

パソコンによる小流量の制御機能と水位・ゲートの計測・制御について

——パソコンによる可変勾配開水路の流量制御に関する研究 (Ⅲ) ——

竹 山 光 一*

The Control Function with Small Discharge, Measurement of Water Height and Gate Control aided by the Personal Computer
——Studies on the Flow Control System in Tilting Open Channel Flume by Personal Computer (III)——

Kouichi TAKEYAMA

This paper investigated that how the personal computer system showed the control characteristics, some deviations from the targetting time series of discharge and automatic control of the gate.

At the first stage of this experiment, the computer was connected with electromagnetic flow meter and a frequency converter of a motor pump. Here the maximum discharge was 30 ℓ/s .

In this condition, the deviation in the small discharge of sine curve was estimated by added hydraulic experiments, under the some valve opening conditions.

Concretely, targetting sine curve was given with 3~6 ℓ/s in mean, 0.5~1.0 ℓ/s in amplitude and 0.5~1.0 min in period. And valve opening ratio was 5, 15 and 40%. Then 15% showed the best (in minimum) deviation, and this was estimad as the limit of this 8 bits personal computer system.

Second, the measurement system of the water height in the open canal and gate control system connected with the water height by a sensor, main and sub control units and personal computer was built up.

Thanks to this system, the data processing facilities made great progress, especially in setting the time constant parameters which were very ease to gain in the BASIC PROGRAM.

I. 緒 言

実験室の可変勾配開水路の上流端で堰あるいは直にパソコンを用いて通水する流量を制御するシステムは、これまで目標とする流量時系列を、越流水深をチェックしながらバルブを調整して得てきたことに比べれば、格段

の進歩と利便を感じさせる。とりわけ流量ハイドログラフを任意に与えたり、流入量時系列に周期性を持たせるときには必要不可欠といえる。本研究は、これまでの小流量の正弦波状変動の制御機能の検討について、特に小流量で比較的振幅が大きく、周期が短い変動を発生させたときの、目標とする正弦波からの偏差についての実験を追加し、バルブ開度の調整の効果について考察し

* 農林システム学講座

た。次に水位計測とこれまでの操作盤のリレーでスルースゲートを動作し、水位を不感帯の中に安定化させたものから、パソコンによる水位、ゲートの開度のデータの取り込みを行い、さらにこれまでの操作盤に副操作盤を追加し、取り込まれた水位データと連動したゲートの動作制御を行ったことについて報告する。

II. 流量制御機能

1. 流量制御機能の概要¹⁾

パソコン (8ビットの Sharp X1Turbo) による流量制御システムは、ポンプを変速用周波数変換装置とつなぎ、流量計から得られた流量を計測・制御するものである。またここでは以下の制御内容が可能である。

- 1) キーボードまたはマウスによる折線グラフ状の任意のハイドログラフの発生
- 2) 正弦波状のハイドログラフの発生
- 3) 一定流量信号の発生
- 4) シーケンス制御としてのモータ回転数任意指令信号の発生
- 5) フィードバック制御に基づく、一秒毎のモータ回転数指令

以上のうち一定流量を流すときは、最上流部の直角三角堰を経て開水路に流し込む方法は、流量の微細な乱れを消す効果がある。またハイドログラフを任意に与えたり、この時系列に周期性を持たせるときは、開水路直上流にパイプから流し込めるようにした。このポンプは最大30 l/s まで通水できるが、今回は正弦波状の周期変動の流量を対象に、(1) 式で平均流量Aに対して振幅aが大きいもので、かつ周期Tが短いものについて、目標とする正弦波形状からの偏差の検討を行った。αは目標とする正弦波の位相、ψはバルブ(スルース弁)のみなかけの開度(全開に対する比)である。

なおフィードバック制御を行うにあたり、Δt(1秒)につき目標値と実現値の偏差のβ(1/10)を修正するようにした。これまでの研究で、目標とする正弦曲線を

(1)とすると、

$$y(t) = A + a \cdot \sin(2\pi t/T) \tag{1}$$

実際に流れる流量とy(t)とが交差するところで流量変動の指令が逆転するため、通水量の実際の振幅はaより小さくなり、右側にずれる形となる。このため、より正確に目標とする正弦曲線を発生させるためには、(2)

$$Y(t) = A + a \cdot K \cdot \sin(2\pi t/T + \alpha) \tag{2}$$

としてプログラムすればよい。

ここに、以下の(3)、(4)式を得る。

$$K = \sqrt{\{[\cos(\frac{2\pi}{T}\Delta t) + \beta - 1]/\beta\}^2 + \{\sin(\frac{2\pi}{T}\Delta t)/\beta\}^2} \tag{3}$$

$$\tan \alpha = \frac{\sin(\frac{2\pi}{T}\Delta t)}{\cos(\frac{2\pi}{T}\Delta t) + \beta - 1} \tag{4}$$

表1 バルブ開度と実際流量との偏差

実験No.	中心流量 A(l/s)	振 幅 a(l/s)	周 期 T(min)	バルブ開度 ψ(%)	a/A/T	偏差の絶対値 の平均 (l/s)
1	3	0.5	0.5	5	0.33	0.27
2	3	0.5	0.5	15	0.33	0.20
3	3	0.5	0.5	40	0.33	0.44
4	3	0.5	1.0	5	0.17	0.24
5	3	0.5	1.0	15	0.17	0.14
6	3	0.5	1.0	40	0.17	0.21
7	3	1.0	0.5	5	0.67	0.50
8	3	1.0	0.5	15	0.67	0.48
9	3	1.0	0.5	40	0.67	1.05
10	3	1.0	1.0	5	0.33	0.48
11	3	1.0	1.0	15	0.33	0.24
12	3	1.0	1.0	40	0.33	0.38
13	5	0.5	0.5	5	0.20	0.29
14	5	0.5	0.5	15	0.20	0.09
15	5	0.5	0.5	40	0.20	0.23
16	5	0.5	1.0	5	0.10	0.27
17	5	0.5	1.0	15	0.10	0.10
18	5	0.5	1.0	40	0.10	0.15
19	5	1.0	0.5	5	0.40	0.54
20	5	1.0	0.5	15	0.40	0.10
21	5	1.0	0.5	40	0.40	0.49
22	5	1.0	1.0	5	0.20	0.51
23	5	1.0	1.0	15	0.20	0.10
24	5	1.0	1.0	40	0.20	0.24
25	6	0.5	0.5	5	0.17	0.27
26	6	0.5	0.5	15	0.17	0.10
27	6	0.5	0.5	40	0.17	0.18
28	6	0.5	1.0	5	0.08	0.26
29	6	0.5	1.0	15	0.08	0.13
30	6	0.5	1.0	40	0.08	0.14
31	6	1.0	0.5	5	0.33	0.52
32	6	1.0	0.5	15	0.33	0.11
33	6	1.0	0.5	40	0.33	0.32
34	6	1.0	1.0	5	0.17	0.50
35	6	1.0	1.0	15	0.17	0.09
36	6	1.0	1.0	40	0.17	0.19

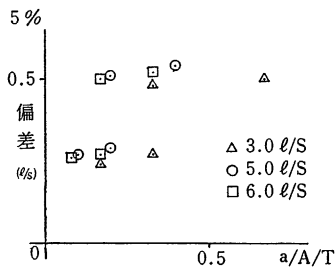


図1-1 バルブ開度5%

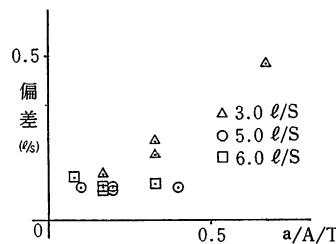


図1-2 バルブ開度15%

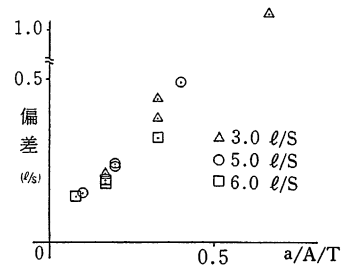


図1-3 バルブ開度40%

2. 小流量の正弦波状制御とバルブ開度

平均流量としては3~6 l/s, 周期は2分~0.5分, 振幅を1.0~0.5 l/sの条件での流量変動と, バルブの見かけの絞り込みについて検討した。この特性は前報²⁾で一部示したが, バルブの絞り(以下バルブ開度と記す)を5%, 10%, 40%にして, 目標流量と実際に生じた流量との偏差の平均値(以下偏差とも記す)を, 正弦波流れの条件として中心流量, 振幅流量, 周期と共に実験を追加して調べた結果, 表1を得た。

このように小流量で比較の変動の大きいものを扱った。このとき変動の指標として $a/A/T$ を用いて, 目標とする偏差を検討すると, バルブの開度の調整による効果は図1の1, 2, 3となった。

これらの表1と図1より特に図1.1では偏差について

2グループ分けが見られるものと表1と対応させると, 振幅が0.5 l/sのときの偏差が, 1.0 l/sのときの偏差の約50%と大きくバラつくものが見られた。また表1でバルブの開度が5%のときは, 偏差は振幅の大小に影響されている。またバルブの開度が15%になると $a/A/T$ 値の増大によって偏差が増大するが, 5, 6 l/sのときは相対誤差が0.1 l/s以下となり8ビットで最大30を制御するときの限界値に近いという, 良好な制御が実現した。またバルブの開度が40%では $a/A/T$ の値に大きく影響され, 中心流量が小さいものほど偏差が大きいという, 前報の結果と同様な特性をさらに確かなものとして得る結果となった。

III. 水位・ゲートの計測・制御

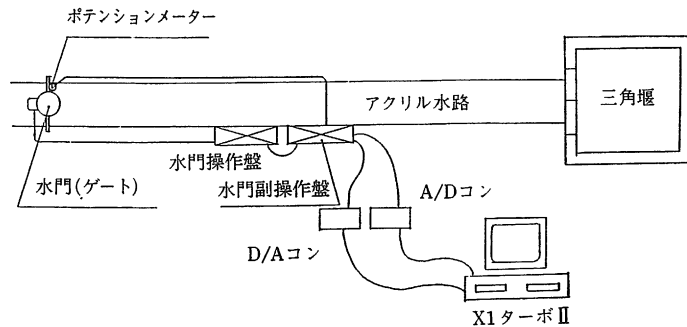


図2 ゲート開度計測・制御システムの概要

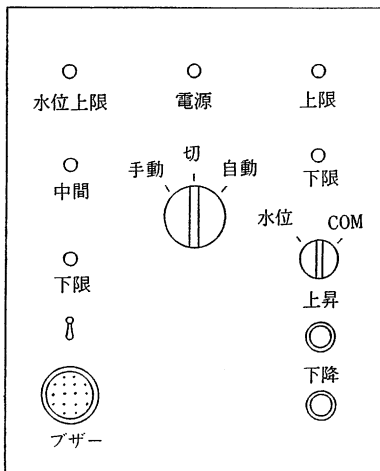


図3 ゲート操作盤表面

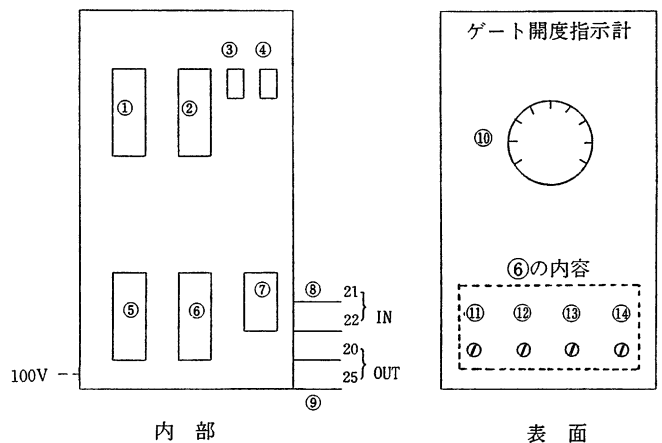


図4 ゲート副操作盤

- | | |
|----------------|-------------|
| ① ブレーカ | ⑧ 入力ケーブル |
| ② アレスター | ⑨ 出力ケーブル |
| ③ リレー (OPEN用) | ⑩ ゲート開度指示計 |
| ④ リレー (SHUT用) | ⑪ OFF SET |
| ⑤ シグナルトランスミッター | ⑬ タイマー調節つまみ |
| ⑥ アナログポジショナー | ⑭ 零点調整つまみ |
| ⑦ アレスター | ⑫ スパン調整つまみ |

3)
1. 操作盤による制御

これまでは抵抗線式波高計をゲートに結んで開度が知れるようにしたり、この波高計やサーボ式水位計を用いて開水路内の水位を計測した。このデータはフラットペンレコーダで描かせ、後でデジタイザなどで読み取ってきた。さらにゲートの上または下流の任意の地点で一定水位を実現するシステムとして、2本の長・短の電極棒のセンサーを設け、この2本の間に水位が安定化するようになるとき、操作盤でのデータを元にゲートを手動で動作することが可能である。しかし図2、図3の操作盤の中のリレーを微調整し、下記の時定数を調整してスルースゲートをセンサー部からの水位情報と直結して、操作盤を通して自動動作させる、マイナーループ制御での動作が可能である。このスルースゲートの上昇速度は 0.38 cm/s、下降速度は 0.39 cm/s である。マイナーループ制御における時定数の概要は、以下である。

また動作の後は強制ブレーキを設けた。

T1: 水深が不感帯の上限である H_{max} を越えても、すぐにはゲートが上昇しないで、はみ出した時間がこの時間を越えたら動作を開始する。

T2: 水深が不感帯の下限である H_{min} より下降しても、すぐにはゲートが下降しないで、はみ出した時間がこの時間を越えたら動作を開始する。

T31: ゲート休止時間。一回の動作の後、休止させる時間。

T32: ゲート動作時間。一回の動作においてモータを動作させる時間。

従って T31 と T32 を組み合わせて、ゲートの平均昇降速度を与えることが出来る。

水路に今回設置した状況が図2である。またこれまでのゲートの動作機能も残したので、図3の COM と水位のような切り替え形の操作盤前面となった。図4は副操作盤で、その内容と前面である。

2. コンピュータによる水位・ゲート開度計測とゲート動作システムの概要

これまでの X1 Turbo で得てきた知見をもとに、これを応用できるようにして、最新の X1 TurboZ を用いた。これに用いる A/D、D/A 変換器は栃木県の BASIC HOUSE 製のものである。

1 A/D変換器による水位・ゲート計測

この変換器は12ビットで16チャンネルの入力が可能である。プログラムはサーボ式水位計(計測技研製最大水位 Range 30 cm を最大電圧 range にして -5 V ~ +5 V に対応することが可能)で、ゲート開度がポテンシオメータで、0~10 V が 0~20 cm に対応し(0 V が全開、

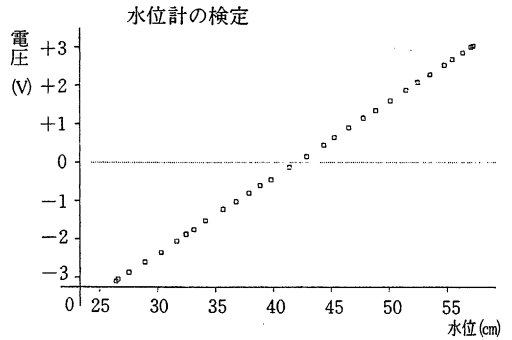


図5 水位と出力電圧の関係

表2

変動要因	平方和	自由度	不偏分散	F 値
全変動	116.19330	29		
帰回による変動	116.18973	1	116.18973	910971.44127
残差による変動	0.00357	28	0.00013	
重相関係数	0.99998			
決定係数	0.99997			

10 V が全開 (20 cm) でこの間では変化が線形)と抵抗線式波高計からの出力がパソコンに記録できるように、オフセットバイナリ (±10 V) でジャンパーをセットし、それぞれがプログラムで対応するように制作できる。

パソコンで記録されるサーボ式水位計での水位と電圧出力は例えば以下の(4)式のように調整され、図5のようになる。この分散分析による帰帰の有意性が表2のように確かめられた。

$$V = 0.20 \cdot H - 8.31 \quad (4)$$

(単位 cm・V)

2 D/A 変換器によるゲート動作

このD/A変換器は4チャンネル12ビットのもので、図4の副操作盤への出力は 4~20 mA である。このときコンピュータからの DA 変換器は、目標とするゲート開度に対応した電圧を出力する。今回の調整では副操作盤のモニター表示値と実際のゲート開度並びにA/Dポートでの電圧は、それぞれ図6、図7のように得られた。

ゲート開度はこの電圧の情報により、主、副操作盤を介し、モータを回転させて、フィードバック制御することができる。このような制御のシステムは、これまでの流量制御のシステムの流量計、インバータの代わりにそれぞれサーボ式水位計、水門副操作盤を置いたものと考えられる。

このとき前述の配電盤のリレーによる時定数の調整機能は、BASIC の空 IF 文等で動作時の機能を定電圧・

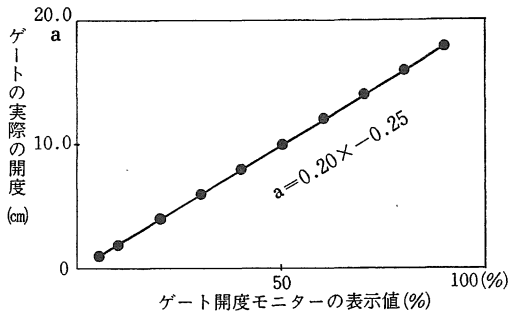


図6 ゲートモニターと実際の開度の関係例

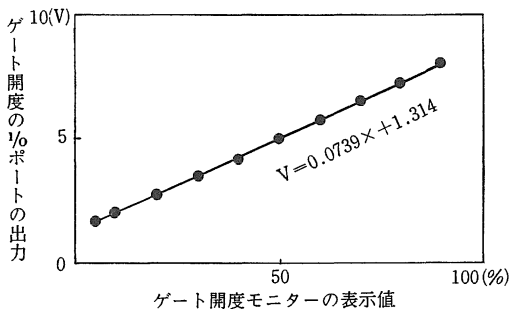


図7 ゲート開度モニターと I/Oポートへの出力値例
電流装置ならびにテスターで確認し、これに合わせてプログラムを修正することなどによって容易に得ることができた。現在はゲートを昇降させるモータの回転速度が一定のため、目標開度と現在の開度との差が大きいために、D/A出力の変化・対応動作をフィードバック値を大きくすることで早めるなどにより、緩急2段階の制御など、これまでの配電盤のリレーのセットでは自動化できなかったものも、容易にプログラミングすることができた。

水位が一定の幅を越えると、水位が回復するようにゲートが自動動作するものを実験した。

次にこれを実際の水位制御に適用した。水路は幅 39 cm 長さ 20 m で、この中央に高さ 19.0 cm の広頂堰を設けてあり、水路末端でゲートから 1.0 m 上流側の水位変動を CH 1、堰より 30 cm 上流側を CH 2 とし、CH 1 が一定の幅になるようにゲート開度を制御するようなプログラムを稼働させた。入力流量はここでは水路最上流側で、中心流量 10 ℓ/s、振幅 6.0 ℓ/s、周期 2 分の正弦波を与えた。まずゲート開度を一定したもの、およびフィードバック値と設定する水位幅を電圧で与えた（電圧 0 V が水深 20 cm の位置に、1 V が 5 cm の変化に相当する。）このときの水位とゲート開度の一例は図 8 となる。CH 1 の変動に伴うゲートの昇降は、プ

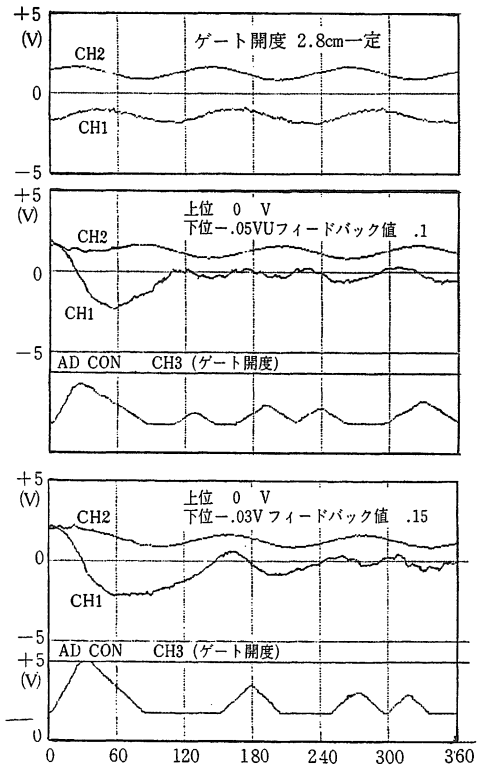


図8 $Q_{in} = 10 + 6\sin(2\pi t/T)$, $T: 2分(\ell \cdot s)$ のもとの水位変動とゲート開度、CH 1 はゲートより 1.0 m 直上流、CH 2 は水路中央の堰より 0.5 m 上流側の水位。

ログラミング時に制御要素（時定数）を与えるとき、ゲートの一回毎の昇降量が小さいときは絶えずモーターを動かして制御過電流が流れるようになり、プレーカーが作動し停止するという事は、プログラミングの調整で解決した。このように水位の変動とゲート開度出力の対応つけた制御を、容易にすることができた。

今後はゲートの各種制御内容を、現場での水理条件を考慮し、より安定して、そして制御目的に合うように合理的に取り込むようにすること等を課題とした。

IV. 結 言

パソコンによる流量制御のうち小流量の正弦波状変動の制御機能について追加実験を行い、目標とする正弦波からの偏差と、バルブの絞り込みによる効果を調べ、小流量時はバルブの見かけの開度比を15%～5%に変えることが必要であるとわかった。このことは流量変動幅によっては今後オートバルブの導入の検討を要する。

つぎに水位・ゲート開度などセンサーからの電気信号

を、A/D変換器を通してパソコンに取り込むことによって容易にデータの収録が可能となり、さらに副操作盤を取り付け、D/A変換器を経て、目標とするゲート開度に制御することは、BASICのプログラミングなどによって、これまでの配電盤のリレーのセットでは自動化できなかったものまでも容易にプログラミング可能にした。またプログラミングに生じる問題点を検討した。

本研究を進めるにあたり、遠藤隆明君（現在大阪中央コンピュータ㈱）、島根大学農業工学科専攻生瀬崎邦博君名和秀哲君、藤原義和君、松江市大興機械㈱の坂田憲治氏の協力を得た。記してこれらの方に謝意を表します。

なお本研究の一部は昭和63年度、および平成元年度科学研究費補助金（一般研究(C)(63560228)および試験研究(I), (01860029, 代表京都大学, 鳥井清司))により行った。

引用文献

1. 竹山光一他3名：根大農研報 19：105-109, 1985.
2. 竹山光一：島大農研報 22：154-160, 1988.
3. 竹山光一：島大農研報 15：75-81, 1981.
4. 大興機械㈱：水門副操作盤取扱説明書, 1989.