

流況制御ブロックを用いた 水質改善技術の適用事例

A CASE STUDY ON A METHOD TO IMPROVE WATER QUALITY
BY 'BOTTOM ROUGHNESS'

小橋乃子¹・安達貴浩²・多田彰秀³・矢野真一郎⁴・神山泰⁵・小松利光⁶

Naoko KOHASHI, Takahiro ADACHI, Akihide TADA, Shinichiro YANO,
Yasushi KOUYAMA and Toshimitsu KOMATSU

¹正会員 工博 Academic Visitor Loughborough University (Loughborough UK)

²正会員 工博 九州大学大学院助教授 工学研究院環境都市部門 (〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

³正会員 工博 長崎大学助教授 工学部社会開発工学科 (〒852-8521 長崎市文教町1-14)

⁴正会員 工博 九州大学大学院学術研究員 工学研究院環境都市部門 (〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

⁵学生員 工修 博士後期課程 九州大学大学院工学府 (同上)

⁶フェロー 工博 九州大学大学院教授 工学研究院環境都市部門 (同上)

Komatsu et al.(1997) have recently proposed a new water-purification method in a semi-enclosed coastal area. By means of this method, to activate the tidal exchange between the inner and outer sea area, installing many bottom structures "Bottom Roughness" controls a pattern of tidal residual current, which have an unsymmetrical 3-dimensional shape. In order to confirm the effect of the present method in an actual coastal area we started prototype test since May 2000 in New Nagasaki Fishery Port, Nagasaki, Japan. In this prototype test, 60 units of bottom roughness, whose height and width were 4m respectively, were installed on the bottom near two mouths of the port in May 2001. In this paper, some processes to apply this water-purification method to New Nagasaki Fishery Port were reported.

Key Words : Water purification method, semi-enclosed bay, water exchange, field measurements

1. 研究の背景

近年、停滞性海域における水質悪化問題への対策として、多くの流況制御技術が開発・提案されている。たとえば、武内¹⁾によって水産土木分野における流況制御技術・水質改善技術が対象海域および利用エネルギーによって分類され、合計9種類の工法が紹介されている。また、上嶋ら²⁾による3つの工法をはじめとして、村上ら³⁾、大谷ら⁴⁾、粟谷ら⁵⁾、小松ら⁶⁾などによっても流況制御技術が提案されている。これらの技術の多くは自然エネルギーや既存の人工エネルギーを利用して水平方向の流れを制御し、閉鎖性海域の海水交換を促進しようとするものである。中でも小松ら⁶⁾が提案する、「流況制御ブロック」を用いた海水交換促進技術は、残差流のパターンと強さのある程度任意にデザインできることから、最も自由度の高い手法の1つと考えられる。著者らの流況制御ブロックとは流れの方向により抵抗特性が異なる人工構造物のことである。海底面上に設置す

る流況制御ブロックの個数・主流に対する向きおよび設置領域を調節することにより平面的な残差流の創造・制御が可能となっている。

流況制御ブロックを用いた水質改善技術の開発に際しては、室内実験や数値シミュレーションによる可能性試験が実施され、現在までにその効果が確認されている⁷⁾。しかしながら、本技術を実用化していくためには、数値シミュレーションや室内実験といった単純化された場での議論だけでなく、実際の海域における効果の検証が不可欠と思われる。このため、本水質改善技術の開発ではまず小規模な現地実験を行い、ブロックの製作・設置の際に生じると思われる懸案事項について単体のブロックを用いた調査を行った⁸⁾。その後、得られた知見を基にして複数のブロックを適用した本格的な現地実証実験を新長崎漁港において実施した(図-1参照)。本論文では新長崎漁港の事例を対象に、流況制御ブロックを適用する際に必要となる、1) 調査計画、2) 設置計画、3) 設置工事、および4) 効果の検証までの各プロセスと

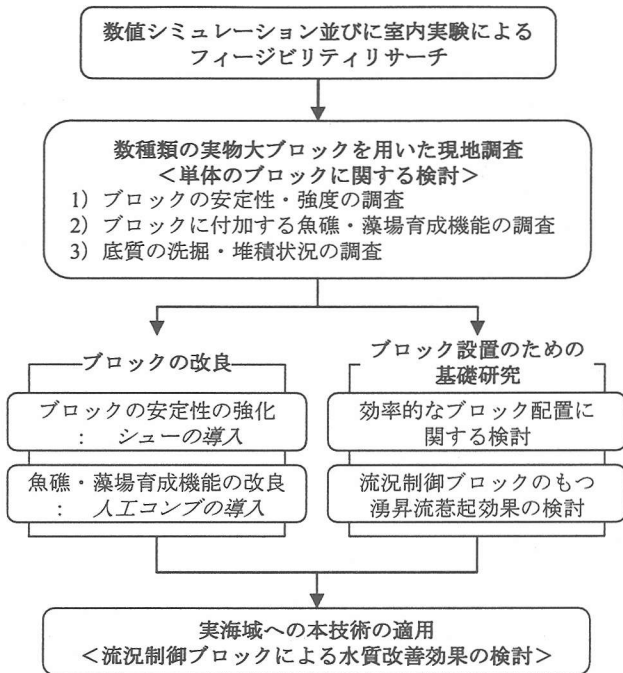


図-1 本研究開発の流れ

そこで得られた課題および改良点を紹介する。

2. 新長崎漁港の概要

新長崎漁港は、長崎県西彼杵半島の南西部に位置し東洋一の施設規模を有する特定3種漁港であり、港内のスケール（幅：約1.6 km，奥行き：約1.2km）に比べて2箇所の港口幅がそれぞれ100m，300mと狭く、閉鎖性の強い海域となっている（図-2参照）。港奥部東側には多良川からの流入が（図-2の測点⑫に相当）、港奥部西側には水産加工工場・宅地等からの生活雑排水の流入があり（測点④'），いずれも港内への淡水や汚濁負荷の供給源となっている。この他、出荷調整用の蓄用筏（測点⑩）や港内中央部に位置する魚市場から流出する水揚げ時の血水なども港内の水質に影響を及ぼしているものと考えられる。現時点における同港の水質は比較的良好であるものの、蓄用筏の増設や背後地の宅地化など水質悪化を招く要因が揃っており、夏季には赤潮の発生も見られることから、将来的な水環境悪化が危惧されている。このため、同漁港の長期的な水環境の保全を目的として流況制御ブロックを用いた現地実証実験が計画・実施された。なお、本水質改善技術を適用する実験フィールドとして新長崎漁港を選定した理由は以下のとおりである。

- ① 港口に長大な防波堤が存在することから港内外での水質の相違が大きいことが推測され、港内外の海水交換を促進することで港内の水質改善が期待できる。
- ② 港口部が2箇所存在することから、流況制御ブロッ

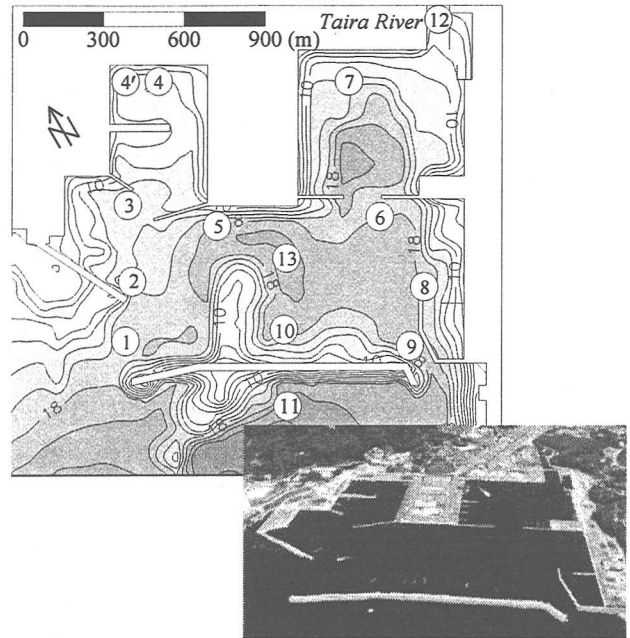


図-2 新長崎漁港（上図：観測ポイントと水深図，下図：南側から撮影した全体写真）

クを用いることで防波堤を中心とする残差還流を生成しやすいものと推察される。

- ③ 港口部が比較的狭く、潮流流速（潮汐エネルギー）の大きな領域が港口部に集中していることから、少ない数の流況制御ブロックでも大きな残差環流の生成効果が期待できる。
- ④ 潮差が比較的大きいことから（大潮時約2.5m），潮汐残差流を生成しやすい。

（1）現地調査の概要と観測計画

新長崎漁港の調査を行うにあたり、九州大学大学院工学研究院，長崎大学・水産学部，環境科学部および工学部を中心とした調査研究グループを結成し、一連の調査と解析を実施した。2000年5月からおよそ1年間は、同海域の基本的な水質動態・流動特性を把握するための事前調査を実施し、さらにブロック設置後も同様の調査を行った。まず、同漁港の水質動態と流動構造の全体像解明を目的とし、観測開始年は1週間間隔（満潮時）の成層調査（アレック電子製ADR-1000による水温，塩分，DO等の計測：2000年5月～11月）と1ヶ月間隔（中潮期の干潮時）の水質調査（HORIBA製U-20による水温，塩分，DO等と採水分析によるCOD，TP，TN等の計測：2000年5月～2001年1月）を、港内全域を網羅する10点と港外1点において実施した。また、夏季および冬季には流況調査として2箇所の港口部（測点①，⑨）に海底設置型のADCP（RDI社製，1200kHz，600kHz）を、測点⑩，⑬に電磁流速計を、それぞれ約1.5ヶ月間設置した（表-1参照）。この他、ADCP曳航調査による流速分布測定，波浪観測，気象観測，潮位観測，底質調査，潜水調査

表-1 新長崎漁港における主な調査の内容

	測定ポイント	測定時間	測定期間	測定内容	使用計測器
成層調査	②～⑤, ⑦～⑬	満潮時	00年5月～11月 (毎週) 01年5月～11月 (隔週)	水温, 電気伝導度, DO, pH, 濁度	アレック電子 ADR-1000
	②～⑤, ⑦, ⑨～⑬	毎月1回 中潮	00年5月～01年1月 01年 5月～02年1月	水温, 電気伝導度, DO, pH, 濁度, ORP	HORIBA U-20
水質調査	②～⑤, ⑦, ⑨～⑬ 上 中下層で採水 (但し, ④' と⑬は上層のみ)	毎月1回 中潮期の 干潮時	00年5月～01年1月 01年 5月～02年2月	COD, 全リン, 全窒素, リン酸態リン, アンモ ニア性窒素, 硝酸性窒 素, 亜硝酸性窒素, SS	長崎大学および長 崎県環境科学試験 所による分析
流況調査	①, ⑨	1or2分/10分 (約40日間)	夏季: 00年, 冬季: 00 年, 01年, 春季: 01年	流向・流速	RDI社WorkHorse ADCP 1200, 600kHz
	⑩ (海底から5, 14m), ⑬ (海底から5m)		夏季: 00年, 冬季: 00 年, 01年, 春季: 02年	流向・流速	アレック電子ACM-8

等も適宜実施した。

(2) 観測結果の一例

図-3は2000年夏季(6月～8月)に得られた観測データを用いて、測点⑩の測定結果と同日・同水深における各測点での測定結果の関係をプロットしたものである。塩分の鉛直分布に着目すると、低塩分層でのばらつきが大きいものの、表層3mを除けば(図中央), 各地点の塩分は測点⑩の鉛直分布とほぼ一致していることが分かる。2000年夏季は比較的河川流量の多かった年であるが(平均1.66m³/s), 河川水の影響を強く受ける淡水層は3m以浅に集中しており、この層にのみ塩分の水平分布が形成されていることも確認できる。一方、水温分布を見ると平面的な相違はそれ程大きくなく、同一の水深であれば水温は港内ではほぼ同じ値を示していることが分かる。さらに、密度流が支配的な場合の港口部①の流動は、測点⑩と測点⑪との成層構造の相違によって概ね説明できることから⁹⁾, 測点⑩は新長崎漁港の密度構造を考える場合に代表点と見なすことができる。

一般的に観測計画を立案する際、対象海域の特性を代表する観測地点の選定が非常に難しい場合が多い。しかし、夏季の成層構造や密度流構造が貧酸素水

塊の発生および港内外間の海水交換にも大きな影響を及ぼすことを考えると、少なくとも水深が大きい地点や窪み部の存在する地点を測定しておく必要があるものと考えられる。この他、流入負荷および淡水流入がある地点、港内外の境界に相当する地点および導入する水質改善技術の影響のない外海の地点も重要な観測点となり得るものと思われる。また、流況制御技術は物質輸送の水平パターンを制御する方法であるため、水質が水平方向に大きく異なる海域ほど高い効果が期待できる。したがって、流況制御技術を適用する際には、港奥から外海への平面的な水質の変化パターンをまず確認しておく必要がある。

3. 流況制御ブロックの設置計画と設置工

水質問題が顕在化している海域に本技術を適用する場合には、事前調査を実施するか、もしくは既存のデータを利用して本技術の有効性を検討した上で設置計画を立てる必要がある。しかし、新長崎漁港における一連の現地実証実験は、本水質改善技術の開発の一環として実施されたものであり、しかも調査および実験期間がわずか2年間と限定されていたことから、現地調査の結果を踏まえずに設置計画を立

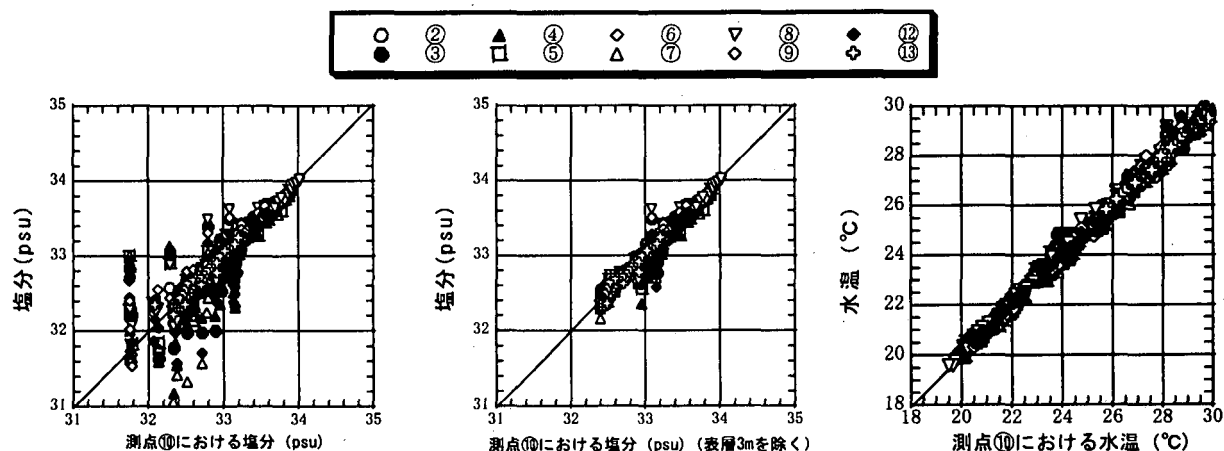


図-3 塩分・水温の水平方向の相違

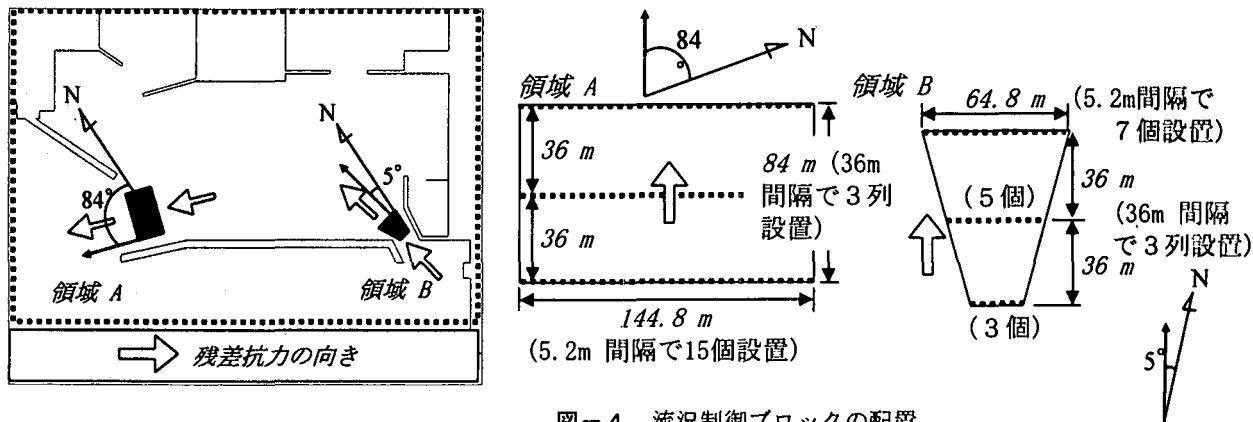


図-4 流況制御ブロックの配置

案せざるを得なかった。そこで、蓄用筏の増設や後背地における宅地化の急速な進展などによって港内の水質悪化が懸念されていることを踏まえ、港内外の海水交換を促進することを目的として防波堤を中心に残差環流を生成するための流況制御ブロックの配置が決定された。とくに、1)環流を生成する方向、2)ブロックの設置角度、3)設置間隔を決定する必要があるが、それぞれ以下のような方針の下に決定された。

- 1) 港内4箇所で行われた流況調査に基づけば、新長崎漁港には防波堤を中心とする反時計回りの残差環流が形成されやすいことが明らかとなった。このため、ブロックによって既存の環流を増強するように、流況制御ブロックの配置を決定した。
- 2) 本水質改善技術では、潮流の主流方向に対してブロックの設置角度を調節することで残差流の生成方向を変えることが可能である¹¹⁾。したがって、ブロック設置領域における潮流楕円の主軸方向を実測および平面2次元モデルによる潮流シミュレーションによって予測計算し、本現地実証実験では図-4に示すような方向でブロックを設置した。
- 3) 単位面積当たりの残差抗力(流況制御ブロックにより1潮汐間で平均的に与えられる抗力)が最大となるようなブロックの配置間隔を室内実験により決定し、図-4に示すような不等間隔で流況制御ブロックを配置した¹²⁾。

流況制御ブロックの設置場所を選定した後は、同海域の海底地形、底質状況および波浪特性を調査し、ブロックの設計に必要な流体力を算定した。これらに必要なデータの多くは、既存の調査結果や観測データで補うことができた。しかし、実際にブロックが配置される領域は港口部近傍の限られた海域であったため、港口部の領域に関しては別途50m間隔の深浅測量を実施した。

以上の結果に基づき、総合的な判断の下で流況制御ブロックの形状および設置個数を決定した。一般的には、流況制御ブロックによる海水交換促進効果は、水深とブロック高さの関係と配置個数・配置密度によって規定される。一方、本実験では設置領域があ

る程度限定されていたことから、ブロックの個数を増やすよりもブロック高さを大きくした方が効果的であるとの判断が室内実験結果からなされた¹³⁾。さらに、船舶航行の安全上、10m以上の喫水を確保する必要があったが、設置領域の平均水深が約20mと比較的大きかったため、製作費の総額を勘案しながら、最終的にはコンクリート製の1/2円筒に鋼鉄製の1/4球面を重ねた形状を採用した(図-5)。ブロックの大きさは高さ4m、幅4mであり、安定性の確保および洗掘防止のために幅4.7m、奥行き4mのコンクリート製底盤の上に据えつけられた(総重量約19t、図-6)。この際、①分割して製作した上下パーツを組み合わせてブロックを製作すること、②1/4球部は比較的加工が容易な鋼鉄製とすること、③ブロック底盤の側面に鋼鉄製の「シュー」を取り付け、設置砂地盤に噛み込ませることによってブロックの滑動に対する安定性を強化すること、④ブロックを現地製作すること、等の工夫により経費節減を図った。

さらに、流況制御ブロックの効果を組み込んだ平

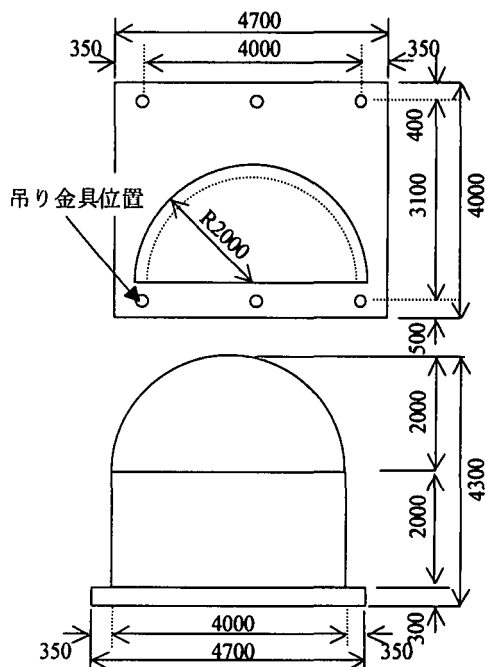


図-5 流況制御ブロックの諸元(mm)

面2次元潮流計算を行い⁶⁾、ブロックの配置個数と形成される残差流の強さについて検討を行った。この計算結果からは予算上製作可能なブロック個数では期待した規模の残差流生成効果が得られないことが推定された。しかし、実海域では潮流だけでなく波浪により生じる往復流の効果も存在することや、ブロックによる鉛直混合効果の促進も期待されるため、ブロック設置個数は予算が許す範囲内の60個とした。なお、東西両港口部への配分は、港口幅の比率1:3に応じて東側港口15個、西側港口45個とした。

以上のようなブロック設置条件の下、2001年5月29日から数日間に渡って流況制御ブロック60個が港口部近傍の海底に設置された(図-7参照)。なお、流況制御ブロックには沈設直前にそれぞれ滑動防止用のシューが取り付けられるとともに、その内の数体のブロックには魚礁効果を高める目的で、西ノ首・諏

訪部¹⁵⁾の提案する人工コンブも取り付けられた。

4. 流況制御ブロックの効果の検証

流況制御ブロック設置後の調査では、流れと水質・底質の変化を把握することを目的として、ブロック設置前とほぼ同様の調査が行われた。流況調査の結果からは、流れの非定常性が予想外に強く、ブロックの効果を観測結果から直接抽出することは困難であった。一方、現在までの水質調査の結果からはブロック設置前よりも設置後の水質(COD)と底層のD₀濃度に改善傾向が認められている¹⁴⁾。また、同漁港では風と下層の成層構造との相関が高い¹⁰⁾。したがって、ブロック設置前の観測結果から得られた下層の成層構造と風速との相関関係を用いて、ブロック沈設前後の成層状況を比較したところ、流況制御ブロックが成層抑制効果を有することも明らかとなった。さらに、港内外の下層D₀濃度差が小さくなったこと、同一の成層構造でもD₀の濃度勾配が小さいことから、流況制御ブロックが港内外の海水交換の促進に対しても有効であることが示唆されており¹⁶⁾、今後の調査と解析によって流況制御ブロックの水質改善効果がより確かなものとなることが期待される。

5. おわりに

本論文では、流況制御ブロックを用いた海水交換促進技術が長崎県の新長崎漁港に適用された事例を取り上げ、同海域での計画と工事概要を紹介した。本現地実証実験は技術開発の一環として行われたものであり、必ずしも実際的な手順に従って実施することができたわけではない。言い換えると、現段階でも流況制御のみならず水質や底質の改善効果まで含めた正確な効果予測という点に大きな課題が残されている。さらに、小規模海域の場合には、気象擾乱による非定常性によって流動や密度構造が大きく影響を受けている(新長崎漁港では南風が卓越することにより潮汐に拘らず、数日間の一方向流れが起こるこ

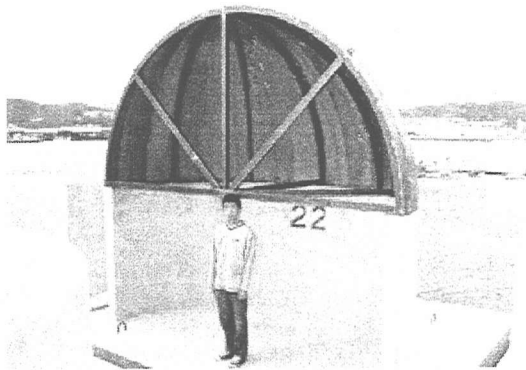


図-6 ブロック底盤との接合作業状況(上図)と完成した流況制御ブロック(下図)

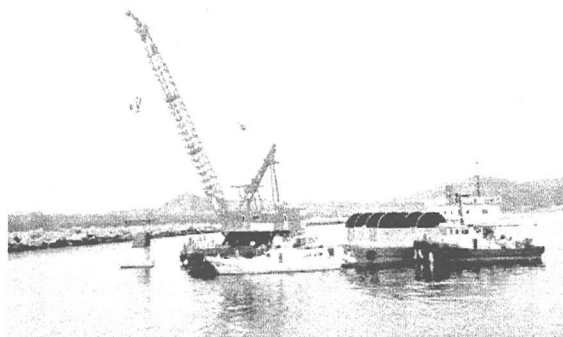
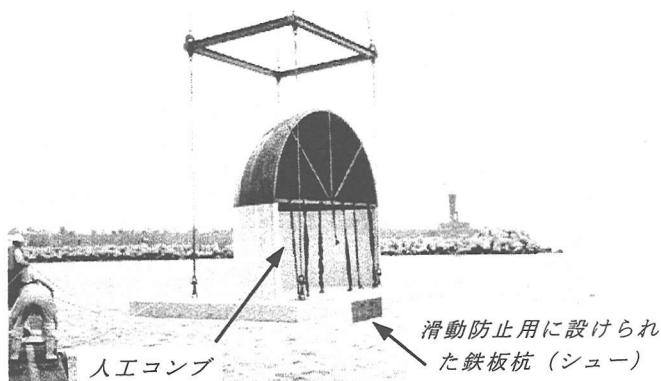


図-7 流況制御ブロックの設置状況

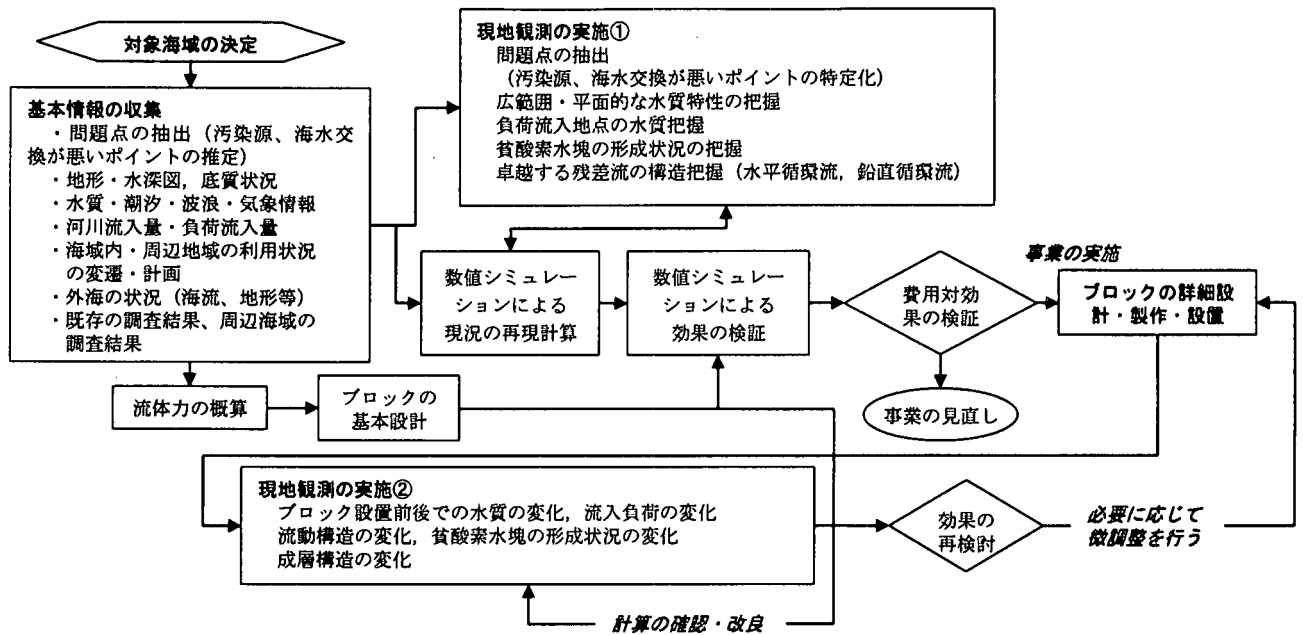


図-8 本水質改善技術の適用

とも観測された¹⁰⁾。このような現象を数値シミュレーションで取り扱うためには、対象海域での支配的な現象を正確にモデル化しておく必要があり、モデルの構築と併せて事前の現地調査が重要であることが再認識された。

以上のように、効果の検証については未だ不十分な点も多々あるものの、現時点で得られている新長崎漁港の観測データでは、ブロックによる水質改善効果が示唆されており、今後の更なる研究開発によって閉鎖性海域の水質汚濁問題に対して大きく貢献できるものと考えられる。最後に、本技術を適用する際に必要な諸過程を図-8にまとめて示す。

謝辞:本研究で行った現地観測は中小企業総合事業団による「課題対応新技術研究開発事業」の一環として行われた。また、本現地観測結果は、長崎大学水産学部・西ノ首英之教授、長崎大学環境科学部・中村武弘教授とともに実施して得られたものである。さらに、本研究を遂行するに際して、長崎県臨海開発局、新三重漁業協同組合、長崎県総合水産試験場・矢田武義所長、(社)長崎県水産開発協会・轟木重敏参与、五洋建設(株)、須田建設工業(株)、(有)フィールド環境リサーチ、東栄商興(株)、並びに九州大学大学院工学研究院・藤田和夫技官と、長崎大学水産学部・環境科学部・工学部と九州大学工学府・大学院工学研究院の学生諸氏より多大なご協力を頂戴した。ここに記して深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 武内智行: 水域環境保全のための水質改善工法の可能性, Bulletin on Coastal Oceanography, Vol. 36, No. 2, pp131-135, 1999.
- 2) 上嶋英機・橋本秀資・田辺弘道・宝田盛康・山崎宗広: 大阪湾停滞性水域の流況改善技術に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第36巻, pp. 839-843, 1989.
- 3) 村上和夫・菅沼史典・宮崎啓司・山田邦明・清水勝義: 潮汐エネルギーを利用した海水交換促進に関する水理模型実験, 水工学論文集, 第37巻, pp. 411-418, 1993.
- 4) 大谷英夫・高山百合子・石野和男・勝井秀博・宝田盛康: 流

況制御のための湾口渦と水平循環流に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第42巻, pp. 1221-1225, 1995.

- 5) 小松利光・矢野真一郎・鞠 承洪・小橋乃子: 方向性を持つ底面粗度をを用いた潮汐残差流の創造と制御, 水工学論文集, 第41巻, pp. 323-328, 1997.
- 6) 小松利光・小橋乃子・田嶋健太郎・藤田和夫・安達貴浩・矢野真一郎・末松吉生・甲斐一洋: 底面粗度をを用いた海域の水質改善技術の実用化へのアプローチ, 水工学論文集, 第44巻, pp957~962, 2000.
- 7) T. KOMATSU, N. KOHASHI and D. PARK: Improvement of Water Quality in a Sea Area by Activating Substance Transport Using Bottom Roughness, Proc. of Hydro Informatics 2000.
- 8) 小橋乃子・安達貴浩・甲斐一洋・西ノ首英之・中村武弘・多田彰秀・矢野真一郎・藤田和夫・小松利光: 新長崎漁港における成層と流況に関する現地観測, 海岸工学論文集, 第48巻, pp. 1041-1045, 2001.
- 9) 小橋乃子・安達貴浩・清水崇・西ノ首英之・中村武弘・多田彰秀・矢野真一郎・藤田和夫・神山泰・小松利光: 閉鎖度の高い小規模海域における成層期の海水交換機構, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 1091-1095, 2002.
- 10) 小松利光・小橋乃子・和田真人・藤田和夫・, 矢野真一郎・安達貴浩: 任意の方向に潮汐残差流を創造する底面粗度の開発, 水工学論文集, 第43巻, pp. 833-838, 1999.
- 11) 神山 泰・小橋乃子・甲斐一洋・小松利光・安達貴浩・藤田和夫: 流況制御のための海底粗度ブロックの有効な配置方法についての検討, 平成12年度土木学会西部支部, pp. B228-229, 2001
- 12) 小松利光・矢野真一郎・鞠承洪・小橋乃子: 方向性を持つ底面粗度をを用いた潮汐残差流の創造と制御, 水工学論文集, pp. 323-328, 1997.
- 13) 多田彰秀・矢野真一郎・中村武弘・野中寛之・小橋乃子・西ノ首英之・藤田和夫・小松利光: 新長崎漁港における流況制御ブロック沈設に伴う水質動態について, 海岸工学論文集 第49巻, pp. 1266-1270, 2002.
- 14) 西ノ首英之・諏訪部真帆: リサイクルPP魚礁の開発について, 平成12年度日本水産工学会学術講演論文集, pp. 121-122, 2000.
- 15) 神山泰: 流況制御ブロックを用いた水質改善技術の現地実験, 九州大学大学院工学研究院, 修士論文, 2003.