

内水排除における逐次最適制御の実験と考察

九州大学工学部 学生員 古賀達也 九州大学工学部 正会員 河村 明
九州大学工学部 正会員 神野健二 (株)大進 正会員 中山比佐雄

1.はじめに

現在内水被害を減少させるために、ポンプと樋管・樋門を利用して内水排除が行われている。これまで内水排除のためのポンプは、設定された動作環境に基づいて運転されている。しかし、より効率的な運用を行うためには、実時間で得られる情報を基にポンプ流量を時々刻々と決定していく方法の方がより現実的で有効であると考えられる。著者らは既に、内水排除の逐次最適制御(Sequential Optimal Control;以後SOCとする)の第一段階として、内水地域を一つの水位で代表させる1ブロックモデルを取り上げ、定式化及びそれに基づくシミュレーションを行い、内水排除のための本手法の特性について検討を行っている^{1),2)}。本報では本手法の実際運用上の制御特性や問題点について検討するため、湛水地、河川、排水ポンプ、樋管、水位計を備えた室内実験装置を設計・作成した。そしてこの室内実験装置に対して、実際に流入量・本川水位を模擬的に発生させ、パソコンにより本川水位および湛水位を自動測定し、ポンプ排水量の逐次最適制御を実行する。その結果を数値シミュレーション結果²⁾などと比較することにより、内水排除のための逐次最適制御の実際運用上の制御特性や問題点を検討する。

2. 1ブロックモデルに対するSOCの定式化^{1),2)}

図-1に示す1ブロックモデルを考える。本モデルの連続の式は式(1)となる。ここに、 A :湛水面積(m^2)、 t :時間(sec)、 H :湛水深(m)、 h_d :地盤高(m)、 Q_{in} :流入量(m^3/s)、 Q_c :樋管排水量(m^3/s)、 Q_p :ポンプ排水量(m^3/s)、 R :雨量(m/s)である。ここでは湛水深 H とポンプ排水量 Q_p を決定変数として内水排除操作の評価関数(コスト関数)を式(2)で定義する。ここに、 k :時点、 T :制御時点数、 λ_1 :水深に対する重み係数($1/m$)、 λ_2 :ポンプ排水量に対する重み係数($1/m^3/s$)である。ここで、式(2)を最小にする H 及び Q_p を求めることを考える。この場合式(1)の連続の式を時間刻み Δt で単純差分すると、 $\tau=0 \sim T$ に関して式(3)の等号の制約条件が成立する。また H 及び Q_p に対して式(4)の制約条件を考える。ここに、 P_{max} :ポンプ最大排水量(m^3/s)。さらに式(3)中の Q_c は H の関数で、式(5)で表される。ここに、 C_c :樋管流量係数、 A_c :樋管断面積(m^2)、 g :重力加速度(m/s^2)、 h_r :本川水位(m)、 U :ステップ関数。なお、式(5)中の $\Delta H(k+\tau)$ が差分時間間隔 Δt 内に湛水域へ流入する量を考慮する補正項であり、式(6)で算定する。

以上、本最適制御問題では式(3)~(6)の制約条件のもとで、式(2)の $Z(k)$ を最小化する $\Delta H(k+\tau+1)$ と $Q_p(k+\tau)$ を逐次求めることになる。

3. 実験装置

実験装置の写真を図-2に、またその概略を図-3に示す。湛水池水槽は長さ、幅、高さが45×30×25(cm)で測方にある本川水槽(160×20×35cm)と逆止弁付排水樋管によって連結されている。このため、本川から湛水池への逆流が起こらないようになって

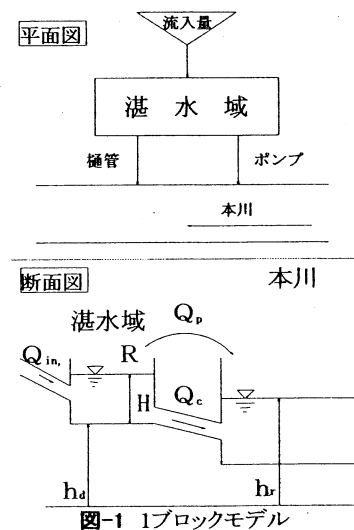


図-1 1ブロックモデル

$$AdH(t)/dt = Q_{in}(t) - Q_c(t) - Q_p(t) + AR(t) \tag{1}$$

$$Z(k) = \sum_{\tau=0}^T [\lambda_1 H(k+\tau+1) + \lambda_2 Q_p(k+\tau)] \tag{2}$$

$$H(k+\tau+1) = H(k+\tau) + R(k+\tau)\Delta t + \{Q_{in}(k+\tau) - Q_c(k+\tau) - Q_p(k+\tau)\}\Delta t/A \tag{3}$$

$$0 \leq H(k+\tau+1), \quad 0 \leq Q_p(k+\tau) \leq P_{max} \tag{4}$$

$$Q_c(k+\tau) = C_c A_c \sqrt{2g[H(k+\tau) + \Delta H(k+\tau) + h_d - h_r(k+\tau)]} \times U[H(k+\tau) + \Delta H(k+\tau) + h_d - h_r(k+\tau)] U[h_r(k+\tau) - h_d] + C_c A_c \sqrt{2g[H(k+\tau) + \Delta H(k+\tau)]} U[h_d - h_r(k+\tau)] \tag{5}$$

$$\Delta H(k+\tau) = Q_{in}(k+\tau) \times \Delta t/A \tag{6}$$

$$Z_a = \sum_{\tau=1}^N [\lambda_1 H(\tau+1) + \lambda_2 Q_p(\tau)] \tag{7}$$

いる。またこの2つの水槽には10(cm)の高低差が付けられている。湛水池への流入に関しては下方の貯水槽より最大30(l/min)のインバータ制御ポンプにより給水が行われる。湛水池から本川への排水は逆止弁付樋管とは別に最大6(l/min)の制御ポンプによっても行われる。本川水位に関しては、貯水槽より最大150(l/min)の制御ポンプで給水しつつ、流出孔より排水し水位をコントロールすることにする。また本川水槽と湛水池水槽には水位計を備え、測定された水位はA/Dボードを介してオンラインでパソコンに入力・保存される。逐次最適計算によって得られたポンプ排水量はパソコンによって、D/Aボードを介したシグナルトランスミッターで排水量に応じた電流に変換され、これによりポンプ制御される。

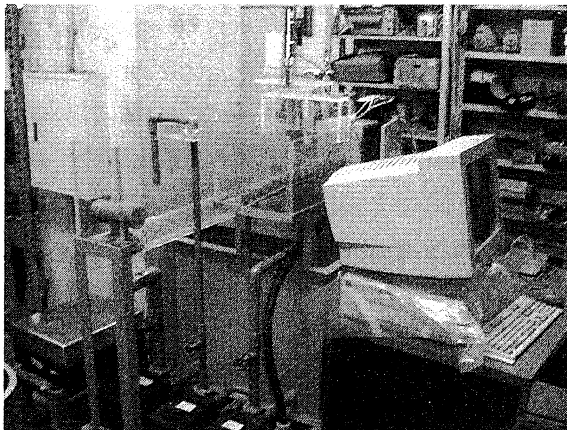


図-2 実験装置の写真

4. 実験方法

実験に際してのフローチャートを図-4に示す。本実験装置の制御は全てパソコンにより行うが、制御プログラムにはVisual Basicを用いた。まず全データ数 N と制御時点数 T を入力する。次に N に対する本川流量 h_r と流入量 Q_{in} の時系列データを入力する。以後湛水池給水ポンプと本川給水ポンプはこのデータに従って作動する。そして各タイムステップ毎に水位計より現時点の本川水位と湛水位を読みとる。この値と T 時点先までの湛水位への流入量と本川水位を予測値として入力し、2.で定式化した最適計算を行い、 T 時点先までの最適ポンプ量を求める。なお、最適計算のプログラムはFortranで作成している。この場合、現時点 k が $(N-T)$ 時点までは、求められた $(k+1)$ 時点から $(k+T)$ 時点までの最適ポンプ操作量の内、実際の操作には $(k+1)$ 時点のポンプ量のみを用いることにしている。また、 $k=N-T$ となった時点で最適計算を終了し、後はこの時点で得られた最終時点までの制御量を実際に用いる。試験終了後に実験結果のグラフを表示する。

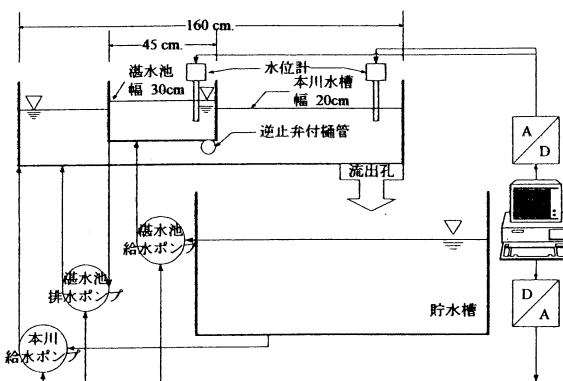


図-3 実験装置の概略図

5. むすび

本報では内水排除における逐次最適制御の実験についての装置と実験方法について述べた。今後、上記に従って実験を進めその結果を検討する予定である。

【参考文献】

- 1) 古賀達也, 河村明, 神野健二, 中山比佐雄: 内水排除における逐次最適制御について, 水工学論文集, 第42巻, 1998.
- 2) Tatsuya KOGA, Akira KAWAMURA, Kenji JINNO and Hisao NAKAYAMA, SEQUENTIAL OPTIMAL CONTROL OF INLAND BASIN DRAINAGE FOR A ONE-BLOCK MODEL, Proceedings of the International Symposium on Lowland Technology, Saga University, pp.449-456, November, 1998

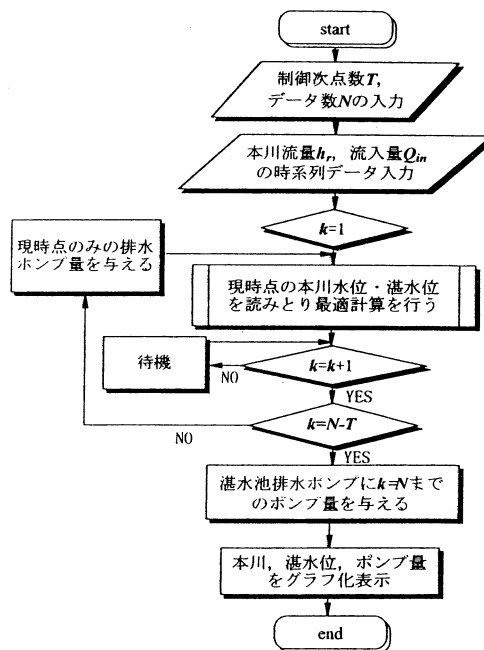


図-4 実験装置を用いた
逐次最適制御のフローチャート