

# 傾斜板列型二重カーテン防波堤の 海水交換特性に関する研究

MEAN FLOW CHARACTERISTICS BY WAVE ACTIONS ABOUT A DOUBLE-WALLED  
BREAKWATER WITH AN INCLINED PLATE ARRAY AS A FRONT WALL

小野正順<sup>1</sup>・中村孝幸<sup>2</sup>・高木伸雄<sup>3</sup>・中山哲巖<sup>4</sup>・亀田千明<sup>5</sup>

Masanobu ONO, Takayuki NAKAMURA, Nobuo TAKAGI, Akiyoshi NAKAYAMA and Kameda CHIAKI

<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>学生員 高知工科大学 (〒782-8502 高知県香美郡土佐山田町宮ノ口185)

In order to settle the water pollution problems in a harbor, various resolutions, such as a permeable breakwater and a seawater exchange breakwater, have been proposed and developed. In this study, usage of a permeable breakwater as a resolution of the water pollution problem is examined. A double-walled breakwater is used as a permeable breakwater, which is consisted of an inclined plate array as a front wall and a curtain wall with some spacing near the seabed as a rear wall. We have already presented the wave transmission and reflection characteristics about the double-walled breakwater.

In order to clarify the water exchange ability about the double-walled breakwater, the 3-D experiment about a model harbor is carried out. The mass flux by wave actions through the harbor entrance and the spacing beneath the double-walled breakwater is examined extensively. We also observe the mean flow pattern around the permeable breakwater for various wave conditions.

*Key Words* : double-walled breakwater, mass flux, mean flow pattern, water exchange

## 1. はじめに

近年, 我が国では浅海域の埋立や生活排水・工場排水による水質汚濁により浅海域の環境悪化が顕在化してきている。バブル全盛期にウォーターフロント開発のために建設された海岸・海洋構造物は, 沿岸域に閉鎖性水域・停滞水域を生じさせ, そのことがさらに浅海域の水質環境の悪化を促進している。

このような社会的背景より, 透過性防波堤や海水交換型防波堤などの開発<sup>1)</sup>が行われてきている。これら防波堤の主目的である波浪制御効果については比較的検討されているが, 海水交換特性については十分には検討されていない。特に, 透過性防波堤は潮流などの流れによる海水交換特性は検討されているが, 波による海水交換特性については十分には検討されていない。

このような観点より本研究では, 傾斜板列型二重カーテン防波堤の海水交換特性について水理模型実験により検討を行った。傾斜板列型二重カーテン防波堤の港内水・港外水の海水の交

換は, ①港湾の港口部, ②透過性防波堤の開口部, ③防波堤の越波部の3つの場所で行われている。傾斜板列型二重カーテン防波堤は通常時越波を許さない防波堤であるため, ①と②の海水交換特性について検討を行った。このとき, 透過・反射率の波浪制御特性との関係やカーテン端部より発生する剥離渦が及ぼす海水交換への影響について検討を行った。

## 2. 港内流況特性及び海水交換特性に関する実験

### (1) 平面造波水槽

開口部での海水交換特性を検討するため, 平面水槽を用いた実験を行った。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, 中央部及び両端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の模型を, 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。水槽両側の港口

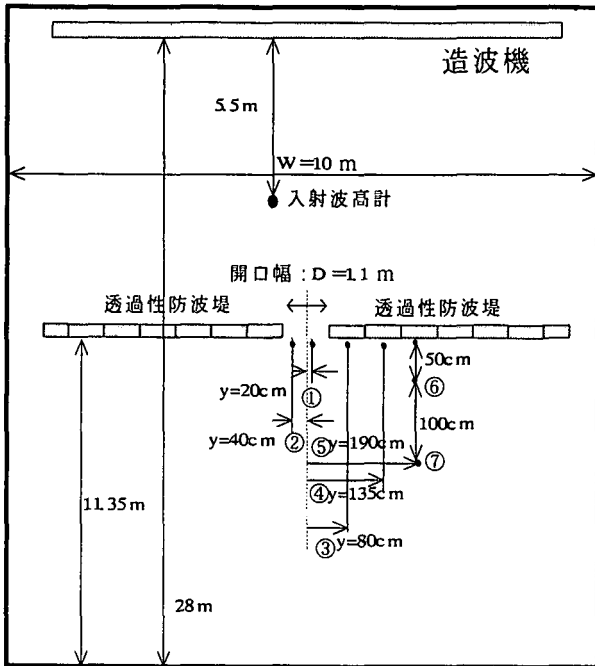


図-1 平面水槽及び流速計の設置位置

部と同じ1.1mの港口は、港内側と港外側の水位を一定に保つために設けている。このとき想定しているモデルの縮尺は1/18であり、現地での港口部での港口長は約20mに相当する。

#### (2) 2次元造波水槽

防波堤開口部での海水交換及び港内の流況特性に関する実験を行うために、愛媛大学工学部環境建設工学科の長さ25m、幅1m、高さ1.25mの2次元造波水槽を用いた。

#### (3) 透過性防波堤の模型堤体

本実験で用いた透過性防波堤の模型堤体は、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板列とした傾斜板列型2重式カーテン防波堤である。

#### (4) 実験方法

平面水槽実験では、港内と港外の海水交換が行われる港口部及び堤体下部の開口部での流速を計測した。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、図-1に示す流速計の配置位置で鉛直方向に水平流速を計測した。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、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、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2.0cm間隔で流速を計測した。港口部においては、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、水深30cmで底面から5.0cm間隔で計測

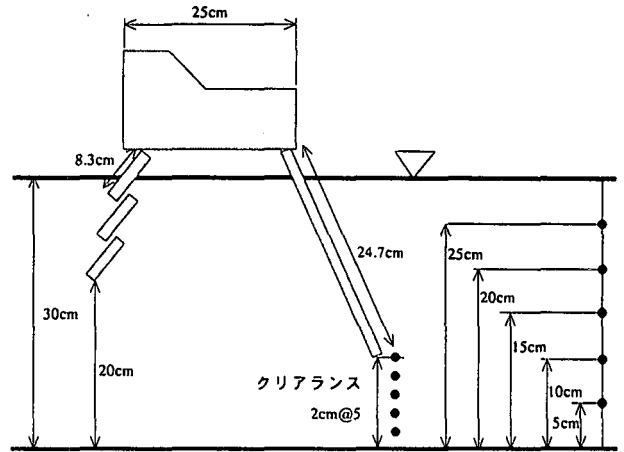


図-2 傾斜板列型2重式カーテン防波堤の断面と流速計の設置位置

した。

断面2次元実験では、堤体下側の開口部での海水交換特性を検討するため、堤体周辺の流況をトレーサー実験により計測した。トレーサーは、家庭用のスポンジを1cm四方に切ったものを用いた。流況は水路側方からビデオカメラで撮影した後、粒子追跡を行った。また、港内の流況については、波向き方向(水平方向)に港内側のカーテン端部( $x=0$ cm)から $x=5, 15, 25, 45, 65, 85, 105, 125, 145, 165, 185, 195$ cm背後の12地点で計測し、鉛直方向には底から $z=5, 10, 15, 20, 25$ cmの5地点で計測した。

#### (5) 実験条件

実験に用いた波条件は、この透過・反射率の特性を参考として、0.7, 0.77, 0.82, 1.1, 1.3sの5つの波条件を決定した。また波高は、7cm程度と一定とした。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)の単一カーテンを海底まで延長し、不透過防波堤とした。

### 3. 傾斜板列式二重カーテン防波堤の波浪制御特性<sup>2)</sup>

図-3, 4は既に報告されている傾斜板列型2重式カーテン防波堤の透過・反射率の特性である。図中の計算結果は減衰波理論による計算結果を示す。横軸のBは遊水室幅で25cmである。図中のRun1-5は波条件の周期 $T=0.7, 0.77, 0.82, 1.1, 1.3$ sに対応する。

透過率は短周期の波条件になるに従って単調に減少し、最も短周期の条件でほぼ0で、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。

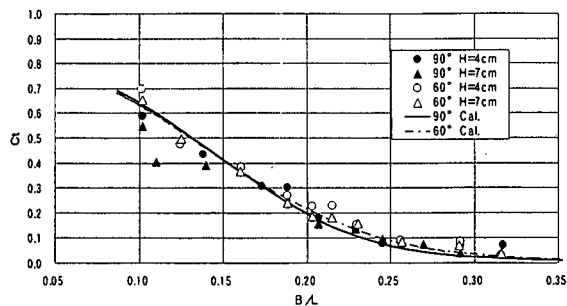


図-3 傾斜板列型2重式カーテン防波堤の透過率の特性

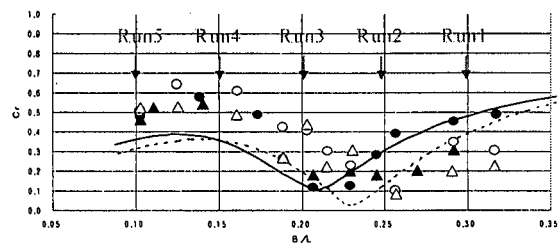


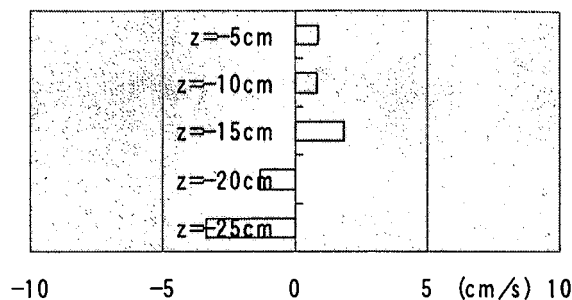
図-4 傾斜板列型2重式カーテン防波堤の反射率の特性

#### 4. 傾斜板列型2重式カーテン防波堤の海水交換特性

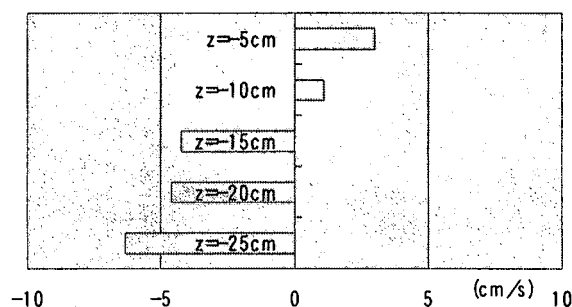
##### (1) 港口部での海水交換特性

図-5は、透過性防波堤の場合の港口部における時間平均水平方向流速の鉛直分布を示す。流速データは流れの状況が安定した所で時間平均を行っている。各図で流速の正方向が沖向き（港外側）、負の方向が岸向き（港内側）の方向を示す。(a)～(e)のどの波条件でも、港口部において水面付近は沖向きで海底付近は岸向きの流れになっていることがわかる。また、図(a),(b)に示される長周期の波条件になるほど、流速の絶対値は大きくなっている。断面の水収支を考えるとそれぞれの波条件で異なるが、ほぼ流入・流出がバランスしていることがわかる。

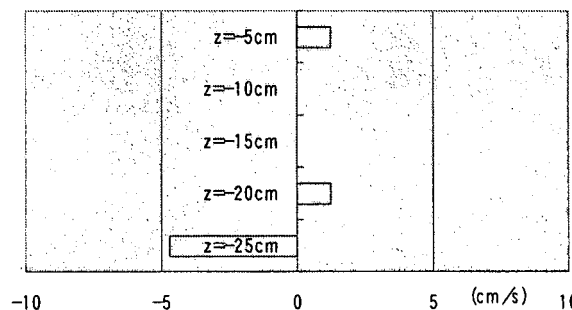
図-6は、防波堤が不透過の場合の港口部における時間平均水平方向流速の鉛直分布を示す。(a)～(e)のどの波条件についても、平均流速は1cm/s以下であり、ほとんど時間平均的な流れは生じていないことがわかる。すなわち、防波堤の透過性と港口部の平均流れとは密接に関係しており、防波堤を不透過にすると港口部での平均流れはほとんどなくなることがわかった。従って、港口部での海水交換を促進させるためには防波堤を透過性にすることが重要であることがわかる。



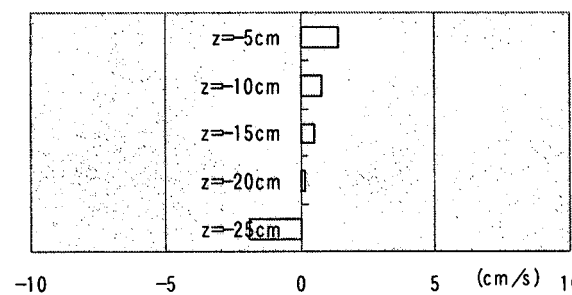
(a)  $T=1.30s$



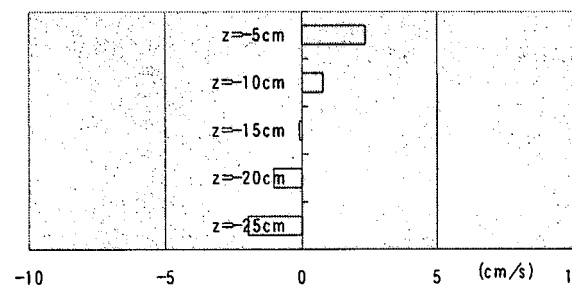
(b)  $T=1.10s$



(c)  $T=0.82s$

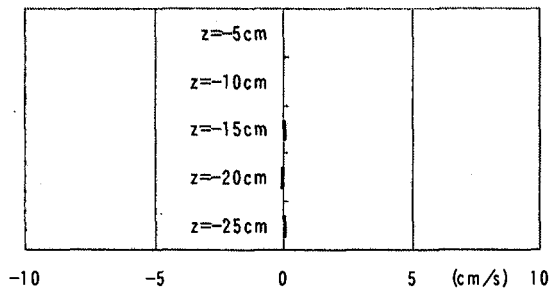


(d)  $T=0.77s$

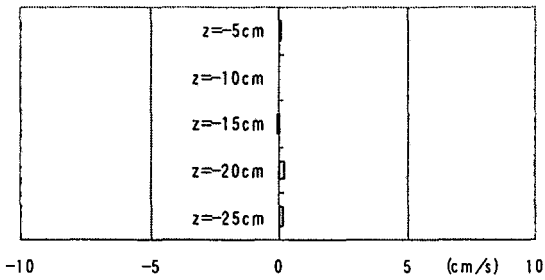


(e)  $T=0.70s$

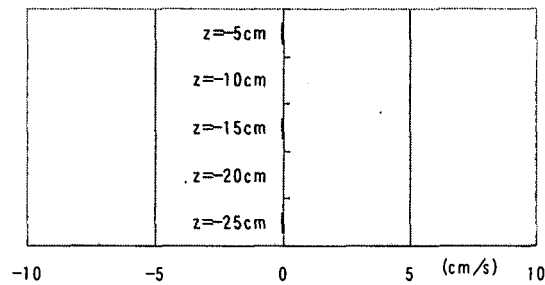
図-5 透過堤の場合の港口部の流れ



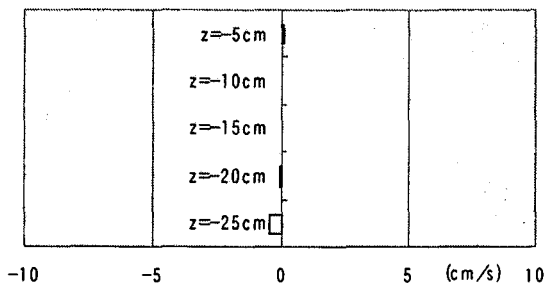
(a)  $T=1.30s$



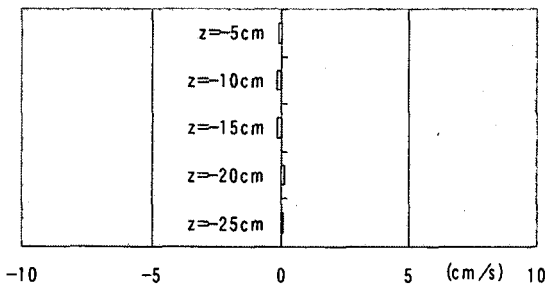
(b)  $T=1.10s$



(c)  $T=0.82s$

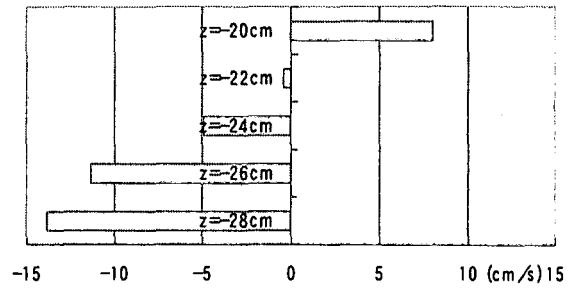


(d)  $T=0.77s$

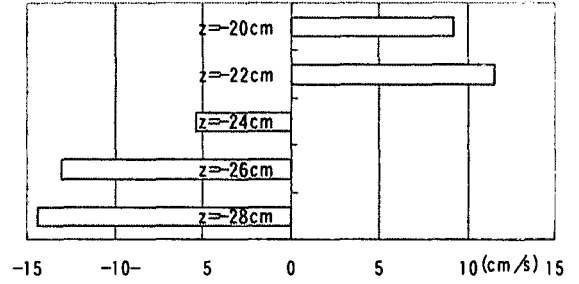


(e)  $T=0.70s$

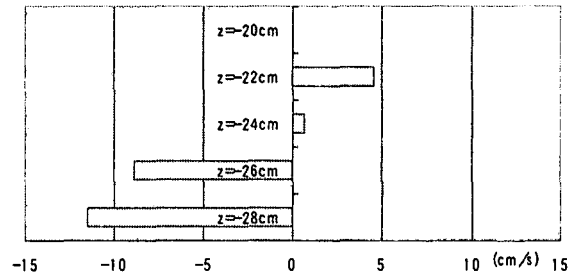
図-6 不透過堤の場合の港口部の流れ



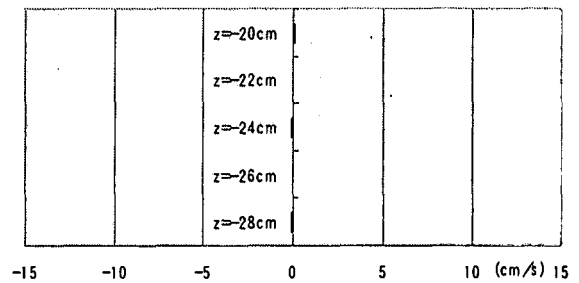
(a)  $T=1.30s$



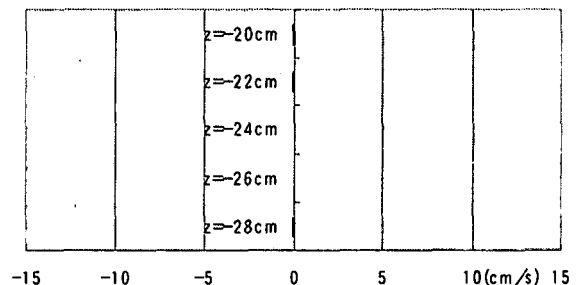
(b)  $T=1.10s$



(c)  $T=0.82s$



(d)  $T=0.77s$



(e)  $T=0.70s$

図-7 防波堤開口部の流れ

(2) 透過性防波堤開口部での海水交換特性

図-7は、傾斜板列型2重式カーテン防波堤下側の開口部での時間平均水平流速の鉛直分布を示

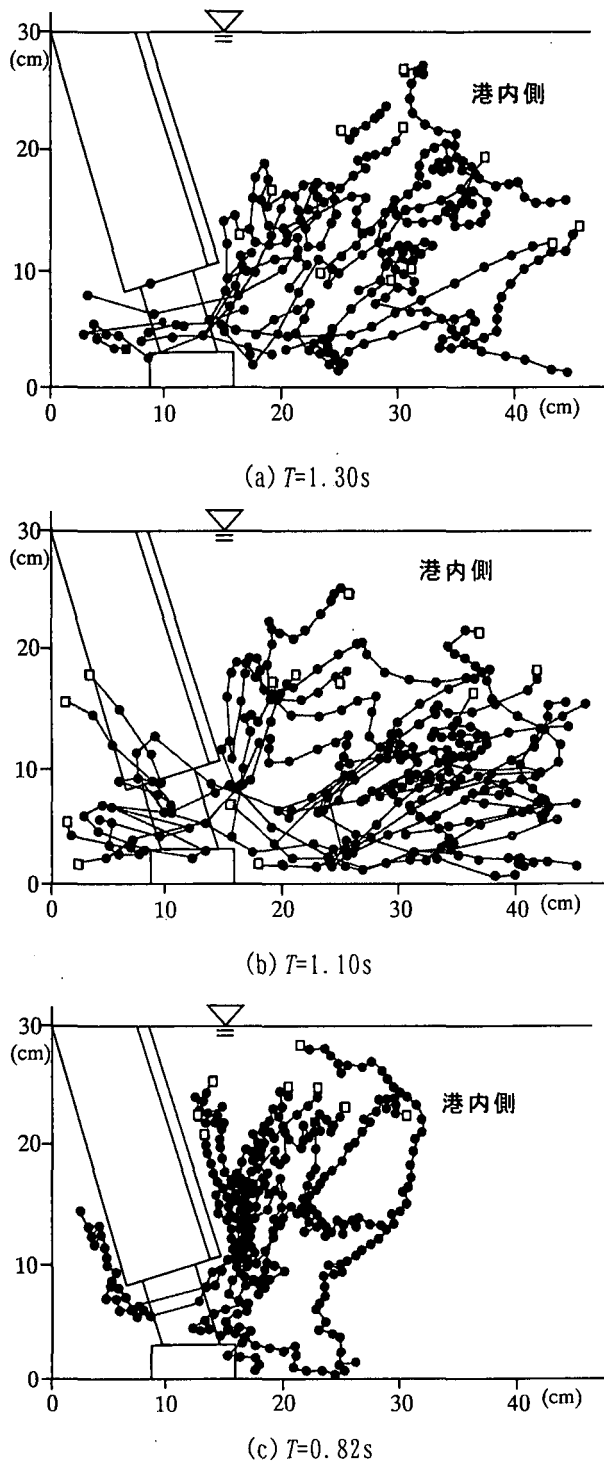


図-8 防波堤開口部の流況

す。図(a)~(e)を比較すると短周期波の条件である図(d), (e)はほとんど平均流れが生じていないことがわかる。この波条件において透過率は0~0.1程度であり、ほとんどの波のエネルギーは防波堤前面の傾斜板列で反射され、平均流れが生じていないと言うよりも波動運動が透過側に伝達していない。

周期が0.85sよりも長い波条件(透過率で0.2以上)では明確な平均流れが生じ、単一カーテン付

近で沖向き(港外侧), 海底付近で岸向き(港内側)の流れが生じる。このことについては次のトレーサーの追跡実験の結果とも併せて説明する。

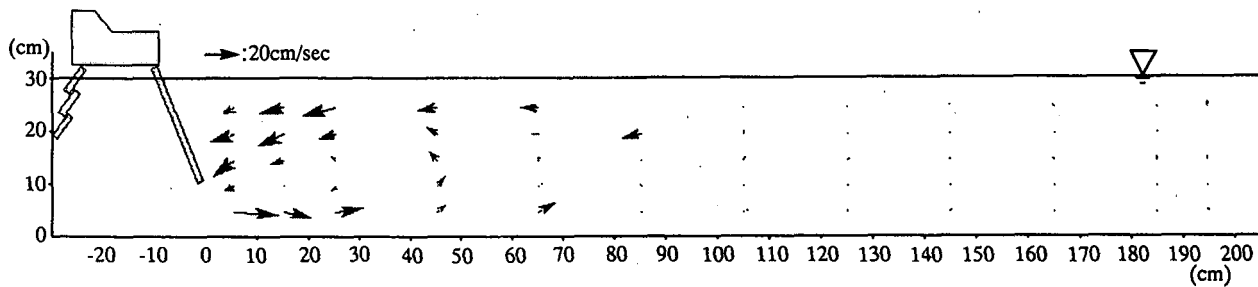
図-8は断面2次元実験でのトレーサー実験結果を示す。トレーサーは最初の位置を□で示し1/8周期ごとに追跡している。長周期の条件を示す図(a), (b)では、トレーサーが港内側カーテン背後から堤体内に開口部から吸い込まれる状況と、開口部から海底を這うように吐き出される動きがわかる。これは、引き波時に透過側のカーテン端部で流れは沖向きであり、遊水室(透過側カーテンと傾斜板列に挟まれた水域)内に時計回りの剥離渦が形成され、港内側カーテン背後の水塊は開口部を通過してカーテン沖側の時計回りの剥離渦に取り込まれる。一方、寄せ波時にはカーテンの透過側に反時計回りの剥離渦が形成され、遊水室内の水塊が透過側へ掃き出される。これらのトレーサーの動きは、港内側カーテン下端部から半周期毎に遊水室内と透過側に形成される剥離渦に影響を受けている。従って、剥離渦がほとんど形成されない短周期の条件である図(c)では、トレーサーの水平方向の運動はほとんど見られない。

### (3) 港内での鉛直混合特性

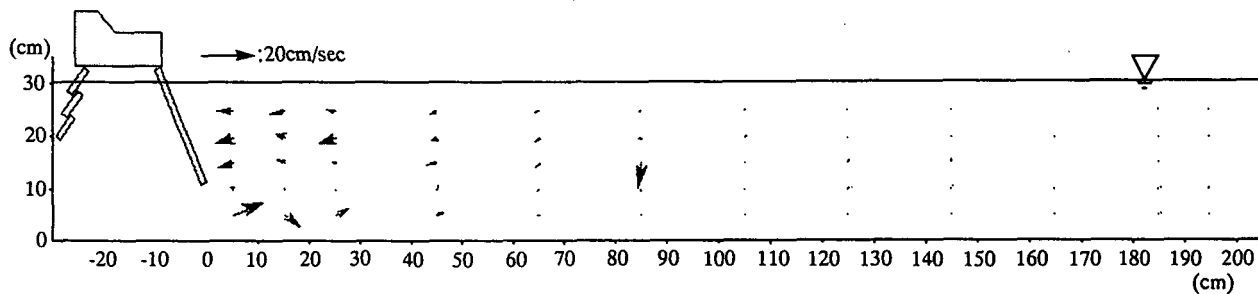
図-9(a)~(c)は港内側の平均流速分布をベクトル図で示している。長周期の波条件では透過率が0.6と大きく、図(a)に示すように港内側に大きな反時計回りの循環流が形成されている。この循環流の範囲は透過性防波堤の背後から80~90cmまでの範囲であり、ほぼ波長の1/2の範囲となっている。図(c)に示す短周期の波条件になると透過率は0.2程度で、港内側に波動運動がほとんど伝わってこないため、港内側で大きな時間平均流れは見られない。これらの結果から、港外水と港内水との海水交換や港内の閉鎖性水域の鉛直混合を促進させるためには、透過率で0.4以上の透過波が必要となることがわかった。

## 4. 結論

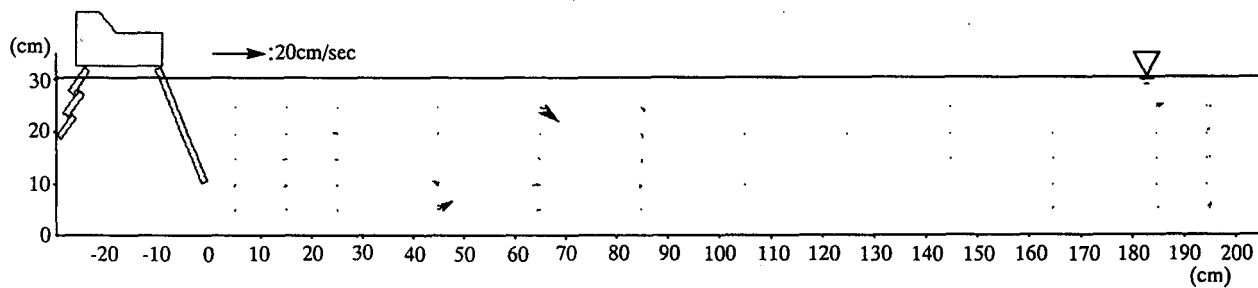
- ①周期にかかわらず(単一カーテン端部での剥離渦の形成に関わらず)開口部のカーテン端部付近では港外侧, 底面付近では港内側に平均流速が向いていることがわかる。また、渦流れが発生する長周期の条件では、平均流速が大きくなる。
- ②長周期の条件における開口部付近の海水交換は、引き波時に透過側のカーテン背後の水塊が開口部から吸い込まれ遊水室内に取り込まれ、寄せ波時にはカーテンの透過波側に反時計回りの剥離渦が形成され、遊水室内の水塊が透過側へ掃き出される。このように開口部での海水交換には開口部付近で形成される剥離渦が大きく関係していることがわかった。



(a)  $T=1.30s$



(b)  $T=1.10s$



(c)  $T=0.82s$

図-9 透過性防波堤の港内側の平均流速

③短周期の条件では、防波堤前面の傾斜板列により波が反射され、ほとんど波が透過しないため防波堤背後の単一カーテン付近では剥離渦が形成されず、ほとんど海水交換が生じていないことがトレーサー実験からも確認された。従って、波によって港外水と港内水との海水交換や港内の閉鎖性水域の鉛直混合を促進させるためには、透過率で0.4以上の透過波とカーテン端部で形成される剥離渦が必要となることがわかった。

#### 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) 中村孝幸, 高木伸雄, 中山哲殿, 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.