

# 港内の流況に及ぼす透過性防波堤の影響

INFLUENCE OF A PERMEABLE BREAKWATER  
ON THE FLOW FIELD IN A HARBOR

小野正順<sup>1</sup>・中村孝幸<sup>2</sup>・高木伸雄<sup>3</sup>・中山哲嚴<sup>4</sup>・菊地一郎<sup>5</sup>

Masanobu ONO, Takayuki NAKAMURA, Nobuo TAKAGI, Akiyoshi NAKAYAMA and Ichiro KIKUCHI

<sup>1</sup>正会員 工博 高知工業高等専門学校助教授 建設システム工学科 (〒783-8508 高知県南国市物部200-1)

<sup>2</sup>正会員 工博 愛媛大学助教授 工学部環境建設工学科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番)

<sup>3</sup>正会員 農博 水産庁水産工学研究所 水産土木工学部長 (〒314-0421 茨城県鹿島郡波崎町海老台)

<sup>4</sup>正会員 工修 水産庁水産工学研究所 水産土木工学部水理研究室長 (〒314-0421 茨城県鹿島郡波崎町海老台)

<sup>5</sup>正会員 工修 日立造船株式会社 (〒559-8559 大阪府大阪市住之江区南港北1-7-89)

The water pollution in a harbor is one of the most crucial topics today. In order to improve the sea water quality in a harbor, it may be estimated that water exchange ability through harbor breakwaters is important. Such water exchange may be realized by adopting permeable breakwaters, including the new type breakwater with special overtopping works in it.

In this study, we examined the mass flux through the harbor entrance and the permeable breakwater to understand the resultant flow field in the model harbor basin. We also carried out the experiment on the comparative case, in which impermeable breakwaters were used instead. It was observed that the direction of mass flux through the permeable breakwater is toward inside the harbor. On the contrary, that is toward outside the harbor through the harbor entrance. In the case of permeable breakwater, the vertical mixing of water appears under the condition that the strong vortex flows are generated around the permeable breakwater.

**Key Words :**Sea water exchange, flow field in a harbor, permeable breakwater, vertical mixing

## 1. はじめに

従来から、港湾や漁港における港内の水質汚濁が問題になっている。その対策として、古くから透過性防波堤、最近においては海水交換型防波堤の開発が行なわれてきている。海水交換型防波堤の海水交換特性<sup>1)</sup>については、断面2次元的な実験的検討が多く行われているが、港の平面形状（開口部）を考慮した平面的な検討は、2, 3報告<sup>2)</sup>されているのみでほとんど行われていない。港内の水質に影響を及ぼす要因は、①透過性防波堤の海水交換効果②開口部での海水交換効果③交換された海水の流動（港内の流動）④防波堤の越流量、以上の4つの要因が考えられる。

これらの観点から本研究では、越波を許さない構造の透過性防波堤を用いた場合の港湾において、①～③の効果について水理模型実験により検討を行なった。特に、港湾の外郭施設としての防波堤に透過性防波堤を用いた場合と不透過性防波堤を用いた場合の海水交換特性と港内流況特性について検討を行なった。

## 2. 港内流況特性及び海水交換特性に関する実験

### (1) 平面水槽及び港湾模型

本実験に用いた平面水槽は、図-1に示す水産工学研究所の長さ28m、高さ1m、幅10mの3次元造波水槽である。実験では図に示すように、中央部に港口部を持つ比較的簡単な矩形港湾を想定した。そして、後述する透過性防波堤を港口部の左右に直線上に配置した。実験において透過性防波堤の模型は、平面水槽内の造波板から約16mの位置に直線上に配置し、水槽中央部に1.1mの港口部を配置した。このとき想定している模型の縮尺は1/18であり、現地での港口部での港口長は約20m、矩形港湾の左右幅は約180mに相当する。

### (2) 透過性防波堤の模型堤体

本実験では、配置する透過性防波堤の模型堤体の構造形式を杭で支持された杭式防波堤とし、図-2に断面図を示すように前面を傾斜版列とした傾斜版列型2重式カーテン防波堤を採用した。この防波堤の波変形特性は、既に報告<sup>3)</sup>されている。

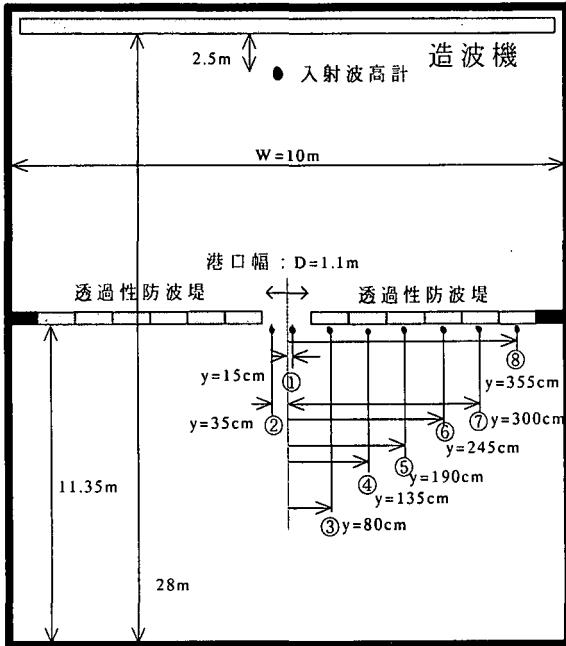


図-1 実験水槽及び流速計の設置位置

実験に用いた波条件は、この透過・反射率の特性を元に、0.7, 0.77, 0.82, 1.1, 1.3sの5つの波条件を決定した。透過率は最も短周期の条件でほぼ0に近く、最も長周期の条件で0.6程度である。反射率は周期0.82sの条件で極小値0.1程度を示し、他の条件では0.3から0.6までの値を示す。また波高は、7cm程度と一定とした。流速・流況の計測は1つの波に対して5分間行った。また堤体が不透過の場合については、図-2の断面図において透過側（港内側）のカーテンを海底まで延長し、不透過防波堤とした。

### (3) 実験方法

本実験では、透過堤の場合と不透過堤の場合について実験を行い、それぞれの港内と港外の海水交換特性について計測を行った。防波堤が越波を許さない形式であるので、港内と港外の海水交換は、不透過堤の場合は港口部のみ、透過堤の場合は港口部及び堤体下部の開口部により行われる。また、港内の水質は、港内の流動に大きく関係していることから、港内の流況についても計測を行った。

#### a) 港口部及び防波堤開口部における流速の測定

海水交換を計測するために港口部及び防波堤開口部分の流速を測定した。流速の測定には、電磁流速計（VMT-200-04P: 4台, VMT-150-08PS: 2台, VMT-100-05: 2台；KENEK 製）を用いて行い、左右対称の実験より、右側のみの領域で流速を測定した。透過性防波堤下側の開口部の流速は、図-2に示すように、底面との開口幅が11cmであるため、底面から5.5cmのほぼ開口部中央部に流速計を設置した。また防波堤は、1 unit : 55cmで片側6基配置させているので、図-1に示すように、各防波堤の中央部の透過波側に流速計を設置した。

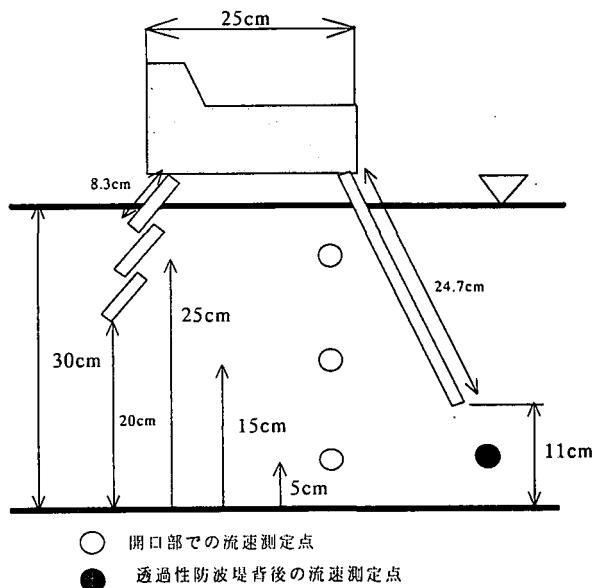


図-2 透過性防波堤の断面と流速計設置位置

港口部における流速は、図-1に示すように、中心から15cm, 35cmの2地点の流速を計測した。また図-2に示すように鉛直方向には、水深30cmで海底から5cm, 15cm, 25cmの位置での流速を計測した。

#### b) 港内の流況測定

港内の流況は、平面実験の左側半分で行った。トレーサーは、3cm角で厚さ1cmの大きさで、材質はろうである。表面には蛍光テープを貼って見えやすくしている。流況は平面水槽上部からビデオカメラで撮影した。

## 3. 港内流況特性及び海水交換特性

### (1) 波による質量輸送

波浪場において構造物がなくても平均流速が存在する。水の粘性などを考慮したロンゲットヒギンズによって導かれた質量輸送速度を図-3に示し、式-1に示す深海波条件の水面での質量輸送速度 $U_S$ で無次元化したものを図-4 ( $k$ : 波数,  $h$ : 水深)に示す。表-1に各波条件での深海波条件での水面での質量輸送速度を示す。図の正方向が波の進行方向を示す。計算結果から、水面付近において大きな波向き方向の質量輸送が短周期の波条件で生じることがわかる。

$$U_S = \frac{\pi H}{T} \cdot \frac{\pi H}{L} \quad (1)$$

表-1 深海条件の水面での質量輸送速度 $U_S$

周期 (s)	0.7	0.77	0.82	1.1	1.3
$U_S$ (cm/s)	9.2	7.0	5.9	2.8	1.9

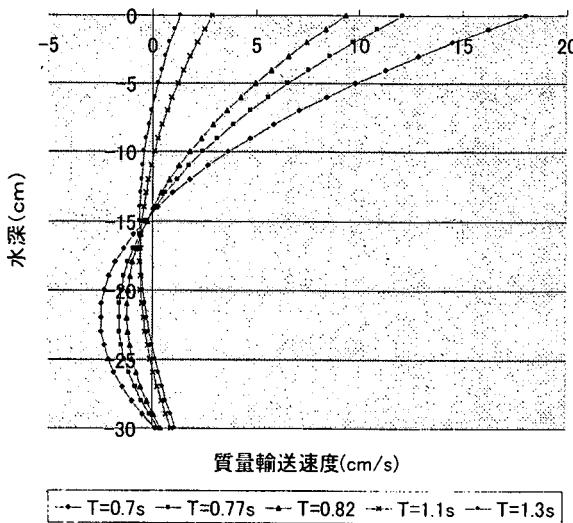


図-3 各波条件での質量輸送速度

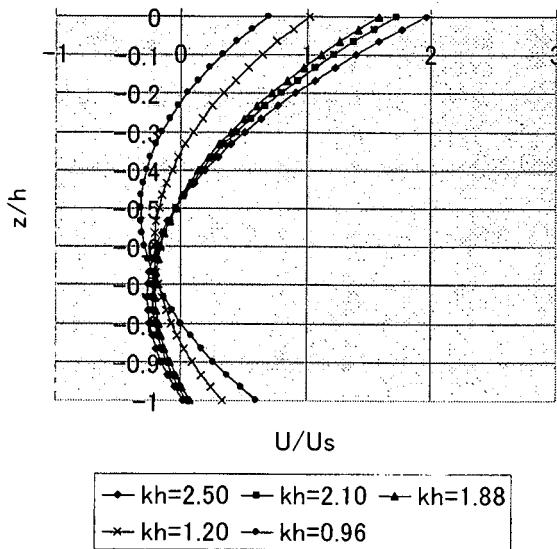


図-4 各波条件での無次元質量輸送速度

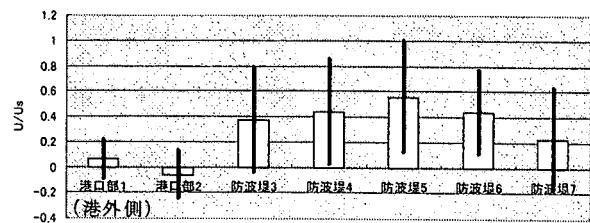
## (2) 海水交換特性

本研究では、防波堤が越波を許さない構造になっているので、港外との海水交換は港口及び透過性防波堤の場合の開口部において行われる。

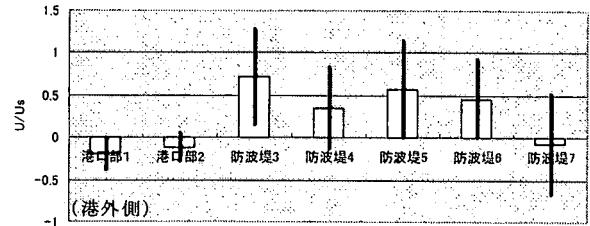
### a) 透過性防波堤の場合

図-5は、各透過性防波堤下側の開口部及び港口部の海底から5cm上方の岸沖方向平均流速を、深海波条件の水面での質量輸送速度で無次元化した無次元岸沖方向流速で示している。平均流速は、正が港内側への流入、負が港外側への流出を示す。図5(a)から(e)のそれぞれの図面は、波条件が異なる結果を示す。各図で棒グラフは平均流速を示し、棒グラフ中央の線は平均流速の標準偏差を示す。

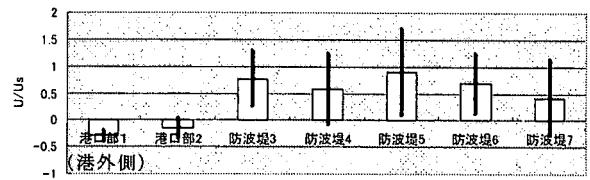
透過性防波堤下側の開口部の流速に着目すると、端部の防波堤7を除いて、全ての透過堤下側の平均流速は港内側への流入を示す。また港口部では、短周期の条件で港外側への流出、長周期の条件で港内側への流入の傾向を示す。



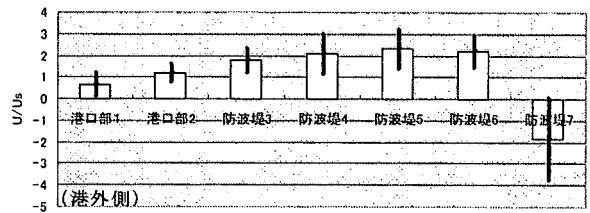
(a)  $kh=2.50$



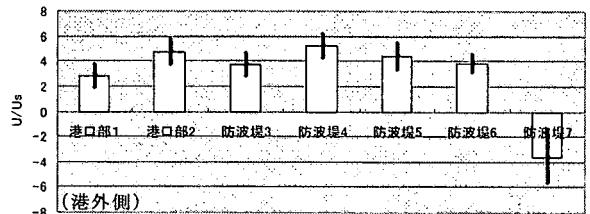
(b)  $kh=2.10$



(c)  $kh=1.88$



(d)  $kh=1.20$



(e)  $kh=0.96$

図-5 透過堤の場合の海底付近の流れ

図-6は、透過堤を用いた場合の港口部での無次元岸沖方向平均流速を示す。実験では2地点( $2y/D=0.27, 0.64$ )で計測したが、両者の結果がほぼ同様の結果を示したため図-6は $2y/D=0.27$ の結果を示す。各図より短周期の条件では、港外への流出

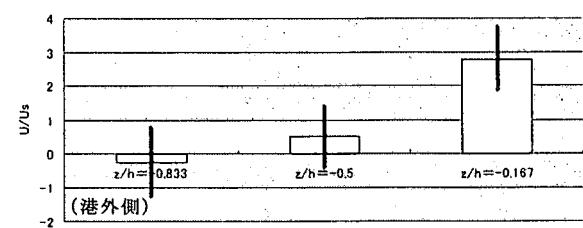
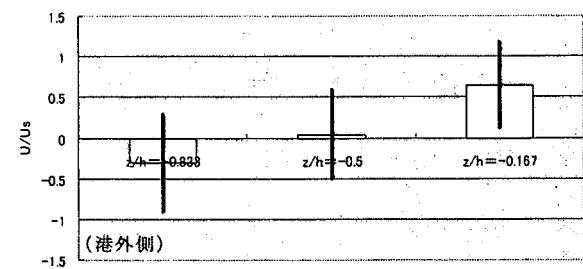
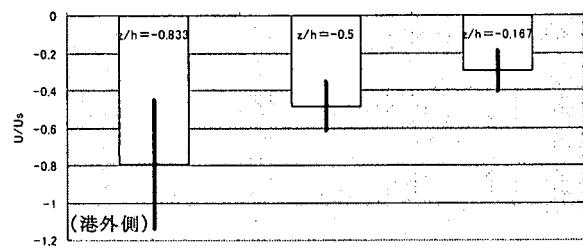
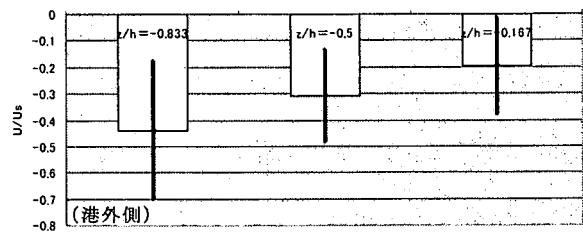
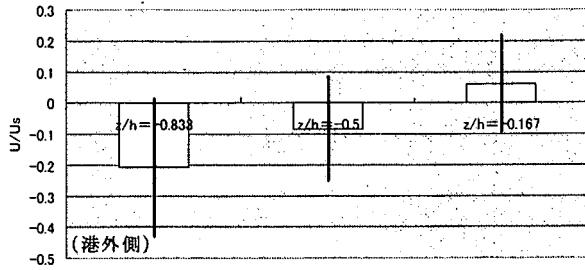


図-6 透過堤の場合の港口部の流れ

の傾向となり、特に海底付近で大きな流出が見られる。これは図-4に示す波による質量輸送速度と同様な結果となる。また、長周期の条件では、水面附近で港内側への流入の傾向となり、中・下層では

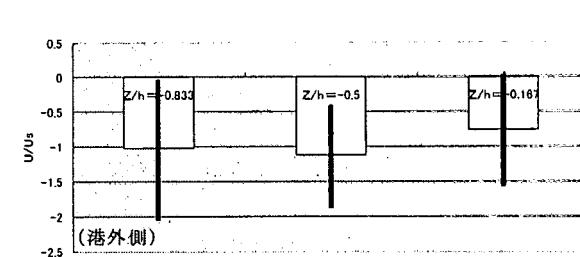
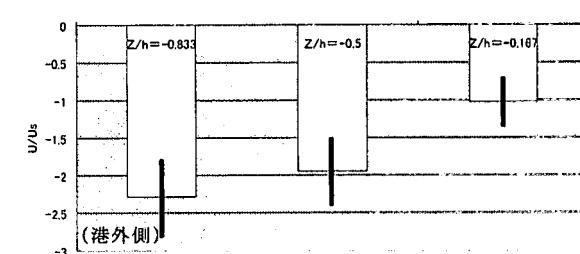
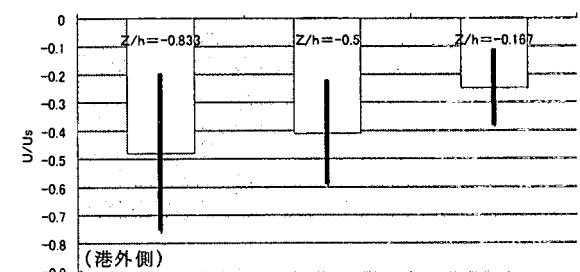
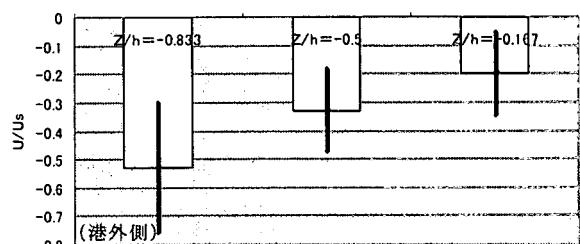
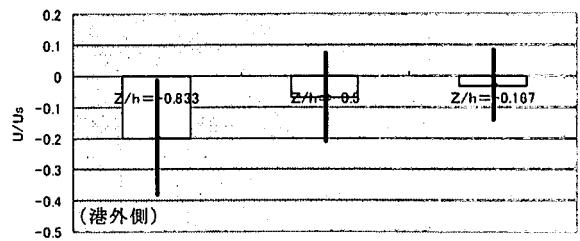
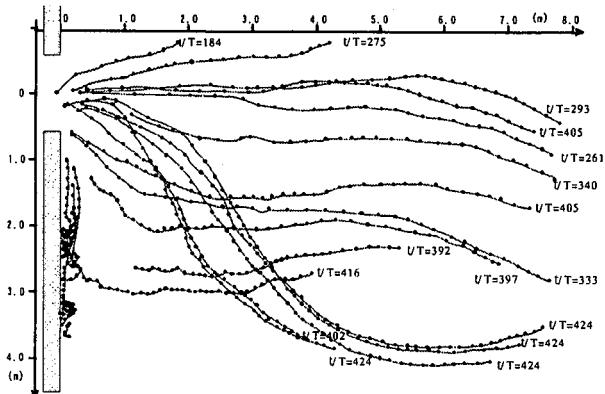
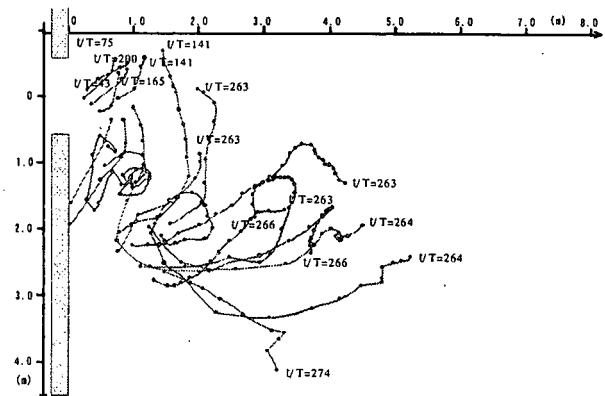


図-7 不透過堤の場合の港口部の流れ

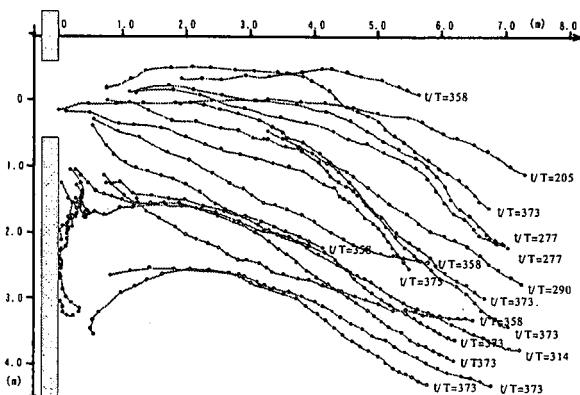
絶対値として小さな値となる。従って、透過堤の場合の海水交換としては、各透過堤下側の開口部から港外水が流入し、港口部から港内水が流出している。



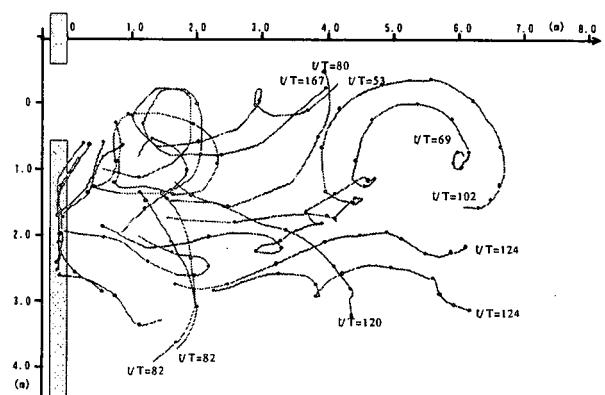
(a)  $kh=2.50$



(d)  $kh=1.20$



(b)  $kh=2.10$



(e)  $kh=0.96$

図-8 透過堤の場合の港内流況

### (3) 港内流況特性

#### a) 透過性防波堤の場合

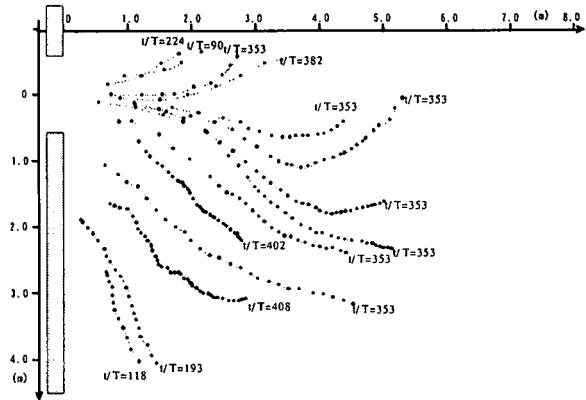
図-8は、透過堤の場合における港内の流況を示す。各トレーサーは、10周期毎に図中にプロットされている。各トレーサーの最終地点での時刻は、入射波が防波堤に到達した時間を0としている。図8(a)から(e)のそれぞれの図面は、前節と同様に波条件が異なる結果を示す。短周期の条件から実験結果を考察すると、港口部から流入した港外水は、放射状に広がりながらスムーズに湾奥まで流入していることがわかる。長周期の条件になるに従って、回折波が大きく、回り込んでくるので、端部の防波堤（防波堤7）の背後で多少のトレーサーの停滞が見られる。また、透過堤下側の開口部では港内側の流入があるため、その補償流として防波堤背後では防波堤に向かう流れと沈み込む流れがあり、そこではトレーサーの集積が見られる。長周期の条件では、透過堤のカーテン端部から発生する渦の影響によって、港内の流況は他のケースとれている。

#### b) 不透過性防波堤の場合

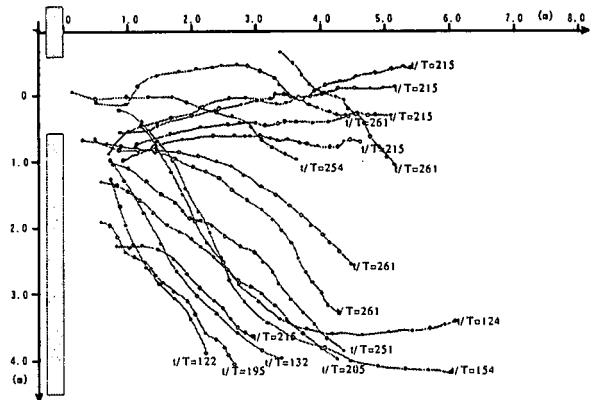
図-9は、不透過堤の場合における港内の流況を示す。不透過堤を用いた場合も透過堤の場合と同様に港口部から流入した港外水は放射状に広がる。しかしながら透過堤の場合と異なり、特に短

### b) 不透過性防波堤の場合

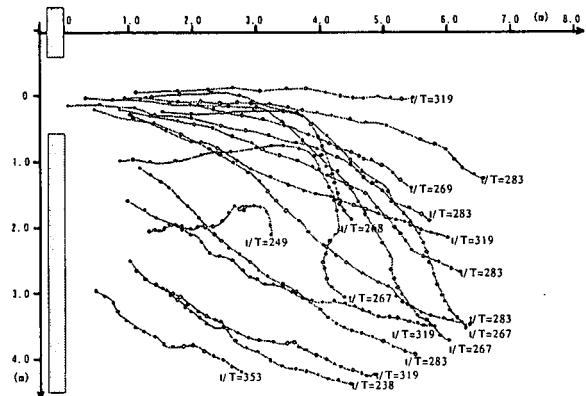
図-7は、不透過堤を用いた場合の港口部での無次元岸冲方向平均流速を示す。透過堤の場合と同様に $2y/D=0.27$ の結果を示す。不透過堤の場合は透過堤の場合と異なり、作用波の周期による定性的な変動は見られず、全ての波条件で港外側への流出の結果となった。また、水深方向へは海底に近いほど流出量は大きくなる。表層においては粒子追跡の結果から、港内側への流入が認められたことから、不透過堤の場合では表層においては港内側への流入で、上・中・下層においては港外側への流出となる。



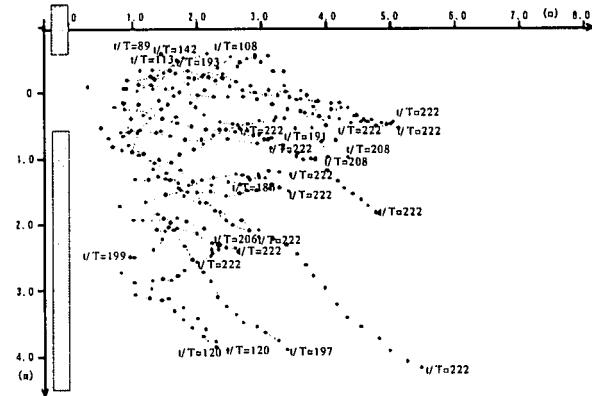
(a)  $k\hbar = 2.50$



(d) kh=1.20



(b)  $k\hbar = 2.10$



(e)  $k\hbar=0.96$

(c)  $kh = 1.88$

周期の条件で港口から離れるに従ってトレーサーの移流速度が小さくなる。長周期の条件になると、港口からの回折波が大きくなり、不透過堤の場合でも湾奥までトレーサーが到達している。長周期の条件では、回折波が大きくなるので多少複雑な流況を示すが、透過堤の場合に見られるようなミキシングは生じていない。

#### 4. 結論

①不透過堤の場合、港外水の流入は港口部の水面付近で生じる。港口部からの流入した港外水は、

放射状に広がるため徐々に移流速度が遅くなり、短周期の条件では湾奥までは到達しない。長周期の条件になると、港口からの回折波が大きくなるため、比較的湾奥まで外海水は流入する。一方、港内水は港口部から流出する。

②透過堤の場合、港外水は港口部の水面付近及び各透過堤下側の開口部より流入する。港口部からの流入してくる港外水は、各透過堤下側の開口部からの流入によってスムーズに湾奥まで到達する。また、長周期波の条件では、各透過堤下側（カーテン端部）で発生する渦により港内側では複雑な流況となり、港内水のミキシングが生じる。

参考文献

- 1) 例えば、下迫健一郎、近藤充隆、藤堂ひろみ、福井正幸、高橋重雄：越流造流型海水交換防波堤の開発とその水理特性、海岸工学論文集、pp. 1096-1100, 1999.
  - 2) 森田修二、出口一郎、尹晟鎮：透過性防波堤を有する小規模港湾の海水交換機能に関する研究、海洋開発論文集、pp. 351-356, 2001.
  - 3) 中村孝幸、高木伸雄、中山哲嚴、河野徹、森田嘉満、菊地一郎：傾斜版列型杭式防波堤の波浪制御効果に及ぼす上部工の影響について、海洋開発論文集、pp. 327-331, 2001.