

下田港防波堤整備事業 ～厳しい自然条件下での整備促進に向けた取り組み～

金澤宜大¹

¹ 清水港湾事務所 第三建設管理官室（〒 415-0023 下田市三丁目 18-25）

下田港では、避難港としての避泊面積拡大と津波による被害の低減を目指し、水深50mを超える全国的にも例の少ない大水深箇所への防波堤の整備事業を実施している。工事にあたっては、水深だけでなく、強風、波浪、うねりといった厳しい自然条件の中での施工となるため、安全かつ効率的な施工方策を選択し工事を進めている。本稿では、ケーソン据付工事を取り入れた工夫を紹介するとともに、整備促進に向けた安全性の向上と工期短縮に対する効果を確認した。

キーワード：避難港、防波堤、ハイブリッドケーソン

1. はじめに

下田港沖は、東西の港を結ぶ国内海上物流の要衝であるとともに、気象・海象条件の厳しい難所としても知られている。そのような中で下田港は避難港としての役割を担っており、近年の激甚化する台風等の災害に対応するため、防波堤の整備を進めている。

また、下田港の位置する伊豆半島は、南海トラフ巨大地震の発生時には最大で30mを超える津波が発生すると予想されている。その発生確率は30年以内に80%の確率で発生するといわれており、防波堤の整備による津波被害の低減効果を期待し、今まで以上の整備促進が求められている。

下田港は年間を通じて風が強く、供用係数は3.65という全国的にも自然条件の厳しい港である。防波堤の整備にあたっては、このような自然条件への柔軟な対応が必

要であり、本事業においてはこうした条件下でありながらさらなる整備促進を追求し、さまざまな工夫を行ってきた。

本稿では、今回工事における厳しい自然条件下での施工の効率化と安全性向上に向けた工夫点を述べ、それらの効果について評価する。

2. 下田港防波堤整備事業の概要

(1) 下田港防波堤整備事業の概要

下田港防波堤整備事業の概要を以下に示す（図-1）。

整備施設：防波堤（東）400m、防波堤（西）500m

事業着手：昭和55（1980）年度

整備目的：荒天時における避泊水域を確保し、海難事故の防止を図るとともに、東海地震に伴う津波による浸水被害の軽減を図る。

(2) 構造決定の経緯

事業計画段階においては、50mを超える大水深部への防波堤整備は全国的にも例が少なく、如何にして事業期間の短縮、コスト削減を図るかが課題であった。

下田港の防波堤は全延長が約900mと長く、水深や波浪条件が場所によって異なるため、各箇所において最適な構造形式を採用する必要があった。採用された構造形式は以下の4種類に大別される。

①従来型ケーソン式

石材マウンドの上にコンクリート製の巨大な箱（ケー



図-1 下田港防波堤整備事業

ソン)を設置する構造。ケーソンは主にコンクリートのみで構成されるため、比較的安価である一方、ケーソン自体の大きさが大きくなるため、石材マウンドも比例して多くなり、水深が深い箇所には適さない。ケーソン自体に消波機能は有さないため、前面に消波ブロックの設置が必要となる。

②ハイブリッドケーソン式 (以下、HBケーソンという)

従来型ケーソンと異なり、鋼殻と呼ばれる鋼製の部材とコンクリートを組み合わせたケーソン。従来型に比べ断面積を大幅に低減することができ、使用する石材も削減することができる。ただし、従来型ケーソン式と同様に、消波ブロックの設置が必要となる。

③双胴型ケーソン式

ケーソン内部に消波ブロックを抱きかかえるような構造のケーソン。消波ブロックを前面に敷き詰める必要が無く、大水深箇所に適した構造である。

④スリットケーソン式

スリットを設けることにより、ケーソンそのものが消波機能を有することで消波ブロックが不要となる構造。大水深箇所に適した構造である。

これらは構造計算だけでなく、実際の波浪を再現した模型実験によっても最適であることを確認し、採用に至っている。



図-2 従来型ケーソン式 (左) とHBケーソン式 (右)



図-3 双胴型ケーソン式(左)とスリットケーソン式(右)



図-4 各構造の配置

3. 今回工事の概要

令和5年度～令和6年度にかけて、未施工箇所へのHBケーソン据付工事を実施した。本工事は主に大型起重機船を用いたHBケーソンの据付を行うものである。大水深箇所での人力(潜水士)による基礎石均し、うねりの大きくなりやすい海域での巨大ケーソンの据付・蓋コンクリートの設置といった、難易度の高い工事であった。当該工事の概要を図-4, 5に示す。

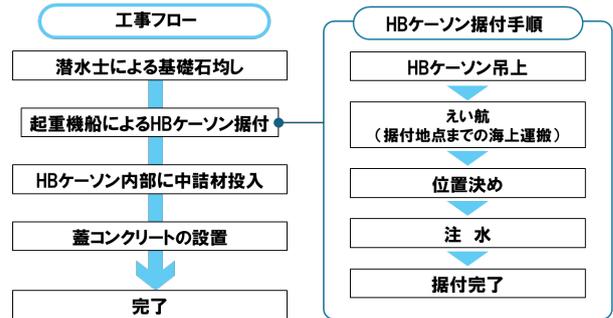


図-5 今回工事の概要 (工事フロー)

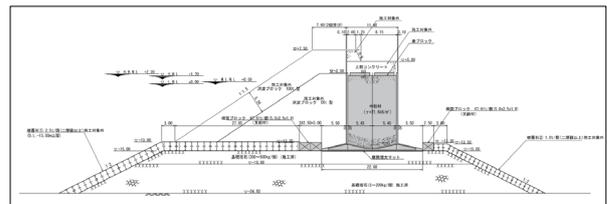


図-6 今回工事の概要 (標準断面図)

4. 厳しい自然条件への対応方策の検討

下田港の海象は荒れやすいことが特徴であり、供用係数も3.65という設定がされている。一般的な港湾工事に比べ、荒天による工事休止の可能性が高く、荒天の間合を狙った限られた期間での施工が求められる。

また、突風や突発的な高波のリスクも高く、施工の効率性に加え、安全性の向上も必要である。

本章では限られた期間での施工という課題に対して、施工の効率性と安全性という2つの観点での検討について述べる。

(1) 蓋コンクリートのプレキャスト化の検討

HBケーソン式の施工にあたっては、施工の効率化という観点から、蓋コンクリートのプレキャスト化に着目して検討を行った。

HBケーソン式の施工は、ケーソン据付直後に重量確保のための中詰材の投入を行い、その後蓋コンクリートの施工を行う。中詰材投入～蓋コンクリートの設置までの間は、中詰材が露出した状態となり、波浪によって中

詰材が流出する恐れがある。そのため、早急に蓋コンクリートの施工を行い、中詰材を保護する必要がある。

蓋コンクリートは、現場打ちコンクリートを使用することが一般的であるが、本工事ではプレキャスト部材を

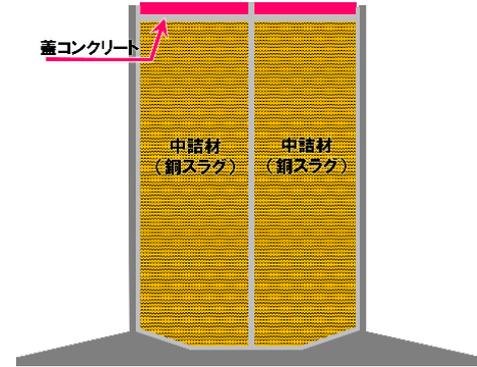


図-7 HBケーソン断面図（蓋コンクリート概要）

採用した場合との比較検討を行った。

まず、工期については、プレキャストの蓋ブロックを採用することで、ブロックの陸上製作が必要になるものの、荒天の影響を直接的に受ける海上作業期間は大幅に削減できる。これにより、荒天による工事休止が減ることによって工期短縮につながる。次に、経済性については、プレキャストにすることで一般的に費用は高くなる傾向にあるが、現場打ちの場合は積み出し岸壁から打設箇所までの距離が長く、アジテータ車とポンプ車を海上運搬して打設する必要があるため、本工事においては同等であると判断できる。

最後に、施工性については、プレキャストの蓋ブロックを用いることで、現場打ちに比べて海上作業を大幅に削減することができた。これは施工性だけでなく、安全性の向上にもつながる。

結果、荒天の影響を受けやすい海上作業を削減することで工期短縮、施工性・安全性向上が可能なプレキャストの蓋コンクリートを採用した（表-1）。

表-1 蓋コンクリートの比較検討

蓋コンクリートの種類	工期	経済性	施工性	その他
現場打ち	× 打設期間すべて海上作業	△ 海上運搬を要する	× 打設期間すべて海上作業	—
プレキャスト化	○ 据付のみ海上作業	△ 費用が高くなる傾向	○ 海上作業が少なく安全	品質の確保が容易

(2) HBケーソン据付時の安全性確保

海象状況は、波浪予測等によってある程度の予測が可能である一方で、突風や突発的な高波の危険性は否定できない。そのため、本工事では危険作業を極力削減するという観点での安全確保の取り組みを行った。

ケーソンの据付作業においては、据付地点に到達後、ケーソン内部に海水を注入して沈めることで据付を行う。ケーソン内部は隔壁により8室に分かれており、バラ



図-8 隔壁に設置されているマンホール

スをとるため、全室に均等に海水を注入していく必要がある。

均等な注水をおこなうため、通常の工事ではケーソン上に作業員を配置し、注水用ホースを各室に定期的に移動させることで均等を保つことが一般的である。

しかしながら、平時においても風が強く、突風や高波の危険性が他の海域よりも高い下田港においては、ケーソン上への作業員の配置は特に危険である。

そこで、HBケーソン特有の構造である隔壁のマンホールに着目した。HBケーソンは外側はコンクリート、内側は鋼製という構造であり、ケーソン内部を8室に分ける隔壁も鋼製である。鋼製の隔壁には、ケーソン製作時に作業員の通行用として設けられたマンホールが存在する（図-8）。

通常、ケーソン製作完了後にすべてのマンホールをボルトで固定の上、溶接して閉鎖することが一般的である。しかしながら、隔壁を完全に遮断してしまうことで各室それぞれへの注水作業となり、ケーソン上に作業員の配置が必須となる。

そこで、隔壁マンホールが開放されていても構造上問題ないことを確認し、隔壁マンホールを開放し、一か所への注水を続けることで自動的に各室に均等に海水がいきわたるという工夫を行った（図-9）。

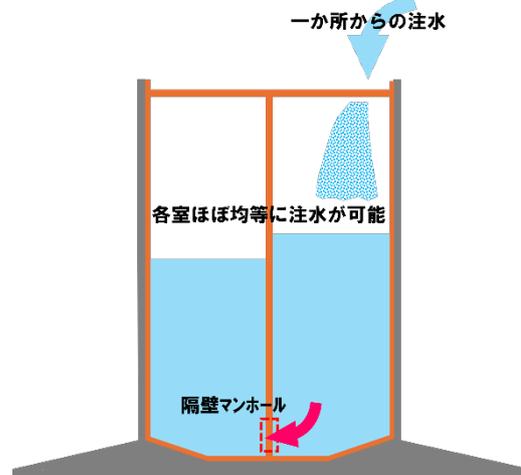


図-9 隔壁に設置されているマンホール

5. 各取り組みに対する評価

(1) 蓋コンクリートのプレキャスト化による効率化

蓋コンクリートのプレキャスト化により、海上作業期間を大幅に削減することができた。結果的に、蓋コンクリートを現場打ちで施工した場合と比較して約1か月の工期短縮につながった（図-10）。

ケーソン据付	8日
中陸材投入	55日
蓋コンクリート	現場打ちの場合 37日
蓋コンクリート	プレキャストの場合(陸上製作期間は含まない) 11日 →約1か月の短縮

図-10 蓋コンクリートのプレキャスト化による効果

また、この海上作業期間の短縮は即ち、危険作業期間の短縮となるため、安全面についても高く評価できる。

さらに、現場打ちの場合は硬化前に海水が被ってしまう可能性があり、一定の品質が担保できない恐れがある。一方でプレキャスト化した場合は、すでに完成した製品を据え付けるため、品質確保の観点でも優位であると考えられる。



図-11 プレキャスト蓋コンクリートの設置状況

(2) 隔壁マンホール開放による危険作業の削減

隔壁のマンホールを開放するという簡易的でありながら通常とは異なる手法を用いたことで、据付中のケーソン上での人力による作業を削減することができた。

実際の施工においては、うねりの影響を受けたことで起重機船の動揺も想定よりも大きいものとなったが、危

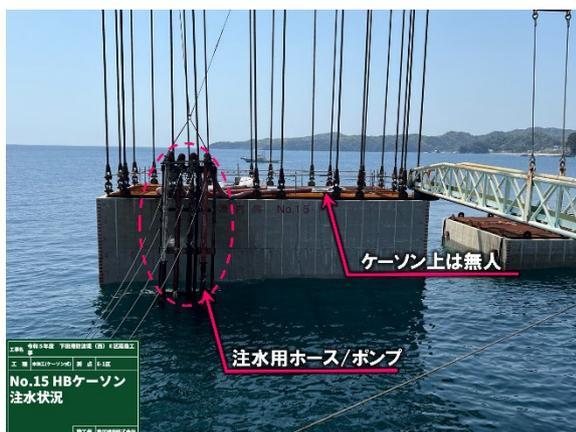


図-12 ケーソンへの注水の様子

険作業が排除されたことで据付に集中して作業を進めることが可能となり、安全且つ高い精度での据付を行うことができた。安全性確保の取り組みであったが、結果的に施工精度にも良い影響を与えたと評価できる。

6. おわりに

本工事においては、大型起重機船を荒天リスクの高い海域で使用するという非常に難易度の高い工事であった。発注者としては、安全への取り組みはもとより、急変する天候への対応状況を加味した工程の調整などに苦慮した工事ではあったが、本稿で述べた各種工夫等により無事故無災害で工期を終えることができた。

下田港防波堤整備事業は、厳しい施工条件の中で施工の効率性と安全性の両立を求められるものである。当該施設の整備は今後も継続して整備を進めていく予定であるが、近年の台風などの激甚化に伴い、工事の難易度も年々増していくものと考えられる。従って、地元住民の期待に応えるべく、引き続き防波堤の整備促進に努めるとともに、厳しい自然条件下においてもさらなる安全性の向上と効率化を目指し、柔軟な発想で新技術等の導入などの検討も進めることが重要であると考えられる。

謝辞：本報告の作成にあたり、情報提供いただいた、東洋建設株式会社の皆様をはじめ、ご指導、ご協力をいただいた関係者の方々に深く感謝し、御礼を申し上げます。