

II-81

巨椋低平流域の排水機実時間制御に関する一考察

京都大学防災研究所 正員 近森秀高

1. はじめに これまで、数個のタンクからなる内水管理用集中型洪水流出モデルにカルマンフィルターを併用した排水機場洪水位の実時間予測システムを提案し、その有用性について検討してきた。本研究では、この手法にセルフチューニングコントロール（STC）理論を応用した排水機実時間制御システムを提案し、京都南部巨椋低平流域（図1）の巨椋排水機場における排水操作に適用した結果を報告する。

2. 内水管理用洪水流出モデル このモデルでは、図2に示すように上流側からの流出を線形・非線形の2個のタンクで表し、排水機場につながる氾濫域は現地測定で得られた水位-貯留量の関係を満足する1個の貯留タンクで表している。

このモデルの基礎式は次のようになる。

$$\frac{dh_1}{dt} = r - Q_1 \quad \dots (1)$$

$$Q_1 = a_1 h_1^{5/3} \quad \dots (2)$$

$$\frac{dh_2}{dt} = r - Q_2 \quad \dots (3)$$

$$Q_2 = a_2 h_2 \quad \dots (4)$$

$$\frac{dh_3}{dt} = f_1 Q_1 + f_2 Q_2 - \frac{P}{A} \quad \dots (5)$$

$$h_3 = F(H_3) \quad \dots (6)$$

このうち、(1)～(5)式はこれら3個のタンクの連続式、運動方程式であり、 $h_1, h_2$ : 2個の各上流域タンクの貯留水深、 $h_3$ : 排水機場につながる氾濫域の貯留量 $V_3$ を流域面積 $A$ で割って得られた換算貯留水深、 $Q_1, Q_2$ : 上流域タンクからの流出高、 $a_1, a_2$ : 孔係数、 $r$ : 降雨、 $f_1$ : 市街地面積比で、 $f_2 = 1 - f_1$ 、 $P$ : 排水量である。また、(6)式はこの流域の現地観測データから得られた、排水機場における水位 $H_3$ と $h_3$ との関係を表している。

3. STC理論を用いた排水機の実時間制御 STC理論はClarke & Gawthropによって提案された、未知パラメータを含みランダム入力のある不確定システムの実時間最適制御を行う方法であり、河村ら<sup>1)</sup>によって河口堰のゲート操作への応用が行われている。ここでは、この理論を前述の内水管理用洪水流出モデルに応用し、洪水時、排水機場における水位を目標水位 $H_3^*$ に維持するために最適な排水量 $P$ を時々刻々計算する排水機実時間制御システムを考える。

洪水時の水位を目標水位 $H_3^*$ に維持するためには、次式で表されるコスト関数 $J$ を最小にすればよい。

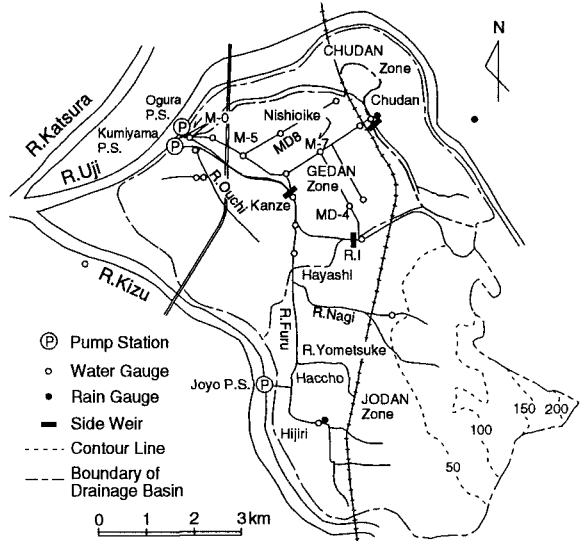


図1 巨椋流域

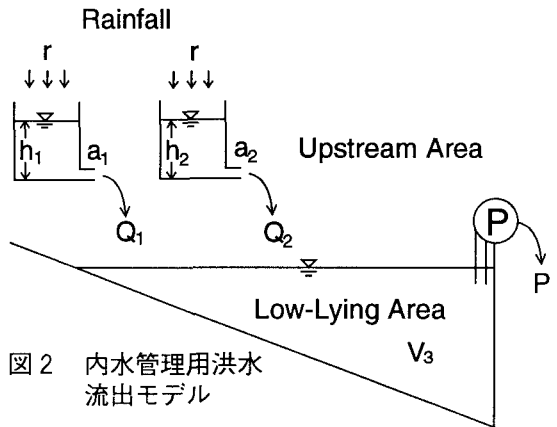


図2 内水管理用洪水流出モデル

$$J(k) = \{H_3(k+1) - H_3^*(k+1)\}^2 + \lambda \{P(k) - P(k-1)\}^2 \quad \cdots(7)$$

ここに、 $k$ は時点を表す。また、 $\lambda$ は排水量の操作変化量に対する非負の重み定数であり、この値を調整することによって排水量 $P$ の急激な変化を抑えることができる。この $J$ を最小にする排水量 $P_{opt}$ は、(7)式を $P$ で偏微分して得られる $\Psi$ を0とおくことによって求められる。

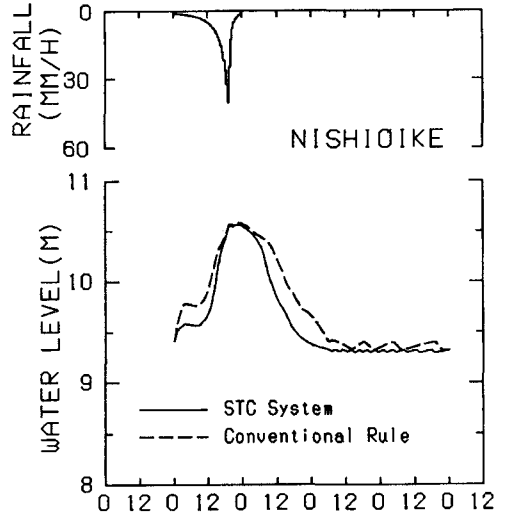
$$\Psi = \{H_3(k+1) - H_3^*(k+1)\} \frac{\partial H_3(k+1)}{\partial P(k)} + \lambda \{P(k) - P(k-1)\} \quad \cdots(8)$$

ここで考える排水機実時間制御システムでは、この $\Psi$ を観測値、上流域タンクの貯留水深 $h_1, h_2$ と氾濫域タンクの換算貯留水深 $h_3$ を状態量として取扱う。また、このモデルを現地へ適用する際、(2),(4)式の孔係数 $a_1, a_2$ の取扱いが問題となるが、ここでは状態量に逐次修正を加えながら、これら孔係数 $a_1, a_2$ も同時に同定していく適応フィルタリングの手法を用いる。状態方程式には(1),(3),(5)式を離散化したものを用い、観測方程式には(6)式を統計的線形化して(8)式に代入したものを用いる。

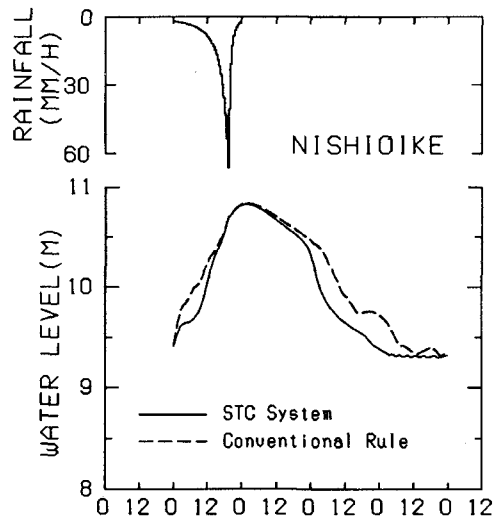
これらの方程式にカルマンフィルター理論を適用することによって、 $J$ を最小にする排水量 $P_{opt}$ が時々刻々求められることになる。ただし、排水機場からの排水量は階段状の値をとる場合が多く、また上限もあるので、実際の排水量には $P_{opt}$ が上限を超えない場合は $P_{opt}$ を挟む2値のうち $J$ を小さくする方、上限を超える場合にはその上限値を選択することにする。

4. 巨椋流域への適用結果 上記排水機制御システムを、巨椋排水機場における排水機操作に適用した。ここでは、この流域の非氾濫域、氾濫域をそれぞれKWモデル、低平地タンクモデルを用いて表現し、これにTalbot式を用いて作成した後方主山型(ピーク位置：80%)の10年確率、100年確率の降雨波形を与えて得られた仮想的な出水を解析資料として用いることにした。これらの出水に対して、ここで提案する制御システムを用いて排水機操作を行い、排水機場での水位に基づいて排水量を決定する従来通りの方法(水位-排水量制御)を用いた場合とで、各々の手法による排水効果を比較検討した。下段干拓田最低位部の西大池(田面標高9.96m)における水位変化を図3に示す。ここでは、目標水位 $H_3^*=9.3\text{m}$ 、 $\lambda=5.0 \times 10^{-5}$ 、 $\Delta t=600\text{sec}$ として計算した。この図を見ると、最高水位は従来の水位-排水量制御の場合とほとんど変わらないが、湛水時間はSTC理論を適用した方が、10年確率降雨の場合で7時間程度、100年確率降雨の場合には11時間程度短くなっており、ここで示した方法が低平地における湛水時間の短縮に有効であることが分かる。

《参考文献》1)河村ら：セルフチューニングコントロール理論による河口堰ゲートの実時間最適制御，土木学会論文集，No.461，II-22，pp.11-20，1993。



(a) 10年確率降雨時



(b) 100年確率降雨時

図3 西大池における水位変化