

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¹・中村孝幸²・高木伸雄³・中山哲巖⁴・菊地一郎⁵

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

¹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)

²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)

³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)

⁴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)

⁵正会員 工修 日立造船(株) (〒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、古くからは透過性防波堤、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¹⁾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²⁾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の効果に関し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³⁾されている。

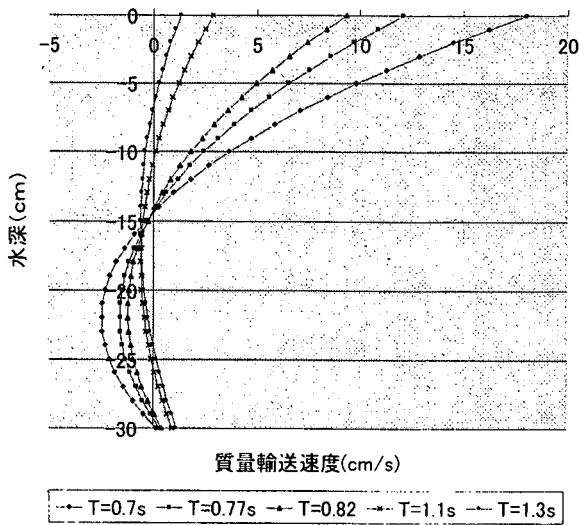


図-3 各波条件での質量輸送速度

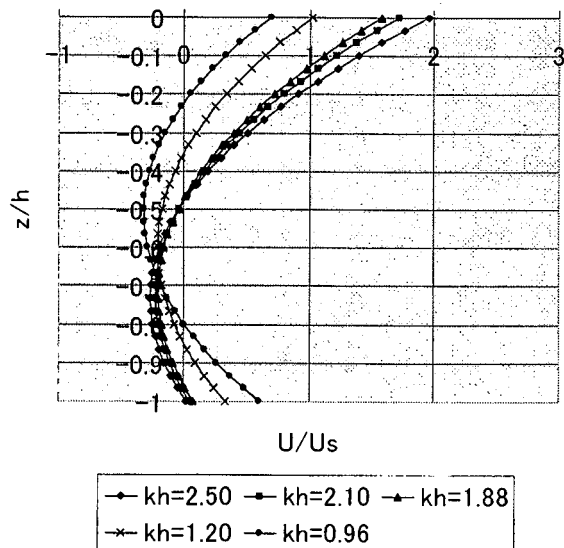


図-4 各波条件での無次元質量輸送速度

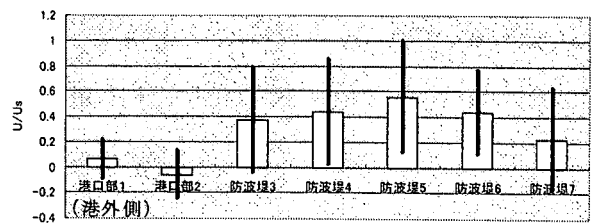
(2) 海水交換特性

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。

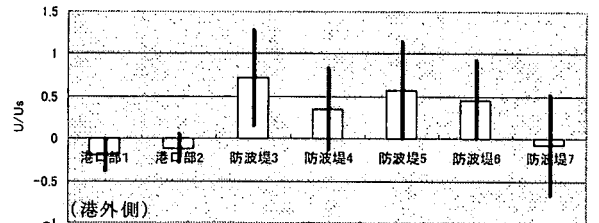
a) 透過性防波堤の場合

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。

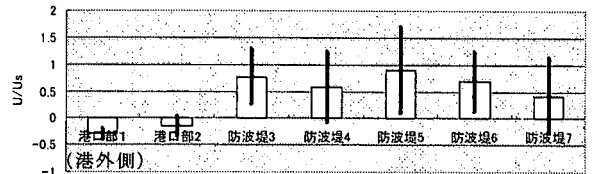
透過性防波堤下側の開口部の流速に着目すると、端部の防波堤7を除いて、全ての透過堤下側の平均流速は港内側へへの流入を示す。また港口部では、短周期の条件で港外側への流出、長周期の条件で港内側への流入の傾向を示す。



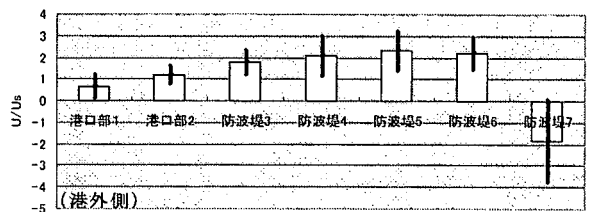
(a) $kh=2.50$



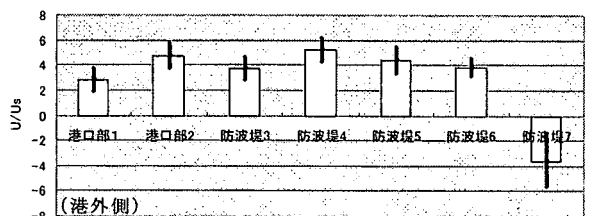
(b) $kh=2.10$



(c) $kh=1.88$



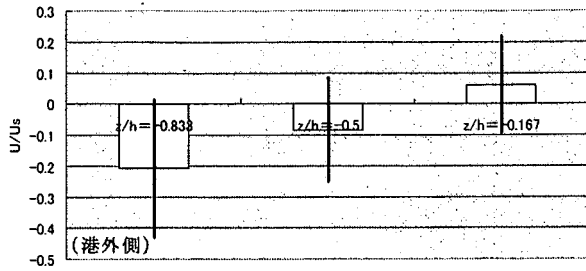
(d) $kh=1.20$



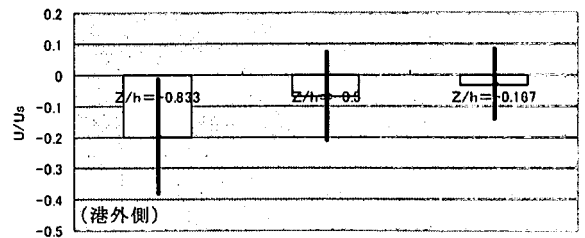
(e) $kh=0.96$

図-5 透過堤の場合の海底付近の流れ

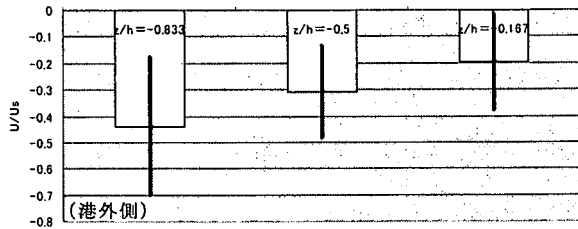
図-6は、透過堤を用いた場合の港口部での無次元岸沖方向平均流速を示す。実験では2地点($2y/D=0.27, 0.64$)で計測したが、両者の結果がほぼ同様の結果を示したため図-6は $2y/D=0.27$ の結果を示す。各図より短周期の条件では、港外への流出



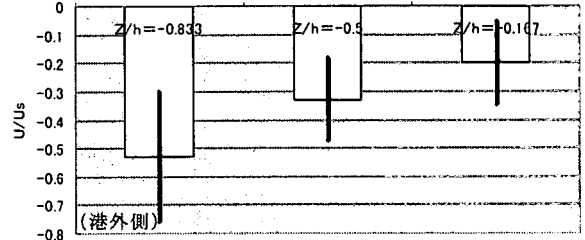
(a) $kh=2.50$



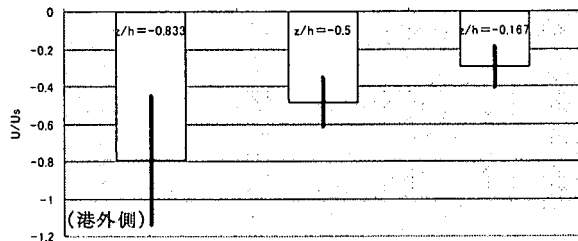
(a) $kh=2.50$



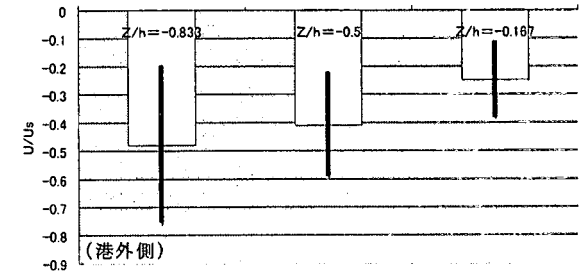
(b) $kh=2.10$



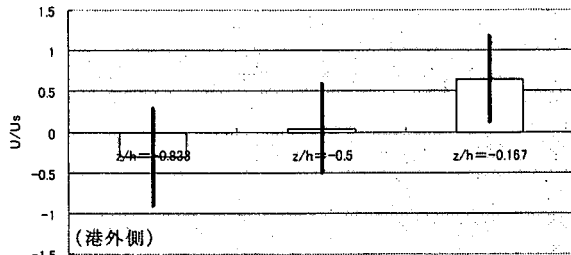
(b) $kh=2.10$



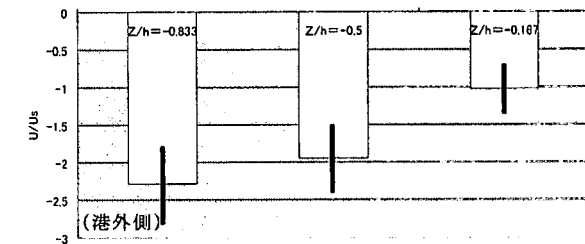
(c) $kh=1.88$



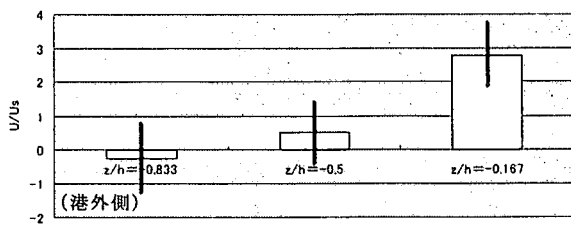
(c) $kh=1.88$



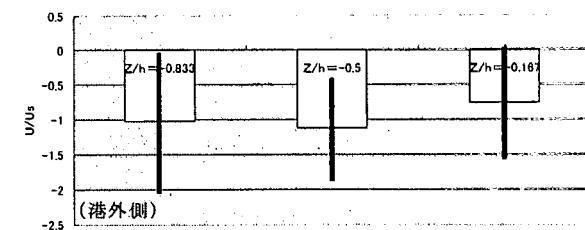
(d) $kh=1.20$



(d) $kh=1.20$



(e) $kh=0.96$



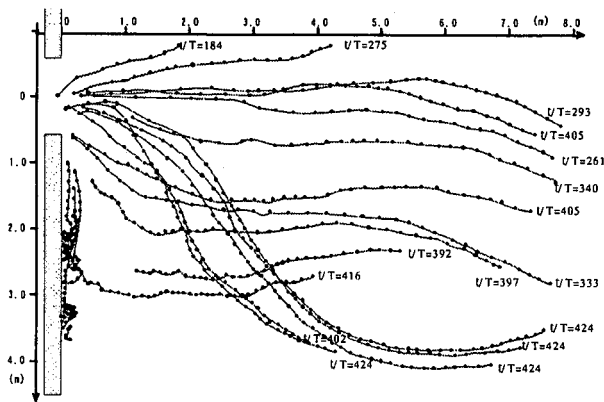
(e) $kh=0.96$

図-6 透過堤の場合の港口部の流れ

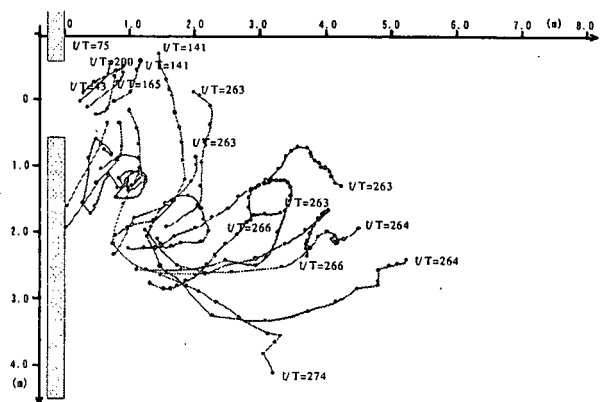
図-7 不透過堤の場合の港口部の流れ

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、水面付近で港内側への流入の傾向となり、中・下層では

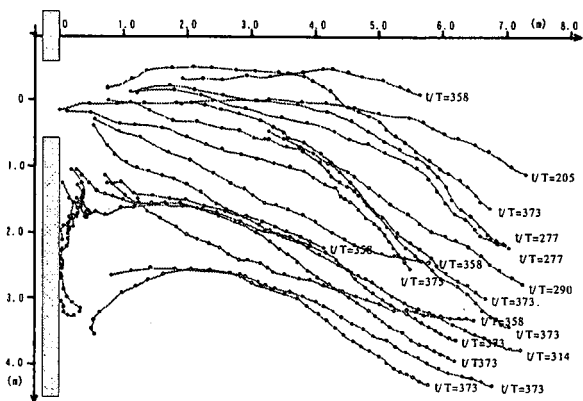
絶対値として小さな値となる。従って、透過堤の場合の海水交換としては、各透過堤下側の開口部から港外水が流入し、港口部から港内水が流出している。



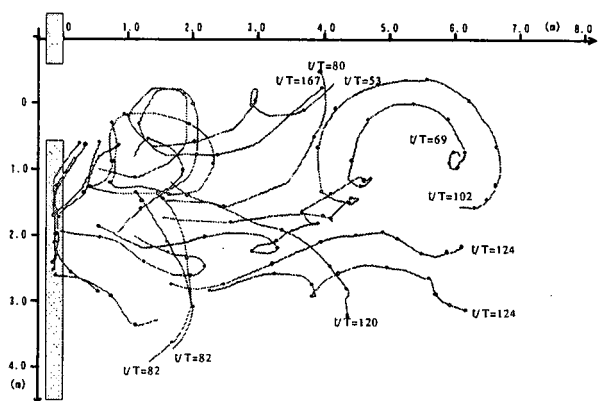
(a) $kh=2.50$



(d) $kh=1.20$

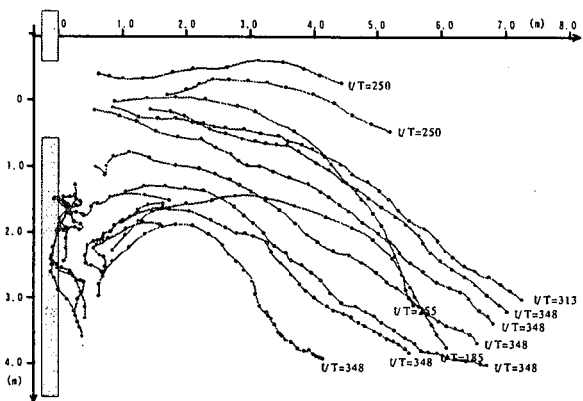


(b) $kh=2.10$



(e) $kh=0.96$

図-8 透過堤の場合の港内流況



(c) $kh=1.88$

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沖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。

(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

