HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	DAD 解析による洪水比流量曲線の推定 : 北海道の洪水比流量に関する研究 (IV)
Author(s)	桜田, 純司; 秋野, 隆英
Citation	北海道大学農学部邦文紀要, 12(4), 241-247
Issue Date	1981-06-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/11955
Type	departmental bulletin paper
File Information	12(4)_p241-247.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

DAD解析による洪水比流量曲線の推定

——北海道の洪水比流量に関する研究 (IV)——

桜田純司・秋野隆英

(北海道大学農学部農業工学科土地改良学教室
苫小牧工業高等専門学校土木工学科)

(昭和55年8月25日受理)

Estimate of Specific Flood Discharge Curve by DAD Analysis

Specific Discharge of Flood in Hokkaido (IV)

Junji SAKURADA and Takahide AKINO

Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo, Japan

Department of Civil Engineering, Tomakomai Technical College, Tomakomai, Japan

1. まえがき

北海道は，他県に比べて一般に降雨量が少ないと言われている。しかし近年各地で発生している洪水は，局部的にかなりの豪雨がある。最近の例をとっても，昭和47年に十勝地方，胆振地方および渡島地方に，さらに昭和50年は石狩，空知地方に豪雨があり，これによる洪水で，かなりの農業災害がひき起された。したがって，これらの降雨から河川の洪水量を推定することは重要なことである。

従来河川およびダムにおける洪水量推定法の一つとしてCreager曲線がある。しかしCreager曲線は主として米国の大河川において経験的に求められたものであって，わが国のような河川に適用するには問題があり，特に中小河川流域では過大な値を示している。

ここでは各流域の降雨資料より求めたDAD特性と流出特性すなわち洪水到達時間との組合せにより，より理論的な洪水比流量曲線を定めようとするもので，前報までの後志利別川流域，空知川上流域および幾春別川流域のDAD解析の結果を用いて，北海道のダム等に関する洪水比流量曲線を推定しようとするものである。

2. 洪水比流量曲線の検討

河川流域において単位面積当りの既往最大比流量値の包絡線を表現したいわゆる洪水比流量曲線について，これまで実用的に解決する方法としてCreager曲線[1]が最も著名であり，(1)式で示されている。

$$q = C \cdot A^{(0.9784A^{-0.0468}-1)} \qquad (1)$$

q: 比流量 ($m^3/sec/km^2$), A: 流域面積 (km^2)
C: 地域係数 (北海道のダムにおいては$C=16.6$)

しかし(1)式は単なる経験式であり，理論的根拠に乏しく，またわが国の諸河川に適用した場合，全般的に適合が悪く特に中小河川ではきわめて過大な値を与えており，必ずしも好ましい結果が得られていない。

一方河川の洪水流量は，流域における降雨の時間的空間的集中特性と出水特性との関係において決定されるが，これを端的に表現したものとして合理式[2]がある。

$$Q_p = \frac{1}{3.6} f \cdot r \cdot A \qquad (2)$$

Q_p: 洪水ピーク流量 (m^3/sec), f: ピーク流出係数
r: 洪水到達時間内の平均降雨強度 (mm/hr), A: 流域面積 (km^2)

洪水比流量曲線を理論的に追求しようとする場合，流域のDAD特性や洪水到達時間をどのように扱うかによって結果は異なるが，ここでは上記合理式を含め，従来の研究成果をふまえて一つの原型式を求めようとするものである。

2-1 DAD解析と洪水到達時間

DA式としてHorton式が著名であり，ここでは主に

この式によった。

$$P/P_0 = \exp(-\alpha A^{\beta}) \qquad (3)$$

P, P_0: 流域平均雨量および流域内の最大地点雨量
A: 面積, α, β: 定数

他にDA式としていくつか報告されているが，比較検討する意味で角屋・永井式およびWoolhiser-Schwalen式を一部利用した。

角屋・永井式　$P/P_0 = (1+\lambda A^{\gamma})^{-1}$　(4)

Woolhiser-Schwalen 式　$P/P_0 = 1-\varepsilon_0 A^{\delta}$　(5)

λ, γ, ε_0, δ: 定数

また降雨強度式としての一般式に(6)式がある。

$$I = a/(t^c+b) \qquad (6)$$

a, b, c: 定数

ここで$b=0$のときはSherman式を，$c=1$のときはTalbot式を，$c=0.5$のときは久野式を表わす。また3定数を決定する方法を提案した田中・角屋式がある。本報告におけるDD解析ではSherman式を使用した。

洪水到達時間については，従来Rziha式が汎用されているが，近年提案された洪水到達時間式として(7)式で表わされる角屋・福島式[3]があり，本解析ではこの式を使用する。

$$t_p = C_p A^{0.22} r_e^{-0.35} \qquad (7)$$

ここに，t_p: 洪水到達時間 (min)，A: 流域面積 (km^2)
r_e: 有効降雨強度 (mm/hr)
C_p: 定数 (丘陵山林河川では$C_p=290$)

2-2　洪水比流量曲線[4]

流域平均降雨強度rは$r=(P/P_0)\cdot I$の形で求まるものとし，さらに有効降雨強度r_eは$r_e=f\cdot r$で推定できる。したがって(3)式と(6)式とを組合せ，また(6)式に(7)式を代入することにより，有効雨量に対する一般式としてのDAD式は(8)式のように求まる。

$$r_e = f\cdot r = f\cdot I\cdot(P/P_0) = f\cdot a(t^c+b)^{-1}\cdot\exp(-\alpha A^{\beta})$$
$$= f\cdot a\cdot(C_p^{\zeta}\cdot A^{0.22c}\cdot r_e^{-0.35c}+b)^{-1}\cdot\exp(-\alpha A^{\beta}) \qquad (8)$$

また洪水比流量q($m^3/sec/km^2$)は(2)式より(9)式となる。

$$q = \frac{r_e}{3.6} \qquad (9)$$

(8)式を(9)式に代入することにより，洪水比流量曲線の一原型式を与えることになる。ここではSherman式を使用するので$b=0$となり，(10)式で表わされる。

$$q = K\cdot A^{-\eta}\cdot\exp(-\zeta A^{\beta}) \qquad (10)$$

$$K = \frac{1}{3.6}(f\cdot a/C_p^{\zeta})^{\mu}$$

$$\mu = 1/(1-0.35c),\quad \eta = 0.22\cdot c\cdot\mu$$

$$\zeta = \alpha\cdot\mu$$

同様に(4)式および(5)式のDA式を用いて洪水比流量曲線をつくると，それぞれ(11)式および(12)式となる。

$$q = K\cdot A^{-\eta}[1+\lambda A^{\gamma}]^{-\mu} \qquad (11)$$

$$q = K\cdot A^{-\eta}[1-\varepsilon_0 A^{\delta}]^{\mu} \qquad (12)$$

(10)式～(12)式が洪水比流量曲線の原型となるが，fは未知数であるため$f=1$として洪水比流量曲線を求める。この曲線を既往最大比流量値に包絡させるべく平行移動すると流域面積に対する洪水比流量曲線が推定できる。

全国ダム地点地域別比流量図[5]によると，北海道の基準点としては大夕張ダム($A=433\ km^2$, $q=3.35\ m^3/sec/km^2$)であり，この基準点を通るように平行移動して洪水比流量曲線を決定する。各ダム流域の既往最大洪水比流量値を包絡する形によりこの洪水比流量曲線の適合性を評価した。

また，洪水比流量曲線を推定する際，一般には(2)式の合理式は大流域には適用できないが，その限界は明確ではない。(7)式の洪水到達時間については約1,000 km^2まで適用していることから，約500 km^2以下の中小河川流域に主眼をおいてその適合性を検討し，それ以上の大流域については参考程度に言及する。

3. DAD解析による洪水比流量曲線の推定

3-1　北海道の洪水比流量曲線 (I)

後志利別川流域のDAD特性[6]を用いて，北海道のダムにおける洪水比流量曲線を推定する。DA解析では，ティーセン法および等雨量線法によるHorton式はそれぞれ(13)式および(14)式である。

$$P/P_0 = \exp(-0.0310\ t^{-0.325}\cdot A^{0.692}) \qquad (13)$$

$$P/P_0 = \exp(-0.0637\ t^{-0.208}\cdot A^{0.492}) \qquad (14)$$

一方DD解析によるSherman式は(15)式である。

$$I = 521.3/t^{0.560} \qquad (15)$$

Horton式における係数が時間の関数で示されると，洪水比流量曲線を解析的に求めることはできない。このため(8)式において$f=1$としてr_eを求め，さらに(7)式はr_eを求める式に置き換えて，それぞれ(9)式に代入した二つの式について，継続時間ごとに交点を求め，この交点群を(10)式を想定して回帰式により各係数を求める。この図式解法[4]をFig. 1に示す。この結果ティー

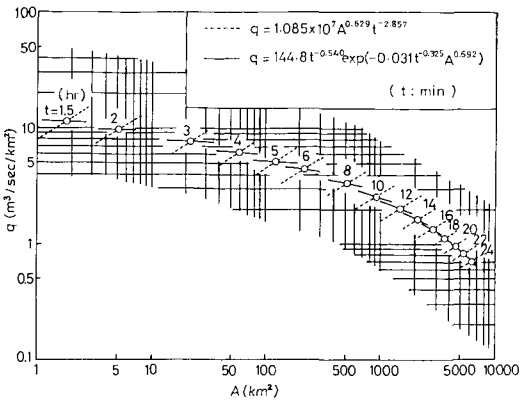

Fig. 1. Specific flood discharge by graphical solution.

セン法および等雨量線法による洪水比流量曲線の原型式はそれぞれ(16)式および(17)式となる。

$$q = 12.96\, A^{-0.176} \cdot \exp(-0.0034\, A^{0.692}) \qquad (16)$$

$$q = 12.71\, A^{-0.172} \cdot \exp(-0.0158\, A^{0.492}) \qquad (17)$$

これらの洪水比流量曲線の原型式を北海道の既往最大比流量値の基準点を通るように，曲線を平行移動して洪水比流量曲線を求めると，それぞれ(18)式および(19)式となる。

$$q = 12.2\, A^{-0.176} \cdot \exp(-0.0034\, A^{0.692}) \qquad (18)$$

$$q = 13.0\, A^{-0.172} \cdot \exp(-0.0158\, A^{0.492}) \qquad (19)$$

一方，角屋・永井式および Woolhiser-Schwalen 式では，ティーセン法による全資料を用いて最小二乗法で定数を決定して，前述と同様にして求めた洪水比流量曲線はそれぞれ(20)式および(21)式である。

$$q = 12.4\, A^{-0.153}[1+0.0008\, A^{1.004}]^{-1.244} \qquad (20)$$

$$q = 12.4\, A^{-0.153}[1-0.0020\, A^{0.803}]^{1.244} \qquad (21)$$

これらの洪水比流量曲線を Fig. 2 に示す。Fig. 2 では北海道におけるダムおよび河川の既往最大比流量値の比較的大きい値のみプロットしており，また Creager 曲線も併せて示している。

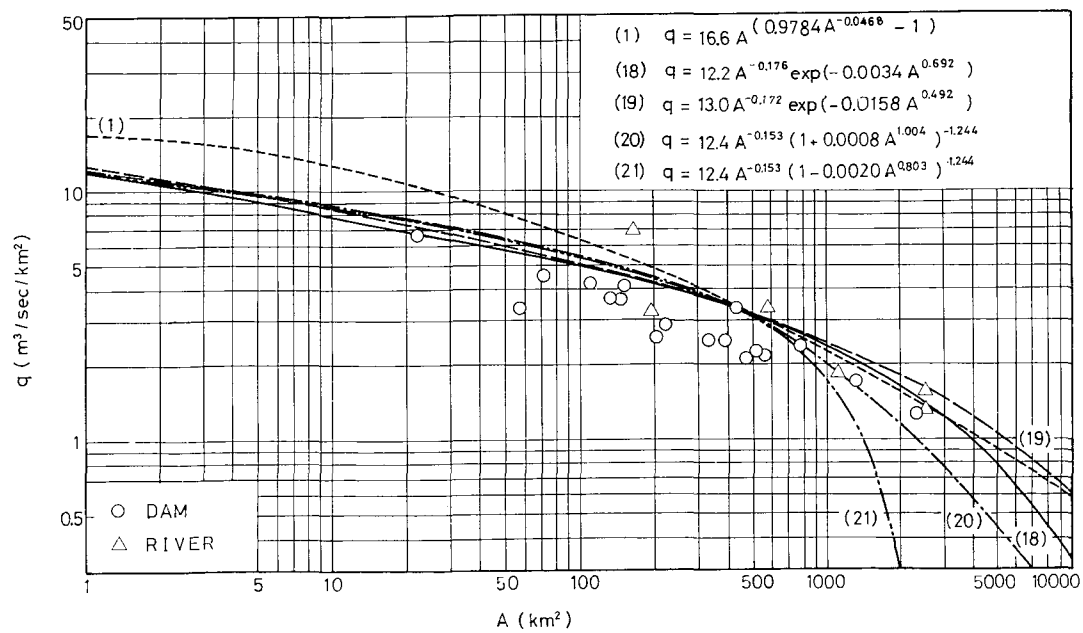

Fig. 2. Record flood peaks and curves of specific flood discharge in Hokkaido. (Shiribeshi-Toshibetsu River basin)

後志利別川流域における各 DA 式より，洪水比流量曲線を算定した結果，中小流域ではいずれの場合も Creager 曲線より小さい値を示し，類似した曲線が得られ，既往最大比流量値を包絡したものとなり適合性が良い。しかし流域が大きくなると，ティーセン法および等雨量線法による Horton 式から求めた洪水比流量曲線は，既往最大比流量値および Creager 曲線より大きな値を示している。また角屋・永井式と Woolhiser-Sch-

walen式より求めた洪水比流量曲線は流域面積が大きくなると曲線の降下の程度が大きく，既往最大比流量値よりも小さい値を示し，特に Woolhiser-Schwalen 式による曲線は，適合性が極端に悪い。これは式の構造上やむを得ないことである。大流域をも含めて最も適合性の良い洪水比流量曲線は，ティーセン法による Horton 式から求めた曲線である。

3-2　北海道の洪水比流量曲線 (II)

空知川上流域の DAD 特性[7] を用いて，洪水比流量曲線を検討する。DA 解析では，ティーセン法により算出した Horton 式の係数 α および β は継続時間 24 時間を除き，共に時間の関数となった。しかし β を時間の関数とすると前述の (10) 式の洪水比流量曲線として表現できない。そのため β は平均値を使うこととする。ティーセン法および等雨量線法による Horton 式はそれぞれ (22) 式および (23) 式である。

$$P/P_0 = \exp(-0.166\, t^{-1.318}\, A^{0.380}) \qquad (22)$$

$$P/P_0 = \exp(-0.140\, t^{-1.033}\, A^{0.361}) \qquad (23)$$

一方 DD 解析による Sherman 式は (24) 式である。

$$I = 332.0/t^{0.490} \qquad (24)$$

これらの式より洪水比流量曲線を求めると，それぞれ (25) 式および (26) 式となり，Fig. 3 に示す。

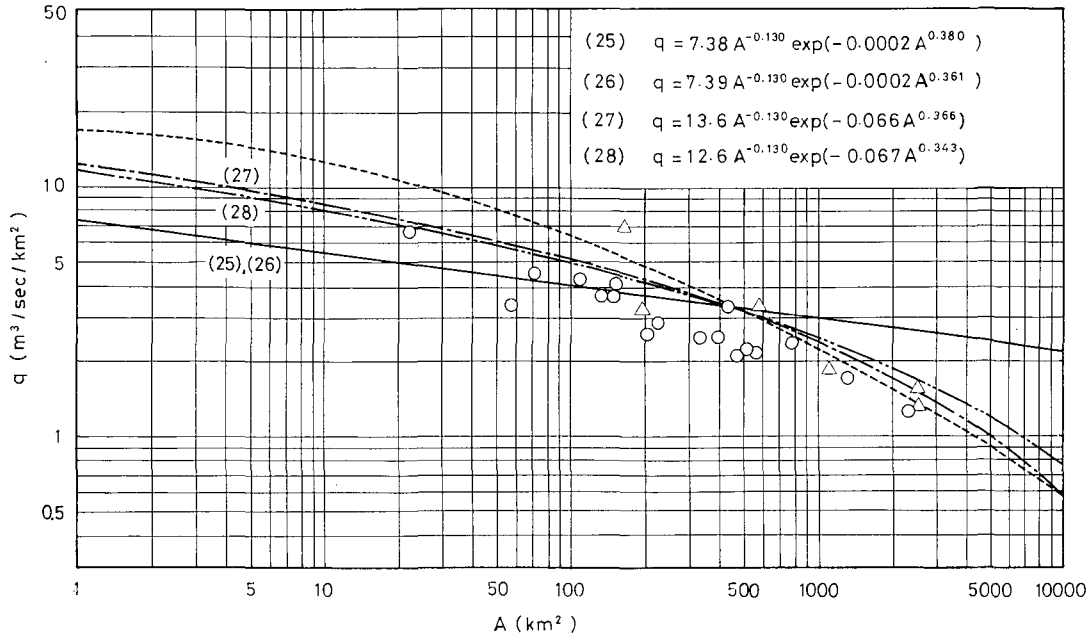

Fig. 3.　Record flood peaks and curves of specific flood discharge in Hokkaido. (the upper basin of Sorachi River)

$$q = 7.38\, A^{-0.130} \cdot \exp(-0.0002\, A^{0.380}) \qquad (25)$$

$$q = 7.39\, A^{-0.130} \cdot \exp(-0.0002\, A^{0.361}) \qquad (26)$$

この2本の洪水比流量曲線は，ほとんど等しくほぼ直線に近く中小流域では既往最大比流量値よりも小さい値を示し，大流域では非常に大きい値となり，洪水比流量曲線としての適合性は極めて悪い。

このように空知川上流域では，Horton 式の係数 α を時間の関数とすると好ましい結果が得られないので，継続時間 1, 2, 4, 8, 12 および 24 時間の係数 α および β を単に平均して，洪水比流量曲線を求めるとそれぞれ (27) 式および (28) 式となり，同じく Fig. 3 に示す。

$$q = 13.6\, A^{-0.130} \cdot \exp(-0.066\, A^{0.366}) \qquad (27)$$

$$q = 12.6\, A^{-0.130} \cdot \exp(-0.067\, A^{0.343}) \qquad (28)$$

これらの洪水比流量曲線は，共に中小流域において既往最大比流量値を包絡していて適合性が良い。

3-3　北海道の洪水比流量曲線 (III)

幾春別川流域の DAD 特性[8] による洪水比流量曲線について推定する。DA 解析では第 1, 2 位および第 1～3 位の P/P_0 の平均値について検討する。

ティーセン法により，第 1, 2 位および第 1～3 位の P/P_0 の平均値について，Horton 式はそれぞれ (29) 式および (30) 式である。

$$P/P_0 = \exp(-0.0124\,A^{0.560}) \quad (29)$$

$$P/P_0 = \exp(-0.0087\,A^{0.614}) \quad (30)$$

一方，DD 解析による Sherman 式は(31)式である。

$$I = 432.1/t^{0.502} \quad (31)$$

これらの式より，ティーセン法による洪水比流量曲線はそれぞれ(32)式および(33)式となり，Fig. 4 に示す。

$$q = 11.8\,A^{-0.134}\cdot\exp(-0.0150\,A^{0.560}) \quad (32)$$

$$q = 11.7\,A^{-0.134}\cdot\exp(-0.0106\,A^{0.614}) \quad (33)$$

これらの曲線は中小河川流域ではほとんど同じ値であり，既往最大比流量値に接近していて，Creager 曲線よりはるかに適合性が良い。また第 1, 2 位および第 1～3 位の P/P_0 の平均値を用いた洪水比流量曲線は差異がないので，以後の洪水比流量曲線の推定には第 1～3 位について検討する。

等雨量線法による Horton 式は(34)式である。

$$P/P_0 = \exp(-0.0125\,A^{0.571}) \quad (34)$$

(34)式と(31)式とを組合せて洪水比流量曲線を求めると(35)式となる。

$$q = 12.3\,A^{-0.134}\cdot\exp(-0.0152\,A^{0.571}) \quad (35)$$

また等雨量線法による係数 α を時間の関数とした場合の Horton 式は(36)式である。

$$P/P_0 = \exp(-0.0686\,t^{-0.297}\,A^{0.571}) \quad (36)$$

(36)式と(31)式とを用いて洪水比流量曲線を求めると(37)式となり，同じく Fig. 4 に示す。

$$q = 11.7\,A^{-0.161}\cdot\exp(-0.0086\,A^{0.571}) \quad (37)$$

さらに，継続時間ごとの DA 式と DD 式とを組合せ，洪水到達時間と連立して，継続時間ごとの r_e～A 曲線の交点を図解的に求め，つぎにこれらの交点に対応する P/P_0 を通るよう再び各 DA 式にあてはめる。すなわち，P/P_0 が継続時間ごとに大きく異なり，その傾向が明りょうでないので，洪水到達時間を考慮して，小流域では短時間雨量，大流域では長時間雨量を重視した DA 式を求める方法[9]を用いると，ティーセン法および等雨量線法による Horton 式はそれぞれ(38)式および(39)式となる。

$$P/P_0 = \exp(-0.0106\,A^{0.537}) \quad (38)$$

$$P/P_0 = \exp(-0.0135\,A^{0.534}) \quad (39)$$

これらの式と(31)式とを組合せて，洪水比流量曲線を求めるとそれぞれ(40)式および(41)式となり，併せて Fig. 4 に示す。

$$q = 10.6\,A^{-0.134}\cdot\exp(-0.0129\,A^{0.537}) \quad (40)$$

$$q = 11.5\,A^{-0.134}\cdot\exp(-0.0164\,A^{0.534}) \quad (41)$$

以上の曲線について考察すると，中小流域ではいずれ

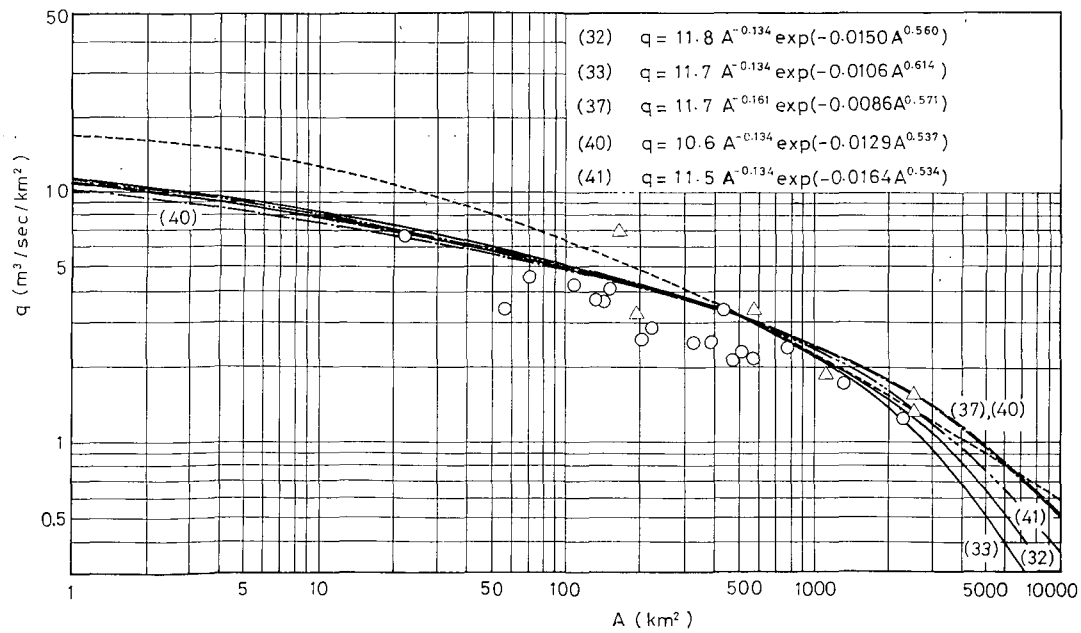

Fig. 4. Record flood peaks and curves of specific flood discharge in Hokkaido. (Ikushunbetsu River basin)

の場合も Creager 曲線よりはるかに小さく既往最大比流量値に近く，適合が良い。個々の曲線についてみると，ティーセン法による第1，2位および第1～3位の P/P_0 の平均値を用いた洪水比流量曲線は，中小流域ではほとんど同じ値を示し，大流域においては第1～3位の方が幾分小さい値を示しているが，共に既往最大比流量値を包絡した曲線となっている。

等雨量線法による第1～3位の P/P_0 の平均値を用いた洪水比流量曲線は，ティーセン法による曲線とほとんど同一である。また等雨量線法による Horton 式の係数 α を時間の関数とした洪水比流量曲線は，大流域で Creager 曲線より大きい値を示しているが，中小流域では既往最大比流量値群を包絡して適合性が良い。さらに洪水到達時間を考慮して，小流域では短時間雨量，大流域では長時間雨量を重視した DA 式による洪水比流量曲線は，ティーセン法によると中小流域では既往最大比流量値よりわずかに小さいが，基準点の取り方により適切な洪水比流量曲線が得られるものと考えられる。また等雨量線法では，中小流域において既往最大比流量値を最も接近して包絡しており，大流域でも極めて適合性が良い。

4. まとめ

本研究は従来経験的にしか理解されていなかった洪水比流量曲線について，流域の DAD 特性と流出特性すなわち洪水到達時間とにより，合理的な基礎を与えるとともに，後志利別川流域，空知川上流域および幾春別川流域における DAD 特性を用いて北海道の洪水比流量曲線を定め，その適合性について検討した結果を示す。

1. 中小流域の洪水比流量曲線の推定においては，DAD 特性がもっとも重要となるが，流域平均雨量の算出の方法，上位降雨の組合せおよび各 DA 式による差異はいずれも小さい。

2. 後志利別川流域における各 DA 式より求めた洪水比流量曲線は，いずれも中小流域では共に適合性が良い。

3. 空知川上流域のように大流域の DA 特性から洪水比流量曲線を推定することは，流域が大き過ぎることや，降雨分布の偏りのため資料の吟味が必要である。

4. 幾春別川流域で算定した洪水比流量曲線は共に既往最大比流量値を包絡して適合性が良く，特に洪水到達時間を考慮した DA 解析による方法が最も適合性が良い。

5. 中小流域では，各流域の DAD 特性より推定した洪水比流量曲線は空知川上流域の係数 α を時間の関数とした場合を除いて，いずれの方法によっても従来の Creager 曲線よりはるかに小さく，各ダムの既往最大比流量値群を包絡して適合性がきわめて良好である。

引用文献

1. 建設省土木研究室：全国ダム地点地域別比流量図，土木研究所資料第1093号，p. 1-2. 1976
2. 土木学会編：水理公式集，p. 121. 1971
3. 角屋 睦・福島 晟：中小河川の洪水到達時間，京大防災研究所年報，第19号 B. p. 150. 1976
4. 角屋 睦・永井明博：洪水比流量曲線へのアプローチ (1)，ダム，頭首工の安全設計資料としての洪水比流量に関する研究，昭和53年度文部省科学研究費(試験研究) 報告書，p. 67-74. 1979
5. 建設省土木研究室：全国ダム地点地域別比流量図，土木研究所資料第1093号，p. 4-7. 1976
6. 桜田純司・秋野隆英：後志利別川流域の DAD 解析—北海道の洪水比流量に関する研究 (I)，北大農邦文紀，12：p. 1-13. 1980
7. 桜田純司・秋野隆英：空知川上流域の DAD 解析—北海道の洪水比流量に関する研究 (II)，北大農邦文紀，12：p. 14-22. 1980
8. 秋野隆英・桜田純司：幾春別川流域の DAD 解析—北海道の洪水比流量に関する研究 (III)，北大農邦文紀，12：p. 231-240. 1981
9. 角屋 睦・永井明博・野口美具：中小河川洪水の極値について，第15回自然災害科学総合シンポジウム，p. 525-528. 1978

Summary

This is the report on the curve of the specific flood discharge which was only experientially realized in the past. Rational basis is added to this curve using DAD charactristic and the concentration time of flood. According to DAD analysis on the Shiribeshi-Toshibetsu River basin, the Ikushunbetsu River basin and the upper basin of the Sorachi River, the curves of specific flood discharge are estimated and the adaptability of these curves is investigated.

1. In order to estimate the curve of specific flood discharge on medium or small basin, DAD analysis is most important and a little difference is shown although by each calculated method of areal rainfall, each combination of the large intensities in areal rainfall and each DA formula.

2. The curves of specific flood discharge by each DA formula on the Shiribeshi-Toshibetsu

River basin show good adaptability on medium or small basin.

3. To estimate the curve of specific flood discharge by DA analysis on the large basin like the upper basin of the Sorachi River, these data need to be investigated more. That's the reason the basin is too large and the distribution of rainfall is partial.

4. The curves of specific flood discharge by DAD analysis on the Ikushunbetsu River basin are good in adaptability with enveloping the record flood peaks, especially when concentration time of flood on DA analysis is considered.

5. Although using any method, the curves of specific flood discharge is below the Creager's curve and envelop the record flood peaks on medium or small basin with the exception of coefficient α as the function of time on the upper basin of the Sorachi River.