

建設省土木研究所

正員 吉野文雄

〇正員 早川信光

1. はじめに

日本の国土は急峻な地形特性を有するため、流域面積の割に洪水時の流出高は非常に大きく、台風・集中豪雨等の気象変化の影響を受けやすい地域が多い。これらの地域では洪水による災害が発生しやすく被害軽減のためにも流出予測を行なう必要がある。このため、気象特性や流域特性を表現し得る流出モデルが要求される。そこで利根川水系渡良瀬川上流に位置する草木ダム流域(254 km²)を対象として、流出予測に適用する目的で流出モデルの検討を行なった。

2. 流出モデルの概要

貯留関数法を用いて洪水解析を行なう場合、表面流出のみを扱う、 f 、 K 、 R_{sa} 、 T_L について議論される。しかし、そのパラメータの値は洪水毎に大きく異なることも少なくない。又、流出予測を行なう場合、 K または P の変化モデル、あるいは f の変化モデルが多く用いられている。しかし、実際の流出機構を考えた場合、洪水毎に異なるものは、植生や土の軟さの程度により生ずる損失量であり、その他の流出に関する要素は地形や地質等により支配され、ある一定の法則に従うものと考えられる。このため、流出する降雨を有効降雨として扱うよりも、土等により奪われる損失で扱うことが妥当であり、浸透や浸透により生ずる2次流出(地下を通じて流出するものはすべて2次流出と考える)を無視することはできない。そこで、土中損失と浸透についてはホルトンの浸透能の考え方を導入し、さらにこの浸透能モデルを土の軟さによる土中損失の項と、貯留による浸透の項と分離できると考えた。その結果、流出モデルは表面流出、土中損失、浸透、2次流出、深層地下浸透の項をもったパラメータ11個の二段の貯留関数モデルとした。このモデルのパラメータの内、 T_L 、 F_0 (みかけ土中損失量)以外のパラメータ(9個)については地形、地質、植生等の因子による流域固有のパラメータであると考ええる。基底流量の取り扱いについては、2次貯留の初期値を与えるファクターとして扱うことにした。図1、表1に流出モデルのシステム概要を示す。

3. 解析結果

定数解析: 定数解析は主要な洪水について改良シンプレックス法を用いてコンピュータによる自動定数解析を行ない、各定数の範囲及びその傾向を基にして、トライアル方式により計算ハイドロロイドを実測ハイドロを目標比較して最適定数解析を行なった。その結果を表2、表3に示し、一部の洪水再現結果を図2に示す。全般に既往洪水の再現度は良好であったが、2山洪水である洪水510908は1山目を十分表現するに到

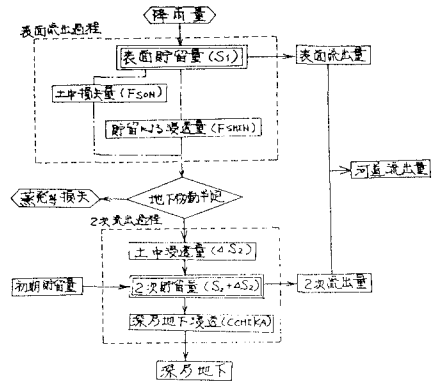


図1 流出モデルのフロー

表1 流出モデルの概要

項目	使用公式	適用	パラメータ
遅延時間	$T_L = C_m \cdot L$	洪水毎に変化	T_L
表面流出	$S_1 + R_L - (F_{SON} + F_{SEIN}) = K_1 \cdot Q_1^{\frac{1}{P_1}}$	F_{SON} , F_{SEIN} の大きい値を使用する。	K_1 , P_1
土中損失	$F = F_0 \cdot e^{-\frac{F_{SON}}{F_0}}$ $F_{SON} = \frac{F_0}{K} (e^{-K_1} - e^{-K_2})$	ホルトン型の浸透能を土中損失 F_{SON} と貯留による浸透 F_{SEIN} の2層に分けて扱い、ランダムな降雨強度を考慮する。	F_0 , K
土中浸透	$F_{SEIN} = A \cdot C^B + C_{SEIN}$ $S = S_1 + R_L$	F_{SON} , F_{SEIN} の単位時間別への可変量。	A , B , C_{SEIN}
2次流出	$S_2 + AS_2 \cdot CEHKA = K_2 \cdot Q_2^{\frac{1}{P_2}}$ $AS_2 = F_{SEIN} - F_{SON}$	S_2 の初期値は前回の時刻の基底流量より、逆算して与える。	K_2 , P_2
深層地下浸透	$CEHKA = C_m \cdot L$	深層地下浸透は定数と考える。	$CEHKA$
判定条件	1. $S_1 + R_L < F_{SON}$ 2. $S_1 + R_L > F_{SON}$ (a) $F_{SEIN} < F_{SON} + S_1 + R_L$ (b) $F_{SON} < F_{SEIN} + S_1 + R_L$ (c) $F_{SON} < S_1 + R_L < F_{SEIN}$	S (表面貯留) = 0 $Q_1 = 0$ $F_{SON} = S_1 + R_L$ (収束計算) $S = S_1 + R_L - F_{SON}$ S_2 (2次貯留) = $S_2 + (Q_2 - CEHKA)$ $S = S_1 + R_L - F_{SEIN}$ $S_2 = S_2 + AS_2 - CEHKA$ $S = 0$ $S_2 = S_2 + AS_2 - CEHKA$ $AS_2 = S_1 + R_L$	

表2 定数解析結果

遅延時間	表面貯留	貯留浸透	土中損失	土中貯留	地下貯留					
T_L	K_1	P_1	A	B	C_{SEIN}	F_0	K_2	P_2	C_{EHLKA}	
—	340	0.8	0.02	1.2	0.3	—	0.9	100	0.3	0.17

うなかつた。又、小洪水についても十分表現できなかった。

前期降雨(API)指標: API指標は流出予測を行なう場合に非常に重要な要素であると考えられる。この流出モデルでは F_0 が前期降雨量と無降雨期間との間に深い関係があると考え、Linselyが提案した関数($I_t = I_0 \cdot k^t$)を用いて

$$API = I_0 \cdot k^t$$

I_0 : 前期降雨量
 t : 無降雨状態下での日数
 k : 減少定数(一般に0.85~0.95
 ここでは0.85)

表3 既往洪水再現一覽表

項目	No.	時刻 流出高 (mm/d)	前期 流出高 (mm/d)	前期降雨情報		F ₀ 値	T _L (h)	2-7 平方誤差		
				前期降雨 (mm)	前期降雨 (h)					
洪水	1	510908	3.93	0.17	28.1	2.05	7.0	28.0	1.8	0.0084
	2	610316	7.02	0.26	60.0	30	49.0	10.0	1.5	0.0018
	3	510711	11.00	0.13	16.9	218	3.9	37.0	0.9	0.0004
大洪水	4	511018	14.50	0.14	66.6	238	13.3	18.0	1.0	0.0006
	5	510202	17.47	0.09	53.7	158	1.6	63.0	1.7	0.0012
	6	520907	2.77	0.16	17.0	110	8.1	30.0	1.5	0.0046
小洪水	7	510316	1.85	0.21	75.7	107	32.0	0.1	2.0	(0.0005)
	8	511127	1.95	0.26	22.7	50	16.1	0.1	2.0	(0.0036)
	9	510723	2.25	0.35	50.7	31	11.1	10.0	1.8	0.0032
洪水	10	510710	2.18	0.30	87.1	40	37.5	0.1	2.3	(0.0307)
	11	511020	0.86	0.20	60.4	28	33.3	4.0	2.0	0.0070
	12	510507	1.32	0.20	46.7	62	30.8	8.0	2.0	0.0061
	13	511020	1.25	0.22	32.1	316	3.8	23.0	2.0	0.0083

として F_0 との関係を求めた。これは晴天が続いて除々に流域が乾燥して指標値が小さくなることを示すものである。この結果を図3に示す。

4. 検証

57年の台風10号と18号について既往洪水から求めた定数と F_0 -API指標の関係をj用いて検証を行なった。この結果を図4に示す。この結果では台風10号については非常によく表現されている。しかし18号は2山形態を示し洪水510908と同様、1山目の再現が不十分であった。

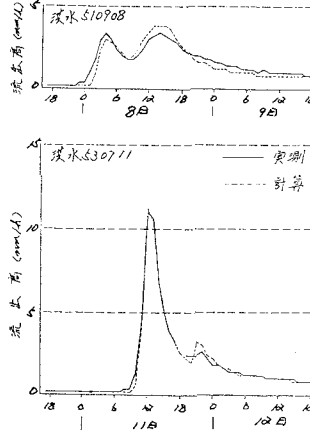


図2 洪水再現結果

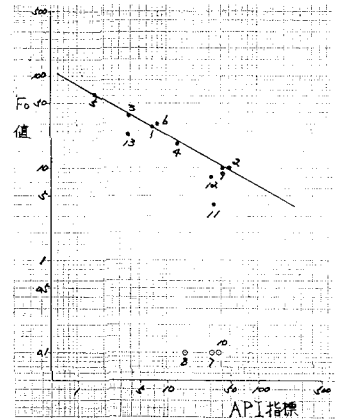


図3 F_0 とAPI指標

5. まとめ

本検討により本流出モデルの特質及び課題として次の事項が挙げられた。

(1) 流出モデルは、 T_L 、 F_0 以外のパラメータ(9個)を一定としたにもかかわらず、洪水の再現度は比較的良好であり、パラメータは流域固有の定数として扱うことが十分可能である。

(2) 流出予測を行なう場合、API指標は非常に重要な要素であることを明確にした。

(3) API指標の算出に際して、小量の間断降雨(10mm/day以下)は無視して F_0 との関係を示したが、中間降雨についても評価する必要がある。

(4) 2山洪水あるいは小洪水についてもパラメータが流域固有であるという考え方で表現しようとする場合、流出機構をさらに解明し、より適切な流出モデルやAPIモデル、あるいはこれらに相当するサブモデルの開発が必要である。

このように本流出モデルは数々の問題点を残しながらも、洪水再現はある程度満足しており、流出予測への適用も十分可能であると考えられる。

今後はモデルの改良とともに、他流域への応用を試み、モデル定数の変化とその特質についてさらに検討を進めたい。

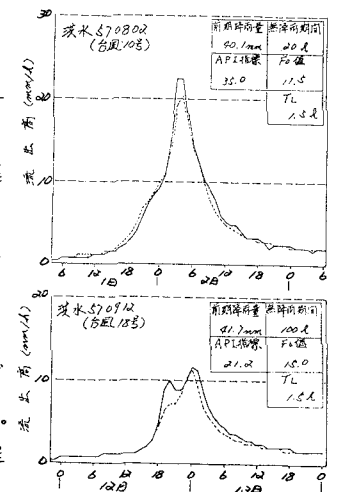


図4 検証結果