

建設省土木研究所 ○土屋昭彦 松山宣信 馬場亨
小池長春 野口正

1. まえがき

河川の模型実験を行う場合、洪水波の再現や下流端での水位設定が必要であり、また、河川の分流実験では、分流量の時間変化も正確に把える必要がある。移動床模型実験では、河床高の測定や整理に多くの人手と時間が必要である。これらの実験・制御や測定を自動化することは、水理模型実験の効率化の上で不可欠の問題である。次に述べるものは、土木研究所において行なわれた実験・制御や測定の自動化の事例である。

図-1. 台車

2. 自動走行測定台車の開発

2.1 開発の目的

従来大型模型実験の河床高観測、測定は人が模型上を移動しながら行なわれていたが、これを自動化するため測定器を乗せた台車を模型上、X方向約100m、Y方向約20mの任意地点に移動、停止、測定が出来る制御方式を開発した。図-1にX方向の台車およびY方向の台車を示す。(写真-1, 2)

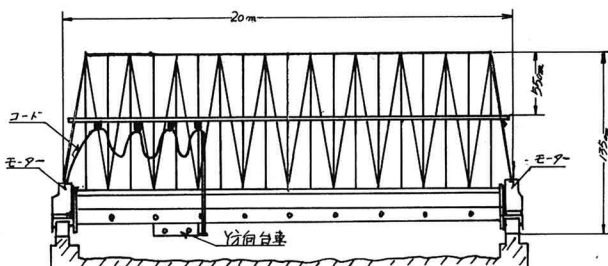
2.2 機器の構成

Y方向測定台車は釣り下げ型とし、装置全体を高速運転するため、車体材料にはできるだけアルミニウムを使用して軽量化した。XY方向台車、XY方向台車軌条、および河床高測定器、操作制御装置として、テーブリーダ、データセレクト、レジスタ、表示器からなり、走行用電動機として軽量で始動・停止特性のよい減速器付プリントモーターなどから構成されている。

制御装置のレジスタおよび座標表示器は市販されている安価でしかも、機構内に手を加えずに情報の出し入れが出来る卓上電子計算機を使用している。

また、紙テーブリーダは土木研究所

X方向台車



Y方向台車

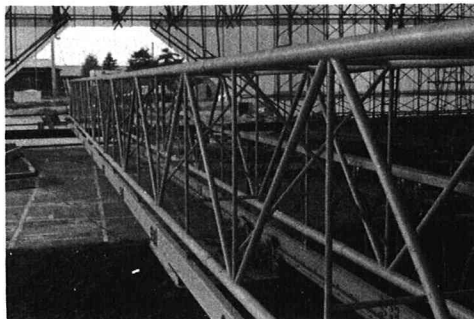
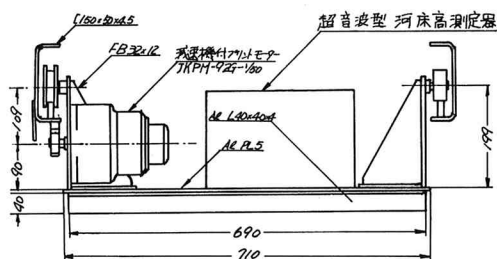


写真-1 XY方向台車

で使用している電子計算機用8単位沖コードとした。図-2に構成図を示す。

2.3 台車の制御方式

測定台車を模型上X Y方向任意地点に移動・停止できる様に、あらかじめ測定地点の座標を正の整数4桁、XとYとの間には「・」1個を入れ座標ごとのデータの区切りとして「・・」2個を入れる8単位データテープを作成する。このデータをテーブリーダで読み込ませる。読み込まれたデータ(X_1, Y_1)は、セレクトアを通りX, Yのレジスタに書き込まれる。

次に、台車の現在値レジスタのデータ(X_0, Y_0)との差($X_1 - X_0, Y_1 - Y_0$)に従って走行用モーターに命令を出し、台車は始動する。さらに、台車の停止位置を正確に検出するために軌条に取付けられた、くし型の真ちゅう板製のパルス発生器と、台車に取付けた発振型検出器により信号をピックアップし、このパルスがレジスタに加算され、レジスタの値($|X_1 - X_0|, |Y_1 - Y_0|$)が「10」以下になると、低速運転命令が出され「0」で台車は停止する。また、レジスタ(X_1, Y_1)はマニュアルでもデータを入れる事が出来る様にした。

2.4 測定器

台車に乗せる測定器は、超音波式水位河床高測定器であり、空中から水面までの距離および、水面下から河床部までの距離を測定し、測定距離に比例した電圧を取り出して、記録計に記録するものである。測定範囲として、河床7~15cm, 7~30cm, 7~45cm, 水位10~20cm, 10~30cm, 10~40cmの各3段切換になっている。測定精度は、フルスケールの±1%以内であり、超音波周波数は河床測定として1MHz, 水位測定として100KHzであり、振動素子はジルコン酸チタン酸鉛系の圧電子を使用している。記録はペン書きオシログラフを使用している。

3. 模型における水位測定のデジタル化と遠隔化

3.1 開発の目的

大型模型実験の水位測定には、各測定地点に人を配置して、ポイントゲージにより水位測定が行なわれていたが、同時刻の水位測定には、各地点に実験経過時刻または水位測定開始の合図をしなけれ

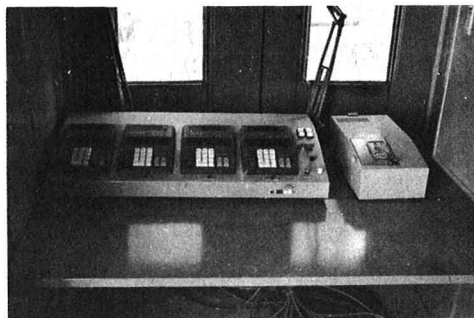
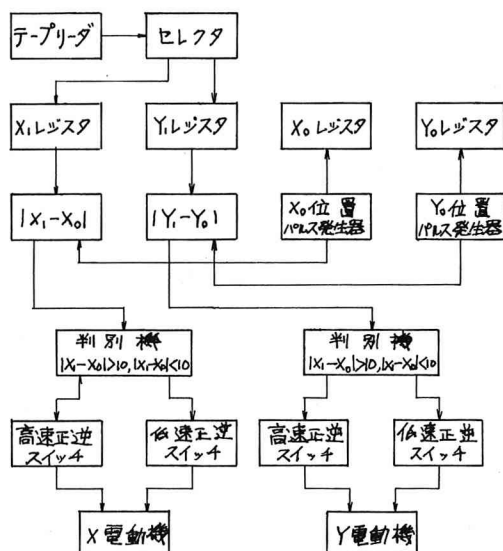


写真-2 制御装置

図-2 構成図



ばならず、人為的な労力にたよる所が多かった。最近、ポイントゲージの精度に近い水位計が開発市販されるようになったため、この水位計を各観測地点に設置して、これらを遠隔操作して同時刻の水位測定値を総合集録して、デジタル値として出力する装置を開発した。

3.2 機器の構成

この装置は水位検出部（写真－ 図－ 3 構成図

3）と記録部（写真－ 4）からな

り、検出部は触針型水位計 SM-150 型を使用した。水位計は円周 10 cm（変更可能）の巻取りブリーと懸垂ワイヤー触針型電極、可逆モータ、信号変換器、これらを制御する制御部、測定間隔タイマー等により構成されている。図－ 3 に構成図を示す。

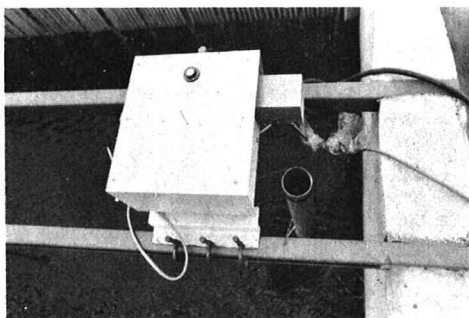
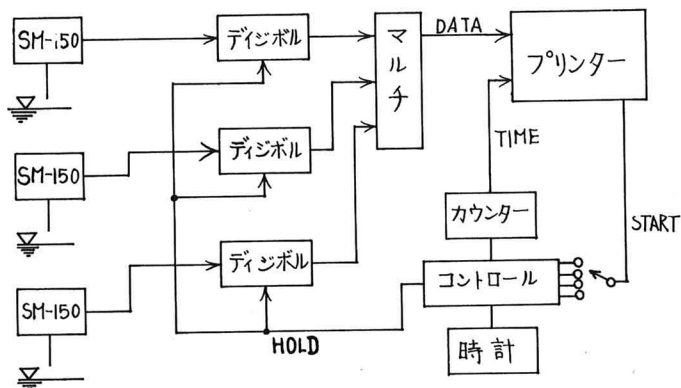
水位計の針は 8 秒毎に自動的に上下してその時の水面位置を追従する。水位計検出部での出力電圧はアナログ量で 100～200 mV 離れたデジタルボルトメータに接続されている。水位の測定は、コントロール部によるタイマー設定によりそれぞれ 10, 30, 60, 180 秒間隔に可能でそれぞれの時刻での測定値がデジタルボルトメータのホールド回路に保持される。

ホールドされた測定水位の値は、マルチプレクサーにより各地点の値をセレクトして、実験開始からの経過時刻と共にプリンターに出力される。なお、経過時刻を表示するものとして、時 1 桁、分 2 桁、秒 2 桁のデジタルカウンターを設けた。測定結果の 1 例を図－ 4 に示す。

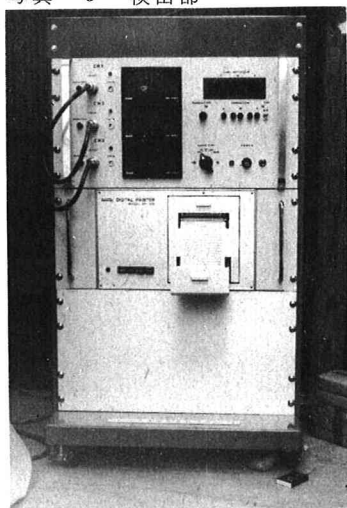
なお、この水位測定システムはプリント方式の些細な変更により何台の水位計でも増設が可能である。

3.3 測定上の問題点

検出部と記録部の距離が 100～200m 近くあるため、アナログ量で検出された電圧が、減衰されて誤差が出ないよう、また途中に電圧増幅器を設けなくてもよい様に、出力電圧を最大測定範囲 1 mV で 10Volt と高くし、検出精度を ± 1.0 mm におさえた。



写真－ 3 検出部



写真－ 4 記録部

水位計の電源は交流・直流の両方が使用出来る様にすると共に、模型実験の各測定地点に設置、移動が簡単に行なえる様にした。水位測定においては、精度を良く安定した水位が測定される様測定地点に導水管を設け、この管内の水位を測定した。

今回の開発では、検出部の水位計を3台設定したが、今後さらに検出部が増る事が考えられるため、これに共ない出力されるデータも処理が直接出来る様なデジタルテープ化にする事が必要になってくると思われる。

4. 自動水位設定装置の開発

4.1 開発の目的

河道の模型では、流水が常流の場合、下流端の水位を流量に応じた高さに保つためにせき上げ装置により調節をするが、不定流実験の場合には上流からの流下量をせき等により検出し水位流量曲線を用いて下流端のポイントゲージを調節しこれに合わせてせき上げ装置を操作せねばならず、かなりの熟練を必要とする。この操作は分流実験においてはさらに複雑となり、流量を検出、せき上げ板操作、水位安定状態後再び水位確認の動作を何回となく繰返すため、これらの操作を自動化した制御装置を開発中である。

4.2 機器の構成

自動水位設定装置の概要を図-5、構成を図-6に示す。まず、下流端四角せきの水位を検出する水位計と、せき上げ板上流の水位設定地点の水位を測定する水位計部、水位から流量を求める時に使用する折線近似任意関数発生器、これら水位流量を表示するデジタルボルトメータ、本体制御部として、加算機、制御動作検出、制御判別回路、水位計その他に動作開始信号を出す休み時間回路、およびホールド回路、せき上げ板機動部として、動力モーター、せき上げ板位置を検出するせき高関数発生器および、せき上げ板動作機構等より構成されている。

4.3 制御方式の特長

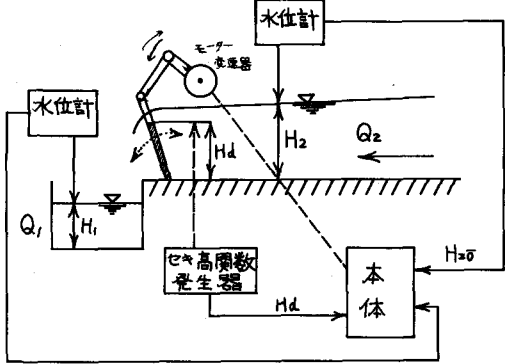
概要図、構成図の下流端四角せきの水位 (H_1) を水位計で検出し、四角せきの $H_1 \sim Q_1$ 曲線より流量 Q_1 が求められる。この $H_1 \sim Q_1$ 曲線の記憶方法として折線近似任意関数発生器 (5本折線) に $H_1 \sim Q_1$ 曲線を折線で設定する。入力 H_1 の水位から出力 Q_1 の流量が求まり、この値をデジタルボルトメータに l/s 単位で表示することにより、実験者は現時点の流路の流量を知る事が出来る。さらにせき上げ板上流の水位設定地点の $H_2 \sim Q_2$ 曲線をもう1台の折線近似任意関数発生器に設定することにより、 $Q_1 = Q_2$ として H_2 を求める事が出来る。

一方、水位計により水位設定地点で H_2 の測定が行なわれ、デジタルボルトメータによ

図-4. 測定結果

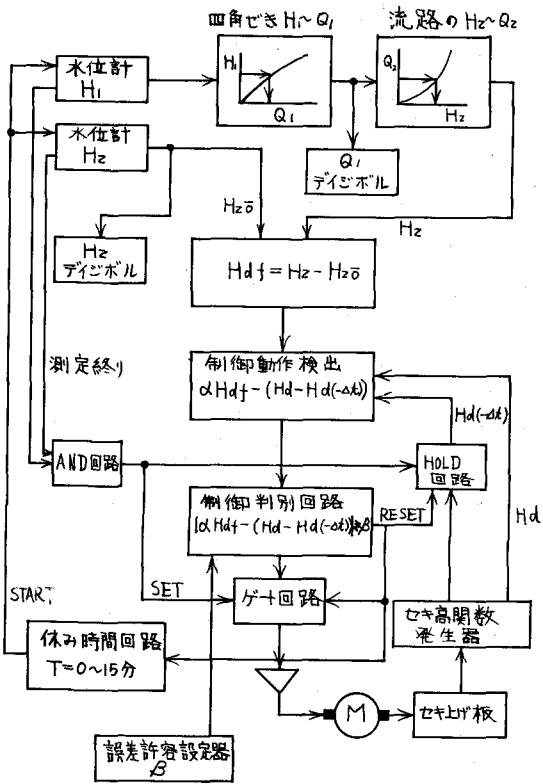
時	分	秒	デ-タ1	デ-タ2	デ-タ3
2-38	10		*081	*202	*151mm
2-38	00		*091	*202	*149mm
2-37	50		*079	*202	*153mm
2-37	40		*079	*203	*154mm
2-37	30		*081	*204	*158mm
2-37	20		*081	*203	*156mm
2-37	10		*081	*202	*152mm
2-37	00		*081	*201	*150mm
2-36	50		*081	*204	*151mm
2-36	40		*082	*203	*151mm
2-36	30		*082	*204	*151mm

図-5 概要図



り mm 単位で表示されている。この表示された水位を $H_2\bar{0}$ とすると、折線近似任意関数発生器より求めた目標水位 H_2 との差 (Hdf) がせき上げ板をコントロールする量となる。せき上げ板の移動は減速器を介してモーター駆動によるアームの昇降により行なわせ、回転アームに取りつけられたポテンションメータにより回転角を検出しせき高関数発生器を通してせき高 Hd に変換する。 Hdf が正しく動作した事を検出するため次の様な動作検出および、制御判別回路を設けた。

図-6 水位自動設定装置構成図



制御動作検出器の式は

$$\alpha Hdf - (Hd - Hd(-\Delta t)) \dots \dots \dots (1)$$

ここに

Hdf : $H_2 - H_2\bar{0}$

H_2 : 流路水位設定地点での設定目標水位

$H_2\bar{0}$: 目標地点での現在測定水位

Hd : せき上げ板位置高

$Hd(-\Delta t)$: 水位測定時点のせき上げ板位置高 (1 回の動作時間中ホールドされている)

α : おくれ定数 (0.5~1.0)

である。おくれ定数を設けたのは、分流実験の場合にせき上げ板を操作することによって分流条件が変化し Q_2 が変化するため Hdf を調節したのでは大き過ぎる場合が生ずるため、 αHdf を 1 回の調節量として繰返し操作を行なわせるためのものである。

また、判別回路は次の判別式を判断し、左辺の値が β より大きい場合にモーターに命令を出す。

$$|\alpha Hdf - (Hd - Hd(-\Delta t))| \leq \beta \dots \dots \dots (2)$$

β は、風などにより水位が安定状態にならないとき、水位計の水位測定は誤差を持つことになるため上式が判別できなくなり、フィードバック制御特有の発振を起すため、あらかじめ発振防止のための誤差許容範囲 $\pm 0 \sim 1 \text{ cm}$ まで可変設定できる装置の定数である。

今仮に、 $H_2 > H_2\bar{0}$ として操作開始時にせき高関数発生器より求まるせき上げ板位置 Hd は $Hd(-\Delta t)$ としてホールドされる。制御判別回路より (2) 式の値が左辺 $> \beta$ となるため、せき上げ板は αHdf だけ上昇して休止する。せき上げ板が動作した後は、一時的に流水が河道に貯留され流量及び水位に変動するため休み時間回路により 0~15 分 (連続可変) の休止時間を設けた。水位流量が十分安定状態になった後、(2) 式の判別を行なって動作を繰返す。以上の演算制御方式はすべてアナログ量で取扱われるため、各部の最大出力電圧、変換係数、および各動作機器がフルスケール近くでの動作を考えて精

度的に十分安定した解が求められる様にした。また、制御方式は閉回路を構成しているため発振を防ぐ方法に十分注意した。この操作方式は上流からの流量を利用して水位を上昇させるため安定水位に達するまでの時間が長くなり周期の早い不定流現象には十分追随しない恐れがある。これを改善するにはせき直上流での給水等が必要となろう。

5. あとがき

測定、観測の自動化、省力化を考えると、従来の人為的測定、観測の手順を書き出してみるとこの手順の一部しか自動化する事が出来ないことに気づく。人為的動作の中にいかに多くの経験による合理的な動作が含まれているかと云うことである。

例えば、下流せき上げ板を何cmぐらいあげると、水位はだいたい何cm上昇し、何分ぐらいで水位は安定状態になるかと云う事は、人が前に行なった経験が記憶の中にあり、これに従い目的の動作をしていると思われる。この経験的な動作の中には、能率がよく、しかも安全性をみこんだ判断がなされている。機械にその目的の動作をさせる時、いかにこれらの経験的動作の要素を判別させるかと云う事が問題となってくる。しかし、一度これらの動作のシステムが組込まれた機械は、システムの流れに従って連続に動作してしまう事が、自動機械の長所でもあり、短所でもある。

今回開発した模型実験における測定、観測の自動化は、その使用範囲をさらに拡大されるものと思われる。水位自動設定装では、これらを2台使用して行なわれる分流実験の自動化、また上流条件設定装置、河道部シュミレーター機構を設けることにより、模型実験の水位流量調節系の自動化の確立また水位遠隔化においては、水位計の増設やさん孔紙テープによるデータの電算機処理が考えられる。