

II-115

セルフチューニングコントローラーによる開水路ゲートの
実時間制御に関する実験的考察

九州大学工学部 正員 河村 明
九州大学工学部 正員 神野 健二
長崎放送 長 征爾

1. はじめに 著者らは、河口堰ゲート制御問題に対してセルフチューニングコントローラー¹⁾（以下STCと記す）の適用を試みている。著者らは既にSTCを模擬発生データに適用し、STCの河口堰ゲート操作に対する適応性、有効性、および特性について検討を行った²⁾。また、STCを遠賀川河口堰制御に適用した結果、STCによる河口堰制御の方が現存操作ルールよりも、河口堰上流側目標水位を安定に維持できることを示した³⁾。本研究ではさらに、実験水路の開水路ゲートをパソコンを用いてSTCにより制御することにより、STCの制御性およびその特性について検討を行っている。

2. 河口堰ゲート制御に対するSTCの定式化²⁾ 河口堰の貯水池水位 y (cm)とゲート総放流量 Q (cm³/s)の関係が次式で表されたとする。 $y(k+1)=h_0 y(k)+b_0' Q(k)+c_0 l(k)+d_0 L(k)+v(k+1) \cdots(1)$ ここに、 k : 時点 l : 貯水池への流入量(cm³/s) L : 貯水池からの取水量(cm³/s) $v(k+1)$: 平均値0分散 σ_v^2 の正規性雑音 h_0, b_0', c_0, d_0 : 未知のシステムパラメーター STCでは制御の目標となるコスト関数 $J(k)$ を次式で定義する。 $J(k)=E\{[y(k+1)-y^*(k+1)]^2+\lambda'[Q(k)-Q(k-1)]^2\} \cdots(2)$ ここに、 $E\{\cdot\}$: 期待値演算 y^* : 目標水位 λ' : 操作変化量に対する重み定数。ここで式(2)を最小にするような最適放流量 $Q(k)$ を求めると次式となる。 $Q(k)=-[h_0 y(k)+b_0' Q(k-1)+c_0 l(k)+d_0 L(k)-y^*(k+1)]/b_0 \cdots(3)$ ただし $b_1=-\lambda$, $b_0=b_0'+\lambda$, $\lambda=\lambda'/b_0' \cdots(4)$ さて、式(3)の最適放流量 $Q(k)$ には未知パラメーター h_0, b_0, b_1, c_0, d_0 が含まれるため、これらをカルマンフィルターを用いて各時点毎に同定しながら、式(3)を計算することにより最適放流量が求まる。なおカルマンフィルターでは、次式で定義される総合出力関数 $\Psi(k+1)=[y(k+1)-y^*(k+1)]+\lambda'[Q(k)-Q(k-1)] \cdots(5)$ の実測値と、式(5)に式(1)を代入して得られる $\Psi(k+1)=h_0 y(k)+b_0 Q(k)+b_1 Q(k-1)+c_0 l(k)+d_0 L(k)-y^*(k+1)+v(k+1) \cdots(6)$ を予測した値との差をフィードバックすることによりパラメーターを更新してゆく。

3. 実験水路の開水路ゲートに対する適用

図-1に、今回使用したスルースゲートを取り付けた循環式開水路実験装置を示している。また図-2に、本実験のシステム構成図を示している。これよりまず、各時点毎にパソコンで電磁バルブを適当に制御することにより洪水を想定した流量を発生させる。ついで水位計から得られる水位データをパソコンに取り入れ、STCにより式(3)の最適放流量を逐次決定し、これをゲート開度に換算してスルースゲートを操作する。なお本実験では式(1)の $L(k)$ は無視しているので、カルマンフィルターで同定すべきパラメーターは h_0, b_0, b_1, c_0 の4つである。ここで、1ステップすなわち制御時間間隔 $\Delta t=5$ 秒、式(2)の重み定数 $\lambda'=1 \times 10^{-6}$ (s²/cm⁴)とし、未知パラメーターの初期値は式(4)の b_0' を $-\Delta t/S$ (S : 貯水池表面積)として -0.00083 (s/cm²)を与え、 $b_0=-0.002$ (s/cm²), $b_1=0.0012$ (s/cm²), $h_0=1.0$, $c_0=0.0083$ (s/cm²)とした。以上のようにして問題を設定して開水路ゲート操作を450ステップ(37分30秒)程行った。図-3に

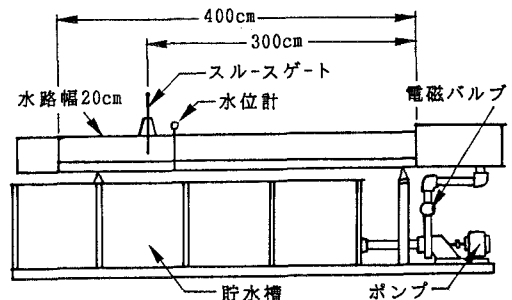


図-1 循環式開水路実験装置

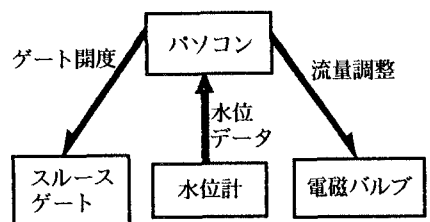


図-2 本実験でのシステム構成図

発生させた流入量 I とSTCにより制御した放流量 Q の変化を示している。図-4には目標水位 y^* と実測水位 y の変化を示している。また図-5にはパラメータの同定過程を図示している。

4. 考察 図-4では目標水位 y^* がサインカーブの場合を示しているが、貯水池水位は目標水位の上昇域、下降域を問わず目標水位によく追従している。ただ180時点から200時点において、水位は目標水位からずれているが、これは、STCでは式(2)に示すように目標水位からのズレの他に放流量の変化量もコスト関数の中に取り込んでいるため、図-3に示す流入量の急激な増加、減少に対応させて目標水位を維持するように、放流量を急激に増加、減少させることが抑制されるためである。事実、式(2)の重み係数 $\lambda'=0$ とした場合には、上記のズレは見られなくなった。しかし $\lambda'=0$ の場合、放流量の値がかなり小刻みに変化し、水位も目標水位の回りに小刻みに変動する傾向にあった。次に、図-5より各パラメータとも初期の段階では変動しているが最終的には一定値に

収束しており、収束値も水理学的にみて妥当な値となっている。次に、 $\Delta t=3$ 秒と短くすると目標水位に対する追従は若干悪くなった。これは計算時間が短くなると計算時間内に一連の操作作業が終了できなかったり、放流作業により発生する貯水池水面変動が安定する前に次の作業ステップに入り水位計に真の水位の値が取り込まれなかったりするためと考えられる。この他に目標水位 $y^*=10.0(\text{cm})$ と一定にした場合にSTCを適用した結果、放流量の変化およびカルマンフィルタによるパラメータの同定過程はそれぞれ図-3および図-4とほぼ同様であった。また、 y と y^* の差は図-4におけるそれとほとんど同じであった。よって目標水位のパターンが変化してもSTCによるパラメータの同定過程及び目標水位からのズレには余り影響がないことがわかった。

5. むすび 本報ではSTCによる開水路ゲートの制御に関する実験的考察を行なった。その結果、STCにより目標水位のパターンの変化にかかわらずオンラインで精度よく水位の制御が行えることを示しその有用性を確かめた。また放流量に対する重み定数 λ' や制御時間間隔 Δt のSTCに対する影響などが評価されその実践的な特性が得られた。

参考文献 1) Clarke, D.W. and Gawthrop, P.J: Self tuning controller, Proc. of IEE., vol.122, No.9, pp. 929~934, September, 1975. 2) 河村 明・神野健二・上田年比古: セルフチューニングコントローラーによる河口堰ゲートの最適制御について、土木学会第44回年次学術講演会講演概要集, pp.170~171, 平成元年10月. 3) 河村 明・神野健二・上田年比古・Reynold R. Medina: Real-Time Control of Estuarial Gate by the Self-Tuning Controller During Flood Periods, Proc. of Pacific International Seminar on Water Resources Systems, Tomamu Japan, pp.195~209, August 1989.

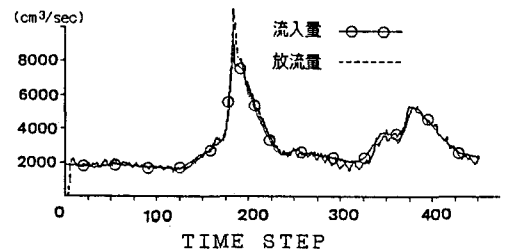


図-3 流入量と放流量の変化

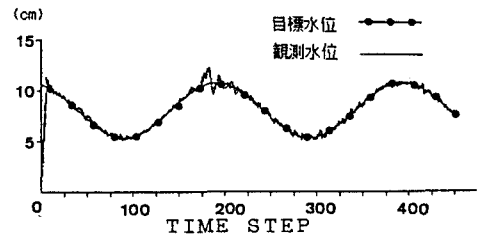


図-4 水位の変化

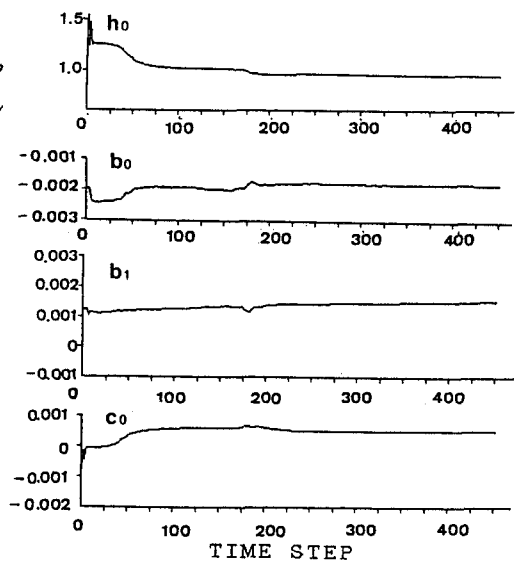


図-5 パラメータの同定結果