

# 港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE

OF

THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No. 1144

September 2006

外海水導入システムによる閉鎖性水域の水質改善効果に関する基礎的検討

住田 公資

中川 康之

独立行政法人 港湾空港技術研究所

Independent Administrative Institution,  
Port and Airport Research Institute, Japan

## 目 次

要 旨 .....	3
1. はじめに .....	4
2. 水門制御型導水システムによる海水交換 .....	4
2.1 導水システムの概要 .....	4
2.2 導水能力の検討 .....	5
2.3 導水制御水域での水位制御 .....	6
3. 実海域を想定した導水システムによる浄化効果の基礎的検討 .....	6
3.1 対象海域 .....	6
3.2 計算方法 .....	7
3.3 導水による改善効果の検討 .....	8
3.4 計算結果 .....	9
4. おわりに .....	10
謝辞 .....	10
参考文献 .....	10

# **Preliminary Study on Coastal Water Bypassing System for Water Quality Management in Semi-Enclosed Bays**

**Koshi SUMIDA\***  
**Yasuyuki NAKAGAWA\*\***

## **Synopsis**

A system for water quality management in semi-enclosed bays is proposed. The system consists of water pipes from the open sea through an inner bay and water gates which can control the water level for effective transportations of the water. Flow rate of water is a critical parameter to maximize efficiency of the system for water quality improvement and the dependency of the rate on such factors is examined as tidal range, length and size of cross section of the water pipes. As a preliminary study, a box model is used to evaluate the efficiency of the system for water purifications in the Hakata bay. Numerical results show that annually averaged COD values in the inner bay area are estimated as 40-60% of the existing values with 7 to 13% increases of outward flux of COD through the bay mouth.

**Key Words:** coastal water bypassing system, water gate control, water quality improvement, semi-enclosed bay, box model

---

\* Former Director for Special Research on Disaster Prevention.

\*\* Senior Researcher, Coastal and Estuarine Environment Research Group

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone : +81-46-8445021 Fax : +81-46-8441274 e-mail:nakagawa@pari.go.jp

# 外海水導入システムによる閉鎖性水域の水質改善効果に関する基礎的検討

住田 公資\*  
中川 康之\*\*

## 要 旨

閉鎖性の強い内湾域での水質改善への適用を想定して、湾内外を結ぶ導水路（管）と導入水の貯水機能を有する水域の設置とを組み合わせた海水の交換操作を効率的に実施する海水浄化システムを提案した。海水交換効率を支配する導水能力について、潮位条件や導水管路長、断面積などの設置条件をパラメータとして、その依存性について検討した。さらに、実海域（博多湾）を対象としたボックスモデルを用いて、本導水システムによる水質の改善効果に関する基礎的な検討により浄化効果を定量的に評価したところ、改善領域は湾奥部に限られるものの、CODの年平均値としては現況の40～60%程度に抑制され、また湾口部から外海に流出するCOD量も7～13%増加する結果が得られた。

キーワード：導水システム，水門制御，水質改善，閉鎖性海域，ボックスモデル

---

\* 前特別研究官（防災担当）

\*\* 海洋・水工部 沿岸環境領域 主席研究官

## 1. はじめに

閉鎖性が強く富栄養化の進んだ海域では流入負荷の抑制に加え底質の浄化等による海域環境の改善が試みられているものの、依然として定められた環境基準を満たすまで水質が改善されていない海域も少なくない（たとえば環境省・2005）。海水浄化を目的とした海水交換の促進に関する検討はこれまでも多数行われており、たとえば閉鎖性水域と外海を隔てる陸域に導水路を設けることにより、閉鎖域での海水交換の促進効果を検討したもの（運輸省第五港湾建設局、1995）や、湾内の岬部に設けた水路および水門の開閉操作での湾内の流れの制御による海水の浄化効果について、水理模型実験および数値モデルにより検討した例（村上ら・1985）などもある。また、防波堤等の人工構造物の設置により海水が停滞し、水質の悪化を招いてしまうこと多い港湾域においては、海水交換機能を有する防波堤の効果について、漁港を対象に現地観測した例（たとえば川口ら・2002）や、実験および数値計算による海水交換効果の評価方法を検討したもの（西守ら・1999）がある。また最近では流況制御ブロックの設置による潮汐残差流の制御により防波堤開口部からの海水導入の促進効果を検討した例もみられる（多田ら・2002）。このように対象とする閉鎖海域の地形条件や空間規模あるいは流動場の構造に応じて、効果的に海水交換を促進するための種々の検討がなされている。

本資料では、内湾スケールでの空間規模において、潮汐を外力として引き起こされる海水交換を対象とした閉鎖性海域での水質改善手法について検討する。具体的には、湾内外を結ぶ導水路（管）の設置と導入水の貯水機能を有する水域の設置とを組み合わせた海水交換システムを提案し、潮位条件や施設配置の条件に依存した導水能力に関する検討を行う。さらに本システムによる湾内の水質改善効果を把握するため、実海域（博多湾）を想定したボックスモデルによる数値シミュレーションを行う。

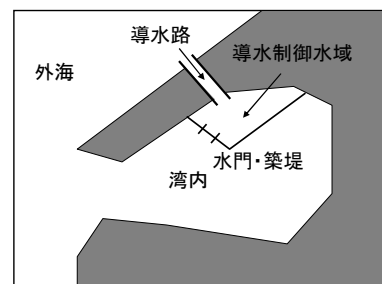
## 2. 水門制御型導水システムによる海水交換

閉鎖性が高い内湾域では、湾の奥部ほど海水の停滞性は強く富栄養化等による水質の悪化が進みやすい。このため、外海水を富栄養化の進む湾奥に直接導水することが、水質の改善策として考えられ、現地での検討事例もいくつかみられる。この場合、いかに効果的に外海水を輸送するかが、このような水質改善工法導入の実現性を決める要因の一つとなる。そこで本検討では、元来高潮

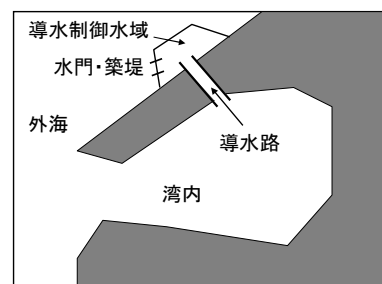
等による沿岸域での被災の軽減を目的に設置される水門を用いた防災システム（たとえば日本海洋開発建設協会・2006）を応用し、その開閉操作により生じる潮位差を利用した外海水の導入による水質改善方法について提案する。以下にその具体的手法ならびに実施上の課題とその改善策を示す。

### 2.1 導水システムの概要

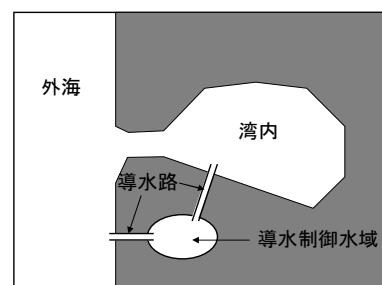
ここで検討する導水システムは、内海と外海を結ぶ導水路と、その経路内で水門等により内海あるいは外海との水位差を生じさせることが可能な水域（以下「導水制御水域」と呼ぶ）により構成される。単に内海と外海を導水路により接続するだけでなく、水門等の操作を行い導水制御水域の水位を制御することにより、効率的に海水の流動性を高めることが本システムの特徴である。これらの施設は対象となる地形条件や海水の流動制御方法に依存して配置を決めるものとなり、たとえば図-1に水門および導水制御水域の設置イメージを示す。



(a) 導水制御水域を湾内に設置する場合



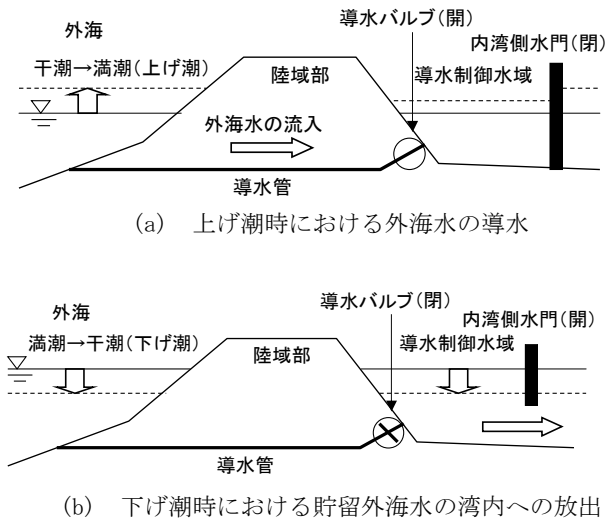
(b) 導水制御水域を湾外に設置する場合



(c) 陸域内に導水制御水域を設ける場合

図-1 導水システムの設置イメージ

たとえば、外海水を湾内側に供給して、湾奥部の水質改善を図るためには、**図-1(a)**に示す施設の設置に対して次のような水門操作が考えられる。すなわち、**図-2**に示すように、①干潮時に導水バルブを開き、内湾側水門を閉じ、潮位の上昇とともに導水管を通じて外海水を導水制御水域に流入させる（同図(a)）。つぎに、②満潮時に導水バルブを閉鎖し、一方、内湾側水門を開放して導水制御水域に蓄えた外海水を湾内に流入させる（同図(b)）。この操作を繰り返すことにより、導水制御水域は潮汐エネルギーによって稼働するポンプとして機能し、外海から閉鎖性水域に向かう一方方向の流れの制御が可能となる。なお、干潮時に導水バルブを閉鎖して湾内側水門を開き上記と逆の操作を行えば、湾内の海水を外海に排出することも可能である。



**図-2** 水門操作による導水過程

## 2.2 導水能力の検討

本システムの海水浄化への活用の際には、水質改善を行う水域の容量に対する導水量の程度が、その効果を支配する。そこで、導水能力を支配する潮位条件、導水距離、さらに導水制御水域の面積などをパラメータとして、本システムの導水能力に関する基礎的な検討を行った。

ここでは導水路は直径  $D$  (m) の円管路とし、潮位差により生じる導水路内の流れは準定常流とみなすと、導水路の流速  $u$  は次式で計算される。

$$u(t) = \sqrt{\frac{2g\Delta\eta(t)}{\alpha}} \quad (1)$$

$$\Delta\eta(t) = \eta_o(t) - \eta_i(t) \quad (2)$$

$$\alpha = \alpha_{en} + \alpha_{ex} + \alpha_{cu} + \frac{fL}{D} \quad (3)$$

ここに、 $g$ : 重力加速度、 $\eta_o$ : 時刻  $t$  における外海水位、 $\eta_i$ : 同じく内海水位、 $\alpha$ : 管路の損失係数、 $\alpha_{en}$ : 入口損失係数、 $\alpha_{ex}$ : 出口損失係数、 $\alpha_{cu}$ : 曲がり損失係数、 $f$ : 摩擦損失係数、および  $L$ : 水路長さであり、摩擦損失係数  $f$  については、マンニングの粗度係数 ( $n$ ) を用いて次式により表される (たとえば土木学会・1999)。

$$f = \frac{8gn^2}{(D/4)^{1/3}} \quad (4)$$

そのほかのパラメータについて、本検討では  $\alpha_{en}=0.5$ 、 $\alpha_{ex}=1.0$ 、 $\alpha_{cu}=0$ 、および  $n=0.012$  と仮定して計算を行った。さらに、導水管を通じて導水制御水域に流入する外海水の流量は、

$$q(t) = \frac{u(t)\pi D^2}{4} \quad (5)$$

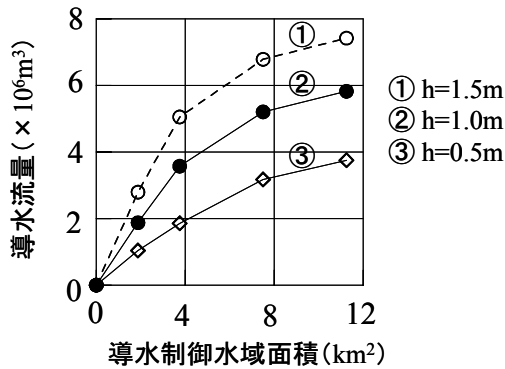
となり、たとえば干潮から上げ潮における時間  $t'$  の間に外海水の導入をした場合、導水制御海域での水位の上昇量 ( $\eta_i'$ ) は、制御海域の水域面積を  $A_i$  とすると次式により表される。

$$\eta_i' = \int_0^{t'} q(t) / A_i(t) dt \quad (6)$$

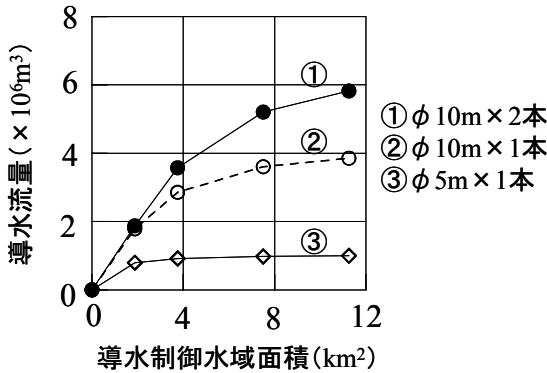
ここでは簡単のため、外海水位の時間変化を正弦波で与え、潮位差、導水制御水域の面積などのパラメータを変化させて、上式の関係から導水量を算定することにより、本システムの導水効率への影響について検討した (図-3)。なお、導水時間  $t'$  については、図-4(a)に示すように、干潮時から外海と導水制御水域の潮位が一致するまでの時間として導水量を求めた。まず導水路長さおよび断面積を固定して、外海の潮位差の違いによる導水量の変化を示したものが図-3(a)である。導水量は当然、潮位差が大きいほど増大傾向を示す。また導水制御水域の面積  $A_i$  が広いほど外海水の流入による水位の上昇率は小さくなるため、導水量も増加することを同図は示している。

次に潮位差を 1m、導水路長を 1.5km とした場合の、導水路の断面積の違いによる導水量の変化をみたものが図-3(b)である。導水路の断面積が最も小さいケース③では、導水路制御水域の面積を広くしても導水量が飽和してしまうことがわかる。これに対し、導水路の断面積を大きくするほど (ケース①、②) 導水量は増大する。ただし、

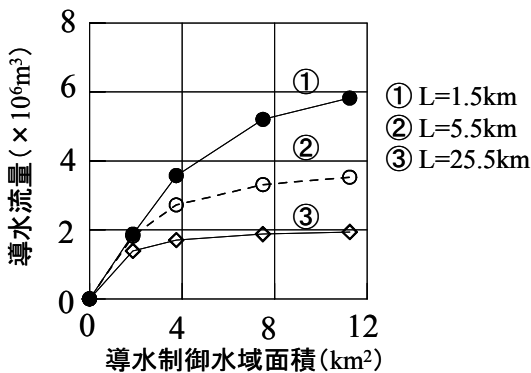
大きくなるものの、導水制御水域が狭い場合には両者の差は小さい。



(a) 外海潮位差の違いによる導水量の変化  
(管径：10m×1本，管路長：1.5km)



(b) 導水管断面積の違いによる導水量の変化  
(潮位差：1m，管路長：1.5km)



(c) 導水管路長さの違いによる導水流量の変化  
(潮位差：1m，管径：10m×1本)

図-3 設置条件の差異による導水能力の変化

一方、図-3(c)では導水路の長さの違いによる導水量の

変化を見たものであり、これは外海と水質改善の対象海域との距離の違いによる導水効率の変化をみたものに相当する。同図では、導水路長が1.5kmの17倍に相当する25.5kmのケースも試算しているが、導水制御水域の面積が4km<sup>2</sup>の場合の導水量は導水路長1.5kmのケースに対して約1/2、同じく11km<sup>2</sup>の場合に約1/3程度である。導水流速は式(1)に示すように導水路長の逆数の平方根に比例するため、導水路長さの増大に伴う導水量の減少率は他の因子と比べると比較的小さいことがわかる。

### 2.3 導水制御水域での水位制御

本システムの運用による導水過程において、導水制御水域の水位は、自然の潮汐による水位変動とは必ずしも一致せず、導水した外海水の流量に応じて変化する。すなわち、導水制御水域の水位は常に外海の水位よりも遅れて上昇するため、外海が満潮となった際の導水制御水域内の水位はそれよりも低くなる(図-4(a))。このため、導水制御水域では導水を行わない場合に比べて満潮時の潮位が低下し、水域内に干潟がある場合には干潟面積が減少するなど、沿岸部の生物に対する生息環境を変化させてしまう可能性がある。

これに対しては、導水路断面を大きくして導水量を増やすことで満潮時水位の低下はある程度緩和できるものの、抜本的な改善策として、満潮を待たずに水門を早めに解放して導水制御水域の満潮位は制御以前と同じ高さを確保することが考えられる。このとき水門の開放に際して導水制御水域内の急激な水位上昇を生じる可能性があり、これに対しては水門の開閉を制御して水門から導水制御水域に流入する水量を調節し、たとえば大潮期の上げ潮時に生じる水位上昇速度以内にするなど、安全上問題のない範囲で水位を制御する必要がある(図-4(b))。

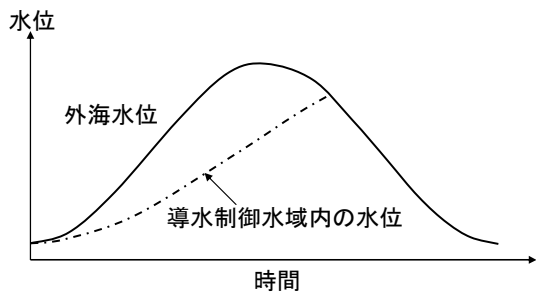
また本システムの運用に伴う水理環境の変化としては、導水制御水域の満潮位の低下だけでなく、水位上昇のタイムラグによって潮間帯の干出時間が増加してしまうこともあげられる。この点については、下げ潮時に導水制御水域から湾内に流出する水量を調整し、導水制御水域の水位低下を遅らせることにより干出時間を調整する方法が対策案として考えられる(図-4(c))。

## 3. 実海域を想定した導水システムによる浄化効果の基礎的検討

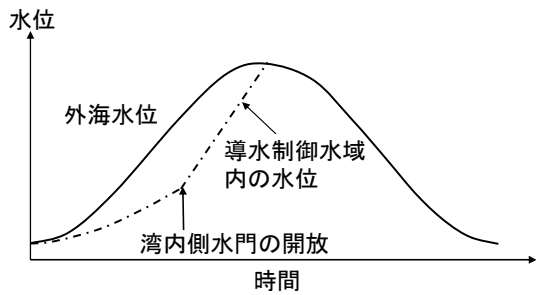
### 3.1 対象海域

本導水システムの活用による水質の改善効果について、博多湾(図-5)の負荷データおよび地形データを用いて

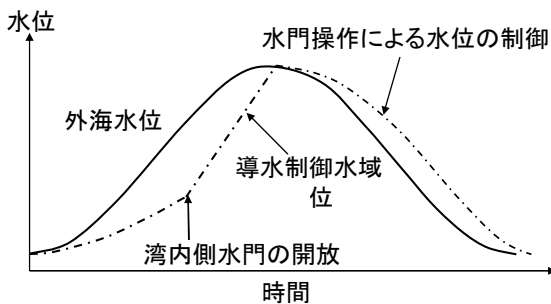
ボックスモデルによる検討を行った。博多湾の水質は、兼ねてから富栄養化が進んでおり、ほとんどの監視点でCODが環境基準を超えている（博多港湾管理者，2001）。下水道終末施設の放流水の改善などに伴い、湾内のTOP濃度は改善してきているものの、CODについてはあまり効果が見られていない。また湾奥部は富栄養化によるアオサの大量発生が続いており、自治体とボランティアによりアオサの回収が進められているなど、引き続き水質の一層の浄化が求められる状況にある。



(a) 制御域内の水位が外海水位と等しくなるまで導水し続ける場合（ケース A）



(b) 満潮時の外海水位に等しくなるように内湾側水門を制御する場合（ケース B）



(c) 水門操作による干出時間の制御

図-4 水門操作による導水制御水域内の水位制御

同海域への主な流入負荷としては、アイランドシティ（人工島）西側の海域に河川の流入があるほか、アイランドシティ東側の湾奥部には小規模河川の流入がみられる。アイランドシティ東側の湾奥部は、水深が平均 3m 程度と浅く、大潮期には 2m 程度の干満差があるものの、海水の停滞性が強く水質改善が望まれている海域である。一方、湾外の玄海灘は開放性の海岸であり、夏期には海水浴場としても利用され、良好な水質が保たれている海域となっている。

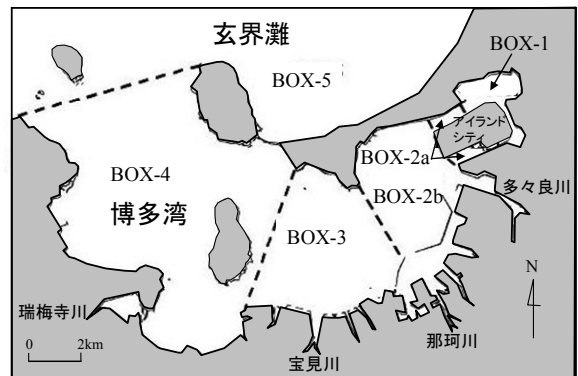


図-5 計算対象領域とボックスモデルにおける領域区分

### 3.2 計算方法

ここでは、博多湾内を図-5 に示した合計 6 つの領域に分割したボックスモデルを用いて浄化効果を検討した。河川水流入等による鉛直循環流の効果を考慮して、鉛直方向にも計算区分を分割する場合（たとえば宇野木・1998）もあるが、ここでは主に地形条件に支配される平面的な海水交換の過程について注目し、まずは鉛直方向に平均化されたモデルを用いるものとした。対象とする海域内のボックス間での、指標物質（塩分、COD など）に対する連続条件を考慮して、各ボックスでの物質の保存式は次式のように表すことができる。

[BOX1]

$$R_1 + Q_{2a,1} - Q_{1,2a} = 0 \quad (7)$$

$$V_1 \frac{\partial S_1}{\partial t} = Q_{2a,1} S_{2a} - Q_{1,2a} S_1 + G_1 \quad (8)$$

[BOX2-1]

$$R_{2a} + Q_{1,2a} + Q_{2b,2a} - Q_{2a,1} - Q_{2a,2b} = 0 \quad (9)$$

$$V_{2a} \frac{\partial S_{2a}}{\partial t} = Q_{1,2a} S_1 + Q_{2b,2a} S_{2b} - Q_{2a,1} S_{2a} - Q_{2a,2b} S_{2a} + G_{2a} \quad (10)$$



[BOX2-2]

$$R_{2b} + Q_{2a,2b} + Q_{3,2b} - Q_{2b,2a} - Q_{2b,3} = 0 \quad (11)$$

$$V_{2b} \frac{\partial S_{2b}}{\partial t} = Q_{2a,2b} S_{2a} + Q_{3,2b} S_3 - Q_{2b,2a} S_{2b} - Q_{2b,3} S_{2b} + G_{2b} \quad (12)$$

[BOX3]

$$R_3 + Q_{2b,3} + Q_{4,3} - Q_{3,2b} - Q_{3,4} = 0 \quad (13)$$

$$V_3 \frac{\partial S_3}{\partial t} = Q_{2b,3} S_{2b} + Q_{4,3} S_4 - Q_{3,2b} S_3 - Q_{3,4} S_3 + G_3 \quad (14)$$

[BOX4]

$$R_4 + Q_{3,4} + Q_{5,4} - Q_{4,3} - Q_{4,5} = 0 \quad (15)$$

$$V_4 \frac{\partial S_4}{\partial t} = Q_{3,4} S_3 + Q_{5,4} S_5 - Q_{4,3} S_4 - Q_{4,5} S_4 + G_4 \quad (16)$$

ここに、添え字の 1~4 は対象ボックスをそれぞれ表し、 $V$ : ボックス容積、 $S$ : 対象物質 (たとえば塩分)、 $Q$ : ボックス間の交換量 ( $Q_{12}$ はボックス 1 から 2、 $Q_{21}$ はボックス 2 から 1 に向かう輸送量を正とする)、 $G$ : 負荷量である。

表-1 計算に用いた塩化物イオンおよび COD 濃度

BOX#	面積 (10 <sup>6</sup> m <sup>2</sup> ) / 平均水深 (m)	塩化物イオン濃度 (mg/l)	COD 濃度 (mg/l)
1	3.92 / 2.4	16.99	3.30
2a	1.65 / 7.5	17.19	3.12
2b	2.25 / 7.0	17.38	2.89
3	2.65 / 8.1	17.76	2.47
4	7.14 / 13.1	18.25	1.76
5	—	19.10	1.10

ここでは、まず既存の水質観測結果 (博多港港湾管理者・2001) から求めた塩分 (塩化物イオン濃度) の年間平均値の空間分布を対象とし、各ボックス領域に流入する淡水流量を考慮して、ボックス間での交換量  $Q_{ij}$  を求

めた。さらに、求められた交換量  $Q_{ij}$  を用いて、COD の年平均値をボックスごとに与えることにより、各ボックス領域に追加した内部生産項を残差として求めた。本計算に用いた地形条件ならびに塩化物イオン濃度と COD 濃度を表-1 に、また計算により求められたボックス間での交換量および COD に関する内部生産量の値を表-2 にそれぞれ示す。

表-2 ボックス間の交換量と COD 生産量 (計算結果)

BOX#	輸送方向	交換量 (m <sup>3</sup> /s)	ボックス内 COD 生産量 (mg/s)
1	1→2a	127.24	18,381
	2a→1	125.78	
2a	2a→2b	128.70	7,659
	2b→2a	127.24	
2b	2b→3	1,241.28	436,577
	3→2b	1,215.25	
3	3→4	1,412.25	420,581
	4→3	1,373.97	
4	4→5	1,015.49	-367,428
	5→4	970.51	

### 3.3 導水による改善効果の検討

ボックスモデルによる水質改善効果の検討に際しては、湾奥部に玄界灘から外海水を導水するものとして、BOX 1 に対して導水に伴う海水の流入項を追加した。導水システムとしては、下記に示す施設の配置および水門操作を実施した場合を想定し、これらに基づく外海水の導入量を考慮して数値シミュレーションを行った。

#### (1) 導水システムの施設配置

アイランドシティと陸地を結ぶ 2 カ所で水門および築堤を整備することにより、水門の東側水域 (湾奥側) を導水制御水域とした (図-6)。一方、海の中道を横断し外海と導水制御水域を結ぶ導水路 (管) を設置する。海の中道の最も狭い箇所は幅約 1km であり、ここではさらに沖合での取水を想定して導水路長は 1.5km として計算を行った。導水路は、水門またはバルブによる導水制御を可能とし、市街地での導水トンネルである首都圏外郭放水路でも実績のある直径 10m の円形断面とし、ここでは導水路 1 本の場合と導水路 2 本の場合それぞれのケースを対象に計算を実施した。なお、外海と湾内の潮位変動

(振幅・位相)は、ここでは同一として計算を行っている。

(2) システム運転方法

導水システムの運転については2通りの運転方法で試算を行った。第一の方法は、干潮時に内湾側水門を閉じ導水路を開け、外海での潮位上昇に伴い導水路を通じて外海水を貯水する際に、外海と導水制御水域の水位が等しくなるまで導水する場合(ケースA)である。すなわち、図-4(a)で示されているように、外海水の導水時に外海よりも遅れて上昇する導水制御域内の水位が、満潮時以降外海の水位と同じ高さになるまで導水を行うもので、本システムによる導水量が最大となる方法である。

これに対し2.3で述べたように、導水制御域内の満潮時の水位が制御前に比べて低下するため、導水制御域内において干潟の面積が小さくなる(常に干出す領域が拡大する)などの環境への影響が懸念される。これをさけるためには、外海が満潮に達する前に内湾側水門を開けて、導水制御水域の潮位差を制御する方法が考えられる。そこで、満潮時の外海水位と導水制御域内の水位が等しくなるように、内湾側水門を満潮時以前のタイミングで開放する場合(ケースB)を第二の方法とした。

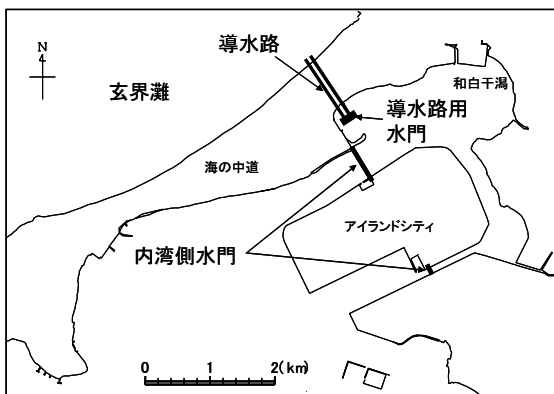


図-6 予測計算で想定した導水システム配置図

(3) 予測計算の方法

既存データを基にして算定した交換量およびCODの内部生産量を用いて、導水の効果を考慮した予測計算を行った。外海(BOX5)での塩分およびCODについては境界条件として現況での値を設定し、それ以外の各ボックスでの塩分およびCODは未知数として、ここでは以下の仮定を与えることにより計算を行った。

- ボックス2aからボックス1への輸送量は内湾側水門の制御により導水制御域内に移動する流量を与えるものとする。(ケースAではゼロ、ケースBでは満潮水位への強制復帰に要する水量に相当。)

- その他のボックス間における外海側からの湾内側に向かう輸送量は、すべて現況計算で得られた輸送量の値を用いるものとする。

3.4 計算結果

水質の改善効果の評価指標として、ここではCODを用いた。計算においては年平均値を対象として計算を行い、一方、結果の評価においては、環境基準値が75%値で示されることから、計算結果の平均値は既存データにおける両者の比較を通じて、海域ごとに換算係数(1.015~1.151)を乗じて75%値に換算した。

上述した内湾側水門制御の取り扱いが異なる2ケースに対し、導水断面積が異なる2ケース(管径10m×2本の場合および1本の場合)の合計4ケースの計算結果を図-7に示す。同図は各ブロックのCODの現況および導水実施後の値をそれぞれの計算ケースに対して示している。BOX3やBOX4などの湾口部に近い海域ほど、改善効果が小さくなるものの、外海水の導入口を有するBOX1やBOX2aなどの湾奥部では、現状の約40~60%にまでCOD値が抑制されていることがわかる。水門制御による導水方法の差異による効果の違いは小さく、また導水管断面積についても、最も水質改善の効果が見られる最湾奥部を除いてはその影響は小さい。

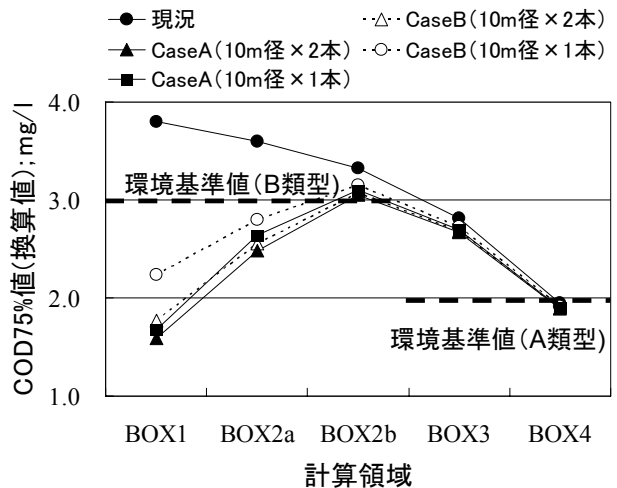


図-7 水質(COD)の改善予測計算の結果

一方、湾口部断面を通じたCODの輸送量について、ネットでの値を示したものが表-3である。今回の検討ケースにおいては、外海に向けたCODの輸送量が7~13%増加する結果となった。

表-3 湾口部における外海へのCOD輸送量の変化

ケース		COD輸送量 (現況との比)
現況		719.67g/s (一)
Case-A	10m 径×2 本	814.37g/s (1.13)
	〃 ×1 本	793.19g/s (1.10)
Case-B	〃 ×2 本	802.34g/s (1.11)
	〃 ×1 本	769.07g/s (1.07)

#### 4. おわりに

本検討では、水質改善のための海水交換促進手法として、外海水の導入システムについて検討し、実海域を想定した閉鎖性水域の浄化効果をボックスモデルにより確認した。年間平均値を対象とした定常計算によると、外海水導入による効果として、湾奥部ではCOD値が約40～60%まで低減され、また湾口からのCOD流出量が7～13%増加する結果となった。ただし、本検討で用いた計算方法においては、各領域での濃度計算の結果が、ボックスの設定条件に依存する可能性があることや、海水密度の変化による密度成層の影響が含まれていない。当該海域における本システム適用の検討にあたっては、特に水質の悪化が顕著となる夏期に密度成層の発達も顕著になることや、湾奥部よりも高い塩分の外海水の導入を想定したシステムであることを考慮すると、物質濃度の変化の予測に関しては、成層の効果も取り込んだ3次元流動モデル等を用いて、より詳細な検討を行う必要がある。

一方、ここで検討した導水システムは、元来防災目的に整備される築堤および水門を水質環境改善に応用したものであり、導水制御水域にあたる海域は水門をすべて閉鎖することにより高潮・津波災害から守ることが可能となる。したがって、導水制御水域の護岸は、高潮・津波の災害に備えた天端高に設定する必要はなく、低天端高の護岸整備も可能となる。このため、防災のみならず環境改善さらには親水機能をも有した多機能施設としての運用が期待できる。

本システムの現地への適用に当たっては、対象とする海域の環境条件・利用形態を十分に配慮する必要があり、海水交換の効率性の検討以外にも、以下の点についてさらに検討を行う必要がある。

##### ① 生息生物への影響の検討

導水制御水域については、導水を行うことにより湾内で最も水質が改善された水域となるものの、環境の急変が導水制御水域に生息する生物に与える影響が懸念される。特に外海水の導入は、生物の生息条件として重要な

指標の一つである塩分の変化をもたらすため、対象海域の生物相など生態系の特性を事前に把握しておくことが重要である。

##### ② 季節変化を考慮したシステム運用の検討

富栄養化の進んだ海域では、一般敵には夏期に水質の悪化が顕著となり赤潮や貧酸素水塊の形成がみられる。これに対し、冬期には水質環境の回復がみられる場合が多く、また湾域奥部の干潟域は渡り鳥の飛来地になるなど、強制的な環境改変は必ずしも年間を通して必要ではないことも考えられ、水質改善のための本システムの稼働を夏季に限定して実施するなど、対象海域の季節変動を含めた環境特性に対する効果的な運用方法に関する検討も必要である。

なお、内湾側水門の構造形式の工夫による海水流入出時の制御方法（二段式水門の活用など）や、水門に併設した発電施設による潮位差発電の水門開閉動力への活用など、本システムの効果的・効率的な運用方法の検討も望まれる。（2006年6月16日受付）

謝辞：本論文をまとめるにあたり、当研究所細川恭史理事より貴重な意見および指導を頂いた。また小谷拓・前部長をはじめとする、海洋・水工部員諸氏より部内討議会での議論を通じて有益な意見を頂いた。数値計算に関する現地データの収集・とりまとめには、(株)エコー・高尾氏に協力を得たことを付記する。関係各位に謝意を表する次第である。

##### 参考文献

- 宇野木早苗(1998):内湾の鉛直循環流と河川流量の関係、海の研究, Vol. 7, No. 5, pp. 282-292.
- 運輸省第五港湾建設局(1997):三河湾浄化対策実験, 伊勢湾水理実験場報告, No. 33, p. 13-147.
- 川口毅、三島豊秋、岡野崇裕(2002): 札前漁港における潜堤付海水交換工法の効果に関する現地観測, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 836-840.
- 環境省(2005): 環境白書-平成17年版-, ぎょうせい, 280p.
- 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(2002): 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.
- 土木学会(1999): 水理公式集, 713p.
- 西守男雄・日比野忠史・豊田政史・細川恭史・石原弘一・森下正志・鶴谷広一(1999): 海水交換型防波堤の透過量評価手法の提案, 港研報告, Vol.38, No.2, pp.63-97.

博多港港湾管理者(2001)：博多港港湾計画資料(その2)  
-改訂-, 交通政策審議会第一回港湾分科会資料, 130p.  
村上和男、森川雅行、白井正生(1985)：強制循環流による海水交換の促進について, 第29回水理講演会論文集,  
pp. 341-346.  
山海堂(2006)：21世紀の海洋土木技術, (社)日本海洋  
開発建設協会・海洋工事技術委員会, 山海堂, 303p.

港湾空港技術研究所資料 No. 1144

2006. 9

編集兼発行人 独立行政法人港湾空港技術研究所

発行所 独立行政法人港湾空港技術研究所  
横須賀市長瀬3丁目1番1号  
TEL. 046(844)5040 URL. <http://www.pari.go.jp/>

印刷所 昭和情報プロセス株式会社

Copyright © (2006) by PARI

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of PARI.

この資料は、港湾空港技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は港湾空港技術研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。