

II-10 石狩水理実験場施設概要について

北海道開発局土木試験所 正会員 ○牧野 成雄

久米 洋三

吉岡 敏治

まえがき

土木試験所河川研究室では、昭和51年度から石狩水理実験場の整備に着手し、現在ほぼ第1期工事が終了し昭和53年度から石狩川河口附近の模型実験を行っている。そこで実験場の施設について報告するものである。

当実験場は、石狩町字生振10線北4号地先、石狩川の河口より10km附近の右岸堤防に接し、面積は約37haである。

1 水理模型実験の意義と大型実験場の必要性

河川流の研究手段としては、理論的研究、現地観測による研究、数値解析的研究、水理模型実験がある。これらの手段は相互依存の関係にあり、単独の手段で解決出来る問題は少ないと考えられるが、ここに水理模型実験の特質を記述してみると、

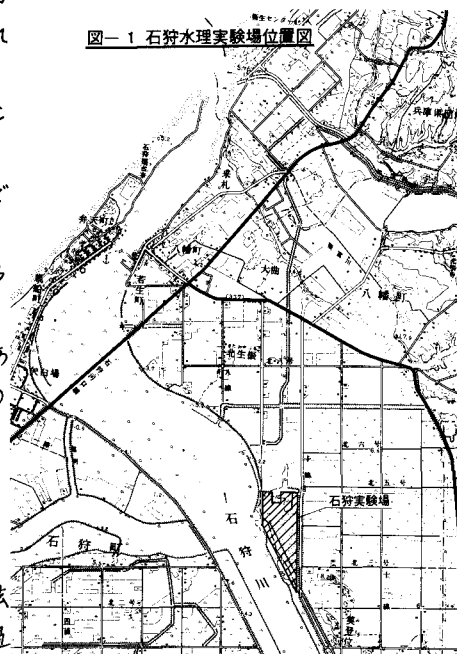
- (i) 模型内の現象を実際に確かめ、複雑な現象の理解を深めることができる。
 - (ii) 諸種の因子間の因果関係を知るきっかけとなり、他の手段では解決できない複雑な現象でも実際に解ける。
 - (iii) 複雑な境界条件でも比較的容易に作ることができ、経験する機会の少ない大洪水の流れを観察できる。
 - (iv) 3次元流れの現象、あるいは流れと河床とが相互に影響しあう現象など数値解析で取り扱うことが困難な現状にある問題の研究ができる。
 - (v) 現地で反覆して起り難い現象を繰り返し再現し研究できる。
- などがあげられる。

河川工学における理論の多くは、経験と観察の集積から自然現象における因果関係を整理分類し、物理学、数学の知識・手法を取り入れて体系化され、理論が形成されたものであり、この過程で単純化され、更には必要に応じ単純化した仮定の成り立つ範囲で近似化されているものもあり、その妥当性を持つ範囲は限定されている。

水理模型実験は、理論の正当性・適用性を確かめるため、あるいは新たな法則性を発見するための基礎実験と、現状の理論では解析が困難な実際的な問題解決の手段として、あるいは理論の不足を補う手段としての応用実験とでも言うべきものとして行われており、ここにおける経験と観察の追加集積は新たな理論の形成、更には理論の発展に大きな意義を有している。

しかし、全ての水理現象を模型上に再現することは相似律により不可能であり、一般に目的に応じて犠牲となる因子が定められる。この意味において水理模型実験にも限界があり、万能ではない。相似律における問題点は、重力から定まるフルードの相似律と、粘性力から定まるレイノルズの相似律において相反する縮尺比を要求する

図-1 石狩水理実験場位置図



ところにある。この問題は小縮尺模型においては深刻である。この対策として一方の力を他方の力に対して相対的に小さく無視できる程度に幾何学的相似比を定めることで模型が設計されるが、平面的広さに制限がある場合は、垂直縮尺のみを大きくした歪模型で対処する方法がとられる。しかし、模型を歪めることは、幾何学的相似運動学的相似を崩すことになり、流速分布の状態が異なり、弯曲での流れや河床変動のパターンに顕著な影響を与える。重力場、模型流体を自由に選択できれば、理論上フルードおよびレイノルズの相似律を同時に満足させることができることになるが、現実的に不可能であり、したがって、無歪、大縮尺模型の可能な広い面積を有する実験場の必要性が高い。なお、移動床実験においては、模型用河床材料の粒径を自由に選定し入手することが困難であり、この面から大縮尺模型が要求される場合が多い。

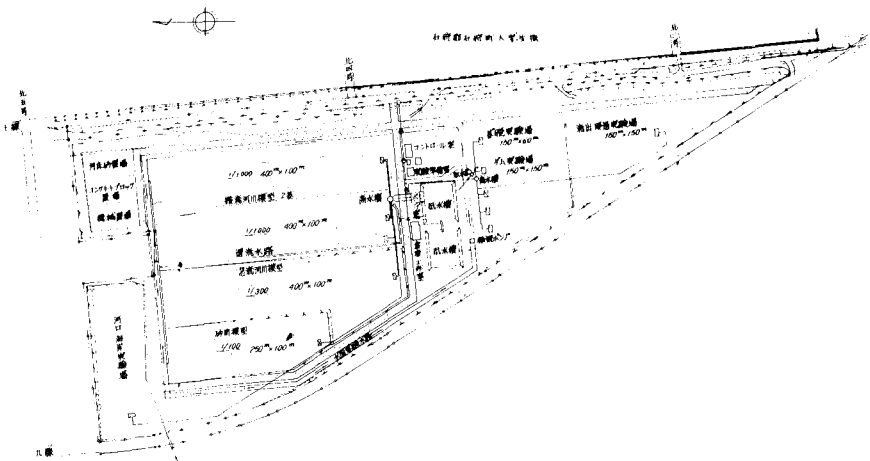
一方、河川の流れは局部的現象とし検討するだけでは不充分であり、広範囲の諸現象を総合的にとらえた検討が必要であり、また改修実施後の追跡実験のため模型を当分の間存置する必要がある場合も考えられる。更には、多様化する河川事業から派生する諸問題解明のために、新しいタイプの実験施設の導入が必要となろう。

このような背景から大型実験場の計画が検討され、石狩水理実験場が機能するに至ったものであり、今後は従来における制約から解放され、各種の要請に対し高い精度で答えられることが期待されるものである。

2 実験場の全体計画

敷地内の全体計画は、図-2に示す通りである。このうち線流河川実験場の1面に石狩川下流部(河口から15km間を縮尺1/50の固定床)の模型実験を行っている。

図-2 石狩水理実験場全体計画平面図



3 第1期工事について

(1) 概要

昭和51年より現在まで整備した施設は、図-3と表-1に示す。低水槽に貯留している水は、ポンプで汲み揚げ高架水槽に入る。高架水槽では余水を溢流させ水頭を一定に保ち、底部に取りつけてある給水パイプを通じ流量制御装置を通過して、所定の制御を行っている。次に減勢池に入り高速流は減速し、模型に流入する。その後、環流水路を経由し、低水槽に戻り循環する。このシステムの概要を図-4に示す。

表-1 第1期施設整備諸元

施設名	規格	数量	寸法	備考
実験用橋梁	アルミ	1棟	52 M ²	
計測室	木造 2階	1棟	15.6 M ²	
水工室	木造	1棟	14.3 M ²	
ポンプ室	鉄骨	1棟	89 M ²	2階計画 215 M ²
低水槽	鋼製	1基	50 M × 60 M × 2.5 M	7 尺
給水ポンプ	電動	1台	7.5 KW 電圧 12 V	1000 回転
高架水槽	鋼製	1基	6.0 M × 6.0 M × 2.0 M	2 尺
環流水路	コンクリート	1基	5.0 M × 2.0 M × 1 M	1,400 M
減勢池	コンクリート	1基	1.0 M × 1.0 M	3,000 M
減勢池	コンクリート	1基	0.5 M × 0.5 M	3,000 M
減勢池	コンクリート	1基	0.5 M × 0.5 M	4,000 M
計測制御装置	1式	1式		

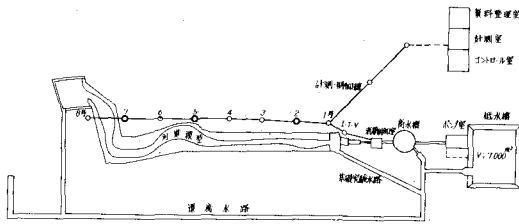


図-3 実験施設平面図

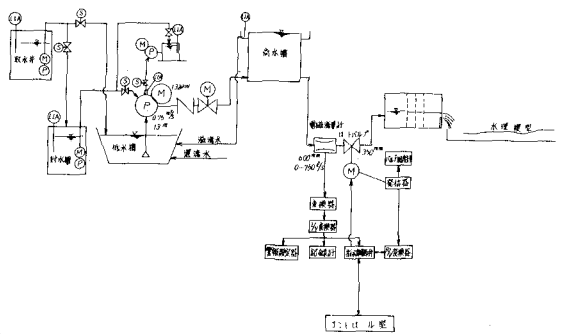


図-4 流量制御システム図

(2) 流量制御システム

高架水槽から自然流下により流量制御装置を経て模型水路に給水されるシステムは、次のようになっている。

計測制御装置の指示により最大流量（750 g/s ）までのハイドログラフの変化を最小60分間で運転可能としている。流量の設定は、電磁流量計により流量を検出し、制御バルブで流量を制御する一連の動作を全自動で行う方法を採用している。特に電磁流量計の精度と制御バルブの開閉度による流量制御特性がこの実験装置を左右する機器となるため、以下に示す仕様の範囲とした。

(a) 電磁流量計

精度：発信量 $\pm 1.0\%$ （測定範囲 1.0 ～ 10.0 m/s ）
 $\pm 1.5\%$ （ ϕ 0.3 ～ 1.0 m/s ）

指示調節計 0.5% 以下

また、電磁流量計の精度を上げるため、2レンジ切替方式とし測定流量を低レンジ側を0～200 g/s 、高レンジ側を200～750 g/s に設定している。

(b) 制御バルブ

制御バルブは、電磁流量計からの流量信号を受けて自動的に開閉動作を行い、吐水管の流量を所定量に制御するもので、流量調節に優れ、キャビテーションも発生しない構造で、開閉度と流量の追従性の良いロート弁を採用している。ロート弁の口径は、電磁流量計の精度上の関連もあり350 mm とし、駆動は電動により断続・連続運転可能な特性を有している。

4 計測制御装置

(1) 概要

これまでに記述した当実験場施設の中核として機能するのが、「計測制御装置」である。スーパーミニコンT.O.S.B.A.C.シリーズ7/40を中心に構成し、実験施設の効率的な運用と実験結果の記憶・集計・解析に供される。

計測制御装置の構成は、図-5に示すように次の4つの主要な部分からなっている。

- 流量計・水位計等の各種検出器からの信号と、気象計測装置からの信号を受け取るプロセス入出力装置。
- 実験の種類に応じて、流量、水位などのパラメータ設定、実験の開始・中断・終了、作図・作表指示、実験状況を表示する等システムとの対話を行うオペレーターコンソール。

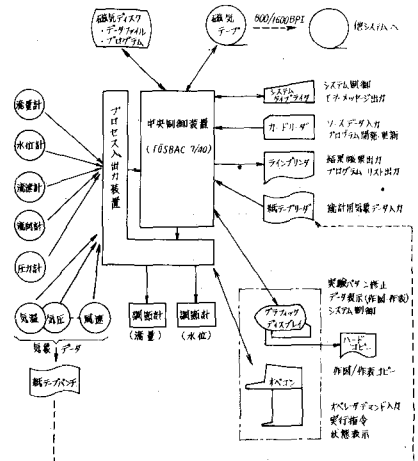


図-5 システム概要

(iii) 処理結果を帳表形式で出力するためのラインプリンター、図表で表示するためのグラフィックディスプレイ装置。

(iv) 多量の実験データを蓄積するための磁気ディスク装置、磁気テープ装置。

より構成され、これらの機能が現在行っている石狩川下流程度の水理模型実験なら3ヶ所同時に実施し管理出来るようになっている。

(2) システムの設計構想と特長

本システムは、次のような設計構想に基づいている。

(i) コストパフォーマンスの優れたシステム

リアルタイムコントロールを主たる業務とするため高速での演算処理、計測・監視を行う必要がある。このため、中央制御装置として、32ビットのメモリーバスを有し、固定小数点加減算で $0.36\mu\text{sec}$ 、乗算 $4.32\mu\text{sec}$ 、除算 $7.2\mu\text{sec}$ 、基本命令133種という高速演算機能を持つミニコンを選定した。その結果この機種には、高速浮動小数点演算ハードウェアが付加されているため倍精度(64ビット)の浮動小数点演算が可能となっている。

(ii) 操作性の優れたシステム

本システムは、計測・制御の円滑化を図るため、研究者の指示を本装置に対して容易に行えるようなマンマシンインターフェイスを備えている。実験パターンの表示、修正、収集データのトレンド表示、デジタル表示用として、19インチグラフィックディスプレイを設置している。また、表示画面の永久保存のためハードコピーも備えている。そして、オペレーターからの指令操作入力、各種データの設定および常時表示が必要のある計測データ、システムの異常表示を行うためのオペレーターコンソールを設けている。

(iii) 拡張性のあるシステム

実験設備の拡張、機能アップ、他システムとのオンライン結合など将来の拡張には色々と考えられるが、本システムでは中央制御装置を初めとし、周辺装置の増設、プロセス入力装置の点数の増加、データファイル用ディスクの増設、オンラインインターフェイスの追加など各種の拡張要求にもミニコンの特長であるモジュール構造をいかして柔軟に対処することが可能である。

(iv) ソフトウェアの開発・更新が容易なシステム

本システムのソフトウェアは、実験の進捗状況に応じて更新が行われるとともに、新たなプログラムの開発もあわせて行うことが可能である。

従って、オンラインリアルタイムオペレーティングシステムは、リアルタイム処理を行いながら、そのバックグラウンドで(リアルタイムの空き時間を利用して)新たなプログラムの開発(コンパイル・アセンブル、デバッグ、テストランニング)を行うことが可能である。

(3) 計測機器との接続

実験結果(水位縦横断面・流速分布図など)を作成するにあたっては、50断面×15～180点/断面＝750～9,000点のように多くの計測が必要となる。しかし、同時に測定しようとする装置費用が膨大となるばかりでなく、計測器のセット方法などにも問題がでてくる。そこで、本システムでは、表-2の接続計測機器数を想定し、中継端子盤をいれて、図-6のように中央処理装置と接続している。

また、図-6に示した中央制御機器と現地の接続は、保守管理の面より架空ケーブル方式を採用した。

表-2 接続計測機器

名 称	最大接続台数	現場接続数	備 考
流量制御装置	12台	1台	0～7504/s
下流側水位調節装置	3台	0台	
計測器			
・流速計	50台	20台	0～2 m/s
・差圧計	50台	1台	
・水位計	50台	1台	
・圧力計	50台	0台	
気象観測装置	1式	1式	

(4) ソフトウェア

本システムの応用ソフトウェアは、前述のように可能な限り開発・修正の容易な構造としている。

(i) 基本ソフトウェア

本システムに適用するオペレーティングシステムは、実験設備のリアルタイム処理を行うリアルタイムシステムとそのバックグラウンドで新たなプログラムの開発を行うことのできるフリータイムシステムより構成され、その基本ソフトウェアの構成は図-7に示す通りである。

(ii) 応用ソフトウェア

応用ソフトウェアによる処理対象は、河川流に関する実験についてのものであり、将来のダム・海岸実験については今後追加していく予定である。

応用ソフトウェアの構成

- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| (a) 実験開始・実行・終了・処理 | オンライン
リアルタイム
処理 |
| (b) 実験パターン作成処理 | |
| (c) 計測制御処理 | |
| (d) オペレーターコンソールへの表示処理 | |
| (e) データ補正処理 | |
| (f) MT収録処理 | |
| (g) 作図・作表処理 | |
| (h) 気象データ処理 | バッチ処理 |

図-8に応用ソフトウェアの関連図を示す。

応用ソフトウェアの処理対象外として計測制御機による処理に入る前には、綿密な実験計画立案が行われ、実験手順、模型河川を含めた実験設備の整備が行われるのにおよぼす、揚水ポンプの起動、各種計測器のセットなど、計測制御装置の対象とならないものの事前準備が必要である。

最終的に実験パターンを設定実行し、その結果を作図、作表するようになっているが、グラフィックディスプレイ・ラインプリンターによりそれぞれ表示するが作成したものを表-3に示す。

また、気象データについては統合気象盤により紙テープに結果をせん孔し、オフラインにより統計処理されるようになっているが実験中の気象データはオンラインで採取、記録されるようになっている。

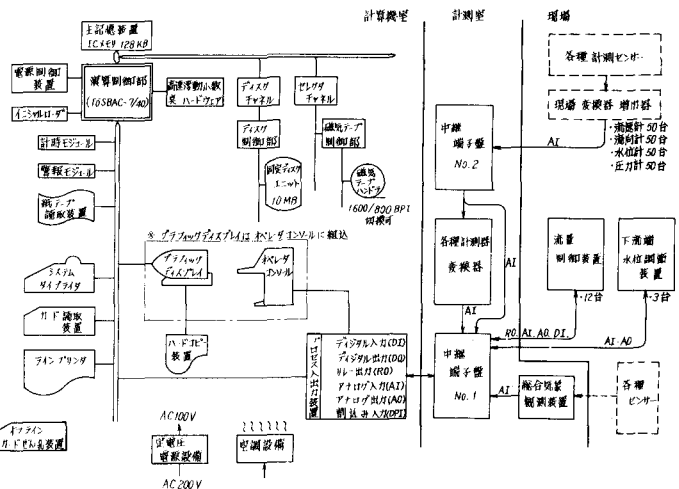


図-6 計測制御装置システム構成図

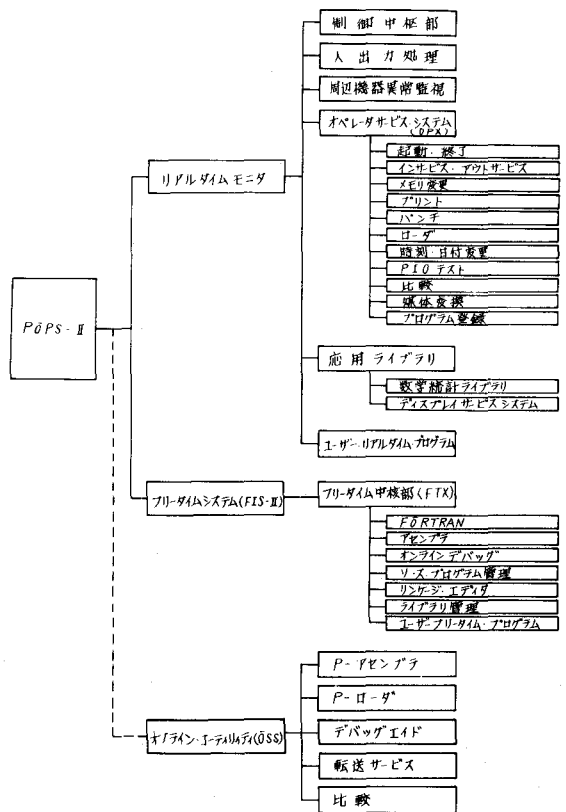


図-7 基本ソフトウェア構成図

表-3 作図・作表一覧表

種 別	グラフィックディスプレイ	作 図	作 表	ラインプリンタ
ハイドログラフ	/			
水位観断面図	/			
長面流速分布図	/			
ハイドログラフ 数値表示		/	/	/
水位観断面図 数値表示		/	/	/
長面流速分布図 数値表示		/	/	/
設定流量・実流量表			/	/
設定水位・測定水位表			/	/
流速測定表			/	/
流速ベクトル測定表			/	/
下流観断面水位表			/	/
横断水位表			/	/
圧力測定表			/	/
気象観測表			/	/

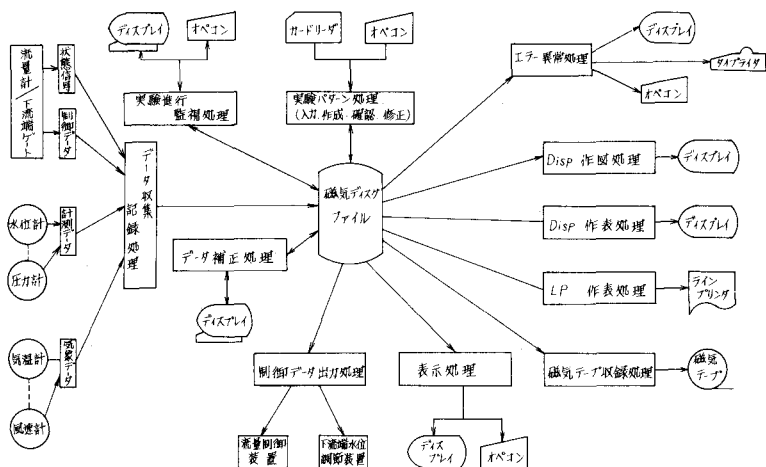


図-8 オンラインリアルタイム処理

(5) その他

実験場と制御室が離れているため、計測制御装置の操作員と実験者との意思疎通は、呼出しスピーカー、モニターテレビ等により行っている。また、不定流実験のように長時間にわたる場合夜間実験を必要とするため照明施設も備えている。

あとがき

当実験場で本格的に運用を開始したのは、昭和54年秋からである。今後、この実験場を効率的に運営していくためには、計測制御装置のソフトウェア一面での改良と実験ルールを確立して、より簡単に使用しやすくしていく必要がある。

<参考文献>

牧野成雄・竹本成行・郡義和・藤田満士；石狩川下流部水理模型実験の概要。

第22回北海道開発局技術研究発表会論文集、昭和54年8月。