

(46) 合成構造を用いた新形式防波堤の開発

DEVELOPMENT OF NEW TYPE CAISSON BY COMPOSITE STRUCTURE METHOD

藤崎 治男*

村岡 猛**

by Haruo FUJISAKI and Takeshi MURAOKA

The 5th District Port Construction Bureau has a project to construct breakwaters of a wave-dissipation type at the mouth of Shimoda Port where natural conditions are very severe with deep waters (-40m) and large design wave ($H_{max}=16m$). In order to construct the breakwaters economically, a new type caisson, "block-embedded double-box caisson" has been developed. This caisson, having wave-dissipating blocks on it, has been investigated with hydraulic model tests which has revealed that the coefficients of wave reflection and transmission are sufficiently low. The tests also clarified the characteristics of the wave force upon the caisson and the stability of the embedded blocks. With findings resulting from analysis of the stresses on the caisson members with Finite Element Method, a composite structure with steel and concrete is partially employed. Based upon these results, the best cross-section was designed, and preparations are now under way for its construction.

1. まえがき

近年の港湾整備は、より質の高い港湾空間を目指したものとなっており、静穏な水域を整備するために建設される防波堤についても、より質の高い稼働率の確保や十分な静穏水域の確保のため、ますます厳しい自然条件の下で建設が行われるようになってきている。特に、大水深、高波浪海域においては波浪を制御するための堤体が非常に大型化し、建設コストも莫大なものとなる。従って十分な耐波性能を有しつつ、より経済的に整備できる防波堤構造の開発が求められている。このため運輸省第五港湾建設局では、下田港湾口防波堤の大水深部を対象として、合成構造を取り入れたユニークな形の消波ブロック内蔵双胴型ケーソンの開発を進めてきた。これまでに技術的検討とそれに基づいた設計を完了しており、今年度から第1函の製作にとりかかり、平成8年度から現地への据え付けに着手する計画となっている。

本稿では、その構造設計や施工に関する検討を中心として、消波ブロック内蔵双胴型ケーソンのアウトラインについて紹介する。

* 運輸省第五港湾建設局 設計室 室長

** 同 補佐官

2. 下田港湾口防波堤の概要

2-1 下田港湾口防波堤整備の目的と経緯

下田港は、伊豆半島南端石廊崎から北東12kmに位置し、江戸時代より東西日本を結ぶ海上交通の要衝として利用されてきた。同港周辺海域は複雑な地形、厳しい海象による海難事故の多発する海の難所として知られている。このため同港は、近辺に適当な避難場所がないこともあり、古くから荒天時の船舶の避難港として利用されてきた。また、漁港としての歴史も古く、近年では、伊豆諸島近海を中心とする漁業の基地ともなっている。

同港の歴史を振り返ると、背後の市街地とともに過去において幾度も地震による津波の被害を受けている。津波被害の記録は江戸時代より残っており、特に安政地震（1854年）の津波では流失813戸（856戸中）、溺死者85名、破船数知れずという壊滅的な被害を受けたとされている。

下田港は、昭和26年に港湾法による避難港に指定されており、防波堤等の整備が順次進められてきたが、荒天時の避難船舶の増加、大型化により新たな錨泊地の確保が必要となってきた。加えて近い将来においてマグニチュード8クラスの地震の発生が懸念されることから、津波対策を兼ねた新たな避難港防波堤整備が行われることとなり、昭和60年より下田港湾口防波堤の工事が開始された。

湾口の東西に位置する本防波堤（図1参照）は、まず、西防波堤から整備が開始された。水深の比較的に陸岸付近については通常の消波ブロック被覆堤となっており、平成7年8月現在、延長約260mの本体工が据え付けられている。

今後は、大水深部の整備に入り、消波ブロック内蔵双胴型ケーソンの製作、据え付けを行う段階を迎えている。

2-2 消波ブロック内蔵双胴型ケーソンの概要

消波ブロック内蔵双胴型ケーソンは図2、図3に示すように、前柱と呼ばれる鉄筋コンクリートの柱と後壁と呼ばれる堤体からなる双胴のケーソンである。前柱と後壁の間は遊水部となっており、その部分に消波ブロックを内蔵する構造となっている。

この消波ブロック内蔵双胴型ケーソンは、次のような長所を有している。

- ①消波機構については、内蔵される消波ブロックに衝突する時の波エネルギーの消費と、波が前面スリット壁を出入りする時の波エネルギーの消費の両方をねらった構造となっている。
- ②前面上部がスリットの形状となっているため、波力を前柱及び後壁で分散して受けることができる。また、

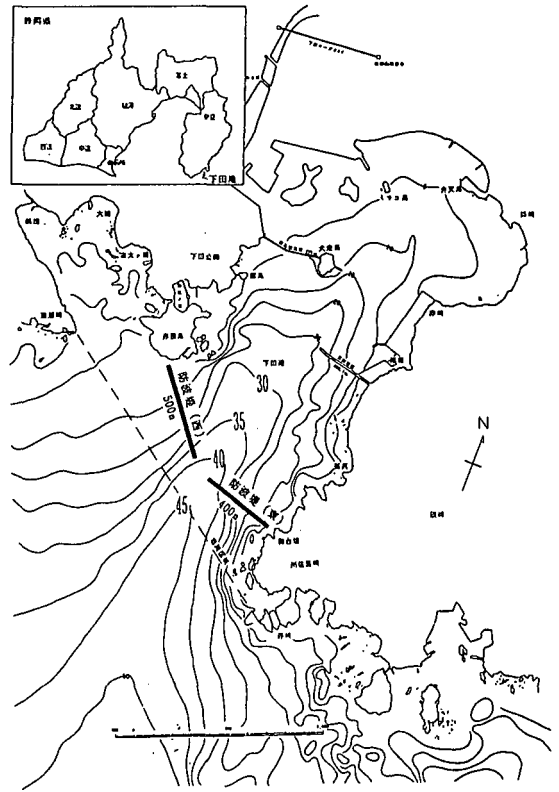


図1 下田港平面図

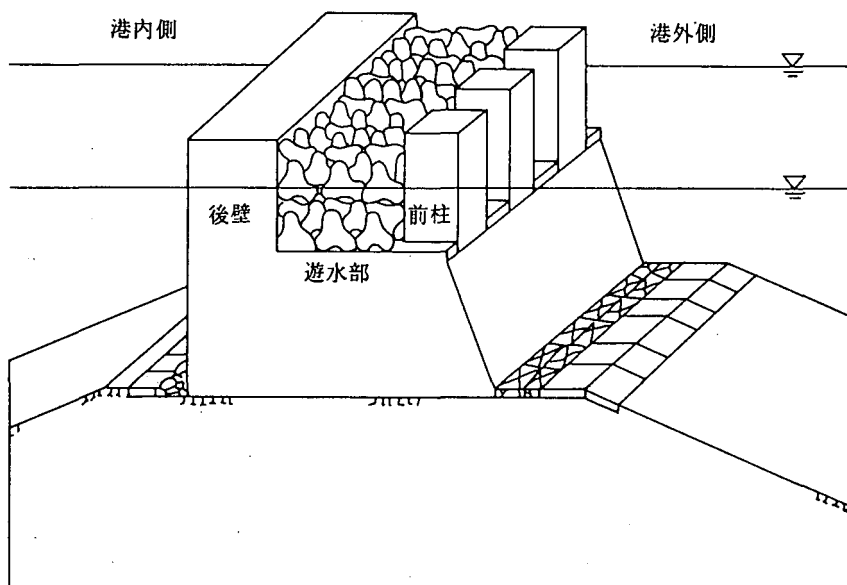


図2 消波ブロック内蔵双胴型ケーソン模式図

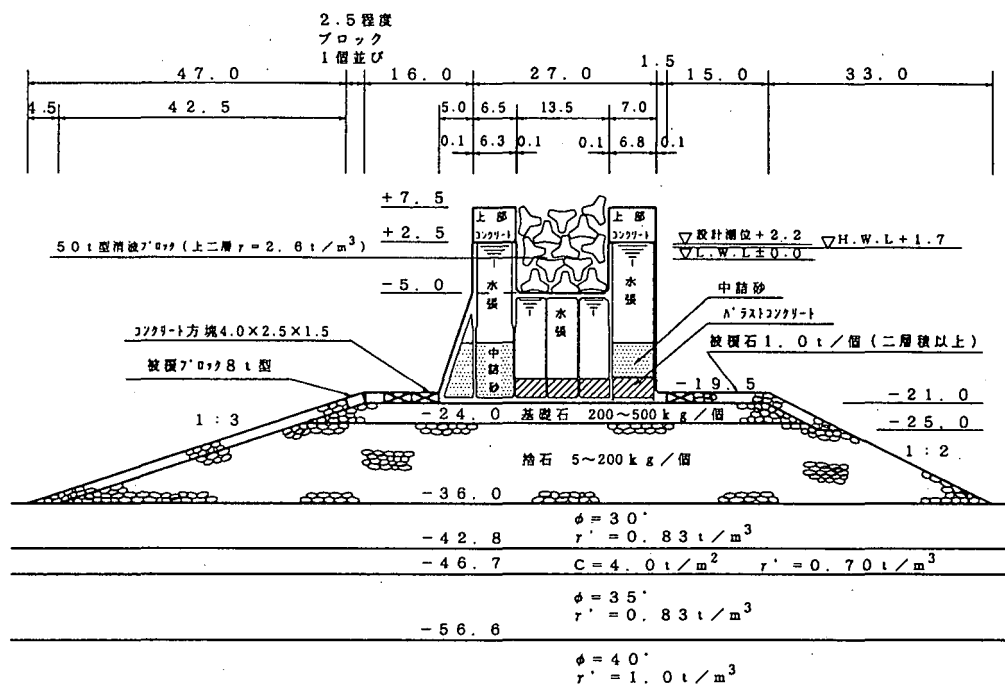


図3 標準断面図

前面下部が傾斜しているため、波力の一部が下向きの力となること、遊水部底版にかかる波力が下向きになること等から、堤体の安定性が高い。

③消波ブロックを内蔵しているためケーソン全体の重量が増大し、ケーソンの滑動に対する摩擦抵抗が増大する。

3 構造設計

設計においては、まず、遊水部の形状、すなわち防波堤の法線に対して直角方向（以下「法線直角方向」と略す。）の幅及び遊水部底版の高さを定めた。形状の検討に当たっては、波のエネルギーを吸収する機能が大きく防波堤に当たった波ができるだけ沖側に反射しないような形となるよう、水理模型実験により定めた。次に、本ケーソンをより経済的な構造とするために、大きな応力の発生が見込まれる後壁及び遊水部底版に合成構造、鉄筋コンクリート(RC)構造、プレストレストコンクリート(PC)構造及び鉄骨鉄筋コンクリート(SRC)構造のいずれかを取り入れることを検討した。そこでは、後壁の法線直角方向の幅をケーソン全体の安定性（滑動、転倒等）の面から定めつつ、各構造ごとに主要部材について構造設計を行った。そして概算工費の比較を行い、その結果、合成構造を取り入れる構造が有利であることがわかった。また、経済的に有利であることに加え、合成構造では他の構造と比べて部材のスリム化が可能のため、ケーソンの全体重量を軽減できること、合成構造が取り入れられる後壁部が軽量化されるため、ケーソンの偏心を緩和できることなどを考慮して合成構造を採用することになった。

一般に、上面だけがない直方体である従来型ケーソンの構造設計においては、ケーソンを構成する各面を、3辺又は4辺固定の板と考えて解析する方法によって設計を行う。しかし本ケーソンは構造上、後壁及び前柱の基部、遊水部底版等に応力が集中する恐れがあるとともに、複雑な形状故に、応力の伝達も従来型のケーソンとは異なっていると考えられる。そこで、本ケーソンでの解析では、従来型のケーソンで用いられている方法に加えて、FEM解析法による応力解析を行い、それを設計に用いた。ケーソンの半分を3,482の要素に分割（図4参照）したFEMによる構造解析によると、図5に示すように遊水部底版のうち後壁との接続部分における軸力が最大で約500t/mとなることがわかった。

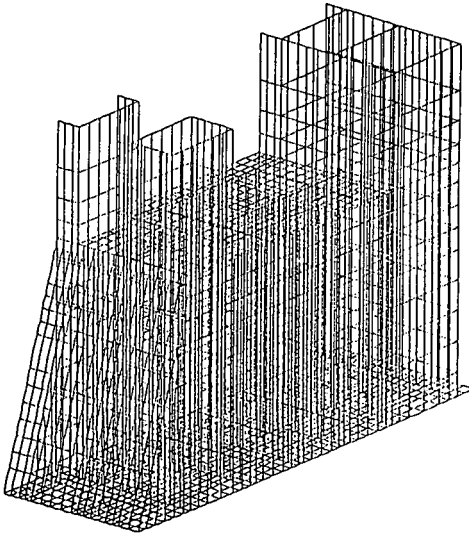


図4 解析モデルの要素分割

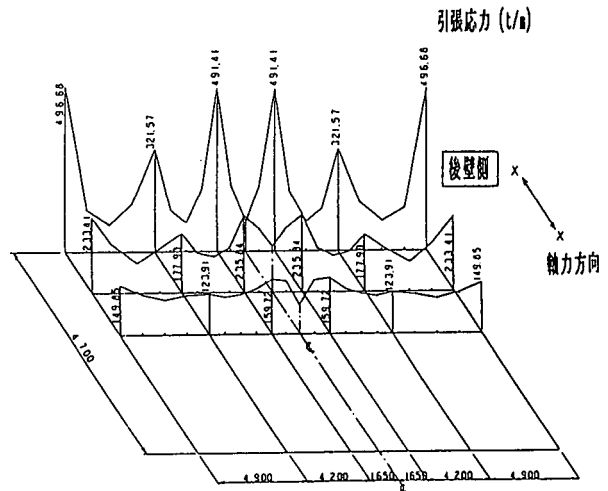


図5 遊水部底版（後壁との接続部）の軸力

4. 合成構造の概要

図6に示すように、本ケーソンにおいては後壁及び遊水部底版に合成構造を取り入れた。どちらも鋼殻の片側にコンクリートを付着させたオープンサンドイッチ構造である。鋼殻とコンクリートの一体化のためのずれ止めには、主として $\phi=19\text{mm}$ のスタットジベルを使用した。

大きな直方体である通常のケーソンでは、必要に応じてその内部に強度を増すための隔壁が縦横方向に数列配置される。本ケーソン内部においても同様に隔壁が配置されており、遊水部底版がその上にふたをしているという構造になっている。FEM構造解析によると、後壁と遊水部底版との接続部に加えて、隔壁と遊水部底版との接続部にも強い応力が働くことがわかっている。そこで、それぞれの間で構造的な接合を強固に保

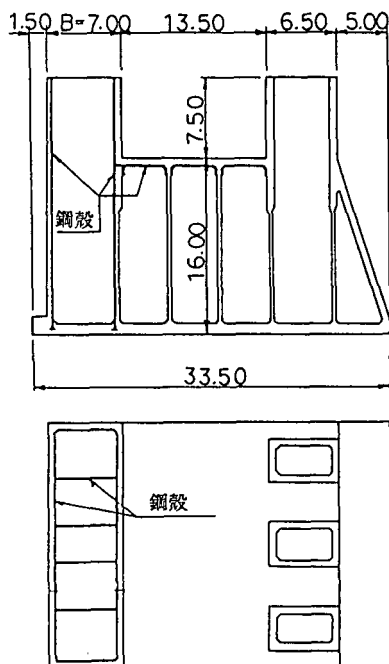


図6 鋼殻の位置図

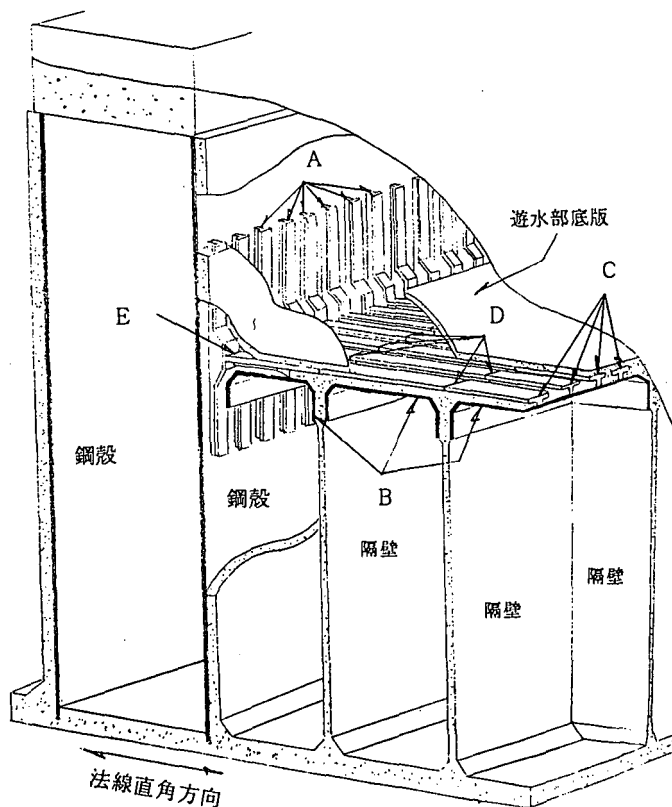


図7 合成構造解説図

つように、いかに鋼殻を設置するかについて検討がなされた。その結果、図7に示すように、後壁の鋼殻には遊水部底版と接合する部分にT型の鋼材を50~70cmのピッチで鉛直に取り付けた(A部)。遊水部底版については、全体を1枚の鋼殻によって合成構造にするのではなく、隔壁で囲まれた範囲ごとに鋼殻を分けて設置した(B部)。そして分離して設置された各鋼殻に50~70cmピッチでT型の鋼材(C部)を法線直角方向に溶接した。そしてその鋼材を、法線直角方向に接合(D部)するとともに、後壁の鋼殻に取り付けられているT型鋼材に接合(E部)した。そしてコンクリートをT型鋼材が取り付けられている面に打ち、コンクリート、鋼殻、鋼材が一体化した構造とした。

なお後壁内部の隔壁は、法線直角方向にのみあり、それは鋼版構造とした。

5. 施工に関する検討

完成時の高さが23.5mにもなる巨大な双胴型ケーソンの施工には、12,000t級の着底式フローティングドック（FD）を使用することとした。図8に示すように、FD上でケーソンを完成させた後、FDを浮上させ、ある水深まで引き出し、その後ケーソンを引き出すという施工方法である。

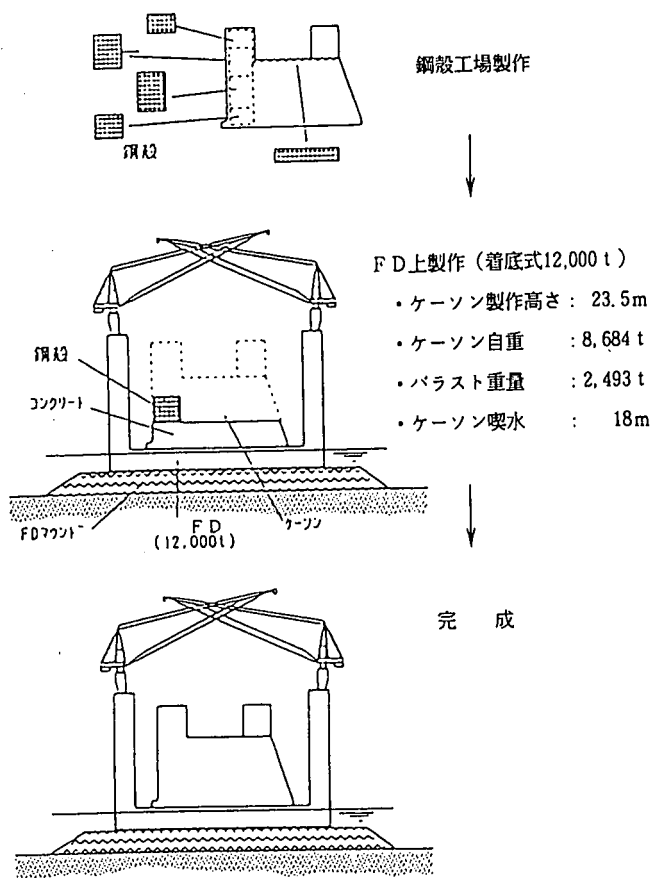


図8 ケーソン製作方法フロー

6. あとがき

下田港は、過去幾度も津波災害を受けたところであり、津波対策に対する地元の期待は大きい。このため一日も早い湾口防波堤の完成が望まれているところである。消波ブロック内蔵双胴型ケーソンは、これまで施工例がないことから実際の施工に際しては、従来のケーソン製作では想定できない課題も出てくる可能性がある。また、防波堤が建設されている下田港周辺海域は、国立公園に指定されている景勝地であり、多数の観光客が訪れる観光地でもある。このため、本防波堤は周辺の景観と調和のとれたものとならなければならない。運輸省第五港湾建設局では、今後、これらの課題を一つ一つ着実に解決し、双胴型ケーソンの完成に向けて努力していく所存である。

消波ブロック内蔵双胴型ケーソンは、昭和61年頃より運輸省第五港湾建設局において研究開発を進めてきたものであり、多数の方々の努力の成果である。そのことをここに記して、関係した方々に謝意を表します。