

石狩川上流部双雲別の流出解析 (第2報)

正員 北大工学部 中尾欣四郎

1. 緒 言

双雲別流域は流域面積が、204 km² で、斜面の平均勾配は、約 1/5 であり、斜面の流下距離は短く、勾配の急な小流域である。

このような小流域では、流出の非線型性が強いことが予想される。

「石狩川上流部双雲別の流出解析—第1報—」では、試算による単位図を求めたが、降雨特性に応じて、3-type の単位図の使いわけが必要であった。

本文では、非線型な流出計算である特性曲線法で解析を試み、すべての洪水に、一定の粗度係数を与え、好結果が

得られた。

解析に用いた資料は、表-1 に示す昭和 30 年から昭和 33 年までの、10 個の洪水である。

2. 有 効 雨 量

表-1 にあげたとおり 10 個の洪水は、総雨量が 70 mm 以下の中小洪水で、降雨が比較的短時間に集中しているから、有効雨量は流出率を一定とする近似法で計算した。ただし後述の 100 年確率降雨に対する有効雨量の算出は、Horton 型の損失雨量曲線を利用した。これについては第1報に詳しいからここでは省略する。

3. 特性曲線法による解析方法

3. 1 流域分割

双雲別測水所の流域は、図-1 にみられるように、主な支川、ユーニシカリ川、石狩川本流、ペンケチャロマップ川およびホロカイシカリ川に代表される。これらの支川は樹枝状にわかれ、ユーニシカリ川は、石狩川本流に双雲別測水所から約 6 km の地点で合流し、ペンケチャロマップ川およびホロカイシカリ川は、双雲別測水所から約 3 km の地点で本流に合流している。

特性曲線法では、流域特性の類似した流域に分割して解析を行なう。分割の単位は上記の 3 支川の流域をとり、ユーニシカリ川流域を A 分割流域、石狩川本流流域、ホロカイシカリ川流域およびペンケチャロマップ川をそれぞれ B 分割流域、C 分割流域および D 分割流域と名づけた。

解析に当り、流域を矩形模型に近似し、表-2 に、それぞれの矩形模型の斜面流下幅、流路長および斜面勾配を示した。

表-1

洪水 No.	年 月 日	頂点流量 (m ³ /sec)	総雨量 (初期損失雨量除く) (mm)
1	S. 30. 7. 30	314.5	45.8
2	S. 30. 8. 10	56.0	39.3
3	S. 30. 8. 17	54.1	21.1
4	S. 30. 8. 19	52.3	22.9
5	S. 30. 8. 21	58.5	16.4
6	S. 32. 9. 20	97.0	64.6
7	S. 32. 10. 17	84.0	40.2
8	S. 33. 7. 22	83.0	46.0
9	S. 33. 7. 31	100.0	27.1
10	S. 33. 8. 27	60.0	36.4

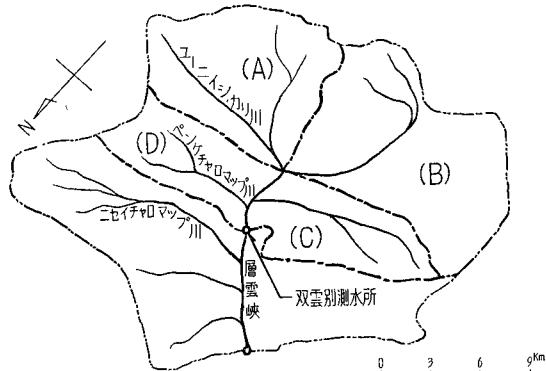


図-1 双雲別流域図

表-2

流 域	面 積 (km ²)	斜面流下幅 (km)	流 路 長 (km)	勾 配
全 流 域	294.0	1.363	215.7	0.204
A 分割流域	94.3	1.336	70.6	0.197
B 分割流域	136.8	1.423	96.1	0.222
C 分割流域	34.0	1.322	25.7	0.232
D 分割流域	28.9	1.216	23.8	0.165

ここで、流路長は、地形図から直接測られた距離ではなく、流路長＝流域面積/斜面流下幅 で、斜面流下幅から求まる距離である。

3.2 粗度係数の推定

特性曲線法では、斜面の粗度係数 N の近似値を求めることができれば、計算は著しく簡便になる。このことは、「豊平川流出解析：技術資料第17号」でも強調した。

全流域を一括した矩形模型を考え、流出の上昇時間に着目すれば、 N は(1)式および(2)式で求められる。(1)式は、頂点流量が降雨継続時間中に生じたとき、(2)式は、降雨終了後に頂点流量が生じたとき、それぞれ N を求める式である。

降雨継続中に頂点流量が生じた場合

$$N=(\sqrt{I}B) \cdot t_g^{1/p} \cdot r_m^{(1-p)/p} \tag{1}$$

降雨終了後に頂点流量が生じた場合

$$N=(\sqrt{I}pB)\{t_g-(1-p)t_d\}R_e^{(1/p-1)} \tag{2}$$

- t_g ＝流出の上昇時間 (sec)
- t_d ＝降雨継続時間 (sec)
- B ＝斜面流下幅 (m)
- I ＝斜面勾配
- N ＝粗度係数 ($m^{-1/3} \cdot sec$)
- r_m ＝平均有効雨量強度 (m/sec)
- R_e ＝有効総雨量 (m)

解析の10洪水について、頂点流量の生じた時刻をしらべると、表-3 のようになる。

No.1, No.7, No.9の洪水は、(1)式で N を求める例で t_g と r_m との関係は 図-2 のようになり、両者の間には両

表-3

降雨継続時間中に生じた洪水例	No. 1	No. 6	No. 7	No. 8	No. 9
降雨終了後に生じた洪水例	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 10

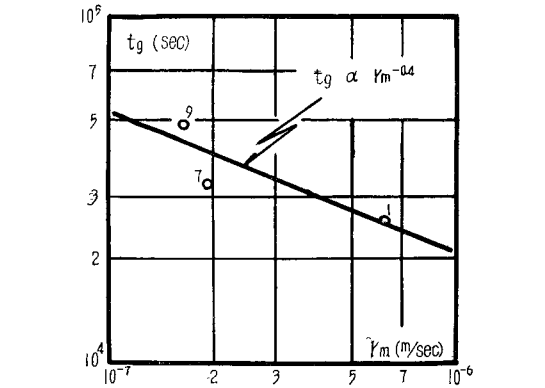


図-2 $t_g \sim r_m$ 相関図

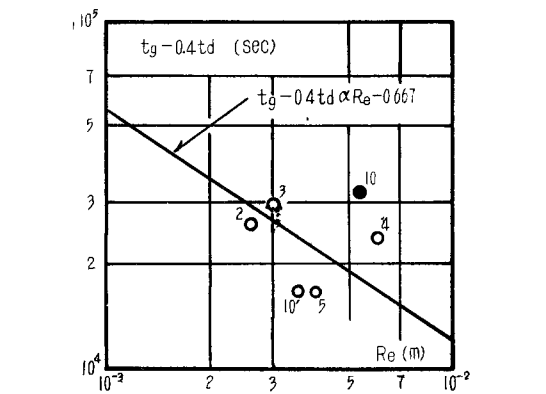


図-3 $t_g - 0.4 t_d \sim R_e$ 相関図

対数紙上で明らかに、 $t_g \propto r_m^{-0.4}$ の直線関係が認められ、 $(p-1)=-0.4$ で $p=0.6$ となる。

No.6, No.8はいずれも、2つ以上の頂点流量をもつ、複合流出量曲線であるため、流出の上昇時間の判定が困難であったので除外した。

No.2, No.3, No.4, No.5, No.10は(2)式の例で、 $(t_g - 0.4 t_d)$ と R_e との関係を両対紙上にプロットすれば、図-3 のようになる。(2)式から、 $t_g - 0.4 t_d$ と R_e との相関は、 $p=0.6$ のとき、

$$t_g - 0.4 t_d \propto R_e^{-0.667}$$

となり、図-3 によれば、大体 $p=0.6$ の関係が認められる。

No.10の点は、27日の20時に一時降雨が止んでいるので、流出の始点12時から t_g をとったものと、20時から t_g をとったものを、それぞれ黒丸のNo.10と白丸のNo.10'とに区別して記入した。

No.6, No.8を除く8洪水例について、ほぼ $p=0.6$ となる。

$$p=0.6$$

$$B=1,363 \text{ m}$$

$$I=0.204$$

の一括矩形流域の数値で、(1)式および(2)式で N を求めた。

結果を表-4、表-5に示した。表-4は(1)式の適用結果で表-5は(2)式の適用結果である。求められた N の近似値は、 $N=0.2 \sim 0.5(m^{-1/3} \cdot sec)$ の範囲になった。

表-4

洪水 No.	$t_g(sec)$	$r_m(m/sec)$	$N(m^{-1/3} \cdot sec)$
1	2.52×10^4	6.11×10^{-7}	0.5
7	3.24×10^4	1.91×10^{-7}	0.4
9	4.86×10^4	1.64×10^{-7}	0.5

表-5

洪水 No.	t_d (sec)	t_d (sec)	R_e (m)	N ($m^{-1/3} \cdot sec$)
2	3.24×10^4	1.80×10^4	2.60×10^{-3}	0.3
3	3.96×10^4	2.52×10^4	3.00×10^{-3}	0.3
4	3.24×10^4	2.16×10^4	6.00×10^{-3}	0.4
5	2.52×10^4	2.16×10^4	4.00×10^{-3}	0.2
10'	2.52×10^4	2.16×10^4	3.50×10^{-3}	0.2
10	5.76×10^4	6.48×10^4	5.30×10^{-3}	0.5

3.3 解析結果

特性曲線法の数値図式計算に用いた式は、

$$\log t = \log K + \log x + (p-1) \log q \quad (3)$$

$$\log t = \log K - \log r + p \log q \quad (4)$$

$$K = (N/\sqrt{I})^p \quad (5)$$

q = 流路単位長さあたりの横からの
流入量 (m^2/sec)

x = 距離 (m)

t = 時間 (sec)

r = 有効雨量 (m)

である。

3.2節で求めた N の近似値は $N=0.2 \sim 0.5 (m^{-1/3} \cdot sec)$ で洪水ごとに変動しているが、平均値の $N=0.3 (m^{-1/3} \cdot sec)$ を用いて、4分割流域ごとに計算した計算流出量曲線を、流下時間を全く考慮せずに、重ね合わせたが、実測流出量曲線としては、2~3時間の時間差があった。

支川がほとんど同一地点で合流する扇形の支川配置の流

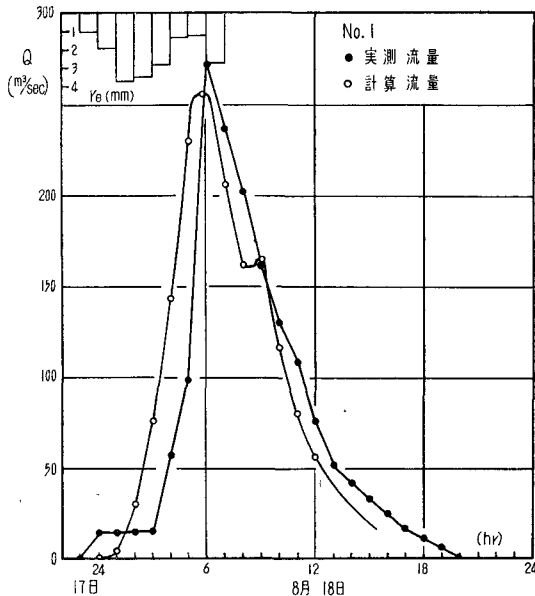


図-4

域では、流路の流下時間を無視しても良い結果が得られるが(豊平川流出解析の例)、双雲別流域は、3.1節で述べたように、樹枝状の支川配置で、流路の流下時間を全く無視したのでは好結果は期間できない。

そこで、A, B分割流域の合流点が、双雲別測水所から約6kmへだたっていることを考慮して、A, B分割流域の流下時間を2時間とした。

A, B流域の計算流出量曲線を2時間遅らせて合成することになれば、 N の最適値 $N=0.2 (m^{-1/3} \cdot sec)$ で、全洪水例について計算流出量曲線と実測流出量曲線とが良く適合した。

洪水 No. 1, No. 9; No. 7, No. 10; No. 5の計算流量と実測流量とを比較してそれぞれ 図-4, 図-5; 図-6, 図-7;

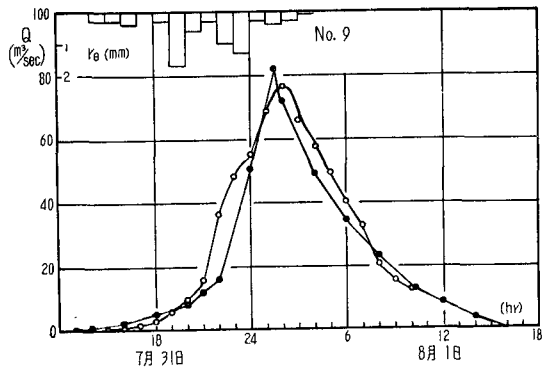


図-5

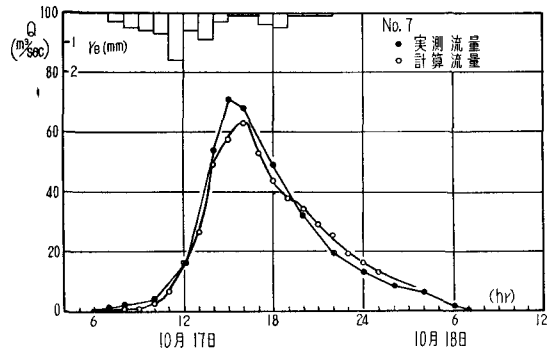


図-6

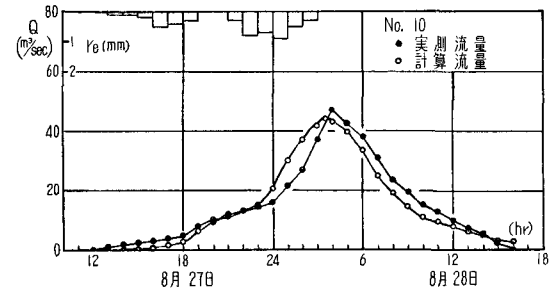


図-7

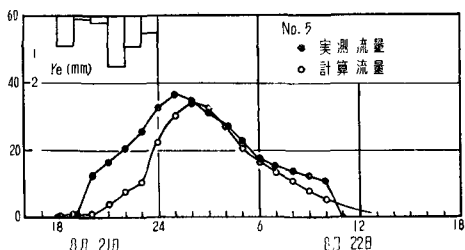


図-8

図-8に示した。

図-4, 5は第1報におけるA typeの流出であり, 図-6, 7はB type, 図-8はC typeに属する例である。本計算ではいずれの場合にも粗度係数は同一の値であったから, 第1報のA, B, Cの3 typeは流出の非常型性から生じた結果であることがわかる。

参考のために, 第1報で求めた単位図の頂点流量の値を表-6に示した。

表-6

洪水 No.	1	2	3	4	5	7	8	9	10
$Q_p(m^3/s)$	30.0	19.0	19.0	12.0	15.0	24.0	20.0	35.0	20.0

表-7

分割流域	A	B	C	D	全流域
$K(m^{-1/3} \cdot sec^{3/5})$	0.619	0.597	0.591	0.654	0.613

なお計算に用いた(5)式の K の値を分割流域ごとに表-7に示す。

3.4 100年確率日雨量からの流出計算

水文研究会で算出した, 双雲別の100年確率有効時間雨量(双雲別の100年確率日雨量=128.1 mm, 有効時間雨量の算定は, $Q_i=20 m^3/sec$ の損失雨量曲線を用いた。)に対して, $N=0.2(m^{-1/3} \cdot sec)$ の特性曲線で計算した結果を, 単位図による計算結果と比較して図-9に示した。

図中, 黒丸の実線は単位図により, 水文研究会で求めた計算流出量曲線である。2つの計算流出量曲線の間には, 頂点流量の時刻に3時間の時間差があるが, 量的には良く一致した結果を得た。

このことは, 特性曲線法では, 計画の大洪水に対しても同一の粗度係数で一義的に計算できることを示している。

4. 結 論

1) 双雲別流域は, 扇型の支川配置であることを考慮し

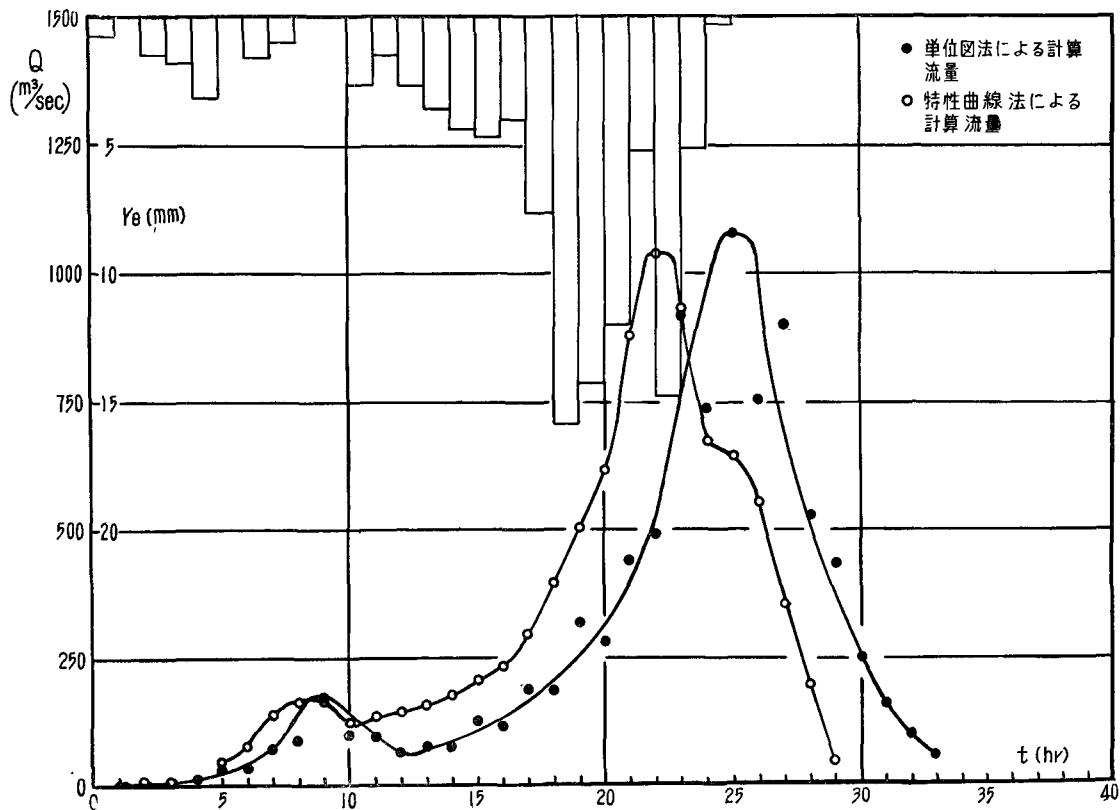


図-9 100年確率降雨からの流出

て、A, B 分割流域に 2 時間流下時間を与えた。

2) 粗度係数の最適値は、 $N=0.2(\text{m}^{-1/3}\cdot\text{sec})$ で全洪水例について、非常に良い結果を得た。

3) 双雲別流域の 100 年確率日雨量に対して、特性曲線法による頂点流量は $1,035(\text{m}^3/\text{sec})$ 単位図法では $1,080(\text{m}^3/\text{sec})$ であった。

付記. 本研究を行なうにあたり、岸力教授に終始ご指導

をいただき、東電 K. K. 山本康博氏には計算の援助を受けたことを記して深く謝意を表する。

参 考 文 献

豊平川流出解析：岸力，中尾欣四郎. 技術資料 (第 17 号, 昭和 36)