

1 概 要

水力の有効利用と災害防御の目的で、手動では困難な、あるいは不可能な制御を自動的にこなすために、最近、自動制御の方式が発電用水路においても用いられるようになってきた。この自動制御の形式は、目標値の性質にもとづいて、次のように分類されている。

定値制御 — 目標値が一定の場合

追値制御 — 目標値が変動する場合

- プログラム制御 — 目標値が予め定められた時間的変化をする場合
- 追従制御 — 目標値が任意の時間的変化をする場合

これ等の制御方式のうち、定値制御の研究結果はすでに発表したが¹⁾²⁾、その後、追値制御の実験も成功したので、両者をまとめて、その考え方と実験結果の例を示す。

2 定値制御の一例

図-1に示すように、A、B両発電所が、中間の連絡水槽を挟んで、上流側に無圧トンネル、下流側に圧力トンネル、サージタンクを以て繋がっている場合で、連絡水槽の水位を越流天端に保ちながら運転する方法を考察した。図-2は、この水理系と制御系を結合したブロック線図であるが、この定値制御は、図中に示したA、B両発電所の水車ガバナー連動制御装置による連動を基本とし、これに連絡水槽水位の偏差量を検出して行なう、比例積分(PI)制御で補正し、円滑な連携運転を行ない、速やかに安定した定常状態へと移行させる

ことができた。

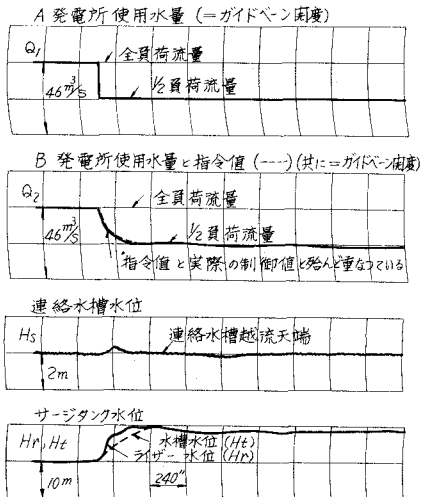


図-3 定値制御実験結果

(全負荷 → 1/2 負荷)

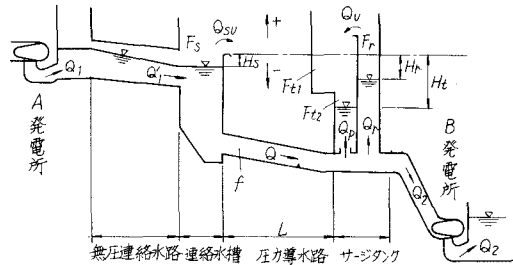


図-1 定値制御の水理系説明図

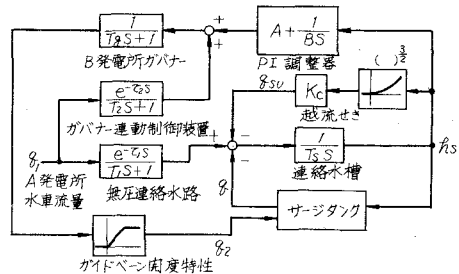


図-2 定値制御例のブロック線図

図-8は、この制御動作の実験結果を示す。なお、この制御方式による装置は、実際に採用され運転されている。

3 追値制御の一例

図-4に示したのは、水路式発電所で、2個所の取水口から、それぞれ無圧トンネルで導水し、Y形の合流池で合流後、主無圧トンネルにより発電所に導水する場合である。

K_1 取水口は取水えん堤で、河川の自分流を取水するため、細かいコントロールは行なわれないが、河川状況により流量の変動が起りうる。 K_2 取水口部は、ダム式に改造され、このダムからは、別に圧力トンネルで下流新設発電所へも導水し、日調整を行なうため、水位は、毎日利用水深の分だけ変動する。したがって、この発電所の運転に必要な水量を取水するためには、 K_2 取水口から、ゲートにより細かくコントロールして取水しなければならない。さらに、この発電所の負荷が変わっても、また、 K_1 取水口の取水量が変化した場合でも、発電所の使用水量が K_1 導水路からの取水量で不足する分を、 K_2 取水口の調節ゲートにより速やかに制御して取水しなければならない。

なお、発電所が停止して、調整池水位が低い場合は、Aゲートを閉めて、 K_1 取水口から調整池へ注水することができるようにになっている。ただし、このAゲートは、単に全開または全閉動作を行なうのみで、調整池が満水位であれば合流池で越流し、余水を放流するようになっている。また、この発電所は水路式であるため、レベルガバナ運転を行なう。したがって、Aゲートが開いている限り、通常は少なくとも、 K_1 取水口からの取水量の分だけは発電することになる。

この水路系における制御の方法は次の通りである。すなわち、発電所の出力（あるいは使用水量）に対応する主水路内の水位は、ある一定の水位になるから、これを合流池の主水路入口部の水位として求め、図-5の関数発生器に設定しておく。発電所の運転のスケジュールが与えられ、ある出力が要求されれば、この関数発生器にその出力の値を与えることにより、所定の合流池基準水位がえられる。合流池の実際の水位を、この基準水位に追従させるべく、合流池に設置した水位計による検出水位と基準水位とを比較し、その差をもとに図-5中のPI調整器が演算を行ない、調節ゲートに制御指令値を与える。この指令値によりゲートが開閉し、取水量に変化を与え、合流池の水位を所定の水位に近づける。合流池水位が所定の水位になるにつれて、主導水路内流量も、やがて発電所の所要水量と等しくなり、その流量が上水槽に達すれば、レベルガバナが動作して、所要の使用水量、所要の出力となる。

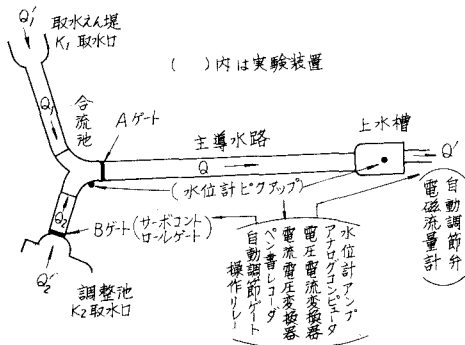


図-4 追値制御水理系と実験装置の配置図

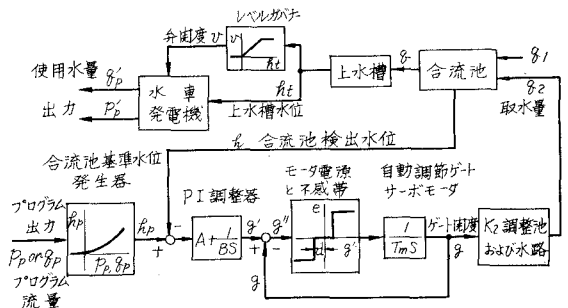
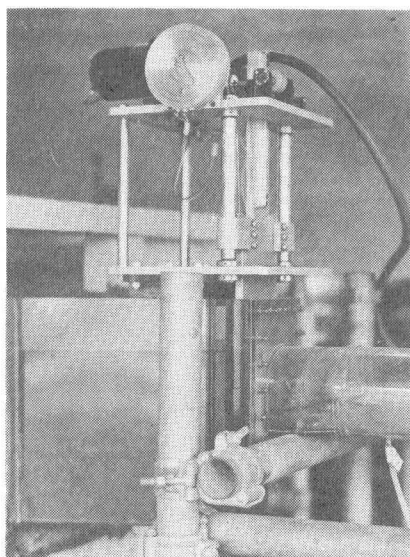


図-5 追値制御例のブロック線図

4 実験装置と実験結果の一例

上記水路系の実験に用いた自動制御装置を写真-1～4に示す。写真-1は、 K_2 取水口部のサーボコントロール（自動調節）ゲート，写真-2はY型合流池と水位検出部，写真-3は上水槽，電磁流量計，自動調節弁である。合流池と上水槽に，電気抵抗式水位計検出部を設置し，写真-4の水位計増巾器によりえられる検出電圧を，全トランジスタ式アナログコンピュータに与える。このアナコンに，各種変化量を電圧に変換して与えれば，加減算，係数倍，積分等の演算処理を行なうことができ，その出力電圧を，制御装置や記録器に与える。また，このアナコンで，関数発生器，PI調整器の回路も設定することができるので，発電所の運転プログラムを与えれば，水理実験模型と時間縮尺を合せて



設定することにより，オンラインに動作させて，写真-1 取水口部とサーボコントロールゲート，自動調節弁を動かし，自動制御を行なうことができる。

サーボコントロールゲートは，サーボモータと，ラック，ピニオンにより自動的にゲートの開閉を行なう。開閉動作は，アナコンの出力電圧（直流）の符号，大きさにより決り，特殊なりレーを用いて開閉の符号を判別する。開閉速度は，スライダックにより調節することができる。

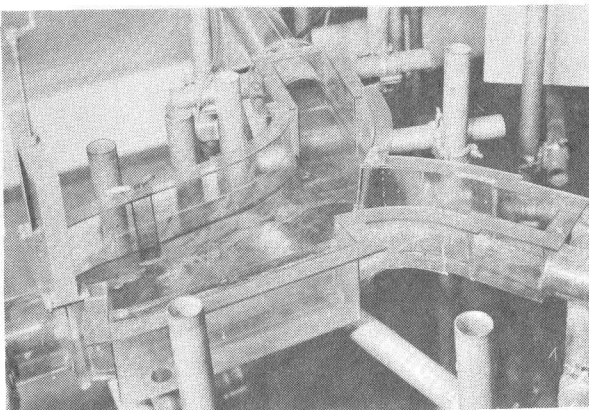


写真-2 合流池水槽と水位検出部

自動調節弁は，圧縮空気により動作し，アナコン出力電圧を電流に変換して与えれば，電空ポジショナーにより開度が設定され，連動した複座リニアインナー弁が上下して流量を調節する。この流量は，電磁流量計により検出し，レコーダにより記録することができる。

この一連の自動制御装置を製作して実験を行ない，予め理論的に求めたPI調整器の比例係数A，積分時定数B(sec)の概略値を実験的に裏付けし，その最適値を求め，さらに実際運転に必要な事項を実験的に求めた。

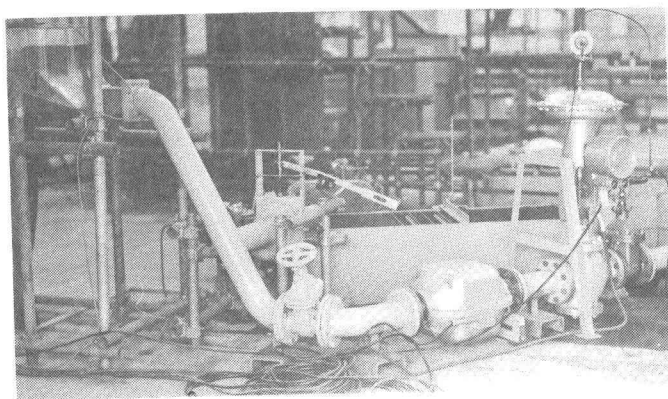


写真-3 上水槽，電磁流量計，自動調節弁

図-6は、この追値制御の実験結果例である。出力のプログラムが、 $1/2$ 負荷 → 全負荷 → $1/2$ 負荷で与えられれば、その出力に相当する合流池水位 が与えられ、その値と合流池水位との偏差を検出してP I調整器が働き、自動調節ゲートに指令値を与える。この指令値に従うように自動調節ゲートが動けば、合流池水位、上水槽水位、水車使用水量もそれぞれ変化し、 $1/2$ 負荷 → 全負荷 → $1/2$ 負荷の状態になることがわかる。

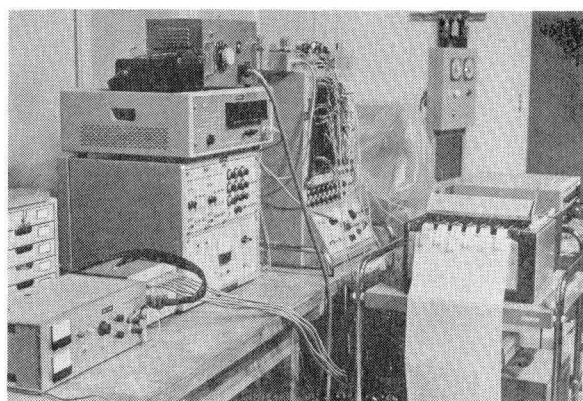


写真-4 トランジスタ式アナコン，記録器等

このアイデアによる装置も、実際の発電所に応用されて最近完成し、現場試験結果も極めて良好で、支障なく運転されている。

5 結 言

以上、発電用水路において自動制御を応用し実験的に検討した例を述べた。

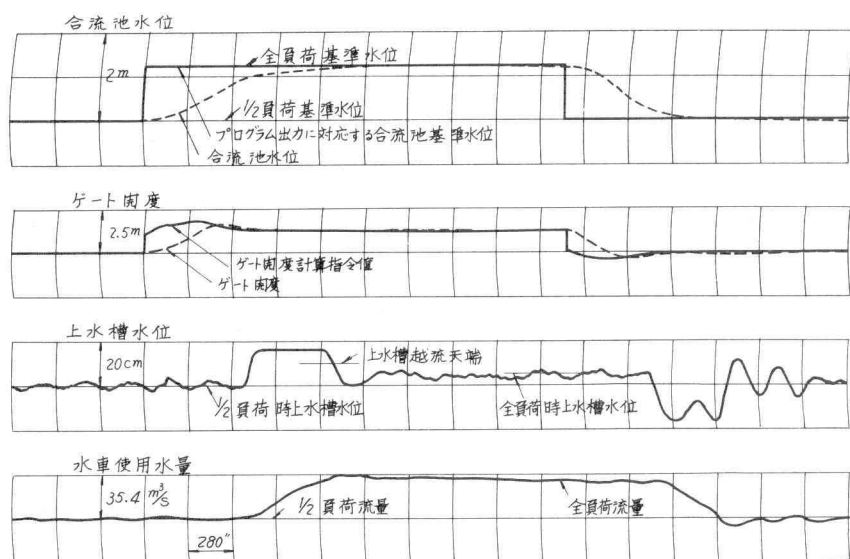


図-6 追値制御実験結果 ($1/2$ 負荷 → 全負荷 → $1/2$ 負荷)

これらはかなり複雑な水路系における自動制御の例であるが、簡単な応用面は随所に求めることができる。そして、一般に、水路系においては、比例・積分制御が有用であると思われる。

現在は、さらに複雑でかつ考慮すべき要素が多い場合について検討を行なっているが、今後現場の設備、あるいは実験室内の装置に応用面が広いと考えられる。

- 註 1) 千秋，是枝 : 2 発電所間の連絡水槽水位調整運転に対するコンピュータの応用
第8回 水理講演会講演集 1963. 10.
- 2) 千秋，是枝 : 2 発電所間の連絡水位調整運転に関する水理解析 - 続報 -
第19回 年次学術講演会講演概要 1964. 5.