

湾内水域の多目的利用を考慮した防波堤計画の事例（美津島漁港広域防波堤）

An Example of a Plan for a Multi-Use Breakwater in the Bay Waters (Wide-area Breakwater at Mitsuishima Port)

角木 修一*, 長野 章*, 亀井 幸雄**, 長坂 明典**

Shuichi. Kakuki, Akira. Nagano, Yukio. Kamei and Akinori. Nagasaka

A wide areas breakwater, to oversee a spacious area inclusive of several fishingports, will be constructed to secure "calm". Furthermore, the breakwater will duplicate as a farming zone to promote "fish farming industry" in the waters. Therefore, in this survey, plans and basic designs have been devised for a breakwater that can secure a "calm water area" for the safety of fishing vessels and retain "certain water quality" for its function as a fish farming zone, with the "slit caisson type" finally being proposed for the breakwater structure.

Keywords: (calm water area, certain water quality, slit caisson)

1. はじめに

広域防波堤は複数の漁港を含む広い水域を対象として「静穏性」を確保するために建設されるものであるが、一方、その水域においては「つくり育てる漁業」のための増養殖場としても利用される。従って、本報告では漁船の安全のための「静穏水域の確保」と増養殖場のための「湾内水質維持」を両立することができる防波堤の計画および基本断面の検討を行い、防波堤構造形式として「スリットケーソンタイプ」を提案したものである。

本報告の特徴としては、湾口部に設置する広域防波堤（第一線防波堤）の構造として「透過型スリットケーソン」を採用したことである。また、透過型スリットケーソンの有効性の評価については、「静穏性（消波効果）」を数値計算により確認するとともに「湾内水質維持（海水交流効果）」を増養殖場からの汚濁物質の拡散計算により確認した。

2. 美津島漁港広域防波堤計画の背景

計画対象である美津島漁港は、長崎県対馬東沿岸中央にある三浦湾の湾口部付近に位置する第4種漁港であり、湾の規模は東西に3 Km、南北に4 Km程度である（図-1）。湾内には第2種漁港である三浦湾漁港と鴨居瀬漁港が存在し、湾最奥部には万関瀬戸があって対馬の東西沿岸を結ぶ重要な航路となっている。現在、本島において避難港である第4種漁港は対馬北部に位置する一重漁港と対馬南端に位置する豆酸漁港であるが、本海域は気象・海象が急変することが多く、この二つの避難港だけでは緊急時に対応しきれない状況にある。また、三浦湾奥および万関瀬戸で連絡する浅茅湾においては古くから真珠養殖や魚類養殖が盛んであり、当地域の将来の水産振興上も三浦湾における増養殖場の造成が期待されている。

このように船舶の避難場所や魚介類の増養殖場として三浦湾を多目的に利用していくためには湾内の静穏度を向上させることが必要不可欠であり、そのためには湾口部に広域防波堤を設けることが必須であった。

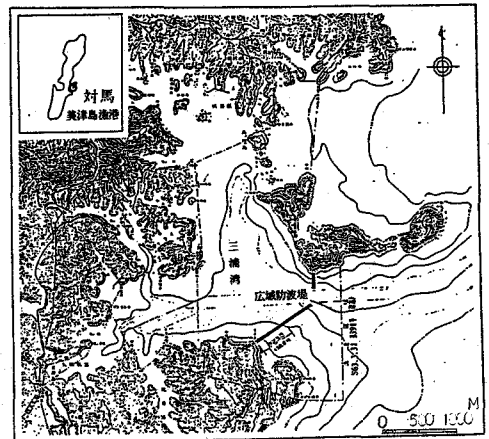


図-1 美津島漁港広域防波堤計画位置図

3. 湾内水域の多目的利用

広域防波堤を建設することによって造成される湾内の水域を多目的に有効に利用するためには、利用項目および規模を整理しておく必要がある。本対象水域の利用計画に当たっては、

- (1) 現存する万関瀬戸を通る航路
- (2) 船舶の避難泊地
- (3) 魚介類の増養殖場

の三つの項目を対象とし、配置することとした。

* 正会員 (財) 漁港漁村建設技術研究所 調査研究部 (〒107 東京都港区赤坂6-13-16 アジミックビル2F)

** 東亜建設工業(株) 土木本部設計部

所要の水域面積の設定に際しては、既往資料・現地ヒアリング等による現況の確認、将来への意向の整理を行った。表－１に利用項目の所要水域面積を示す。

3-2. 濟内水域利用計画

図一 2 に湾内の水域利用計画を示す。

4. 湾内の静穏度

4-1. 湾内静穏度の検討条件

湾内水域を利用するに当たって、本調査では利用項目に対する静穏度条件を次のように設定した。

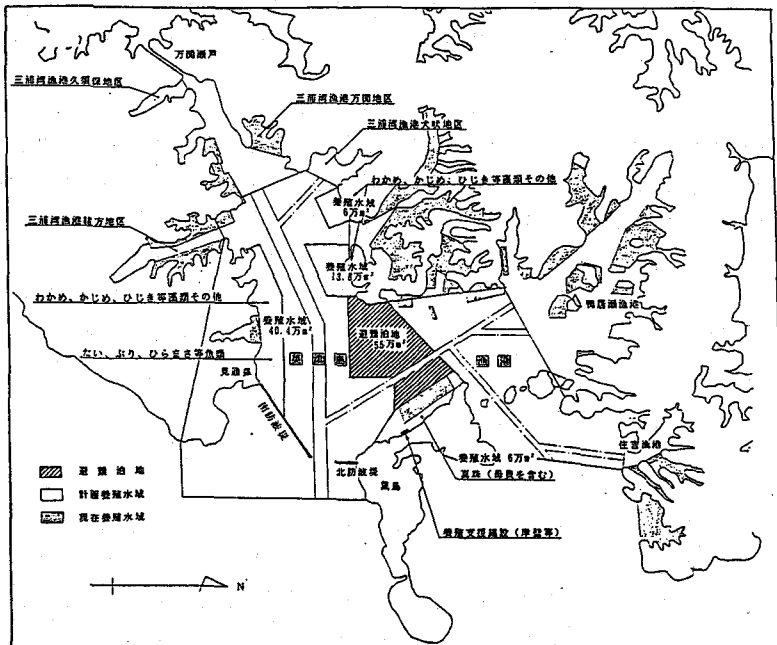
(1) 避難泊地

避難泊地の静穏度条件は現状の避難状況および地元聞き取り結果より「当海域に來襲する通常荒天時波浪 ($H=2.5\text{m}$) に対して波高 $1.0\sim 1.5\text{m}$ 以下」とした。

(2) 増養殖場

増養殖場における静穏度条件については、その地域の漁業形態等により一義的には決められないが表—2（昭和54年（社）水産資源保護協会）を参考に通常荒天時波浪（ $H = 2.5\text{m}$ ）に対して波高 1.0m 以下と設定した。

利用項目	所要面積(m ²)		備考
万関瀬戸航路			開発航路幅120m
畜養殖場	魚類	19,8000	たい, ぶり, ひらまさ
	真珠	60,000	母貝含む
	ひおうぎ貝	99,000	
	藻類	260,000	わかめ, かじめ, ひじき
	その他	45,000	
	小 計	662,000	
避難泊地	対馬東沿岸漁船	131,000	119隻×1,100m ² /隻
	対馬以外の漁船	411,000	137隻×3,000m ² /隻
	小 計	542,000	
面積合計	1,204,000		



図一 2 美津島漁港 湾内水域利用計画図

表一 2 養殖に必要な静穏度

(a) 海面の平穩度階級

階級	波形勾配(H/L)	有義波高限度
A	0.015 以下	1 m 以下
B	0.02 以下	1 m 以下
C	0.03 以下	1.5 m 以下
D	0.04 以下	2.0 m 以下
E	0.05 以下	制限なし

(b) 成育性に必要な海面平穩度

内 容	平穩度
a 衝 撃	D~E
b 根切れ・葉切れ	D~E
c 吹き上げ・網ずれ	D~E
d 食欲不振	C~D
e 移動・沈着等	B~C

(c) 作業に必要な静穏度

作業内容	海面の平穩度	必要期間
筏上での作業	A	全漁期
筏上以外での作業		
a 種苗装置設置	B~C	約1週間
種苗装置のとり入れ	A~B	約2~3週間
b 投餌	D以上が3~7日以上続かないこと	
c 選別・間引き	B~C	期間の6~7割
d 出荷	A~B	期間の8~9割
e 施設点検・補修	B~C	随時
f 清掃等	B~C	随時
g 施設の設置・交換	A~B	随時

4-2. 静穏度計算および結果

静穏度の計算方法は、半無限直線板による光の回折に関するSommerfeldの解析解を基礎に導かれた高山氏の理論によるものとした。検討ケースは防波堤構造の違いによって次に示す3ケースとし、計算を行った。

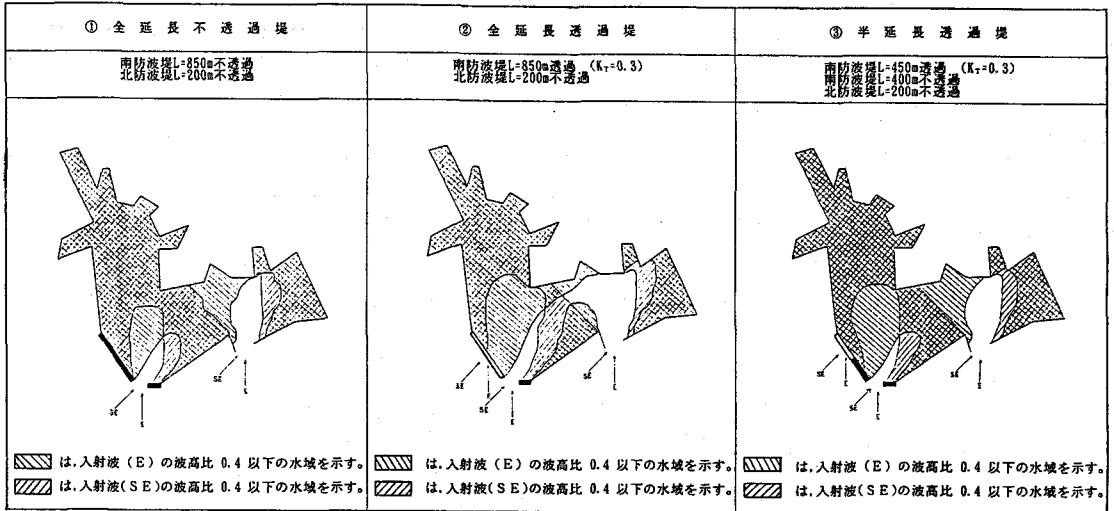
(1) 全延長不透過堤

(2) 全延長透過堤

(3) 半延長透過堤 + 半延長不透過堤

計算結果を図-3に示す。図中において□は透過構造であり、■が不透透構造である。この結果から湾内の静穏度については、防波堤全延長を不透透堤とした場合が最も静穏水域が確保できるのは言うまでもないことであるが、南防波堤の半分の延長を透過構造（スリットケーソンタイプ）としても利用水域が十分に確保できることを確認した。

図一3 防波堤構造配置別湾内静穏度計算結果



5. 湾内の水質環境

5-1. 湾内水質環境の指標物質

現状の三浦湾の水質についてはとくに問題ないものの将来増養殖場が整備されることにより、それ自体が汚濁発生源となることが予想される。従って、本調査においては現状の水質をできるかぎり保持するために十分な海水交流が行える透過型の防波堤構造を検討するものであり、その海水交流の効果を評価するために増養殖に起因する有機汚濁物質であるCOD濃度を指標とした。

5-2. 汚濁負荷量の設定

愛媛県水産試験場の調査結果によるとハマチの2才魚(体重約3kg)に対して夏季に1日1尾当り約160gの生餌を投与した場合、生餌の10%が海水中に懸濁するものと報告している。また、鹿児島県水産試験場の実験結果では、その懸濁物質のCODの湿重比は0.3:1と報告している。

これより、三浦湾の将来の増養殖計画においてはハマチ約20万尾が飼育されることになり、COD負荷量は1日1t相当となる。また、懸濁物質の沈降速度は50cm/日と設定した。

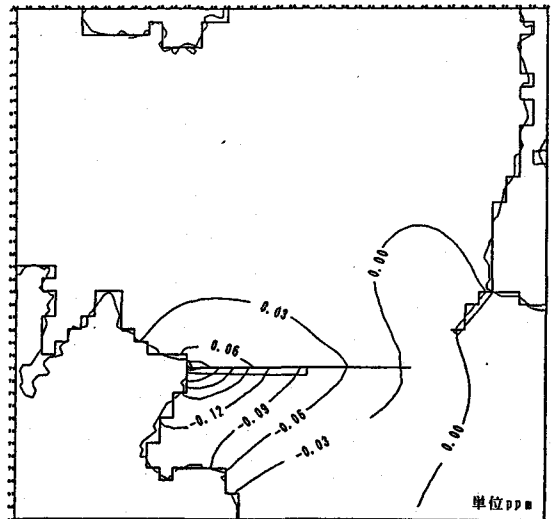
5-3. 汚濁拡散計算方法と結果

湾内水域のCOD時間変化量の計算に当たっては次式を用いた。

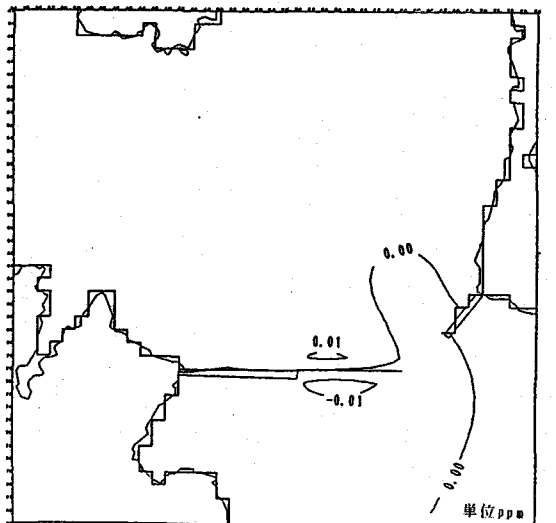
$$\frac{\partial C_s}{\partial t} = -u \frac{\partial C_s}{\partial x} - v \frac{\partial C_s}{\partial y} - (w - V_{down}) \frac{\partial C_s}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left(K_H \frac{\partial C_s}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_H \frac{\partial C_s}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_v \frac{\partial C_s}{\partial z} \right) + Q_s$$

ここにC_sは残餌・糞の海水中的濃度(COD)、u、v、wはそれぞれx、y、z方向の流速成分であり、K_Hは水平拡散係数(cm²/sec)、K_vは鉛直拡散係数(cm²/sec)、V_{down}は残餌・糞の沈降速度(cm²/sec)、Q_sは増養殖場における残餌・糞の負荷速度(CODで示す)である。

計算に当たっては、境界外の外洋におけるCOD濃度を0と仮定して、増養殖による負荷を連続的に増養殖場計画海面に投入する。計算時間は、当海域の潮汐変動を考慮し、定常状態になると判断される10日間とした。



(a) 「南防波堤全延長透過構造」と「全延長不透過構造」のCOD濃度の差



(b) 「南防波堤全延長透過構造」と「半延長透過+半延長不透過構造」のCOD濃度の差

図一4 防波堤構造配置別湾内汚濁拡散計算結果 (COD濃度)

計算ケースは、静穏度の検討ケースと同様、防波堤の構造形式の違いによる3ケースを設定した。

前頁図-4に防波堤構造形式の違いによるCODの濃度差を示す。この結果から南防波堤全延長透過堤に対して全延長不透過堤とした場合は湾内側のCOD濃度が最大で0.08ppm高い値を示しており、延長の約半分を透過構造とした場合は0.01ppm程度の増加となっていることが分かる。これより、半分の延長を透過構造とすることにより全延長透過構造と同様の海水交流性を持つことが明かとなった。

6. 湾内の流況

湾口部に広域防波堤を設置した場合、湾内の流況にどの程度影響を与えるかを数値計算により確認した。

6-1. 計算手法

計算では、外海との境界に潮位変動を周期的に与え、湾内の潮流を逐次計算する。潮流速の時間変化を計算するに当たっては、次の式を用いた。

(1) 潮流の運動方程式

$$\begin{aligned}\frac{\partial M}{\partial t} &= -\frac{\partial(M_u)}{\partial x} - \frac{\partial(M_v)}{\partial y} + f \cdot N - g(\zeta + H) \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{1}{\rho}(\tau_{\zeta}^x - \tau_{\zeta}^x) + A_H \left(\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 M}{\partial y^2} \right) \\ \frac{\partial N}{\partial t} &= -\frac{\partial(N_u)}{\partial x} - \frac{\partial(N_v)}{\partial y} - f \cdot M - g(\zeta + H) \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{1}{\rho}(\tau_{\zeta}^y - \tau_{\zeta}^y) + A_H \left(\frac{\partial^2 N}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 N}{\partial y^2} \right)\end{aligned}$$

(2) 連続の方程式

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = -\frac{\partial M}{\partial x} - \frac{\partial N}{\partial y}$$

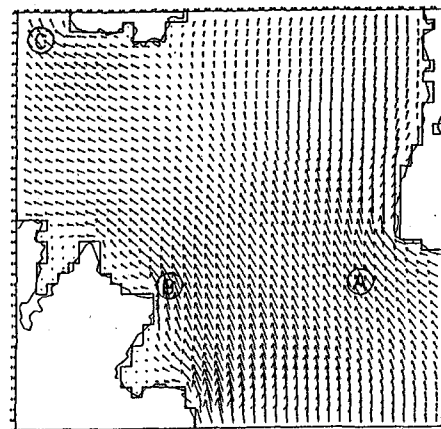
ここに、

- u, v ; 水深方向に平均化されたx, y方向の流速成分
- M, N ; x, y方向の体積輸送
- f ; コリオリ係数
- $\tau_{\zeta}^x, \tau_{\zeta}^y$; 海面におけるx, y方向の剪断応力
- $\tau_{\zeta}^x, \tau_{\zeta}^y$; 海底面におけるx, y方向の剪断応力
- ρ ; 海水密度
- ζ ; 海面の高さ
- g ; 重力加速度
- H ; 水深
- A_H ; 水平方向の渦動粘性係数

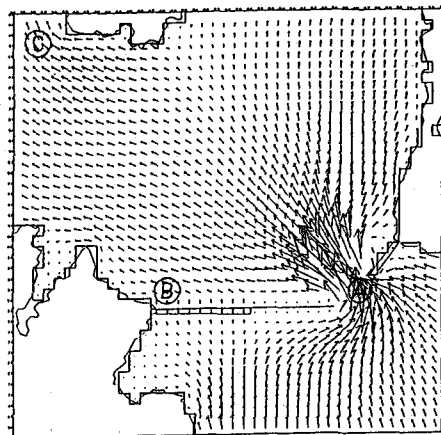
6-2. 計算ケースおよび結果

計算は、湾口部広域防波堤設置以前の(1)現況と(2)半延長不透過、半延長透過構造の2ケースについて行った。

計算結果の一例(上げ潮時)を図-5に示す。図中のA地点は防波堤開口部であり、B地点は防波堤直背後、C地点は万関瀬戸への航路である。現況での流速を1として半延長不透過、半延長透過構造の防波堤設置後の流速の比は、A地点では4.8倍、B地点では0.27倍、C地点においては0.91倍となった。現地換算流速(現地観測結果による)としては、防波堤設置後のA地点で最大流速38.7cm/secが発生するものと推定される。これより、防波堤開口部および万関瀬戸付近の航路への影響は、問題ない範囲である。また、防波堤直背後の増養殖水域付近についても大きな流れが発生することなく、養殖作業や魚類等の水産生物に悪影響を与えることはないものと判断できる。



(a) 現況における流速分布



(b) 「半延長透過+半延長不透過堤」を設置した場合の流速分布

図-5 湾内流速分布計算結果

7. 広域防波堤基本構造の提案

7-1. 防波堤構造形式の配置について

湾内の静穏度的には、防波堤全延長不透過構造とするのが望ましいが南防波堤南半分を透過構造としても堤背後水域の利用上問題ないことが明かとなった。また、水質環境の面からは全延長透過構造とするのが望ましいことは

明白であるが南防波堤北半分を不透過堤としても海水交流効果は十分得られるものと判断でき、静穏性と海水交流性の双方の効果を併せ持つ防波堤の構造配置として、南防波堤南半分を透過構造、北半分を不透過構造とすることが最適と考えられる。

7-2. 透過部分の構造形式の選定について

防波堤の基本構造を類型化すると図-6のようになる。

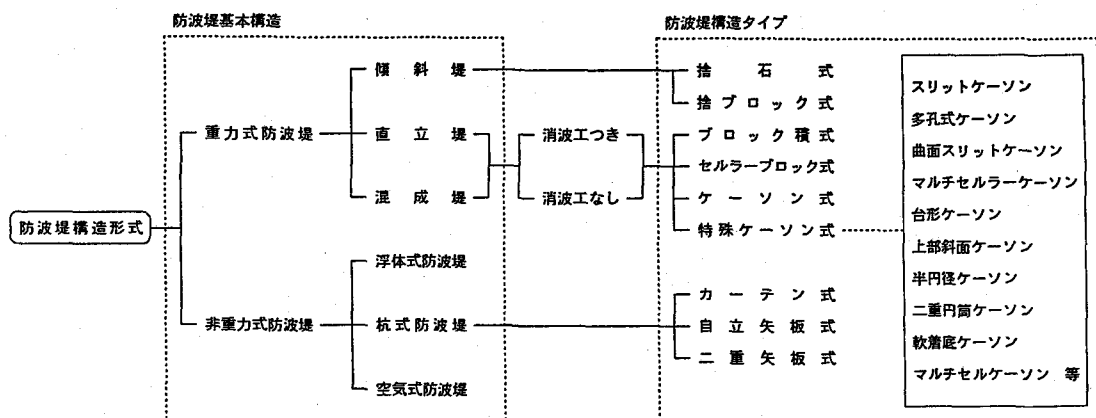


図-6 防波堤構造形式の類型化

ここで本防波堤の構造形式選定に際しての条件を整理すると、

- (1) 設置水深が $-15 \sim -22\text{m}$ と比較的大水深であること
- (2) 外洋に面する第一線防波堤であり、比較的大きな波浪が来襲すること
- (3) 静穏水域を確保する必要性から消波性能が期待できるもの
- (4) 堤背後には増養殖場が配置されることから海水交流機能として通水性が期待できるもの
- (5) 経済的であること

などが挙げられる。図-6の防波堤基本構造形式のうち非重力式防波堤は波高大なる場所では不適であり、通水性は比較的良好なものの消波性能はあまり期待できない。従って、重力式防波堤からの選定ということになるが、水深が深いことから傾斜堤および直立堤は膨大な断面形状となるのは明かであり、混成堤形式の防波堤が適切と判断される。

また、混成堤形式のうち通水性が期待できる透過構造として次に示すタイプを抽出した。

- (1) スリットケーソン
- (2) 多孔式ケーソン
- (3) 半円形ケーソン
- (4) 二重円筒ケーソン
- (5) マルチセルケーソン

以上のようなものが考えられるが、本件においては前述の選定条件および施工性、経済性等の種々の検討結果よりスリットケーソンタイプが最も条件に適合するものとする。

7-3. 透過式スリットケーソン基本構造の提案

本防波堤の設計条件は、沖波波高 $H_o = 7.0\text{m}$ (周期 $T = 8.6\text{sec}$)、堤前波高 $H = 5.6\text{m}$ 、設置水深 $h = 15 \sim 25\text{m}$ である。スリットケーソンの施工事例としては全国各地で実績があるものの、そのほとんどが港内に設置されたものであり、本検討箇所のように外洋波に対して安定性を保てる第一線防波堤としての例はほとんどない。ここでは、所要の波高伝達率および海水の透過率を満足し、設計波に対し

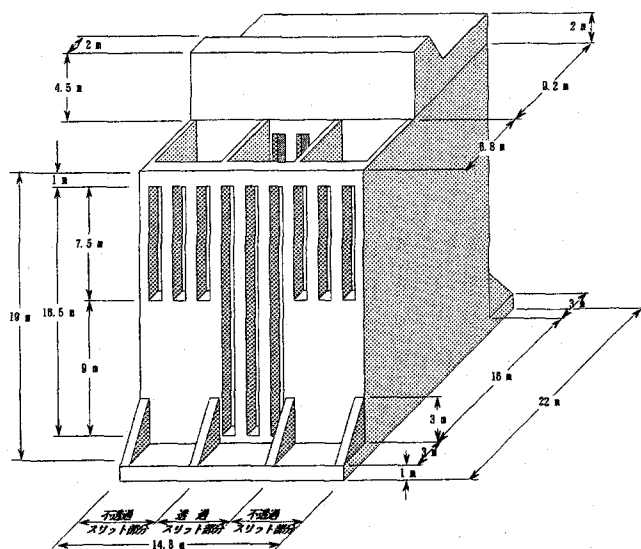


図-7 透過・不透過混在型スリットケーソン概略図

ても安定性を確保できるようにスリットケーソン1函の中に透過スリット部分と不透過スリット部分を配置した(図-7)。

不透過スリット部分の最前部室は堤前面への反射波防止を考慮してスリット構造としているが、下半分は堤体安

定性上から砂を中詰めし、2段目および3段目の室には中詰め砂を充填する不透過構造となっている。ケーソン中央の透過分はスリット部をケーソン上端から下端付近まで配置し、そのスリットが最前面室から最後部室まで通した透過構造となっている。また、波圧作用時の多大な端趾圧の発生を防止するためにバットレス式のフーチングを設けた。図-8に基本断面図を示す。

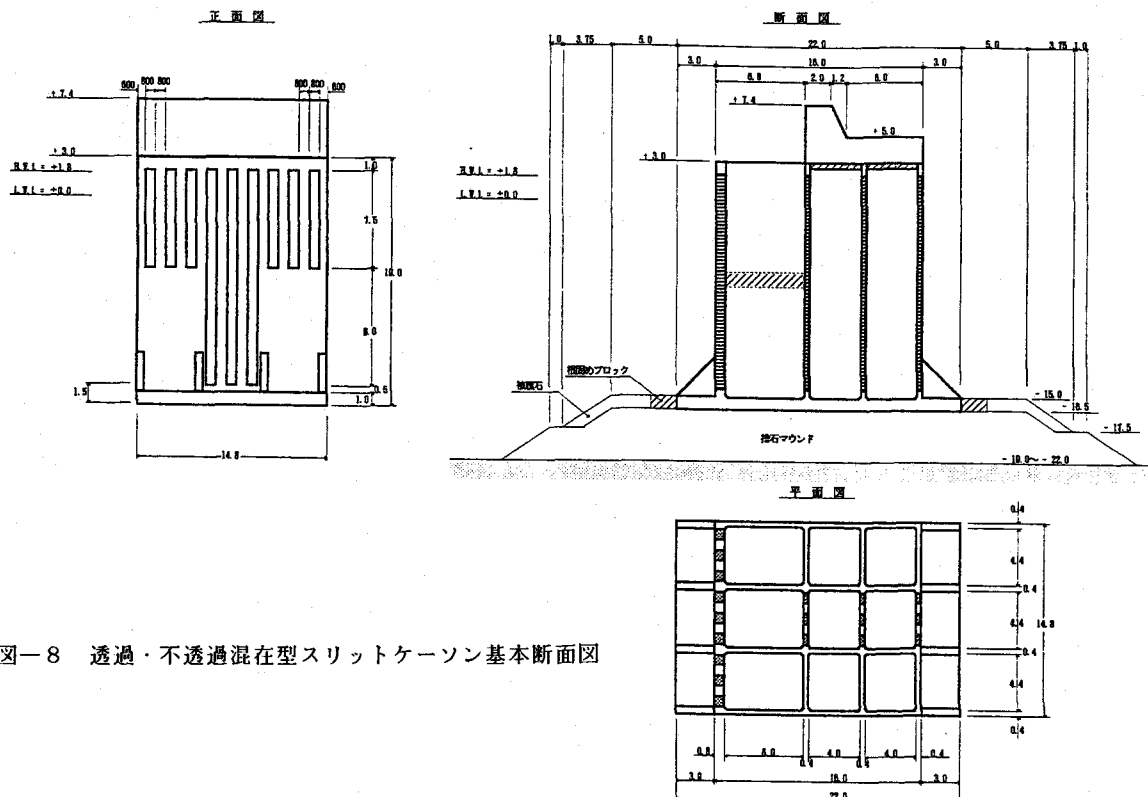


図-8 透過・不透過混在型スリットケーソン基本断面図

7. まとめおよび今後の課題

湾内水域を避難泊地および増養殖場として多目的に利用するためには、静穏性の確保と水質環境の維持という一見相反する条件をクリアーすることが必須となる。今回の広域防波堤計画の事例においては、この二つの条件を満足するために湾口部に防波堤を設置することが最適と判断されたが、防波堤構造としては南防波堤全延長のうち南側半分が透過構造（スリットケーソンタイプ）とした場合の有効性が確認された。また、本防波堤は湾口部に設けられる第一線防波堤であることから、透過部分となるスリットケーソンは波力に対する安定性上、1函のケーソンの中に透過スリット部分と不透過スリット部分が混在する構造が必須という結論が得られた。

本事例は湾内水域を多目的に利用するための防波堤配置計画であり、その基本構造として不透過・透過混在型のスリットケーソンを提案したものであるが、全国各地に散在する閉鎖性湾等の有効利用を推進していく場合の有用な構造の一つと考える。

今後の課題としては、

- (1) 水理模型実験等によるスリットケーソンの波高伝達率および海水の透過率等の水理特性の把握
- (2) 数値解析等によるスリットケーソン部材の応力検討

などが挙げられる。