

技術開発賞受賞の紹介

二重円筒ケーソン防波堤の開発

DEVELOPMENT OF THE DOUBLE CYLINDER CAISSON BREAKWATER

小島朗史*・中野 勉**・高橋重雄***

清宮 理****・遠藤 博*****

Roshi OJIMA, Tutomu NAKANO,
Shigeo TAKAHASHI, Osamu KIYOMIYA
and Hiroshi ENDO* 正会員 運輸省第三港湾建設局神戸調査設計事務所長
(〒650 神戸市中央区海岸通 神戸地方合同庁舎)

** 正会員 運輸省第五港湾建設局工務課長

*** 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所水工部耐波研究室長

**** 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所構造部構造強度研究室長

***** 正会員 (財)国際臨海開発研究センター第一調査研究部長

Key Words : double cylinder caisson, breakwater, field test,
sliding test

1. はじめに

近年、港湾の整備が進み、港湾に適した立地条件を有する地点が乏しくなっていく中で、新たな展開を沖合の大水深、高波浪海域へ求めざるを得なくなっている。また海洋性レクリエーション需要の増大に伴い、より大水深で、かつ波浪条件の厳しい海域において静穏な水域を確保するための防波堤の建設が望まれてきた。

しかしながら、このような大水深、高波浪海域に、通常の防波堤で採用されているような箱型ケーソンを並べた防波堤の前面で波を受けとめ、防波堤自身の重量でその波の力に対して抵抗するタイプの混成堤や消波ブロック被覆堤を用いると、どうしても大断面になってしまい多大な事業費を要することになってしまう。このため、大水深、高波浪海域においても経済的、合理的な静穏な海域および沿岸域を確保することのできる、新しいタイプの防波堤の技術開発が望まれてきた。

このような背景のもと、新しいタイプの防波堤として、二重円筒ケーソン防波堤が考案された。新しく考案された二重円筒ケーソン防波堤は四角形や八角形の底版のうえに二重の円筒壁を立ち上げた構造となっており、曲面に波が作用することにより、全体の波力の合力を低減する効果が期待できた。また、外側円筒壁に設けた開口部から進入した波が外側と内側円筒壁の間の遊水部を通過して背後で衝突してエネルギーを消費する仕組みとなっており、従来型の防波堤とは発想が根本的に異なるものである。

この二重円筒ケーソン防波堤の特徴を適切に生かすことができれば、大水深、高波浪海域においても静穏な水域を効率的、経済的に確保できる防波堤の整備が可能となることから、その開発に大きな期待が持たれていた。

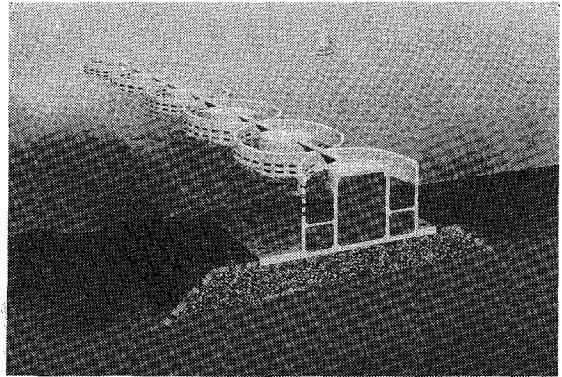


図-1 二重円筒ケーソン防波堤鳥かん図

2. 二重円筒ケーソン防波堤の構造及び特徴

二重円筒ケーソンは四角形や八角形等の底版の上に二重の円筒壁を立ち上げた構造である。この外側円筒壁の上方には適度の開口部を設け、また内側円筒壁は不透過構造にし、遊水部を設けている。このため、外海より来襲した波浪は外円筒壁の開口部より遊水部に進入し、内円筒壁で左右に分離し、背後でお互いに衝突して波のエネルギーを消費させる仕組みとなっており、従来の混成堤や消波ブロック被覆堤のように来襲波を堤体前面で受けとめ消波させるタイプの防波堤とは根本的に構造は異なっている。また、外円筒壁の後面にも開口部を設けることにより防波堤内外の海水交換機能を付加することも可能である(図-1)。

二重円筒ケーソン防波堤の特徴をその構造形状より整理すると以下のとおりである。

- ① 波を曲面で受けるため波圧に位相差が生じ、全作用波力を低減することができる。

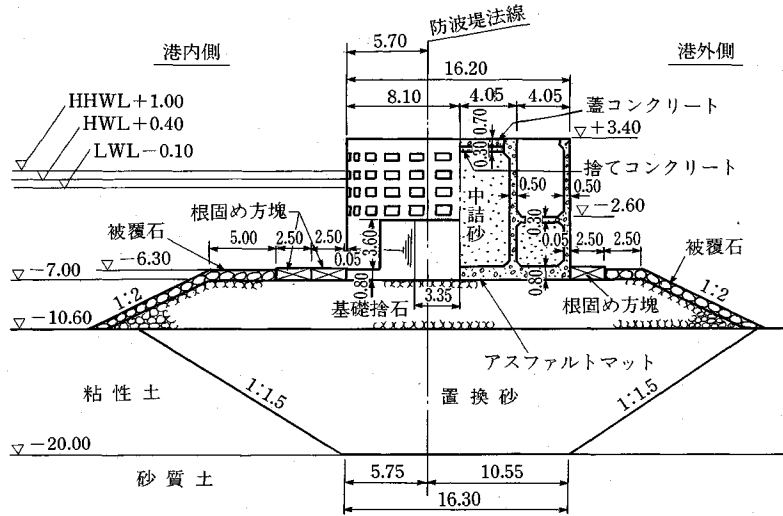


図-2 現地実証試験に用いた二重円筒ケーソン防波堤断面図

- ② 円筒構造であるため、面内力を利用することにより部材の節約と軽量化が図れる。
- ③ 外円筒壁の前面および後面に開口部を適切に選定することにより、消波機能や海水交換機能を付加することができる。
- ④ 多数の開口部を持った円筒構造であるためそれ自身が美観上優れており、防波堤法線を曲線にすることも容易である。

3. 二重円筒ケーソン防波堤の機能特性

上記のような二重円筒ケーソン防波堤を特徴づける機能特性のうち主要なものは以下のとおりである。

(1) 波圧低減効果

二重円筒ケーソン防波堤は波を曲面で受けるため、波圧に位相差が生じ、全作用波圧を低減でき、通常の直立壁を持つ防波堤に比べ、全作用波力は0.72倍にまで低減できる。

(2) 開口率とエネルギー消費率

二重円筒ケーソン防波堤は、外円筒壁の前半分の開口率 ϵ_f 、または、後半分の開口率 ϵ_r を変えることにより、エネルギー消費率を高めたり、反射波や、港内への伝達波を制御することができる。

エネルギー消費率が高くなるのは、外円筒壁前面に $\epsilon_f=25\%$ 程度の開口部を設けた場合である。また、海水交換機能を持たせる場合には、前面の開口率を同じく $\epsilon_f=25\%$ 、後部の開口率 $\epsilon_r=10\%$ とした場合にエネルギー消費率は60%前後になる。

(3) 反射率

波の反射率は、堤体幅と有義波波長の比 $B/L_{1/3}$ が0.15前後のとき最小になり、通常の消波ブロック被覆

堤と同等の消波効果がある。

(4) 伝達率

港内側への波の伝達率は天端高 hc と入射有義波高 H $1/3$ の比で表される相対天端高 hc/H $1/3$ が0.6程度で通常の混成堤と同じくらいとなる。

二重円筒ケーソン防波堤の設計は、これらの機能特性をふまえ、設置場所の水深、波浪条件をもとにして二重円筒ケーソンの諸元を適切に選ぶとともに、堤体の安定性、部材の安全性を検査することによって、行うことができる。

4. 開発の経緯

二重円筒ケーソン防波堤は1985年頃から港湾技術研究所にて行ってきた大水深波浪制御構造物に関する研究を通じて考案された。そして、昭和62~63年度に行った二重円筒ケーソン防波堤を対象に実施した水理模型実験によって同防波堤の波圧低減効果や消波機能などの機能特性が明らかになり、本防波堤の試設計が行えるレベルまで設計方法の開発が進められた。

しかしながら、こうして開発された設計方法をただちに大水深、高波浪海域に設置する防波堤に適用するには、まだ確認すべき技術的課題があった。さらに、本防波堤は通常の防波堤と異なりかなり特異な形状をしているため、施工面からも確認すべき技術的課題があった。このため、平成元年度から自然条件が比較的穏やかな境港で実際に二重円筒ケーソン防波堤を建設し、種々の計測・解析を行う実証試験を実施した(図-2)。この実証試験による検証項目は図-3に示すとおりで、平成4年度までに各項目について検証を行い、設計法、施工法を確認するに至った。

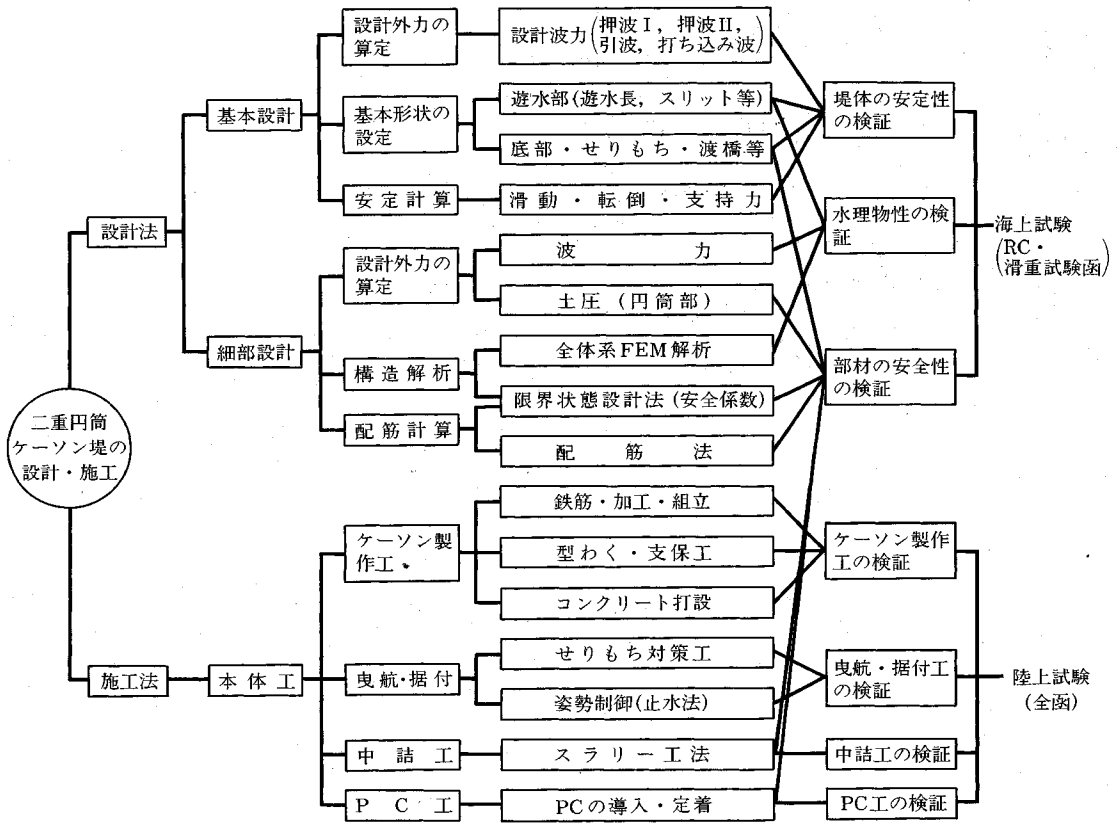


図-3 現地実証試験による検証項目

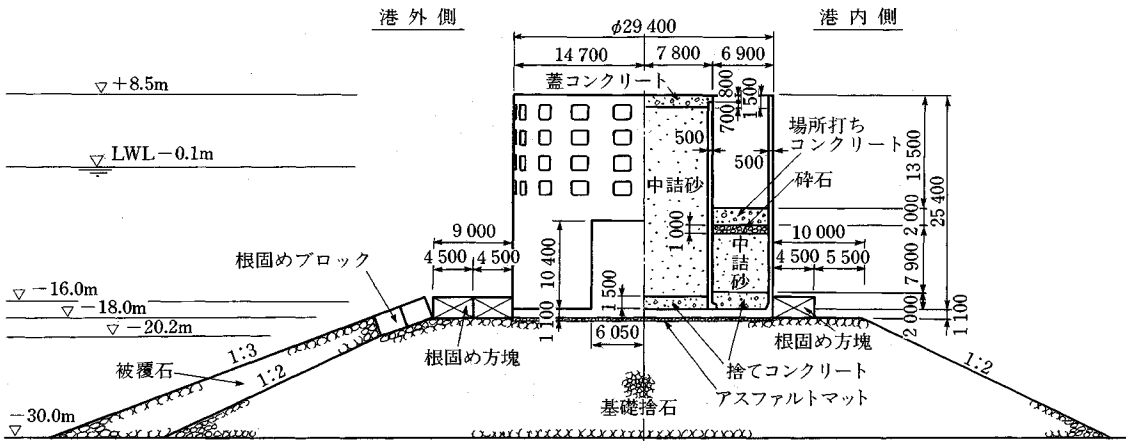


図-4 柴山港の二重円筒ケーソン防波堤断面図

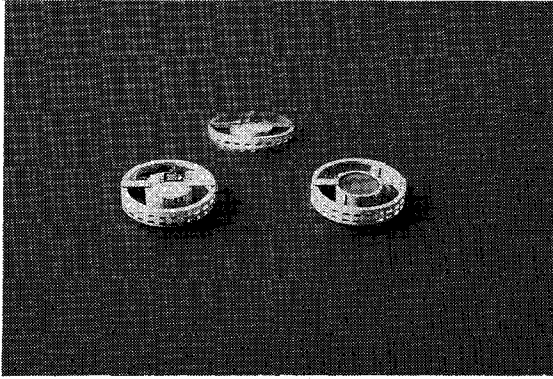
このうち特に、堤体の安定性に関しては、他に例を見ない実際にケーソンを滑动させ破壊させる滑动実験を行い(写真-1)、実際の滑动時に計測したデータをもとに設計法の検証を行った。

5. 柴山港外防波堤(西)への適用

今回の二重円筒ケーソン防波堤の開発により確立され

た設計法、施工法に基づき、より大水深、高波浪海域に計画されている柴山港外防波堤(西)を二重円筒ケーソン防波堤として設計し、現在施工中である(図-4)。

柴山港での二重円筒ケーソンにはPC函を採用することとしたが、ケーソンが直径29.6m、高さ26.5mという非常に大きなものとなることから、FD船、FC船の制約や、少ない種類の型枠でより合理的な施工ができ



写真一1 滑動試験函の滑動状況

るよう、内円筒と外円筒を分離して別々に製作し、据付場所で合体させる施工方法を採用している。

6. おわりに

このように大水深・高波浪海域に適した二重円筒ケーソン防波堤が開発され、さらに実海域での実証試験を通じてより汎用性を有した設計法、施工法が確立された。この成果をもとに柴山港で既に二重円筒ケーソン防波堤の建設が始められているところである。

今後、益々需要の増大が見込まれる大水深・高波浪海域での静穏海域の創出を効率的、経済的に行うことのできる新形式の防波堤として、二重円筒ケーソン防波堤には大きな期待が持たれている。

このたび技術開発賞受賞の栄誉を授かったことは、本防波堤による我が国沿岸海域の開発の上での大きな励みとなるもので関係各位に厚く御礼を申し上げます。

(1993. 7. 15 受付)