

洪水流出系モデルの評価に関する基礎的検討

京都大学工学部 正員 高埴琢馬 京都大学工学部 正員 宝 馨
 日本道路公団 正員 ○楠橋康広 新日本製鉄 北野吉幸

1. 目的 【1】斜面+河道系におけるような流域を想定する。流域面積は42km², Kinematic Waveモデルの確率変換特性を明らかにする。【2】斜面+河道系において, 斜面モデルとして採用すべき貯留関数モデルを確率過程の評価により明らかにしようとする。流域をA42

2. 方法

2.1 基本的な考え方¹⁾ 洪水流出系は一般に

$$\{Q\} = f(\{R\}, H_0, A) \quad (1)$$

とおける。ここに, $\{Q\}$ は流量, $\{R\}$ は降雨, H_0 は降雨開始時の流域の初期条件, A は場の条件, f は真の現象を表す関数形である。

$\{R\}$, H_0 , A は時空間的に変動し, 確定的に捉えることはできない。そこでそれらを均質化した $\{\bar{R}\}$, $\bar{H}_0$, $\bar{A}$ により, 平均的挙動を

$$\{\bar{Q}\} = f(\{\bar{R}\}, \bar{H}_0, \bar{A}) \quad (2)$$

で表す。ここに, $\{\bar{Q}\}$ は平均的出力である。系内の諸量 $\{R\}$, H_0 , A を $\{\bar{R}\}$, $\bar{H}_0$, $\bar{A}$ とおいたことによる変動成分を $\{\varepsilon\}$ と記すことにすると, 実際の出力は(3)式で表される。

$$\{Q\} = f(\{\bar{R}\}, \bar{H}_0, \bar{A}, \{\varepsilon\}) \quad (3)$$

(2), (3)式の偏差は $\{\varepsilon\}$ に起因し, これを $\{\delta\}$ と記すと, $\{\delta\}$ は次式で表される。

$$\{\delta\} = \{Q\} - \{\bar{Q}\} \quad (4)$$

(2), (3)式の f としてKinematic Waveモデル(以下K.W. と記す)を考え, それを簡略化したモデル g を(3), (4)式に対応して次のように表す。

$$\{Q^M\} = g(\{\bar{R}\}, \bar{H}_0, \bar{A}, \{\varepsilon\}) \quad (5)$$

$$\{\delta^M\} = \{Q^M\} - \{\bar{Q}\} \quad (6)$$

本研究では, g としていくつかの貯留関数モデルを取り上げ, それらの評価を $\{\delta\}$ と $\{\delta^M\}$ の確率統計的性質に着目して行う。

2.2 流域条件 対象流域として図-1に示す

流域面積は42km², 98km², 294km² (A42, A98, A294)とし, 河道位

数が1, 2, 3の

流域をA42

①, A42②,

A42③のよ

うに表示し,

1, 2, 3次河

道末端の基

準地点をI, II, IIIと記す。各区区分流域の面積は表-1に示す。河道長は各ケース毎に一定とし, 降雨開

始時の斜面及び河道の水深・流量は0, 初期貯留高も0とした。

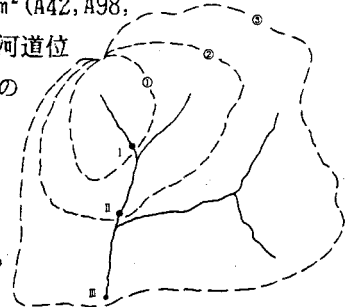


図-1 想定流域

表-1 区分流域の面積 (km²)

	A42	A98	A294
①	6	14	42
②	18	42	126
③	42	98	294
斜面長 (m)	1000	1528	2646
河道長 (m)	3000	4583	7937

2.3 入力条件 降雨は流域全体に一様に降るものとする。降雨波形は矩形及び中央ピーク型三角形とし, 平均有効降雨強度は4mm/hr, 8mm/hr の二通りとした。降雨継続時間は, (i)降雨継続時間40hr, 洪水期間80hrで, 計算時間間隔 $\Delta t = 1\text{hr}$, (ii) 斜面流出の到達時間を t_* とし, 降雨継続時間 $2t_*$, 洪水期間 $4t_*$ で, 計算時間間隔 $\Delta t = t_*/20$ (無次元化計算時間間隔 $\Delta T = 0.05$) とした。

2.4 K.W.モデルと貯留関数モデル 河道モデルはK.W.モデルとし, 斜面流出モデルは地表面流のみを考慮したK.W.モデルと次式のような3種類の貯留関数モデルとする。

$$\text{連続式: } dS/dT = R - Q$$

$$\text{貯留方程式: } \text{モデル F; } S = K_1 Q^{P_1}$$

Takuma TAKASAO, Kaoru TAKARA, Yasuhiro KUSUHASHI, Yoshiyuki KITANO

モデルP; $S = K_1 Q^{P1} + K_2 (dQ/dT)$

モデルH; $S = K_1 Q^{P1} + K_2 (dQ^{P2}/dT)$

2.5 評価の手順 [1] $\{\bar{R}\}$ を入力として K.W.モデルにより, I, II, IIIにおける流量を求め, これが平均的挙動を表すものとする。

[2] $\{\epsilon\}$ は降雨強度の時間的変動として捉え, 正規乱数(平均0, 標準偏差は平均有効降雨強度の0.5倍及び1.0倍)を2.3の降雨系列に付加したものを $\{R\}$ とみなす。そして, 各モデルにより I, II, IIIの流量を求める。[3] 各地点において [1] より得られた $\{\bar{Q}\}$ と [2] より得られた $\{Q^M\}$ より $\{\delta\}$, $\{\delta^M\}$ を求める。[4] [2], [3] の手順を50回反復してシミュレーションを行う。[5] $\{\delta\}$, $\{\delta^M\}$ を比較検討し, $\{\delta\}$ に確率統計的性質が最も近い $\{\delta^M\}$ を持つモデルをK.W.モデルの確率変換特性を保存するという意味で最も"良い"モデルであるとする。

3. 結果と考察

3.1 K.W.モデルの確率変換特性 表-2に中央ピーク型降雨を入力とした場合の各基準地

点における $\{\delta\}$ の統計量を示す。 $\Delta t = 1$ hrのとき, 斜面末端における $\{\delta\}$ の標準偏差は, A42, A98, A294の各場合にそれぞれ2.1366, 1.8542, 1.5788であった。これらのことから次のようなことがわかる。(a) 降雨中の変動成分は斜面→河道という過程で平滑化され, 平滑化における斜面

の効果は河道に比べ極めて大きい。(b) 同一面積の3ケース(A42③, A98②, A294①)の比較より, 斜面長が大きいほど平滑化は促進される。(c) 河道位数が増えても流量の変動の大きさにあまり変化はなく, 本研究で想定した流域条件では確率変換特性に及ぼす河道の影響は小さいといえる。

3.2 貯留関数モデルの確率過程的評価

表-2に, $\{\delta^M\}$ の統計量も示す。これより次のようなことがわかる。降雨継続時間が短い時(ii)の時)は, $\{\delta^M\}$ の統計的性質が最も $\{\delta\}$ のそれに近く, モデルHが最も良い。降雨継続時間が長い時(i)の時)は, どのモデルでも大差なく, 最も簡単なモデルFを用いてもよいと思われる。

4. 系言 斜面+河道系における確率変換特性をある程度明らかにすることができた。入力に含まれる変動成分の平滑化には斜面が大きな比重を占め, 斜面流出系の重要性が示された。なお, 詳細については文献2)を参照されたい。

表-2 各モデルの残差系列の統計量
(中央ピーク型降雨, $\bar{r} = 8$ mm/hr, $\sigma_e = 4$ mm/hr)

上段 σ
下段 σ_e

	モデル	A42			A98			A294		
		①	②	③	①	②	③	①	②	③
$\Delta t = 1$ hr	K.W.	-0.2504	-0.2427	-0.2455	-0.2407	-0.2383	-0.2410	-0.2334	-0.2330	-0.2410
		1.9330	1.8830	1.8778	1.7119	1.6882	1.6816	1.4876	1.4744	1.4617
	F	-0.2439	-0.2320	-0.2371	-0.2268	-0.2252	-0.2251	-0.2034	-0.2028	-0.2010
		1.9141	1.8415	1.8403	1.7051	1.6739	1.6603	1.5015	1.4801	1.4580
	P	-0.2449	-0.2355	-0.2408	-0.2303	-0.2289	-0.2288	-0.2124	-0.2120	-0.2108
		1.9711	1.9194	1.9151	1.7674	1.7449	1.7305	1.5579	1.5408	1.5236
	H	-0.2319	-0.2251	-0.2269	-0.2198	-0.2163	-0.2199	-0.2112	-0.2106	-0.2106
		1.9600	1.9080	1.9001	1.7595	1.7313	1.7221	1.5502	1.5322	1.5146
$\Delta T = 0.05$	K.W.	-0.1647	-0.1636	-0.1628	-0.1643	-0.1630	-0.1620	-0.1637	-0.1622	-0.1608
		0.8171	0.8168	0.8181	0.8166	0.8172	0.8185	0.8163	0.8172	0.8179
	F	-0.0215	-0.0214	-0.0212	-0.0215	-0.0213	-0.0211	-0.0214	-0.0210	-0.0206
		1.2539	1.2602	1.2636	1.2590	1.2616	1.2648	1.2592	1.2625	1.2651
	P	-0.1221	-0.1242	-0.1259	-0.1229	-0.1255	-0.1276	-0.1242	-0.1275	-0.1304
		0.9564	0.9571	0.9584	0.9565	0.9576	0.9590	0.9566	0.9577	0.9587
	H	-0.1560	-0.1566	-0.1579	-0.1562	-0.1570	-0.1576	-0.1565	-0.1575	-0.1583
		0.8718	0.8723	0.8734	0.8712	0.8727	0.8739	0.8719	0.8729	0.8736

参考文献 1) 高棹・宝・楠橋 (1985) : 第29回水理講演会論文集, PP.245-250.

2) 高棹・宝・楠橋 (1985) : 京都大学防災研究所年報, 第28号.(投稿中)