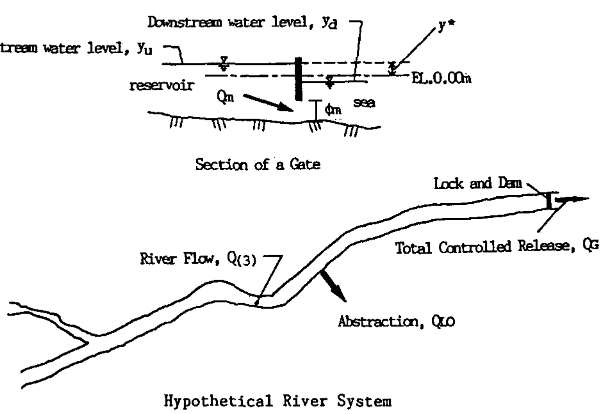
セルフチューニングコントロールによる河口堰の操作について

九州大学工学部 ○学生員 木原 慎二 九州大学工学部 学生員 レイナルド・メディナ
九州大学工学部 正 員 上田 年比古 九州大学工学部 正 員 神野 健二

1．はじめに これまで水資源の確保のための貯水池や河口堰は規定の操作ルールに基づいて運用されているが、不確定流入量や、実際のゲート特性が一定ではないことなどを考えると、実時間で得られる情報を基にシステムの動特性を考慮したセルフチューニングコントロール(以下ＳＴＣと記す)のような方法のほうが[1]、より現実的で有効と考えられる。今回の研究では、河口堰の上流水位を一定に保つようにゲート開度の制御シミュレーションを行ない、ＳＴＣの水資源問題への適応性を検討した。

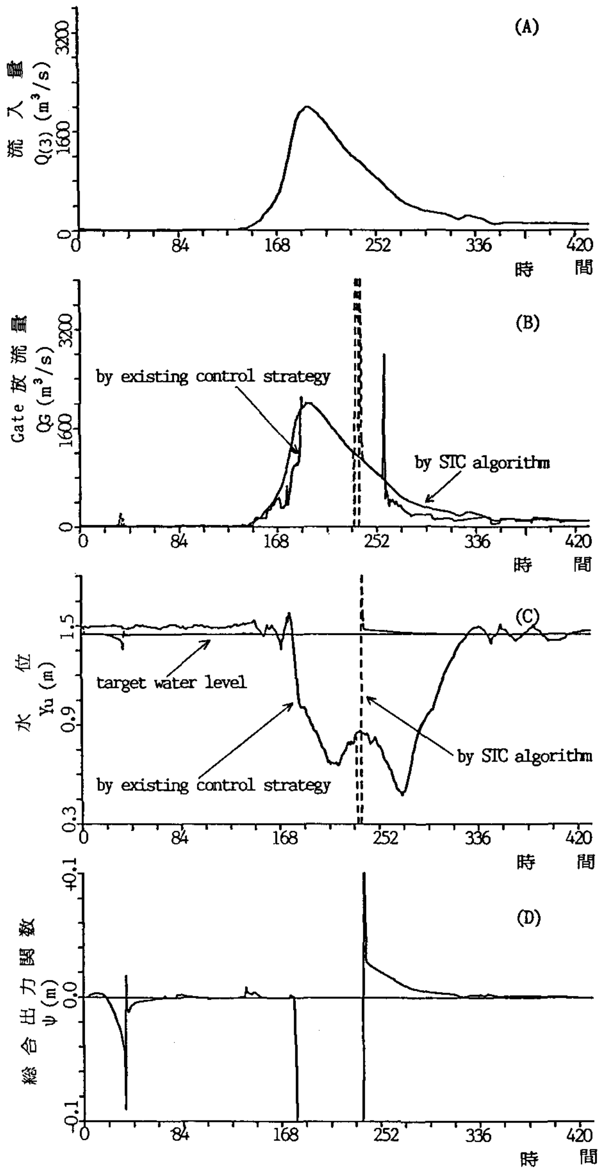
2．ＳＴＣと計算手法 図－１に示すようなシステムを、$A(q^{-1})Y_U(t)=B'(q^{-1})Q_G(t-k)+C'(q^{-1})Q_{(3)}(t-k)+D'(q^{-1})Q_{lo}(t-k)+E(q^{-1})V(t)$ …(1)、で表す。ここで、$Y_U(t)$(上流水位):システム出力、$Q_G(t)$(ゲート総放流量):システム入力、$Q_{(3)}(t)$(流入量)および$Q_{lo}(t)$(横流出量):観測入力、$V(t)$:システム雑音、t:時点、k:時間遅れ。便宜上、多項式$P(q^{-1})$を、$P(q^{-1})=p_0+p_1q^{-1}+\cdots+p_nq^{-n}$ (但し、$a_0=b_0=1$)…(2)、と定義する。まず簡単にＳＴＣについての基本的な考え方を述べると、外乱が時々刻々変化するシステムの動特性を同定しながら出力を目標値に近づけるべく制御を行なおうとするものである。したがって、これまで検討されてきた(確率)ダイナミックプログラミング等と根本的に異なる方法であり、最近制御工学の分野で活発に研究されている。即ち、制御の目標となるコスト関数$I(t)=E\{(制御目標からのズレ)^2+\lambda(操作)^2\}$を最小にする。以上の基本的考え方よりψを総合出力関数として次のように表す:$\psi(t)=Y_U(t)-Y^*(t)+\lambda\{Q_G(t-k)-Q_G(t-k-1)\}$…(3)。式(1)に河口堰での連続の式(1)を適用すると、最適なゲート放流量は次式、$Q_G(t)=-\{GY_U(t)+CQ_{(3)}(t)+DQ_{lo}(t)-EY^*(t+k)\}/B$…(4)、で示される。ここで、Gは q^{-1} で表される多項式である。(4)式のパラメーター推定についてはカルマンフィルターを適用し、状態方程式は$\theta(t+1)=\theta(t)$…(5)、また観測方程式は$\psi(t)=H(t)*\theta(t)+\varepsilon(t)$…(6)、によって表される。ここで、$\theta^T(t)=\{b_0,\cdots,b_{j-1},c_0,\cdots,c_{l-1},d_0,\cdots,d_{m-1},-e_0,\cdots,-e_{p-1},g_0,\cdots,g_{s-1}\}$、$H(t)=\{Q_G(t),\cdots,Q_G(t-j+1),Q_{(3)}(t),\cdots,Q_{(3)}(t-\ell+1),Q_{lo}(t),\cdots,Q_{lo}(t-m+1),Y^*(t+k),\cdots,Y^*(t+k-p-1),Y_U(t),\cdots,Y_U(t-s+1)\}$ (但し、j～sはそれぞれの項数)。以上より(3)式で$\psi(t)$を求めた後、$\theta(t)$を(5), (6)式により推定し、(4)式によって導かれた放流量がｔ時点での最適放流量として決定される。尚、アルゴリズムの途中に、ゲート保全を考えて流入量がゲート制御最大流量を越える場合にはゲートを全開にする制限を加えてある。



図－1 ゲート断面および流況図

3．適用例とその考察 図.１に示すシステムに対して(4)式より最適放流量は次式、$Q_G(t)=-\{g_0Y_U(t)+c_0Q_{(3)}(t)+d_0Q_{lo}(t)-Y^*(t+k)\}/b_0$…(7)、で計算される。ここでは、k=1, λ=0.000001とし、データは特に洪水期を選択した。図－2(A)に、流入量の時間変化を示す。現時点水位が目標水位を満足するなら、新たに流入してきた量だけ放流してやれば、その後も目標水位を持続できる。則ち、最適制御では流入量と放流量は等しくなければならない。図－2(B)には、現行制御法による放流量の時間変化を実線で、また、ＳＴＣアルゴリズムによる放流量の時間変化を波線で示している。現行のゲート放流量が流入量にうまく対応していないのに比べ、ＳＴＣによって決定された放流量は、ゲート全開後のＳＴＣ再適用初期段階(233~239時点)を除いて、滑らかな推移をし、しかも流入量にかなり等しいことがわかる。図－2(C)では、ＳＴＣによって調整された水

位が目標水位：Y*=1.45mに、43~179時点と291時点以降で一致を示しているが、現行制御法によって得られた水位は著しい変動をし、目標水位の一致が難しい事がわかる。更に、洪水ピーク終了後の不必要な貯水量減少についてもＳＴＣの適切な応答により早時期の回復を示す。図－2(D)には、(3)式による総合出力関数ψ(t)の時間変化を示す。ところで、流入量がゲート制御最大流量を超えると、ゲートを全開にしなければならないため水位の急激な低下を生じ、カルマンフィルターにおけるイノベーションを増大させる。この現象はＳＴＣ再適用初期段階において著しい影響を及ぼし、結果的には、図－2(B)，(C)の233~239時点で見られる望ましくないゲート放流操作あるいは水位を発生させている。しかし、その後の目標値への収束性は速いことがわかった。今後、安定した解を得るためには、水位異常低下を生じた時点で新たに目標値を時間の関数として設定し直し、徐々に目標値に近づけるような方法や、あるいは、カルマンフィルター[2]の誤差共分散行列を調整する適応的カルマンフィルターの使用を検討する必要があろう。また、λの値がλ=0.01よりも大きくなると(3)式は発散する。種々検討したところ、λの適当な値は、λ=0.00001~ 0.000001であることがわかった。



図－2　流入量，放流量，水位，総合出力関数の時間変化

4．むすび

今回の検討で流入量がゲート制御最大流量を超えない範囲ではＳＴＣによって水位制御が現行の操作方法よりも効果的ではないかということがわかった。ただ、ゲートを全開しなければならない状況では大きなイノベーションに対してパラメータが安定するまでの期間で現実的には実現できない操作量が出現する可能性があることもわかった。この点については今後の検討課題にしたい。

謝辞　本研究を行なうにあたり建設省遠賀川工事事務所の協力を得た。ここに記して感謝いたします。

参考文献

1) Clarke,D.W. and Gawthrop,D.J. (1975): 〃 Self-tuning Controller 〃 Proc.Instn Elec.Engrs,122(9),929-934

2) 河村　明・上田年比古・神野健二：適応的カルマンフィルターによる異常値検出について，土木学会論文集，第345号/Ⅱ－1,pp.111－121,1984年5月