

線形貯水池モデルによる豊川の流出解析

早稲田大学大学院理工学研究科 学生会員 高橋 潤
 国土館大学工学部 正会員 北川 善廣
 早稲田大学創造理工学部 フェロー 鮎川 登*

1. はじめに

豊川では2003年8月9日台風10号、2004年6月21日台風6号、2004年10月20日台風23号により洪水が発生した。ここでは、この3つの洪水について流出解析し、計算流量ハイドログラフと観測流量ハイドログラフを比較した結果について述べる。

2. 豊川の概要¹⁾

豊川は流域面積724km²、幹川流路長77kmの一級河川である(図1)。豊川では、江戸時代に豊川の中下流部に霞堤を配置し、洪水の一部を霞地区(遊水地)に氾濫・貯留させて河口附近に位置する吉田(現豊橋市)の城下町を洪水から守る治水対策がとられた。明治時代以降も霞堤は存続され、霞地区は水害を受け続け、霞堤を締切ることが要望された。1938年に放水路を開削して霞堤を締切る計画が立てられ、1941年に放水路の建設工事が始められ、1965年に完成し、右岸側の5つの霞堤が締切られた。左岸側の4箇所の霞堤は残された。2003年、2004年の洪水でも霞地区は浸水した。



図1 豊川流域図

3. 流出モデル

流域を小流域に分割し、各小流域からの流出を算定し、河道に沿って流下、合流させて所定の地点の流量を求める。各小流域からの流出は表面流出、中間流出、地下水流出に分けて扱い、それぞれの流出を2段の線形貯水池モデルを用いて計算し、それらの和として各小流域からの流出を算定する(図2)。2段の線形貯水池による流出計算は式(1)による²⁾。各小流域からの流出は洪水流の kinematic wave model により河道を流下させる。

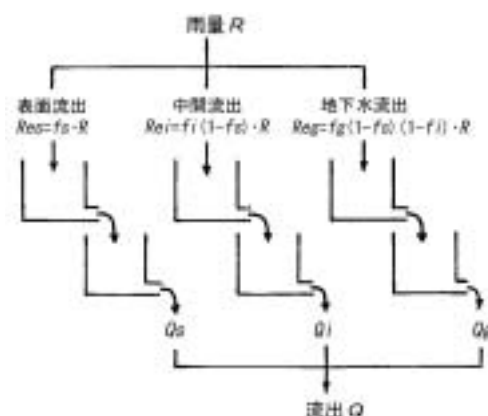


図2 線形貯水池モデル

$$\left. \begin{aligned} Q(t) &= \beta \cdot A \cdot R_e \left\{ 1 - \left(1 + \frac{1}{K} \right) \right\} e^{-t/K} & : & \quad t \leq t_r \\ Q(t) &= \beta \cdot A \cdot R_e \left\{ \left(1 + \frac{t - t_r}{K} \right) e^{-(t - t_r)/K} - \left(1 + \frac{t}{K} \right) e^{-t/K} \right\} & : & \quad t > t_r \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここで、 Q は流出流量、 A は流域面積、 R_e は有効雨量、 t_r は降雨継続時間、 K は貯留係数、 β は単位換算係数(Q : m³/s、 A : km² のとき $\beta=0.2778$)である。

有効雨量 R_e は次のように算出する。

$$\left. \begin{aligned} \text{表面流出: } R_{es} &= f_s \cdot R ; \quad f_s = f_{s1} : \sum R \leq R_c, \quad f_s = f_{s2} : \sum R > R_c \\ \text{中間流出: } R_{ei} &= f_i (1 - f_s) \cdot R, \quad \text{地下水流出: } R_{eg} = f_g (1 - f_s) (1 - f_i) \cdot R \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ここで、 R は雨量、 f は流出率、下付添字 s, i, g はそれぞれ表面、中間、地下水流出に対する値を表す。

貯留係数 K は表面流出に対しては表面流出流の kinematic wave model により式(3)で与え、中間流出・地下水流出に対しては適当な定数を与える。

$$\left. \begin{aligned} K &= \frac{\beta_1}{4} \left(\frac{L}{\alpha R_e^{2/3}} \right)^{3/5} = t_{c0} ; t_r \geq t_{c0} , \\ K &= \frac{1}{4} \left\{ t_r + \frac{3}{5\alpha} \frac{\beta_2 (L - \beta_3 R_e^{2/3} t_r^{5/3})^{3/5}}{(R_e \cdot t_r)^{2/3}} \right\} ; t_r < t_{c0} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ここで、 L は小流域の斜面長、 $\alpha = \sqrt{\sin \theta} / N$ 、 θ は小流域の斜面傾斜角、 N は小流域の斜面の等価粗度である。単位換算係数 $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ は L を m、 R_e を mm/hr、 t_r と t_c を min 単位で表示するときは $\beta_1 = 6.99$ 、 $\beta_2 = 25.5$ 、 $\beta_3 = 0.0392$ となる。

4. 流出計算

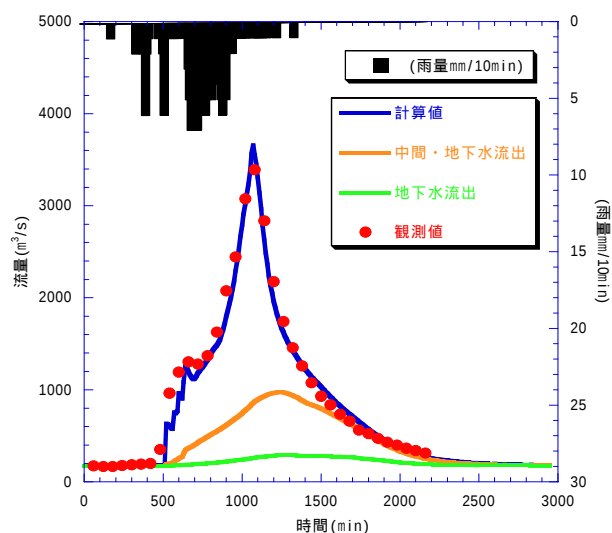
豊川が山地から平地に出るところに位置する石田地点(流域面積 524km²)を対象として流域を 69 の小流域に分割し、2003 年 8 月 9 日台風 10 号、2004 年 6 月 21 日台風 6 号、2004 年 10 月 20 日台風 23 号による洪水について流出計算を行った。3 洪水に共通して用いた流出モデルのパラメータの値は、直接流出 ($f_{s1} = 0.35$ 、 $f_{s2} = 0.5$ 、 $R_c = 50$ mm、 $N = 0.8$)、中間流出 ($f_i = 0.6$ 、 $K_i = 300$ min)、地下水流出 ($f_g = 0.8$ 、 $K_g = 1200$ min)とした。流出計算の結果を観測値と比較して図 4 に示す。これらの図によると、流量ハイドログラフの計算値は観測値とほぼ一致した。

5. おわりに

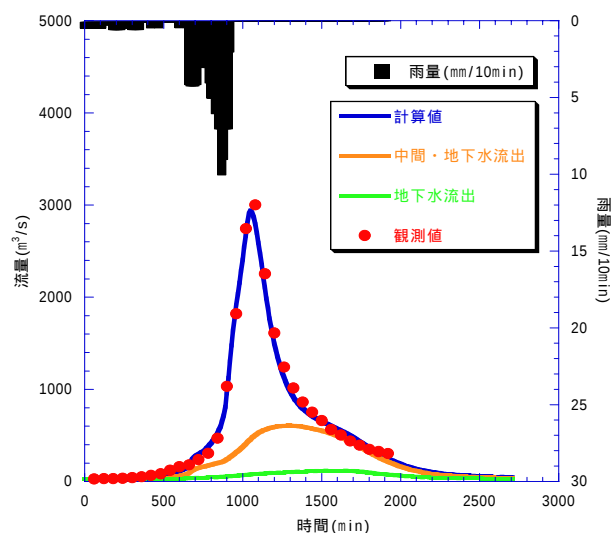
豊川の放水路と霞堤の洪水調節効果を評価するための第一歩として流出解析により石田地点の洪水流量ハイドログラフを算定した。これから算定された洪水流量ハイドログラフを用いて放水路と霞堤の洪水調節効果について検討する積りである。本研究の遂行にあたり雨量・流量データを提供してくださいました国土交通省豊橋河川事務所の関係者に謝意を表します。

参考文献

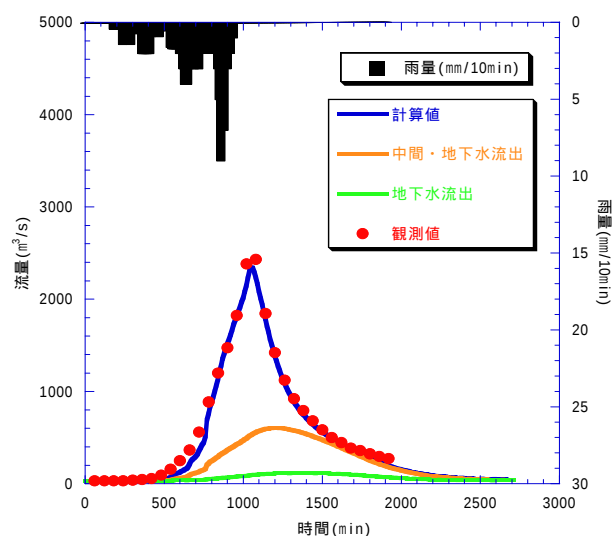
- 1) 国土交通省豊川河川事務所：パンフレット「豊川」およびホームページ。
- 2) 鮎川登・北川善廣：都市周辺の中小河川の洪水流出解析、土木学会論文集、No.433/ -18、pp.1～8、1992。



(a) 2003 年 8 月 8 日洪水



(b) 2004 年 6 月 21 日洪水



(c) 2004 年 10 月 20 日洪水

図 4 石田地点における洪水流量ハイドログラフ