

既存防波堤を流用した岸壁の延伸について

高松港湾空港技術調査事務所 調査課 岡 智哉

高松港湾空港技術調査事務所 伊藤 春樹

高松港湾空港技術調査事務所 技術開発課 中川 恵美子

松山港外港地区は現在、水深10m岸壁及び水深13m岸壁が供用中であるが、輸送の効率化を図るため、大型化した石炭運搬船が寄港している。そのため、岸壁延長が不足し、船同士の離隔距離が短くなったことから係留時の危険性が高まったことに加え、コンテナ船の大型化にも対応できない状況にある。船舶の安全性の確保、コンテナ船の大型化に対応するため、岸壁の延伸、それに伴う防波堤（南）の撤去等を行う必要が生じた。本稿では防波堤（南）のケーソンを岸壁延伸部（以下、「ドルフィン」という）と護岸（防波）に流用を図ることを検討した結果について報告する。

キーワード 岸壁延伸、防波堤撤去、既存施設の有効活用、泊地水深の確保、安定性の照査

1. はじめに

松山港は、昭和 26 年に重要港湾に指定され、臨海部に立地する企業の生産活動の流通拠点として、更には、フェリー等による交流拠点として重要な役割を果たしている。

その中でも、外港地区は外貿コンテナ貨物輸送及び、外貿バルク貨物輸送の拠点である。

現在、岸壁は供用中であり、水深 10m 岸壁ではコンテナ船、水深 13m 岸壁では石炭運搬船が利用を開始している状況にある。

一方で、社会情勢の変化に伴い、輸送の効率化を図るため、大型化した石炭運搬船が寄港している。そのため、コンテナ船と石炭運搬船が同時接岸する場合には岸壁延長が不足し、船同士の離隔距離が短く、係留時の危険性が高まっていることに加え、コンテナ船の大型化にも対応できない状況にある。（図-1）

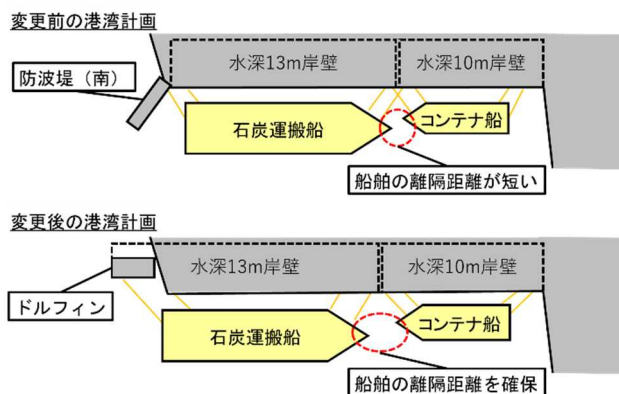


図-1 船舶の係留状況

このため、船舶の安全性を確保し、コンテナ船の大型化に対応するため、港湾計画の一部変更により、既存水深 13m 岸壁を延伸することが決定された。

この変更に伴い、一部整備済みの防波堤（南）の撤去・水深 13m 泊地の拡幅が必要となった。そのため、撤去するケーソンの流用や、現地には据付けない製作済みケーソンの有効活用について検討が必要となった。

本稿では、防波堤（南）のケーソンを水深 13m 岸壁の延伸への流用検討を行った結果について報告する。

2. 流用の条件

(1) 松山港外港地区の構成施設

松山港外港地区を構成する施設については図-2 に示すとおりである。変更前の港湾計画（左図）では、水深 13m 岸壁、水深 10m 岸壁があり、静穏度確保のため、防波堤（南）が計画されている。変更後の港湾計画（右図）では、水深 13m 岸壁を延伸し、それに伴い、防波堤（南）の撤去・水深 13m 泊地の拡幅をすることとした。



図-2 変更前の港湾計画（左図）と変更後の港湾計画（右図）

また、護岸は、岸壁の背後地を波浪、高潮から防護することを目的として整備される施設であり、波が強い場所では、護岸そのものに消波機能をもたせる必要がある。当該地区では、写真-1のような直立消波ブロックにおいて整備されている。

(2) 既存ケーソンの状況

流用の対象となるケーソンについては、防波堤（南）の整備のために製作されており、防波堤（南）の基部に据付け済み1函、製作ヤードに仮置き中の製作済み3函の計4函のケーソン流用を検討する。既存ケーソンにおいては、港湾計画の一部変更前の条件によって設計されており、ケーソン高が19.1mのものが1函、ケーソン高が13.1mのものが3函製作されている。（写真-2）

3. ケーソン配置計画検討の制約条件と対応

(1) 制約条件

- ・港湾計画一部変更した泊地は水深13mを確保すること。
- ・設計条件として、ケーソンからの反射波による洗掘を防ぐため、マウンド厚を1.5m以上確保すること。
- ・利用上、上部工の天端高を既存施設（岸壁、護岸）と合わせること。
- ・ケーソンが製作済みのため、壁高が決定であること。

(2) 制約条件への対応

マウンドが高くなると、マウンドの施工範囲が広範囲に及び、泊地へ抵触することとなる。（図-3）そのため、水深13m泊地にマウンドが抵触しないよう、マウンド高を低く設定する必要がある。

また、直立消波ブロックで構成されている既存護岸（防波）のマウンド高は設置水深5.0mであり、現状のマウンド高では、拡張した泊地水深13mに抵触してしまう。（写真-1、図-4）そのため、護岸（防波）の設置水深を深くすることで、水深13m泊地への抵触を防ぐ必要がある。このような条件を満足するよう配置計画の検討を行った結果、直立消波ブロックで施工されている護岸（防波）へケーソンを流用する必要がある。

また、ドルフィン部①（堤頭部）ドルフィン部②（堤幹部）については岸壁延伸のためケーソンを流用する。（図-5）ケーソンの流用にあたり、ケーソン4函の配置について検討した。はじめに、護岸（防波）への流用を検討した。マウンドの法部が水深13m泊地へ抵触しないよう、設置水深を深くする必要があることから、一部の直立消波ブロックを撤去、床掘を行い、護岸（防波）の天端高は隣接の護岸（防波）の天端高と同じC.D.L+5.10mとし、それに合わせて設置水深は、C.D.L-14.0m（C.D.L+5.10m-19.10m）として、最も高さのあるケーソン（壁高19.10m）



写真-1 防波堤（南）と護岸（防波）

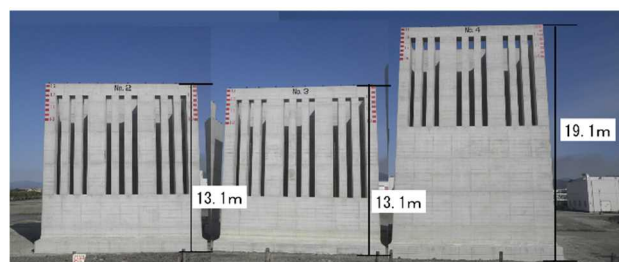


写真-2 既存ケーソンの外観

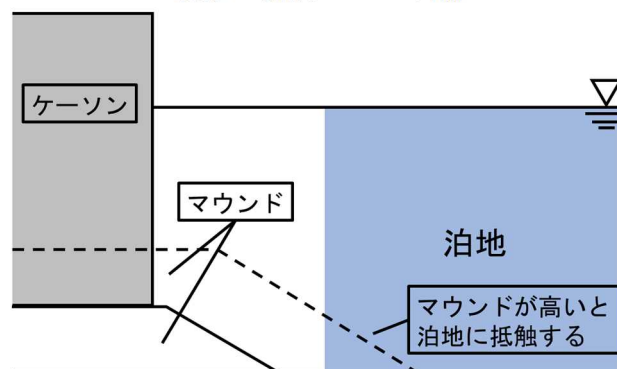


図-3 泊地への抵触イメージ

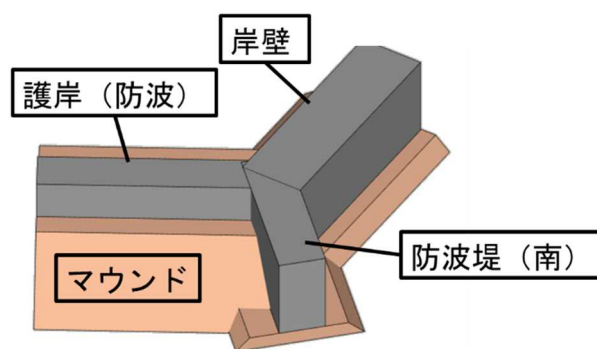


図-4 現状の護岸（防波）のイメージ

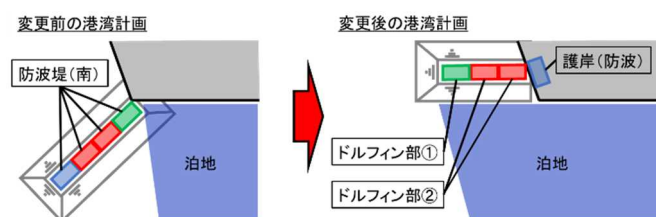


図-5 ケーソンの配置計画

を流用することとした。

また、残りの3箇のケーソンについては、ドルフィン①②へ流用を検討した。上部工については、利用上、既存岸壁の天端高（CDL+4.70m）と同様な高さにする必要がある。先端部のドルフィン①には、係船曲柱を設置する計画となっており、上部工厚は、係船曲柱のアンカー長さを考慮する必要がある。係船曲柱については、対象の船舶の牽引力を考慮し係船曲柱（牽引力1000kN）とした。そのアンカー長は、約1.50mであることから、余裕厚0.1mを考慮し、上部工厚は最低でも1.60m確保する必要がある。このことより、既存ケーソン（壁高13.10m）を流用するにあたり、ドルフィン①②の天端高はC.D.L+3.1m（C.D.L+4.7m-1.6m）とした。

また、設置水深については、護岸（防波）と同様に水深13m泊地への抵触を防ぐ必要があり、ドルフィン部①のケーソン高さ、天端高さを決定したことより、C.D.L-10m（C.D.L+3.1m-13.1m）とした。ドルフィン部②については、施工性を考慮し、設置水深をドルフィン部①と同様とした。このような条件から、各施設を構成する断面形状が決定した。

なお、護岸（防波）については、設置水深は変わらないが、既設護岸（防波）のマウンド及び、ドルフィン部②のマウンドがケーソン前面を覆う形となるため、ケーソン前面水深は水深14.0mから水深5.0mと浅くなった。（図-6～8）

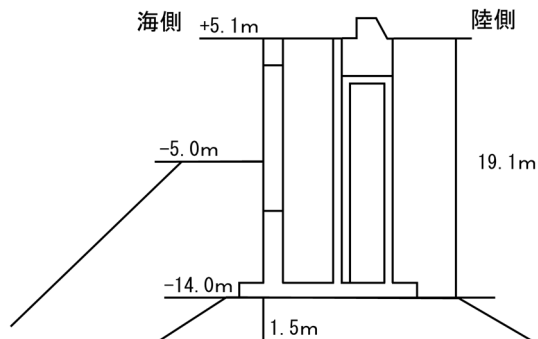


図-6 護岸（防波）断面形状

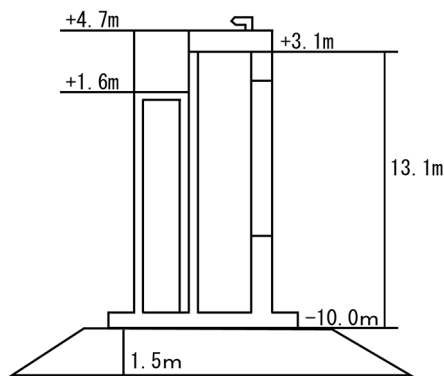


図-7 ドルフィン部①の断面形状

4. 流用可否の安定性の確認

(1) 検討の流れ

図-9 のフローに沿って既存ケーソンの流用が可能か、検討を行った。検討については、外部安定計算として、滑動・転倒・円弧滑り・偏心傾斜（図-10）について検討を行い、検討の結果、安定性を満足しない場合、外部安定計算を満足するよう対策を施す。次に内部安定として、ケーソンの部材照査を行い、外部安定計算と同様に安定性を満足しない場合には適切な対策を行い、内部安定計算を満足するよう検討を行った。

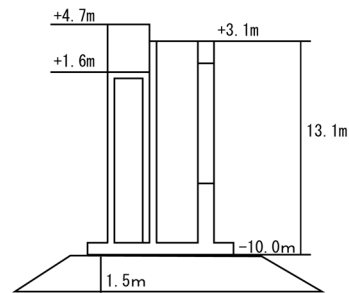


図-8 ドルフィン部②の断面形状

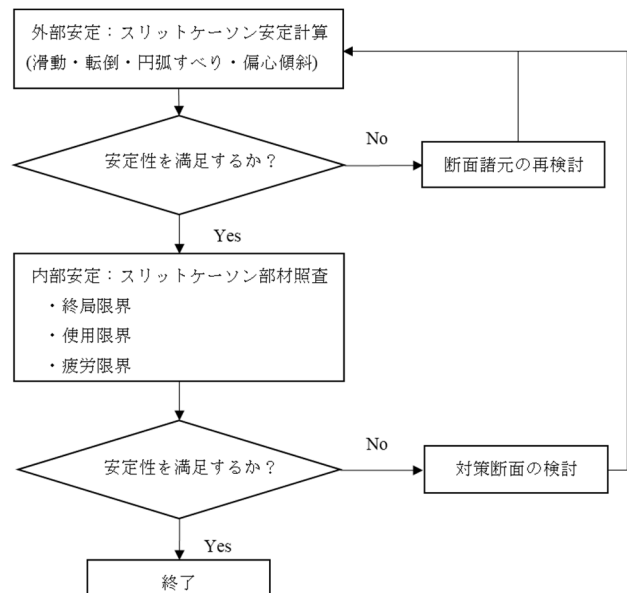


図-9 検討フロー

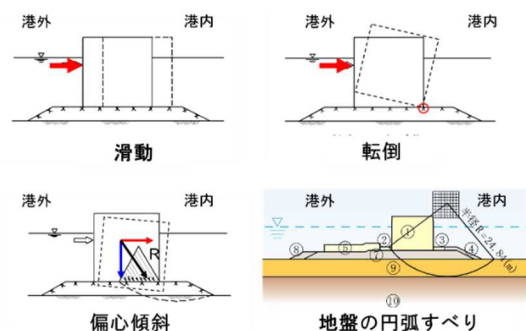


図-10 外力による主な破壊要因

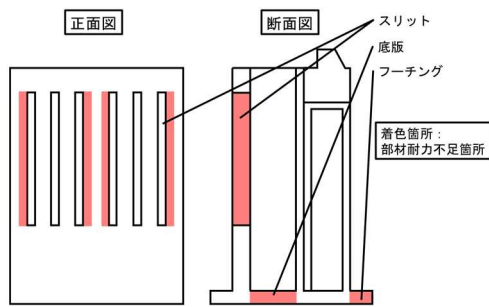


図-11 護岸（防波）耐力不足箇所

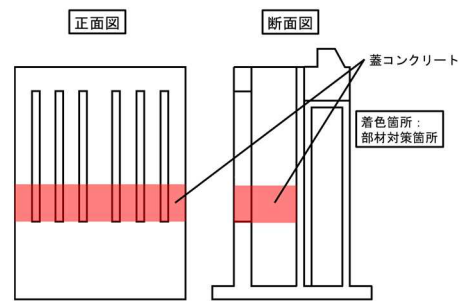


図-13 護岸（防波）の部材対策

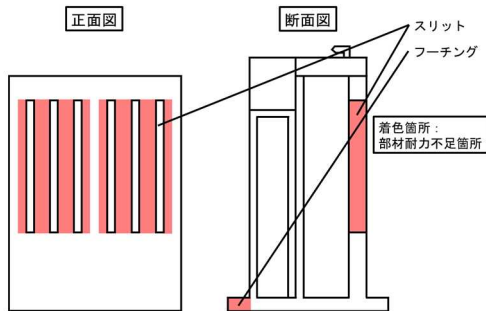


図-12 ドルフィン部①耐力不足箇所

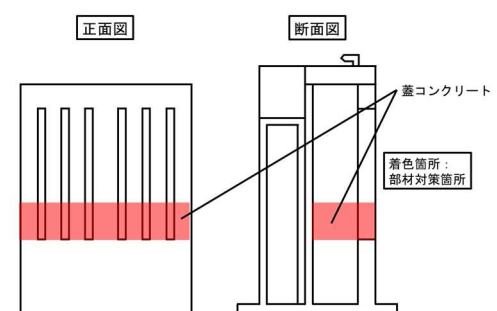


図-14 ドルフィン部①の部材対策

(2) 検討結果

検討の結果、外部安定計算においては、護岸（防波）、ドルフィン部①②すべて安定性を満足することを確認した。内部安定計算においては、護岸（防波）、ドルフィン部①では、図-11、12の部材において、耐力が不足することを確認した。ドルフィン部②については、内部安定においても安定性を満足することを確認したため、対策は必要ない。

(3) 部材耐力不足箇所の要因について

護岸（防波）へ流用するケーソンは、既存ケーソンが防波堤（南）整備のため製作されたケーソンであるため、背後からの土圧が作用することを想定していない。そのため、土圧の検討を行った結果、背後からの土圧作用により生じる底面反力を受け、ケーソン前面のフーチング、底版の耐力力が不足することがわかった。

また、ケーソンの設置水深は水深 14mと変わらないものの、ケーソン前面には既設護岸（防波）のマウンドが設置されている。そのため、ケーソン前面水深が水深 14.0m から水深 5.0mと浅くなっている。この影響により、波圧強度が大きくなることにより、結果としてケーソンにかかる波圧強度が増大し、スリット柱の部材耐力が不足する結果となった。

一方で、ドルフィン部においては、ケーソンの設置水深が水深 8m から水深 10m へと深くなった。この影響により、底面反力の増大によるフーチングの耐力力が不足することとなった。また、水深が深くなることにより、ケーソンの波力の受圧面積が増え、ケーソン全体にかかる

波圧合力が増大したため、遊水室側壁及びスリット柱の耐力力不足となることが分かった。

(4) 部材耐力不足箇所の対策

スリット下部の蓋コンクリート部を増厚することで、スリット柱の見かけ上のスパン長さが短くなり、波圧等により発生するモーメントを低減できる。また、蓋コンクリート増厚することで、底版に作用する荷重が原設計に比べて小さくなるため、底版の補強対策が必要なくなることを確認した。

部材耐力を満足するよう改良した断面において、再度、図-9 のフローに沿って、外部安定について確認した結果、安定性を満足した。（図-13、14）

5. まとめ

本稿では、松山港における岸壁の延伸において、防波堤（南）の既存ケーソンの流用に向けて検討を行った。検討の結果、岸壁延伸に伴い、泊地範囲が拡張したことにより、護岸（防波）のマウンドが泊地に抵触すること、ケーソンの設置条件が変わったことによる、波圧合力の増大及び、底版反力の増大により、ケーソンスリット及び底版の耐力が不足することがわかった。それぞれ、制約条件を考慮したケーソン配置計画とし、部材耐力が不足する箇所に対策を行うことで、既存ケーソンを岸壁及び護岸（防波）へ流用し、有効活用を図れることを確認した。