

山地流域の洪水流出に関する研究

鎌 田 萬

STUDIES ON FLOOD RUN-OFF FROM
MOUNTAINOUS DRAINAGE AREA

Takashi KAMADA

The flood run-off from rivers is due to the surface flow over hill slope in the drainage area and the channel flow through river course. Especially for medium and small rivers or valleys, the surface flow is considered as the major part of the flood run-off.

In this field, the Kinematic wave method has been developed, but the equivalent-roughness of hill slope in it has no definition standard through out Japan, and that is the most important theme at the present time.

The experiments on canals etc. have been tried for the theme so far.

In this study, a new procedure using hydrological data of disaster prevention dam is proposed for estimation of the equivalent-roughness of hill slope.

Namely, the rainfall-arrival-time of surface flow is calculated from rainfall routing by a computer, and then the equivalent-roughness is estimated by the Kinematic wave method.

This procedure is, accordingly, applied to Tonogawa dam in Shōdo Island and Maeyama dam in Kagawa prefecture, and these values are $N=0.18\sim 0.23\text{m}^{-1/2}\text{sec}$ and $N=0.24\sim 0.31\text{m}^{-1/2}\text{sec}$, respectively.

The values of these typical mountains in Kagawa prefecture give some references for the definition standard through out Japan and would be worthily used for the disaster prevention plans in Kagawa prefecture.

河川の洪水流出は、流域の山腹斜面上を流れる地表流と河道を流下する河道流に分けられ、とくに、中小河川、溪流においては、地表流が、その大部分を支配しているものと考えられる。

この分野の研究には、Kinematic wave 法の研究が発展しているが、このうちで、山腹斜面の等価粗度係数については、現在、全国的にその決定基準もなく、もっとも重要な研究課題となっている。

従来、この研究については、人工水路を用いた実験などが行なわれてきている。

本研究においては、この山腹斜面の等価粗度係数を現地の防災ダムの水文資料を用い解析することにした。

すなわち、地表流の雨水到達時間は、雨水流出追跡を電子計算機で解析し、等価粗度係数については、Kinematic wave 法を適用、解析する新しい手法を提唱することにした。

そして、香川県においては、小豆島の殿川ダムと本土の前山ダムを選び、殿川ダムは、 $N=0.18\sim 0.23\text{m}^{-1/2}\text{sec}$ 、前山ダムは、 $N=0.24\sim 0.31\text{m}^{-1/2}\text{sec}$ となることを究明した。

これらの値については、香川県の山地を代表するもので、全国的な決定基準の一資料ともなり、また、香川県の今後の防災計画に、貴重な値として用いられることを確信する。

1. ま え が き

近年の水災害における実態は、従前の水害史に記されているごとき、大河川の氾濫による災害とは異なり、急激に開発されている地方都市周辺の中小河川の氾濫、および、その内水災害、また、山地溪流の土石流災害が大部分を占め、その被災規模も人・物的、ともに、きわめて大規模なものとなっている。

このことは、わが国の従来の治水事業が直轄重点主義であり、さらに、近年の過激な社会開発と相俟って、これら中小河川、溪流の防災対策の遅れとなり、現在、あらためて、中小河川、および、山地溪流の治山、治水事業の促進が緊急、かつ、重大な社会問題となっていることを提起している。

したがって、本研究においては、このうち、山地溪流の治山、治水計画に必要な洪水流出について研究することにした。

この研究には、とくに、山腹斜面上の雨水流出、すなわち、山腹斜面上を流れる雨水流の抵抗則に関する調査、研究が必要である。なかでも、この山腹斜面の等価粗度係数に関する調査研究については、現在、この研究分野において、きわめて重要な研究課題となっており、本研究では、雨水到達時間の推定は、電子計算機で雨水流出追跡を行ない、等価粗度係数の解析には、Kinematic wave 法を適用、解析する手法を提唱し、あわせて、山地流域の洪水流出についても調査、研究した。

2. 山地流域の洪水流出機構

2-1 洪水流出の機構

河川、溪流の洪水流出機構^(1,2)については、流域の山腹斜面上を流れる地表流と河道を流下する河道流に分けて考えられる。

しかしながら、山地流域の洪水流出については、とくに、河道区間が短いため、その流出現象は、その地表流にのみ支配されるものと考えられる。

したがって、山地流域の洪水流出機構を解明するには、この地表流について研究する必要がある。現在、もっとも新しい研究としては、Kinematic wave 法が発展されている。

2-2 Kinematic wave 法

Kinematic wave 法⁽¹⁾とは、雨水の表面流出に Manning の抵抗則を適用し、雨水流の運動方程式から山腹斜面の地表流を算出する解析法である。

いま、山腹斜面に降雨があった場合に、表面流出が発生するものとすれば、雨水流の運動方程式は、つぎの式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} h &= K_0 q^p \\ K_0 &= \left(\frac{N}{\sqrt{\sin \theta}} \right)^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 q : 斜面下流端における単位幅当りの流量

N : 斜面の等価粗度係数

$\sin \theta$: 斜面勾配、 $p = \frac{3}{5}$

また、雨水流の斜面流下時間内における水深は、つぎの式で表わされる。

$$h = \int_{t_1}^{t_2} r_e \cdot dt \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 r_e : 有効雨量

つぎに、式(1)より、

$$q = \left(\frac{h}{K_0} \right)^{\frac{1}{p}} \dots\dots\dots (3)$$

よって、式(3)に式(2)を代入すると、 q は、式(4)で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} q &= \left(\frac{\int_{t_1}^{t_2} r_e \cdot dt}{K_0} \right)^{\frac{1}{p}} = \left(\frac{r_{mp} \cdot T_B}{K_0} \right)^{\frac{1}{p}} \\ r_{mp} &= \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} r_e \cdot dt \\ T_B &= t_2 - t_1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

また、雨水流到達時間の算定については、つぎのごとくして求めることができる。

q を斜面距離について解けば、

$$\left. \begin{aligned} q &= \int_0^x r_e \cdot dx = r_{mp} \cdot L_B \\ x &= L_B \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

よって、式(4)と式(5)より、

$$\left(\frac{r_{mp} \cdot T_B}{K_0} \right)^{\frac{1}{p}} = r_{mp} \cdot L_B$$

したがって、 T_B は、つぎの式で表わされる。

$$T_B = r_{mp}^p \cdot K_0 \cdot \frac{L_B^p}{r_{mp}} = \frac{K_0 L_B^p}{r_{mp}^{(1-p)}} \dots\dots\dots (6)$$

つぎに、式(6)について、それぞれの単位を T_B (hr)、 L_B (km)、 r_{mp} (mm/hr)、 N (sec/m^{1/2})で表わすと、

$$T_B = 7.348 \left(\frac{N}{\sqrt{\sin \theta}} \right)^{3/5} \cdot \frac{L_B^{3/5}}{r_{mp}^{2/5}} \dots\dots\dots (7)$$

また、流出率を f とすると、

平均有効雨量強度は、

$$r_{mp} = f \cdot r_m \dots\dots\dots (8)$$

ここに、 r_m : 平均降雨強度 mm/hr であるから、式(7)はつぎの式で表わされる。

$$T_B = 7.348 \left(\frac{N}{\sqrt{\sin \theta}} \right)^{3/5} \cdot \frac{L_B^{3/5}}{(f \cdot r_m)^{2/5}} \dots\dots\dots (9)$$

すなわち、雨水が山腹頂から溪床まで流下する時間(T_B)は、式(9)を用いると算出することができる。また、 T_B は、山腹の等価粗度係数 N 、山腹の平均傾斜角 θ 、山腹斜面長 L_B 、流下時間内の平均降雨強度 r_m 、流出率 f の関数となっており、これらの値が、すでに、測定されていると、容易に算出することができる。

2-3 山腹斜面の等価粗度係数

Kinematic wave 法を用いて、山地流域の洪水流出、および、洪水到達時間を解析する場合、普通、山腹の平均傾斜角、山腹の斜面距離、流下時間内の平均降雨強度については、その値は、現地の地形図、水文資料などから容易に算出することができるが、山腹斜面の等価粗度係数は、山腹の地形、地質、林相、植生状態などの諸条件で、著しく異なる値となるものと考えられる。

したがって、この値については、現在、全国的に決定基準もなく、この分野の、もっとも重要な研究課題となっている。

この研究については、従来、世界各国において、人工水路で自然、また、人工降雨を用いた実験などが行なわれてきている。

そして、この値については、普通の開水路の粗度係数のそれとは、一桁大きい事実を得ており、また、その実験結果から植生面上では、 $N=0.3 \sim 0.4 \text{m}^{-1/2} \text{sec}$ 程度であると報告^(1,3)されている。

3. 山腹斜面等価粗度係数の解析と考察

3-1 調査と解析手法

この調査と解析手法については、筆者は、集水面積が小さく、管理設備の近代化している、近年、完成した防災ダムを選定し、その現地の実測水文資料から解析する手法を提唱した。

すなわち、まず、ダム管理事務所において測定された降雨資料とダムへの流入水位資料を用いて、雨水が山頂から溪床まで流下する雨水到達時間を解析、推定し、つぎに、山腹斜面の等価粗度係数の算出については、この値を Kinematic wave 法に適用、解析することにした。

本研究においては、昭和50年完成した香川県小豆島の殿川ダムと本土の前山ダムを選び、水文資料については、近年、未曾有の大豪雨、7617号台風と7506号台風のときのダム地点における10分間降雨量とダムへの流入水位資料を用いることとした。

そして、降雨が山頂から水位観測所までの雨水到達時間の解析については、水位観測所の水位上昇変化が顕著に現われた時刻を基準とし、降雨は、その前後の降雨資料を用い、その時間解析には、降雨を逆に積算し、各時間ごとに、その平均降雨強度を求め、雨水流出の追跡を行なった。

つぎに、雨水到達時間の推定については、この雨水流出の追跡と実際の水位変化が相似する時間を見出すこととした。

この解析手法は、簡単な解析であるが、計算量が莫大な量となり、解析に長時間を要するので、新しく、電子計算機を利用、解析することにし、この計算には、香川大学、計算センターの電子計算機、FACOM 230-45Sを利用することにした。

3-2 電子計算機による雨水流出追跡

殿川ダムの水文資料において、最大値を観測した 7617 号台風のダム地点の 10分間雨量と新中山池水位観測所の流入水位については、図-1 に示すこととした。

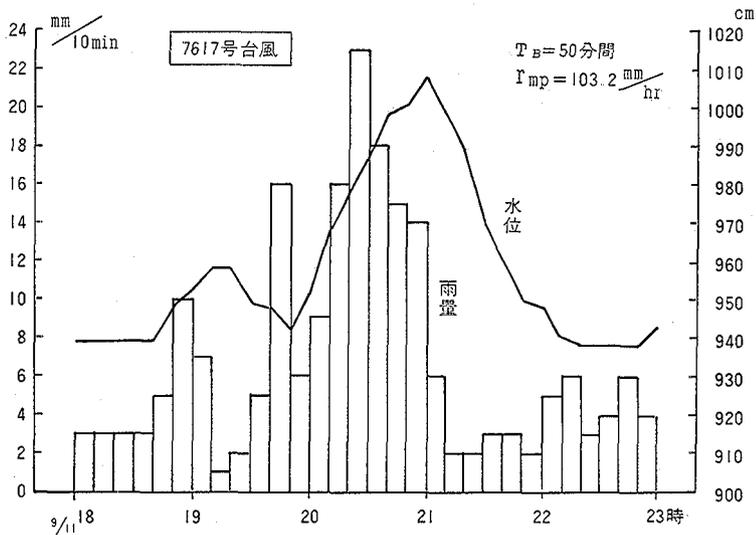


図-1 殿川ダムの降雨量と流入水位 (No. 1)

このときの雨水流出追跡を電子計算機で解析した結果については、図-2 に示すとおりである。

MOV. AVER.	4	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
9.11.18:40	3.6	XXXXXX										
9.11.18:50	3.4	XXXXXX										
9.11.19:0	4.8	XXXXXXXX										
9.11.19:10	5.6	XXXXXXXXXX										
9.11.19:20	5.2	XXXXXXXXXX										
9.11.19:30	5.0	XXXXXXXXXX										
9.11.19:40	5.0	XXXXXXXXXX										
9.11.19:50	6.2	XXXXXXXXXX										
9.11.20:0	6.0	XXXXXXXXXX										
9.11.20:10	7.6	XXXXXXXXXXXX										
9.11.20:20	10.4	XXXXXXXXXXXXXXXX										
9.11.20:30	14.0	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX										
9.11.20:40	14.4	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX										
9.11.20:50	16.2	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX										
9.11.21:0	17.2	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX										
9.11.21:10	15.2	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX										
9.11.21:20	11.0	XXXXXXXXXXXXXXXX										
9.11.21:30	7.8	XXXXXXXXXXXX										
9.11.21:40	5.4	XXXXXXXXXX										
9.11.21:50	3.2	XXXXXX										
9.11.22:0	2.4	XXXXXX										
9.11.22:10	3.0	XXXXXX										
9.11.22:20	3.8	XXXXXX										
9.11.22:30	3.8	XXXXXX										
9.11.22:40	4.0	XXXXXX										
9.11.22:50	4.8	XXXXXX										
9.11.23:0	4.6	XXXXXX										

図-2 殿川ダムの雨水流出追跡 (No. 1)

すなわち、殿川ダムにおける、昭和51年9月11日、21時前後の水位変化については、図-1と図-2は、ともに、よく相似している。

したがって、この時刻における雨水到達時間は、50分間、また、このときの平均降雨強度は、103.2 mm/hrである

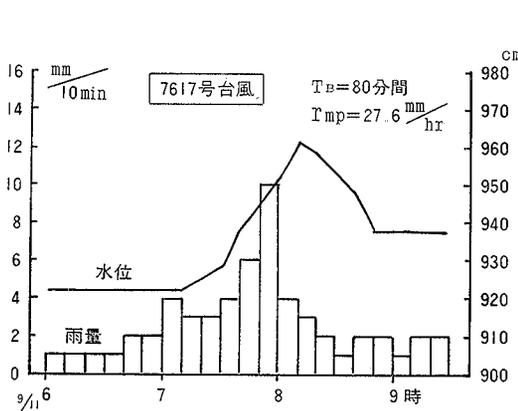


図-3 殿川ダムの降雨量と流入水位 (No.2)

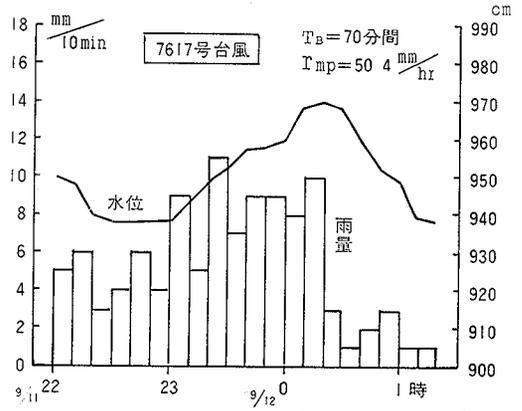


図-4 殿川ダムの降雨量と流入水位 (No. 3)

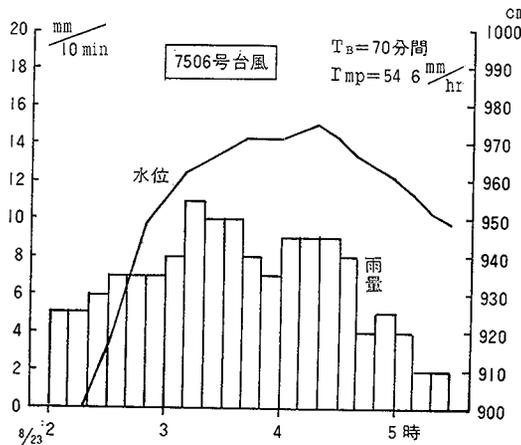


図-5 殿川ダムの降雨量と流入水位 (No. 4)

ことを解析，推定することができた。

つぎに，殿川ダムにおける，他の資料を用いた降雨量と流入水位の関係については，図-3から図-5に示すことにした。

また，このとき，電子計算機で算出した雨水到達時間と降雨強度については，表-1に示すとおりとなった。

表-1 殿川ダム雨水到達時間と降雨強度

年 月 日	時 刻	雨 水 到 達 時 間			前 期 降 雨 量 mm
		時 間	10分間雨量 mm/10min	降 雨 強 度 mm/hr	
昭51. 9.11	21:00	50	17.2	103.2	704
51. 9.11	8:10	80	4.6	27.6	369
51. 9.12	0:20	70	8.4	50.4	803
50. 8.23	4:20	70	9.1	54.6	170

前山ダムにおける降雨量と流入水位の関係は，図-6，および，図-7に示し，また，その解析結果については，表-2に示すとおりである。

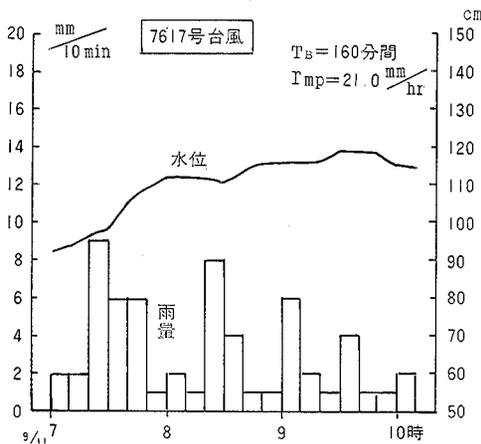


図-6 前山ダムの降雨量と流入水位 (No. 1)

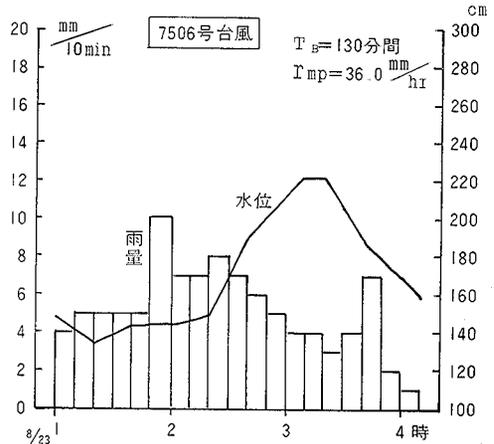


図-7 前山ダムの降雨量と流入水位 (No. 2)

表-2 前山ダム雨水到達時間と降雨強度

年 月 日	時 刻	雨 水 到 達 時 間			前 期 降 雨 量 mm
		時 間	10分間雨量 mm/10min	降 雨 強 度 mm/hr	
昭51. 9.11	9:40	160	3.5	21.0	337
50. 8.23	3:10	130	6.0	36.0	230

3-3 殿川ダムの等価粗度係数

殿川ダム，新中山池水位観測所に流入する流域，および，山腹の地形などについては， $\frac{1}{50,000}$ 地形図を用い，図-8に示すことにした。

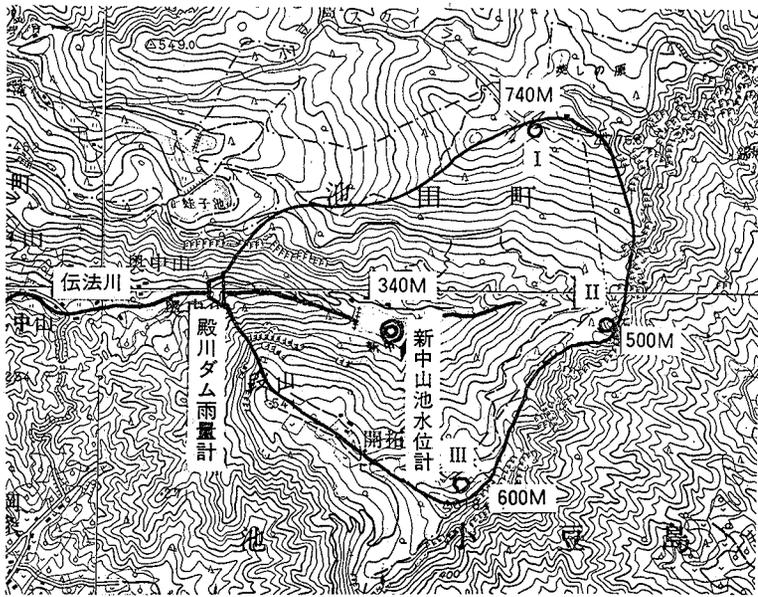


図-8 殿川ダム流域

また、この山腹斜面の地形条件については、表-3に示した3 case に大別される。

表-3 殿川ダムの山腹斜面

地形条件	斜面距離 Km	山頂標高 m	溪床標高 m	山腹勾配	摘要
Case I	1.5	740	340	1/4	採用
Case II	1.0	500	340	1/6	
Case III	1.0	600	340	1/4	

すなわち、この山腹斜面の等価粗度係数の解析においては、地形条件は、case I と case II が考えられるが、case II は、河道を形成しているので、雨水到達時間が case I より早いものと考えられるので、本解析の地形条件は、case I を採用することにした。

そして、この解析には、Kinematic wave 法、式(9)に、本研究成果の雨水到達時間、および、降雨強度を適用、解析した。

その解析結果については、表-4に示すとおりとなった。

表-4 殿川ダム山腹斜面等価粗度係数の解析

年月日	時刻 時分	雨水到達		山腹斜面		等価粗度 係数	摘要
		時間 hr	降雨強度 mm/hr	斜面距離 Km	山腹勾配		
昭51. 9.11	21:00	0.83	103.2	1.5	1/4	0.20	Case I
51. 9.11	8:10	1.33	27.6	1.5	1/4	0.18	"
51. 9.12	0:20	1.17	50.4	1.5	1/4	0.22	"
50. 8.23	4:20	1.17	54.6	1.5	1/4	0.23	"

すなわち、殿川ダム上流の山腹斜面の等価粗度係数については、 $N=0.18\sim 0.23m^{-1/2}sec$ 程度であることを究明した。

3-4 前山ダムの等価粗度係数

前山ダム、来栖水位観測所に流入する流域、および、山腹の地形などについては、 $\frac{1}{50,000}$ 地形図を用い、図-9に示すとおりであり、また、地形条件は、表-5に示す3 case に大別することができる。

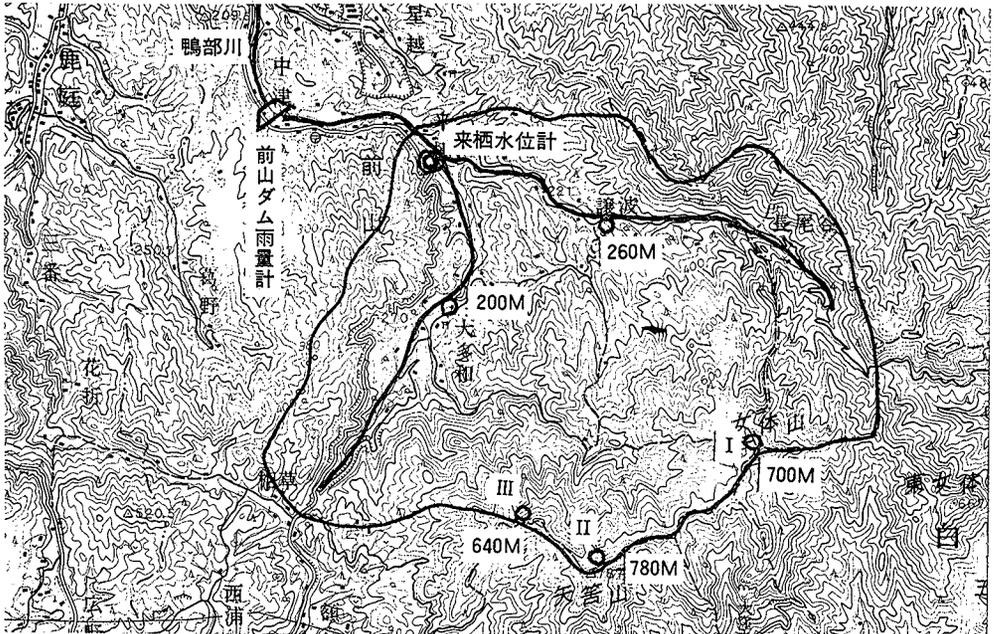


図-9 前山ダムの流域

表-5 前山ダムの山腹斜面

地形条件	斜面距離	山頂標高	溪床標高	山腹勾配	摘 要
Case I	2.0 Km	700 m	260 m	1/5	採 用
Case II	2.5	780	260	1/5	"
Case III	2.0	640	200	1/5	

すなわち、この解析においては、地形条件は、case I と case II が考えられるので、これを採用、解析した。その解析結果については、表-6に示すことにした。

表-6 前山ダム山腹斜面等価粗度係数の解析

年月日	時 刻	雨 水 到 達		山 腹 斜 面		等価粗度 係 数	摘 要
		時 間	降雨強度	斜面距離	山腹勾配		
昭51. 9.11	9:40	2.58 hr	21.0 mm/hr	2.0 km	1/5	0.31	Case I
50. 8.23	3:10	2.08	36.0	2.0	1/5	0.31	"
51. 9.11	9:40	2.58	21.0	2.5	1/5	0.24	Case II
50. 8.23	3:10	2.08	36.0	2.5	1/5	0.24	"

すなわち、前山ダムの上流の山腹斜面の等価粗度係数については、 $N=0.24\sim 0.31m^{-1/2}sec$ 程度であることを究明した。

3-5 考 察

この調査、解析の結果、香川県の山腹斜面の等価粗度係数については、殿川ダムの上流は、 $N=0.18\sim 0.23m^{-1/2}sec$ 、前山ダムの上流は、 $N=0.24\sim 0.31m^{-1/2}sec$ 程度であることを究明することができた。

前にも述べたごとく、従来の研究によると、この等価粗度係数の値については、普通の開水路の粗度係数のそれとは、一桁大きいこと、また、実験結果によると、植生面上では、 $0.3\sim 0.4m^{-1/2}sec$ 程度であると報告されている。

したがって、殿川ダム、前山ダムのこれらの値は、きわめて妥当な値であると考えられる。

また、地質、および、林相などから考察すると、殿川ダムは、小豆島、伝法川の upstream に建設されているダムで、その上流の山腹には、岩石が露出し、岩山を呈している。

一方、前山ダムは、香川県の本土、鴨部川の上流に建設されているダムで、その上流の地質は、花崗岩地帯、また、林相も良好である。

よって、この値は、殿川ダムの値より、わずかに大きい値となっている。

すなわち、これらの値は、それぞれ、香川県の小豆島と本土の山地を代表する値とも考えられ、今後の洪水流出解析には、貴重な値となることを考察した。

4. 山地流域の洪水流出解析

4-1 洪水流出の解析

洪水流出の解析には、ピーク流量のみとハイドログラフも含めた解析があり、河道改修、砂防計画などの場合は、ピーク流量、いわゆる、計画高水流量を解析すればよい。

この計画高水流量の解析法には、従来、わが国において、合理法がよく用いられている。

$$Q_p = \frac{1}{3.6} f \cdot r_m \cdot A \quad \dots\dots\dots (10)$$

ここに、 Q_p : ピーク流量 m^3/sec , f : 流出係数

r_m : ピーク到達時間内の降雨強度 mm/hr

A : 流域面積 km^2

つぎに、この合理法の適用に際し、もっとも重要なことは、適正な洪水到達時間内の計画降雨を算定することである。すなわち、この新しい洪水到達時間の算定については、本研究で究明した、山腹斜面の等価粗度係数を用いた Kinematic wave 法を適用することである。

また、現在、計画降雨の算定には、確率降雨強度式を用いることにしているが、山地流域の洪水到達時間は、2時間以内のものが多く、一般に、短時間確率降雨強度式を用いて解析することにしている。

4-2 小豆島の溪流における洪水流出

小豆島においては、7617号台風のとき、ほとんどの溪流は、土石流災害が発生し、地元住民に大被害を与えた。

したがって、小豆島の溪流⁽⁴⁾については、防災対策として、現在、緊急砂防工事を計画、実施している15溪流を選び、その砂防ダム計画地点の50年確率高水流量について、本研究の成果を適用、解析した。

すなわち、この解析には、合理法、洪水到達時間の算定については、本研究で究明した等価粗度係数を用いた Kinematic wave 法、また、計画降雨の算定には、内海の短時間確率降雨強度曲線⁽⁵⁾を用い解析した。

この解析結果については、表-7に示すことにした。この解析値は、今後、香川県の防災計画の基本量となるものである。

表一 小豆島における代表溪流の計画高水流量の解析

溪流名	流域面積	山頂標高	計 画 地 標 高	溪流長	溪流勾配	洪水到達時間		50年確率高水流量		
								降雨強度	高水流量	比流量
	Km ²	m	m	Km		hr	min	mm/hr	m ³ /sec	m ³ /sec/km ²
後谷川	0.14	300	45	1.0	¼	0.73	40	120.0	3.7	26.4
赤柴川	1.04	600	105	1.5	⅓	0.86	50	110.0	25.4	24.4
サレ川	0.14	500	105	1.0	⅓	0.67	40	120.0	3.7	26.4
石場南川	0.12	200	20	0.5	⅓	0.43	30	130.0	3.5	29.2
目見ヶ谷川	0.03	180	70	0.5	⅓	0.49	30	130.0	0.9	28.9
吉ヶ浦川	0.03	180	20	0.5	⅓	0.43	30	130.0	0.9	28.9
谷尻川	0.15	275	40	1.0	¼	0.73	40	120.0	4.0	26.7
赤坂川	0.36	350	80	1.0	¼	0.73	40	120.0	9.6	26.7
西条川	0.56	500	85	1.5	¼	0.97	60	102.0	12.7	22.7
小坪東川	0.39	370	40	1.5	⅓	1.03	60	102.0	8.8	22.6
中筋川	0.17	400	50	1.5	¼	0.97	60	102.0	3.9	22.9
橘川	0.51	350	40	1.0	⅓	0.67	40	120.0	13.6	26.7
岩ヶ谷川	0.25	350	25	1.0	⅓	0.67	40	120.0	6.7	26.8
荒神川	0.16	350	60	1.0	⅓	0.67	40	120.0	4.3	26.8
ナガサレ川	0.05	250	40	0.5	⅓	0.43	30	130.0	1.4	28.0

5. ま と め

本研究においては、山地流域の洪水流出機構について、とくに、その洪水流出を支配している流域の山腹斜面上を流れる地表流について研究した。

すなわち、Kinematic wave 法の適用に必要な山腹斜面の等価粗度係数の調査、解析については、筆者は、現地の防災ダムの水文資料を用いて解析する新しい解析手法を提唱した。

そして、雨水到達時間の算定については、ダム地点の降雨量と流入水位の資料より、電子計算機を利用、推定し、さらに、等価粗度係数の解析については、山腹の地形条件を調査、その条件ごとに、Kinematic wave 法を適用、解析した。

本研究においては、香川県における小豆島の殿川ダムと本土の前山ダムを選び、水文資料は、7617号台風、および、7506号台風の資料を用い、この山腹斜面の等価粗度係数について解析し、殿川ダムは、 $N=0.18\sim 0.23m^{-1/3}sec$ 、前山ダムは、 $N=0.24\sim 0.31m^{-1/3}sec$ となることを究明した。

この値については、香川県における小豆島と本土の山地を代表する値とも考えられ、香川県の防災計画上に貴重な値となり、また、全国的な等価粗度係数決定基準の一資料ともなることを確信する。

つぎに、これら研究成果については、小豆島において、現在、緊急砂防工事を計画、実施している15溪流の計画高水流量の解析に適用した。

最後に、この研究において、電子計算機による雨水流出追跡解析用のプログラム作成にあたっては、香川大学農学部、大学院研究生、草薙義一君に絶大なご援助を賜わり、また、ダムの水文資料については、香川県土木部河川課、殿川ダム管理事務所、前山ダム管理事務所の方々に、ご協力を戴いたので、ここに厚くお礼を申し上げる所である。

参 考 文 献

- (1) 高棹琢馬, 金丸昭治: 水文学, 朝倉書店, 104—111(1975).
- (2) 角屋 睦: 流域の都市化に伴う洪水流出形態の変化予測, 自然災害科学総合シンポジウム, 1—4 (1977).
- (3) 千田 稔: 実用河川計画, 理工図書, 54(1973).
- (4) 鎌田 萬, 斉藤 実: 小豆島の溪流における洪水流出と土石流に関する研究 (7617号台風), 小豆島災害特別研究(1977).
- (5) 鎌田 萬: 香川県における7617号台風の河川災害に関する研究, 香大農学報, 29 (1), 185—196 (1977).

(1977年10月15日 受理)