

京都大学工学部 石原 藤次郎

同 岩佐 義朗

1. まえがき

現代におけるすべての生産過程は、その全体の系列におけるそれぞれの過程を組織・管理化し、生産に伴なりすべての要素の最適化を目標とするいわゆるオートメーション化に向いつつある。こうした生産過程の最終的目標に対する再編成化において、その最も中核をなす制御工学は現代の新しい科学として目覚ましい進展をとげ、とくにプロセス制御、情報の組織管理および計測技術の近代化という点が全くその趣きをかえるようになった。われわれ水工学における技術者も、このような時代のすう勢に対処し、各種の水工学の分野とくに水利用の立場から上述の各種の制御工学的知識を利用するようになってきたが、まだまだ完全に利用者としての立場に立ってそれらの知識および技術を生かすに至っていない。もちろん、情報の管理制御については古くより経験的に解析がすすめられ、とくに洪水予報に関連して多くの成果があった。また近年に至り、OR的手法やデジタル型計算機の導入によって、これらは相当な程度まで進展されるようになった。しかし、制御工学の中心であるプロセス制御、とくにそれが開水路に応用されるような問題は全く今後におけるものといわなければならない。これは水工計画事業の基礎となる水理学の理論とも関連をもつものと思われるが、現実のところ将来の問題として残されたものとみるべきである。

著者らも、こうした自動制御を応用して水理実験がより効率よく、より精度高く行なわれるようにここ数年間努めてきたが、ここではこれらの実験より明らかにされた若干の問題点を提示し、今後この種の制御を応用しようとする技術者諸氏の参考に供したいと思う。

2. 水理実験室における流量制御

水工学は水資源の総合的管理・利用に関する工学であり、それぞれの目的に応じて必要な性質の水を必要かつ十分な量だけ管理・利用することであるから、水工学における自動制御もその性質上量的制御と質的制御とにわけられる。現在のところ、PHやBODなどの水の性質に関する制御はまだまだ未解決のものが多く、実用に供せられるものは前者の流量、水位、圧力などの制御である。とくに、水理実験から大規模な水工事業に至るまで、われわれの対象とする水理量は流量を基本とすることが多いから、量的制御の中核は流量制御であるといえよう。ところが、こうした流量制御も、その規模からいって大は洪水調節池における余水処理にともなり問題から小は水理実験室におけるものまできわめて広範囲にわたり、またその制御系における目標値の形式によって、目標値を一定とする定値制御および目標値が時間的变化に対応して変化するプログラム制御、比率制御よりなる追値制御とにわけられる。

水理実験室における流量制御は、もちろん一般の水工事業あるいは各種生産施設におけるそれとな

んら変わるところはないが、その目的とする実験計画あるいは規模によって独自の特殊性を考えなければならない。

開水路における水理実験は、その流れの状態より

(1) 水理学的基礎問題に関連する各種の水理要素の実験的解明に寄与する定常等流状態の基礎実験

(2) 特定のモデルあるいは水理横型実験において、各種の水理学的特性の解明あるいは水理構造物の機能設計に貢献する定常不等流の基礎および応用実験

(3) 洪水・サージなどの非定常流れの解析に関する基礎および応用実験

などに細分される。したがって、流れの状態は定常等流から不定流に至るすべての範囲のものであるから、制御方式としては定値ならびに追値制御を行なうものでなければならない。また、水理実験室においてそれぞれの実験に用いられる流量は数 $l/sec \sim$ 数 m^3/sec の範囲であると考えられるから、流量検出機構としては一般に用いられるオリフィス、ノズル、ベンチュリー管による差圧式、フロートの重量を利用した面積式、調節構造物としてのせきを用いたせき式、あるいは容量式、電磁流量計式がそのまま利用されよう。

むしろ、上述の特殊性はつきのようなものであるといえる。すなわち、われわれが自動制御装置を応用して流量を制御するのはあくまで利用するためであつて、本来の目的は水理実験がより精度高く、かつより効率よく行なわれるためである。したがって、実験水路における試験区間内の流れが完全に理解され、当初に意図した流れがそのままの状態再現されていなければならない。これはプロセス制御の最終目標であるオートメーションの目的の一つに外ならないが、実際には流量は正しく制御されていても、水深、流速などその他の水理量についてはしばしばひずみがおこる恐れもありうるからである。いま一つの問題として、制御量(流量)の検出にともなう水理学的問題である。化学工業などにあらわれる制御工学的問題としては、自動制御系の構成要素である検出部と操作部との間の時間のおくれなどが取り上げられるが、水理実験においてはこれは無視される程度のもものとみなせることが多い。問題はむしろ操作部と検出部、あるいは試験区間との間におけるプロセス内の流れのひずみあるいは時間的なおくれである。このことは、開水路における実験、とくにそれがサージや洪水などを対象とした追値制御のときに十分考慮しなければならない。

以上に述べたことから、水理実験室において流量制御を利用するにあたってはつきのような要件を備えていなければならない。

(1) 制御装置の安定性

(2) プログラム制御などの追値制御を対象とするとき、操作部と検出部のプロセス内における位置を全体の系列を理解して最適となるように定めること。
などがあげられよう。

3. 流量調節装置の一例

水理実験室における流量調節装置の一例として図示したものが図-1である。これは京都大学工学研究所水理実験室に設備されたものである。この装置を計画するにあたって、上記の諸点は十分に解明されていなかつたし、またむしろ実際に運転を行ない種々の水理実験を行なって体験することがで

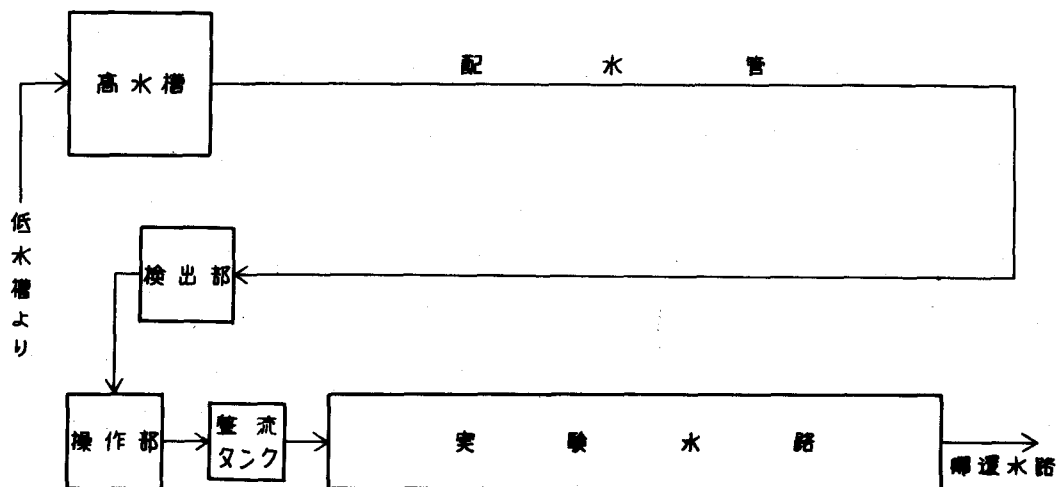


図-1 流量制御装置を備えた実験水路

きたことが多く、現在において必ずしも推奨すべきものではないが、何らかの参考になるものと思われる。

この流量制御系を備えた実務水路で行なり予定の水力実験は

- (1) 粗度係数の測定、平均流速公式の解明など定常等流状態における諸水力要素の実験的解析
- (2) 損越流機構、底格子柵による分水機構などのように流量が場所的に変化する定常流の水理学的特性の解析およびその水工学的応用の研究

- (3) 洪水・サージなどの不定流の実験的研究

という多種のものであるとした。

したがって、流量供給系統として、主管水路と6本の副管水路から成り立っている。主管系統における制御流量は $0 \sim 60 \text{ l/sec}$ であり、副管系統ではそれぞれ $0 \sim 10 \text{ l/sec}$ である。これらの両系統における制御装置はいずれも同様であって、以下主管系におけるものを示そう。図-1に示すように高水槽より流出する水は配水管を経て流量検出部であるオリフィスに至る。ついで、操作部としての調節弁に達し、整流タンクへ経て実験水路に導かれる。一般に、制御装置では検出部が出力側に、また操作部が入力側に設置されるのが普通であるが、当水力実験室においては、他の諸設備との関係上検出部を出力側に設置して所要の精度のうるることが不可能であるため、やむをえず逆に配置した。操作端の制御方式として、空気式、油圧式、電気式、およびこれらの2つあるいは3つのものを組み合わせたものが考えられる。これらの各方式はそれぞれ長所および短所をもち、一概に決定することはできない。水力実験における流量制御では、動作が正確、信号のおくれが少ないこと、および操作部におけるかなりの出力が必要であるといった条件から、電空式のものを用い、操作部だけは空気式となっている。

流量検出装置は、自動制御装置を利用するものとしてのみならず水理技術者としてのわれわれが最も関心をよせるべきものである。食品化学工業、石油化学工業などにおけるように、制御装置を定値制御として利用する場合は比較的簡単に扱われるが、水理実験のように定値のみならず追値制御として利用するとき、とくに開水路水理実験のように、実験区間で所期の制御された流量をうるためには、検出方法および検出部の位置などが実験の性格に大きく影響する。すなわち、流量制御を必要とする水理実験では、操作部から実験水路に至るプロセスにおける過程の流れに関する力学的挙動が完全に理解されて、はじめて検出部の位置および方法も確立されるわけである。しかし実際には、このプロセスの力学的挙動を満足するような制御機構をもつことはなかなかむずかしいから、とりあえず既存の検出装置を利用し、検出部における制御量と実験区間におけるそれとの時間的・場所的なひずみはあらかじめ水理計算と実験によるその検定法を利用し、実験区間において必要な流量—時間曲線をうるためには、プログラム設定器におけるプログラムをひずませることによって代用した。こうした目的のために設置したものが整流タンクであり、種々の改良を行なった。これを利用して、上述した実験区間における期待流量に先立つ補正流量—時間曲線をプログラムに組み入れている。

流量検出方法としては、制御工学上の分類として（水理的にみて不相当と思われるが）現在用いられるものにつぎの各種のものがある。1) 差圧式、2) 面積式、3) せき式、4) 容積式、5) 電磁式、6) 熱量式¹⁾などである。われわれの実験が定常流から不正流まで、すなわち定値から追値制御のものまでを含み、またその時間的変化も比較的大きいから管路によるものとし、また使用流量の範囲から差圧式のなかでオリフィスによるものを用いた。差圧式には、オリフィスの他にノズル、ベンチュリー管あるいは曲管部における遠心力による差圧検出法などのものがあるが、実験室においてはこうした装置による損失水頭は問題としないことが多いから、理論的にはともかく少なくとも経験的には十分な精度で行なわれるのがオリフィスである。しかし、その目的および流量によってはベンチュリー管が有効なことも多い。

以上に示す流量制御装置を用いて実際に運転を行なった結果によれば、定値制御においては良好な結果がえられるが、不定流実験におけるように追値制御を行なうとき、流量はかならずしもうまく制御されないことがある。とくに制御すべき流量の範囲が大きいとき、低流量部、なかんずく0流量の近傍では不都合となる。

4. 実験水路流入部における入力・出力流量曲線の応答

われわれの使用した流量制御装置は管路において設置し、一方実験は開水路におけるものを対象としている。このための最適方法は別として、とりあえず上述のような補正を行なうことによって実験区間で期待流量—時間曲線をうることにした。したがって、入力・出力流量曲線の応答を明確にしてこの装置を有効に利用しなければならない。この応答に関する近似計算法について、著者らは理論的および実験的に検討をすすめ、すでに昭和37年度土木学会関西支部年次学術講演会²⁾において発表した。

5. 流量制御装置の安定性

定常流実験における定値制御の場合に生ずる制御偏差は一般に小さく、しかもこれは実験精度に関係しない程度の時間内に消去されるが、不定流実験におけるプログラム制御の場合には、制御偏差が常にあらわれ、またその程度も定値制御の場合に較べてはるかに大きい。この偏差を消すために制御感度を高めるが、これにより不安定なハンテイングがおこる。この問題およびその対策については、定常流および不定流について実験的に種々の検討をすすめ、すでに昭和38年度土木学会年次学術講演会³⁾において発表した。

6. 不定流実験の一例

以上に示した諸特性をもつ流量制御装置を用いた水理実験の一例として、実験水路内における不定流の挙動を調べた。実験水路は幅0.5m、長さ15m、高さ0.3mの三面プラスチック張り水路で、水路底こう配は任意に変えられる。実験洪水は流入点より2m下流の基準点で $Q(\text{m}^3/\text{sec})=50 \times \sin(\pi/12)t$ という正流波洪水である。洪水の伝播と変形を調べるため、基準点より10m下流に測点を設け、これらの2点で電気抵抗式水位計により水位を実測した。もちろんプログラム設定器には基準点で上述の制御流量がえられるようあらかじめ補正している。図-2はこの実験による水位—時間曲線を示したものである。水位と流量との関係はあらかじめキャリブレーションを行なって置いている。図において計算水位曲線は不定流の式より擬似定流として計算したものを表わしている。この図よりわか

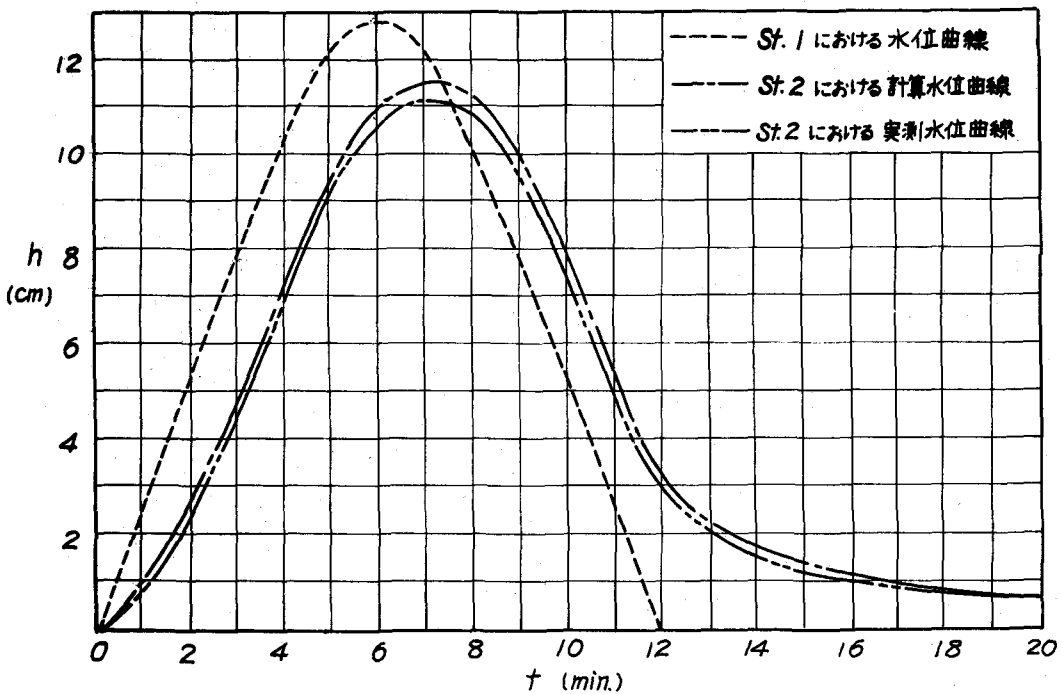


図-2 不定流実験の一例

るように、われわれの用いている流量制御装置は現在のところ種々問題点をもっているにもかかわらず、比較的好ましい結果をうることができるように思われる。もちろん、下流側測点における理論曲線と実測曲線との誤差には、プログラム設定器に挿入するカーボン紙記入によるもの、理論曲線が近似解であること、実験水路がこの種の実験を行なうために十分な長さをもっていないことなどを考慮すれば実用上良好なものと推定される。しかし、水理学的基礎研究のためにはなお改善すべきところが多くあることはいうまでもない。

7. あとがき

ここでは、京都大学工学研究所水理実験室において設置された流量制御装置の概要とその問題点、また不定流実験の一例を示して参考に供した。正直にいて、われわれの自動制御に対する認識の不足から当初の計画に較べて実状は決して良好なものといえることができなからう。しかし、少なくともわれわれがこれらの新しい装置を利用するに当たるとるべき態度について若干の知識ないしは問題点またさらに利用者としての水理技術者が単に利用者の域にとどまらず、制御工学における水理学的研究課題をうることができたと考えている。今後さらに実験を重ねることによって、われわれの疑問とする点を解決し、こうした装置をより効果的に利用する方法を明らかにしたいと考えている。

参 考 文 献

- 1) 石原藤次郎、岩佐義朗 : 水利用に伴なり自動制御とその問題点、用水と廃水、昭和38年9月号、産業用水調査会、昭38・9
- 2) 石原藤次郎、岩佐義朗、洪 承延 : 水理実験における自動制御装置の応用(開水路流入部における入力・出力曲線の応答について)昭和37年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要、土木学会関西支部、昭和37・11