

洪水観測の精度向上のため考慮すべき点について

Some Comments on Improvement of Accuracy of Flood Discharge Observation

国立防災科学技術センター 正員 木下 武雄

1. はじめに

洪水観測は洪水の監視、洪水調節などのリアルタイム業務及び水資源計画・防災計画における基礎資料の収集として重要であることは論ずるまでもない。その具体的方法については、国土調査法水位及び流量調査作業規程準則があり、洪水観測に携わっている各省庁においては独自の技術基準に拠っている。建設省に関連するものとしては水文観測業務規程、河川砂防技術基準（案）があり、具体的な手法として最近「水文観測」¹⁾が出された。筆者もそれらの作成に参加し、その時、洪水観測の意味を考えたのでここにとりまとめた。

一般に洪水の観測としては水位と流量とがある。水位は〔L〕のディメンションを持つので、直接測定（又はそれに近い形）で測ることができるが、流量は〔L³/T〕のディメンションを持ち、間接測定で測る。観測の困難さは流量の方がはるかに著しい。流量は水循環の中の水のフラックスであり、分合流を考慮して、値は連続的で、保存される。これに対し、水位は水循環の中の水の存在に関する量である。従って雨量というフラックスとの比較などでは流量の方が水位よりも多く用いられる。それでここでは洪水流量観測についての考慮すべき点を主に挙げたい。

2. 流量観測の方法

河川において流量を観測する方法は次のように分類される。

- a. 点で流速を測って面で積分する方法：所定の位置に流速計を固定する。流速計としては回転式流速計（回転軸が流れに直角なものと、流れの方向に向くものがあり、前者のうちの1つとしてブライス流速計が有名）、可搬式電磁流速計がある。
- b. 線で流速を測って面で積分する方法：鉛直線で測る方法としては竿浮子がある。更正係数を掛ける。水平線で測る方法として超音波式がある。
- c. 全体として流量を測る方法：堰・ダムを用いる方法では越流水深と流量とが一義的に結びついているので、水位を測る。電磁流量計を用いる方法では流れが切る磁場により兩岸の間に生じる起電力を測る。
- d. 水位流量曲線を用いて水位から求める方法：予めa～cの方法で同曲線を作成してから水位を測って流量を知る。

ではこれらの方法が現実にはどのように利用されているかを見よう。

3. 現実にはどの方法が用いられているか。

河川で流量を観測する場合には、方法の選択とともに観測サイドの選択も大切である。「水文観測」では①水位観測所が設置できる場所、②流量観測が安定して行なえる場所、③維持管理がしやすい場所、④安全である場所をあげて、それぞれに数項ずつの細かい指示をしている。このような注意をした上で現実的に観測方法の選択をするわけであるが、実務上流量値にも測りやすい流量・測りにくい流量があるのではないか。

河川で流量を観測する場合に、竿浮子、ブライス流速計、堰などが常用される。理論的には堰で10000 m³/sを測ることは可能でも、現実には容易でない。それでは概念的にどの範囲かと言うと、小は0.1³/s（三角堰）から大は10 m³/s（四角堰）であろう。これより大きい流量は、その発生に伴って土砂・流木等が流出すること、落差による洗掘の対策を考慮しなければならないこと等から限界が判断される。逆に見れば、堰で測るには十分な落差が必要で、そうでないと流量が大きいときには潜り堰になってしまうということもある。ダムがあればそれを利用することは有利である。ブライス流速計を用いる方法では実際の河川の幅・水深からみて0.1 m³/s以上であろう。小型ブライスや水理実験用回転流速計ではもう1桁下まで測

れるが、実際の河川では河床の凹凸などによりむずかしい。大きい流量に対しては大流量発生時のゴミ・流木等により実際の限界がある。実績でみると $200 \text{ m}^3/\text{s}$ が上限である。竿浮子は表面浮子も加えて考えれば適用範囲が広い。河道にもよるが $10 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上で上限は特になかろう。これらの関係を図示すれば図1のように示される。

4. 実際上の観測のむずかしさ

洪水流量観測で最もほしいデータはピーク流量である。竿浮子による方法は洪水継続時間が十分長いと仮定すれば、どの方法よりも、厳しい自然条件に左右されないことで好都合である。事実それ故に、竿浮子が広く用いられている。しかし、人手がどうしても必要であるという欠点は全く仕方がない。そのためピーク流量付近を観測できなかったという例は意外に多い。実用上は前節dの方法により、その欠点を補っている。では在来の竿浮子でピークを把握できなかった例をあげると図2のようになる。昭和56年8月・昭和57年8月・昭和57年9月の3回の台風による洪水で、関東地建におけるのべ333箇所の流量観測においてピークを把握できなかった場合、ピークではないが観測した最大流量とそれを流域面積で割って流出高 mm/h 単位に直したものである。流域面積 $10 \sim 500 \text{ Km}^2$ 、比流量 $3 \sim 5 \text{ mm}/\text{h}$ ぐらいの場合に多い。図2ではピーク流量を観測できた300近くの場合は除かれている。在来からの流域面積が $500 \sim 10000 \text{ Km}^2$ の主要な観測所では十分にピーク流量が測られているが、個々には色々の事情があろうが、流域面積 $10 \sim 500 \text{ Km}^2$ においてむしろ小さい洪水（つまり早くピークが発生する）に対し、ピーク流量観測を逃す傾向がある。これは小流域ほど洪水到達時間が短いゆえに洪水流量観測が大へん困難であることを示しているもので、重要な観測所ではおむね観測に成功しているし、この図が何%の成果率というようなことを示すものではない。

ではなぜ、a～dに示された他の方法又は新技術を用いた方法が導入されないのか。次のような理由が推定される。

- ①洪水というのは何回もないので、確実にデータをとるためにはリスクな新しい方法よりも慣れた方法を採用する。
- ②洪水時の自然条件は厳しいのでデリケートな方法は使えない。
- ③水理的・電気的ノイズが多いので、エレクトロニクスを用いる場合は注意が必要である。
- ④洪水時に正常に作動させるには、長い非洪水期間にいつでも測れる状態で待っていなければならない。

このような点が新技術の導入を遅らせているので、今後の方針としては、洪水流量観測の精度向上とともに自動化・省力化を図っていかなければならない。

流量観測において、このほかに困難な条件としてこれまで各方面で指摘されている条件には次のようなものがある。

- ①結氷河川：アイスジャムの混合した状態から表面の結氷状態まで多くの段階がある。
- ②土砂の混入した河川、土石流。
- ③藻の生えた河川、藻などの浮遊物の多い河川。
- ④感潮河川、他の大河川との合流点付近。
- ⑤河川断面が極端に広がって流速が極端におそい河川。

これらは単一の影響をもたらすのではない。例えば、ブライス流速計に対し藻は「からまる」という害を及ぼすが、超音波を用いる方法に対しては藻が発生する気泡が害となる。

5. 感潮河川、他の大河川との合流点付近。

感潮河川等では水理的にも複雑な現象が発生して、観測例も少い²⁾が、ここで若干の考察をする。

(1)合流点付近の洪水の水位流量関係

大河川との合流点においては、一義的な水位流量関係を得るために流量観測所をある程度離さなければならない。ある程度とは、大河川における水位の変動に影響されない程度ということであるが、実際にはなかなか

むずかしい。不等流計算により影響を検証するのが一般的である。しかし各種の必要性から無理に観測している例もあり、そのような所では、ピーク発現が大河川の方が早いか当該河川の方が早いかで水位流量曲線が変る。また慣性項の効き方・水面勾配の意味も重要である。

渡良瀬川の利根川に対する合流点古河一栗橋でこの関係をみると図3のようになる。栗橋の最高水位がすぎると古河では水位は下りつつ、流量は増す。この傾向は、利根川で早くピークが発現することによるので、筆者はすでに報告している通りである³⁾。それから利根川の水位低下に引かれて渡良瀬川では流量が最大に達し、以降渡良瀬川の自己流量の減小にともなって流量は減って行くので、時計まわりの水位流量曲線となる。水面勾配は $4 \sim 13 \times 10^{-5}$ である。全般に古河水位の高い方が水面勾配が大きい。同じ古河水位なら水面勾配が小さいほど流量が大きい。一般に合流点の水位流量関係は大へん複雑である。

(2) 感潮河川の洪水の水位流量関係

感潮河川の平水の水位流量曲線は時計まわり、勾配のある河川の洪水の水位流量曲線は反時計まわりとなることはすでに述べた³⁾。感潮河川の洪水の水位流量関係は一体どうなるか。

利根川下流・江戸川下流の感潮部で調べる。まず気がつくことは河口近くでピーク流量が低減していること、流量に上下の振動があることである。振動は、洪水で水深の増した河道を洪水波より短周期の波動が上流から、あるいは下流から伝播しているのかも知れない。水位と流速とを比べると、流速の方に敏感に変動があらわれている。この上下には観測誤差による分も含まれていると思われるが、今ここでは断定できない。

洪水は孤立波であるので、水面勾配が逆勾配になることもあると言われるが、ここでは見つからなかった。余程の鋭い波でないと逆勾配はあらわれないだろう。水位流量曲線の向きは行徳で時計まわりの例があったが、他は反時計まわりで、しかも可成りループは狭い。図4参照。1洪水だけみると、一価関数の水位流量関係があるようだが、3洪水を重ねると必ずしも一価関数にはなっていない。水面勾配は 10^{-4} オーダーであるので、流量の小さい振動をもたらず流速変動 $\Delta u / g \Delta t = 10^{-5}$ と比べても大きい。

6. 流域の流出特性をマクロに調べる

流量観測を単に1回の観測値をうるための作業としないで、有意義なデータ群をうることを考え、照査の意味も含めて、流域の水文特性の粗い解析をすることは大切である。雨量・流量のクロスチェックとしてはタンクモデルで計算してみるという案もあろうが、流量だけの照査・解析については次のような方法がある。ある水系について本流を定め、それに沿った観測所を、流域面積の目盛の横軸にとり、縦軸には流量(年平均流量など)をとって上流から下流まで結ぶ。原点と結ぶ勾配は全流域の平均流出高、接線の勾配は周辺流域からの流出高を示す⁴⁾。流域変更のような取水があればその分だけ減る。図5は一例を示す。雄物川ではほぼ直線である。天竜川では下流で勾配が急になる。これは下流で年流出高が多いことを示す。利根川では前橋付近から勾配がゆるくなり、利根大堰で断層ができる。この方法はまた、上・下流の観測結果の相対的照査にもなる。

このようなグラフは集計期間により、意味が変る。

- ① 水年の数倍以上：平均的、つまり気候学的傾向
- ② 水年：当年の水文気象特性
- ③ 一洪水期：当洪水(総量)についての流域の寄与
- ④ 日：上流では洪水総量、下流ではピークに近い値に関する流域の寄与
- ⑤ ピーク：低減効果があらわれる。

7. まとめ

洪水流量観測は大変きびしい環境の下に行われる作業であるので、これまでも多くの問題が指摘され改良されて来た。本文では最近の結果から現在どんなことが全体としての精度向上につながるかを明らかにした。そのうち特に合流点・感潮河川における実測値を解析しつつこのような所の水理的な複雑さを明らかに

した。また年平均流量の簡単な解析も重要であることを述べた。

観測の重要性は今さら述べるまでもないが、ここに示された通り洪水流量の変動には未解明な点も多く、今後も精度の高い観測が期待されるわけである。ここに利用した資料は 高水速報（昭和56年8月台風第15号 昭和57年8月台風第10号 昭和57年9月台風第18号）いずれも建設省関東地方建設局、流量年表（昭和54年～昭和58年）建設省河川局によった。観測に従事された建設省職員に深く感謝の意を表するものである。

参考文献

- 1) 建設省水文研究会：水文観測，全日本建設技術協会
- 2) 木下武雄：洪水の水位流量曲線の意味，第28回水理講演会論文集，1984年2月，p.197
- 3) 木下武雄：超音波により連続的に観測された洪水・潮汐等の流量変化の不定流としての挙動，国防防炎科学技術センター研究報告（1982年3月）第27号 p.1
- 4) 木下武雄：黄河の流出率，第25回水理講演会論文集，1981年，p.171

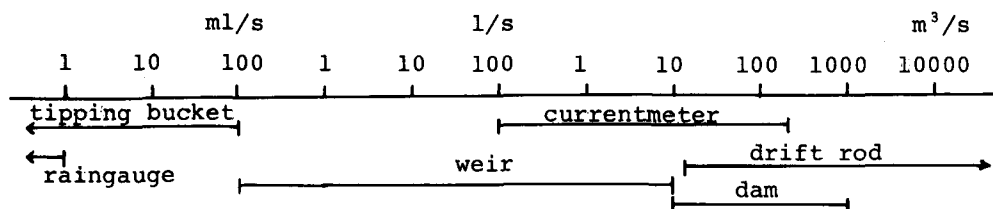


図1 流量ごとの測りやすい観測手段

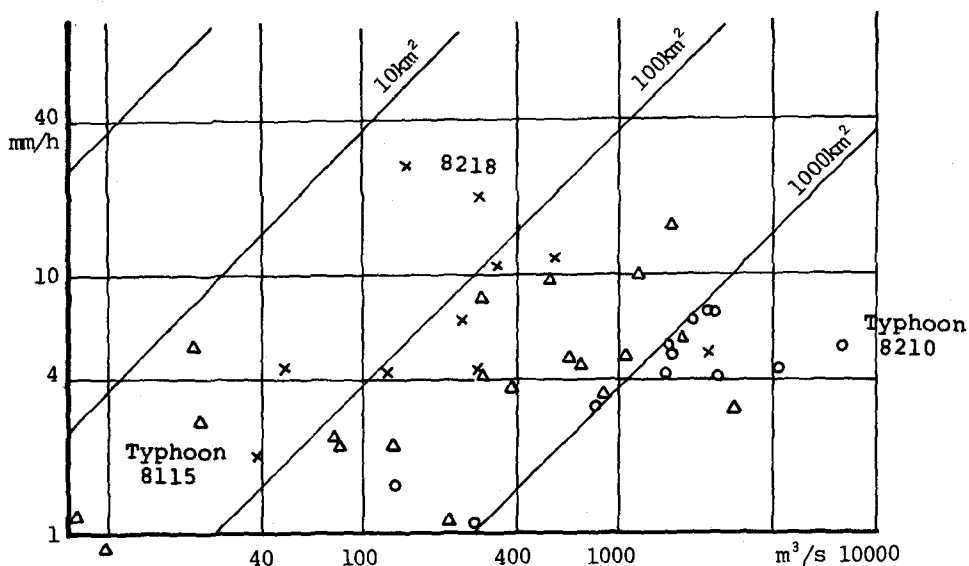


図2 洪水流量観測でピークを把握できなかった例

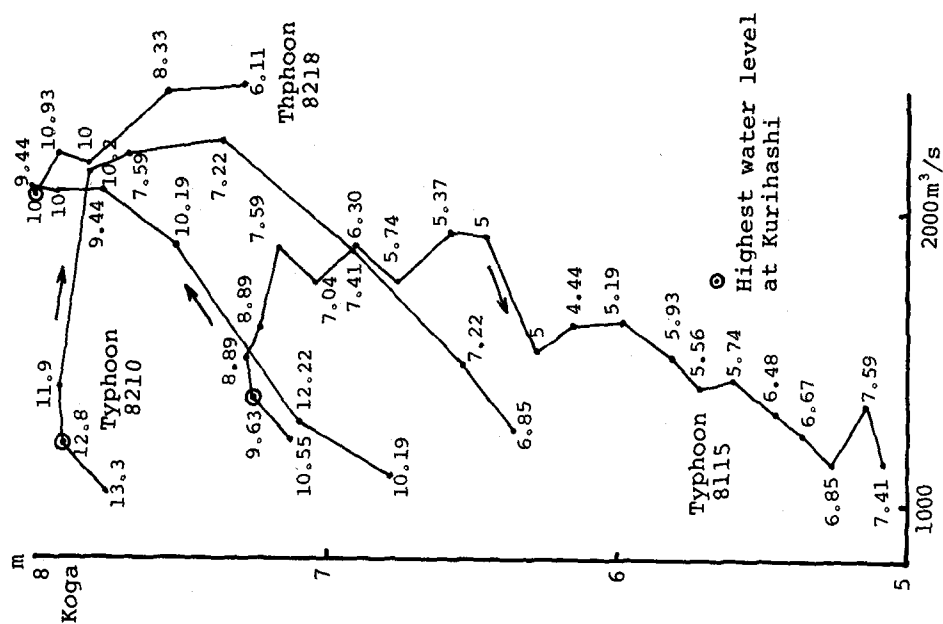


図3 合流点の水位流量関係 渡良瀬川 古河
図中の数字は古河一栗橋の水面勾配 10^{-5}

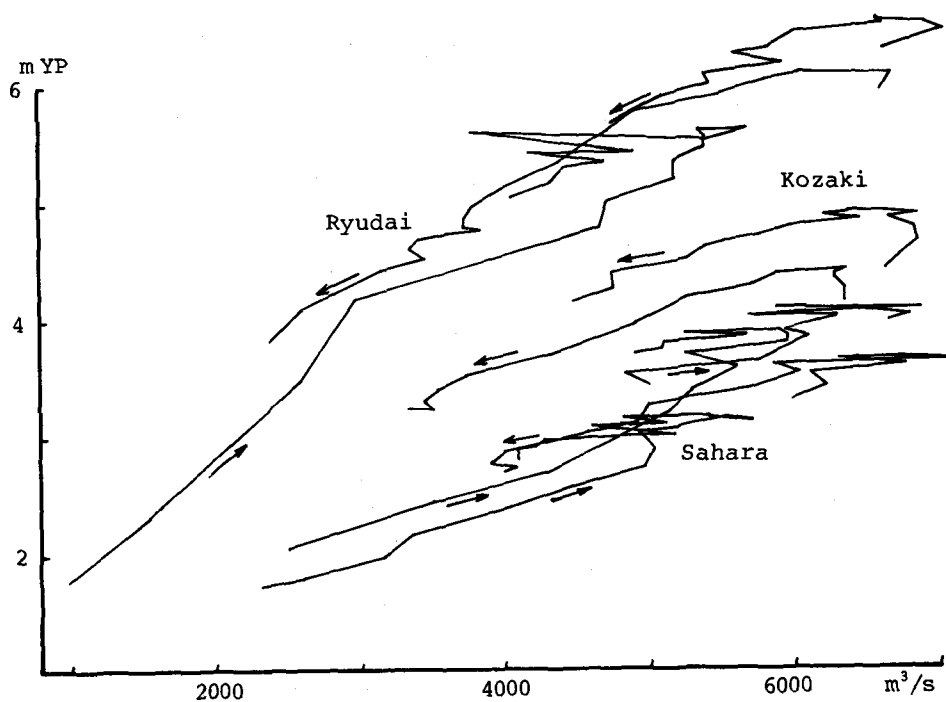


図4 感潮河川の水位流量関係 利根川下流

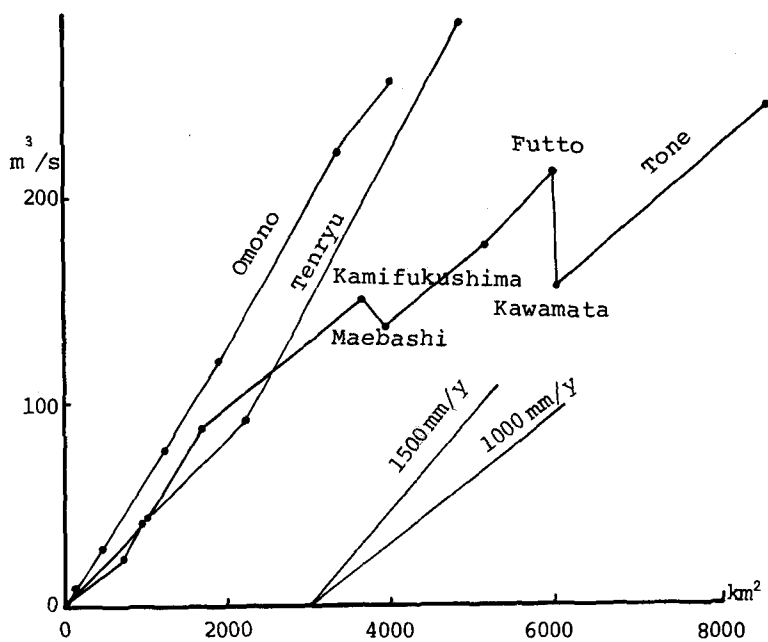


図5 マクロな流域流出特性 雄物川・利根川・天竜川における1979年より1983年までの平均流量