

セルフチューニングコントローラーによる六角川河口堰の実時間最適制御について

九州大学工学部 学生員 ○祐徳 泰郎
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

1. はじめに

これまで水資源の確保のための河口堰ゲートは、規定の操作ルールに基づいて確定的に運用されている。しかし、より効率的な運用を図り水資源の有効利用を行うには、実時間で得られる情報を基に確率過程下での放流量を時々刻々決定して行く方法の方がより現実的で有効と考えられる。著者らはこれまでに、未知パラメーターを含みかつ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として、セルフチューニングコントローラー（以下STCと記す）を取り上げ、STCの河口堰制御問題への適用を試みてきている¹⁾²⁾。本報では、堰下流側水位が、潮位の影響により大きく変動し、上流側目標水位を越える場合の例として、佐賀県の六角川河口堰を取り上げる。そして、堰下流側水位が堰上流側水位を越す場合は、堰からの放流量を0と設定してSTCを適用するシミュレーションを行ない、この場合のSTCの操作特性について検討を行なっている。

2. 河口堰ゲート制御に対するSTCの定式化

図-1に示すように河口堰を含む河川システムを想定し、本システムが次式で表されたとする。

$$y(k+1) = h_0 y(k) + b_0' Q(k) + c_0 I(k) + d_0 L(k) + v(k+1) \quad (1)$$

ここに、 k : 時点、 y : 被制御変数となる貯水池水位(m),
 Q : 制御変数となるゲート総放流量(m^3/s), I : 流入量(m^3/s),
 L : 取水量(m^3/s), v : 平均値0、分散 σ^2 の正規性白色雑音(m),
 h_0, b_0', c_0, d_0 : システムパラメーターで h_0 は無次元、それ以外は(s/m^2)である。次に、制御の目標となるコスト関数 $J(k)$ を次式で定義する。

$$J(k) \triangleq E\{[y(k+1) - y^*(k+1)]^2 + \lambda [Q(k) - Q(k-1)]^2\} \quad (2)$$

ここに、 Δ : 定義、 $E\{\cdot\}$: 期待値演算、 y^* : 目標水位(m), λ : 操作変化量の重み定数(s^2/m^4)

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。

$$Q(k) = -[h_0 y(k) - \lambda Q(k-1) + c_0 I(k) + d_0 L(k) - y^*(k+1)] / (b_0' + \lambda) \quad (\text{ただし、}\lambda = \lambda'/b_0') \quad (3)$$

さて、式(3)の最適放流量 $Q(k)$ には式(1)の未知パラメーター h_0, b_0', c_0, d_0 が含まれるため、これらを同定しなければならない。そこで、総合出力関数 $\Psi(k+1)$ を式(4)で定義し、これに式(1)を代入すると式(5)が得られる。

$$\Psi(k+1) \triangleq [y(k+1) - y^*(k+1)] + \lambda [Q(k) - Q(k-1)] \quad (4)$$

$$= h_0 y(k) + b_0' Q(k) + b_1' Q(k-1) + c_0 I(k) + d_0 L(k) - y^*(k+1) + v(k+1) \quad (5)$$

そして式(5)のパラメーターを、カルマンフィルター理論で同定すべきシステム状態 x にとる。すなわち、 $x(k) = [h_0, b_0, b_1, c_0, d_0]^T$ (T : 転置記号)とする。ここで、観測量として式(4)の $\Psi(k)$ をとると、後はカルマンフィルターのアルゴリズムに従い、各時点毎に状態 x の最適推定値が求まり、その結果式(3)より最適放流量 $Q(k)$ が求まる。

3. 六角川河口堰への適用とその考察

以上述べたSTCを、六角川河口堰に適用し検討した。本報では、洪水時のデータとして、河口堰の流入量データ I を10分間隔で360時点(2日半)ほどピックアップした。そのデータを図-2(a)の破線で示している。また、同期間の堰下流水位 y_1 および堰上流目標水位 $y^*(=0.2m)$ を図-2(b)に示している。 y_1 の図より下流側は潮位の影響を受けていることが分かる。なお、ここでは取水量 L は0であるので L に関する項は無視している。

さて式(4)の $\lambda = -1.0 \times 10^{-4}$ と設定し、STCにより河口堰の制御シミュレーションを行なった。この場合、現時点の堰上流水位 y_0 が下流側水位 y_1 よりも10cm以上高い場合のみSTCにより制御することとし、それ以下の場合はゲ-

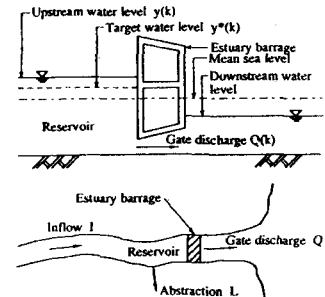


図-1 河口堰を含む河川システム

トを全閉することにした。また、堰からの最大放流量 $Q_{\max}$ は、水位差 $\Delta h = y_u - y_l$ により変え、
 $Q_{\max} = 200(\text{m}^3/\text{s})$ ($0.1\text{m} < \Delta h \leq 0.5\text{m}$ の場合)、
 $Q_{\max} = 500(\text{m}^3/\text{s})$ ($0.5\text{m} < \Delta h \leq 1.0\text{m}$ の場合)、
 $Q_{\max} = 1000(\text{m}^3/\text{s})$ ($1.0\text{m} < \Delta h$ の場合) と設定した。そして、状態量 $x(k)$ の初期値としては $h_0 = 1.0, b_0 = -2.0 \times 10^{-4}, b_1 = 1.0 \times 10^{-4}, c_0 = 1.0 \times 10^{-4}$ を与えた。以上のように各値を設定し、STCにより制御シミュレーションを行なった場合の最適放流量 Q 、制御水位 y 、式(2)のコスト関数 J を、それぞれ図-2(a),(b),(c)に示す。また図-3にはパラメーター h_0, b_0 の同定結果を示している。さらに、参考のため実際の水位およびコスト関数をそれぞれ図-2(b),(c)に示している。

図-2(a)の Q の結果を見ると、図-2(b)の y_u が $y_l + 10\text{cm}$ より低い場合は Q を0とし、 y_u が $y_l + 10\text{cm}$ 以上の場合に Q を小刻みに変化させて制御していることが分かる。その結果、 Q にかなり制約があるものの、図-2(b)の y のように洪水のピーク時を除き、かなり目標水位を維持しているといえる。その結果、実際の水位に比べて y^* からのズレがかなり小さくなっている。残差(平均残差平方和の平方根)は、STCの場合 $0.43(\text{m})$ 、実測の場合 $0.52(\text{m})$ であった。この場合、STCの y が y^* から外れているのは、 Q が Δh により制約されていることの他に、STCは式(2)の J に示されるように目標水位からの差と同時に放流量の変化の両者を考慮して Q を制御するためでもある。図-2(c)のコスト関数は、

STCによる制御では、洪水ピーク時などの $Q_{\max}$ の制約が厳しい期間を除き、 $J(k)$ を0に近づけるよう制御している。その結果、各時点での J の値は実際のそれに比べるとかなり小さくなっている。また図-3より、 h_0 については y の変動に伴い、時間と共に大きく変化している。また、 b_0 および(ここには載せていないが) b_1, c_1 は、160時点および230時点付近で変動が見られるが、これは流入量の増加に伴う急激な放流量の影響によるものと考えられる。

4. むすび

本報では、STCの河口堰制御問題において堰下流側水位が、上流側目標水位を越える場合の例として、佐賀県の六角川河口堰を取り上げ、シミュレーションを行なった。その結果、堰下流川水位が上流側目標水位を越える場合でもSTCにより水位などが制約条件の下で期待どおりに制御され、本手法の有効性が確かめられた。また、その特性が明らかにされた。

参考文献

- 1) Kawamura, A., Jinno, K., Ueda, T. and Medina, R.R.: Real-time control of estuarial gate by the self-tuning controller during flood period, Proceedings of Pacific International Seminar on Water Resources Systems, Tomamu, Japan, August 1989.
- 2) 河村 明・神野 健二・押川 光宏・上田 年比古・中山 比佐雄: 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年2月.

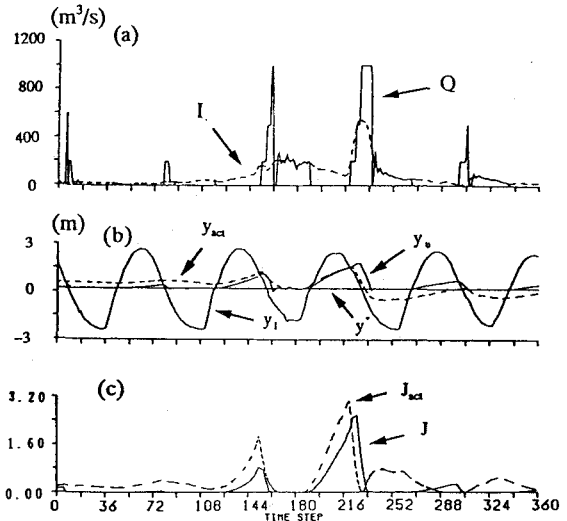


図-2 適用データおよび、STCによる制御結果

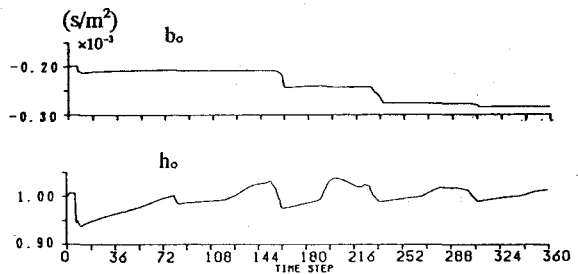


図-3 パラメーターの同定結果