

写真撮影による流量測定について、並びに北海道の河水流量分布図について

日本気象協会 北海道本部 佐法 宏

写真撮影による流量測定についての調査は、道河川課の依頼調査で、北海道大学工学部 岸教授の指導の下に実施したものである。この調査の目的は、現在実施されている流量測定の方法は、高水時には危険性が大きいので、より安全に、より容易に高水時の流量測定を実施しようとするところである。この方法の一つとして写真撮影により表面流速を測定し、これによる流量値と現行の方法による流量測定の方法とを比較、検討した。

1. 測定の方法

35mmカメラ、モータードライブ撮影装置にタイマーを接続し、このタイマー装置により指定時刻に、所定の時間間隔で撮影することができ、時間間隔は変化させることができる。

表面浮子は、風の影響を受けないこと、被写体として識別が容易なこと、長時間、水中にあって変化しない材質、形状であること、などが条件となる。いくつかの浮子を試験した結果、次の3種を実験に用いることとした。

- ① 厚さ3mm、5cm×5cmのベニヤ板に赤ペイントで採色したもの。
- ② 市販名「カラーボール」、ビニール製の直径7cm、自重20gのボールに水を約150g注入し、直径の3/4まで水中に沈むようにした。色は赤、黄、緑の3種である。

測流は

昭和45年は札幌市郊外の新川の天狗橋と、円山川

昭和46年は円山川、

昭和47年は苦小牧川、堀株川、札幌市内の創成川

で実施し、新川と堀株川では橋上にカメラを設置し、河水面に対しある傾角を定めた。他の川は河面上にヤグラを設置し、このヤグラ上にカメラを真下に向けて設置した。

実験区間の河水面には、10m×20mの区間に1m×1mは2m間隔の座標格子を設定し、表面浮子は川幅内に10cm×15cmの間隔で板の上に並べ一斉に投入し、約10秒内外の測定時間で実験区間の上流端に流達するようにした。このようにして1秒ごとに撮影したフィルムが、表面浮子の変位を読みとり、X、Y成分を合成した平均流速を求めた。

2. 測定の結果

測定の結果について、円山川の測定資料を参考までに表-1および表-2に掲載した。表-2に示したとおり、 $\bar{u}_m/\bar{u}_s$ は平均値で0.77となり、昭和45年に測定した値は0.76と0.73であった。

次に、表面流速と流量の関係を図示すると、図-1のようになる。円山川の測定地点の河川断面は、水位が変化しても川幅がほぼ一定で、流量が小さい場合の流れは2次元流に近く、流量が大きくなるにつれて3次元流的になる。つまり流量があるていど大きくなると、流速が最

表-1 円山川の実験時の水理量の表

観測 番号	昭和年月日	流 速 (l/sec)	設置水深* (cm)	勾 配	深 (cm)	粗度係数 n
1	46. 8. 11	36.2	4.62	0.0115	5.9	0.038
2	46. 11. 10	53.8	5.03	0.0105	6.6	0.030
3	47. 3. 28	93.2	8.09	0.0135	14.3	0.075
4	"	97.7	8.19	0.0118	11.9	0.050
5	47. 3. 30	172.5	11.78	0.0133	15.1	0.048
6	"	199.8	12.42	0.0105	15.0	0.037
7	47. 4. 6	312.9	14.03	0.0135	18.7	0.041
8	47. 4. 7	262.5	12.90	0.0135	15.2	0.033
9	"	286.6	14.62	0.0140	16.1	0.034
10	47. 4. 8	201.9	11.91	0.0158	15.5	0.048
11	"	222.5	12.03	0.0150	14.4	0.036
12	47. 4. 10	225.2	11.92	0.0153	14.3	0.036
13	"	269.5	13.43	0.0150	14.3	0.030

* 下流段落頂部（ピトー管による流速・流量測定点）における平均水深

大になる時は、次第に表面から下方向に移り、流量が増しても表面流速はそれほど増加しないことになる。図中のとびはなれ値のNo.4、No.5を除くと、流量 Q と表面流速 $\bar{u}_s$ の間には、図中の曲線のような関係が認められる。

この曲線を最確値と考へて、各々の流量に対する表面流速を求め、これから平均流速との比を算出して流量の関係を図示すると図-2のようになる。

この図からは、平均流速と表面流速との比、 $\bar{u}_m/\bar{u}_s$ (表面浮子の補正係数)は流量によって変化する傾向がみられ、今回の円山川の測定では0.7~0.9であることがわかった。

参考までに、浮子の補正係数の諸公式による値は次のとおりである。

フリス公式 0.896
砂防技術基準 0.85
宮本武輔 0.806
円山川(昭和46.47年) 0.77
、(昭和45年) 0.76, 0.73

図-1のとびはなれ測定値 No.4、No.5については、円山川のような小さな流量では、平均流とは異なった流速をもつ水塊が断片的に流下するために生ずるものと考えられるので、平均化時間とか測定回数などに配慮が必要である。

他の測定河川の $\bar{u}_m/\bar{u}_s$ (補正係数)の平均値をしめすと

苫小牧川 0.833
堀株川 0.941
創成川 0.963 (ベニヤ板)
、 0.756 (カラーボール)

である。この結果によると堀株川の補正係数は平均で0.94で、何れの測定結果よりも、前記の諸公式の値よりも大きな値となっている。原因は明らかでないが、堀株川の測定地(御時作場橋)では、他の河川に比較して流速の鉛直分布が一樣分布に近いものと考えられる。

平均流速と写真測定による表面流速との比($\bar{u}_m/\bar{u}_s$)を、川幅と水深の比(B/H)に依りて図示すると、図-3を得る。図-3によると実測のばらつきが大きく、明瞭な相関関係は認められないが、およその傾向としては B/H が大きいほど $\bar{u}_m/\bar{u}_s$ は大きいようである。

表-2 実測値一覽表

観測 番号	流量 Q (ℓ/sec)	断面 A (cm)	水面巾 B (cm)	平均流速 $\bar{u}_m = Q/A$ (cm/sec)	表面流速 $\bar{u}_s$ (cm/sec)	$\bar{u}_m/\bar{u}_s$	水面巾/水深 B/A
No.1-A	36.2	838	135.0	0.432	0.688	0.63	21.8
" B	"	"	"	"	0.669	0.65	"
" C	"	"	"	"	0.642	0.67	"
No.2	53.8	960	133.5	0.560	0.583	0.96	18.6
No.4	97.7	1,846	134.5	0.529	0.995	0.53	9.8
No.5	172.5	2,558	140.0	0.674	1.166	0.58	7.7
No.6	199.8	2,556	141.0	0.782	1.108	0.71	7.8
No.7	312.9	3,385	145.0	0.924	1.182	0.78	6.2
No.8	262.5	2,614	143.0	1.004	1.106	0.91	7.8
No.9	286.6	2,794	143.3	1.026	1.195	0.86	7.3
No.10	201.9	2,588	138.0	0.780	1.072	0.73	7.4
No.11	222.5	2,419	136.5	0.920	1.060	0.87	7.7
No.12	225.2	2,371	137.2	0.950	1.034	0.92	7.9
No.13	269.5	2,404	138.0	1.121	1.114	1.00	7.9

2.2. 0.77

図-1 $\bar{u}_s - Q$

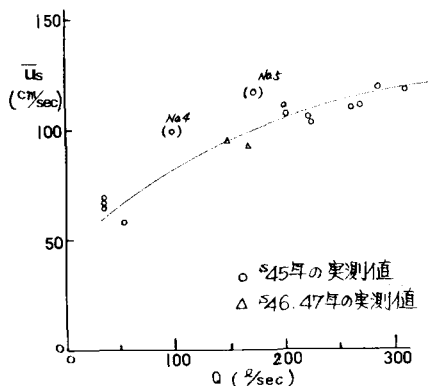
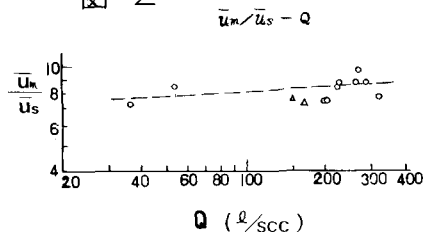


図-2



横方向の分散と拡散係数については、
一様流流域において一より投下され、
粒子群の拡散状態を調べる場合に
Einsteinの表示を用いると、

$$DH = \frac{1}{2} \frac{d^2 \sigma y^2}{dt} \quad \text{①}$$

ここで

DH: 横方向の拡散係数

$\sigma y^2 = \overline{y^2}$: 横方向の分散の平均値

t: 時間

この値についての資料、表は省略するが、一般の直線水路と同様に拡散係数は時間と共に増大し、ある時間で最大となって、その後は0に近づく傾向を示している。

拡散係数が最大値となる時間は、約

創成川 4秒

堀株川 9秒

苦小牧川 6秒

である。この時間は標的投下後、写真撮影までに必要とする助走距離を定める目安となる。

3. 結論

この調査の一連の測定結果によると、測定精度において実用に耐えるていどあり、流速測定の補助手段として活用してよい方法と考えられる。ただし、そのためには前もって該当河川について測定実験を行い、補正係数などの値を求めておく必要がある。

今回の測定には、創成川と苦小牧川では10秒間、堀株川では20秒間の写真測定を行なったが、岸による平均流速の観測時間Tとそれに伴う誤差Pとの関係は表-3

に示した。これによると今回の測定の誤差は次のように推定される。

創成川と苦小牧川 は3%程度

堀株川 は5%程度

なお、これらの測定結果の調査、解析は北海道大学工学部の河川学教室によって行なわれ、この報告の内容も岸教授の報告書に基づいている。

図-3

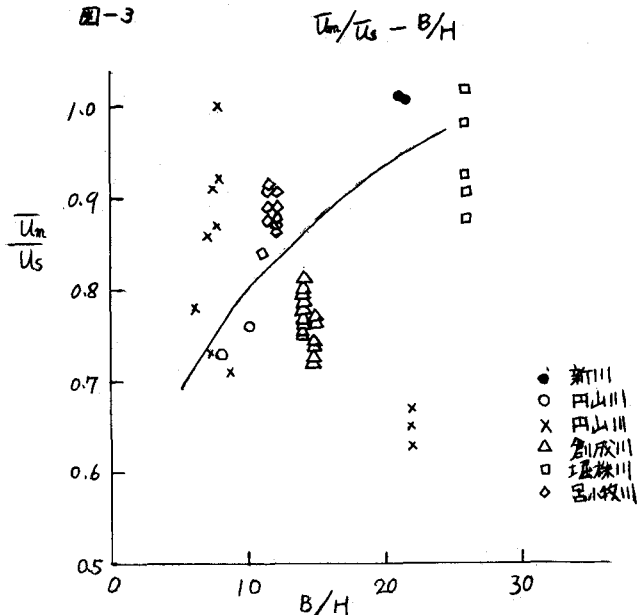


表-3. 観測時間と誤差

河川名	T (SEC)		
	P=2%	P=3%	P=5%
創成川	14~28	6~12	2~4
堀株川	164~329	73~146	26~53
苦小牧川	22~52	10~23	3~8

$$Q = Q_0 \cdot e^{-\alpha T} \quad \text{①}$$

①式中の減水係数を各年ごとに、1月1日から2月28日までの59日間について求め、それらの平均値を求めて作成したのが次にしめす図-2である。

この図-2を図-1と対照すると、意外なほど傾向は良く一致している。

この減水係数は、もちろん年によって同一地点でも変動をする。この原因としては、冬季間にまれに起る降雨とか、気温、地温による少量の融雪などの影響と考えられる。

3. 平均自然減水係数の変動

次にしめす図-3は、各地点の各年の減水係数の年変動の状況を調査するために標準偏差を求め、その分布図をしめたものである。

この図-3を前掲の図-1あるいは図-2と対比してみると、地質学上で地下水量が多いと推定され、減水係数の小さい地域は年による減水係数の標準偏差は小さく、地下水量が少ないと推定され、減水係数の大きい地域は標準偏差が大きくなっている。

この事は、地層中に豊富な地下水を有している河川は毎冬季、比較的に安定した地下水流出状況をすることを意味し、地下水量の少ない地層に存在する河川はその年による気象などの因子によって流出状況が大きく変るものと考えられる。

4. 初期貯留量の推定

次に、さらに前記1~3の結論をたしかめるために、地下水包蔵量の多寡を推定する方法として、初期貯留量を数式的に求め、この示数の分布図と前掲の図-1~図-3とを対比してみる。

初期貯留量示数として Q_{15} は次の②式により求めた。

$$Q_{15} = \frac{Q_0 \cdot \frac{1}{\alpha}}{A} \quad \text{②}$$



図-2 平均自然減水係数分布図
(1月1日～2月28日)



図-3 減水係数の標準偏差分布図(10⁻⁴)

シで

Q15: 1月1日における初期貯留量示数

Q: 1月1日における流量(片対数紙
上で直線化した値)

α : 平均減水係数の逆数

A: 流域面積(100km²を1とする)

②式により、各河川の各年ごとのQ15
を求め、それらを平均した値を用いて
作成した図が図-4である。

この図を前掲の図-1～図-3と対
比しても、やはりほぼ傾向は良く
似ている。

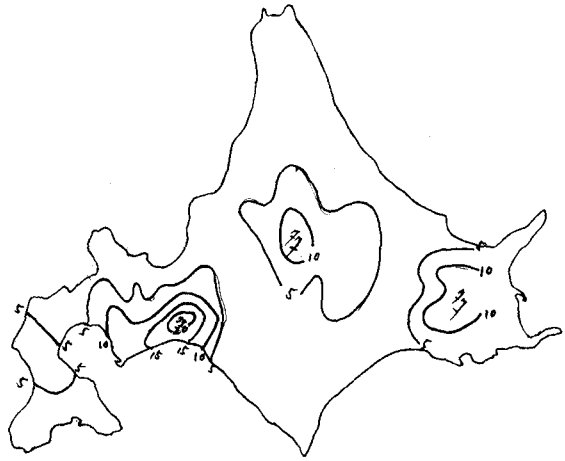


図-4 Q15の分布図

5. 10年非超過の洪水比流量ならびに「かんがい期」最小比流量図の作成
流量資料により10年非超過の年間を通じての洪水比流量(この場合、洪水量とは、日平均流量について各年
ごとに大きい値から数えて355位の値である。)と10年非超過の「かんがい期」の最小比流量(この場合の
最小流量とは5月1日～8月31日までの間の5日間平均の最小値である。ただし、8月29日から8月31日
までは3日間平均値をとる)を求め、1次原図を作成した。この図は省略するが、流域変更などの影響で値の凝わ
いものを除外しても、観測地奥が少なく等値線の描画に客観性が少なくなるおそれがある。とくに北海道東部は
流量観測地が少なく、空白地域となってしまう。この問題を解決するためには、未観測地域の各々の確率値を何
らかの合理的な方法で推定しなくてはならない。このために次の方法によった。

1) 多重相関図による確率値の推定

前掲までの調査結果で、地質分類が地下水量の多寡を推定する資料と傾向的に良い相関性が認められた。しか
し、北海道を一律に量的に対比が可能なスケールにはないので、1次原図の等値線の状況などを考えて、次にし
めず図-5のように北海道を6地区に分割し、
その地区内の観測地奥の資料から求めた確率
値と、そのjoint functionとから最直の多
重相関図を作成し、その図を利用して未観測
地奥のjoint functionにより各々の確率値を推
定することとした。

joint functionとしては次の8種を用いた。

①地質分類: 図-1により、その河川の存
在する地域の地質を、地下水量のもっとも多
い地質をA、もっとも少ない地質をDとして
A、B、C、Dの4種に分類する。この場
合2種以上の地質にあっている流域は、面
積的に大きい地質を採用した。

②等値線の傾向: 1次原図により各プロ

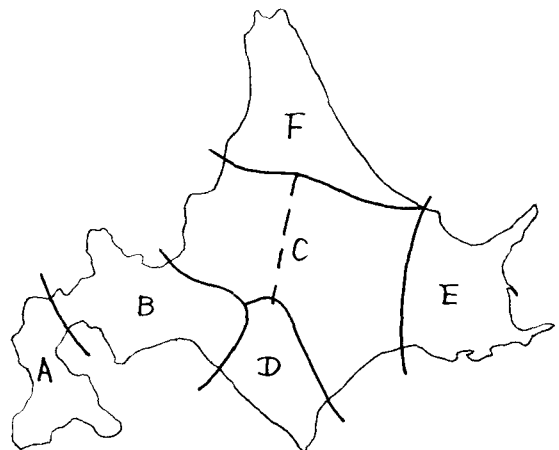


図-5 ブロック分割

ツクゴとに特徴ある分布をしているのでこの傾向を表現するために、そのブロック内の最大確率等値線で囲まれた地域を中心に、流量観測地までの直線距離をkmで表わす。

③ 流域面積：流量観測地までの流域面積 (km^2)

④ 標高：流量観測地までの海拔高度 (m)

⑤ 平均坡度：Astorの Intersection Method による流域内の平均坡度

⑥ 植生：北海道森林区分図により、流域内の林相を針葉樹林、広葉樹林、針広混林の3種に分類し、その有無を考へる。

⑦ 河川流向：その観測地の存在する河川の流向をS方位で表わす。

⑧ 湛水部の有無：その観測地の存在する河川の流源地帯に湖沼などの自然湛水部の有無を考へる。ブロックによっては観測地と関連する湛水部が全くない所があるのでそのブロックの相関図には含まれない。

joint function は以上の8種を採用したが、相関調査の結果、⑥の林相、⑦の流向は相関関係は認められないので除外した。

参考までに図-6にAブロック内の観測地について10年非超過の渇水比流量を求める相関図を示した。

図-7は、図-6を用いて観測地までの joint function を用いて推定した渇水比流量と実測値料による渇水比流量を対比した検定図である。(図中の○は、かんがい期用の他の図による値である)

このようにして12枚の相関図(渇水用6枚、かんがい期用6枚)を用い、未観測地域合計31地域について joint function を用い10年非超過の値を推定し、この資料と実測値料により作成したのが次の図-8図-9である。

図-8は10年非超過の渇水比流量分布図、図-9は10年非超過のかんがい期最小比流量分布図である。

これらの図中の○の地域が観測地であり、●印が相関図により推定した地域で、主に道東部である。

図-6
Aブロックの10年非超過渇水比流量を推定する相関図

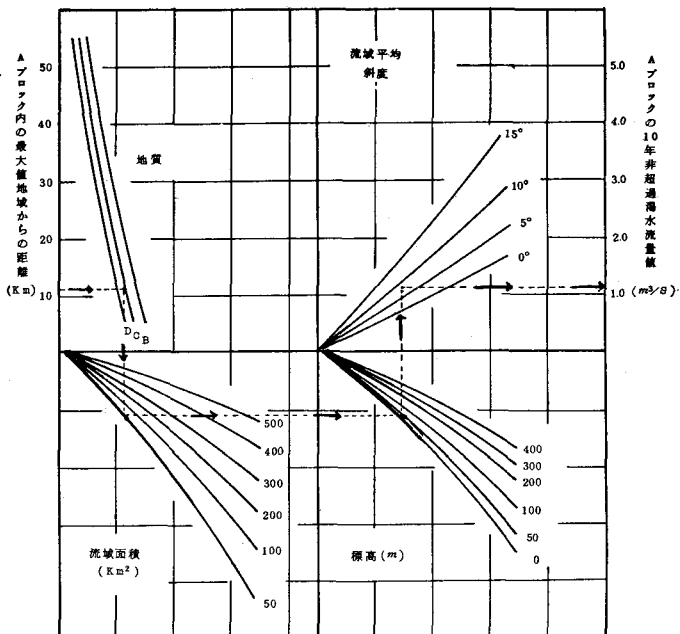
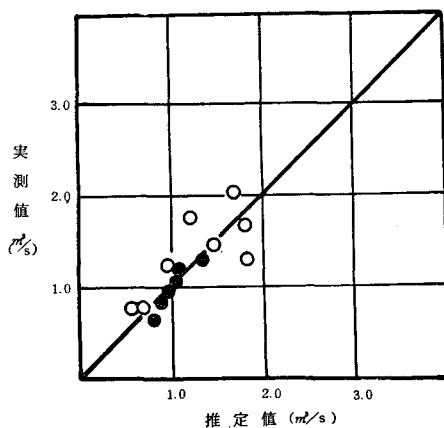


図-7
Aブロックの重相関図の検定

- 渇水値 (10年非超過)
- かんがい期最小流量値 (10年非超過)



これらの図-8、9の等値線の描き方については問題が残されているが、北海道のこれらの値をパターンとして見る場合には妥当な図と考えられる。

次にこれらの図の利用方法を例示する。

図-10について、A地までの10年非超過の洪水流量はどの位になるか？

流域面積 40 km^2

等値線の値 $1.20 \text{ m}^3/\text{s}$

$$Q_{y/10} = \frac{40}{100} \times 1.20 = 0.48 \text{ m}^3/\text{s}$$

またB地までの10年非超過の洪水流量は

流域面積 150 km^2

等値線の値 $0.90 \text{ m}^3/\text{s}$

$$Q_{y/10} = \frac{150}{100} \times 0.90 = 1.35 \text{ m}^3/\text{s}$$

なお、これらの調査については北海道大学の岸教授の指導をうけ、名古屋大学の高木助教授、地下資源調査所の山口地質部長、および北海道広域治水調査会の方にも助言、討論をいただいた。

