非線形計画法を用いた内水排除における逐次最適制御について

九州大学工学部 学生員　○古賀 達也
九州大学工学部 正会員　　神野 健二

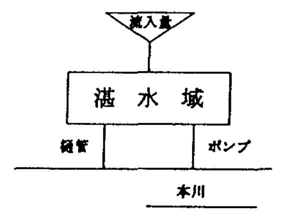
1.はじめに

内水災害とは、本川に合流する小河川又は排水路の流域の雨水、地下水、農業用水、下水の流出量が本川への排除能力を超える場合に余水が流域で氾濫し、その湛水によって生じる災害のことである。特に内水流域の地盤が低いところでは湛水が起こりやすい。

現在内水被害を減少させるためには、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、規定の操作ルールに基づいて確定的に運用されており各自治体がそれらを現地の人へ委託して樋門等の開閉が行われているのが現状である。しかしながら現地でこうした作業を行う人達の高齢化等により、豪雨等の時には外に出れず、樋門の開閉が遅れるなどの人為的なミスも発生し問題となっている。よって樋門、樋管等の操作が水位や雨量などを計測して自動的に行われるようなシステムが出来れば、このような事故も減らすことが出来る。

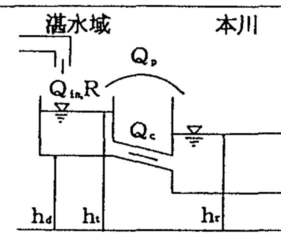
経済面を考えなければ、許容水位以上の内水は常時ポンプを稼働させておいて随時排除させておけばよいことになり、人為的なミスも起こることはなくなるが、実際問題としては、やはり不経済である。よってポンプを稼働させる経費と、それを行わない時の湛水による被害を損失額に換算し、これらの合計を最小にするためのアルゴリズムの開発が望まれる。ところでより効率的な運用を行うには、実時間で得られる情報を確率過程下でのポンプ流量を時々刻々と決定していく方法がより現実的で有効と考えられる。本報では、与えられた制約条件のもとで利益や経費などの目的関数を最小又は最大にするための有効な手段として広く利用されている非線形計画法を逐次最適なポンプ操作によって内水を排除する計画に利用することを目的とする。そこで内水地域を一つの水位で代表させる１ブロックモデルを用い、湛水深およびポンプの流量を決定変数としてシミュレーションを行い非線形計画法を逐次用いた内水排除の最適制御(Successive Optimal Controll;SOC)の特性についての検討を行なうものである。

2．１ブロックモデルのＳＯＣの定式化



図—1に示すような内水区域を一つの水位で代表させる１ブロックモデルを考え、本モデルの連続の式を次のように表す。

$$A \bullet d\left\{h_t(t) - h_d\right\} / dt = Q_{in}(t) - Q_c(t) - Q_p(t) + A \bullet R(t) \qquad (1)$$



ここに、A:湛水面積(m^2), t:時点(m)、h_t:湛水位、h_d:地盤高(m), Q_{in}:流入量(m^3/s)、Q_c:樋管流量(m^3/s)、Q_p:ポンプ流量(m^3/s)、R:雨量(mm/s)、次に湛水深h_t-h_dとポンプ流量Q_pを決定変数として非線形計画法目的関数を次式で定義する。

$$Minimize \quad : \quad Z(k) = \sum_{\tau=0}^{T}\left[\lambda_1\left\{h_t(k+\tau+1) - h_d\right\} + \lambda_2 Q_p(k+\tau)\right] \qquad (2)$$

ここに、T:制御時点数、k:時点、λ_1:重み係数(1/m), λ_2:重み係数(1/m)。

又、制約条件は、(1)式の連続の式およびポンプ容量の制限より次のようになる。

$$Q_p(k+\tau) - P_{max} \le 0 \qquad (3)$$

$$\{h_t(k+\tau+1)-h_d\} = \{h_t(k+\tau)-h_d\} + \{Q_{in}(k+\tau) - Q_c(k+\tau) - Q_p(k+\tau)\}\Delta t / A + R(k+\tau)\cdot \Delta t \qquad (4)$$

ここに樋管流量Q_cは次式で表される。

$$Q_c(k+\tau) = C_c A_c \sqrt{2g\left|h_t(k+\tau)-h_r(k+\tau)\right|}\cdot U\left(h_t(k+\tau)-h_r(k+\tau)\right)\cdot U\left(h_r(k+\tau)-h_d\right) \qquad (5)$$
$$+C_c A_c \sqrt{2g\left|h_t(k+\tau)-h_d\right|}\cdot U\left(h_d-h_r(k+\tau)\right)$$

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)、Δt:刻み幅(s)、U:ステップ関数でX≧0の時U(X)=1.0、X<0の時U(X)=0.0である。Q_cはh_rがh_dよりも高い場合と低い場合に分けて、それらをステップ関数Uで区別している。又、非負条件は$h_t(k+\tau+1)-h_d \geq 0$、$Q_p(k+\tau) \geq 0$のようになる。非線形計画法は、入力条件となるQ_{in}、R、および境界条件となるh_rが全て事前にわかっていれば一度だけの求解でよいがそれらを全て事前に予測する事は不可能であるので式 (2) におけるT時点先まで予測可能としてSOC問題を定式化し、これを最終時点まで逐次更新していく。

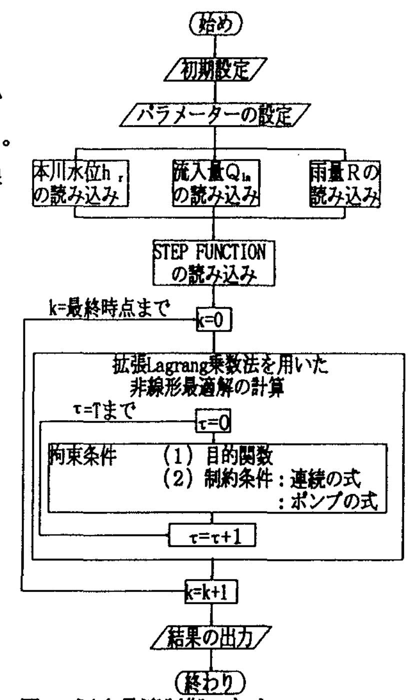


図-2 逐次最適制御のためのフローチャート

3. アルゴリズム

図-2に逐次最適制御のためののフローチャートを示す。

4. おわりに

これまでは1ブロックモデルの非線形計画法の逐次最適化への定式化を行ってきたので今後は具体的なデータを与えつつ逐次最適化の検討を行っていきたい。

謝辞：本研究にあたり貴重な資料をいただいた青山学院大学経済学部本郷茂先生に深く感謝いたします。

【参考文献】

1) 建設省河川局治水課監修、(財) 国土開発技術センター編集：内水処理計画策定の手引き

2) 樗木　武、渡辺　義則：土木計画数学第2、森北出版、pp. 113-141

3) 大野　豊、磯辺　和男　監修：新版数値計算ハンドブック、オーム社、pp. 824-844

4) ASNOP研究会 (編) ：非線形最適化プログラミング、日刊工業社、pp. 119-187