

大河川の降雨より計画高水流量の算出について

准員 井部 勇 一*

要旨 次の3つを原則として、大河川の降雨より計画高水流量を算出する方法を述べたものである。

- (1) 降雨を長雨と強雨とに分析して流出量を考える。
- (2) 流域内降雨区域で影響の最大な区域の強雨ピークの到達する時刻に水位は最高となる。
- (3) 流域内降雨区域の最遠端の最後の降雨水の到達時刻(低水速度)で、地表河道流出は終る。

1. 大河川の降雨と流量との関係

到達時間が数時間の延長の短い中小河川の計画高水流量を考えるには、到達時間に相当する時間の降雨量を考え、これが到達時間内一様の強度で降ると考えて、全流域の支川の流量を総和して最大流量を出して差支えないが、大河川の流量を算出する場合の支川として考える場合は、各支川は何時何程幹川の流量に参加するかが問題となるので、実際の降雨状況に相應した流量-時間変化を求めねばならない。

2. 降雨の型と流量との関係

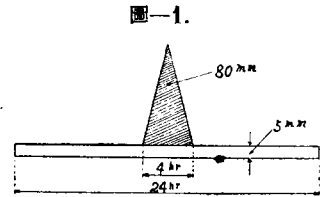
実際の降雨の時間的変化は大小の數多くの山をなして、複雑な変化をするが、河川の流量と關聯して考える時は、流量は一様の強度の長雨の場合と短時間に強く降る強雨の場合とでは著しく異なる。即ち一様強度の長雨の場合は、流域の最遠端の降雨水が到達する頃最大流量となり、全流域の降雨水が最大流量に参加する。これに反して短時間の強雨の場合は下流の流量が流過して終つてから上流の流量がやつて來るといふ具合に全流域の降雨水は上流々域と下流々域とでは決して一緒になることはない。この場合の最大流量は全流域の中、一番影響の大きい支川群の流域の降雨水が到達して形造るものである。以上のような理由で河川の流量と關聯して降雨を考える場合は、降雨を次の2つに分けて考えるのが良いと思われる。

- (イ) 一様強度で長時間降る雨……長雨
- (ロ) 短時間強く降る雨……強雨

3. 強雨と長雨

長雨の後に強雨があつた場合、強雨の流域濕潤損失量や地下滲透量は餘り考えられず、大部分が表面流出量となつて流下するので、この場合が最も流出量が大きくなる。従つて計画高水流量はこの場合を考えて算

出すべきである。實際の降雨を、流量を算出する爲、強雨と長雨とに分ける場合、實際の降雨の時間的変化が分れば問題はないが、日雨量だけが分つている場合、強雨の時間の採り方によつて各支川の流量の結合の仕方が異つてくるので流量も色々變つてくる。計画高水流量としては、最も大きな流量を與える時間の強雨を採ればよいが、實際は仲々決め難い。實際の降雨に於て數十mm という強雨は通常2~3時間であり長くとも4時間以内のことが多い。そして4時間強雨を考えれば大體流域の性質が分ると思われるので計画高水流量を算出する場合の強雨としては4時間強雨を考えることにする。次に例として日雨量200mmの場合、これを4時間強雨と長雨とに分けるには次の如く考える。4時間雨量は大體日雨量の半分と考えるのが適當と思われるので100mmとする。他の20時間は降雨強度一様と考へて20時間の總雨量は100mmであるから強度は5mmとなる。これを24時間一様強度5mmの長雨があつて、これに更に4時間の強雨が加わると考えれば4時間強雨の大きさは80mmとなる。(圖-1)



以上により日雨量200mmの降雨が數日續く場合は、5mmの長雨が數日續き、且つ1日に1回80mmの4時間強雨が重なるものとすればよい。

4. 強雨ピークと最高水位

實際の多くを調べてみると、或地點の洪水波のピークは、その地點の流量に最も影響の大きい流域の強雨のピークと殆んど一定の時差である。強雨のピークはごく短時間であるから強雨のピークと水位のピークとの時差が、その流域特有のものであり、流域内降雨区域で影響の最大な区域の強雨ピークの到達する時間と考えられる。もつとも2回目のピーク間の時差は1回目の時差に比べて幾分(實例で1~3時間程)短くなつてゐるが、これは2回目は流域は一層濕潤になり、又河道の水深も増加する爲流速が大きくなるからと考へられる。引續いて2回連續して強雨のピークがある場合、たとへ2回目は幾分1回目より小さくとも一

* 建設省東北地方建設局最上川下流工事事務所技官

般に後のピークが到達して最高水位となる。最上川既往洪水について酒田の時雨量ピークと下流地点の白ヶ澤の最高水位時との時差を求めてみると、昭和19年7月は10~11時間、昭和21年6月は12~13時間、昭和22年7月は10時間、昭和22年8月は11時間、昭和22年9月は11時間で、水の多く出た時は幾分出水時間は速くなっているが、大體一定で平均11時間である。これは結局最上川には下流に大支川鮭川があつて、この流域に降つた強雨水が到達して下流の最高水位となるもので、上流と同じように下流にも降雨がある時は、必ずしも最上川最上流地点の強雨水の到達時刻に最高水位になるとは限らないことを示している。既往洪水を調べてみると、上流域の強雨水は大體24時間で白ヶ澤に到達している。

5. 出水の終り

流域内降雨区域の最遠端の最後の降雨水が流下するにつれて、最上流地点より逐次降雨水の補給がなくなるので、流出量は單に地表貯溜水と地下水の流出のみとなる。従つて水位は最後の降雨水が流下するにつれて逐次上流より低水位近くまで減ずる。この水位に相當する速度で測點まで到達した時に、河道流出は終ると考えられる。この河道流出終時の速度を低水傳播速度とすれば、即ち“流域内降雨区域の最遠端の最後の降雨水の到達時刻(低水傳播速度)で、地表河道流出は終る”と考えてよい。地表貯溜水や地下水は河道の水位が低下するにつれて、逐次排出されるので、河道の流出が終る頃は、既に減水しているから地表貯溜水の大部分は河道流出と共に排出されると考えられる。其後地上貯溜水の残部や地下滲透水等が徐々に滲出して流下し水位はごく静かに減ずる。従つて河道の流出が終つた時で水位時間曲線は急に勾配が緩やかになる。最上川下流の既往洪水時に於て、降雨が終つてから、水位の減少率が平水時の減少率(12時間で10cm以内)になるまでの期間は、昭和13年~22年の出水について調べてみるに2.5日~3.5日で平均して3日位である。これは大體高水傳播速度の1/3であり、秒速に直すと約0.8m/secとなる。これは恰度最上川本川の低水流速に相當する。

6. 河道流出量

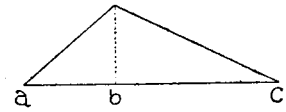
一般に降雨は(1)地下滲透水(2)地上貯溜水(森林河道貯溜水及び河道外氾濫水)(3)河道流出水の3つに分けられる。この外に蒸發が考えられるが、これは短時間では外のものに比べて非常に僅かであるから除外する。降雨量と河道流出量との比を流出係數と考えれば、地下滲透や地上貯溜は流出係數でカバー出来て、計畫高水流量にはこの河道流出量のみ考えればよいこ

とになる。河道流出量のみ考える時、水位の波型は、途中の支川を考えなければ、流下距離と途中の河道幅とによつて下流へ行く程、低く長く潰されるが、流出量は單に流下距離のみによつて漸減してゆくと考えられる。

7. 強雨の流出量

以上によつて強雨の流出量の時間的變化を圖-2の如く考える。

圖-2.



- a: 流域内降雨区域の最近端の最初の強雨水の到達時刻(高水傳播速度)
 - b: 流域内降雨区域で影響の最大区域(普通は最上流区域)の強雨ピークの到達時刻(高水傳播速度)
 - c: 流域内降雨区域の最遠端の最後の強雨水の到達時刻(中水傳播速度)
- 中水傳播速度というのは強雨水の流出終時の水位に相當する速度を名附ける。

q_m (m^3/sec): 最大流量, T (hr): 強雨流出時間 (ac 間), f : 流出係數, r (mm): 強雨總降雨量, A (km^2): 流域面積とすれば,

$$\frac{q_m \cdot T \cdot 60 \cdot 60}{2} = f \cdot \frac{r}{1000} \cdot A \cdot 1000 \cdot 1000$$

$$\therefore q_m = \frac{2 \times 1000}{3600} \frac{f \cdot r \cdot A}{T} = 2 \times 0.2778 \frac{f \cdot r \cdot A}{T} \dots \dots \dots (1)$$

長雨後の強雨流出の場合の流出係數は0.9~1.0位と考えられる。

8. 長雨の流出量

一樣強度の降雨が長く續けば、初期の流域濕潤の損失は必要なくなり、地下水流出の補給も一定となつて、遂には表面河道流出はほぼ一定の量となるであろう。従つて長雨の流出量は次の如く考える。

$$q_m = 0.2778 f r_0 \cdot A \dots \dots \dots (2)$$

r_0 : 流域内降雨区域の最遠端の降雨水の到達時間内の總雨量の1時間當り雨量。

この場合の到達速度は長雨流出量の最大時の水位に相當する速度で中水傳播速度である。

9. 流出量一時間變化

以上により流出量を長雨流出量と強雨流出量との合成と考え、その時間的變化を圖-3の如く考える。

- a: 長雨降り始め時刻
- b: 流域内降雨区域の最遠端の最初の長雨水の到達時刻(中水傳播速度)
- c: 長雨降り終り時刻

d: 流域内降雨区域の
最遠端の最後の長
雨水の到達時刻
(低水傳播速度)

支川を考え
なければ、
洪水水位波型
(従つて流

量-時間曲線)は下流へ行く程潰れてくる。これを次のように考える。圖-4にて初めABCの形をしてい

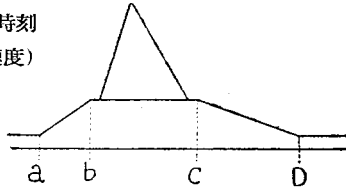
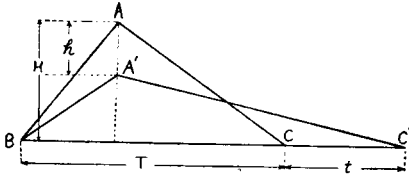


圖-3.

圖-4.



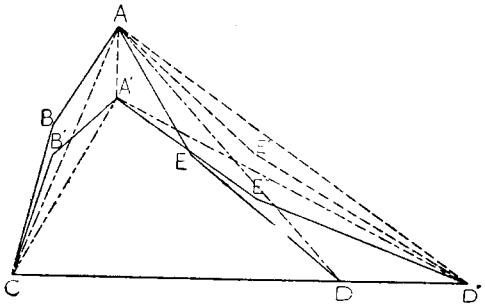
たものが、A, B 點と C 點との傳播速度が異なる爲下流へ行つて A'BC' に潰れて来る。途中流量の損失を考えなければ $\triangle ABC$ と $\triangle A'BC'$ とは面積が等しい。

$$T \cdot H = (T+t)(H-h)$$

これより
$$h = \frac{t}{T+t} \cdot H$$

波型が複雑な形をしている場合もこの基本三角形に比例して潰れてくるものとする。例えば圖-5 に於て

圖-5.



初め ABCDEA の形をしていたものが、D が D' に延びた場合 A'B'CD'E'A' に潰れてくるのであるが、これを求むるに先づ基本三角形 ACD が A'C'D' になるものとして AA' を前述の方法で求める。AD が AD' に移動する量丈水平に AED を AE'D' に移動する。然るときは $\triangle ADD'$ と $\triangle AEDD'E'A'$ とは面積が等しい。次に CAD' が CA'D' に移動する量丈垂直に CBAE'D' を CB'A'E'D' に移動する。然るときは AD'A' と AE'D'E'A'A とは面積が等しい。又

$\triangle ACA'$ と $\triangle ABCB'A'A$ とは面積が等しい。以上によつて ABCDEA と A'B'CD'E'A' とは面積が等しい。

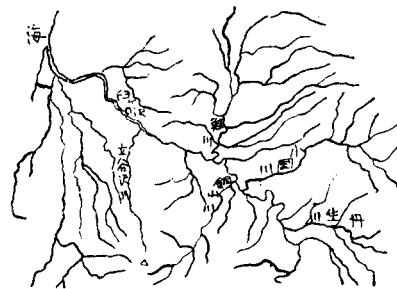
10. 大河川の降雨より計画高水流量の算出

大河川の流量を求めるには、長雨流出量と強雨流出量とを別々に求め、これを組合せる。長雨流出量を求めるには、全流域平均日雨量を求めてこれより長雨としての平均時雨量を求め算出する。強雨流出量を求めるには先づ4時間強雨は降り始めより2時間後に強雨ピークがあるものとして、各支川についてその本川との合流點に於ける強雨流出量の時間的變化を求めておく。次に全流域一様に4時間強雨があつたとして上流より次々に支川を合併して下流へ下つてゆく。即ち最上流地點にて A 支川と B 支川とを組合せ、これが C 支川合流點まで流下して、それ丈流量の波型が潰れて C 支川と合併する。次に D 支川まで流下してこれを合併する。支川は本川へ流入してからは本川のその時の水位に相當する速度で流下するのでこのように上流より逐次組合せて行かねばならない。かくして下流測點まで支川を合併してゆけば強雨流出量の時間的變化を知ることが出来る。これより強雨の最大流出量の大きさと時刻とを知ることが出来る。

降雨より最上川下流計画高水流量の算定

立谷澤川合流點に於て最上川の計画高水流量を次のようにして求める。

圖-6. 最上川下流圖



1. 長雨流出量

最上川上流下流一様に豪雨になることは過去に於て殆んどなく、台風による豪雨の場合は上流のみ降雨量多く、下流は少い。又不連続線に依る豪雨の場合で下流に降雨量多い場合は上流に少く、全流域で平均すれば日雨量は小さくなる。下流部で過去最大の出水である昭和19年7月の洪水で上流下流で21ヶ所の最大日雨量の平均は84.5mmである。4時間雨量として

半分とすれば、20 時間として 42.25 mm で 1 時間平均約 2 mm となる。立谷澤川合流點に於て流出係数 0.6、流域面積 6,239 km² であるから流出量は

$$0.2778 \times 0.6 \times 6,239 \times 2 = 2,079.666 \approx 2,080 \text{ m}^3/\text{sec}$$

2. 強雨量出量

全流域に一樣に 4 時間強雨があつたものとして流出量を算出する。強雨は降り始めてより 2 時間でピークあるものとする。流出係数を幾分安全をみて 1.0 とし、流出終時の中水傳播速度は流出最時の高水傳播速度の半分とすると、前掲 (1) 式は

$$f = 1.0, r : 4 \text{ 時間總降雨量} = \frac{1}{2} \text{ 日雨量}$$

$$t(\text{hr}) : \text{到達時間 (高水傳播速度)}$$

$$T = \text{強雨時間} + \text{到達時間 (中水傳播速度)} = 4 + 2t$$

$$\therefore q_m = 2 \times 0.2778 \frac{rA}{4+2t} = 0.2778 \frac{rA}{2+t}$$

となる。

3. 丹生川合流點に於ける本川計画高水流量

丹生川合流點までの最上川本川流域面積 3929.3 km² 幹川流路延長 149.5 km であつて、昭和 13 年 9 月及び昭和 16 年 7 月出水に於て上流域の強雨ピーク時より 18 時間で最高水位があらわれている。最上川上流の既定計画高水流量は 5200 m³/sec であつて、今長雨時雨量を 2 mm とすれば長雨流出量は 0.2778 f Ar = 0.2778 × 0.6 × 3929.3 × 2 = 1310 ≈ 1300 m³/sec となり、従つて 4 時間強雨流出量を 5200 - 1300 = 3900 m³/sec とする。

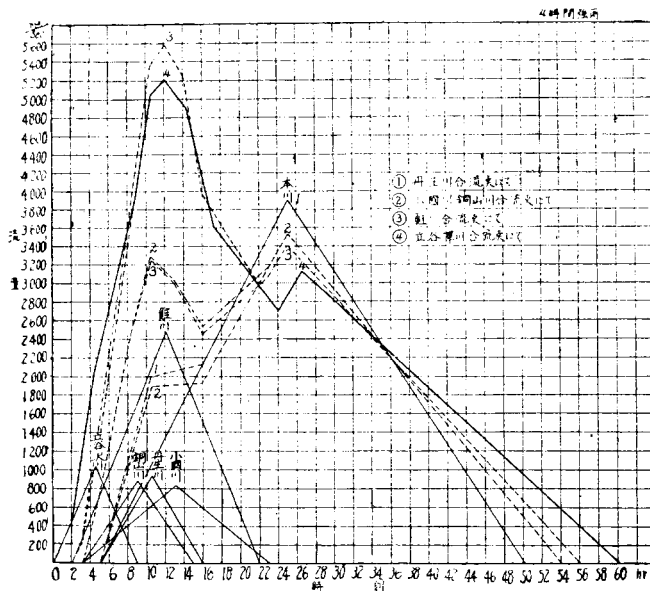
4. 各支川強雨流出量

表一に示す如くなる。以上により圖一七の如く各支川の流量を合成してゆく。この結果を立谷澤川合流點に於ける 4 時間強雨流出量は 5210 m³/sec となり長雨流出量は 2080 m³/sec となるので合計 7290 m³/sec となる。これは全流域一樣に過去の最大 4 時間雨量があるものとしてあり、又流出係数も幾分大きく採つてあるので 7000 m³/sec として充分と考えられる。

表一.

	流域面積	流路延長	本川との合流までの到達時間(高水傳播速度)	合流點間の距離	合流點間の到達時間	流況過去最大日雨量	計連日雨量	計連4時間降雨量	4時間強雨流出量
丹生川	2477 km ²	39.2 km	3.5 hr	20 km	2 hr	尾花 100 mm 船 4.20 mm 町 43.8 mm	150 mm	75 mm	940 m ³ /sec
小国川	3974 "	46.8 "	8.0 "	3 "	0 "	町 71.6 mm 船 15.8 mm	200 "	100 "	890 "
銅山川	1920 "	39.6 "	4.0 "	11 "	1 "	木 205.5 mm 船 15.8 mm	200 "	100 "	2480 "
鮭川	892.5 "	61.0 "	8.0 "	18 "	2 "	船 22.9 mm 町 19.7 mm	200 "	100 "	1040 "
立谷澤川	168.19 "	32.0 "	2.5 "						

圖一七. 最上川下流計画高水流量



土木學會編

水 理 公 式 集

御申込は學會宛代金を
添え、御注文下さい。
部數に限りがあります。

— 容 内 —
第一篇 河川電力
第二篇 上水道
第三篇 港灣

定 價 一六七圓
A・5 判 二〇〇圓
(平 五〇圓)