

防災調節池の等価粗度に関する研究
Equivalent Roughness of Detention Basin

早稲田大学理工学部 鮫 川 登 Noboru SUKEGAWA
国士舘大学工学部 北 川 善 廣 Yoshihiro KITAGAWA
早稲田大学大学院 石 井 孝 Takashi ISHII
早稲田大学理工学部 滝 沢 究 Kiwamu TAKIZAWA

In order to take measure to reduce flood damages resulting from urbanization, a large number of detention basins have been constructed in many urban catchments.

In the present paper, a simplified method to calculate the runoff from a urbanized river basin with many detention basins using a linear reservoir model is proposed, and the hydrodynamic effect of detention basins can be expressed by an equivalent roughness.

Keywords: urban runoff, runoff control, detention basin, equivalent roughness.

1 はじめに

流域の宅地化に伴う洪水ピーク流量の増大を抑制するために数多くの防災調節池がつけられているが、これらは防災調節池の直下流の水路や雨水管に対する洪水調節効果に基づいて設計されている。しかし、最近の都市河川の治水計画では、基本高水を河川と流域で分担する考え方がとられており(図1)、防災調節池の河川に対する洪水調節効果が見込まれている。そのために、防災調節池の河川に対する洪水調節効果を算定することが必要になっている。

本研究では、個々の防災調節池について洪水調節計算を行わずに、防災調節池を流域の一要素と考えて防災調節池の存在を流域の等価粗度で表示し、流出計算によって防災調節池の河川に対する洪水調節効果を評価する簡便な方法(図2)について検討する。

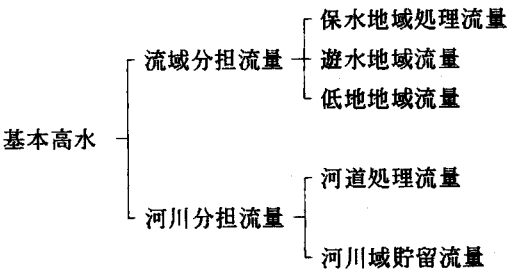


図1 都市河川の流量配分

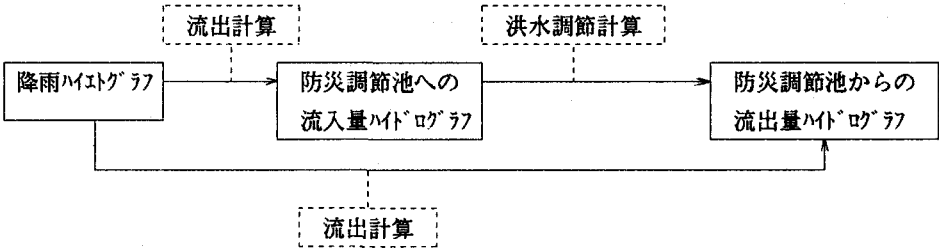


図2 防災調節池からの流出量ハイドログラフの簡易計算法

2 流出モデル¹⁾

防災調節池は宅地からの流出水を一時貯留し、徐々に放流することにより洪水調節機能を果たすが、これを流出の遅延作用と考え、パラメータとして流出の遅れ時間を含む線形貯水池モデルを用い、防災調節池の存在を等価粗度で表示し、流出の遅れ時間に反映させて、防災調節池を含む流域の流出計算を行う。

直列に置かれた m 個の線形貯水池(図3)の瞬間単位図 $u(t)$ は、次式で与えられる。

$$u(t) = \frac{1}{K \cdot \Gamma(m)} \left(\frac{t}{K} \right)^{m-1} \exp \left(-\frac{t}{K} \right) \quad \left. \begin{array}{l} \\ K = \frac{T_L}{m} \approx \frac{t_c}{2m} \end{array} \right\} \dots\dots (1)$$

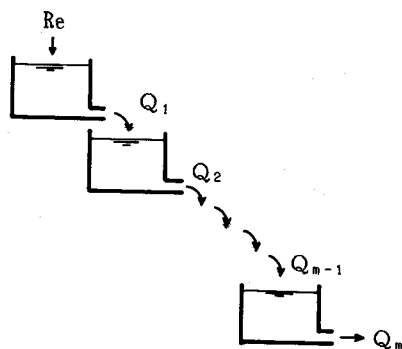


図3 線形貯水池モデル

ここで、 t は時間、 K は貯留係数、 m は貯水池の数、 $\Gamma(m)$ はガンマ関数、 T_L は流出の遅れ時間、 t_c は集中時間である。

集中時間 t_c は kinematic wave 理論によると、次式で計算される。

$$\left. \begin{array}{l} t_r \geq t_c : t_c = C_1 [L / (\alpha \cdot Re^{2/3})]^{3/5} \\ t_r < t_c : t_c = t_r + C_2 [3 / (5\alpha)] \cdot (L - C_3 \cdot \alpha \cdot Re^{2/3} \cdot t_r^{5/3}) / (Re \cdot t_r)^{2/3} \end{array} \right\} \dots\dots (2)$$

ここで、 t_r は降雨継続時間、 L は流域斜面長、 $\alpha = \sqrt{\sin \theta} / N$ 、 θ は流域斜面の傾斜角、 N は流域斜面の等価粗度、 Re は降雨継続時間 t_r 内の有効雨量である。 C_1 、 C_2 および C_3 は換算係数であり、 t_c および t_r を min、 L を m、 Re を mm/hr の単位でとると、 C_1 、 C_2 、 C_3 はそれぞれ 6.98、25.6 および 0.0392 となる。

有効雨量 Re は、次式で算定する。

$$\Sigma R \leq R_c : Re = f_1 \cdot R, \quad \Sigma R > R_c : Re = f_2 \cdot R \quad \dots\dots (3)$$

ここで、 R は降雨ハイトグラフの各単位時間 t_r 内の雨量、 ΣR は累加雨量、 f_1 は1次流出率、 f_2 は2次流出率、 R_c は流出率が f_1 から f_2 に変わるときの累加雨量である。

有効雨量 $Re(t)$ による面積 A の流域斜面からの流出量 $Q(t)$ は、次式により計算される。

$$Q(t) = A \int_0^t u(t-\tau) \cdot Re(\tau) d\tau \quad \dots\dots (4)$$

貯水池の数は従来の経験から²⁾ $m=2$ とし、式(1)を式(4)に代入すると、次式が得られる。

$$\left. \begin{array}{l} t \leq t_r : Q(t) = C_4 \cdot A \cdot Re \left[\exp \left(4 \frac{t}{t_c} \right) - 4 \frac{t}{t_c} - 1 \right] \exp \left(-4 \frac{t}{t_c} \right) \\ t > t_r : Q(t) = C_4 \cdot A \cdot Re \left[\left(4 \frac{t-t_r}{t} + 1 \right) \exp \left(4 \frac{t_r}{t_c} \right) - 4 \left(\frac{t}{t_c} + 1 \right) \right] \exp \left(-4 \frac{t}{t_c} \right) \end{array} \right\} \dots\dots (5)$$

ここで、 C_4 は換算係数であり、 Q を m^3/s 、 A を km^2 の単位でとると、 C_4 は 0.2778 となる。

3 防災調節池の等価粗度

防災調節池からの流出量ハイドログラフは、防災調節池の集水区域の流出計算を行い、防災調節池への流入量ハイドログラフを算出し、それについて洪水調節計算を行うことにより算定されるが、ここでは、防災調節池の存在を等価粗度で表示し、防災調節池からの流出量ハイドログラフを洪水調節計算を行わずに、流出計算だけにより算定することを試みた。

流出計算は上記の流出モデルを用いて行うが、そのためには、流域の斜面長 L 、斜面傾斜角 θ 、等価粗度 N および流出率 f_1 、 f_2 、 R_c の値を与えることが必要である。ここでは、観測データのある防災調節池を対象として、まず、防災調節池への流入量ハイドログラフの流出計算を行い、計算値と観測値が一致するように、これらのパラメータの値を決定し、つぎに、これらのパラメータを用い、等価粗度だけを変化させて、流出計算を行い、計算値と防災調節池からの流出量ハイドログラフの観測値が一致するような等価粗度の値を求めた。このようにして決められた等価粗度を防災調節池の等価粗度とした。

対象とした防災調節池の集水区域(図4)の面積は 1.27 km^2 で、大部分は一戸建て住宅からなり、一部に中層の RC 住棟、公園などがあり、不浸透面積率は約40%である。

防災調節池への流入量の計算では、斜面傾斜角 θ は集水区域の雨水管末端の勾配に等しいとし、 $\theta = 0.01 \text{ rad}$ とし、斜面の等価粗度 N は 0.007 として²⁾、斜面長および流出率を種々に変えて、7つの出水事例について流出計算を行い、計算と観測による流入量ハイドログラフが一致するようにした。結果の例を図5に示す。その結果、斜面長 L は 20 m 、流出率の平均的な値は $f_1 = 0.35$ 、 $f_2 = 0.60$ 、 $R_c = 35 \text{ mm}$ となった。

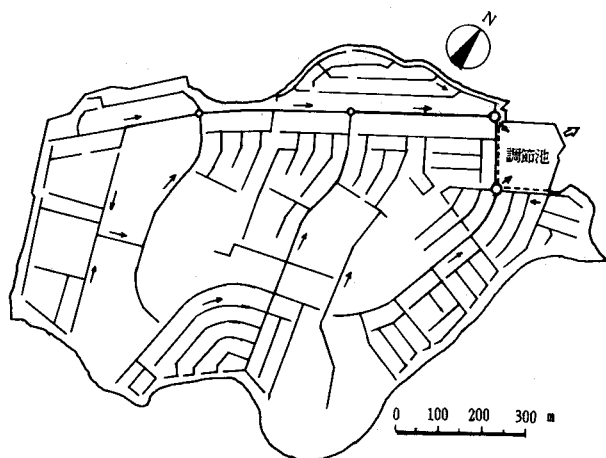


図4 防災調節池の集水区域

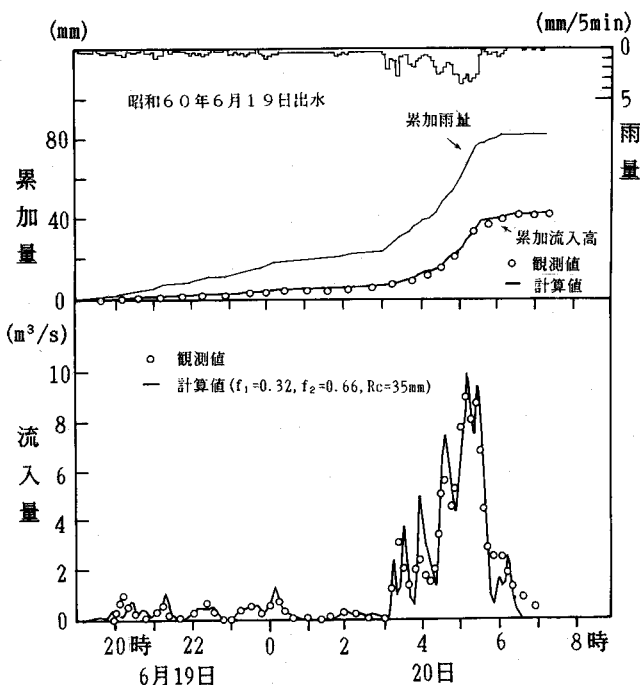


図5 流入量の流出計算例

防災調節池からの流出量の計算では、集水区域の斜面長は $L=20\text{m}$ 、斜面傾斜角は $\theta = 0.01$ rad. とし、流出率は各出水事例ごとに決められた値を用い、等価粗度だけを変えて流出計算を行い、計算による流出量ハイドログラフが一致するようにした。その結果によると、この場合の等価粗度は雨量によって異なることが示された。防災調節池の構造は図6に示すようであり、防災調節池への流入量(雨量)が少ない場合には、流入水はあまり貯留されずに、防災調節池から直ちに流出するために等価粗度は小さくなるが、流入量(雨量)が大きくなると、スムーズに流出されずに、貯留されるようになり、等価粗度は大きくなるものと考えられる。すなわち、防災調節池の等価粗度は防災調節池内の水位の関数となると考えられるが、流出計算では防災調節池内の水位は計算しないので、水位の代わりに

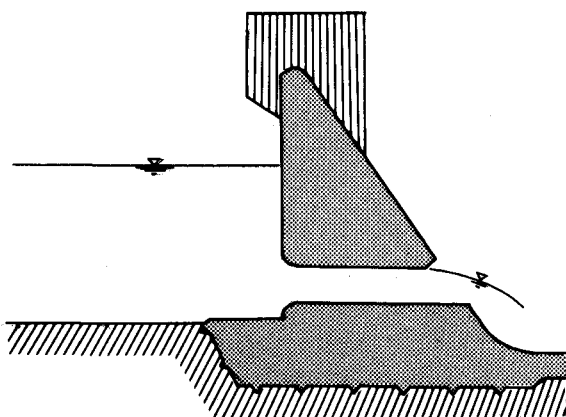


図6 防災調節池の構造

$$N = N_0 + a Q^b \quad \dots\dots (6)$$

そして、出水事例ごとに流出計算によるハイドログラフと観測による防災調節池からの流出量ハイドログラフが一致するように式(6)のパラメータ N_0 、 a および b を決定した。結果の例を図7に示す。その結果、これらのパラメータの平均的な値として $N_0=0.15$ 、 $a=0.45$ 、 $b=1.5$ が得られた。

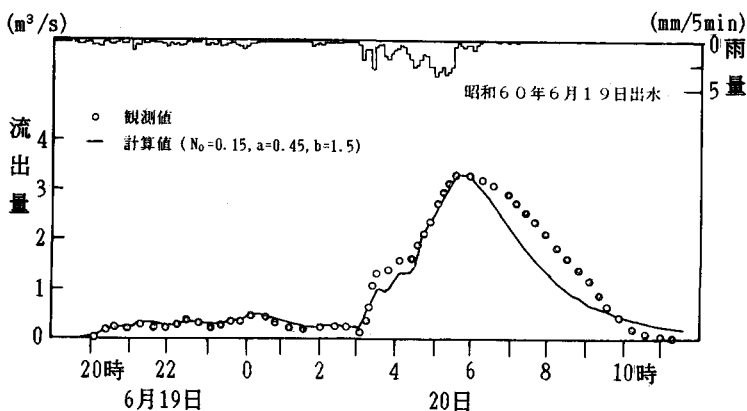
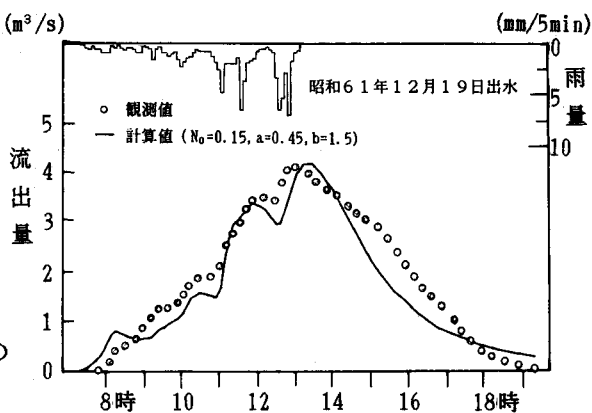


図7 流出量の流出計算例(その1)

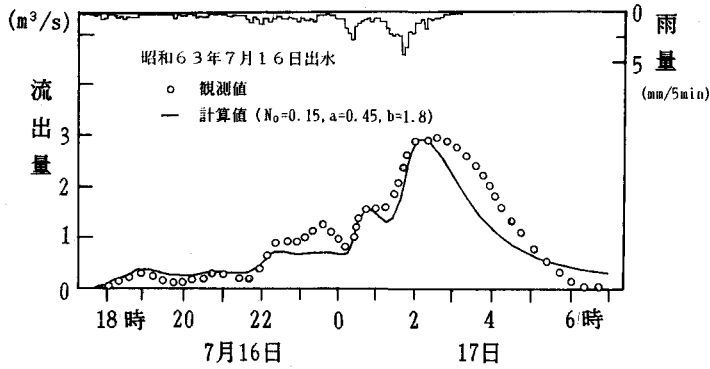


図7 流出量の流出計算例 (その2)

4 計画降雨への適用

防災調節池からの流出量ハイドログラフを洪水調節計算を行わずに、流出計算により算出する方法の可能性を調べるために、5、10、30 および50年確率の降雨強度・継続時間曲線により単位時間が5分と60分の中央集中型および後方集中型の降雨ハイトグラフを作成し、流出計算を行った。防災調節池からの流出量ハイドログラフは $L=20\text{m}$ 、 $\theta=0.01\text{rad}$ 、 $N=0.007$ 、 $f_1=f_2=0.6$ として防災調節池への流入量ハイドログラフを求め、洪水調節計算を行って算出した。防災調節池の等価粗度を用いた流出計算では、 $L=20\text{m}$ 、 $\theta=0.01\text{rad}$ 、 $N_0=0.15$ 、 $a=0.45$ 、 $b=2.0$ 、 $f_1=f_2=0.6$ とした。結果の例を図8に示す。その結果によると、防災調節池からの流出量ハイドログラフと流出計算によるハイドログラフは、中央集中型降雨についてはハイドログラフの流量増加時はほぼ一致するが、流量減少時はかなり異なること、後方集中型降雨についてはハイドログラフの波形はほぼ一致しているが、全体として流出計算によるハイドログラフが後方にずれることが示された。また、単位時間が5分と60分の降雨ハイトグラフでは、防災調節池への流入量ハイドログラフは異なるが、防災調節池からの流出量ハイドログラフはほぼ一致しており、防災調節池の洪水調節効果を算定する場合には降雨ハイトグラフの単位時間は小さくする必要はないことが示された。

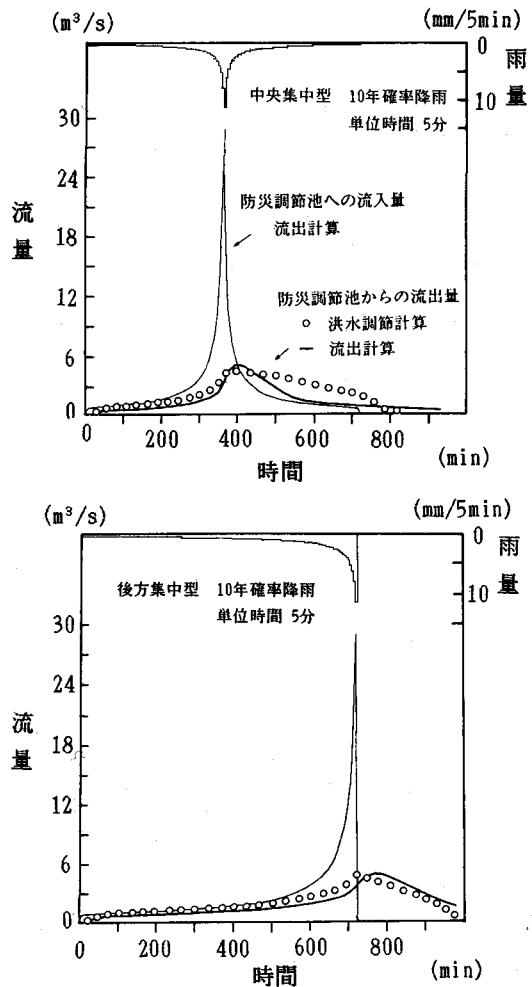


図8 防災調節池の流出計算例 (その1)

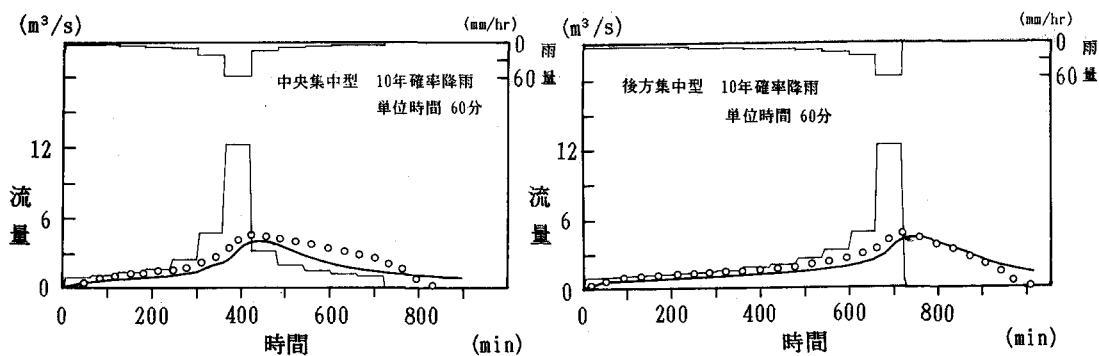


図8 防災調節池の流出計算例（その2）

5 おわりに

防災調節池の存在を等価粗度で表示することにより、防災調節池からの流出量ハイドログラフを洪水調節計算によらずに、流出計算により算出する方法について検討した。その結果、流量増加時についてはほぼ良好な結果が得られたが、流量減少時には今後さらに工夫を加える必要があることが示された。また、防災調節池の等価粗度を表す式(6)のパラメータ N_0 、 a 、 b は防災調節池の構造に関係すると考えられるので、他の防災調節池についても計算を行い、これらのパラメータの値を決定する目的をたてることが必要である。

貴重な資料を提供して下さいました横浜市下水道局河川部の関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 鮎川登・北川善廣：都市化流域の洪水流出モデル，土木学会論文報告集，pp. 51～59, 1982
- 2) 鮎川登・北川善廣：線形貯水池モデルに基づく流出解析法，第27回水理講演会論文集，pp. 29～35, 1983