

石狩水理実験場について

久米洋三* 牧野成雄** 吉岡紘治***

まえがき

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、現在ほぼ第一期工事が終了し昭和53年度から石狩川下流部河道の模型実験を行っている。そこで実験場の施設について紹介するものである。当実験場の位

置は、図-1に示すが、石狩町字生振10線北4号地先、石狩川の河口より10km付近の右岸堤防に接し、面積は約37haである。この地は、大正7年に着工し昭和6年に通水した生振新水路の排泥池跡である。

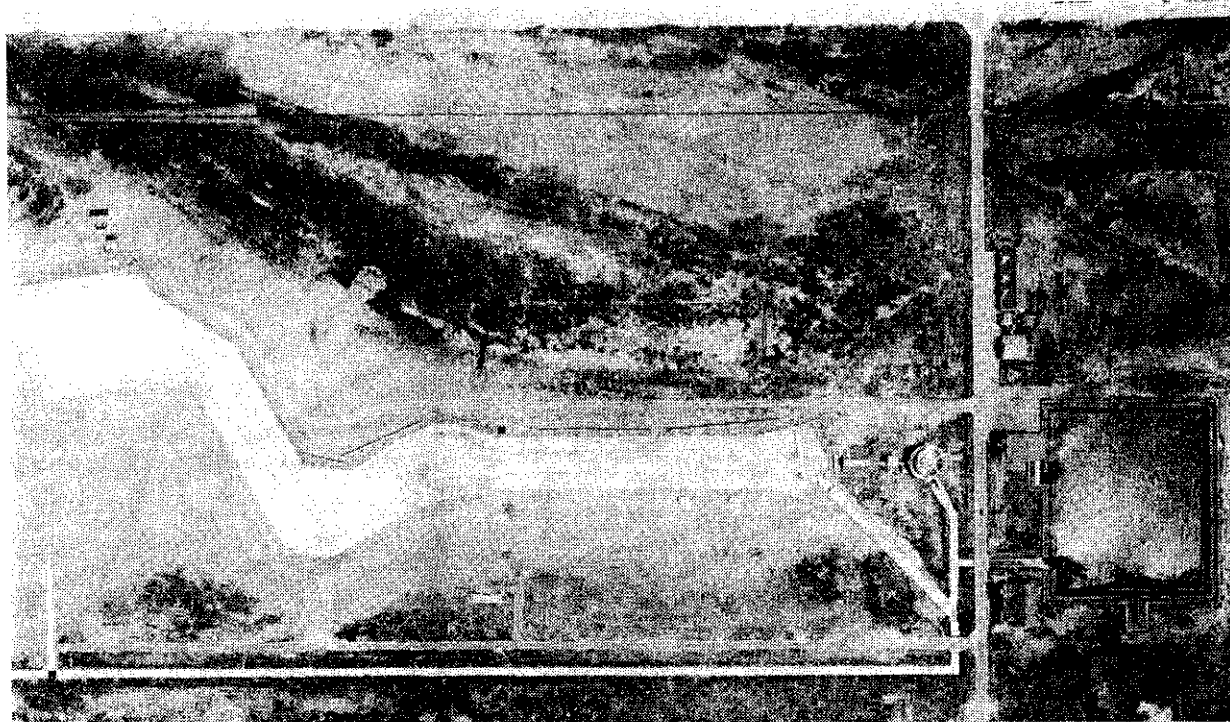


写真-1 石狩水理実験場（航空写真）

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、数値解析による研究、水理模型実験による研究がある。これらの手段は相互依存の関係にあり、単独の手段で解決できる問題は少ないと考えられる。

ここに水理模型実験の特質を記述してみると、

- (i) 実験中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理解することができる。
- (iii) 複雑な境界条件でも比較的容易に作ることができ

る。

- (iv) 経験する機会の少ない大洪水の流れを観察できる。
 - (v) 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問題の研究ができる。
 - (vi) 現地で反覆して起こりがたい現象を繰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る。この過程理論は、単純化され、さらに

*第1研究部長 **河川研究室長 ***前同室主任研究員 現石狩川開発建設部工務第1課石狩川総合水管理調査室調査係長

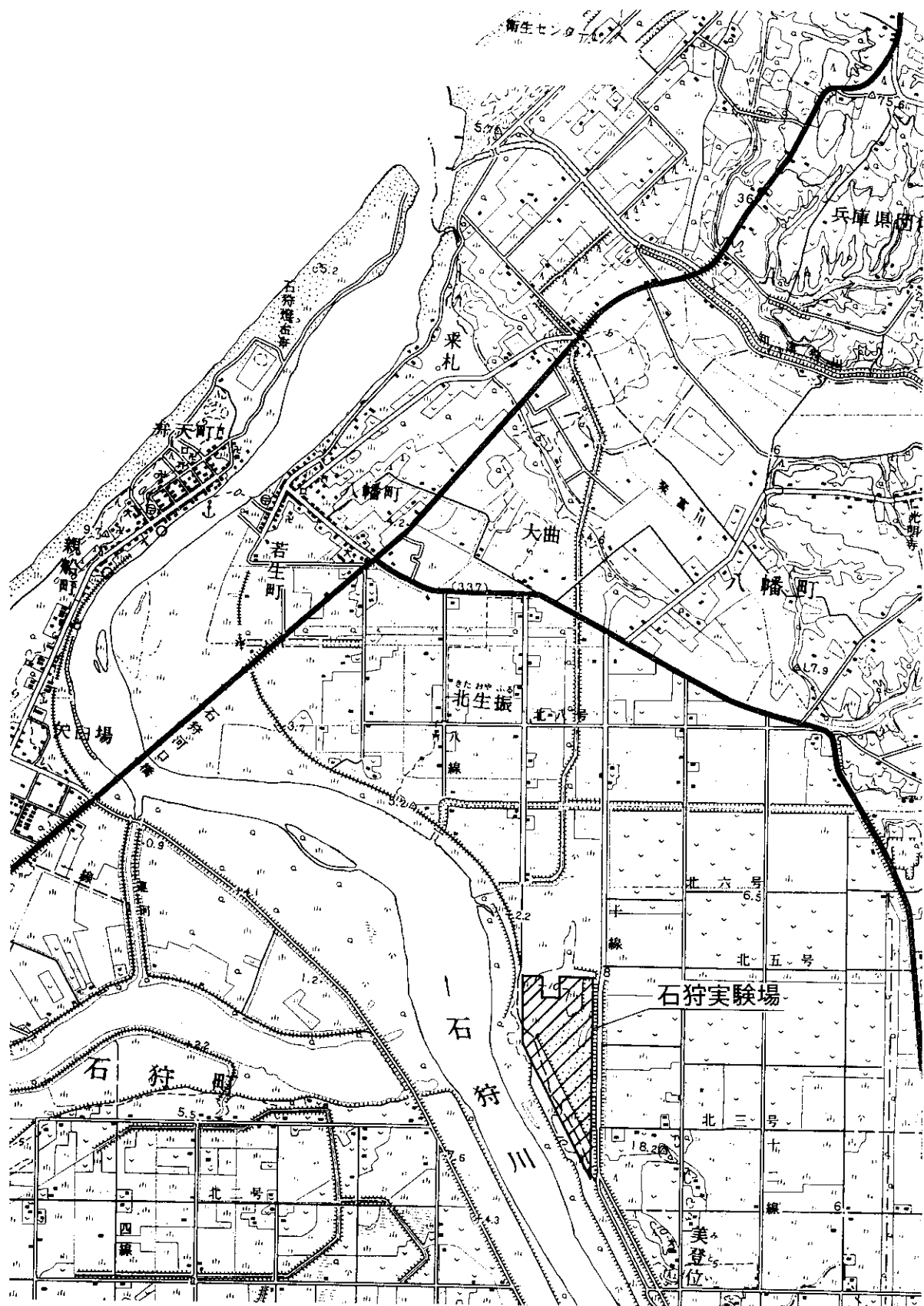


図-1 石狩水理実験場位置図

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して、また現状の理論では解析が困難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などが行われている。ここにおける経験と観察の集積は、新たな理論の発展に大きな意義を有している。しかし、すべ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ところにある。この問題は小縮尺模型においては複雑である。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ひずみ模型で対処する方法がとられる。しかし、模型をひずめることは、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、彎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、現実的には不可能であり、したがって、無歪、かつ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生じる。また、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十分であり、広範囲の諸現象を総合的にとらえた検討が必要である。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。さらに、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、石狩水理実験場が整備されるにいたっていたものであり、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. 実験場の概要

(1) 全体計画

実験場の全体計画としては、図-2に示すように河川水理全般に及ぶ実験が実施できるように考慮されている。現在は、緩流河川模型実験場で石狩川下流部（河口から15 km 区間）を1/50のスケールで模型製作し、河道の水理模型実験を継続中である。また、昭和55年度からは緩流河川模型実験場の残された面を利用して、十勝川河口部の水理模型実験に着手している。

また、実験場や模型の大型化による測定数の増大、制御内容の複雑化から効率的な運用が必要となり、自動化を目的としたシステムを導入している。

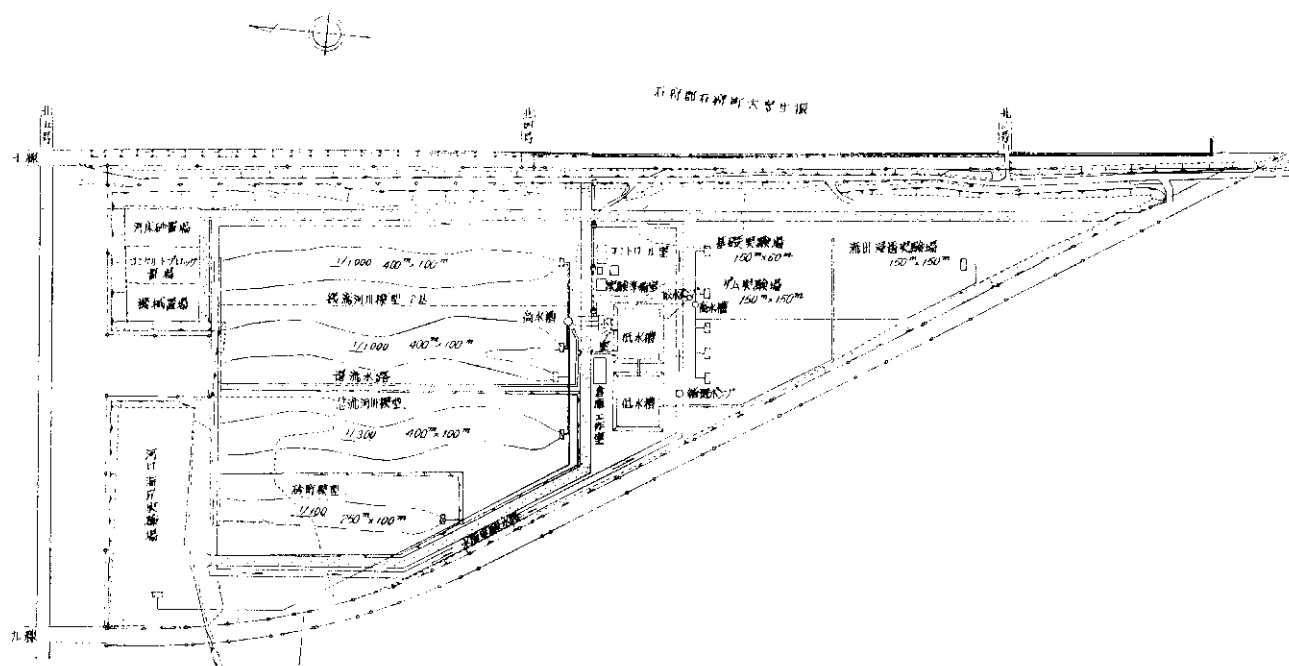
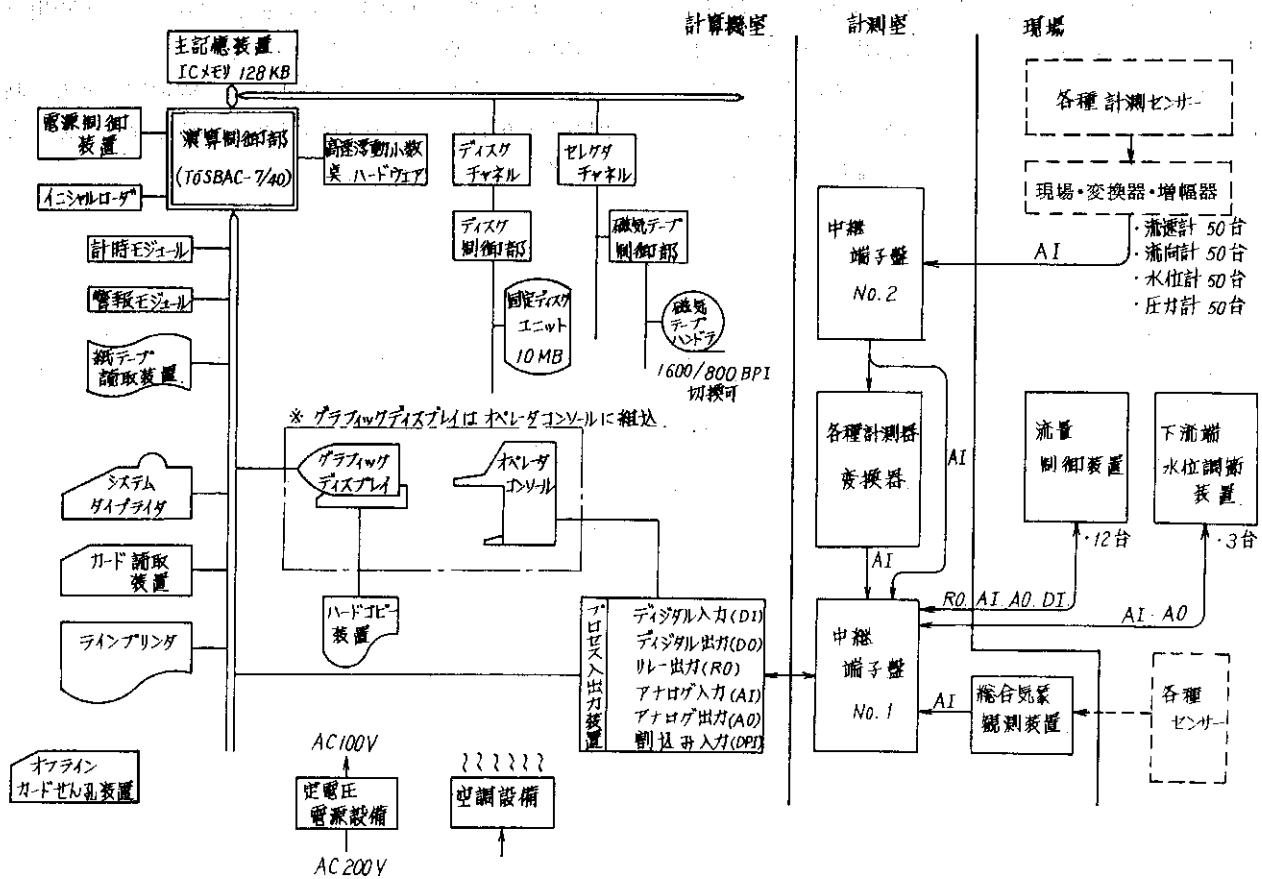


図-2 石狩水理実験場全体計画平面図

表—1 第1期施設整備諸元

施設名	規格	数量・寸法	備考
実験準備室	プレハブ	1棟 52 m ²	
資料整理・計測・コントロール室	木造一部ブロック	1棟 156 m ²	
木工室	木造	1棟 143 m ²	
ポンプ室	鉄骨	1棟 89 m ²	全体計画 215 m ²
低水槽	塩化ビニールシート被覆	容量 6,500 m ³ 1面 50 m×60 m×2.5 m	" 2面
揚水ポンプ	電動	1台 750 ℓ/s 揚程 12 m	" 500 ℓ/s 1台 1,000 ℓ/s 1台
高架水槽	鋼製	容量 393 m ³ 1基 φ10 m, 深5 m, 高8 m	" 2基
還流水路	コンクリートブロック	560 m, 幅2.8 m×深1 m	" 1,400 m
道路	アスファルト	1,050 m, 幅4 m	" 3,000 m
囲障		1,100 m	" 3,000 m
暗渠		800 m	" 4,000 m
流量制御装置		1式	
計測制御装置		1式	
気象(観測)装置		1式	



図—3 計測制御装置システム構成図

(2) 第一期工事

昭和51年度より現在までに整備した施設は、表-1のとおりである。

3. 計測・制御システム

(1) 概要

自動化の中枢をなす制御装置は、コントロール室に設置したミニコンピューター TOSBAC-7/40 を中心に構成され実験流量の制御、実験の指示、記録の取り入れ、記憶、その処理や解析に供されている。この機構の構成は、図-3に示すとおりであるが、おおむね次の4構成からなっている。

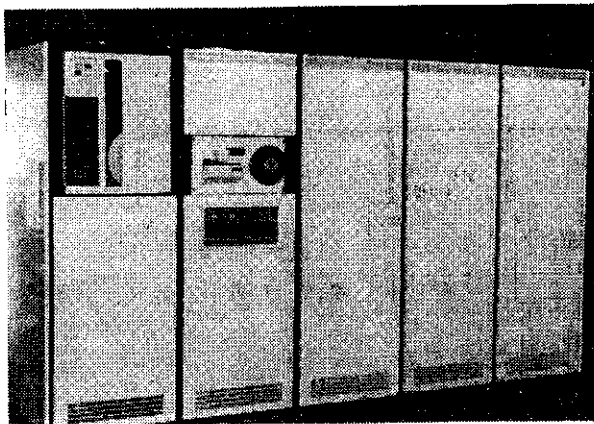


写真-2 TOSBAC-7/40

- (i) 流量計、水位計などの制御機器および測定器械センサーから発信される信号、気象観測装置から発信される信号を取り入れるプロセス入力装置。
- (ii) 流量、水位などのパラメーター設定、実験の開始・中断・終了、作図・代表表示、実験状況を表示するシステムとの対話を行うオペレーターコンソール。
- (iii) 処理結果を帳表形式で出力し、記録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およびその図表を記録し保存するハードコピー装置。
- (iv) 実験データを収録するための磁気ディスク、磁気テープ装置。

より構成され、これらの機能は現在行っている石狩川下流規模の模型実験なら3カ所同時に管理し、測点できるようにになっている。

(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) リアルタイムコントロールを主たる目的とするため、高速での演算処理、計測、監視を行えること。
- このため、中央制御装置として使用している演算制

御部は、32ビットのメモリーバスを持ち、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有するミニコンとする。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。なお、この場合の演算速度は加減算 $5.67 \sim 11.61 \mu\text{sec}$ 、乗算 $16.11 \sim 17.19 \mu\text{sec}$ 、除算 $18.99 \sim 19.71 \mu\text{sec}$ である。

- (ii) 計測・制御の効率化をはかるため、オペレーターの指示が本装置に対して容易に行えるような対話機構を備えていること。

このため、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、および異常表示用として 19 インチグラフィックディスプレイを設置する。また、これら表示、記録の保存ができるようにハードコピー装置も設置している。オペレーターからの指令や操作の入力、各種データの設定および常時表示する必要のある計測データ、システムの異常表示を行うためオペレーターコンソールも設置している。

- (iii) 実験設備の拡張、機能アップ、他のシステムとのオンライン結合など将来必要に応じて拡張できる機能を有していること。

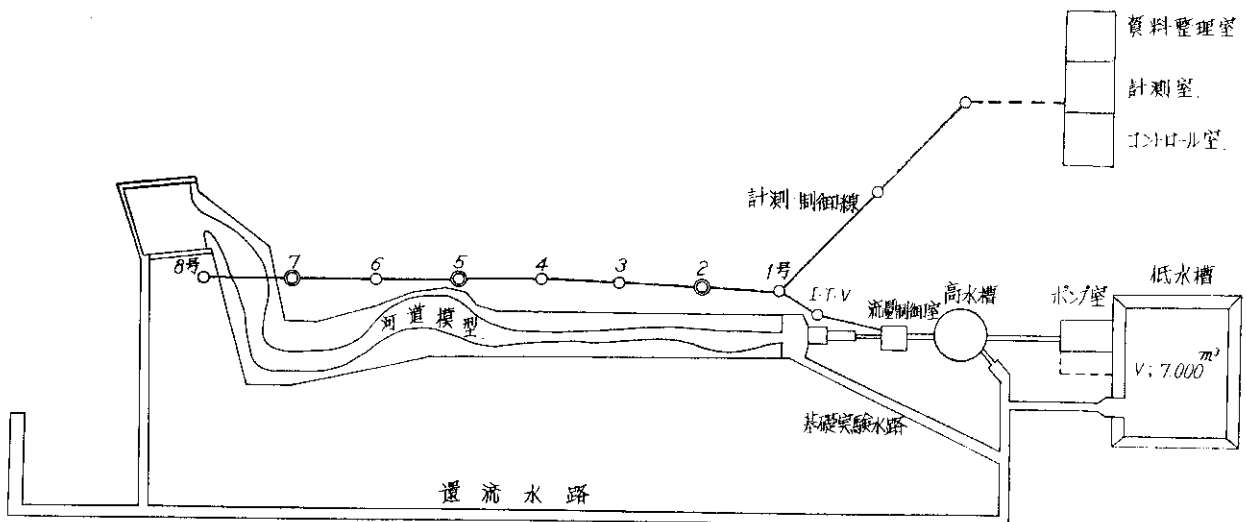
このため、中央制御装置を始めとして、周辺装置、プロセス入力装置およびその点数、データファイル用のディスクなどの増設、オンラインインターフェイスの追加など各種の拡張に対処できるようになっている。

- (iv) プログラムの開発、更新が容易なシステムであること。

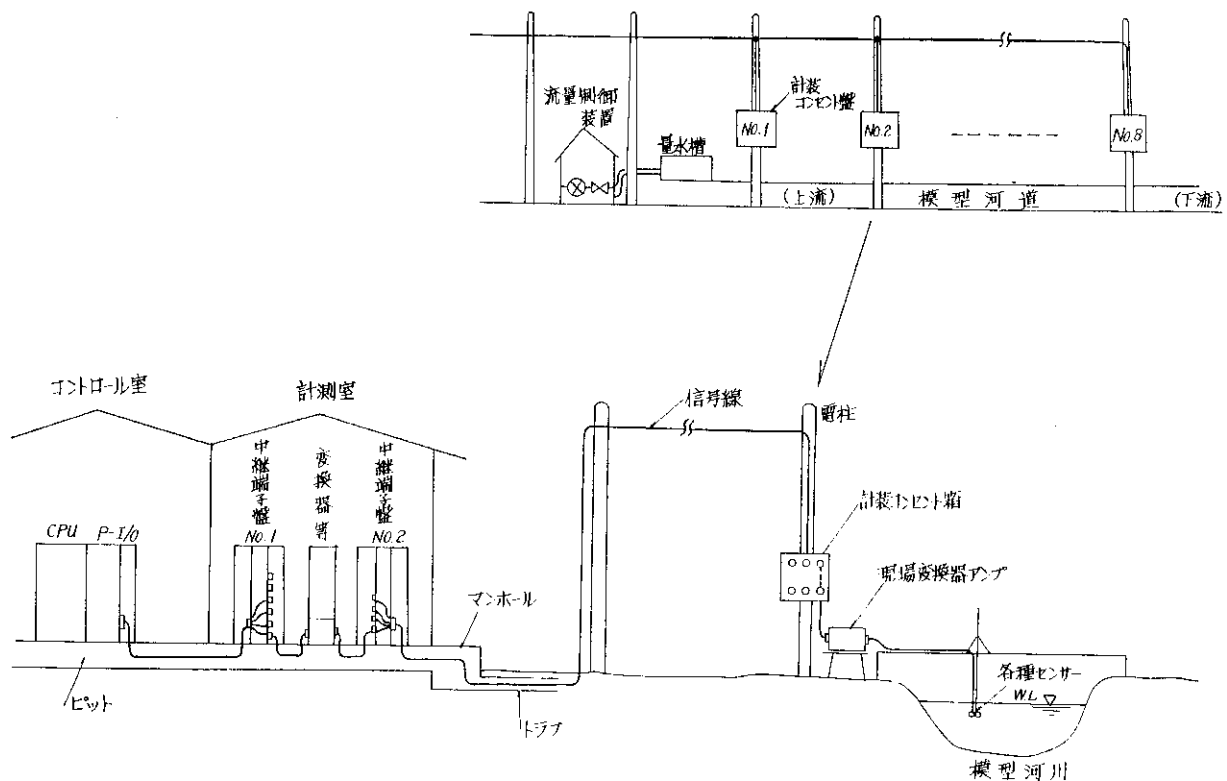
このため、オンラインリアルタイムオペレーティングシステムは、リアルタイム処理を行いながらそのリアルタイムの空き時間を利用して新しいプログラムのコンパイル、デバッグ、テストランを行うことができるようになっている。

(3) 計測機器との接続

以上の制御装置と計測センサー、流量制御、総合気象盤、いずれ開発予定である水位調節装置などとの接続は図-4、5に示すように、コントロール室から計測室に設置された中継端子盤を介し、屋外に導かれて模型付近にセットされた端子ボックスに計測器のコネクターを差込み、データ信号を送るようになっている。保守管理の面から架空ケーブル方式とし、計測器信号を正確に入力させるため、内外部からの誘導雑音の低減をはかった計装用ポリエチレン絶縁ビニルシースケーブル (KMPEV-S) を採用している。



図—4 屋外通線平面図



図—5 通線設備概要図

なお、これら施設を有効に使用するためには、コントロール室において測定現場の状況を十分把握するとともに対話の行えることが必要である。その対策として測定現場がテレビカメラで撮影され、コントロール室に設置されたモニター装置によって映像を眺めながら計装ボックスに設備されたインターホンによる対話、およびスピーカーによる指示を行えるようになっている。

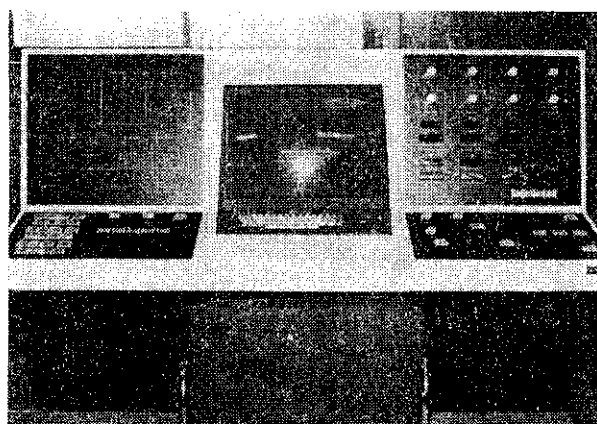
本実験場で実施される大型模型では、今まで実施されていた屋内実験の規模に比較し必然的に計測器による測

定件数が増加するとともに、実験場内での行動範囲も広くなり多くの労力と時間が必要となり、自動計測に必要な計測器の台数をむやみに設備しても費用が膨大となるばかりでなく、屋外のため計測器のセット方法や計測準備に問題が生じてくる（例えば石狩川下流実験の測定点数 15～180 点/断面×50 断面＝750～9,000 点）。

そこで、本システムでは表-2 に示す最大接続台数を想定し、3カ所の模型実験をオペレーターコンソールで切替しながら同時に実験を実施することのできるように設

表—2 接続計測機器

名 称	最大接続台数
流量制御装置	12 台
下流端水位調節装置	3 台
計 測 器	
・流速計	50 台
・流向計	50 台
・水位計	50 台
・圧力計	50 台
気象観測装置	1 式



写真—3 オペレーターコンソール

備されている。

4. ソフトウェア

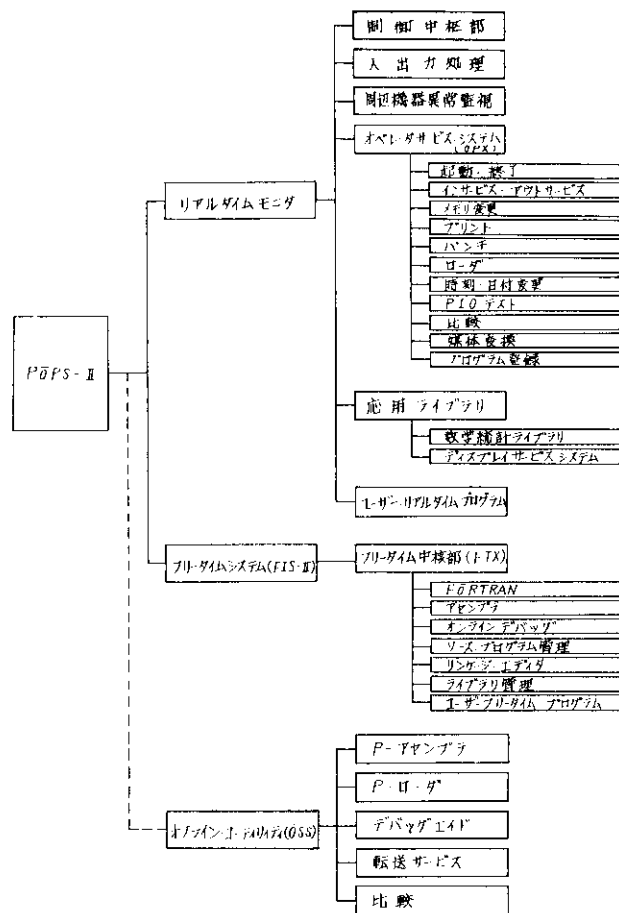
本実験場のソフトウェアは、流量制御、流速、流向、水位などの制御機や計測器からのデータ入力を行い、入力したデータをオペレーターコンソール、グラフィックディスプレイ、ラインプリンターに出力を行い、最終保存用として磁気テープのデータファイルを作成するものである。その基本ソフトウェアと応用ソフトウェアについて次に記す。

(1) 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、実験実施をリアルタイム処理で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規のプログラム開発を行うことのできるフリータイムシステム、オペレーティングシステムなしで使用する時に用いるオフラインユーティリティから構成されており、その基本ソフトウェアは図-6に示すとおりである。

(2) 応用ソフトウェア

今回の処理対象として開発された応用ソフトウェア



図—6 基本ソフトウェア構成図

の内容は、定流および不定流実験に関する河川流の実験についてのものであり、図-2に示す将来の実験計画で予定されているダム、海岸、河口などの模型実験で必要となるソフトウェアについては、その都度追加していく予定である。

応用ソフトウェアの構成は、大別するとオンラインリアルタイム処理とバッチ処理に分けられ、その主な内容は次のとおりである。

(オンラインリアルタイム処理)

- (a) 実験開始・実行・終了処理
- (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) 磁気テープ収録処理
- (g) 作図・作表処理

(バッチ処理)

- (h) 気象データ処理

現在までに開発されたソフトウェアでグラフィックディスプレイ、ラインプリンターに表示される内容は

表-3 作図・作表一覧表

種 類	グラフ・ク ディスプレイ		ラインプ リンター
	作 図	作 表	作 表
ハイドログラフ	1		
水位縦断図	1		
表面流速分布図	1		
ハイドログラフ数値表示		1	1
水位縦断図数値表示		1	1
表面流速分布図数値表示		1	1
設定流量実流量表			1
設定水位測定水位表			1
流速測定表			1
流速ベクトル測定表			1
下流端調節水位表			1
横断水位表			1
圧力測定表			1
気象情報表			1

表-3 に示すとおりである。

なお、パッチ処理で行う気象データについては、総合気象盤により紙テープにデータをせん孔し、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。

5. 流量制御システム

本実験場における実験用水の流れは、図-7 に示すが大別すると次のシステムから構成されている。

1) 揚水設備

低水槽に湛水された実験用水をポンプアップするポンプ設備、一定の水頭を保ち自然流下するように製作された高水槽などからなっている。

その諸元を以下に示す。

イ. 主ポンプ

型 式 口径 600 mm, 横軸両吸込渦巻ポンプ
計画吸水量 750 ℓ/s
計画全揚程 13 m
電動機出力 132 kW

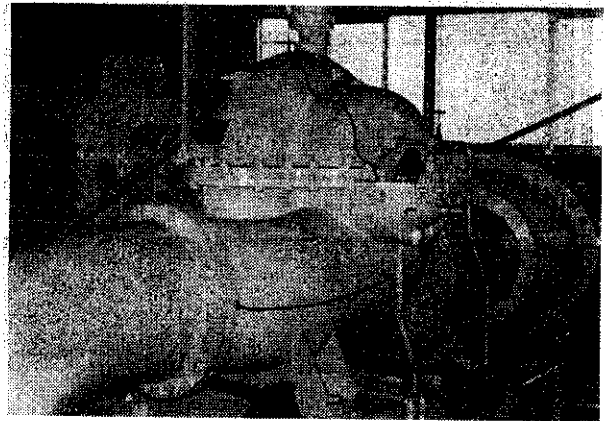


写真-4 両吸込み渦巻ポンプ

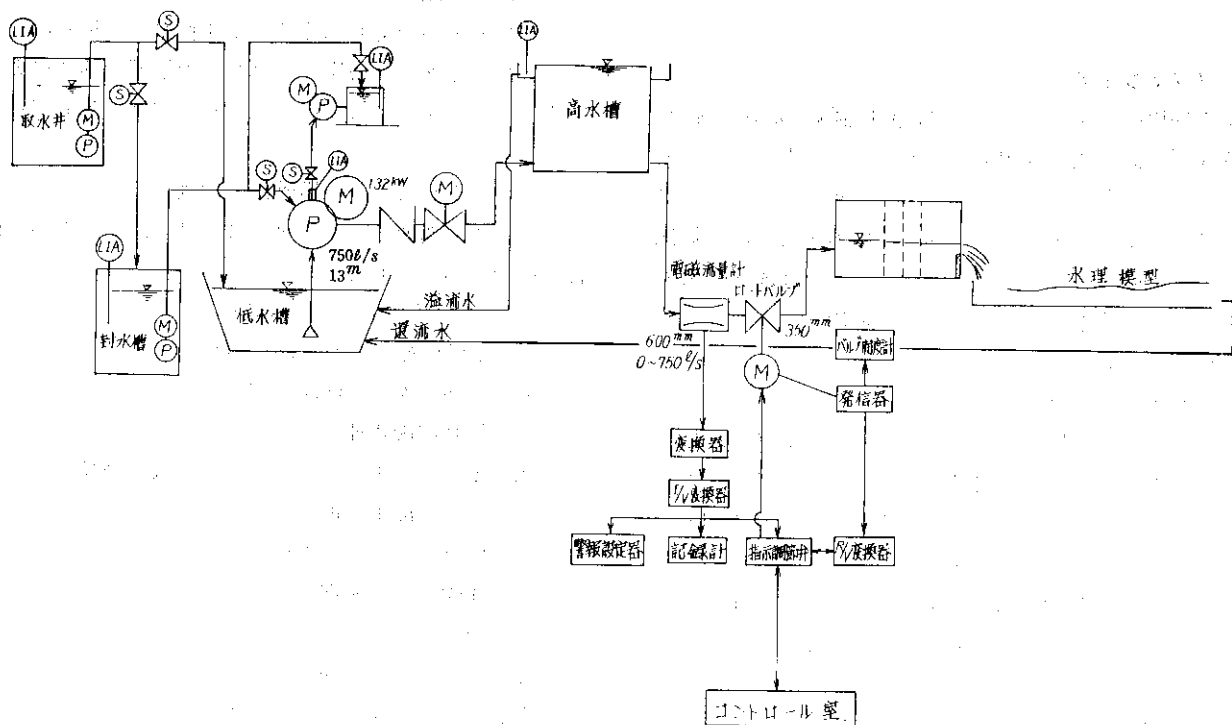


図-7 流量制御システム図

- 運転方式 自動, 半自動, 手動の選択方式 (ポンプ室にて操作)
- ロ. 高水槽
鋼板製 直径 10.0 m, 高さ 5.0 m, 受台高 3.0 m (第 2 期としては直径 5.0 m, 高さ 5.0 m 1 基増設予定)
- 防錆処理 アルミニウム熔射 (AS-3) 後, 塩化ビニル塗装
- ハ. 低水槽 50 m×60 m×2.5 m 7,000 m³/面
塩化ビニルシート被覆

2) 配水設備

高水槽から管路を通して流量制御室に導かれた実験用水は電磁流量計で検出され, 次に設置されている制御バルブで所定の流量になるよう開閉動作を行う。この操作は機械側の操作盤, またはコントロール室から全自動で操作できるようになっている。

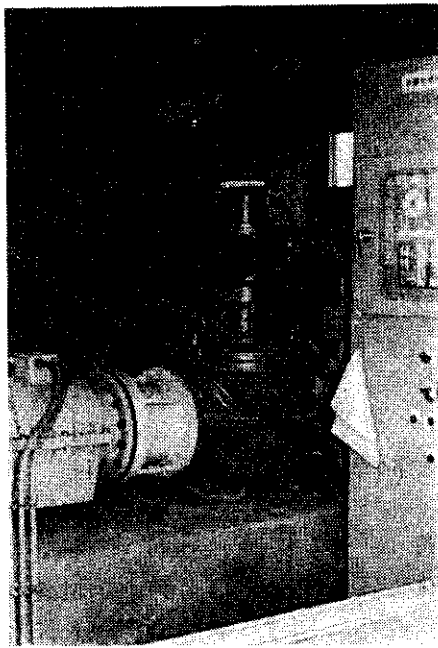


写真-5 流量制御室内部

イ. 電磁流量計

電磁流量計の測定原理は, 流れの方向と垂直に磁界の加えられている測定管に導電液体が流れると, 電磁誘導に基づき, 平均流速に比例した起電力が誘起され, 検出した起電を流量に変換するものである。

日本工業規格に示される許容精度は以下のとおりである。

- 発信器 FS±1.0% (測定範囲 1.0~10.0 m/sec)
FS±1.5% (測定範囲 0.3~1.0 m/sec)
- 調節計 FS±0.5%

測定精度を上げるため 2 レンジ切替方式とし, 制御流量 0~200 l/sec の範囲を低レンジ, 200~750 l/sec の範囲を高レンジに区分して測定することとした。

なお, この場合の総合誤差は 1.12% の範囲内である。また, 口径の決定にあたっては, 最大流量 0.75 m³/sec が流速 10 m/sec の範囲に入るよう検討し, 口径 350 mm を採用した。

ロ. 制御バルブ

流量制御は, 電磁流量計で制御バルブを開閉するフィードバック方式とし, 自動的に開閉動作を行い所定流量に制御するシステムとし, 流量調節にすぐれ, キャビテーションの発生しない構造でバルブ開度と流量の追従性の良いロートバルブを採用した。

口径は電流量計と同じ 350 mm とし, 駆動方式の検討にあたっては油圧駆動の方がまさっていたが費用が高いため電動駆動方式にすることとし, 欠点である断続運転の場合に発生するモーターの過熱対策は, 制御特性を損わない範囲で休止時間 7 sec にタイマーでセットし防止することにした。

あ と が き

当実験場のように, 自然条件の厳しい屋外で大型模型の実験場に自動計測・制御装置の設備などを導入したのは始めてであり, これら施設を効率的に運用していくためには綿密な実験計画立案と, 実験手順などの手法を確立してより簡単に使用しやすくしていくことが必要である。

石狩川下流部や, 十勝川河口の水理模型実験を現在実施しており, 機会があれば今後報告したいと思っている。

参 考 文 献

1. 牧野成雄, 竹本成行, 郡 義和, 藤田満士; 石狩川下流水理模型実験の概要, 第 22 回 (昭和 53 年度) 北海道開発局技術研究発表会, 昭和 54 年 2 月。
2. 牧野成雄, 久米洋三, 吉岡紘治; 石狩水理実験場施設概要について, 昭和 54 年度土木学会北海道支部講演会, 昭和 55 年 2 月。
3. 吉岡紘治, 久米洋三, 牧野成雄; 石狩水理実験場施設の概要について, 第 23 回 (昭和 54 年度) 北海道開発局技術研究発表会, 昭和 55 年 2 月。