) センサは水面の変化に反応しているか
- (113) 測定開始動作をしているか
- (114) データはロガーに収録され初めているか

▼図 17.4 計測開始



17-6. 巡回点検

- (115) 実測水位と指示水位に差はないか
- (116) データはロガーに収録されているか
- (117) 収録データのパターンに異常はないか
- (118) フリュームやセンサが汚損されていないか
- (119) 電池残量は充分か

17-7. 撤去

- (120) 実測水位と指示水位に差はないか
- (121) データはロガーに収録されたか
- (122) 機器撤去後の原状回復に問題はないか

17-8.データ収集

- (123) ロガーは待機状態、解析ソフトはデータ収録画面になっているか
- (124) パソコンの種類、データ転送レートは正しいか
- (125) データを収録し終えたか

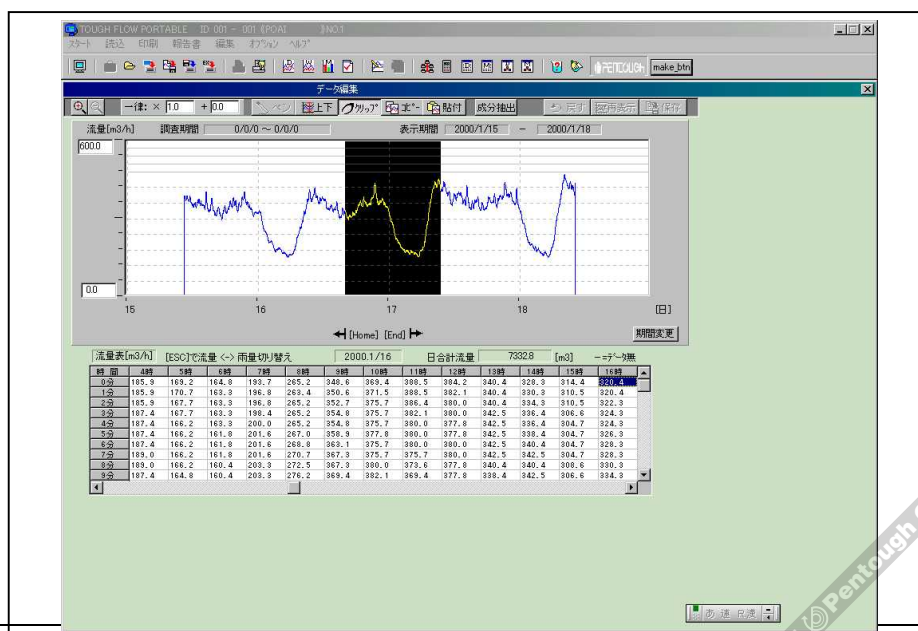
17-9.区間計算と整合確認

- (126) 上流測点よりも下流測点の方が少ないため、区間計算するとマイナスになることはないか（IDミスや、バイパス情報の見落とし）
- (127) 引受規模と区間量との間に整合性は見られるか
- (128) 流量パターンに異常はないか（途切れ・ゲイン低下・異常波形など）

17-10.異常補正

- (129) チャートを出力し、流量パターン全体をおおまかにチェックする。
- (130) チェック等による短時間のデータ途切れは、前後のデータで補間処理をする
- (131) ゲイン低下は、巡回点検時の実測データの範囲で、ゲイン補正する
- (132) オフセット誤差は、巡回点検時の実測データに基づいて一律処理で補正する
- (133) これ以外の異常パターンは、理由を確かめて欠測データをして処理する

▼図 17.5 異常補正



とつこの事象です。データを見る目を養い、評価に使えない部分も含めて、データからできるだけたくさんの情報を引き出してください。

- (143) **流量計を選ぼう。** あらゆる開水路に適合し、すべての流量範囲にわたって精度の良い流量計はありません。流量規模や時間変化、水路状況に合わせて流量計を選ぶことは、良い測定結果を得るために必要不可欠なことです。

どうかこの計測読本を役立てて、よりよい流量計測と調査を行ってくださることを念願してやみません。

分類#03-01-01 / 下水排水流量計 / 開水路用 / PBフリューム方式

1. 概要

PB(パーマーボウラス)フリュームは、1936年米国ロサンゼルス公衆衛生局の技師、Palmer, H. K氏とBowlus, F. D氏によって発表された、管路施設用の開水路流量計測施設である。

PBフリュームは開水路の一部を絞って流れを抑制し、上流側水位を高めることにより絞り部分で生じる限界水深から、流量を測定する、限界水深計である。

限界水深は流量の変化に伴って、絞り部分の中で移動するため、絞り部分入り口から1/2フリューム径離れた上流側で計測し、2.測定原理によって流量に計算する。

フリュームは通常、小口径では人孔のインバート部分を利用し、大口径では管渠内に設置する。

フリューム方式はフリューム自体の設置が手間であるが、流速を測る必要が無いため、水位計測だけで高い精度を実現でき、計測精度が現場条件に左右されにくい特徴がある。

斜流状態で絞りで流れを抑制できない場合は計測できないので、急勾配の管路施設では設置できず、生下水では流量が少ないとき、絞り部分の上流側に堆積を生じることが有る。

水位は弊社のシステムでは空中型超音波センサまたは水中型の圧力センサを用いる。

2. 測定原理

ベルヌーイの原理から、長方形断面をもつ開水路の比エネルギーEは次式で表される。

$$\begin{aligned}
 E &= V^2 / (2g) + H \\
 &= Q^2 / (2gA^2) + H \\
 &= Q^2 / (2gB^2H^3) + H \quad \text{式(1)} \\
 \therefore V^2 / (2g) &: \text{速度水頭} \\
 V &: \text{流速} (=Q/A) \\
 g &: \text{重力加速度} \\
 H &: \text{水深(圧力水頭+位置水頭)} \\
 A &: \text{流積} (=BH) \\
 B &: \text{水面幅} (=A/H)
 \end{aligned}$$

ベスの定理より、式(1)で、Qが一定で比エネルギーが最小になる水深を限界水深という。限界水深 H_c の(添字 c は限界流部分を示す)は比エネルギーを水深で微分した値がゼロとなる水深なので、限界水深は式(1)から、次式で表される。

$$\begin{aligned}
 DE/dH &= -Q^2 / (gB^2H^3) + 1 = 0 \\
 \therefore H_c &= (Q^2 / (gB_c))^{1/3} \quad \text{式(2)}
 \end{aligned}$$

限界水深時の流速、限界流速 V_c は次式で表される。

$$\begin{aligned}
 Q &= AV = BHV \quad \text{なので、} \\
 V_c &= (gH_c)^{1/2} = ((Qg) / B_c)^{1/3} \quad \text{式(3)}
 \end{aligned}$$

また、 $H_c = A_c / B_c$ なので、

$$A_c / B_c = (Q^2 / (gB_c))^{1/3}$$

また限界速度水頭 h_{vc} は、上式の両辺を3乗して整理して次式で表される。

$$\begin{aligned}
 Q^2 / g &= A_c^3 / B_c \quad \text{から、} \\
 h_{vc} &= V_c^2 / (2g) = Q^2 / (2gA_c^2) \\
 &= A_c / (2B_c) \quad \text{式(4)}
 \end{aligned}$$

同様に上流計測部分の速度水頭 h_{vu} (添字 u は上流計測部分を示す)は、次式で表される。

$$h_{vu} = V_u^2 / (2g) = Q^2 / (2gA_u^2) \quad \text{式(5)}$$

右図のフリューム断面においては、ベルヌーイの法則から、 $E_c = E_u$ なので、 H_c は、次式で表される。

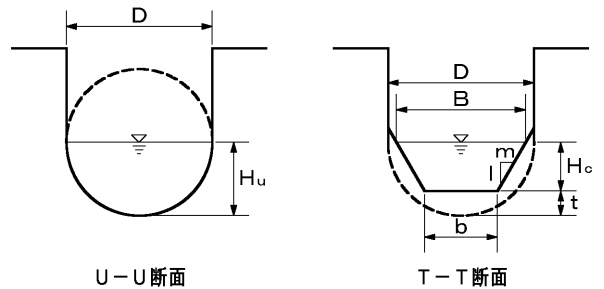
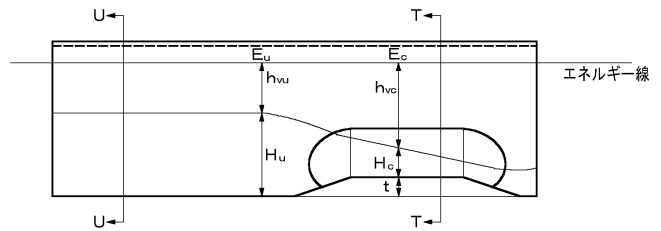
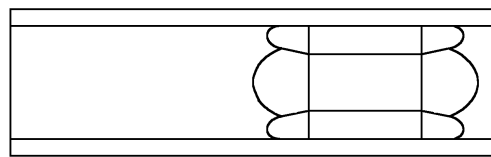
$$\begin{aligned}
 E_c &= H_c + h_{vc} + t = H_c + A_c / (2B_c) + t \\
 E_u &= H_u + h_{vu} = H_u + Q^2 / (2gA_u^2) \\
 \therefore H_u &= H_c + A_c / (2B_c) + t - Q^2 / (2gA_u^2) \quad \text{式(6)}
 \end{aligned}$$

フリュームの水位流量表は、式(6)を利用し、

H_c から A_c 、 B_c 、 Q 、 $E_c (=E_u)$ を計算し、つぎに仮定した上流計測部分の速度水頭 h_{vu} から、上流計測部分の水位 H_u と流積 A_u を計算して、この値からもういちど速度水頭 h_{vu} を再計算する。さらに $h_{vu(i)}$ と $h_{vu(i+1)}$ の差分が許容誤差範囲になるまで反復計算させて、 Q と H_u との対応表から、水位流量表を作成する。

$$\begin{aligned}
 H_u &= E_c - h_{vu(i)} \quad \text{から、} A_{u(i)} \text{を計算} \\
 h_{vu(i+1)} &= Q^2 / (2gA_{u(i+1)}^2)
 \end{aligned}$$

このようにして作成された水位流量表は、水理実験結果とも非常に合致しており、その水位流量精度は $F S \pm 2\%$ 未満で、流量計の水位検出精度や、近似式による流量演算精度を併せても $F S \pm 3\%$ 以下である。



分類 # 03-01-02 / 下水排水流量計 / 開水路用 / せき方式

1. 概要

せきとは、水路の途中や水槽の溢れ口に設けられた越流板のことである。せきを用いるとせきを流れる水の高さと平均流速の関係が、一義的に決まってくるので、越流水深を計測して流量に計算する。

水位から流量への演算は、実際には越流時の水頭損失や斜壁面および切り欠き深さの影響があるため、JIS規格 B 8302、K 0102 により計算式が規格化されている。

せき方式は、汚物が滞留し易いため生下水などの流量計測には適さず、用水路流量や処理施設の放流流量の計測に用いられることが多い。管路施設で用いられるケースはせき上流側に溜まる汚泥汲み出しなどのメンテなどが必要になる。

せきは一種の貯留施設となるため、せきがない状態に比べ、流量は平均化され滑らかなデータになる。水位は弊社のシステムでは空中型超音波センサまたは水中型の圧力センサを用いる。

2. 測定原理

切り欠きの幅を b とし、任意の水深 x の位置における微小水深 $d x$ を考えると、この微小流積は、 $b \cdot d x$ である。このときこの部分を通る流速 v は、トリチェリーの定理から

$$v = \sqrt{2 g x} \quad (g : \text{重力の加速度})$$

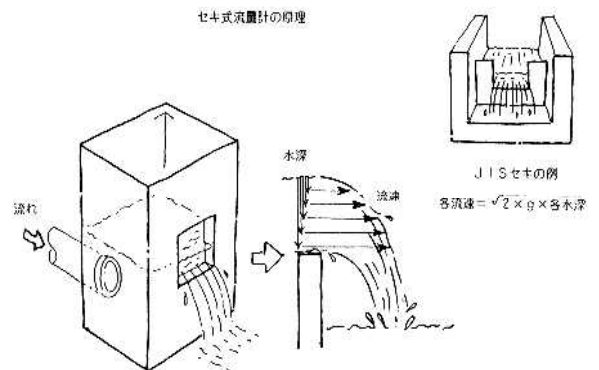
である。したがってせきを超える流れの流量 Q は

$$\begin{aligned} Q &= \int_0^h b d x \cdot \sqrt{2 g x} = b \sqrt{2 g} \int_0^h \sqrt{x} d x \\ &= 2/3 b \sqrt{2 g} \cdot h^{3/2} \end{aligned}$$

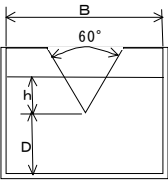
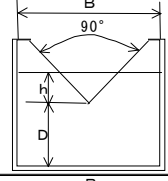
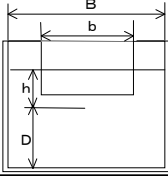
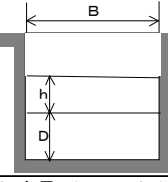
となる。実際には、収縮の影響や接近流速の影響などがあるので、流量係数 c を乗じて

$$Q = 2/3 c \cdot b \cdot \sqrt{2 g} \cdot h^{3/2}$$

がせきの流量を求める一般式となる。しかし流量係数 c にはいろいろな要素が含まれており、理論的に求めることは困難なため、実際には数多くの実験に基づいた各種の実験公式が発表されており、弊社では原則として JIS に採用されている公式を使用している。



3. 規格・水位流量表

		JIS B8302		JIS K0094
		流量式	適用範囲	流量式
60度三角堰		$Q = 0.577Kh^{5/2}$ $K = 83 + \frac{1.978}{BR^{1/2}}$ R: (B = 水路の幅m) $0.1h\sqrt{\frac{h}{\nu}}$	B=0.44~1.00 m h=0.04~0.12 m D=0.10~0.13 m	
直角三角堰		$Q = Kh^{5/2}$ $K = 81.2 + \frac{0.24}{h} + \left(8.4 + \frac{12}{\sqrt{D}} \right) \left(\frac{h}{B} - 0.09 \right)^2$	B=0.50~1.20 m D=0.10~0.75 m h=0.07~0.26 m — B h = 以下	$Q = 1.401 \times h^{5/2} \times 60$ トムソンの公式
四角堰		$Q = Kbh^{3/2}$ $K = 107.1 - \frac{0.177}{h} - 14.2 \frac{h}{D} - 25.7 \sqrt{\frac{DB}{(B-b)h}} + 2.04 \sqrt{\frac{B}{D}}$	$\frac{3}{bD} \geq \sqrt{0.06}$ B=0.50~6.30 m b=0.15~5.00 m D=0.15~3.50 m	$Q = 1.838 (b - 0.2h) h^{3/2} \times 60$ フランシスの公式
全幅堰		$Q = KBh^{3/2}$ $K = 107.1 + \left(\frac{0.177}{h} + 14.2 \frac{h}{D} \right) (1 + \epsilon)$ Dが1m以下の場合には $\epsilon = 0$ Dが1m以上の場合には $\epsilon = 0.55(D-1)$	$\frac{B}{h} \geq 0.45$ B>0.50 m D=0.30~2.50 m h=0.03~0.8 m (ただし、hは0.8m以下でかつB/4以下とする)	$Q = 1.838 \times B \cdot h^{3/2} \times 60$ フランシスの公式
備考	Q: 流量 (・ / min) h: 堰の水位 (m) K: 流量係数 B: 水路の幅 (m) b: 四角堰切欠の幅 (m) D: 水路底面より堰下縁 (m) ν: 動粘性係数=0.01 cm ² /sec		設置現場の都合上 JIS B8302 の流量公式適用範囲を超えた場合は、JIS K0094 の流量公式により流量-水位を求める。	

分類 # 03-01-03 / 下水排水流量計 / 開水路用 / 水位方式

1. 概要

水位方式とは、 $Q=f(H)$ または $Q=f(H) \cdot f(dH/dt)$ として流量演算が可能な方式のことで、せきやフリュームのような計測用の水路を必要としないものをいう。

この方式には、(1)平均流速公式補正方式、(2)水位-流量検量線方式、(3)水位-時間微分方式の3種類がある。

水位の測定には、空中型超音波センサまたは水中型圧力センサを用いる。

この方式の特徴は、流量計測用施設を必要としないため、とにかく設置が簡単で管路施設のサイズを問わずほぼ同様の手間で計測できるほか、管路施設の現況をあまり変えないので、現状の水位や流速を知ることができることにある。

しかしこの方式は逆に現場の水利条件に左右されやすいため、準備調査を必要とする。

(1)の方式ではマニング公式を用いるが、粗度係数や管路勾配が厳密ではなことも多いため、頻度の高い水深で流速分布を実測して補正するものの、精度的には簡易測定域をでない。ただしマニング公式は様々な場面で使用されており、それらのデータとの整合性が良いという特徴を持つ。

(2)の方式は河川の水文測量を流量計に応用したもので、流量計としての精度は準備調査精度に負う。

(3)はマンホールポンプにおける流入流量管理の必要性から開発されたもので、精度確保には一定の条件を必要とする(詳細は後記)。また(3)では、水中圧力センサを用いる。

2. 測定原理

(1)

均流速公式補正方式

この方式では次式で、水位 H から流量 Q を計算する。

$$Q = A \cdot V_m$$

$$A = f(H)$$

$$V_m = 1/n \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

∴ V_m : 平均流速 (マニングの公式)

R : 径深 (水理学的平均深さ = A/P)

P : 潤辺 (水と接する壁断面長さ)

A : 流積 (流れの断面積)

I : 動水勾配 (開水路では管路勾配)

ただし、粗度係数と動水勾配は厳密ではないので、頻度の高い水深何点かで流速分布を実測して V_m を計算し、これから逆に粗度勾配複合係数 $K=1/n \cdot I^{1/2}$ を計算して、水位流量演算に当てる。

このような補正を施しても、精度的には $F.S \pm 5\%$ を確保することは難しい。とくに管底または管頂付近の流量精度は低い実験結果がでている。しかしマニング公式の実用精度はよく知られており、実用の範囲を限定した場合、非常に経済的な計測システムを構築することができるので、弊社ではケースに応じてこの方法を提案している。

(2)

位-流量検量線方式

河川の水文測量でみられる流量測定の方法を利用したもので、準備調査(検量線作成)の内容は「砂防基準」に準拠する。すなわち、水路幅に応じて測線数を決め、様々な水位で各測線とも2点法によって平均流速を計算し、測線が引き受ける各流積を乗じて流量を計算し、水位と総流量との相関分析から回帰式を求め検量線をつくる。円形管渠では通常4点法によって平均流速を求め、同様に検量線をつくる。近似式は形状が単純なものはべき乗式または2次式、複雑なものは3次式以上を用いる。この方式による精度は断面形状の測量精度、平均流速の測定精度および近似式の精度、水位センサの精度の複合精度となる。形状と流れが安定して水位と流量の関係が一義的に決まるような水路のばあい、準備調査で定量化した範囲に限定すれば、準備調査精度に負うが、精度を $F.S \pm 5\%$ 以内にはできる。

2点法による平均流速計算式

$$V_m = 1/2 (V_{0.2} + V_{0.8})$$

円管4点法による平均流速計算式

$$V_m = 1/4 (V_1 + V_2 + V_3 + V_4)$$

∴ V_m : 平均流速

$V_{0.2} \cdot V_{0.8}$: 2割・8割水深

$V_1 \sim 4$: 右図位置の流速

流量演算式(回帰式)

$$Q = a H^n \text{ または}$$

$$Q = a H + b H^2 + c H^3 + \dots$$

(3)

位-時間微分方式

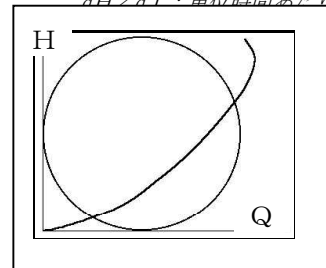
マンホールポンプ施設や、貯水槽の流入流量の計測を目的として開発された測定方式で実用新案を現在出願している。この方式では次式を用いて、水位から流量 Q を計算する。ポンプが作動すると水位が下がってマイナス流量になるが、予備試験で無流入ポンプ稼働時の揚水能力を実測し、ポンプ稼働時を判定してこれを補正すれば正確な流量計になる。ただし、流入渠内に滞留する場合、この水面と水槽平面とが判別できなくなって精度が保てない。

$$Q = A \cdot dH/dT$$

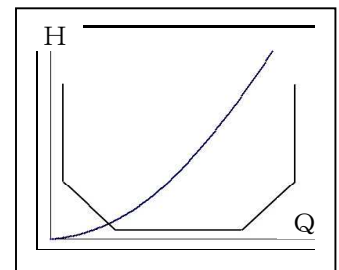
$$A = f(H)$$

∴ A : 水槽平面

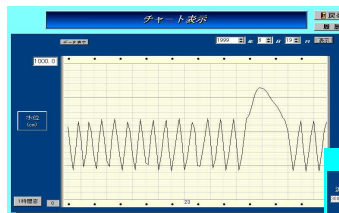
マンホールポンプでは高さによりマニング公式化
 dH/dT : 単位時間あたりの水位変化



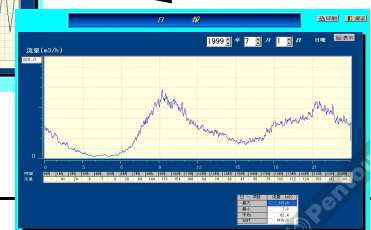
回帰式



マンホールポンプ
水位データ



流量データ



分類 # 03-01-04 / 下水排水流量計 / 開水路用 / 水位－流速方式

1. 概要

水位－流速方式とは、開水路施設に水位センサと流速センサを設置し、水位データから流積、流速データから平均流速を演算し、2つのデータを乗算して流量に演算する方式である。

水位センサには空中型超音波センサまたは水中型圧力センサを用い、流速センサには電磁誘導型センサまたは超音波ドプラ型センサを用いる。

この方式の特徴は、流量計測用施設を必要としないため、とにかく設置が簡単で管路施設のサイズを問わずほぼ同様の手間で計測できるほか、管路施設の現況をあまり変えないので、現状の水位や流速を知ることができる場所にある。

また逆方向が測れる流速センサのばあい、マイナス流量が測れ、水中型センサでは、管水路状態でも一応計測できる。(精度は別)

とくにせきやフリュームの設置が困難な中口径管以上のセンサ断面に対し相当大きな流積断面をもつ流れに適している。

しかし、平均流速精度の現場再現性や、水位・流速一体型センサの流積比が大きい時は、センサやマウント、ケーブル自体が流れを損ねることが避けられないケースがあつて、少なくとも現在のところオールマイティな方式ではない。Φ350 ぐらいまでの小口径管や大口径管でも流量が僅かで流量が少ないときは、せきやフリュームの方が精度を確保し易いことがある。また現場施設をそのまま利用するため形状や水理的な影響を受けやすく、斜流状態では精度が保てないことが多い。

2. 測定原理

(4)

量 Q の演算基本式はつぎのとおり。

$$Q = A \cdot V_m$$

$$= f(H) \cdot f(VP)$$

∴ V_m : 平均流速 (= Q/A)
 VP : 測定流速
 H : 水深
 A : 流積

流積は水位から簡単に計算できるが、センサを管底に設置することにより、設置以前より水位が上がるときは精度が悪くなることに注意が必要である。

平均流速は測定流速と水深(流積)の関数として計算するが、理論式をもとに水理実験結果で補正する方法が一般的で、弊社では2方式を採用している。

(5)

数則による平均流速計算補正方式による流量演算

電磁誘導型流速センサと空中超音波センサまたは水中圧力センサとの組合せタイプがこれに当る。対数則とは鉛直方向の流速分布を表す式で、乱流粗面では次式のとおり。

$$u/u_* = 5.48 + 5.75 \cdot \log_{10}(z/k)$$

$$v/u_* = 6.0 + 5.75 \cdot \log_{10}(R/k)$$

$$u_* = (g \cdot H \cdot I)$$

∴ u : 水深Hで水位Zに生じる流速
 Z : 管底から計測位置までの水位
 u_* : 摩擦速度
 k : 管路床の絶対粗度
 v : 平均流速
 R : 径深
 g : 重力加速度
 H : 水深
 I : 管路勾配

上式からセンサ高さの流速と平均流速の関係を、管径一水深比を単位として計算する。ただし、狭い水路では壁面の影響を受けるため補正が必要で、平均流速式の定数6.0を、実験結果をもとに補正している。この方式の総合精度は、水路実験から $FS \pm 4\%$ 未満であるが、水位が低くセンサが露出したりセンサが影響して水位が変る水位では誤差は大きいので、調査の適用範囲に注意が必要である。

(6)

速方式による流量演算

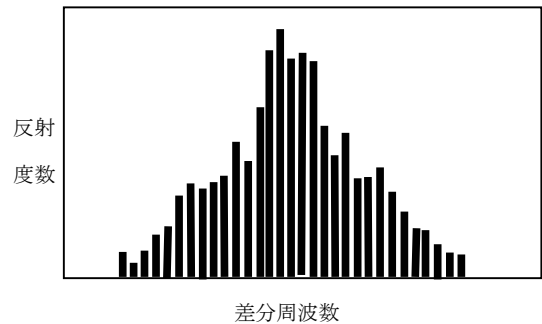
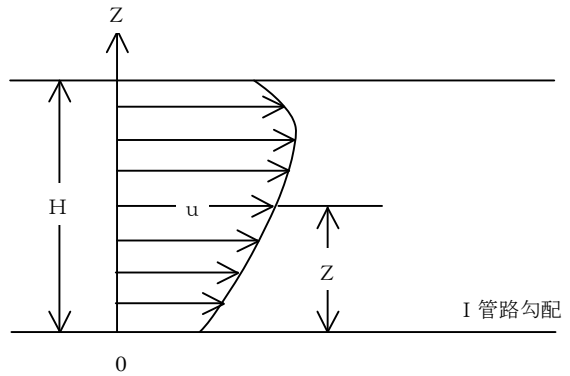
超音波流速センサおよび圧力式流速センサ一体タイプがこれに当る。面速方式とは、超音波センサがもつ様々な流速を面的に検出する機能を利用して、検出周波数を分析して平均流速に演算しようとする方式のことである。流速検出面が流れに対して直角かつ全面であれば、理論的には平均流速は検出周波数から流速分布を面的に計算して積分するだけで計算されるが、実際は0水位ではない適当な水位から一定の放射角をもって超音波を放射し、水中の気泡やSSに反射させているため厳密ではなく、水理実験結果にもとづいて補正する必要がある。弊社の方式は、周波数分布を判断し、センサ付近の低い水位では最大流速成分から平均流速を演算し、それ以外の水位では周波数分布を補正して平均流速に演算している。この方式の総合精度は、水路実験から $FS \pm 3\%$ 未満であるが、やはり水位が低くセンサが露出したりセンサが影響して水位が変るときは誤差が大きくなるので、計測範囲の適合について注意が必要。

(7)

の他の流量演算方式

最大流速と平均流速との間には強い相関があることが知られており、これを利用して方式があるが、高い水位時に最大流速をうまく捕らえられないケースがあったり、野外実験から、水位が高いほど最大流速と平均流速との相関にばらつきが見られたため、弊社では自社で開発したセンサにより適した方法として、周波数成分を水位によって補正して平均流速に直す方式を採用している。

このほか流速分布を実測して、マニング公式を補正する方法で水位データから流量演算するものを面速式と称しているものがあるが、厳密には面速式ではなく、弊社では水位方式に分類している。



分類 # 03-01-05 / 下水排水流量計 / 管水路用 / 流速(超音波)方式

1. 概要

流速(超音波)方式とは、管水路施設に管外から流速センサを設置し、流速データから平均流速を演算し、固定された断面係数と乗算して流量に演算する方式である。

流速センサには超音波ドプラ型センサを用い、下水管などの粗面乱流状態の汚水を測ることに適している。

この方式の特徴は、管渠の露出面さえあれば簡単に設置ができ管路施設のサイズを問わずほぼ同様の手間で計測できるところにある。

管外設置型なので原則としてセンサ側は汚損に対してメンテナンスフリーである。

この方式は設置が手軽な反面、配管材質、配管径、液体の種類、流れの状態、上下流条件の影響を受けやすく、設置に当っては本方式の適合について判定しておかなければならない。一般に電磁流量計よりも精度は不安定だが、既設の管路施設をそのまま利用できる利点は捨てがたく、その経済性と相俟って広く世間に膾炙している方式である。

2. 測定原理

流量 Q の演算基本式はつぎのとおり。

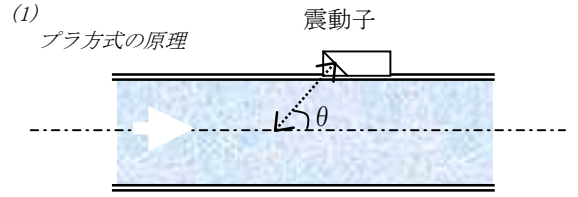
$$\begin{aligned}
 Q &= A \cdot V_m \\
 &\approx A \cdot KP \cdot VP \\
 \therefore A &: \text{流積(定数)} \\
 V_m &: \text{平均流速} \\
 KP &: \text{平均流速補正係数} \\
 VP &: \text{測定流速}
 \end{aligned}$$

流積は管水路のばあい、内径から正確に計算される定数である。また、測定流速は、流芯に超音波が届くように音圧レベルを自動調整し、 KP : 平均流速補正係数を掛けて平均流速に演算している。

この方式による精度は、1%の浮遊物質の状態で流芯まで超音波が届く条件において $F.S \pm 2\%$ 、浮遊物が非常に多かったり管径が大きなものについては、超音波が管壁に近いところで反射したり、流芯に届かないため $F.S \pm 4\%$ 程度の精度に落ちることが有るので、較正が可能ならばこれをおこなう。また内径 3cm 未満の管径では反射をうまく捕らえることができないので計測できない。

弊社の超音波ドプラ方式は、一対の受発信素子が一体化された、特殊なクランプオン型で、生下水のように汚濁や気泡の多い汚水に適している。ただし、発射された超音波が反射する位置により、流速分布上の誤差を受け易い特徴も併せ持つ。そこで音圧レベルを自動的にかえて受信した周波数を解析し、より流芯に近い部分まで計測することにより精度をあげている。

ドプラ方式の原理と弊社の計測システムを右図に示す。



$$\begin{aligned}
 V &= C \cdot \Delta f / (\cos \theta \cdot f t) \\
 \therefore V &: \text{流速} \\
 C &: \text{流体中の音速} \\
 f t &: \text{受信周波数} \\
 \Delta f &: \text{ドプラ周波数}
 \end{aligned}$$

(2) 社の計測システム

