

山腹斜面の等価粗度に関する研究

EMPIRICAL STUDIES ON THE EQUIVALENT
ROUGHNESS FOR FLOOD RUN-OFF

鎌田 萬*
By Takashi KAMADA

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、そのうち水災害、また、山地渓流の土石流災害が大部分を占め、その被害規模は、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大河川の国直轄工事重点主義であり、さらに、近年の過激な社会開発と相まって、これら中小河川、山地渓流の防災対策の遅れとなり、現在、改めて、中小河川、および、山地渓流の治山・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、これら中小河川、および、山地渓流など小流域河川の治山・治水計画に不可欠な洪水流出について研究することにした。この場合、山腹斜面上の雨水流出機構を支配する抵抗則に関する調査・研究が重要であり、本研究では、この山腹斜面等価粗度に関する調査・研究を主要な検討課題とした。

すなわち、山腹斜面等価粗度の値は、山腹の地形・地質・土壤・植生などの流域状況特性により変化するという観点から、流域特性による等価粗度の定数性に関し調査・研究することにし、その手法としては、近年完成した比較的小さい流域面積（約 50 km² 以下）の多目的ダムを選び、そのダム管

理事務所の水文資料（ダム貯水池の直上流の流入水位と降雨量）を用いて、雨水到達時間を求める方法を提案し、山腹斜面等価粗度の値は、Kinematic wave 法に上記の到達時間の値を用いて算出できることを示した。

Table 1 に示した四国地方と中国地方と近畿地方、ならびに、北陸地方における 15 か所の多目的ダム地点を選び、各ダム最上流域の山腹斜面等価粗度の算定にこうした方法を適用し、等価粗度の定数性と定数化の調査・研究、また、従来発表されている実験値^{1),2)}などの検証を図った。

2. 山腹斜面等価粗度の解析

(1) 雨水到達時間の解析

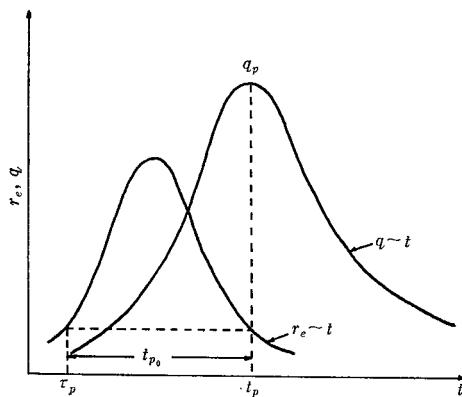
a) 理論的方法

最大流量と雨水到達時間の関係については、石原・高樟は、時間的に任意な横流入がある表面流を運動学的波動（Kinematic wave）として解析的に初めて取り扱い、

Table 1 Dimension of dam drainage area.

dam	river	prefecture	stage	area (km ²)	mountain side		stream length (km)
					length (km)	mean gradient	
Tonogawa	Denpoh	Kagawa	Shinnakayama	4	1.5	0.27	0
Maeyama	Kabe	Kagawa	Kurusu	8	2.0	0.23	1
Ishitegawa	Ishite	Ehime	Tamatani	58	2.0	0.17	10
Tamagawa	Sojah	Ehime	Nakadohri	26	1.5	0.30	8
Kagami	Kagami	Kohchi	Hirose	72	2.0	0.28	9
Kuga	Yoshii	Okayama	Kajinami	52	2.0	0.16	10
Ozegawa	Oze	Hiroshima	Iwakura	80	2.0	0.06	11
Daiboh	Kakebuchi	Yamaguchi	Sakane	8	2.0	0.11	2
Ohsako	Yoshino	Nara	Sasaba	31	3.5	0.23	4
Ikuno	Ichi	Hyogo	Uogataki	30	3.0	0.07	6
Hikihara	Ibo	Hyogo	Ishigame	34	4.5	0.13	6
Shirayuwa	Shirayuwa	Toyama	Mekuwa	18	2.0	0.20	8
Kamiichikawa	Kamiichi	Toyama	Sengoku	36	3.0	0.30	8
Uchikawa	Sai	Ishikawa	Kikusui	26	2.0	0.23	6
Hirono	Hino	Fukui	Futatuya	28	2.5	0.27	4

* 正会員 工博 香川大学教授
農学部

Fig. 1 Relation between t_{po} and r_e .

その発生条件を明らかにしている^{1), 3)}.

すなわち、山腹斜面に Fig. 1 のような有効降雨 r_e があったとき、下流端で最大流量が現われるときには、最大流量を発生する降雨部分に対応する特性曲線の伝播時間は、最小であって、しかも、最大流量を発生する特性曲線の出発時刻 τ_p と到達時刻 t_p における有効降雨強度は、等しくなければならない。

この条件は、Fig. 1 に示すとおりであって、さらに、次の関係式が成立する。

$$\left. \begin{aligned} t_p - \tau_p &= t_{po} = \frac{\kappa_0 L_0^{p_0}}{r_{mp}^{1-p_0}} \\ q_p &= L_0 \cdot r_{mp} \end{aligned} \right\} \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

ここに、 q_p は最大流量、 $\kappa_0 = \left(\frac{N}{\sqrt{\sin \theta}} \right)^{p_0}$ 、 L_0 は斜面長、 $r_{mp} = \frac{1}{t_p - \tau_p} \int_{\tau_p}^{t_p} r_e dt$ である。

したがって、流路での変換が山腹斜面での変換に比して無視できる流域では、式(1)を用いて山腹斜面の特性値を分析することができる。

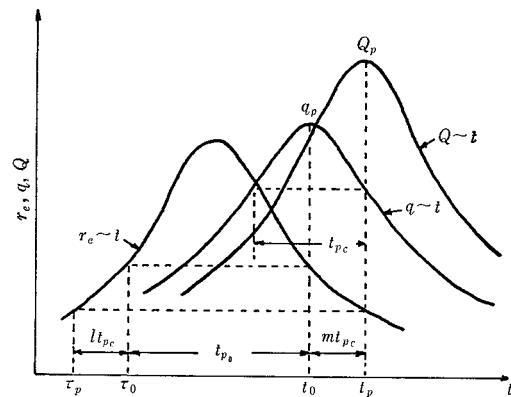
次に、流域がやや広大となり流路内の伝播時間の効果が大きく、流路での変換の影響を無視するわけにはいかない流域について考える。

Fig. 2 に示すように、流路内の伝播時間を t_{pc} 、最大流量に影響する降雨の出発時刻を τ_0 、終わりの時刻を t_0 とすると、 $(t_p - \tau_p)$ の値は、斜面伝播時間 ($t_0 - \tau_0$) より少し過大となり、これらの関係については、次のとおりとなる³⁾。

$$t_p - \tau_p = (t_0 - \tau_0) + (l + m)t_{pc} \approx (t_0 - \tau_0) + t_{pc} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

ここに、係数 l は、降雨分布 r_e 、 m は、 t_{pc} 時間に内の流入量 $q(t)$ の形状によって変化するが、いずれも、ほぼ $1/2$ と考えてよい³⁾。

したがって、流路内の伝播時間 t_{pc} の効果が大きいと考えられるときは、 $(t_p - \tau_p)$ から t_{pc} を差し引くことによって、山腹斜面での雨水到達時間を近似的に求める

Fig. 2 Relation between t_{po} , t_{pc} and r_e .

ことができる。

b) 実測雨量と水位による方法

雨水到達時間解析の理論的方法においては、有効降雨量と流出量の相関時系列資料が必要となる。しかし、山地流域内のこれらの資料については、現在、入手是不可能近く、たとえ、入手しても降雨量の分布は、きわめてランダムなもので、この降雨量を連続曲線に変換することも大変困難である。また、洪水流出量のハイドログラフにおいては、さらに、入手が困難である。

そこで、著者は、比較的小さい流域面積（約 50 km^2 以下の山地流域）で、管理設備が近代化している多目的ダム事務所の水文資料に着眼し、その現地実測資料（ダム貯水池直上流位置の流入水位変化とその流域内降雨量）を用いて、雨水到達時間 を解析する手法を検討した。

そして、雨水の流域最遠部山頂から水位観測地点までの到達時間の算定については、降雨は、初期損失がすでに終了し、損失量の影響の少ない実測雨量が有効雨量と考えられる降雨を採用することにした。そして、ピーク流量発生時までの降雨量が約 100 mm 以上の降雨を対象とし、この基準時刻は、水位観測所の水位変動記録が顕著に現われたピークの時刻（最大流量の発生時刻）を基準とし、また、降雨量は、その前後の降雨記録を採用した。そして、各時刻における各継続単位時間 (T) ごとに、各時刻より、その前時刻の資料を用いて平均降雨強度 $\bar{r}_T(t)$ を算出して、その時刻の降雨強度とし、各単位時間の降雨強度変動図（時刻-降雨強度図）とする。

この降雨強度変動図と水位変動図のピークが同一時刻 (t_p) となる単位時間を見出し、これを (T_p) とする。

そうすると、

$$\left[\frac{d}{dt} \bar{r}_T(t) \right]_{t=t_p} = \left[\frac{d}{dt} \left\{ \frac{1}{T_p} \int_{t-T_p}^t r(\tau) d\tau \right\} \right]_{t=t_p} = 0 \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

式(3)より、

$$r(t_p) = r(t_p - T_p) \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

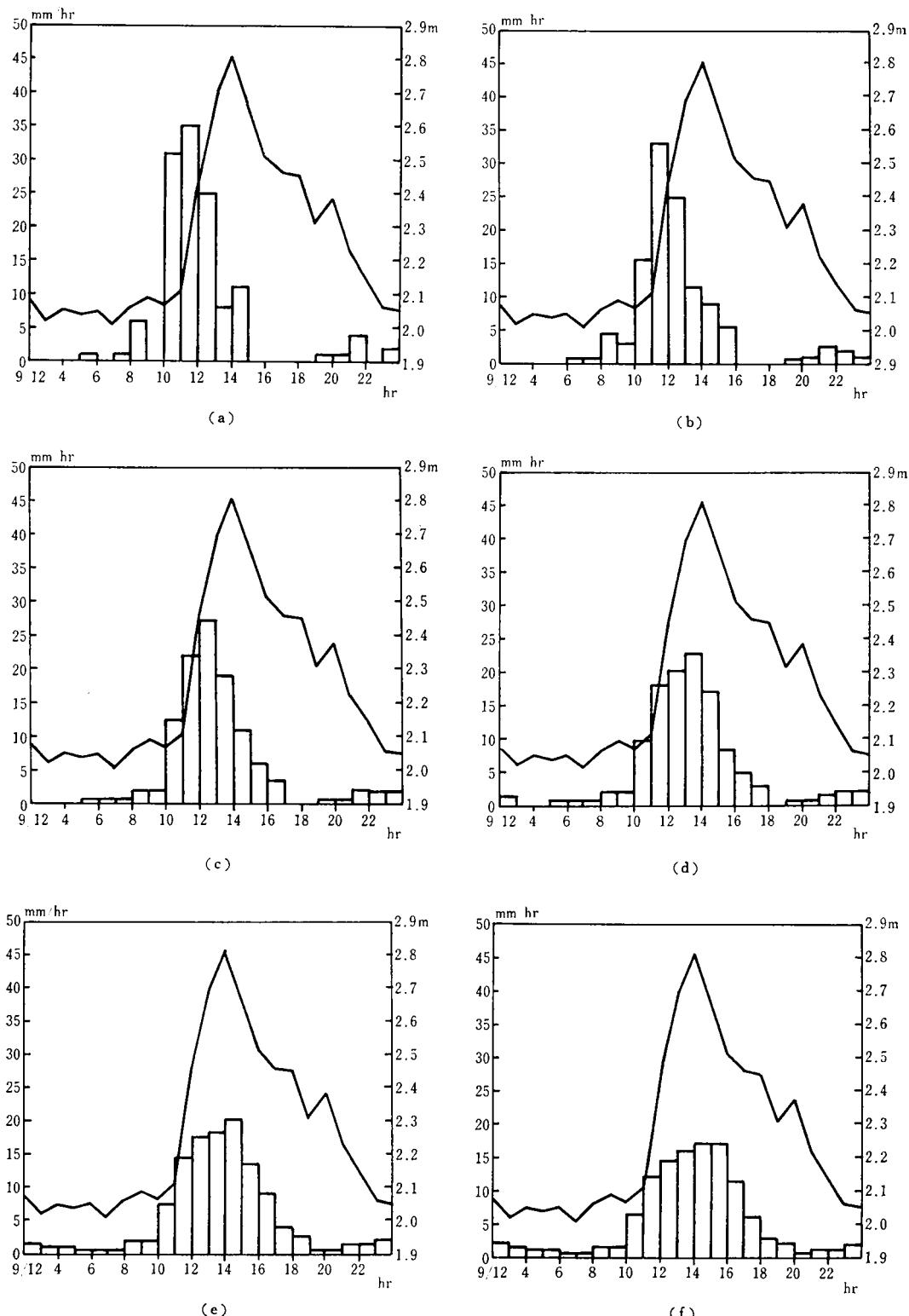


Fig. 3 Trace on runoff from rainfall for the Ohsako Dam data recorded on September 12, 1976 : (a) $T=1.0\text{h}$; (b) $T=2.0\text{h}$; (c) $T=3.0\text{h}$; (d) $T=4.0\text{h}$; (e) $T=5.0\text{h}$; (f) $T=6.0\text{h}$.

測、各水位に対する河積、また、河床勾配、河道の粗度係数を調査し、平均流速公式を適用、伝播時間は、流路長に水位のピーク時の平均流速を適用、解析した。

そして、各ダムの過去大出水時のダム最上流域の山腹斜面の伝播時間については、水位観測地点までの雨水到

達時間から流路内の伝播時間を差し引いて算出した。これらの解析結果を総括すると Table 2 から Table 6 までに示すとおりのものとなった。

次に、解析した山腹斜面の伝播時間と有効雨量強度の関係については、各地方から代表ダム 5 か所を選び、

Table 2 Rainfall-arrival-time and equivalent roughness, Kagawa.

date		time	rainfall arrival-time (h)	stream-flow-time		overland-flow-time		equivalent roughness ($m^{-1/3}s$)
				stream-flow stage (cm)	flow-time (h)	inlet-time (h)	rainfall intensity (mm/h)	
Tonogawa Dam	Sep. 30, 1979	22:40	1.3	66	0.0	1.3	45.0	0.23
	Oct. 19, 1979	9:40	1.6	59	0.0	1.6	19.8	0.20
	Sep. 11, 1976	21:00	0.8	275	0.0	0.8	103.2	0.20
	Sep. 11, 1976	8:10	1.3	145	0.0	1.3	27.6	0.18
	Sep. 12, 1976	0:20	1.2	183	0.0	1.2	50.4	0.22
	Aug. 23, 1975	4:20	1.2	156	0.0	1.2	54.6	0.23
Maeyama Dam	Sep. 30, 1979	20:00	1.7	165	0.1	1.6	73.2	0.31
	Oct. 19, 1979	9:20	2.5	136	0.1	2.4	19.8	0.26
	Sep. 11, 1976	9:40	2.7	119	0.1	2.6	21.0	0.31
	Aug. 23, 1975	3:10	2.2	221	0.1	2.1	36.0	0.31

Table 3 Rainfall-arrival-time and equivalent roughness, Shikoku.

date		time	rainfall arrival-time (h)	stream-flow-time		overland-flow-time		equivalent roughness ($m^{-1/3}s$)
				stream-flow stage (cm)	flow-time (h)	inlet-time (h)	rainfall intensity (mm/h)	
Ishitegawa Dam	Sep. 11, 1976	17:30	3.5	273	0.6	2.9	16.3	0.28
	Aug. 17, 1975	20:30	4.5	172	1.1	3.4	14.6	0.34
	Jun. 27, 1973	5:30	4.0	186	1.0	3.0	17.0	0.30
Tamagawa Dam	Sep. 12, 1976	22:30	2.5	350	0.8	1.7	30.0	0.30
	Aug. 17, 1975	11:10	2.5	265	1.0	1.5	31.0	0.20
Kagami Dam	Apr. 8, 1979	13:00	4.0	304	1.3	2.7	26.0	0.42
	May. 8, 1979	5:00	4.0	293	1.3	2.7	25.7	0.42
	Oct. 19, 1979	7:00	4.0	284	1.5	2.5	23.6	0.35
	Jul. 13, 1978	0:00	3.0	351	1.0	2.0	53.5	0.41
	Aug. 3, 1978	3:00	4.0	297	1.3	2.7	18.0	0.33
	Sep. 11, 1977	6:00	6.0	222	2.3	3.7	8.8	0.35
	Sep. 10, 1976	5:00	4.0	306	1.3	2.7	19.6	0.36
	Sep. 11, 1976	21:00	2.0	505	0.5	1.5	76.7	0.33
	Aug. 17, 1975	19:00	2.5	462	0.6	1.9	45.5	0.34
	Sep. 15, 1972	20:00	3.0	375	0.8	2.2	41.6	0.41

Table 4 Rainfall-arrival-time and equivalent roughness, Chugoku.

date		time	rainfall arrival-time (h)	stream-flow-time		overland-flow-time		equivalent roughness ($m^{-1/3}s$)
				stream-flow stage (cm)	flow-time (h)	inlet-time (h)	rainfall intensity (mm/h)	
Kuga Dam	Apr. 14, 1976	11:00	6.0	186	1.3	4.7	6.8	0.34
	Sep. 10, 1976	9:00	3.5	305	0.9	2.6	26.7	0.31
	Sep. 11, 1976	18:00	5.0	217	1.1	3.9	9.8	0.32
	Jul. 14, 1975	10:00	6.0	168	1.4	4.6	8.0	0.37
	Aug. 6, 1975	15:00	4.0	163	1.4	2.6	30.3	0.34
Ozegawa Dam	Apr. 28, 1977	3:00	7.0	203	1.6	5.4	11.8	0.37
	Sep. 13, 1976	9:00	5.0	344	1.0	4.0	23.5	0.36
	Aug. 17, 1975	23:00	6.0	256	1.3	4.7	13.4	0.33
	Apr. 16, 1973	2:00	7.0	163	1.8	5.2	10.2	0.32
Daiboh Dam	Jun. 11, 1978	5:00	4.0	157	0.2	3.8	17.0	0.37
	Aug. 24, 1977	17:00	4.0	186	0.2	3.8	12.2	0.29
	Apl. 29, 1976	7:00	4.0	198	0.2	3.8	14.0	0.32
	Jul. 13, 1975	6:00	2.0	292	0.1	1.9	67.0	0.29
	Jul. 17, 1974	23:00	5.0	128	0.2	4.8	8.4	0.34

Fig. 4 に示すことにした.

この斜面の伝播時間と有効雨量強度の関係について
は、式(1)において、それぞれの単位を t_{p0} (h), L_0

$$t_{p_0} = \frac{7.348 \kappa_0 L_0^{p_0}}{r_m t^{(1-p_0)}} \dots \dots \dots (13)$$

Table 5 Rainfall-arrival-time and equivalent roughness, Kinki

date	time	rainfall arrival-time (h)	stream-flow-time		overland-flow-time		equivalent roughness ($m^{-1/8}s$)	
			stream-flow stage (cm)	flow-time (h)	inlet-time (h)	rainfall intensity (mm/h)		
Ohsako Dam	Jun. 23, 1978	11:00	6.0	136	0.7	5.3	10.0	0.36
	Jun. 25, 1977	7:00	6.0	120	0.8	5.2	11.2	0.37
	Sep. 10, 1976	12:00	4.0	277	0.4	3.6	22.7	0.32
	Sep. 12, 1976	14:00	4.0	281	0.4	3.6	22.3	0.32
	Aug. 18, 1975	6:00	4.0	360	0.4	3.6	29.3	0.38
	Aug. 23, 1975	0:00	3.0	500	0.3	2.7	66.3	0.40
	Aug. 26, 1974	3:00	5.0	232	0.5	4.5	20.2	0.43
	Sep. 1, 1974	23:00	3.0	398	0.4	2.6	48.7	0.31
Ikuno Dam	Jun. 29, 1979	13:00	6.0	131	0.6	5.4	15.2	0.32
	Sep. 16, 1978	2:00	5.0	215	0.4	4.6	29.0	0.38
	Nov. 17, 1977	1:00	7.0	132	0.6	6.4	13.3	0.39
	Sep. 10, 1976	18:00	7.0	204	0.4	6.6	13.9	0.43
	Sep. 12, 1976	10:00	9.0	128	0.6	8.4	7.3	0.41
	Aug. 23, 1975	11:00	7.0	153	0.5	6.5	11.7	0.37
	Sep. 9, 1974	10:00	6.0	157	0.5	5.5	13.8	0.31
	Sep. 16, 1978	2:00	6.0	188	0.7	5.3	25.2	0.40
Hikihara Dam	Nov. 17, 1977	1:00	8.0	109	1.0	7.0	10.9	0.36
	Sep. 10, 1976	11:00	8.0	221	0.6	7.4	14.9	0.49
	Aug. 23, 1975	4:00	9.0	109	1.0	8.0	9.2	0.40
	Sep. 9, 1974	10:00	8.0	178	0.8	7.2	12.6	0.42
	Jun. 8, 1972	7:00	7.0	154	0.9	6.1	13.7	0.33
	Jul. 12, 1972	0:00	7.0	197	0.7	6.3	14.9	0.37
	Jul. 23, 1971	17:00	7.0	181	0.7	6.3	16.6	0.40
	Aug. 21, 1970	21:00	6.0	277	0.6	5.4	22.2	0.38

Table 6 Rainfall-arrival-time and equivalent roughness, Hokuriku.

date		time	rainfall arrival-time (h)	stream-flow-time		overland-flow-time		equivalent roughness (m ^{-1/3} s)
				stream-flow stage (cm)	flow-time (h)	inlet-time (h)	rainfall intensity (mm/h)	
Shirayuwa Dam	Jul. 3, 1979	0:00	5.0	149	0.5	4.5	8.6	0.41
	Oct. 19, 1979	18:00	4.0	158	0.5	3.5	18.2	0.45
	Jun. 27, 1978	18:00	5.0	135	0.5	4.5	8.4	0.40
	Aug. 6, 1976	5:00	5.0	147	0.5	4.5	8.4	0.40
	Aug. 14, 1976	23:00	5.0	150	0.5	4.5	9.4	0.44
	Sep. 11, 1976	4:00	4.0	155	0.5	3.5	13.5	0.37
Kami-ichikawa Dam	Oct. 1, 1979	4:00	4.0	183	0.5	3.5	22.5	0.42
	Aug. 14, 1976	23:00	4.0	128	0.6	3.4	18.5	0.35
	Aug. 11, 1969	12:00	3.0	262	0.4	2.6	48.7	0.42
	Jul. 18, 1965	5:00	5.0	138	0.6	4.4	15.2	0.47
	Sep. 18, 1965	2:00	4.0	145	0.5	3.5	18.2	0.36
	Sep. 25, 1964	15:00	5.0	133	0.6	4.4	12.8	0.42
Uchikawa Dam	Aug. 21, 1979	17:00	3.0	159	0.4	2.6	25.3	0.35
	Sep. 30, 1979	3:00	4.0	152	0.4	3.6	13.8	0.40
	Oct. 19, 1979	17:00	4.0	158	0.4	3.6	14.7	0.42
	Jun. 27, 1978	19:00	4.0	172	0.4	3.6	18.0	0.48
	Aug. 7, 1975	8:00	4.0	116	0.5	3.5	15.5	0.41
	Jul. 10, 1974	8:00	4.0	133	0.5	3.5	14.0	0.39
Hirono Dam	Jun. 8, 1979	8:00	4.0	255	0.3	3.7	12.5	0.36
	Jun. 29, 1979	15:00	5.0	118	0.6	4.4	9.6	0.39
	Sep. 30, 1979	1:00	2.5	258	0.3	2.2	47.9	0.36
	Oct. 19, 1979	15:00	4.0	265	0.3	3.7	12.7	0.36
	Jun. 21, 1978	11:00	5.0	120	0.6	4.4	10.8	0.43
	Sep. 10, 1976	20:00	4.0	190	0.4	3.6	19.5	0.45

式(13)を対数式にすると、

$$\log t_{p_0} = \log 7.348 + \log (\kappa_0 L_0^{p_0}) - (1-p_0) \log r_{mp}$$

$$\therefore \log r_{mp} = \frac{0.87 + \log (\kappa_0 L_0^{p_0})}{(1-p_0)} - \frac{\log t_{p_0}}{(1-p_0)} \quad \dots(14)$$

式(14)の p_0 値は Fig. 4 から約 0.6 となる。

このことは、この解析値が Manning の抵抗則に従っていることを意味しており、雨水到達時間解析の実測雨量と水位を用いた方法については、その合理性と妥当性のあることを明らかにすることができた。

(2) 等価粗度の解析

各ダム上流域の山腹斜面等価粗度の解析においては、上述の斜面の伝播時間とその降雨強度の解析値、さらに、地形条件は、建設省地理院発行の 1/50 000 地形図より、ダム上流域の山腹地形条件を十分に調査、解析し、山腹の斜面長、および、勾配は、それぞれ、その平均値を見出し、この値を採用した。

そして、解析手法としては、地表面流の伝播の流れが Manning の抵抗則に従い、さらに、流路形状を矩形と考えて、Kinematic wave 法を適用、解析した。この解析結果については、さきの Table 2 から Table 6 までに示すとおりのものとなった。

すなわち、わが国における山地最上流域の山腹斜面等価粗度については、その値は、山地流域の地形・地質・土壤・植生などにより異なるが、おおよそ、 $N=0.3\sim0.4 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ 程度であることを明らかにすることができた。

3. 山腹斜面等価粗度の考察

(1) 等価粗度の値

本研究において調査、解析した各ダム上流域の山腹斜

面等価粗度の平均値については、Table 7 に示すとおりのものとなった。

これらの値を考察するに、殿川ダムについては、このダムは、香川県の小豆島に設置されているダムで、流域面積が約 4 km² と、きわめて狭少、また、地形が急峻、地質が岩石露出の岩山であるので、その等価粗度は、 $N=0.2 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ 程度の小さい値となったものと思われる。

次に、前山ダムと石手川ダム、および、玉川ダムについては、その流域は、いずれも、瀬戸内海に面し、山頂分水嶺の標高が 1 000 m 以下と、それほど高くなく、林相も普通と思われる山地である。よって、その等価粗度は、 $N=0.3 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ に近い値となっている。また、中国地方の久賀ダムと小瀬川ダム、および、大坊ダムについては、その流域は、いずれも、標高が 1 000 m 以上の中国山脈に分水嶺をもち、相林もやや良好と思われる山地であるので、等価粗度は、四国地方の瀬戸内海側の山地より、やや大きい $N=0.3 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ を少し上回る値となっている。

次に、高知県の鏡ダムと奈良県の大迫ダム、兵庫県の生野ダム、引原ダム、ならびに、北陸地方の白岩川ダム、上市川ダム、内川ダム、広野ダムについては、流域は、いずれも、標高が 1 300~1 500 m の連山を分水嶺とし、山腹斜面長も長大、また、降雨量も全国的に多雨地域となっているので林相が、きわめて良好な山地を呈し、その値は、最も大きい $N=0.4 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ に近い値となったものと思われる。

すなわち、本研究の成果においては、わが国の山地流域のうち、さらに、その最上流域の流域状況特性による山腹斜面等価粗度の定数性を明らかにし、その定数化を図ることができた。また、このことは、從来発表されている実験値^{1),2)}は、植生面で $N=0.3\sim0.4 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ 程度であるとの研究結果の追証ともなったものと考察された。

Table 7 Effects of the equivalent roughness on the inlet-time of overland flow.

dam name	inlet-time of overland flow $\times \left(\frac{N^{0.6}}{r_{mp}^{0.4}} \right) (\text{h})$	equivalent roughness and inlet-time of overland flow					
		N_{mean} ($\text{m}^{-1/3}\text{s}$)	mean deviation	N ($\text{m}^{-1/3}\text{s}$)	mean deviation	N ($\text{m}^{-1/3}\text{s}$)	mean deviation
Tonogawa Dam	14.04	0.21	0.09	0.2	0.05		
Maeyama Dam	17.73	0.30	0.02	0.3	0.02		
Ishitegawa Dam	18.93	0.31	0.03	0.3	0.07		
Tamagawa Dam	13.63	0.25	0.06	0.3	0.07		
Kagami Dam	16.42	0.37	0.06			0.4	0.08
Kugo Dam	19.26	0.34	0.03	0.3	0.04		
Ozegawa Dam	25.47	0.34	0.03	0.3	0.09		
Daiboh Dam	21.48	0.32	0.05	0.3	0.06		
Ohsako Dam	24.73	0.36	0.06			0.4	0.08
Ikuno Dam	31.51	0.37	0.06			0.4	0.07
Hikihara Dam	33.61	0.39	0.04			0.4	0.05
Shirayuwa Dam	18.01	0.41	0.03			0.4	0.04
Kamiichikawa Dam	20.55	0.41	0.05			0.4	0.06
Uchikawa Dam	17.73	0.41	0.04			0.4	0.05
Hirono Dam	18.97	0.39	0.05			0.4	0.05

(2) 工学的な価値

a) ピーク流量解析への適用

中小河川、および、山地渓流など小流域の洪水流出のうち、ピーク流量の解析は、一般的に合理法が適用されている。この場合、降雨強度算定のための洪水到達時間の解析には、従来、経験公式である、いわゆる Rzhiha 式、また、Kraven の値による方法が用いられていることが多いが、これらの式は、明らかに経験式であり、近年、Kinematic wave 法を用いた方法が用いられつつある^{1), 5)}。

この方法においては、山腹の地形条件、すなわち、山腹の平均傾斜角、斜面長などは地形図により、また、降雨強度は、水文資料より求めることができるが、山腹斜面の等価粗度については、流域内の地形・地質・土壤・植生などの流域状況特性によって、それぞれ特定の値をもつものである。したがって、この値が決定されなければ、Kinematic wave 法は、適用することができない。

本研究により見出された流域特性による山腹斜面の等価粗度は、この方法に不可欠な基礎資料として適用されるものと考える。

また、この値の洪水到達時間算定への精度については、Table 7 に示したごとく、各ダム上流域において、それぞれ平均の N 値を用いて雨水到達時間を算出した場合、実測値（本論文の解析値）との平均偏差百分率は、0.02~0.09 となった。また、流域面積が狭少で岩石露出の岩山流域である殿川ダムは $N=0.2 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ 、標高がやや低く相林が普通と考えられる山地流域の北四国・中国地方の前山ダム、石手川ダム、玉川ダム、久賀ダム、小瀬川ダム、大坊ダムは $N=0.3 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ 、標高が高く、山腹斜面長の長大な林相がよいと考えられる南四国・近畿・北陸地方の鏡ダム、大迫ダム、生野ダム、引原ダム、白岩川ダム、上市川ダム、内川ダム、広野ダムは $N=0.4 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ の値を用いて、それぞれの雨水到達時間を算出し、実測

値との平均偏差百分率を解析すると、この値は 0.02~0.09 となり、いずれも 1 割以内にとどまるよい精度となることも考察することができた。

b) ハイドログラフ解析への適用

Kinematic wave 法を用いたハイドログラフ解析への適用については、吉野川大迫ダム上流の篠場水位観測地点と白岩川ダム上流の目柔水位観測地点において、本研究で得た山腹斜面等価粗度の値を適用し、過去大出水時の洪水流出再現を解析、考察することにした。

すなわち、吉野川の篠場地点においては、流域面積は 31.0 km^2 、上流域の平均山腹長は 3.5 km 、平均山腹勾配は 0.23、また、山腹斜面等価粗度は、本研究で得た $N=0.4 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ を適用、降雨は、大台ヶ原雨量観測所の資料を用いて、昭和 50 年 8 月 23 日、0 時前後における

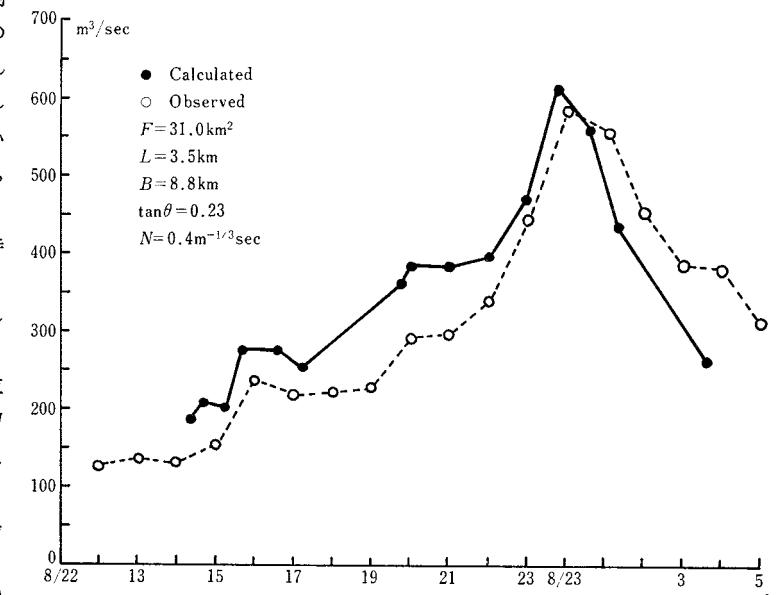


Fig. 5 Hydrograph of Sasaba station on the Yoshino (Aug. 23, 1975).

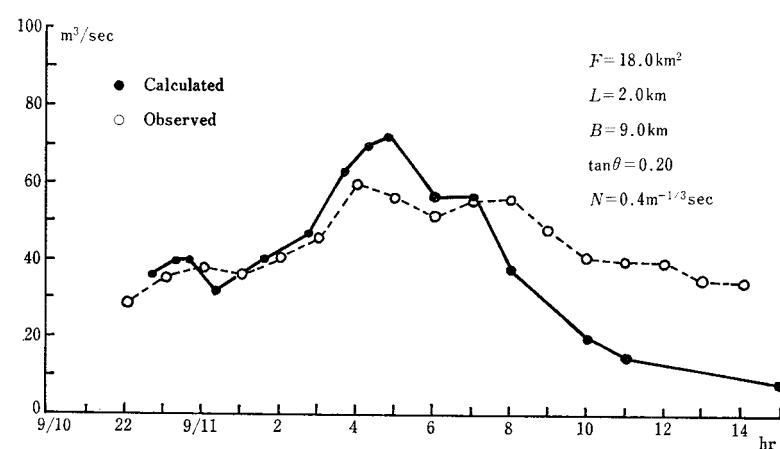


Fig. 6 Hydrograph of Mekuwa station on the Shirayuwa (Sep. 11, 1976).

る洪水流出を解析した。その解析結果は、Fig. 5 に示すとおりのものとなった。

次に、白岩川目桑地点については、流域面積は 18.0 km²、上流域の平均山腹長は 2.0 km、平均山腹勾配は 0.20、降雨は、ダム上流域に設置されている小又雨量観測所の資料を用い、昭和 51 年 9 月 11 日、5 時前後の洪水流出再現を本研究で得た山腹斜面等価粗度 $N=0.4 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ を用いて解析した。この結果は、Fig. 6 に示したものとなった。

すなわち、Fig. 5、および、Fig. 6 に示したごとく、解析したハイドログラフは、いずれも、実測したハイドログラフと、ピークの時刻、また、流量においても、よく合致した結果を得ることができた。

このことは、Kinematic wave 法に本研究で得た山腹斜面等価粗度の値を適用した解析法については、その妥当性があり、ハイドログラフ解析への適用に対して、十分な工学的価値のあることを示している。

4. 結 語

中小河川、および、山地渓流など小流域河川の洪水流出解析においては、特に、山腹斜面上を流れる地表面流の流出機構、すなわち、雨水伝播時間の要素が重要なものとなっている。

したがって、本研究においては、四国・中国・近畿・北陸地方における流域面積が約 50 km² 以下で、管理設備の近代化している多目的ダム 15 か所を選び、その上流域山腹斜面の等価粗度を、それぞれのダム上流域に設置されている雨量と水位観測所における過去大出水時の水文資料を用いて解析した。そして、雨水到達時間の解析においては、斜面の伝播時間をより正確に算出するため、流路内の伝播時間も考慮した解析を行い、斜面特性を一層明らかにした。

その結果、わが国における山地最上流域の山腹斜面等価粗度については、およそ、標高が高く、山腹斜面長

の長大な林相のよい山地流域の値は $N=0.4 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ 、標高がやや低く林相の普通の山地流域は $N=0.3 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ 、流域面積が狭少で岩石露出の岩山流域は $N=0.2 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ 程度と考えてよいことを明らかにすることができた。

すなわち、この値については、従来発表されている実験値は、植生面上で $N=0.3 \sim 0.4 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ 程度といわれているが、これら研究^{1), 2)} の追証となるものと考えられる。

また、本研究における成果値の工学的価値については、流域面積が狭少な山地流域の洪水流出解析において、ピーク流量の解析には、特に、適正な洪水到達時間の算定が必要であり、さらに、ハイドログラフの解析も必要であるが、これらの解析には、流域状況特性に応じた適正な山腹斜面等価粗度が、当初より既知であることが不可欠である。本研究では、この不可欠な値を究明し、また、実際に、洪水到達時間の算出、洪水流出の再現解析に適用し、十分に、その合理性と妥当性のあることを明らかにることができた。

最後に、本研究にあたっては、京都大学工学部土木工学科教室、高棹琢磨馬教授、および、京都大学防災研究所、池淵周一教授に、直接、懇切なご指導、ご教示をいただくとともに、水文資料の提供については、各関係官庁の方々に絶大なるご協力をいただいたので、ここに、厚くお礼を申し上げる次第である。

参 考 文 献

- 1) 金丸昭治・高棹琢磨馬：水文学、朝倉書店、pp. 104～112, pp. 207～208, 1975.
- 2) 建設省河川局：建設省河川砂防技術基準（案）調査編、日本河川協会、p. 144, 1976.
- 3) 石原藤次郎・高棹琢磨馬：単位図法とその適用に関する基礎的研究、土木学会論文集、第 60 号・別冊(3-3), 1959.
- 4) 鎌田 萬：山地流域の洪水流出に関する研究 II、香大農学報、30(1), pp. 95～106, 1978.
- 5) 鎌田 萬：中小河川治水計画における計画降雨と計画高水に関する研究、京大学位論文、pp. 102～109, 1976.
(1981.5.22・受付)