

洪水の水 位 流 量 曲 線 の 意 味

Interpretation of the Loop of the Stage Discharge Curve

国立防災科学技術センター 正員 木 下 武 雄
Takeo Kinoshita

1. 目的

本研究の目的は①洪水時の河川における流れの水理的特性を明らかにすること、及び②この特性をもとにして水位流量曲線作成の合理化をはかり、流量観測の精度向上を図ることである。前者は基礎的な面で、洪水の流れが果して開水路の不定流と呼ばれる方程式に合致しているかどうかということ、もしそうでないなら何が原因かということである。後者は応用的な面で、水文の観点から最も重要な流量の精度を向上させて、流出解析手法の向上を目指すものである。

2. 内容

わが国の主要な河川の主要な水位流量観測所においては原則として年36回の流量観測により流量が求められ、これらの実測値により、水位Hと流量Qとの関係を示す水位流量曲線（HQ曲線と呼ぶ）を作成し、通常の日の流量はこのHQ曲線を用い、水位から求める。このHQ曲線作成に当っては河川の流れは定流と仮定している。低水時は妥当であろう。高く（洪）水時には洪水流量観測を実施している。河川の状態によってまちまちではあるが、観測時間間隔は普通1時間である。洪水期間流れは定流ではない。不定流の効果がどのような水理条件で現れるか、又実用上どこまでを定流とみなせるかは重要である。簡単に言うと、HQ曲線は一般にループを描くわけで、何等かの媒介変数を導入することにより、一価関数すなわち一本の線にまとめることは重要である。このように実用上定流と近似できるか否かは①河川の水理特性としては河床勾配が急で他の影響が相対的に小さいこと②洪水特性としては変動がおそい（低い周波数成分）ことにより決まる。勾配の緩い河川では水面勾配が効き、さらに他の影響も現われ複雑となる。

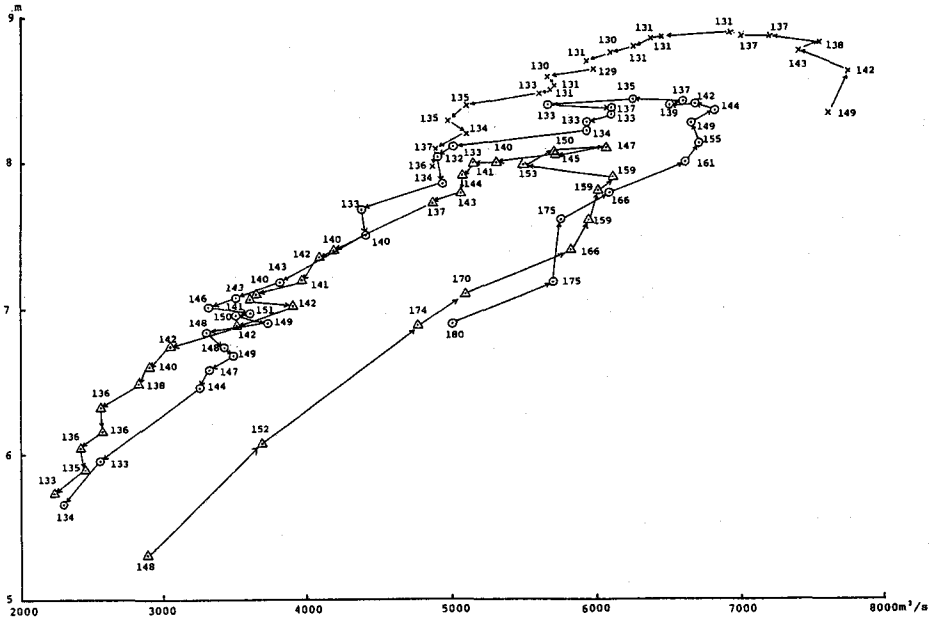


図1 T川H地点 図中数字は $I \times 10^6$ 矢印は時間経過を示す。

緩流河川の洪水・潮汐・高潮・合流点の流れ等はそのような意味で複雑で、H Q 曲線が時に大きなループを描くことがある。ループのまわり方は水位を縦軸、流量を横軸にとった時、洪水が反時計回り、潮汐が時計回りとなることを超音波観測と数式の双方よりすでに解明した。(木下 1982) 今回はさらに建設省の高水速報の流量観測値等によりこの問題を解明する。

3. 方法

H Q 曲線はある地点で水位流量関係が $Q = f(H)$ とおけることを仮定している。他方開水路の不定流の方程式は Navier - Stokes の式を単純化したものとして、

$$\frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{g} \frac{\partial u}{\partial x} - i + \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{Q^2}{C^2 A^3 R} = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

と書ける。各項はそれぞれ慣性・速度水頭・河床勾配・水深の勾配・摩擦を表わす。摩擦は Chezy の形であるが $C = R^{1/6}/n$ で Manning の形と置き代わる。 $-i + Q^2/C^2 A^3 R = 0$ とおけば、 $A \cdot R$ は流水断面積・径深とともに水位の関数であるため

$$Q = C A \sqrt{R} \sqrt{I} \quad \dots\dots\dots (2)$$

とおけて、 $Q = f(H)$ すなわち H Q 曲線が一価関数となることを示している。水深の勾配を含め、つまり水面勾配を I を用い

$$-i + \frac{\partial h}{\partial x} = -\frac{\partial H}{\partial x} = I$$

において摩擦項と組み合わせると

$$Q = C A \sqrt{R} \sqrt{I} \quad \dots\dots\dots (3)$$

とおけて、一見一価関数のようだが、 I が変化するため H Q 曲線はループを描く。さらに加速度も含め、

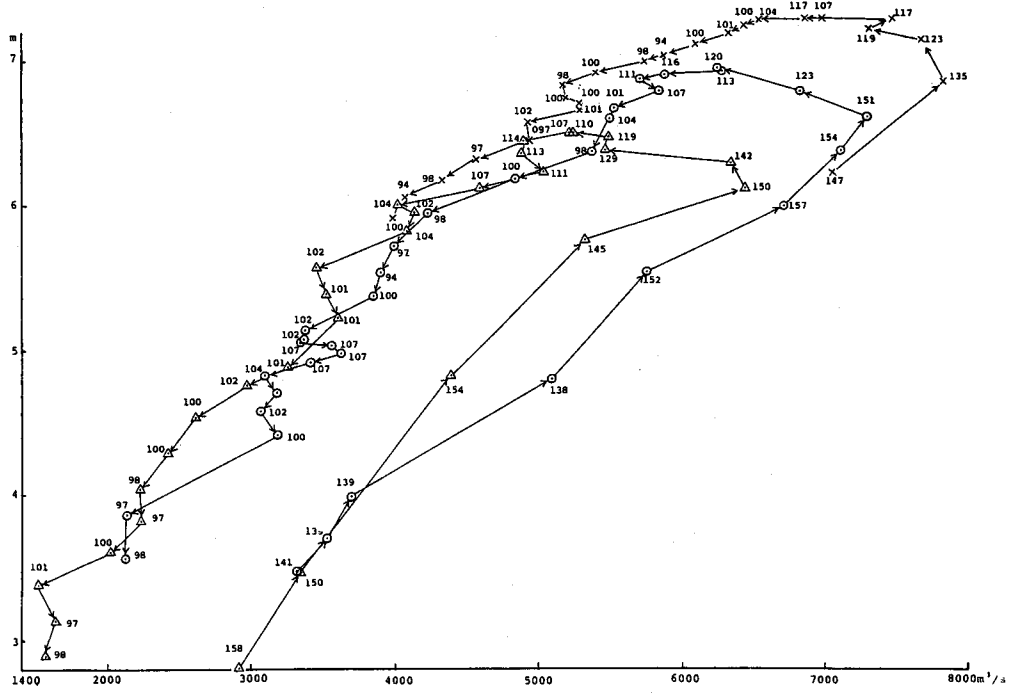


図2 T川H地点 図中数字は $I \times 10^6$ 矢印は時間経過を示す。

$$-\left(\frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{u}{g} \frac{\partial u}{\partial x} - i + \frac{\partial h}{\partial x}\right) = I'$$

において(1)式の全項を含めた形で同様に

$$Q = C A \sqrt{R} \sqrt{I'} \quad \dots\dots\dots (4)$$

とおくことができる。

各項の大きさの比較だけならこのようにせずに、(1)式に実測値を代入すればいいのであるが、C (又はn) は実測できない数値であるので、仮定 (例えば定流と仮定して(2)式から求めたCを使うとか、(1)式を満足するCが正しいと仮定する) でしか議論できない。従って各項の比較は行わない。

ここでは実測値から作ったHQ曲線が描くループで、同一水位に対し上昇側に1を、下降側に2を添字としてつけて、 Q_1 、 Q_2 の比を作ってCの影響を消去して比べ、各項の役割りを明らかにしようとする。例えば、 $Q_1/Q_2 = \sqrt{I_1/I_2}$ ならば水面勾配と摩擦項とが釣り合うことがわかる。

4. データ

T川の1981、1982年の3洪水における上流T地点と下流H地点のデータを用いた。図1はH点、図2・図3はT点で、図中の数字は図1・図2では $I \times 10^6$ 、図3では $I' \times 10^6$ である。水面勾配を求めるには下流側の観測水位と当該水位との差を用いた。 I' 中の $\partial u / \partial x$ はT点とH点とが8.8 Kmはなれていることから、この2点の流速の差を用いた。 $\partial u / \partial t$ は当該時刻の流速と、1回前の観測流速の差を用いた。

5. 結果

これらの図から読み取った平均的な数字を並べると表1のようになる。

図1・図2すなわち、(3)式についての比を作ると、

$$Q_1/Q_2 > \sqrt{I_1/I_2}$$

となる。このことは水面勾配を媒介変数として導入してもHQ曲線が十分表わせないことを意味している。

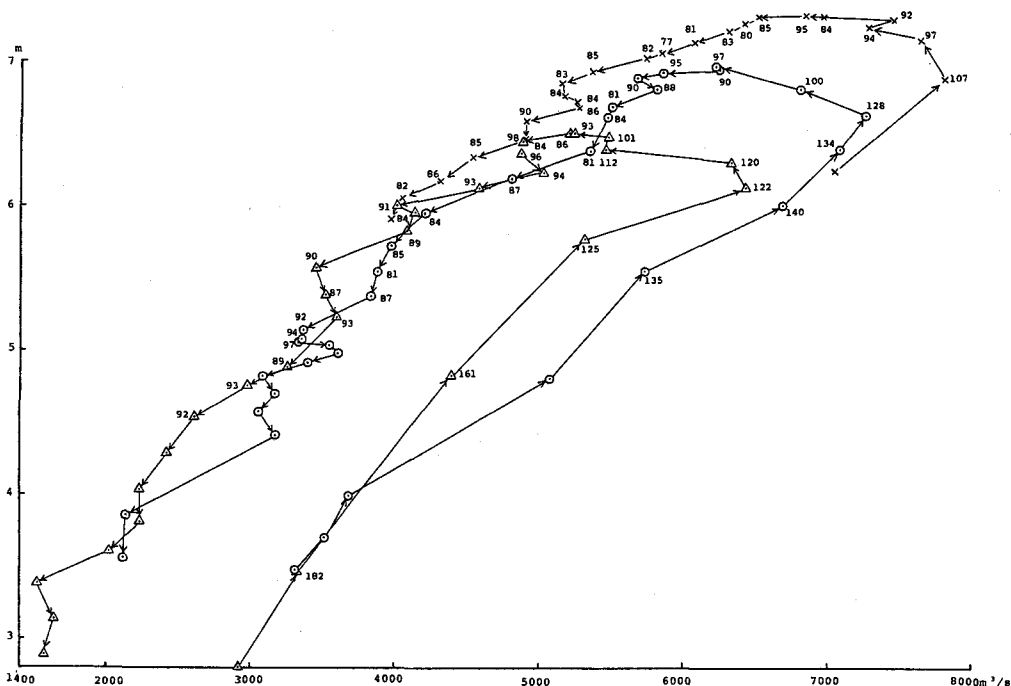


図3 T川T地点 図中数字は $I' \times 10^6$ 矢印は時間経過を示す。

つまり、何か他の要素が働いている。それで図2のIをI'と改めたのが図3で、慣性・速度水頭を加えている。幾らか $Q_1/Q_2 \approx \sqrt{I'_1/I'_2}$ となっているが、やはり Q_1/Q_2 が大きい。同じ傾向はH点においても同じである。

よってこれらの地点では開水路の不定流の(1)式を用いても成立たない何か別の効果が働いているとみなければならない。

① 実測に誤差が多いためではないか？誤差のない流量観測はないが、3回の洪水でループが重なり、IやI'も似た傾向にあるから、今論じている範囲では誤差は小さいであろう。

② 開水路の不定流(1)式に別の項がつくか？河川の流れは流管と考えられ、x方向のみで表現できる。2次流は一応無視できる。水面の空気抵抗はCの中に含まれているとみなせる。コリオリの力も平面的な流れで始めて効果をもつ。

③ Cが流速によって変化しないか？流速の速い洪水初期には、砂澱が消滅してCが小さくなる等の可能性は考えられるが大きな影響としては疑問である。厳密には(1)式をuについて解いて、 $Q = Au$ とするのが正解であるが、ここでは、実用的にHQ曲線の利用をも考えて、また各実測値の精度も考えて、近似値としての議論である。

6. その他の考察

- ① 同じ洪水でも上流ではループの幅が狭く、下流では広い。
- ② 感潮河川・合流点直上では逆流が発生したりして、(1)式の各項の効き方はさらに複雑になる。

7. 結語

洪水の水位流量曲線のループの意味を論じた。同曲線は実用的には水面勾配又はそれに係数を掛けた値を用いてループの広がりをもとめることも可能であろうが、量的にはループの広がりの説明するには十分の要素は考えられない。これは洪水の流れが複雑であることを示しているものと思われる。今後の調査研究によってこの点を明らかにすることは必要である。洪水流量観測の資料を提供して下さった建設省に感謝の意を表する次第である。

参考文献

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、国立防災科学技術センター研究報告№27 1982.

表1 図1～3から読み取った諸値とそれらの比

地点	水位	上段 Q_1 下段 Q_2	Q_1/Q_2	上段 I_1 下段 I_2	$\sqrt{I_1/I_2}$	上段 I'_1 下段 I'_2	$\sqrt{I'_1/I'_2}$
H	8 m	6600 ^{m³/s} 4800	1.38	161×10 ⁻⁶ 135	1.09		
	6 m	3600 2400	1.50	152 135	1.06		
T	6 m	6700 4000	1.68	157 100	1.25	140×10 ⁻⁶ 84	1.29
	4 m	3700 2100	1.76	139 97	1.20	180 90	1.41