

日本道路公団 正員 楠橋康広

京都大学工学部 正員 高棹琢馬・宝 馨

1. 目的 山腹斜面の流出解析においては中間流出成分を考慮しなければならない場合が少なくない。こうした場合の分布型流出モデルとして、表面流・中間流を統合したKinematic Waveモデル^{1,2)}が既に構築されている。しかし、このようなモデルで流域斜面を逐一記述することは計算時間上の困難を引き起こす。本研究では、計算時間の短縮を意図し、表面流・中間流を統合したKinematic Waveモデルを集中化したモデルを提案する。さらに、確率過程的観点から、その集中化モデルと表面流のみを考慮したKinematic Waveモデルとの比較を行う。

本研究の目的は、山腹斜面系流出解析の精度を落とさずに簡便な流出計算法を提示することである。

2. 方法 【a】基本的な考え方^{3,4)} 洪水流出系は、一般に次のようにおける。

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

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 は真の現象を表わす関数形である。 $\{R\}$ 、 H_0 、 A は本来時空間的に変動し、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 $\{R\}$ 、 H_0 、 A により、系の平均的挙動を(2)式で表すこととなる。

$$\{Q\} = f(\{R\}, H_0, A) \quad (2)$$

ここに、 $\{Q\}$ は系の平均的出力である。系内の諸量 $\{R\}$ 、 H_0 、 A を $\{R\}$ 、 H_0 、 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、系の実際の出力は(3)式で表される。

$$\{Q\} = f(\{R\}, H_0, A, \{\varepsilon\}) \quad (3)$$

(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。

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

(2),(3)式の f を簡略化したモデル g を(3),(4)式に対して(5),(6)式のように表す。

$$\{Q^M\} = g(\{R\}, H_0, A, \{\varepsilon\}) \quad (5)$$

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

$\{\delta\}$ と $\{\delta^M\}$ の確率統計的性質に着目してモデル g の評価を行う。すなわち、残差 $\{\delta\}$ と $\{\delta^M\}$

とを比較検討し、 $\{\delta\}$ の確率統計的性質に最も近い性質をもつ $\{\delta^M\}$ を与えるモデルを、モデル f 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。【b】斜面条件：斜面は簡単のため矩形平面で斜面勾配 $i=0.2$ とし、みかけのA層厚 d は10mm, 50mm, 100mmの3ケースとした。降雨開始時の斜面の水深・流量は0、表面流及び水みち流は共にManning則に従うものとする。【c】入力条件：降雨は斜面全体に様に降るものとし、降雨波形は矩形及び中央ピーク型三角形の二通りとした。平均有効降雨強度 $r=5, 10, 20\text{mm/hr}$ の3ケースとし、降雨継続時間40hr、洪水期間80hrとして、計算時間間隔 $\Delta t=1\text{hr}$ とした。

【d】モデルの概要：本研究では(2),(3)式の f として表面流・中間流を統合したKinematic Waveモデル(モデルIと記す)を、(5)式の g として次の2つを考える。

*モデルII：表面流のみを考慮したKinematic Waveモデル(いわゆる等価粗度法)。A層の有無には特別考慮を払わず、斜面が流出に及ぼす複雑な効果を斜面の等価粗度によって表そう

表-1

$d/\bar{r}$	5	10	20
10	0.59	0.52	0.47
50	2.21	1.57	1.24
100	4.98	3.09	2.12

としたものである。等価粗度は、 $r=5, 10, 20\text{mm/hr}$ の定常降雨を与え【b】の斜面においてモデルI, IIで流出計算を行い、モデルIIによる計算結果がモデルIに適合するよう試行錯誤により求めた。結果を表-1に示す。*モデルIII：モデルIを集中化したモデルで、その構造は図-1に示す通りである。モデルIのパラメタとの関連を明らかにするため、各流出成分毎の流量がモデルIに適合するよう試行錯誤により流出計算を行ったところ、 α 、 α_0 はモデルIのそれに K という添字をつけて表すことにすると本研究で想定した条件の場合、次のような関係にあることを見出した。

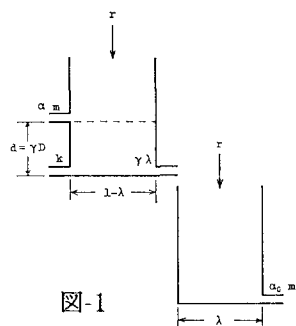


図-1

$$\alpha = \begin{cases} 3\alpha_K & (r=5\text{mm/hr}, d=100\text{mm}) \\ 2\alpha_K & (\text{他の全てのケース}) \end{cases}$$

$$\alpha_G = 2\alpha_{GK} \text{ (全てのケース)}$$

また、他の定数はモデルⅠの対応する定数と同じ値をとることがわかった。【e】評価の手順 ①—降雨 {R} を入力としてモデルⅠによる流出計算を行い、斜面下端における流出高を求める。これが系の平均的挙動を表すものとする。 ②—{ε} を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）を発生させて【c】の降雨系列に付加したものを {R} とみなす。そしてモデルⅠ～Ⅲにより斜面下端における流出高を求める。 ③—①より得られたモデルⅠの流出高と②より得られた各モデルの流出高より {δ}，{δ^m} を求める。 ④—②③の手順を多数回反復する。

表-2

モデル	(a)		(b)	
	$\bar{\delta}$	σ_{δ}	$\bar{\delta}$	σ_{δ}
Ⅰ	—	—	-0.12114	4.4979
Ⅱ	-0.75889	3.5402	—	—
Ⅲ	-0.19333	5.1360	-0.01146	4.7722

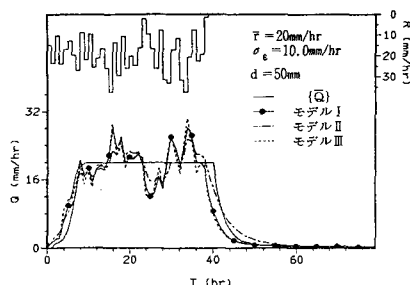


図-4

3. 結果と考察 図-2に中央

ピーク型降雨を入力とした場合のモデルⅡ，Ⅲの残差系列のヒストグラムを示す。d=10mmの時は両者のヒストグラムの形状はよく似ているが、d=50mmになると、rが小さい時はモデルⅡの形状がモデルⅢのそれに比べ歪んでいる。この傾向は d=100mmとした時にさらに顕著になった。表-2，図-3に r=20mm/hrの矩形降雨を入力とした時のモデルⅠ～Ⅲの残差系列の統計量とヒストグラムを示す。(a)では反復回数100回，(b)では計算時間の都合上、反復回数50回とした。これより、残差系列の統計的性質は

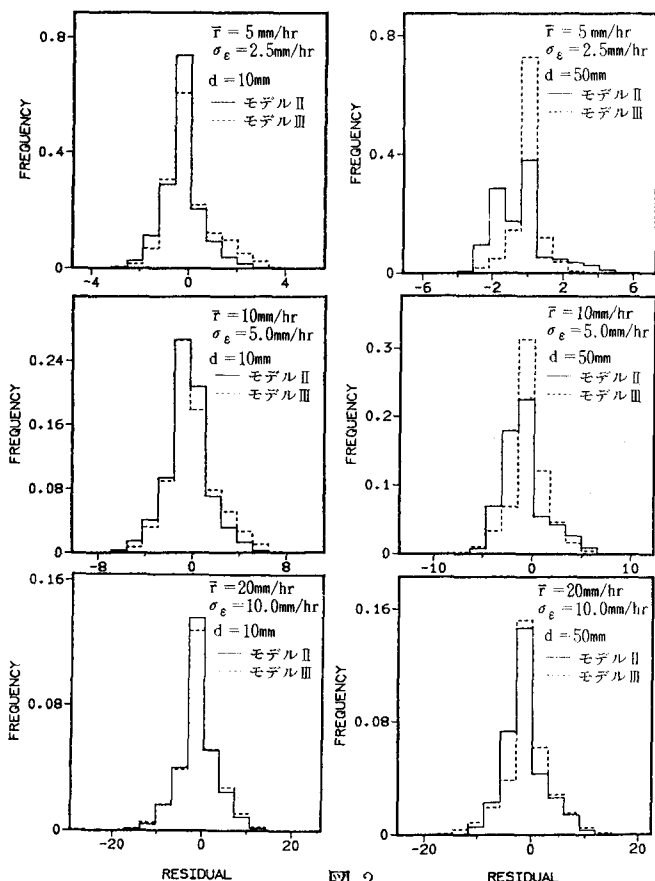


図-2

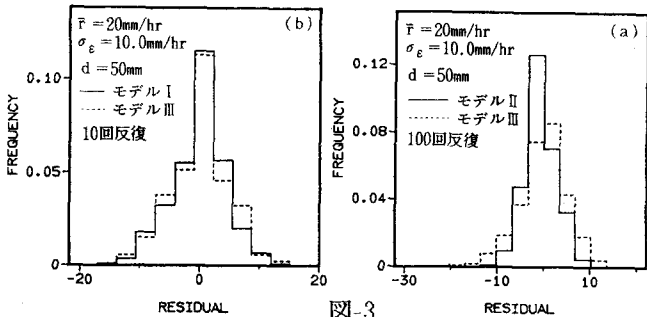


図-3

モデルⅢの方がモデルⅠに近いと考えてよい。図-4に同じ条件で得られたハイドログラフを示す。

4. 結論 中間流出成分を考慮すべき斜面系においては、表面流のみを扱うモデルでなく、ここで提示したモデルⅢのような中間流出成分をも陽に組み込んだモデルが有用である。

- 1) 石原・高棹：土木学会論文集，第79号，1962.
- 2) 高棹・椎葉：京大防研年報，第22号B-2，1979.
- 3) 高棹・宝・楠橋：第29回水理講演会論文集，1985.
- 4) 高棹・宝・楠橋：京大防研年報，第28号B-2，1979.