

立命館大学大学院 学生員 ○池田 晶
日本工営(株) 正会員 金 海生

立命館大学理工学部
立命館大学理工学部

正会員 中川 博次
正会員 江頭 進治

1. はじめに 広い地域への水の供給を目的とした農業用水路には、数 km ごとにゲートが設けられ、供給流量の大小にかかわらず、用水路の水位はなるべく一定に保つように設計されている。ところが、需要水量の急変に伴う供給流量の増減に対応したゲート操作は、容易ではない。装置の経済性の問題点を別にすれば、自動制御法を用いれば、水位と流量のコントロールは容易であるが、この場合、用水路は緩勾配であり、水位が絶えず変動するため、ゲートは無限に作動する状態が作り出され、ゲートの摩耗等の問題に対応できない。このような理由により、多くの場合、人為的な操作が行われているのが実情である。そこで、本研究においては、人為的操作を行うことを念頭において、より有効な一段階あるいは二段階操作法について検討するものである。

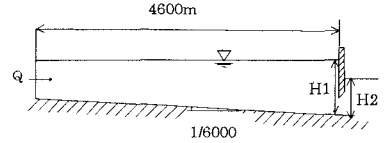


図-1 用水路の略図

2. 一次元支配方程式と境界条件 以下の計算で用いる水の連続式および運動方程式は、非定常一次元流れのものである。ゲートからの流出流量は、次式で推定する。

$$Q = B_g a \left(C \sqrt{2g(H_1 - H_2)} + \frac{Q}{BH_1} \right) \quad (1)$$

ここに、 a : ゲート開度、 H_1 : ゲート上流側水深、 H_2 : ゲート下流側水深、ゲート幅、 B : 水路幅、 C : 流量係数である。境界条件として、水路上流端において流量を与え、ゲート地点において式(1)を設定する。ただし、ゲート下流水深 H_2 はゲート流出流量に対応する等流水深である。数値計算には Preissmann implicit scheme を用いる。

3. ゲート操作の条件と方法 対象とする用水路は、愛知用水の一部である。図-1 に示すように、水路長 4600m、幅 9.5m、路床勾配 1/6000、マンニングの粗度係数 0.015、区間の下流端にはチェックゲートが設置されている。供給流量 Q 、ゲート前面水位 H_1 、およびゲート開閉速度 V_g の条件は次のようである。

$$Q = Q_0 + \Delta Q < 30 \text{ m}^3/\text{s} \quad (Q_0 = 7 \sim 30 \text{ m}^3/\text{s}) \quad H_1 = H_0 \pm \Delta H_c \quad (H_0 = 2.8 \text{ m}, \Delta H_c = 3 \text{ cm}, \text{不感帯} \pm 2 \text{ cm})$$

$V_g = 0.03 \sim 0.3 \text{ m/min}$ ここに、 Q_0 は変化前の流量、 ΔQ は流量の増減量、 H_0 は基準水位、 ΔH_c は水位変化の許容値であり、 $|\Delta H|$ が 2cm を越えるときゲート操作を行う。上述のゲート条件下において、流量が急増あるいは急減するとき、多段階操作あるいは自動制御は次のように行われる。図-2 に示すように、ゲート前面の水位が不感帯 $\pm 2 \text{ cm}$ を越えたときゲートを作動し、水位が再び不感帯の内部に入ったときに操作を停止する。再度、不感帯を越えるときには、同様の操作を行う。流量が急増する場合は、このゲート操作によって求められる開度の最大値を開度 max ($D_{\max}$) とし、急減時のものを開度 min ($D_{\min}$) とする。なお、ゲートの最終開度 (D_{∞}) は、式(1)に増減後の流量を代入して得られる開度である。

二段階操作は、水位が不感帯を越えたとき、ゲートを所定の開閉速度で開度 max ($D_{\max}$)、(開度 min、 $D_{\min}$) まで動かして停止し、再び水位が不感帯の内部に入ったとき最終開度 (D_{∞}) にセットするようなゲート操作である。ここで、 $D_{\max}$ あるいは $D_{\min}$ と D_{∞} との関係を次のようにおく。

$$\left| \frac{D_{\max}}{D_{\infty}} - 1 \right| = \varepsilon \quad \text{または} \quad \left| \frac{D_{\min}}{D_{\infty}} - 1 \right| = \varepsilon \quad (2)$$

ε がある限界値 (< 1) より小さいとき、開度 $D_{\max}$ ($D_{\min}$) の状態で水位変動は ΔH_c 以内に収まるものとすれば、

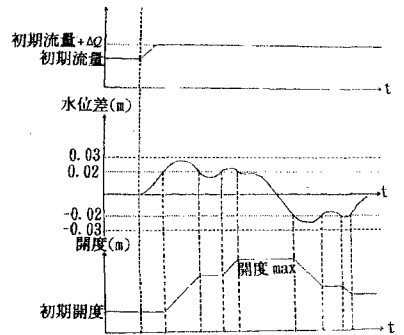


図-2 多段階操作法(自動制御)

二段階操作は実質的には一段階操作になる。ところが、 ε が限界値をわずかに越えるとき、二段階操作においては、 $D_{\max}$ ($D_{\min}$) にセットした後、 D_0 へセットするまでの時間がかかり過ぎる。この場合、ゲート開度を初期から直接 D_0 へセットする方法が考えられる。これを便宜的に一段階操作と呼ぶことにする。

4. 計算結果と考察 図-3、4は、二段階操作において、流量増加時における初期流量 7,10,15,20,25.5(m^3/s)、流量減少における初期流量 10,15,20,25,30(m^3/s)に対する操作可能な開閉速度の限界線である。線の上側が可能な開閉速度であり、下側においては水位が $|\Delta H_c|$ 以内に収まらない。

表-1、2 は、流量増加時における初期流量 10(m^3/s)、流量減少時における初期流量 15(m^3/s)、流量変化量 1,2,3(m^3/s)とすると、種々の開閉速度に応じた開度 max および開度 min に関する計算値である。表-3 および 4 は、それぞれに対するゲート操作時間の計算値である。前述したように、 $D_{\max}$ あるいは $D_{\min}$ と D_0 とが極めて近い場合には、操作時間は短くなっている。 ε は小さいものの限界値を越えているケースについては操作時間がかかなり長くなっているのが分かる。これは、開度を一定にしておく時間が長くなるからである。そこで、それらのケースについて一段階操作を行った。その計算結果を表-5、6 に示す。結果より、流量変化量が 1, 2(m^3/s)の場合は、一段階操作が行え操作時間は短くなる。流量変化量が 3 (m^3/s)の場合は、最大の開閉速度で操作を行っても、流量変化量が大きい為、水位変化の許容値を越えてしまう。

5. おわりに

対象とする用水路は、数 km ごとにゲートが設けられているので、操作したゲートの波が伝播し、次のゲートに影響するまでに操作を完了する必要がある。今後、 ε の限界値に関する検討とともに、今回行った二段階操作方法および一段階操作では、ゲート操作条件を満たし得ない流量の条件に対するゲート操作について検討していきたい。

参考文献 1)Cunge, J. A., Holly,F. M. and Verwey, A. : Practical Aspects of Computational River Hydraulics, Pitman press,London,U.K., 1980.

表-1 流量 10(m^3/s)の開度 max (m)

		流量変化量(m^3/s)		
		1.0	2.0	3.0
(mm/min) 開閉速度	0.20	0.471	0.528	0.588
	0.25	0.468	0.526	0.593
	0.30	0.468	0.533	0.593
最終開度(m)		0.465	0.514	0.564

表-2 流量 15(m^3/s)の開度 min (m)

		流量変化量(m^3/s)		
		-1.0	-2.0	-3.0
(mm/min) 開閉速度	0.20	0.607	0.547	0.491
	0.25	0.605	0.551	0.488
	0.30	0.607	0.542	0.492
最終開度(m)		0.615	0.564	0.514

表-3 流量 10(m^3/s)の操作時間 (s)

		流量変化量(m^3/s)		
		1.0	2.0	3.0
(mm/min) 開閉速度	0.20	13050	6875	4993
	0.25	894	7770	4510
	0.30	892	5190	4489

表-4 流量 15(m^3/s)の操作時間 (s)

		流量変化量(m^3/s)		
		-1.0	-2.0	-3.0
(mm/min) 開閉速度	0.20	10590	5400	4647
	0.25	7560	6736	855
	0.30	10590	844	847

表-5 流量 10(m^3/s)の操作時間 (s) (一段階操作)

		流量変化量(m^3/s)		
		1.0	2.0	3.0
(mm/min) 開閉速度	0.20	897	880	
	0.25		875	
	0.30		871	

表-6 流量 15(m^3/s)の操作時間 (s) (一段階操作)

		流量変化量(m^3/s)		
		-1.0	-2.0	-3.0
(mm/min) 開閉速度	0.20	880	861	
	0.25	877	854	
	0.30	875		

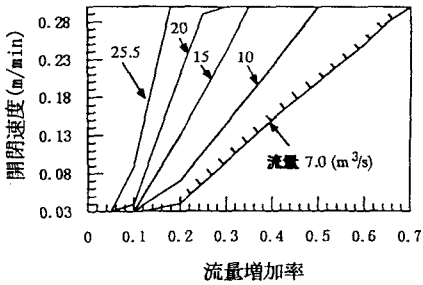


図-3 流量増加時の開閉速度の範囲

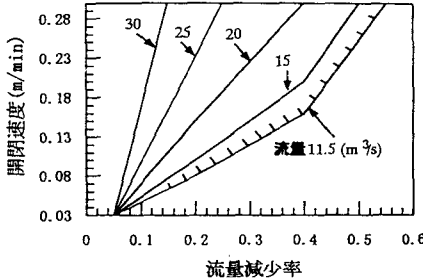


図-4 流量減少時の開閉速度の範囲