

# 消波ブロック被覆型有孔堤の海水交換特性

—久遠漁港を対象とした検討—

Seawater Exchange on Armored Caisson Breakwater with Intake Holes

明田定満\*・山本泰司\*\*・木村克俊\*\*\*・三船修司\*\*\*\*

Sadamitsu AKEDA, Yasuji YAMAMOTO, Katsutoshi KIMURA and Shuji MIFUNE

## Abstract

Establishing breakwaters in Japanese ports have greatly improved the calmness in ports. However, the seawater exchange between landward and seaward areas in ports has greatly decreased. In ports near urban areas, the inflow of sewage or industrial wastewater and the accumulation of sludge are causing a variety of environmental problems. To realize a seawater exchange breakwater that will improve the calmness in ports and the seawater exchange, an armored caisson breakwater with intake holes was developed to allow fresh seawater into the port using wave energy.

The armored caisson breakwater with an opening ratio of 16.8% is under construction in Kudoh fishing port on the Sea of Japan. In this paper, the characteristics of seawater exchange and wave transmission of this breakwater introduced based on the results of 2-D & 3-D model tests and numerical simulations.

Keywords: armored caisson breakwater with intake holes, seawater exchange, calmness

## 1. はじめに

漁業を取り巻く社会経済情勢の変化に伴い、我が国200海里水域内を活用した資源管理型漁業や作り育てる漁業（栽培漁業）の重要性が高まっており、各地で中高級魚介類の養殖や種苗放流等が実施されてきた。特に、養殖に適した静穏海域の少ない北海道においては、来襲波浪の影響が少なく、かつ日常的管理が容易な港内静穏水域を漁獲物の蓄養、中高級魚介類の養殖、放流種苗の中間育成の場として従来より活用してきた経緯もあり、港湾・漁港整備に際して、多目的に利用可能な港内静穏水域の確保が漁業者から要望されている。

## 2. 消波ブロック被覆型有孔堤の開発

著者らは、「港内静穏度の向上」と「海水交換の促進」を可能とする海水交換型防波堤として、図1に示すような波浪エネルギーを利用して海水導入を行う消波ブロック被覆型有孔堤を研究開発してきた（例えば、北海道開発局開発土木研究所他、1991-1995、1997）。

### 2.1 小開口部を有する消波ブロック被覆型有孔堤

消波性能、耐波安定性に優れた消波ブロック被覆型混成堤において、堤体前面消波ブロックによる波エネルギーの消散と消波ブロック内で wave-setup による平均水位の上昇が生じることを明らかにし、その水理特性を利用して海水導入を図る消波ブロック被覆型有孔堤を提案した（猿川ら、1993）。これらの研究成果に基づき、1994

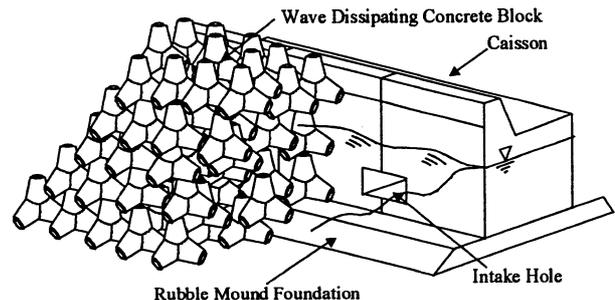


図1 消波ブロック被覆型有孔堤の概念図

年に日高支庁管内の浦河港水中荷捌場の海水導入施設として堤体開口率5%の消波ブロック被覆型有孔堤を建設し、所要の海水交換機能を有し、荒天時の港内静穏度も問題が無いことを確認している（明田ら、1996）。現在、檜山支庁管内の福島漁港において、堤体開口率1.2%の消波ブロック被覆型有孔堤を建設中であり、小開口部（開口率数%程度）を有する消波ブロック被覆型有孔堤（以下、小開口被覆型有孔堤という）の設計施工法は実用段階に達したと考えている。

### 2.2 大開口部を有する消波ブロック被覆型有孔堤

水域利用の多様な要請に応えるため、海水交換能力の高い、導水孔断面積の大きな有孔堤が計画建設されるようになってきたが、海水交換が促進される一方で、伝達波浪が港内利用に及ぼす影響が懸念されている。さらに、堤体の耐波安定性、部材波力等新たな設計上の問題が生

\* 正会員：水産庁水産工学研究所 環境改変研究室（前北海道開発局開発土木研究所 港湾研究室）

〒314-0421 茨城県鹿島郡波崎町海老台

\*\* 正会員：北海道開発局 港湾計画課（在インドネシア JICA 専門家）

\*\*\* 正会員：北海道開発局開発土木研究所 港湾研究室

\*\*\*\* 正会員：日本データサービス株式会社 総合解析室

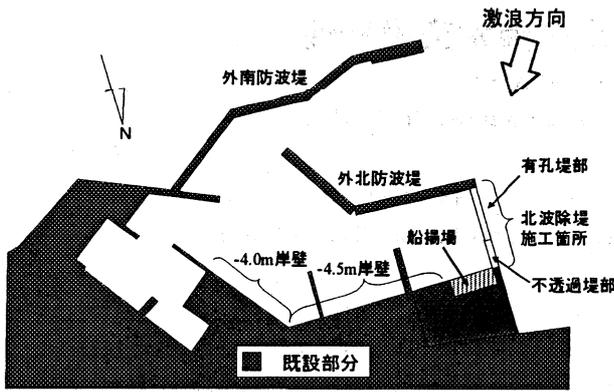


図2 久遠漁港の平面図

じており、大開口部を有する消波ブロック被覆型有孔堤（以下、大開口被覆型有孔堤という）に対応した耐波設計法を確立する必要が出てきた。そこで、①堤体（導水孔も含む）に作用する波力分布特性、②波高伝達特性、海水導入特性のうち、堤体に作用する設計波力については、山本ら（1997）が合田式を準用して算定出来ることを明らかにし、滑動実験により設計波力算定法の妥当性を検証している。

檜山支庁管内の久遠漁港では、図2に示すように、荒天時、港口部及び港西側の北波除堤基部からの波浪の侵入による港内静穏度の悪化により、最奥部の船溜以外の4.0m岸壁及び4.5m岸壁での係船利用が不可能となっているため、港内静穏度の向上を図る目的で北波除堤が計画された。しかしながら、外北防波堤背後の未利用水域を活用したヒラメ、アワビ等の養殖が行われているため、北波除堤の建設に際して、荒天時の「港内静穏度の向上」と港内での養殖を可能とする「水質環境の維持」という相反する要請が出てきた。そこで、潮汐流による港内外の海水交換、養殖実態を考慮した水質環境（溶存酸素量を指標）に関する数値解析を行った結果、不透過構造、小開口被覆型有孔堤では港内の流動環境、水質環境を維持保全できないため、大開口被覆型有孔堤による北波除堤の建設が計画された。

本報告では、堤体の開口率と波高伝達特性、海水導入特性と、久遠漁港北波除堤に大開口被覆型有孔堤を建設した場合の海水交換、港内静穏度に関する水理実験及び数値解析の概要を報告する。

### 3. 波高伝達率

水理実験は断面実験と平面実験に大別される。断面実験では、堤体開口率  $\epsilon$  を 16.8、10.5、5.0 %（本体開口率  $\epsilon'$  を 23.6、14.5、7.0 %）の3種類変化させて、消波ブロック被覆型有孔堤の波高伝達率、海水導入、堤体背後の流況について検討した。ここで、堤体開口率  $\epsilon$  (%) は導水孔断面積÷マウンドを含む堤体の水面下投影面積  $\times 100$  と定義した。また、本体開口率  $\epsilon'$  (%) はマウンドを除いた本体部分に対する開口率と定義した。

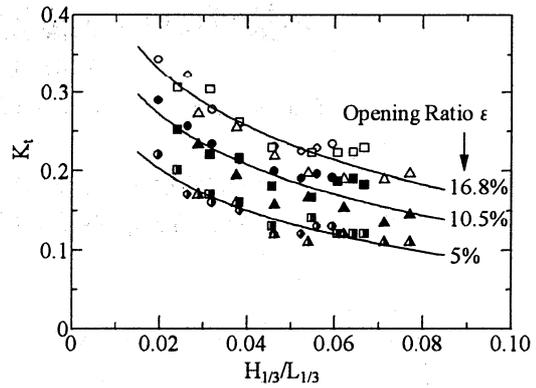


図3 開口率と波形勾配、波高伝達率の関係

### 3. 1 開口率と波高伝達率

導水孔から港内への波高伝達特性を把握することは、導水孔の規模配置や堤体開口率の決定、荒天時における港内利用に及ぼす影響を検討する上で重要である。そこで、堤体開口率  $\epsilon$  (%) をパラメータにして、入射波の波形勾配  $H_{1/3}/L_{1/3}$  と波高伝達率  $K_T$  の関係を図3に示す。入射波の波形勾配が小さくなる（即ち長周期波浪になる）に従い、また、堤体開口率が大きくなるに従い、消波ブロック被覆型有孔堤の波高伝達率が大きくなることが示され、堤体開口率が波高伝達率を規定する重要な要素であることが分かった。

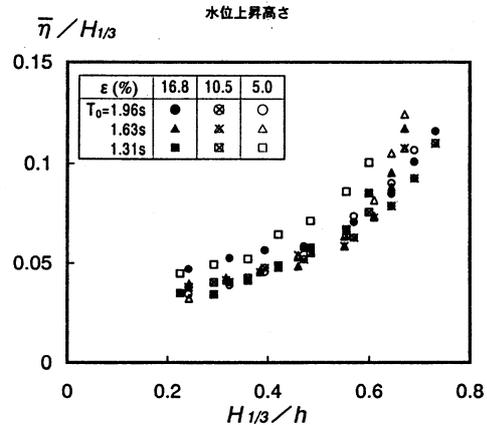


図4 消波ブロック内の平均水位上昇高

### 3. 2 海水導入

#### (1) 消波ブロック内の平均水位上昇高

来襲波浪と消波ブロック内の平均水位上昇  $\eta$  の関係を図4に示す。縦軸は波高に対する相対水位上昇  $\eta/H_{1/3}$ 、横軸は相対波高  $H_{1/3}/h$  であり、堤体開口率や周期が平均水位上昇高に及ぼす影響は小さいことが分かる。なお、平均水位上昇高が消波ブロック内の波エネルギーの消散に比例すると考えると、平均水位上昇高は波高の二乗にほぼ比例する（明田ら、1996）。

#### (2) 導水孔内の平均流速

消波ブロック内の平均水位上昇高  $\eta$  と導水孔内の平均流速  $u$  の関係を図5に示す。ここで、 $g$  は重力加速度である。換算水位上昇高  $(2g\eta)^{0.5}$  と平均流速  $u$  は比例関係

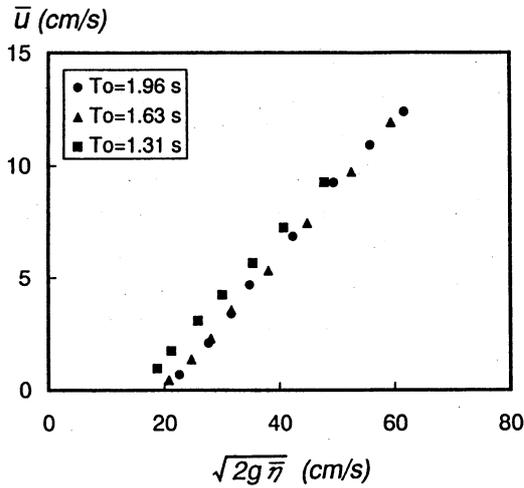


図5 導水孔内の平均流速

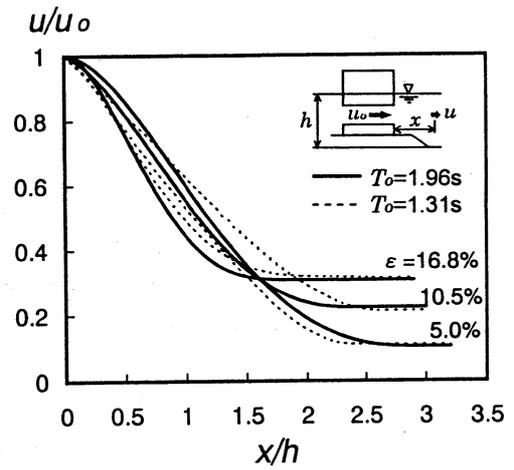


図6 開口率と背後流速の減衰特性の関係

にあるが、消波ブロック内で一定以上の平均水位の上昇が生じなければ、導水孔内に港内方向流が生じないことが分かる。同様の結果は浦河港水中荷捌場での実証試験でも得られており（明田ら、1996）、一定値以上の平均水位の上昇、言い換えれば、一定値以上の波浪（波高）が作用しなければ、消波ブロック被覆型有孔堤では海水交換を期待できないことを意味している。

### (3) 堤体背後の流況特性

有孔堤背後水域を水産生物の蓄養、養殖等に利用する場合、導水孔から流入する流れの直接的な影響範囲を把握しておく必要がある。堤体開口率と導水孔背後流速の減衰特性の関係を図6に示す。ここで、減衰率  $u/u_0$  は堤体背後  $x$  の距離における孔軸方向流速  $u$  と導水孔端における流速  $u_0$  の比で定義した。背後流速は堤体から離れるに従い減衰し、 $x/h=1.5$  程度でほぼ一定値となり、堤体開口率 16.8% の場合減衰率は 0.3 ~ 0.4 である。また、入射波高が小さいほど距離による減衰が早くなること、開口率や周期が背後流速の減衰傾向に及ぼす影響は小さいことが分かった。

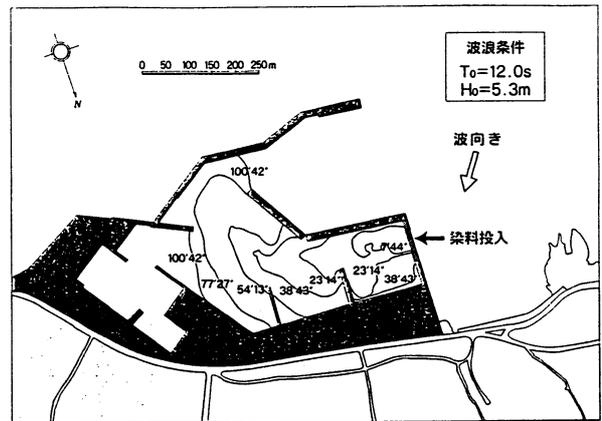


図7 外海水の流入状況（周期 12 秒、波高 5.3m）

性、港内静穏度を検討した。

### (1) 波浪による海水交換（平面実験）

北波除堤を大開口被覆型有孔堤とした場合、波浪による外海水流入状況の可視化実験結果の一例を図7に示す。図中の数値は外海水が港内流入後の経過時間（現地換算）である。全ての実験条件において、導水孔に投入した染料は港外側に全く拡散することなく港内に流入したことから、斜め入射波に対しても有効に海水導入が行われていることが分かる。港内に流入した外海水は、外北防波堤の内側水域を通り、港口開口部から港外に流出する循環パターンが形成されており、海水交換施設の設

## 4. 久遠漁港を対象とした検討

### 4. 1 海水交換

平面実験では、久遠漁港北波除堤に本体開口率  $\epsilon = 23.8\%$ （設置水深により、堤体開口率  $\epsilon$  は 16 ~ 22%）の大開口被覆型有孔堤を建設した場合の海水導入時の流況特

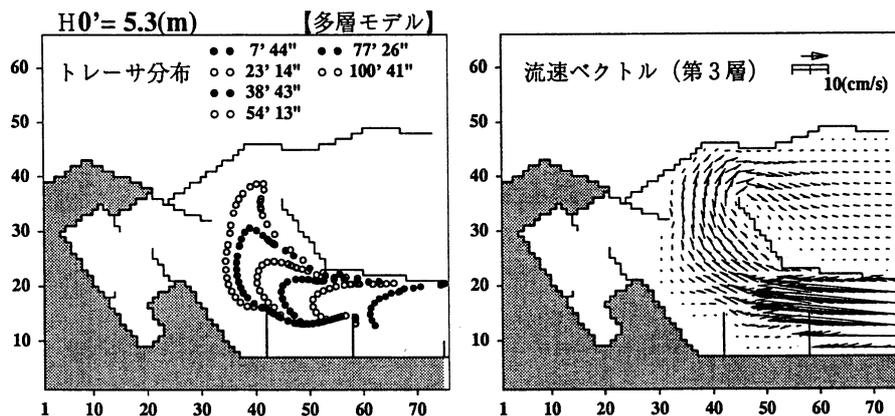


図8 外海水の流入状況（周期 12 秒、波高 5.3m）

置に際して、港内全体の海水循環を考慮した平面配置を行う必要がある。

### (2) 波浪による海水交換 (数値解析)

外海水流入状況の可視化実験と同一条件で、3次元多層密度流モデルを使用した海水交換に関する数値解析を行った。計算方法の詳細は参考文献 (藤原ら、1992) を参照されたい。図7と同一条件の流入外海水を模擬したトレーサ分布図とベクトル図を図8に示すとともに、久遠漁港の海水交換率を表1に示す。数値計算による流入外海水のトレーサ分布図は可視化実験結果の傾向とほぼ合致しており、3次元多層密度流モデルを使用した数値計算を用いれば、大開口被覆型有孔堤による海水交換を推定出来ることが分かった。

北波除堤を大開口被覆型有孔堤とした場合、潮汐流による0.5回/日程度の海水交換に加えて、年数回程度発生する波浪に相当する  $T_{1/3}=12.0s$ 、 $H_{1/3}=5.3m$  では3.4回/日、月1~2回程度発生する波浪  $T_{1/3}=8.0s$ 、 $H_{1/3}=1.9m$  では0.6回/日の海水交換が期待される。

表1 波浪による海水交換率

波浪条件		海水交換率 (回/日)
周期(秒)	波高(m)	
8.0	1.9	0.6
12.0	2.7	1.2
8.0	3.8	2.0
12.0	5.3	3.4

### (3) 潮汐流による海水交換 (数値解析)

北波除堤を不透過構造とした場合、港内静穏度は格段に向上するが、潮汐流による海水交換は殆ど期待できず、現況 (北波除堤無し) の海水交換率の1/100~1/50まで低下する。北波除堤を大開口被覆型有孔堤とした場合でも、現況の海水交換率の1/6~1/5程度まで低下するが、溶存酸素量を指標にした水質環境に関する数値解析の結果、現状の養殖規模であれば水質環境に生物飼育上の問題は生じないことが明らかとなった。

## 4. 2 港内静穏度

現況 (北波除堤無し) と将来 (北波除堤を大開口被覆型有孔堤) について、北波除堤背後の船溜内の波高比を表2に示す。ここで、波高比は北波除堤設置位置にお

る通過波高に対する波高の比で定義した。また、表2に久遠漁港の波浪出現頻度から推定した船揚場の稼働限界波高を越える波浪の出現確率も併せて示している。現況では港西側の北波除堤基部から波浪が直接侵入するため、北波除堤背後の船溜内の波高比は0.3-0.4と大きく、特に船揚場前面では波高比が0.50-0.65と極めて大きな波高比となった。将来では、船溜内の波高比が0.1-0.2まで低下し、港内静穏度に及ぼす北波除堤建設の効果は顕著であることが分かる。

漁港における岸壁の稼働限界波高は0.30mと定められており、岸壁の稼働限界波高を越える波浪出現確率は現況では7.5%であり、将来では1.8%まで低下する。現況では来襲波高が  $H_{1/3}=0.60m$  を越えると稼働限界波高を越えるが、将来は波高  $H_{1/3}=2.3m$  までは稼働可能となることから、船揚場稼働率も所要の水準まで向上することが明らかとなった。

表2 北波除堤背後船溜内の静穏度向上

	船溜内の平均波高比		稼働限界時の波高 $H_{1/3}$ (m)	波浪出現確率 (%)
	$T_{1/3}=8s$	$T_{1/3}=12s$		
現況	0.35	0.37	0.60	7.5
将来	0.14	0.20	2.31	1.8

## 5. 結語

本論では、大開口被覆型有孔堤の波高伝達率、消波ブロック内平均水位上昇高、導水孔内の平均流速、導水孔背後の流況等について堤体開口率をパラメータにして示した。また、久遠漁港を事例に取り上げ、3次元多層密度流モデルを用いた数値解析により、その海水交換特性を評価した。

本論の最後に際して、前述の検討結果を踏まえて、久遠漁港北波除堤は1996-97年に、堤体開口率16.8%の消波ブロック被覆型有孔堤 (ケーソン  $L=10m$ 、 $B=11.5m$ 、 $H=6.7m$ 、導水孔断面  $4.8 \times 3.2m$ ) で建設されたことを記して、これまで消波ブロック被覆型有孔堤の研究開発、実証試験、防波堤建設に携わった関係各位に謝意を表する次第である。

## 参考文献

- 明田定満・山本泰司・谷野賢二・木村克俊・小野寺利治(1996)：浦河港水中荷捌場における海水交換特性について、海岸工学論文集、第43巻、pp.1221-1225。
- 猿川弦・水野雄三・笹島隆彦・木村克俊・高橋哲美(1993)：消波ブロック被覆型有孔堤の海水交換特性に関する研究、海岸工学論文集、第40巻、pp.971-975。
- 藤原正幸・明田定満・武内智行(1992)：マルチレベル密度流モデルの開発と人工湧昇流への適用、水産工学研究所技報 (水産土木)、第14号、pp.13-35。
- 北海道開発局開発土木研究所他(1991-1995)：海水交換型防波堤の開発研究 (I~V)、第34-38回北海道開発局技術研究発表会発表概要集(4)
- 北海道開発局開発土木研究所他(1997)：環境共生型の港湾・漁港構造物の研究開発 (II)、第40回北海道開発局技術研究発表会発表概要集(4)、pp.143-157。
- 山本泰司・木村克俊・谷野賢二・明田定満・竹田義則・関口浩二(1997)：消波ブロック被覆型有孔堤の耐波設計法、海洋開発論文集、VOL.13、pp.549-554。