

四万十川上流域の雨水流出特性と流域貯水能に関する研究

徳島大学大学院 学生員 福田 亮太  
 徳島大学大学院 正 員 田村 隆雄

1.はじめに：タンクモデルのパラメータ同定は，経験を必要とし，試行錯誤を繰り返さなければならない大変な作業である．そこで，本研究では，四万十川上流域において，斜面の雨水浸透・流出計算に，地表面流分離直列二段タンクモデルを用いた流出解析を行い，同じ四万十帯で流域が構成される那賀川流域<sup>1)</sup>と比較し，四万十帯の流出パラメータについて考察する．また，解析によって得られたモデルパラメータや雨水貯留高を用いて，四万十川上流域の雨水流出特性及び流域貯水能を考察する．

2.解析対象流域概要：解析対象流域は，四万十川の源流から栗ノ木流量観測所まで（流域面積 164km<sup>2</sup> 流路延長 32km）とする．流域概要を図 1 に示す．流域のほとんどが山地で占められており，流域の地質は仏像構造線を挟み北の一部が秩父帯，南が四万十帯となっている．

3.使用モデル：対象流域に分布型モデルを適用する．斜面の雨水浸透・流出計算には地表面流分離直列二段タンクモデルを用い，河道区間の合流・流下計算には修正 Muskingum-Cunge 法を用いる．地表面流分離直列二段タンクモデルの概略図を図 2 に示す．このモデルは，1 つの表層タンクと，1 つの地下水タンクからなる．表層タンクは，大孔隙に富み，透水係数が大きい上部タンクと，透水係数が小さく，主に土壤水分を保持する下部タンクからなる．上部タンクの厚みは，有効表層厚の半分である  $\gamma D/2$  で表され，下部タンクの厚みは，土壤水分飽和容量  $h_1$  で表される．また，斜面粗度に関する定数  $\lambda_o$  は，以下の式で表される．

$$\lambda_o = 2.52 \times 10^{-3} \cdot \frac{I_S^{0.9}}{q_{o,max}^{0.8} (N \cdot L_S)^{1.8}} \quad (1)$$

ここで， $I_S$ ：サブ流域の平均斜面勾配， $q_{o,max}$ ：最大流出強度(mm/hr)， $N$ ：地表面粗度係数(m<sup>-1/3</sup>・s)， $L_S$ ：サブ流域の平均斜面長(m)である．

4.解析結果：流出解析を行い，モデルパラメータを決定した．再現されたハイドログラフを図 3 に示す．ピーク流量誤差 5%，ピーク時刻ずれ 0.3hr と良好な再現結果が得られた．以下，解析から得られたモデルパラメータに 2004 年台風 10 号で観測された長安口ダム流域の降雨波形を適用して，四万十川上流域と長安口ダム流域の流出特性と貯水能について比較する．

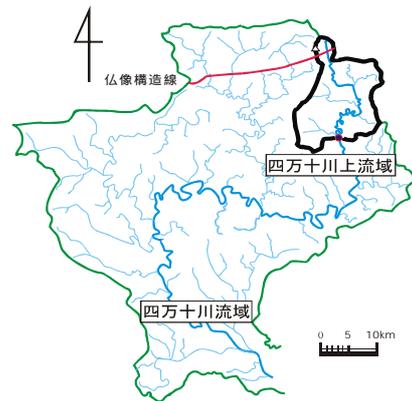


図 1 四万十川流域概要図

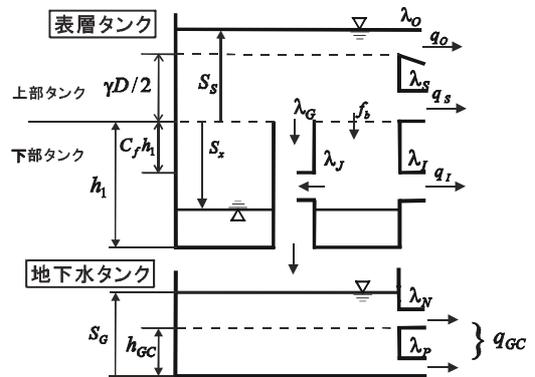


図 2 地表面流分離直列二段タンクモデル

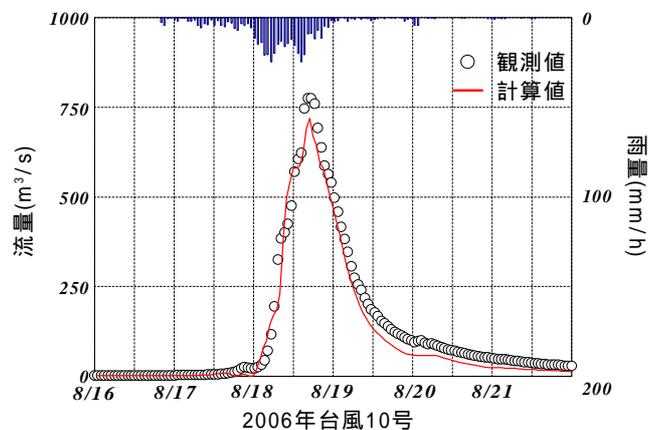


図 3 2006 年台風 10 号のハイドログラフの再現性

秩父帯グループ



四万十帯グループ  
図4 長安口ダム流域概要図

表1 各流域のモデルパラメータ

		長安口	栗ノ木
		四万十帯	四万十帯
斜面	$N$ 地表面粗度係数( $m^{-1/3} \cdot s$ )	0.199D+01	0.217D+00
	$k$ 斜面表層中間流の透水係数(1/hr)	0.801D-02	0.195D-02
	$\gamma D$ 有効表層厚(mm)	0.781D+02	0.850D+02
	$h$ 土壌水分飽和容量(mm)	0.200D+03	0.745D+02
	$f$ 土壌水分が圃場容水量の時の浸透強度(mm/hr)	0.200D+01	0.228D+01
	$C_f$ 土壌水分の飽和度	0.785D+00	0.788D+00
	$\lambda_G$ 地下水補給係数(1/hr)	0.131D+00	0.357D+00
	$\lambda_l$ 遅い中間流出係数(1/hr)	0.524D-03	0.260D-03
	$\lambda_s$ 降下浸透係数(1/hr)	0.412D-04	0.746D-04
	$\lambda_{uv}$ 不圧地下水低減係数(1/hr)	0.226D-01	0.343D-01
	$\lambda_p$ 被圧地下水低減係数(1/hr)	0.422D-04	0.267D-04
	$q_{GC}$ 不圧地下水成分が無くなる限界の流出高(mm)	0.374D-02	0.574D-02

5.1 流出特性及びモデルパラメータに関する考察：四万十川上流域と同じ地質である那賀川長安口ダム流域の四万十帯グループを比較対象流域とする。流域概要を図4に、各流域のモデルパラメータを表1に示す。表層タンク上部のパラメータについて考察を行う。地表面粗度係数  $N$  は、四万十川上流域は  $0.2m^{-1/3} \cdot s$  と長安口ダム流域の  $2.0m^{-1/3} \cdot s$  の1/10程である。これから四万十川上流域は、長安口ダム流域と比べて、ピーク時刻に到達するのが早く、ピーク流量が大きくなることが推測される。次に四万十川上流域の地下水補給係数  $\lambda_G$  は、0.357/(hr)と長安口ダム流域の0.131/(hr)の3倍近くになる。一方これらのパラメータと表層タンク下部の高さを表す  $h_1$  以外にはさほど違いは見られなかった。つまり、四万十帯であれば、未知の流域にも地下水タンクのモデルパラメータを中心に今回得られた値を流用できる可能性がある。

5.2 流域貯水能に関する考察：流域最大貯留高  $S_{max}$

を以下のように定義する。

$$S_{max} = \gamma D / 2 + (1 - C_f) h_1 + (S_{Gmax} - S_{Gini}) \quad (2)$$

ここで、 $\gamma D / 2$ ：表層タンク(上部)の貯留高(mm)，  
 $(1 - C_f) h_1$ ：表層タンク(下部)の貯留高(mm)，  
 $(S_{Gmax} - S_{Gini})$ ：地下水タンクの貯留高増加分(mm)  
 とする。流域最大貯留高とその内訳を図5に示す。四万十川上流域は流域最大貯留高が140mmと長安口ダム流域の約1.7倍と大きいことが推測される。また、各貯留高の内訳を見ると、四万十川上流域は、地下水貯留高が最も高く、続いて早い中間貯留高、遅い中間貯留高と、長安口ダム流域の四万十帯に似た傾向を示しているが、四万十川上流域は、長安口ダム流域よりも、地下水層の貯水能力が高く、表層の下部における貯水能力が低いと推測される。

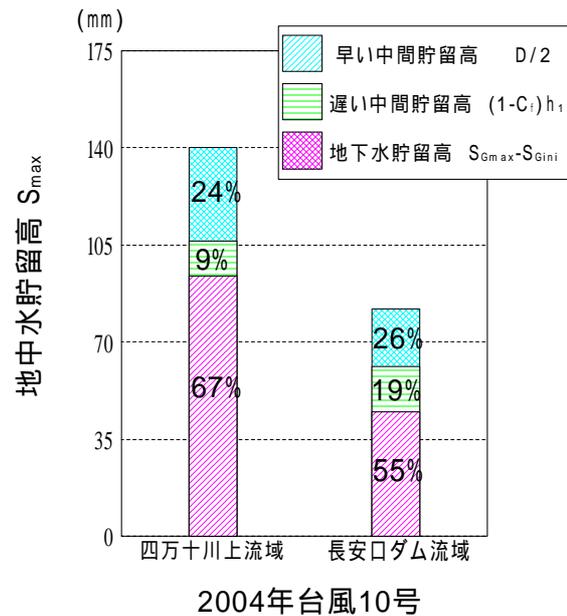


図5 流域最大貯留高とその内訳

6.まとめ：四万十帯の地下水タンクに関するモデルパラメータについて知見を得ることができた。四万十川上流域は、長安口ダム流域と比べて地表面粗度係数  $N$  が小さく、ピーク流量発現時刻が早く、また、その流量も大きいことが推測された。流域の貯留能については、四万十川上流域は長安口ダム流域よりも高く、主に地下水層の貯水能力が高いと推測された。

7.参考文献：1) 田村隆雄，岡部健士，江尻雄三郎，新名祐輔，小河健一郎；大規模斜面崩壊が発生した豪雨時における森林斜面の貯水高に関する考察，水工学論文集，第54巻，pp.511-516，2010。