

新流出予測モデルの開発

国土交通省中部地方整備局 蓮ダム管理所

土木学会 正会員 早川信光

1. はじめに

近年筆者もダム管理に従事し、洪水予測を的確に行うことが求められるが、実用に耐える流出予測モデルがほとんど無いのが実情である。

流出予測モデルといえば、貯留関数法（木村）による現時刻合わせやタンクモデル（菅原）による洪水予測が代表的である。このほかに、制御理論に基づくカルマンフィルター法やニューラルネットワークも検討されたが、流出機構を的確に表現出来ていないため、流域流出予測に適用するには不十分である。

こうした現状に鑑み、昭和 58 年当時に発表した流出予測モデルをベースに、新流出予測モデルの開発研究を行ったものである。

2. 流出予測モデルの開発

モデル開発のコンセプトは、1) 流出機構を的確に反映させる、2) 流域の大きな変化要因は土壌や岩盤等の乾燥（保水）状態のみである、3) 洪水毎に流域は変化しない（パラメータは変化しない）、という3項目を掲げ、洪水予測を主眼においた流出モデルの開発を行った。

本モデルの基本となる地表面における損失・浸透機構は、ホルトンの浸透能の概念を土壌の乾燥吸引と圧力浸透に分離する従来モデルの概念を利用した(図-1)。

昭和58年当時のモデルの改造点としては、①2段の貯留関数から3段の貯留関数に変更、②完全流出域を表現するための河道流出域のモデル化、③損失の回復機構のモデル化、の3点の改造を行った。

②完全流出域については、ダム流域では貯水池を有するため流域は乾燥していても10mm程度の降雨が生ずると確実に流出量は増大することから、完全流出域として河道流出域を新たにモデル化した(図-2)。

③損失の回復機構については、土壌水分計の動きから湿潤状態と絶乾状態の間(FMAX)を変動するものとし、乾燥過程は湿潤過程とは反対の動きをすると仮定して、湿潤過程は $F=F_{MAX} \cdot \exp(-K \cdot t)$ に対し乾燥過程は $F=F_{MAX} \cdot (1.0 - \exp(-KKAI \cdot tt))$ とし、表面貯留 $S=0$ や降雨により曲線の乗換えを行うものとした(図-3)。

最終的に完成したモデルは、パラメータが23個と多いものの流域固有とすることが出来る決定論的流出予測モデルとしたことで予測段階におけるパラメータの修正は必要としない。

なお、解析手法は、非線形計画法の中のシプレックス法（鏡映法）により、最適化する方式を採用した。

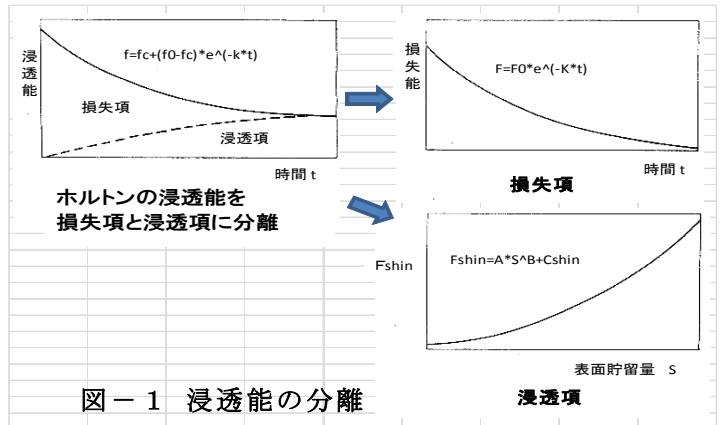


図-1 浸透能の分離

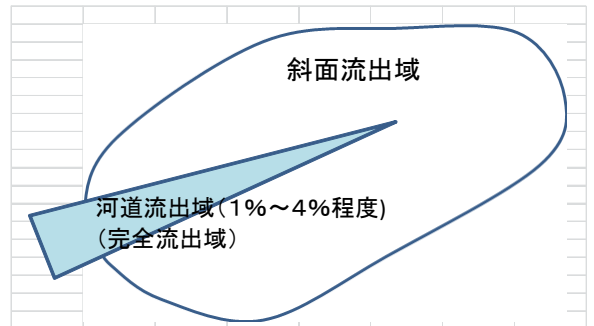


図-2 完全流出域の概念

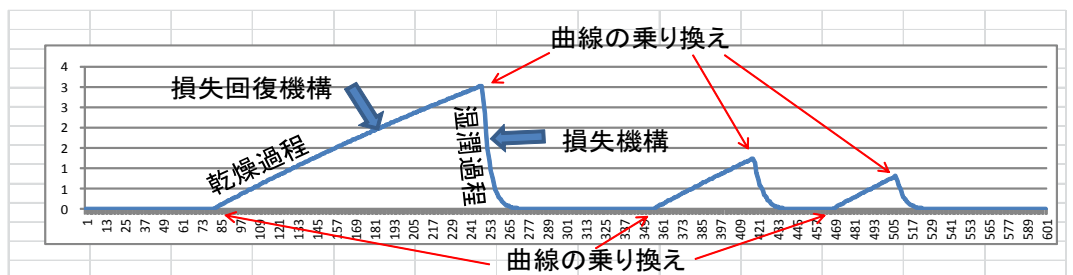


図-3 損失の回復機構

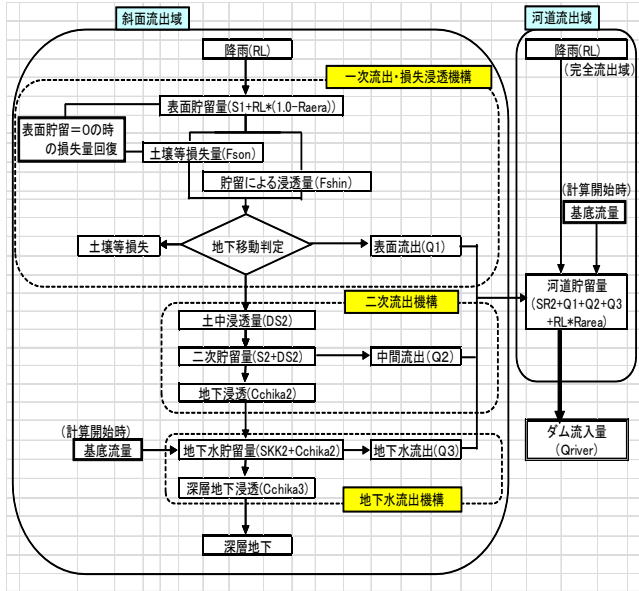


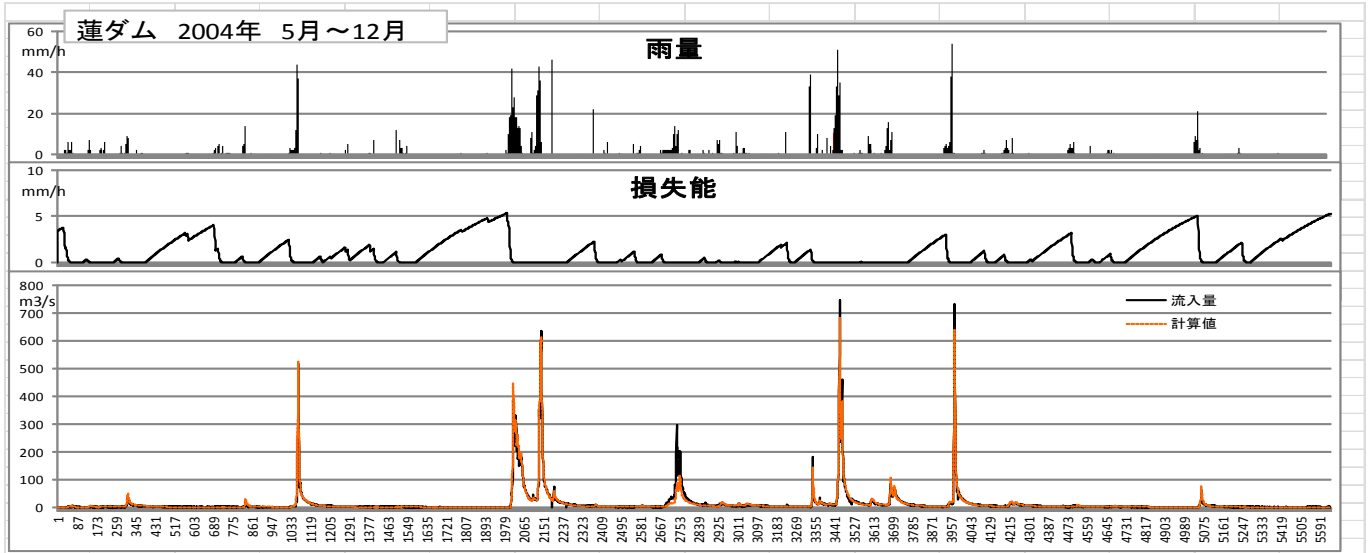
図-4 モデルの模式図

表-1 モデルの概要

項目	パラメータ	使用計算式	適用
遅滞時間	TL	TL=const	洪水ごとに変化するが、予測では平均的な値で固定値とした。
一次流出	K1, P1	$S=S_1+RL*(1.0-Rarea)$ $S-(Fson/Fshin)=K1*Q1^*P1+Q1/2$	Fson, Fshinの大きい方を採用する(浸透・損失先取り方式)
損失回復	FMAX, KKAI	$tt=tt+1 \dots S=0.0$ の時 $F=FMAX*(1.0-e^{-(KKAI*tt)})$	損失は、0~FMAXの間で、指数関数により変動すると仮定した。
初期損失能	Fshoki	$tt=-ln(1.0-(Fshoki/FMAX))/KKAI$	Fshokiは時間 tt に置き換え
土中損失	K	$F=FMAX*e^{-(K*tt)}$ (基本低減式) $Fson=FMAX/K*(e^{-(K*tt)}-e^{-(K*2)})$	ホルン型の浸透能を土中損失Fsonと貯留による土中浸透Fshinの2者に分離し、ランダムな降雨強度に対応できるようにした。
土中浸透	A, B, Cshin	$Fshin=A*S^*B+Cshin$	(浸透先取り方式)
二次流出	K2, P2	$S2+DS2-Cchika2=K1*Q2^*P2+Q2/2$ $DS2=Fshin-Fson$	二次貯留量の関数とした。
地下浸透	AA, BB, CC	$Cchika2=AA*(S2+DS2)^*BB+CC$	地下浸透についても二次貯留量の関数とした。
地下水流出	K3, P3	$SKK2+Cchika2-Cchika3=K3*Q3^*P3+Q3/2$	(浸透先取り方式)
深層地下浸透	AAA, BBB, CCC	$Cchika3=AAA*(S2+DS2)^*BBB+CCC$	深層地下浸透についても二次貯留量の関数とした
河川流域率	Rarea	Rarea=const	洪水毎、時間毎に変化するが、平均的な値で固定値とした
河道流出	RK, RP	$SR2+Q1+Q2+RL*Rarea=RK*Qriver^*RP+Qriver/2$	河道の完全流出域を考慮し、に河道流出機能と河道貯留機能を持たせた。
判定条件		① S=0 ② Fson<Fshin<S ③ Fshin<Fson<S ④ Fson<S<Fshin ⑤ Fshin<S<Fson ⑥ S<Fson<Fshin ⑦ S<Fshin<Fson	降雨前、出水終了後S無し時 出水中 降雨初期のスコール時 出水末期 Sが小さい降雨初期、出水最後 FsonについてSとなる損失量に相当する時間変化に換算する。
計算式		S: 表面貯留量 RL: 遅滞時間を考慮した降雨 DS2: 二次貯留への補給量 Fson: 単位時間当りの損失可能量 SR2: 前時刻の河道貯留残量	S1: 前時刻の表面貯留残量 S2: 前時刻の二次貯留残量 F0: 初期損失能 Fshin: 単位時間当りの浸透可能量 Q1: 表面流出量 Q2: 地下水流出量 Q3: 地下水流出量 Qriver: 流域全体からの流出量

3. 解析結果

本モデルによる解析は、蓮ダム流域(流域面積: 80.9km²) および矢作ダム流域(流域面積: 504.8km²) の2ダムを対象に実施した。その代表例として、蓮ダムの2004年の解析結果を示す。



4. まとめと課題

結果は、①3段の貯留関数により低水流出の安定性が向上し、②完全流出域のモデル化により立ち上がりや小洪水まで表現でき、③損失の回復機構の導入により時間単位で長期流出の再現が可能となった。また、④損失・浸透・回復機構の重要性がより明確となると共に、⑤パラメータの安定性が向上し、⑥小洪水から大洪水まで、立ち上がりから低減部まで非常に良好な解析結果となった。ただし、大洪水ピークでは雨量補足率の低下等により観測流量ピークに至らないものと推察される。本モデルは水収支モデルであり、雨量・流量の観測精度が求められるとともに、雨量の欠測があった場合には同定は不可能な状況となる。

以上のように課題は残るものの、本モデルのパラメータは23と多いが流域固有の固定値としており、初期損失能の設定を行った上で本モデルに実降雨および予測降雨を入力することにより、簡単に流出予測が可能となることを明らかにした。今後は、適用ケースを増大するとともに、フィードバックシステムの導入や流域の雨量観測精度向上に向け検討を進めたい。

参考文献: 昭和58年建設省直轄技術研究発表会: 前期降雨指標(API)を導入した流出予測モデル

土木研究所 水文研究室 室長 吉野文夫 ○研究員 早川信光