

II-44

月寒川の単位図の変化について

北海学園大学工学部 正員 山口 甲
 ○学生会員 東海林 勉

1. はじめに

都市域を流れる河川は、流域内の土地利用形態が変わることによって、洪水流出が変化している。研究対象としたのは札幌市東部地区に位置する月寒川流域であり、古くから流量観測が行われている。月寒川流量観測所地点における流域面積は 28.0 km² である。また月寒川流域は近年札幌市の住宅地として都市化が進んでいる。ところでこの月寒川では近年洪水が速く流出し、また洪水流量が大きくなる傾向があるので、その実態を解明するため昭和 56 年洪水と平成 9、10 年洪水について単位図を求めておき、その単位図から流域斜面の相当粗度 n の変化を時系列にとらえ、土地利用形態との関係を述べる。

2. 流域・水文資料

月寒川は図-1 に示すように流量観測地点における流域面積は 28.0 km² であり、その流域形状は細長く、矩形流域の形をしている。そこで、流域を斜面幅一定とした等斜面勾配 θ_1 、一定河道勾配 θ_2 とモデル化しておき、別途得られた単位図の構成因子について検討する。(表-1 参照)

洪水流出の変化をとらえるため、同一年度で複数の出水データが揃う、昭和 56 年と平成 9 年(1例平成 10 年)の洪水各々を解析対象洪水として選び表-2 に示す。昭和 56 年洪水は、連続降雨量が 99~283mm と多い例であるが、一方、平成 9 年洪水は、連続雨量が 54~74mm と少ない洪水である。しかし、各々の出水で最大流量 Q_p はあまり変わらない規模である事がわかる。解析に用いる直接流出は 2 次流出までを対象としており、洪水減水期の 2 次変曲点までの Hydrograph から基底流量分を分離した残差を直接流出量とする。この場合基底流量は、Hydrograph の最大流量が発生する時刻までは出水前の基底流量が一定と考え、また最大流量から 2 次変曲点までの時間帯は $\log Q \sim t$ 図上にて 1 次式として表し、その線上までの流量を基底流量として求めた。



図-1 月寒川流域図 $\frac{1}{25000}$

表-1 月寒川流量観測所流域諸元

流域面積 A(km ²)	河道勾配 θ_2 (度)	河道粗度 N	k	河道延長 L(km)	片斜面幅 B(km)	傾斜勾配 θ_1 (度)
28.0	1/133	0.020	0.450	15.0	0.933	3.5

Change of Unit-hydrographs Tsukisamu-river
 by Hajime YAMAGUCHI and Tutomu TOUKAIRIN

表-2 月寒川観測所解析洪水

洪水番号	生起月日	流量(m ³ /s)				雨量(mm)		
		Q _p	Q _B	Q _D	ΣQ _D	R	Re	f
1	S56.8.4~7	66.9	2.0	66.7	1920.0	283	246.9	0.87
2	S56.8.21~25	82.4	4.7	81.9	1050.2	226	135.0	0.60
3	S56.9.3~5	25.6	3.1	25.3	236.4	99	30.4	0.31
4	H 9.8.9~10	52.6	2.9	52.2	327.3	61	42.1	0.69
5	H 9.9.26~28	59.6	4.8	59.4	375.8	54	48.3	0.89
6	H10.9.16~17	75.9	4.9	75.7	506.9	74	65.2	0.88

$Q_D = Q - Q_B$ A: 流域面積(28.0km²) Q_B: 基底流出量 R: 総雨量
 $Re = 3.6 \cdot \Sigma Q / A$ Q: 観測流出量 Q_D: 直接流出量 Re: 総有効雨量
 $f = Re / R$ Q_p: 観測流出量最大 Q_{Dp}: 直接流出最大 f: 流出率

3. 単位図

単位図を求めるため、ここでは他流域の単位図から変換する方法を用いる。時間有効雨量 1 mm/h_r での単位図の最大流量 q_p は、流域規模があまり変わらない場合は、流域面積 A に比例し、流水の到達時間 t_g に逆比例すると考える。

$$q_p = C \cdot (A / t_g) \quad C: \text{定数} \quad (1)$$

これが任意の時間にも適用されるとすると、すでに単位図が求められている流域から、当該流域の単位図は、次式で求まる。

$$q_2(t_2) = q_1(t_1) \cdot (A_2 / A_1) \cdot (t_{g1} / t_{g2}) \quad (2)$$

$$t_2 = t_1 \cdot (t_{g2} / t_{g1}) \quad (3)$$

ただし

q₁: 既知流域の単位図 (m³/s)、t₁: 既知単位図の時間 (hr)、t_{g1}: 既知単位図のピーク時間 (hr)

q₂: 当該流域の単位図 (m³/s)、t₂: 当該単位図の時間 (hr)、t_{g2}: 当該単位図のピーク時間 (hr)

月寒川の t_{g2} は、有効雨量 Re の重心と直接流出量 Q_D の発生時間から求めて、式 (2)、(3) から q₂(t₂) を求め、改めて 1 時間毎の q₂ を算定する。

ここでは、幾春別川の市来知流域（桂沢ダム流域を除く）で得られた単位図 q₁、t_{g1}=5hr、流域面積 125km² から、月寒川の昭和 56 年、平成 9 年それぞれの単位図を求める。昭和 56 年、平成 9 年 各々の t_{g2} を表-3 に示す。昭和 56 年、平成 9 年各々は値にばらつきが生じているため、平均値を取り、昭和 56 年を t_{g2}=4hr、平成 9 年を t_{g2}=2hr とし、流域面積 A₁=28km² を用いてえられた単位図は図-2 に示すとおりである。この各々の単位図を用いて、昭和 56 年洪水及び平成 9 年洪水に適用して計算し、実測値の直接流出

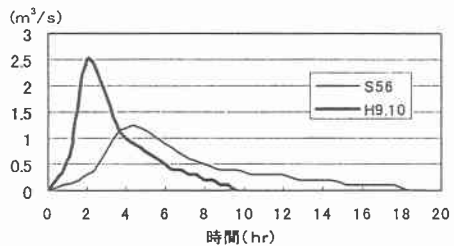


図-2 月寒川(S56、H9.10)洪水単位図

表-3 解析洪水

洪水番号	生起月日	t _{g2} (hr)
1	S56.8.4~7	4
2	S56.8.21~25	2
3	S56.9.3~5	6
4	H 9.8.9~10	3
5	H 9.9.26~28	1
6	H10.9.16~17	2

量と比較した結果は図-3、4 のとおりであり、Hydrograph の再現性が認められる。よって 2 つの単位図を用いて次の検討を行う。

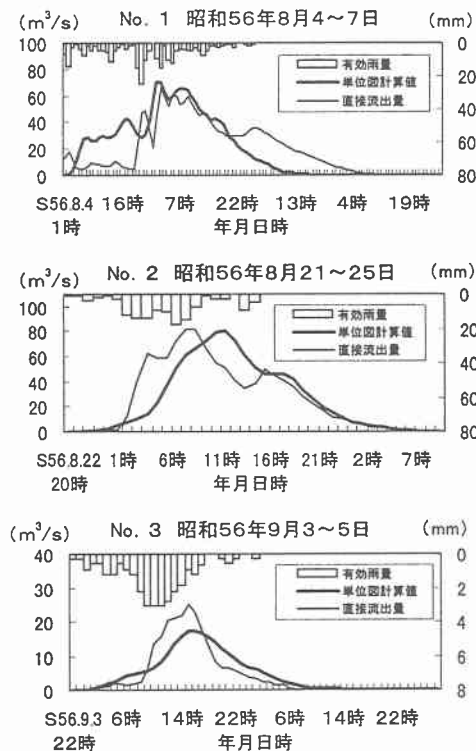


図-3 昭和56年洪水計算結果

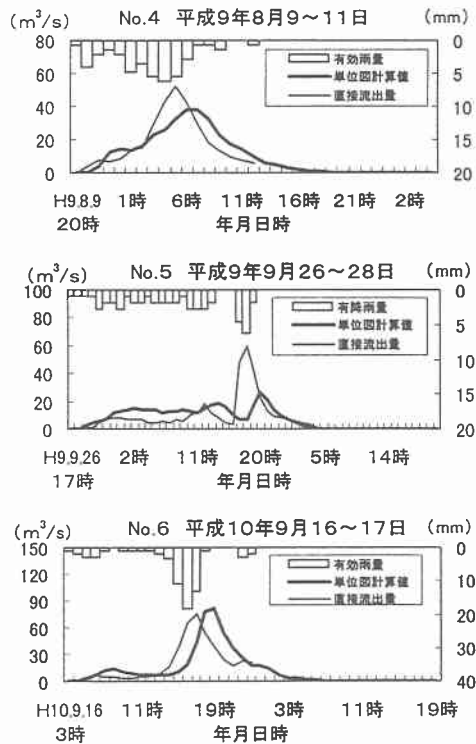


図-4 平成9年洪水計算結果

4. 相当粗度

山口¹⁾は、矩形流域における単位図は Kinematic Wave 法を用いて無次元水理量 τ_s 、 τ_r で表され、数値計算で単位図を得ている。またその計算結果を用いて、ピークの遅れ時間 τ_{max} 、単位図の最大流量 ϕ_{max} を整理する。

$$q = A \cdot r_e \cdot \phi \quad q_{max} = A \cdot r_e \cdot \phi_{max} \quad (4)$$

$$t = T \cdot \tau \quad t_{max} = T \cdot \tau_{max} \quad (5)$$

また、

$$\tau_s = [T \cdot r_e^{2/5}] \cdot [(\tan \theta_1)^{1/2} / (nB)]^{3/5} \quad (6)$$

$$\tau_r = (1/2)^{1/3} \cdot [T \cdot r_e^{1/3}] \cdot [B^{1/3} \cdot \{k(\tan \theta_2)^{1/2} / NL\}^{2/3}] \quad (7)$$

$T = 1 \text{ hr}$ 、表-1の月寒川流量観測所流域諸元を用いると、次式のように表される。

$$\tau_s = 0.0613 \cdot r_e^{2/5} / n^{3/5} \quad (8)$$

$$\tau_r = 0.4670 \cdot r_e^{1/3} \quad (9)$$

$$n = 0.0437 \cdot (\tau_r^2 / \tau_s^{5/3}) \quad (10)$$

ただし A : 流域面積 (km²)、 ϕ : 無次元流量、 r_e : 有効雨量 (mm/hr)、T : r_e の継続時間 (hr)
 N : 河道粗度、 n : 斜面相当粗度、B : 片斜面幅 (m)、L : 河道延長 (m)、
 θ_1 : 斜面勾配 (度)、 θ_2 : 河道勾配 (度)、k : 定数 (0.45)

τ_{max} 、 ϕ_{max} は無次元水理量 τ_s 、 τ_r で表されるが、数値計算結果から 1 例を図-5 に示す。

今、式 (6)、(7) に月寒川流量観測所流域諸元 (表-1) の各々値を用いた結果、月寒川の無次元水理量 τ_s 、 τ_r 式 (8)、(9) になる。そして、式 (8)、(9) により斜面相当粗度 n を式 (10) から求めることができる。

しかし、 τ_s は式 (8) からでは求められない。そのため、式 (9) に有効雨量 r_e に 1 mm/hr を代入して τ_r を求め、図-5 から τ_{max} と τ_r を与えて τ_s を求める。これらより式(10)から斜面相当粗度 n が計算できる。その結果を表-4 に示す。昭和 56 年では、 $\tau_{max}=4$ 、 $\tau_r=0.47$ で、図-5 から $\tau_s=0.47$ となる。そして、式(10)により $n=0.034$ 、平成 9 年は、 $\tau_{max}=2$ 、 $\tau_r=0.47$ から $\tau_s=3$ となり $n=0.002$ となる。単位図でピークの発生時間が 4 時間から 2 時間に速くなり、また最大流量が 1.25m³/s から 2.5m³/s に増大したことが、流出モデルにいう表面流の粗度、またはモデル効果も入れた斜面相当粗度 n が小さくなったことが定量的に表された。

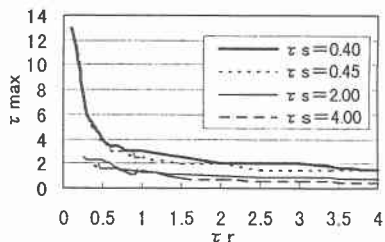


図-5 無次元水理量 τ_s 値

表-4 相当粗度計算値

	τ_{max}	τ_r	τ_s	n
昭和56年	4	0.47	0.47	0.034
平成 9年	2	0.47	3.00	0.002

5. 考察

月寒川流域の土地利用状態を山地、畑、宅地、田、林野、下水道未整備、下水道整備に大きく分け、昭和 57 年、平成 6 年の構成面積の変化を図-6 に示す。この解析対象流域は都市化が進み、すでに下水道整備が行われている流域である。図-6 に示すように、山地流域は 4.57 km² で全流域面積に対する構成率は、16.3%に過ぎず、一方、下水道整備面積は、18.76 km² (H6) で全流域面積の、67%まで整備されている。従って当該流域の雨水流出は下水道管路網の配置状況、ひいては管路内の流下現象に支配されるとも考えられる。しかし表面流と考えた場合、斜面相当粗度 n の変化を下水道整備面積の経年値との関係で図-7 に示している。いずれにしても、2 期の流出解析だけであるから、更に都市化状態のデータによる検討が必要である。

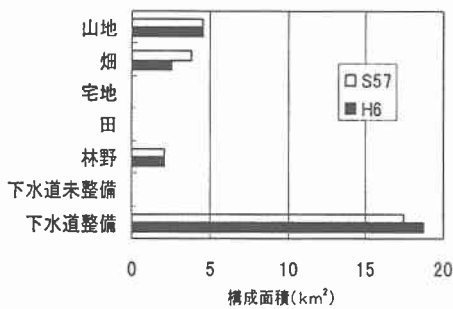


図-6 土地構成図

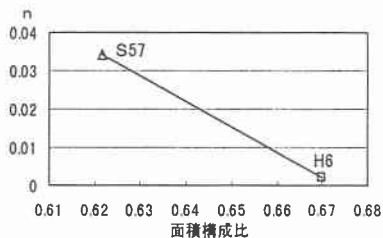


図-7 斜面相当粗度 n と
下水道整備面積構成比の関

参考文献

- 1) 山口 甲 : モデル流出系における総合単位図の基礎的研究,
北海道開発局土木試験所報告第 58 号, 昭和 47 年 3 月.