

二重半円筒ケーソン防波堤の開発 Development of Double Semicylindrical Caisson Using Heads of breakwater

中田博昭^{*}・斎藤辰三^{**}・大野正人^{***}

Hiroaki Nakata, Tatuza Saito, Masato Ohno

This paper reports the developement of double semicylindrical hybrid caisson using the head of breakwater at Fukui Port , where the big waves caused by winter sensonal winds attack many times and the brakewater had been required to improvement with wave dissipating concrete blocks.

key words:head of brakewater,double semicylindrical hybrid caisson

1 はじめに

近年、防波堤の延伸に伴い厳しい波浪条件下での防波堤の設計が多くなっているが、消波ブロック被覆堤の場合は、設計波高が大きくなることにより、消波ブロックの重量が増大し、経済的にも施工的にも大きな課題となっている。

福井港の防波堤（南）の改良工事においても、従来の断面で設計すると、堤頭部の消波ブロックによる補強に80トンの巨大ブロックが必要となり、非常に高価につくため、堤頭部の補強のための技術開発が求められていた。そこで、二重円筒ケーソン防波堤の低反射特性と施工性に着目し、堤頭部の被覆補強に利用するための消波構造のケーソン（二重半円筒ケーソン）の開発を行った。

2 施設への要請と自然条件

二重半円筒ケーソンの製作が行われる福井港防波堤（南）は、図-1に示すように福井港の港口に位置する第一線防波堤である。

本防波堤は、日本海側の厳しい冬期風浪により防波堤の前面が洗掘を受け、設計時の水深よりも深くなっており、堤体の滑動の安全率1.2以上を確保できない状況になっている。このため、消波ブロックにより前面を被覆する防波堤の改良工事が行われており、堤頭部近くを残すのみとなっている。

防波堤の堤頭部を消波ブロックにより被覆する場合は、通常の設計をすると消波ブロックの所要重量は標準部よりも1.5倍以上割増した80トン級が必要となり、しかも頭部をぐるりと巻くため多くのブロックが必要となる。このため、従来の改良断面では多大な投資が必要となることから、従来にないより経済的な構造の開発が求められていた。

そこで、波浪の大きい場所でも構造的に安定で、しかも消波効果が十分期待できる二重円筒ケーソン防波堤の水利特性と施工性に着目して、消波構造のケーソンとして堤頭部の被覆に利用する二重半円筒ケーソンの開発を行った。なお、設計法は、運輸省第三港湾建設局および港湾技術研究所で行った二重円筒ケーソンの実験結果等をもとにして検討した。

本防波堤の設計条件は表-1に示すとおりであり、設計水深は-17.5mと深く、設計波浪は堤体の安定計算では有義波高8.5m、周期13秒、入射角33°、部材の設計では有義波高8.9m、周期13秒、入射角23°となっており、防波堤としてはかなり厳しい設計条件となっている。土質条件は $\phi=35^\circ$ の砂質土であり、日本海側では一般的な土質である。

* 正会員 運輸省第一港湾建設局 新潟調査設計事務所所長（951 新潟市白山浦1-332）

** // 運輸省第一港湾建設局 酒田港工事事務所所長

*** // 運輸省第一港湾建設局 新潟調査設計事務所総括建設専門官

表-1 設計条件一覧表

項 目	
設計水深	-17.5m
海象条件	
• 設計潮位 H.W.L.	+0.5m
L.W.L.	±0.0m
• 設計波 (全体の安定計算)	
H1/3	8.5m
T1/3	13.0sec
(部材の設計)	
H1/3	8.9m
T1/3	13.0sec
土質条件	砂質土 $\phi = 35^\circ$

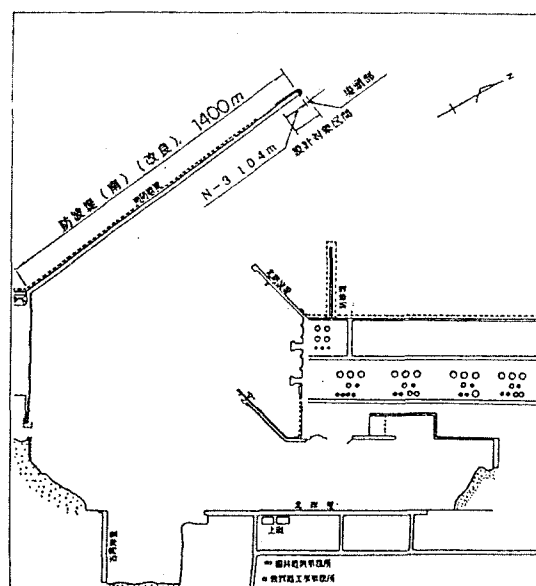


図-1 位置

3 設計上の課題とその対応

二重半円筒ケーソンの設計上の課題は、その形状・構造の決定と施工法の検討である。

形状・構造の決定に当っては、二重円筒ケーソンの設計法を参考として検討した。ケーソンの大きさについては、現在据え付けられているケーソンに奇麗に取り付けられる形状で、波力に対しても十分に安定性を確保できる大きさとし、遊水部は実験等の蓄積がある二重円筒ケーソンのプロポーショナルに近い形状となるように設定した。この結果、平面形状は図-2に示す二重半円筒に一部矩形のスリットケーソンがついた形状となった。

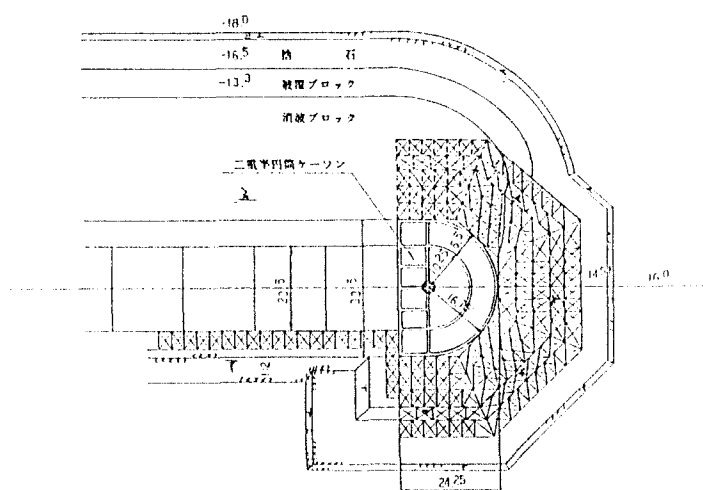


図-2

部材の検討では二重円筒ケーソンよりも複雑な形状をしているため、有限要素法により部材の安全性の確認が欠かせず、必要であれば補強を行うことも検討しなければならない。そこで、FEM計算により部材応力の検討と補強方法の検討を行うこととした。

また、施工法の検討については、近くに大きなケーソンヤードがないこと、海上打継ぎをする場合は喫水が-7.5mの場所しかないこと、大型の起重機船が簡単に用船できないこと（たまたま、敦賀港のフェリー岸壁用のケーソンの進水のため3000t級起重機船が来ることになっているため、この船の有効活用を検討した）、ケーソンの製作が1函だけであり、しかも特殊な形状をしていることなど、施工上配慮する事項が多く存在した。このため、現地での施工性の良い構造を検討することとなり、PC構造とハイブリッド構造とを比較することとした。

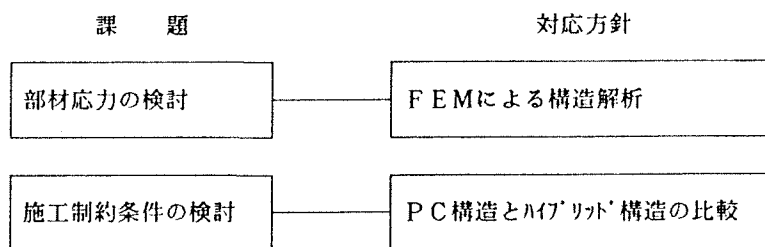


図-3 課題と対応方針

4 F E M解析と施工法の検討

(F E M構造解析)

F E Mによる構造解析は基本設計時には、特に大きな応力が生じる中間床板よりも上のスリットのある部分を取り出して概略の解析を行い、主要な補強方法の検討を行った。また、詳細設計時には構造全体の解析を行った。ここでは、基本設計時に行った概略の解析結果について説明する。

まず、上部(遊水部)の部材にとって最も厳しい波力は、波浪が遊水部の中に打ち込んだときに生じる最大波力のパターンであり、このときの波力は図-4のようなパターンとなる。

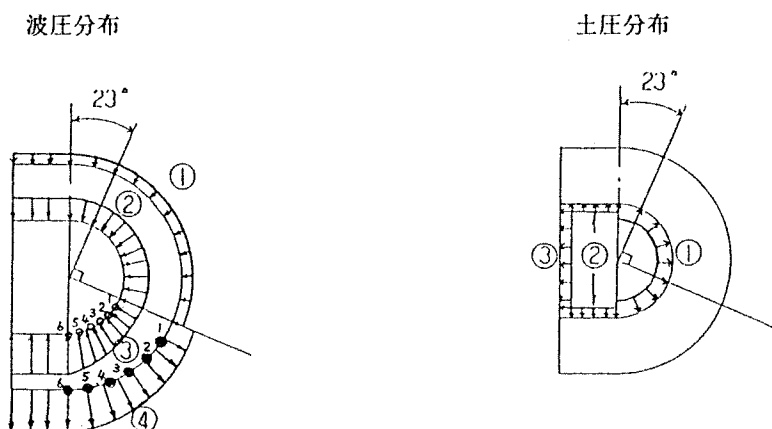


図-4 波力のパターンとF E Mによる構造形状

この波力に対して、各部材の応力分布を検討した結果、円筒部と直線部の境界付近に大きなモーメントと引っ張り力が生じることが明かとなったため、この部分に補強構造を設けることとした。補強構造がある場合とない場合のモーメント分布を比較すると図-5のようになる。

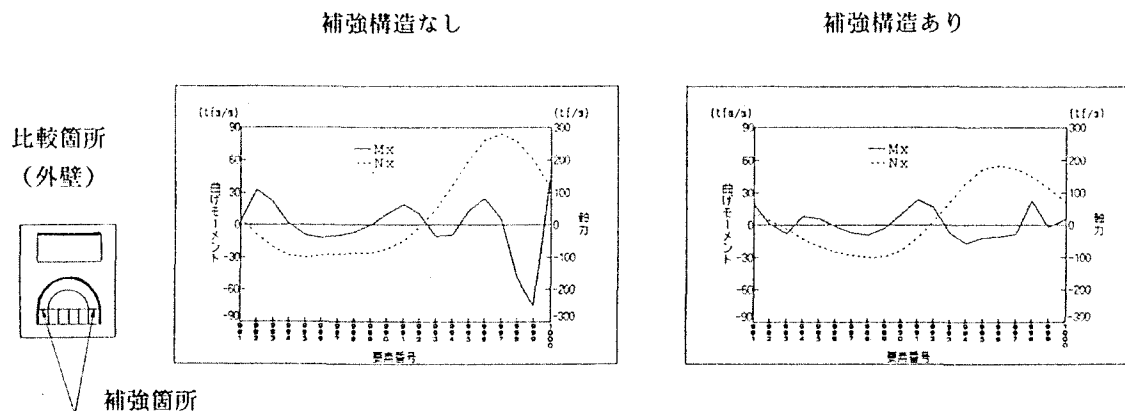


図-5 モーメント分布の比較

(施工法の検討)

F E Mによる部材力の概略検討の結果、構造的には通常のR C構造では成り立たないことが明かであったため、P C構造とハイブリッド構造とを比較することとした。比較では、特に施工の観点から検討した。

まず、最も重要なことは、現地で製作するための喫水の確保の問題である。P C構造にした場合は、喫水が-11 m程度となるため、水深が-7.5 mの打ち継ぎ場でケーソンを製作した後で起重機船により吊り上げて喫水を確保する必要があったが、3000^t級起重機船でつり上げても喫水は-7.5 m程度にしかならず、かなりリスクを伴う施工となることが明らかになった。一方、ハイブリッド構造では、喫水が-7.0 m程度に納まるため、喫水の点での問題はなかった。

また、ハイブリッド構造は特殊型枠の量が少なくて済むこと、コンクリートの強度は通常のR Cケーソンの場合と同程度の強度でよいこと、そして、万一消波ブロックなどの衝突によりケーソンの一部が破損しても構造物全体の崩壊につながる可能性が小さいこと（P C構造はP C定着部が破損した場合に構造物全体にまで影響する可能性がある。）など施工上有利な点が多いため、ハイブリッド構造を採用することとした。

なお、ケーソン製作から据付までの各工程は図-6のように計画している。

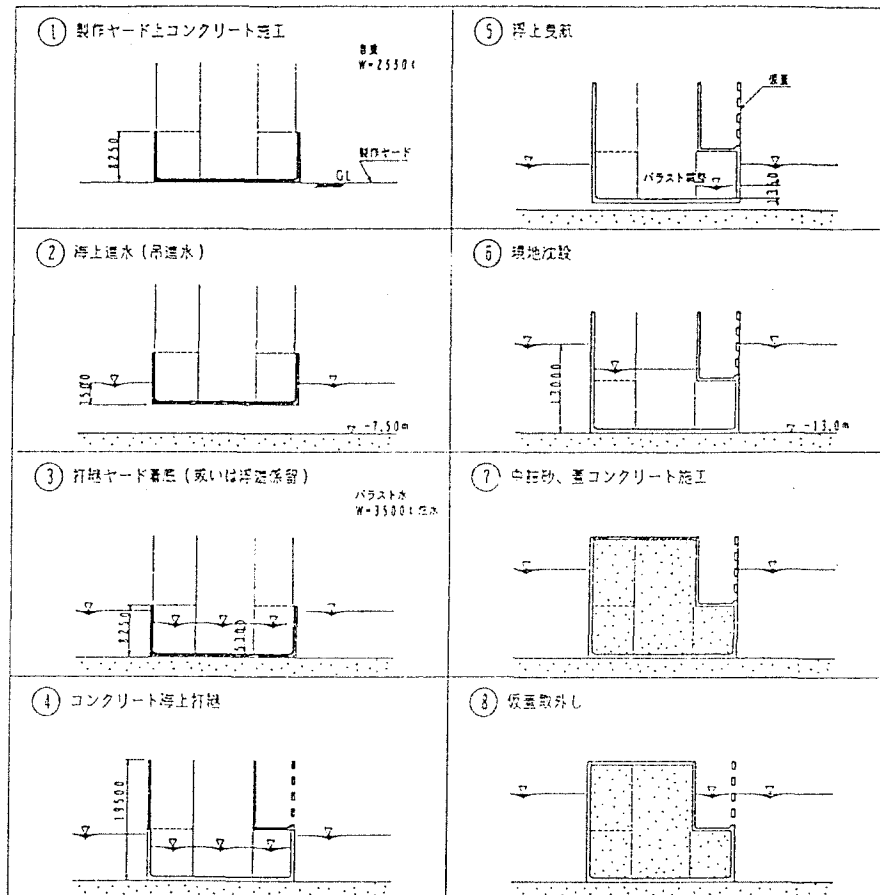
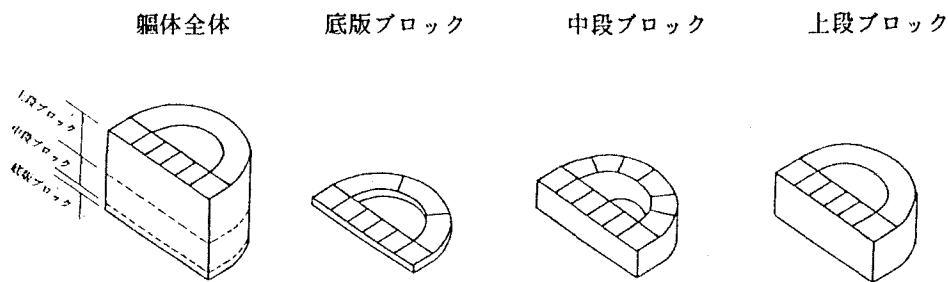


図-6 施工工程

5 おわりに

堤頭部の改良への2重半円筒ケーソンの採用により大幅なコスト減が実現できた。また、その特徴的な形状は、防波堤先端のシンボルの構造体となり、景観面でも良好なものであると考えられる。今後、こうした構造物が防波堤先端部の構造として他の港にも採用されることを期待したい。

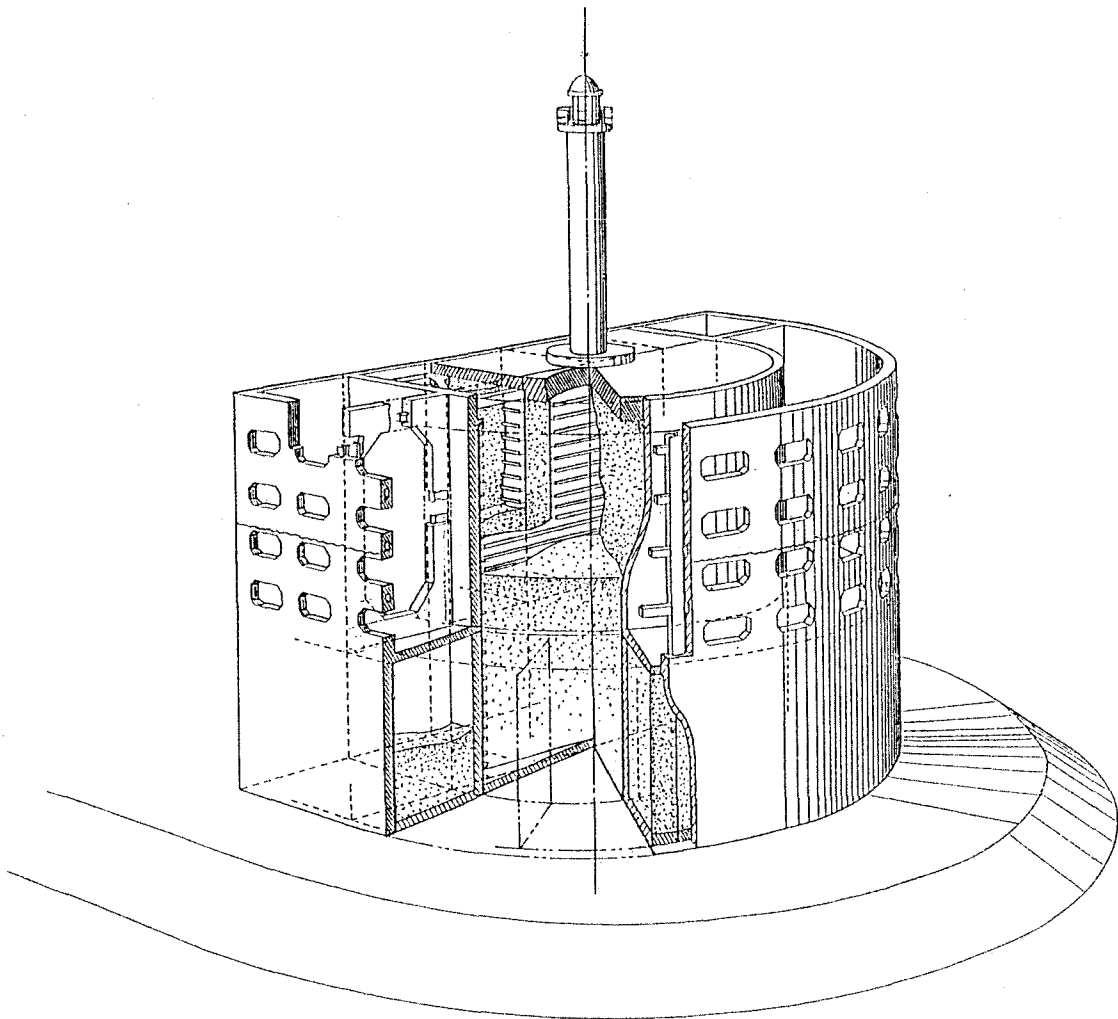


図-7 二重半円筒ケーソンの鳥瞰図