

# 瀬戸内海大型水理模型

## 案内

通商産業省 工業技術院  
中国工業技術試験所

●沿革

- 昭和41年11月 工業技術協会地方産業技術部会において、中国工業技術試験所設立の方針が定まる。
- 昭和45年4月 通商産業省において、瀬戸内海全域の水質汚濁防止研究会が設けられ、瀬戸内海大型水理模型の建設について検討が始められる。
- 昭和45年10月 通商産業省において、瀬戸内海大型水理模型建設の基本方針がまとめられ、中国工業技術試験所内に建設することが決定される。
- 昭和46年7月 「中国工業技術試験所設置に関する政令」に基づき中国工業技術試験所が設立される。
- 昭和47年2月 瀬戸内海大型水理模型実験場の建設工事が始められる。
- 昭和48年5月 瀬戸内海大型水理模型実験場完成。



▲瀬戸内海大型水理模型実験場全景

## ● 瀬戸内海大型水理模型の概要

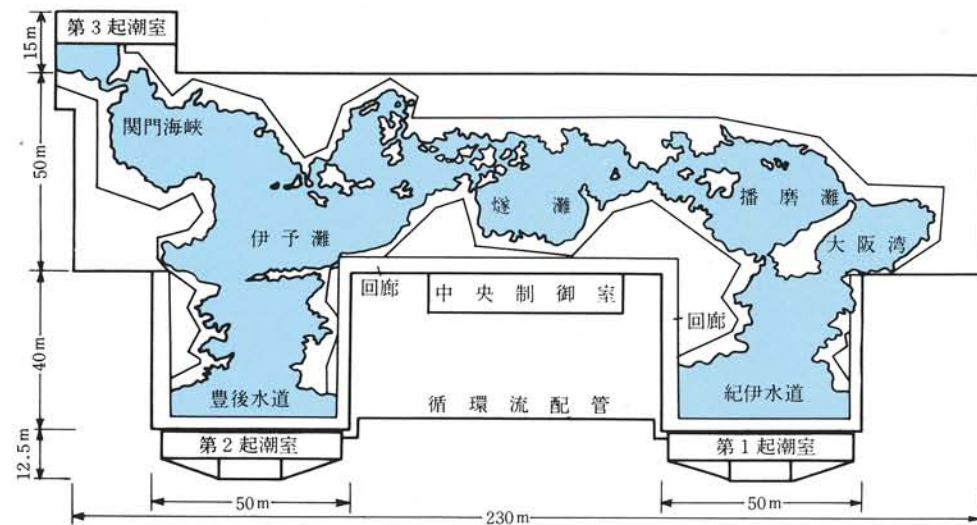
瀬戸内海大型水理模型の建設は昭和47年2月に着工され、昭和48年5月に完成した。鉄骨構造をとる実験場は高さ23m、長さ230m、内海部の幅50m、紀伊水道部及び豊後水道部の幅は約100m、実験場の面積は約17,200㎡である。

水理模型は水平縮尺1/2000、鉛直縮尺1/159の歪(ひずみ)模型で、その建設は瀬戸内海海底地形図にしたがって製作した。海底地形図の原図は、海上保安庁の測深図をもとに作製し、測深図の不足している海域は海図によって補足した。水深320mをこえる海域については、模型では水深2mを限度として製作した。模型水面の広さは約7,500㎡、1回に使用する水量は約5,000<sup>3</sup>である。起潮装置は豊後水道、紀伊水道及び関門海峡の3起潮室に設置し、中央制御室にある電子計算機を用いた潮汐発生制御システムによって運転制御される。また、実験場内には各種大型装置、観測機器等が設置され、世界最大規模の水理模型実験場である。

この大規模な水理模型を用いて、瀬戸内海の流れ現象、大規模埋立計画や排水放流計画の適否、排水拡散現象、海水交換など瀬戸内海全域の汚濁防止のための種々の研究が行われている。

水平縮尺 $x_r$	1 (原型)	2000 (模型)
鉛直縮尺 $h_r$	1 m	159
水深	30 m	18.9 cm
潮差	2 m	1.26 cm
時間縮尺 $t_r$	1	159
周期	12時間25分	4.7分
時間	1年	55時間
流速縮尺 $u_r$	1	12.6
流速	1 ノット	4.0 cm/s
〃	1 m/s	7.9 cm/s
流量縮尺 $Q_r$	1	$4 \times 10^6$
流量	100 m <sup>3</sup> /s	25 cc/s
〃	1,000,000 m <sup>3</sup> /day	2.9 cc/s
粗度係数縮尺 $n_r$	1	0.656
粗度係数	0.02	0.030
摩擦係数縮尺 $c_r$	1	1/16
摩擦係数	$5 \times 10^{-3}$	0.08

▲ 模型諸元



◀ 瀬戸内海大型水理模型実験場平面図

## 実験場の建設

瀬戸内海大型水理模型実験場は、床面積が17,200㎡で、長さ230m、幅100mと広大で、床面の沈下は模型実験の精度に重大な影響を与えるため、安定した床面を建設する必要がある。そのため、基礎杭はベント式ピアークを用い、杭の上に地中梁をのせ、模型部床面はさらに補助梁で補強している。

実験場は床が鉄筋コンクリート造り、建屋は350mm鋼管造平家建て、棟高23mである。建屋構造は、建屋内に各種測定装置や計器を取り付けるため、新しく開発された特殊立体トラスで補強されている。隣接して、場内の計器類を集中管理し、制御するコントロールセンターがあり、延面積980㎡、鉄筋コンクリート2階建である。

場内には、建屋上部に測定装置を乗せるガーダーレールを2段に取り付け、また、場内巡回用通路を設置している。さらに、場内での写真撮影による観測のため、天井にはメタルハライドランプ400個(400KW)を設置している。



▲大屋根内部



▲床面工事



▲建設中の建屋構造体

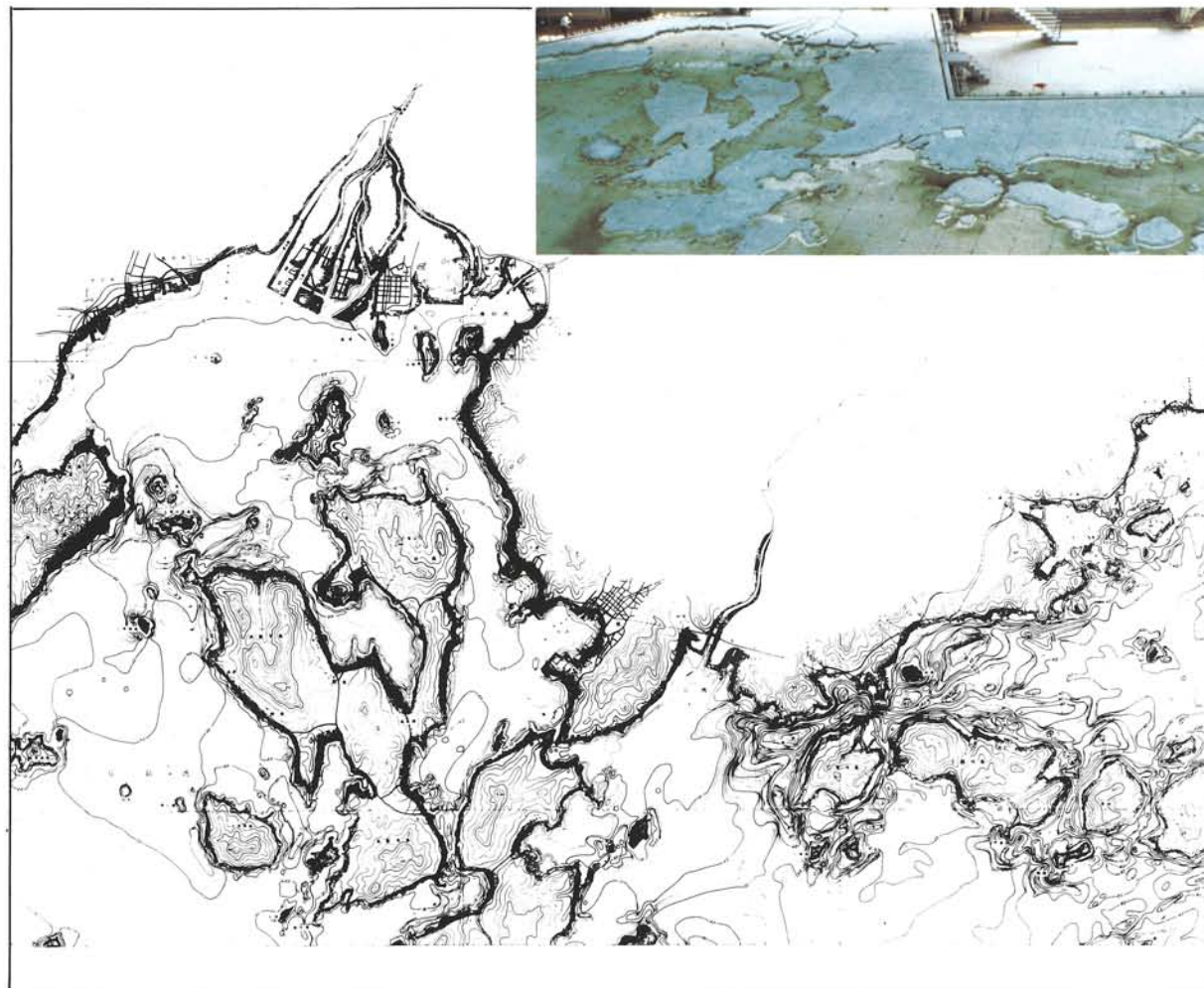


## 瀬戸内海の海底地形図

大型水理模型の基礎資料として海底地形図を製作した。地形図の範囲は、瀬戸内海全域と、紀伊水道、豊後水道、関門海峡を含んでいる。

海底地形図の原図は、海上保安庁の測深図をもとに製作し、測深図の不足している海域は海図により補足した。縮尺を5万分の1に統一し、瀬戸内海全域を35枚にまとめた。地形図の等深線は2mごとにいれ、平面図法で作図した。

地形図の海岸線は国土地理院発行の5万分の1の地形図と最新の港湾図、埋立計画図、現状図などで補正した。水深については、海図の基準面が海域ごとに違っているため、宇部港の基本水準面を基本にし、東京湾中等潮位に見合う基準面に補正し、統一した。



瀬戸内海海底地形図  
(広島湾付近)

## 水理模型の製作

水理模型は製作面積が広く、全水域で潮汐による水位の変化が±20mmであり、測定精度を向上させるために高度の製作技術が必要とした。模型は外周をコンクリートブロック造にし、模型内からの漏水を防ぐため、床、立上りともアスファルト防水工事を完全に施行した。

模型は海底地形図を分割撮影し、床面上に新しく開発した特殊投影装置で1/2000の縮尺の等深線を描いた。そして深さに応じて色分けした竹ばしを立て、それに沿って粗モルタルの下地を作り、中塗モルタルで荒仕上げした後、白色セメントのモルタル塗で刷毛引き仕上げした。陸地部、島部は水深0mより垂直に5cmの立上りをつくり、その上部を45°の角度で縁を切り、水深0mより10cm高で平面とした。模型内の平均水面は床面より約80cmの高さであるが、現地の水深が320mを超える部分は、模型では水深2mを限度として製作した。したがって、この部分は建設時に床面を他の部分より下げて作った。模型製作精度は水深16mまでは±1mmとし、16m以上は±2mmとした。

河川は、河川原図により製作し、主要河川には河川流量制御装置を設けている。港湾については、港湾図を参照して水深を出して製作した。

模型には東経135°、北緯34°を基準線として、1m目の基準点を十字線で表示してある。



▲模型部防水工事



▲海底地形図の投影



▲等深線図の線引作業



▲荒仕上をした模型



▲竹管立て作業



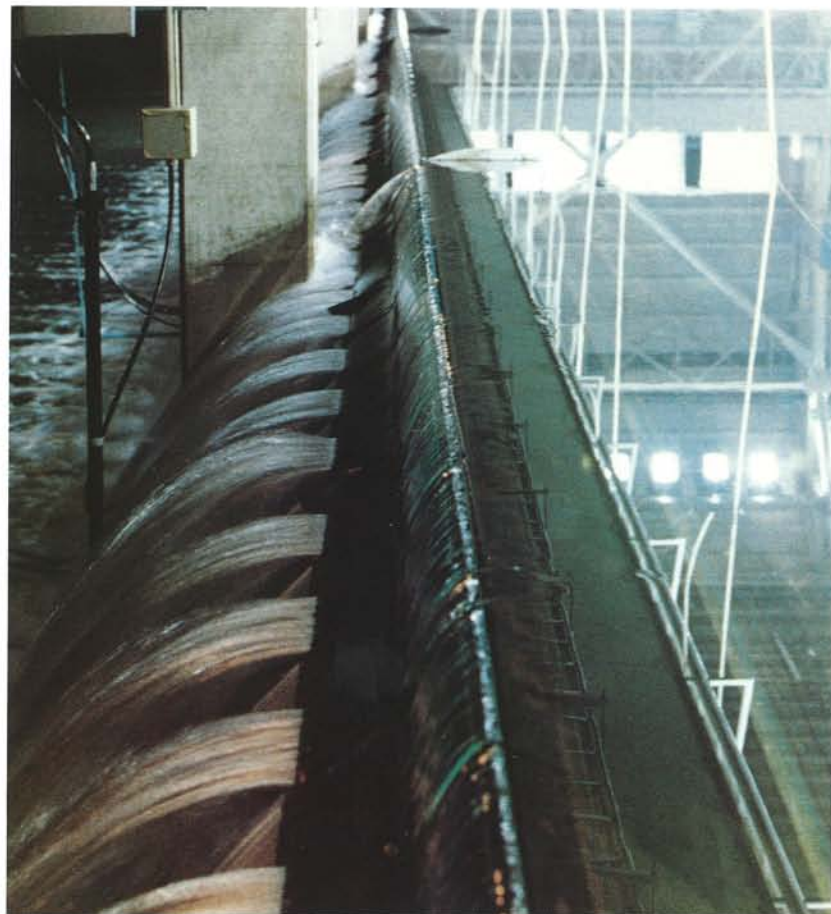
▲完成模型（備讃瀬戸東部）



## ● 水理模型実験設備

瀬戸内海大型水理模型は世界にも稀な大きさの水理模型であり、いままでに作られた水理模型の水準をはるかに越えているため起潮装置をはじめ諸設備は殆んど既成品はなく、当所の考案と多くの機器メーカーの協力により作られた。実験設備の主要部分は起潮装置で、紀伊、豊後、関門の3ヶ所に電算機制御によるせき式潮汐発生制御装置が設置され模型内に人工潮汐と人工潮流を発生させている。また、模型内の河川は主要23河川について電算機制御による河川流量制御システムを採用し、年間を通じての河川流量の変化を再現できるようになっている。模型内水位の測定は現地の海に設置されている検潮所と同じ模型内の位置に水位計を設置し、そのデータ集録は、中央制御室で行っている。また、模型内の流況測定は模型水面上に浮標を浮べ自動観測装置のカメラにより連続撮影し、そのフィルムを浮標データ解析システムにより解析することによって流況ベクトル図を得る方法と超音波流速計により直接、流向、流速を測定する方法を用いている。

また、染料濃度分布の測定では多点同時採水のために自動試料採取装置を設置しており、さらに染料拡散状態の連続撮影写真から濃度分布を定量的に求めるための染料濃度解析システムの開発が進められている。



▲ゲート

## 潮汐発生制御装置

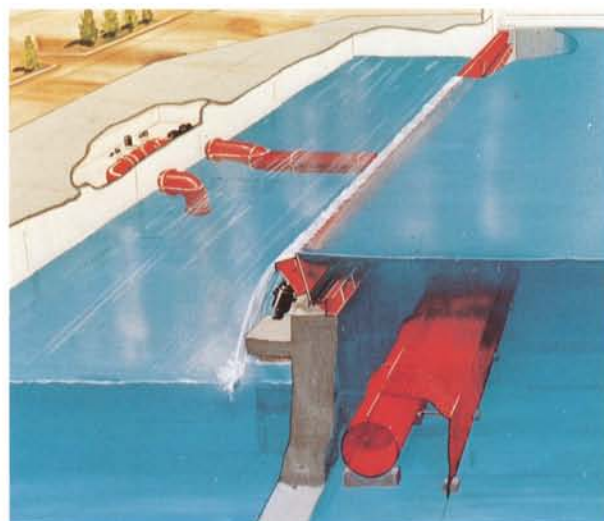
水理模型内の水面に実験潮汐を発生させる装置で、瀬戸内海の三つの入口、紀伊水道、豊後水道および関門海峡に設置されている。その形式は、せき(堰)式と呼ばれ、せきの上から模型の外側に水をあふれさせ、せきの高さを変えることによって模型内に潮汐水面をつくりだす。外側にあふれ出た水はポンプで模型内に送りかえされる。紀伊、豊後両水道のせきは全長45.8mであり、4門のゲートに分割されている。関門海峡のせきは長さ14.5mの1門である。

実験潮汐を起こすプログラムは電子計算機により発生させ、調節器、前置増幅器、サーボアンプを通して油圧シリンダを駆動する。油圧シリンダは各ゲートに2本あり、ゲートの下端の回転軸を中心にその傾き角度を変えることにより水面の高さを変える。そして水位の変化は調節器にフィードバックされる。これらの操作はすべて中央制御室から遠隔操作される。

実験潮汐の周期は約半日に相当する4.7分である。3水域の潮汐は位相遅れが少しづつあり、これは本装置により再現可能である。本装置は最高±20mmの水位変化を与えることができるので高潮の実験も可能である。



▲潮汐発生装置制御室



▲潮汐発生装置原理図

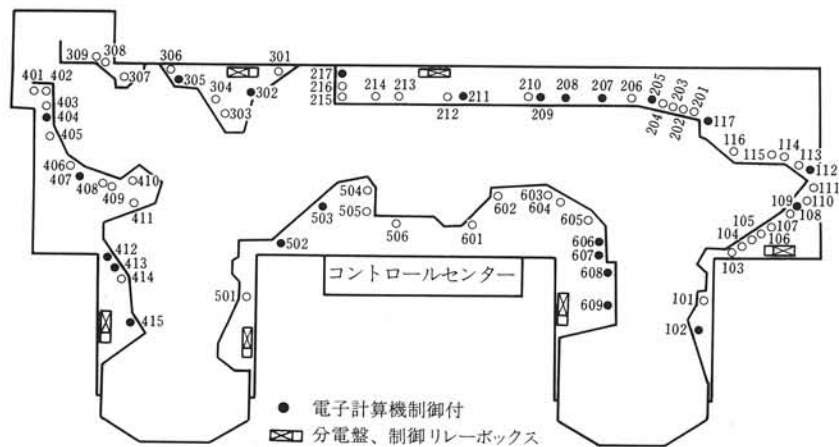


▲ポンプ室

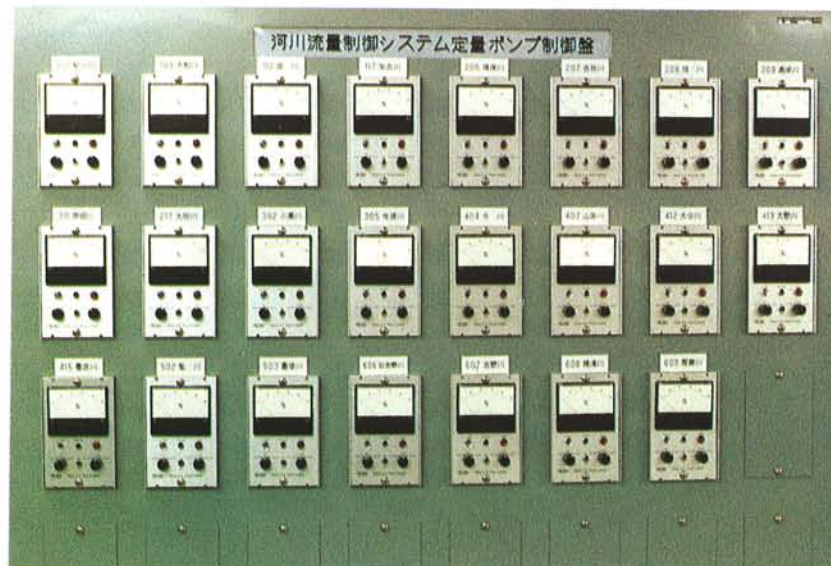
## 河川流量制御装置

瀬戸内海に流入する河川は、汚濁負荷量の高いものが多い。内海での汚染状況を実験的に知り、将来の予測を行うには、これらの河川から原型に合った汚染物質が連続的に流入する必要がある。そのために河川流量を高精度に制御可能な装置が不可欠である。装置は、瀬戸内海大型水理模型実験において模型河川の流量制御を目的として開発されたものである。装置から原型における汚染濃度を与えた河川水を連続投入することにより長期拡散実験が可能となった。

本システムの機能として、1級河川及び2級河川の23河川については電子計算機制御により1年間分の流量を各月ごとに変化させて流すことができる。また、一般の50河川については現場手動により流量設定ができる。これらの流量調節のため、73河川のそれぞれに定量ポンプとタンクユニットをもつ定量注入装置が各河川の近くに配置されている。



▲定量注入装置配置図



▲河川流量制御盤



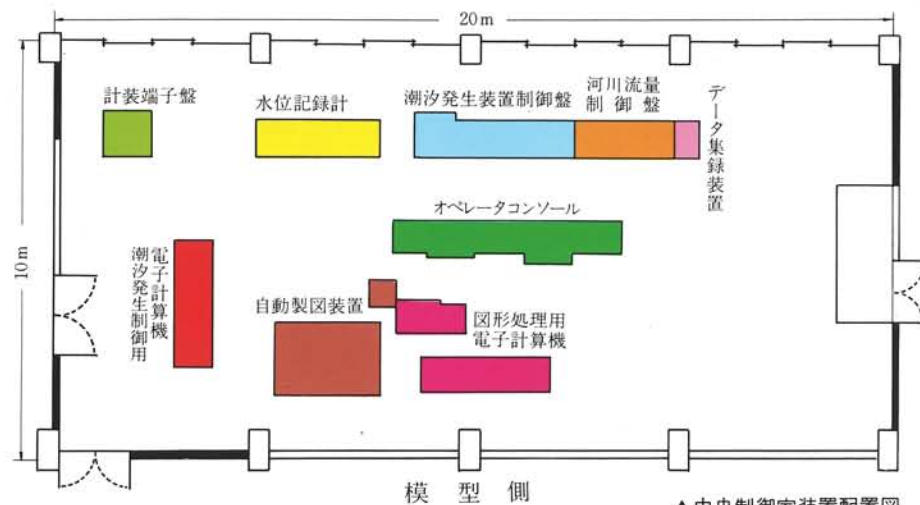
▲定量注入装置



## 中央制御室

実験場中央部に接して建てられたコントロールセンターの2階に実験場の頭脳ともいべき中央制御室がある。室内には潮汐発生装置制御盤があり、電子計算機からの信号により実験場内3ヶ所の潮汐発生制御装置の遠隔自動制御を行い、模型内に潮汐を起こしている。また、模型内主要23河川の流量を電子計算機により各月ごとに変化させて流すための河川流量制御盤がある。水位記録関係では模型内30ヶ所の水位計から送られてくる信号を記録紙に記録するペンレコーダーがあり、さらに毎秒のデジタルデータとして磁気テープに高速収録することもできるようになっている。流速測定関係では、場内の超音波流速計からの信号を紙テープに収録するデータ収録装置とカメラで撮影された浮標位置の軌跡図や流向、流速のベクトル図を電子計算機により作画することができる自動製図装置が設置してある。

その他自動観測装置に設置された多数のカメラのシャッター制御、場内の暗幕開閉、場内放送等の設備も完備されている。



▲中央制御室装置配置図



▲中央制御室

## 自動観測装置

本装置は15mの高さから模型水面を撮影する装置で、観測室とそれを支えるクレーンから成る。観測室には長尺フィルムを装てんしたカメラを搭載しており、流況観測をするために流した浮標や、廃水拡散実験の染料の拡散状況を自動撮影する。一基のクレーンには2台の観測室が設置されており、模型上を移動し観測するが、撮影地点の位置を正確に知るために、観測室には100 mmの望遠レンズを備えたテレビモニタ装置が設置されている。



▲自動観測装置



▲実験場内



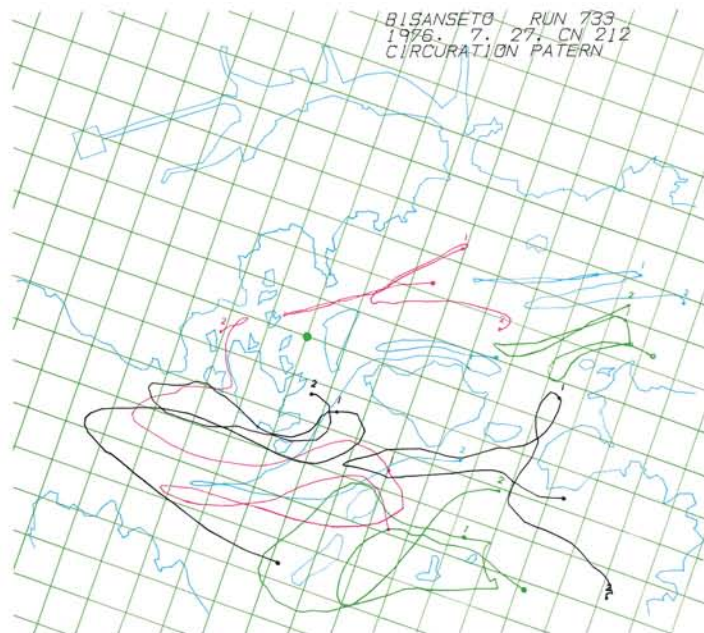
◀観測室内

## 浮標データ解析システム

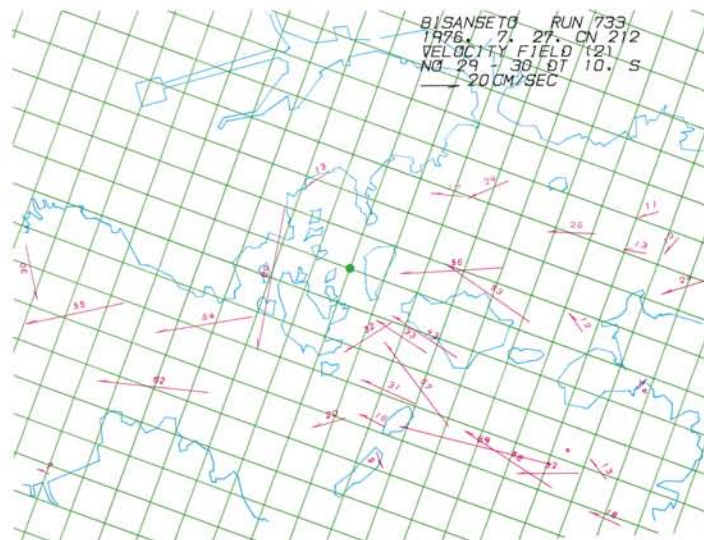
水理模型実験における流況解析は、自動観測装置に設置されたカメラによって、水面に浮かべられた多数の浮標を撮影し、フィルムの1駒ずつをスクリーン上に光学的に拡大し、その画像の1駒ごとにおける多数の浮標の位置をフィルム座標解析装置により読み取り、各浮標の座標値を時間シーケンスデータとして紙テープに出力する。これをミニコンピュータに読み込ませ、ミニコンピュータより製図機に作画指令を与えることにより、多数の浮標の軌跡を自動的に作画させる。さらに浮標の軌跡を解析することによって流向、流速を表すベクトル図を作画させることができる。



▲フィルム座標解析装置



▲浮標追跡図



▲流速ベクトル図

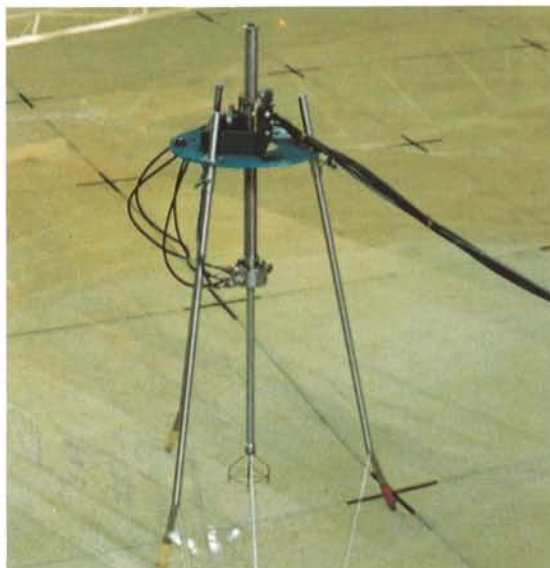
## 流速の直接測定

模型内の流れを直接測定する装置として、超音波流速計、プロペラ流速計等がある。

超音波流速計は、超音波を水中で発射すると流れの流速分だけ伝播時間が変化することから、伝播時間の差を検出し流速を測定する装置である。流向は、2組の送受信器を直交しておき求める。この流速計は比較的低流速から高流速まで測定が可能で、応答性もすぐれている。

プロペラ流速計は、流れの中にプロペラを入れ、その回転数を計数し、流速を測定する装置である。プロペラ流速計は、水温、水質、異物の混入の影響を受けず、長時間安定した測定が可能である。流向は、自動追尾装置により、プロペラ軸を回転し、角度を測定する。この装置は、比較的流れの速いところでの平均的な流速を測定するのに適している。流速計からの出力信号は、場内の中継ボックスから中央制御室のデータ集録装置に送られる。

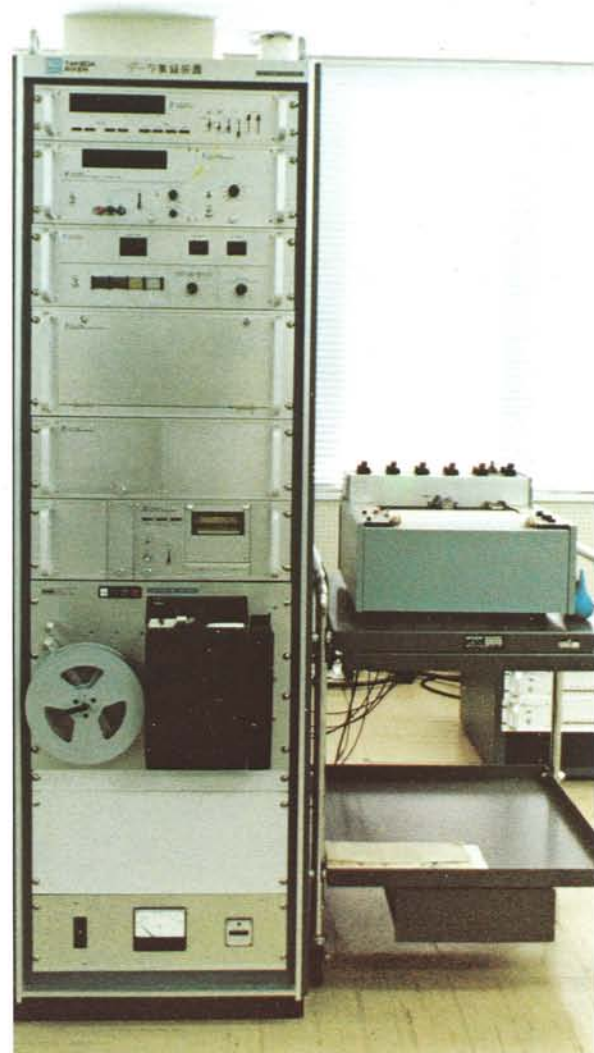
データ集録装置は、模型の基準時間に合わせて、任意の時間間隔で紙テープとプリンターにデータを出力する。紙テープに記録されたデータは、計算機によって解析され、模型内の流れの解析に使用される。



▲超音波流速計



▲プロペラ流速計



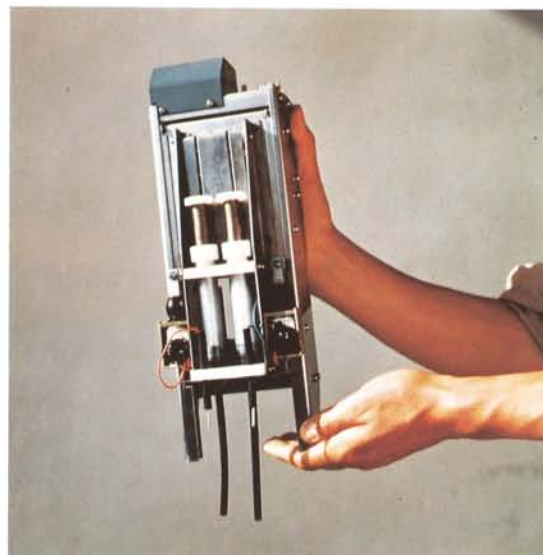
▲データ集録装置



## 自動試料採取装置

排水拡散実験では汚濁水を染料水で相似し、その拡がりを測定する。本装置は実験水域を乱すことなく試料を採取するための採水台と、それを支持する巨大なクレーンとから成る。クレーンは長さ(径間)45.8mで模型水面の全長210mを走行できる。採水台は10m×10mの鋼製の格子状の板でクレーン径間45.8mを横行でき、上下方向に3m、鉛直軸のまわりに340°の回転ができる。

実験にあたっては、採水台に試料採水器をとりつけ、水面上約20cmの高さで採水台を停止し、汚濁水を吸い上げて、その濃度分析を行う。



▲試料採水器



▲自動試料採取装置



▲自動濃度測定装置

## ● 水理模型実験

瀬戸内海大型水理模型実験の目的は、瀬戸内海の水質汚濁を未然に防止するための予測技術の開発である。瀬戸内海は、屈曲が多い海岸線と多数の島々や、変化に富む海底地形からなる。さらに紀伊及び豊後水道、関門海峡の3箇所から潮流が入り相互に干渉するため、内海部の潮汐・潮流現象は非常に複雑であり、現地における潮流現象の解明は不十分な点が多い。

水理模型実験では、このように複雑な現地の潮汐と潮流を水理模型上に再現させなければならないので、瀬戸内海各地域での潮汐、潮流、各河川の流量等に関する基礎データを収集し、これらの現地のデータが模型上で再現されるよう装置の調整、模型粗度の調整など検証実験を先ず行う。次に瀬戸内海現地の潮汐、潮流が模型上で再現された段階で、工場排水、都市排水等の汚濁負荷量に相当する染料水を模型内に流して拡散実験を行い、汚濁排水の拡散状況を調査する。この模型では潮汐の半日周期が4.7分なので、1日が9.4分となり、1年分は約2日半で実験できることになる。

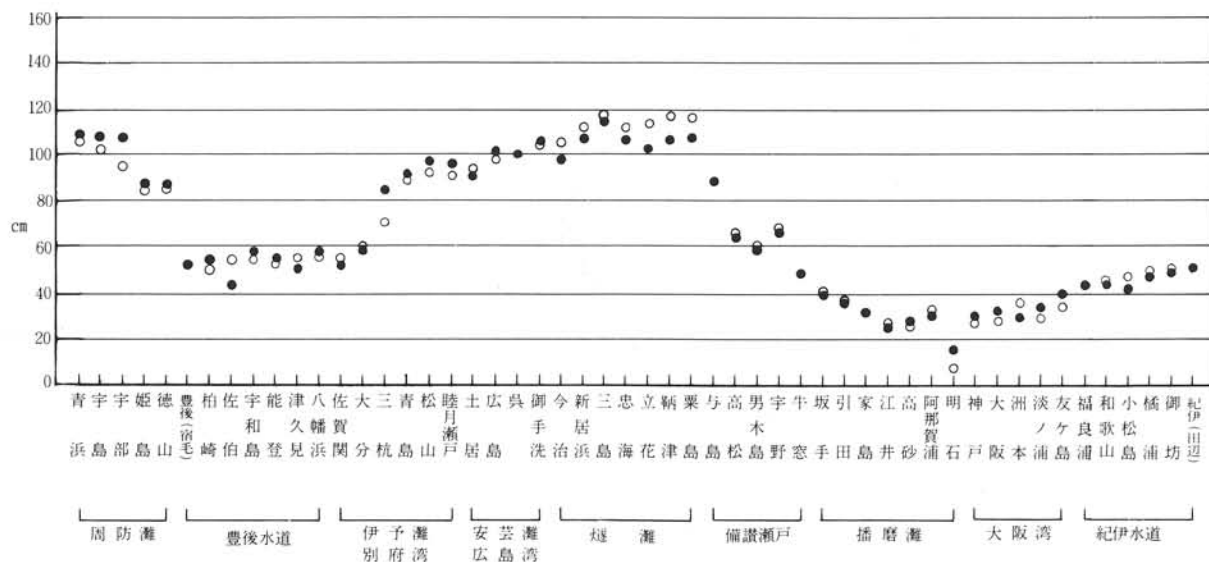
水理模型実験により、コンビナート前面海域の汚染予測や、周防灘、大阪湾等広域汚濁の予測、埋立地等地形変化の流況に対する影響、海中構造物等の流況に対する影響等緊急を要する課題について府県等からの要請に応えることができる。



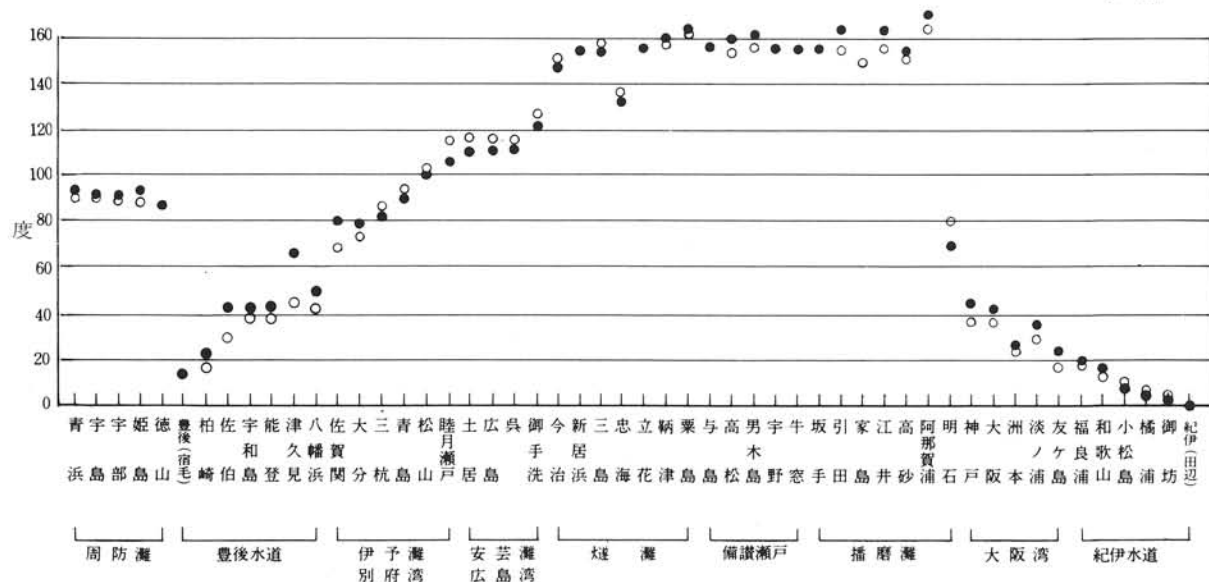
## 水理模型の検証実験

水理模型の水位変化を瀬戸内海現地の潮汐に相似させることは、模型の相似技術において最も重要な項目である。模型での潮汐波は主として半日周潮( $M_2$ 潮)で、周期4.7分の正弦波である。起潮装置に与えている正弦波の境界条件は振幅で紀伊3.2mm、豊後3.3mm、関門1.9mmで、位相は紀伊を基準( $0^\circ$ )にとり豊後で $-14^\circ$ 、関門で $-122^\circ$ としている。現地の潮汐と模型の潮汐を相似させるために瀬戸内海各地の検潮所に対応する模型地点に水位計を設置し、この水位計からの記録データと現地検潮所より収集した潮汐記録からの $M_2$ 分潮データを比較検討する。潮汐の相似については、コンクリートブロックを用いた人工粗度調整により殆んど95%近くの相似性を達成した。

また、模型内で現地の流況を再現させるために、瀬戸内海現地の流況に関するデータと模型内の流況データとを比較検討し、試行錯誤により底面粗度を調整して相似を達成させた。この実験における模型内の流況測定は模型水面上に浮標を浮かべ、上部クレーンのカメラにより連続撮影して浮標追跡図をつくる方法と超音波流速計により流標追跡図をつくる方法を用いる。検証実験で用いる現地の潮流観測資料は15日間以上の連続観測による測定データを用いた。

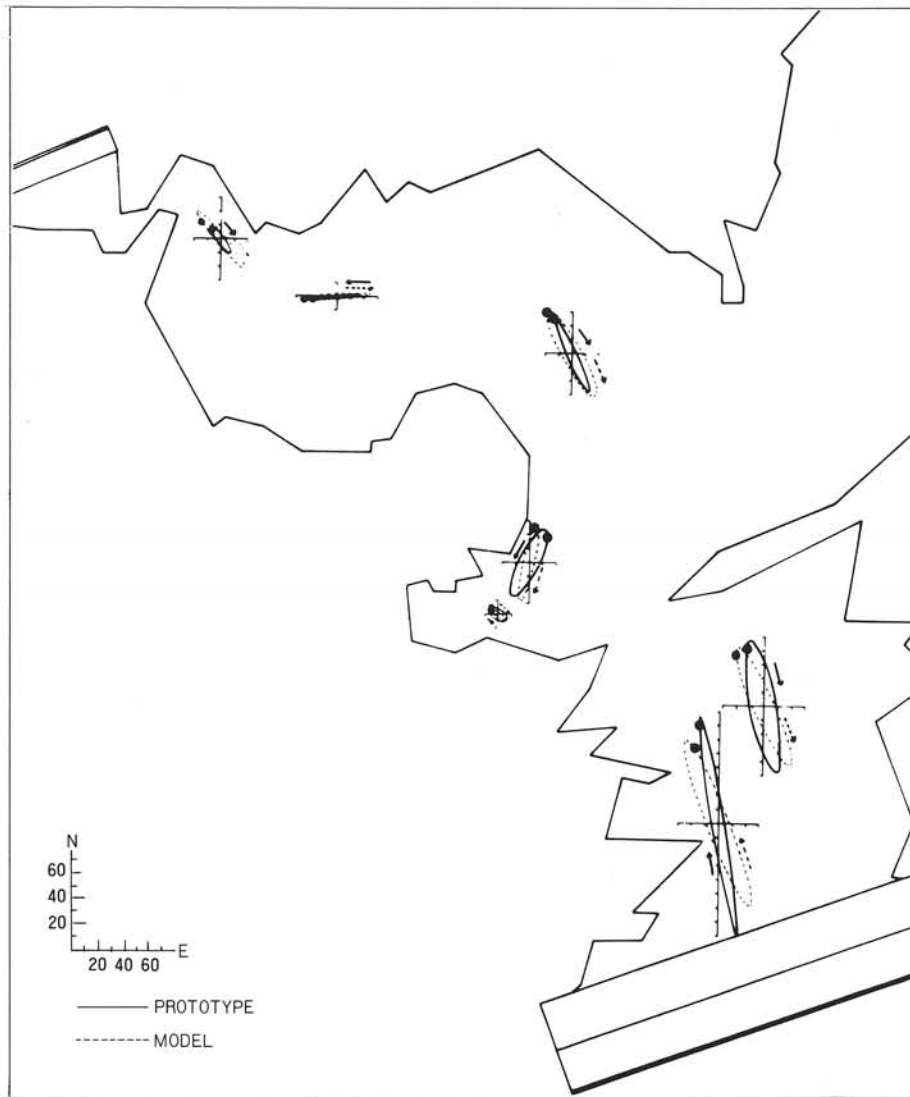


▲振幅



▲位相

潮汐比較図(○:模型, ●:原型)



▲ M<sub>2</sub>分潮流流精円図  
 (単位 cm/s, 黒丸は紀伊水道満潮時)



▲ 検証実験のための現地調査

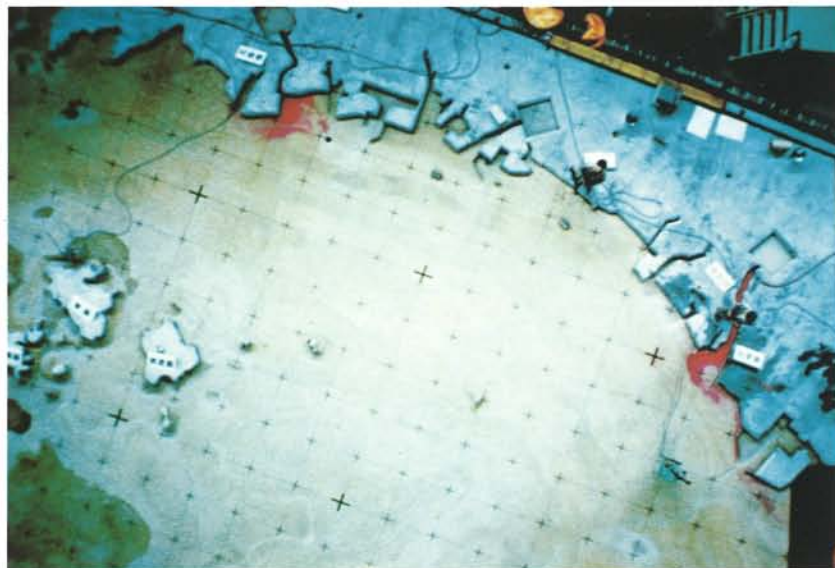
模型内で、現地の流況を再現させるために瀬戸内海現地の流況に関するデータが必要であり、資料収集と同時に現地観測も行っている。

## 染料水拡散実験

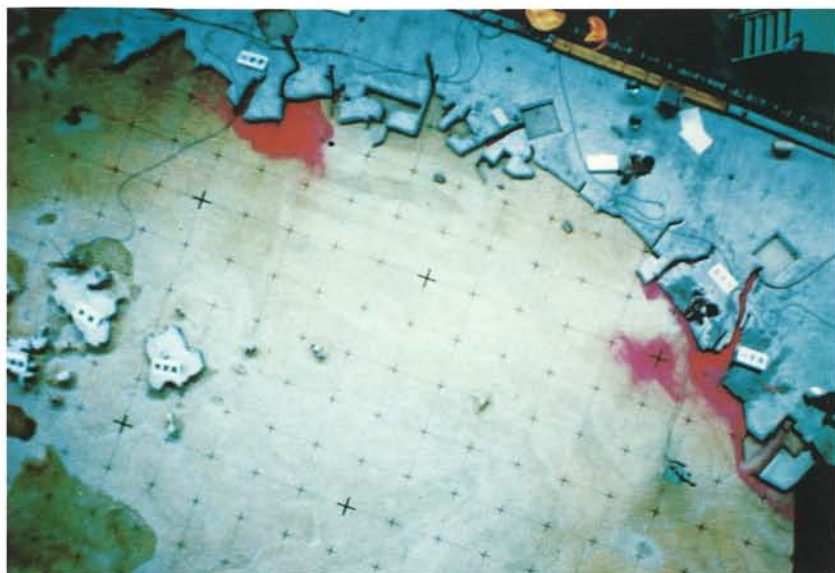
水理模型による水質汚濁拡散実験は模型内に開発計画に基づいた汚濁負荷量に相当する染料水を放流して、その拡散状況を観測し、将来の汚濁状況を予測するものである。

拡散実験を行う際は先ず拡散現象の相似性を確めるため、染料水を模型水面に瞬間的に少量投入して、その拡散状況を測定し、現地で同じ方法により求めた拡散係数と比較することにより拡散現象の再現性をチェックする。

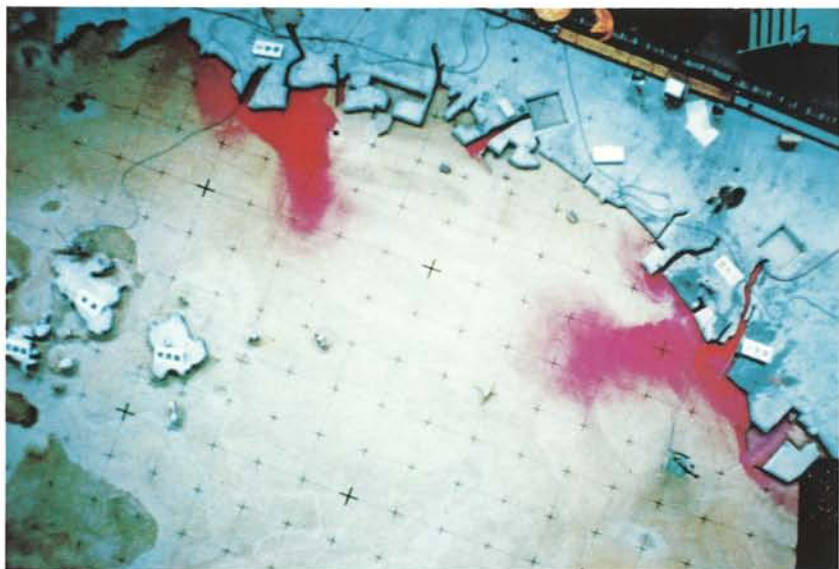
拡散実験は各灘又は湾ごとに、まず河川水、つぎに工場・事業場排水等において、汚濁水として現地のCOD濃度に相当する濃度の汚染水を放流する。実際には測定しやすいように現地のCOD濃度の2～3倍のローダミンB水溶液をつくり、潮汐(M<sub>2</sub>潮)を発生させた瀬戸内海水理模型に流しこみ、予め定められた採水点で採水器又は、ガラス管で採水し、分光光度計又は蛍光光度計で濃度を測定する。投入量は現地の流量に相似する量、即ち流量縮尺で計算された流量を用いる。拡散状況の把握は、2周期ごとの満潮時及び干潮時に採水し、時間経過による染料濃度の変化を定量的に求めることにより行う。対象とする水域の染料濃度が定常状態となるまで、広さに応じて50周期から200周期以上にも達する染料水の放流を続ける。複数個の排水源については、単数の排水源ごとに拡散実験を行い、その濃度分布を合成して全体の排水源からの染料水拡散の濃度分布曲線図とする。この場合、この濃度分布曲線を稀釈率で表しておけば、流入汚濁水のCOD濃度が変わっても、直ちにそれに相当する濃度分布図がえられる。このような水理模型実験により種々の排水計画による汚濁水拡散状況を事前に予測することができるのである。



▲ 2周期



▲ 4周期



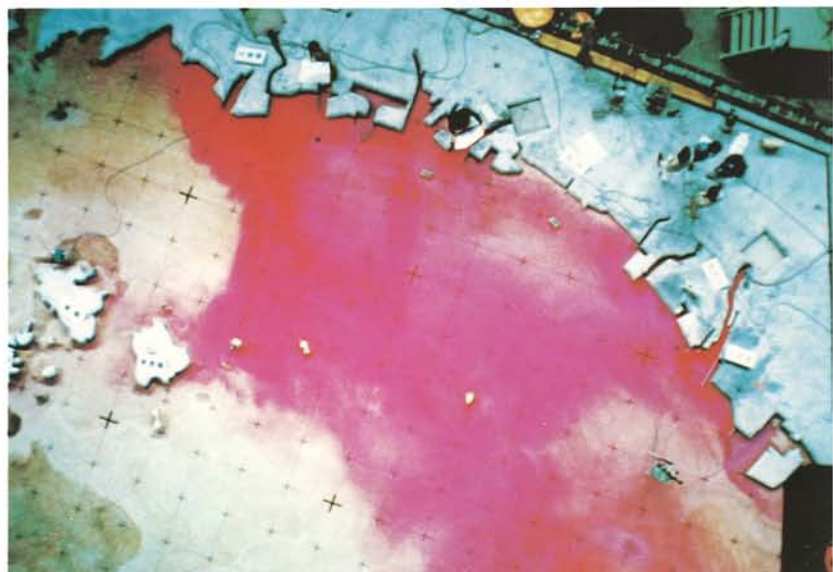
▲ 8周期



▲ 30周期

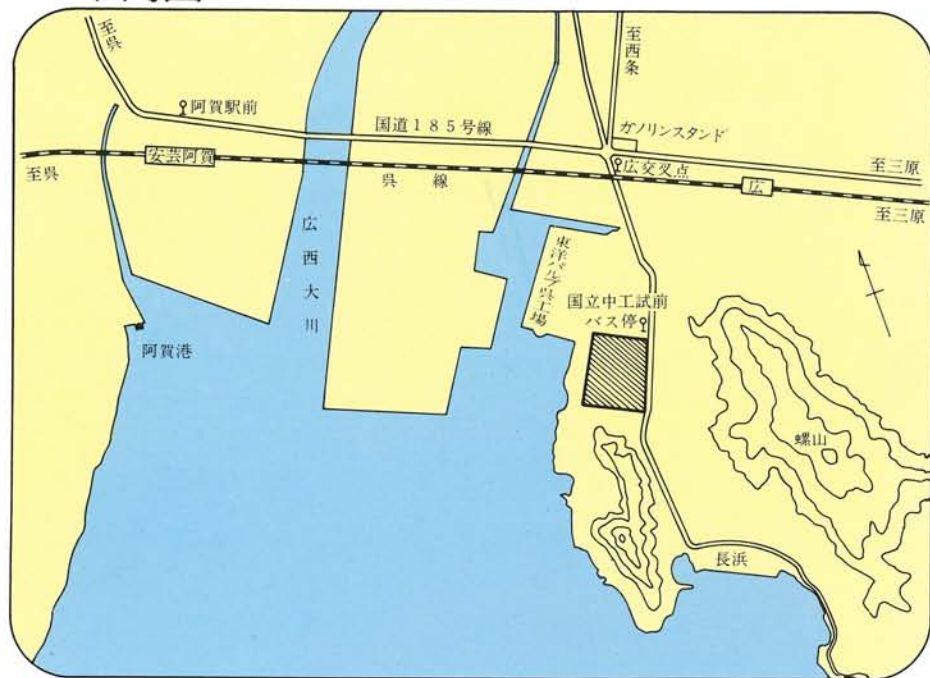


▲ 16周期



▲ 48周期

## 案内図



交通：呉駅、安芸阿賀駅前より呉市営バス長浜ゆき乗車。  
国立中工試前下車。(呉駅より30分、阿賀駅より10分)  
広駅より徒歩20分。車で5分。



発行所 工業技術院 中国工業技術試験所  
〒737-01 広島県呉市広末広2丁目2番2号  
電話 (0823) 72-1111(代)

