

# 神戸港 [PI2 期地区] 第八防波堤(南)流用函の補強対策工法検討

神戸港湾空港技術調査事務所

小嶋 俊博

## 1. はじめに

神戸港第八防波堤(南)は、ポートアイランド 2 期地区コンテナターミナル静穏度確保のため、早期整備の要請が高い。また、海事関係者からは神戸中央航路拡幅の要望がある。そのため、第七防波堤の西側先端部(約 130m)を撤去し、当該ケーソンをリサイクル・経済性・施工面の観点から新設の第八防波堤(南)の本体部に流用することとした。

本報告は、第七防波堤で長期間使用されてきたケーソンを流用するにあたり、評価と対策について工夫した点をまとめたものである。なお、供用中のケーソンを新設防波堤に本格的流用した事例は全国的にも非常にめずらしい。そのため検討手法も確立されておらず、本検討は早稲田大学 建設工学専攻 清宮教授を座長とした学識経験者よりなる「神戸港ポートアイランド 2 期地区第八防波堤(南)流用函の補強対策検討会」にて行った。なお、本技術検討は「国土交通省技術基本計画」(2003 年 11 月)における技術研究開発の方向性(循環型社会の構築、ストックの有効活用)にも合致しているものである。

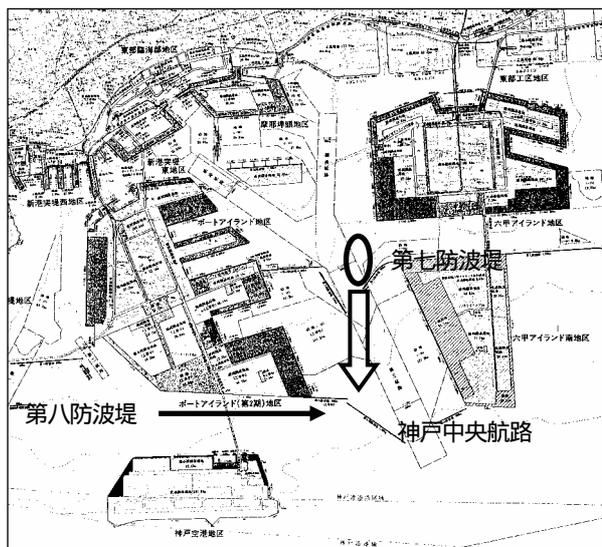


図 - 1 対象施設位置図

## 2. 検討内容

### 2.1 検討に際しての制限と工夫

本検討においては、まず第七防波堤において長期間使用されてきた流用ケーソンの評価をどのようにするのが重要なポイントであった。引き続き波浪条件の厳しい第一線の防波堤で 50 年間の耐用期間、新規材料と同品質(同程度の強度)のものを求められた。そのため、強度的に確認されないまま部材を継続して流用することには問題がある。

第七防波堤設計当時、流用ケーソンの細部設計は許容応力度法であったが、今回の流用検討では、現行基準により限界状態設計法によって部材耐力と耐久性を照査した。限界状態設計法ではこれまでの存置期間の部材の老朽化の評価も必要となる。

これまで、流用材は強度を求めない場所に転用している事例が多くで、これらの問題に直面することはなかった。対策工の検討に際しては、堤体の安定上過大な補強は堤体重量の増加につながることから、部材耐力は満足できても堤体自体の安定性(基礎のすべりなど)を損なうおそれがあること、また、海上施工でも確実に安全なものであることなど、制限を受けるもとの検討であり、工夫と慎重な判断が求められた。

## 2.2 前提条件

### 2.2.1 流用ケーソン

流用するケーソンは、延長約 130m 区間の標準函 9 函で堤頭函 1 函は第七防波堤に流用する。すべてのケーソンが製作からすでに 20 年程度経過している。第七防波堤は六甲アイランド・ポートアイランド地区の港内静穏度を確保するため計画されたもので、昭和 45 年(1970)年から整備を開始し、西側先端部は昭和 57 年(1982)年に完成している。その後、本ケーソンは 1995 年の兵庫県南部地震で 1.4m~2.6m の沈下被災をうけた。震災復旧対策として上部工の嵩上げの原型復旧を行ったが、地震時の転倒に対する所要安全率を満足できなかった。そのためケーソン港内側側面の腹付けコンクリート施工で堤体幅を広げた。この対策により、端趾圧の低減とフーチング部分の耐力を確保している。設置された腹付けコンクリートは幅 3.0m x 高さ 6.44m あり、ケーソンと腹付けコンクリートの一体化のために、ケーソン側壁に差し筋(D25@60cm pitch)が配置されている。(図 - 2 参照)

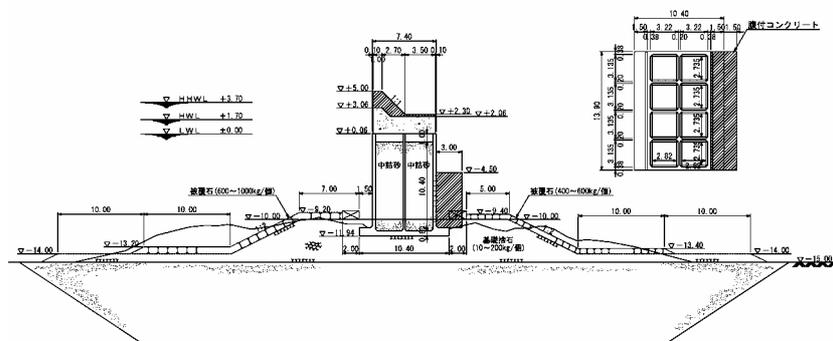
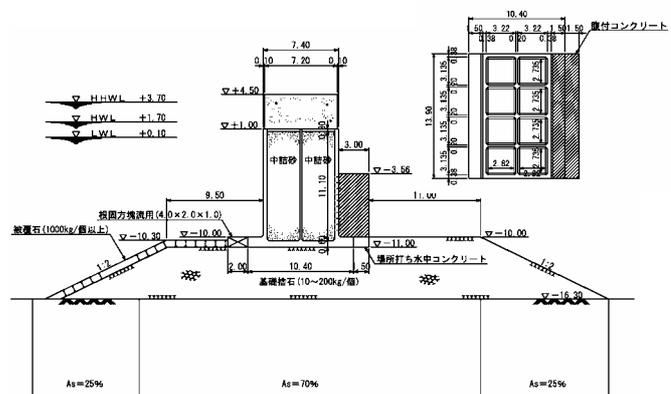


図 - 2 第七防波堤現況標準断面図

震災復旧対策箇所

### 2.2.2 第八防波堤(南)への流用断面

本検討区間における第八防波堤(南)の標準断面は、一般的な防波堤の設計手順にそって図 3 に示すとおり設定した。具体的には設置水深を変え、中詰材・上部工の工夫で堤体本体の安定が成立する断面を選定した。なお、既設の断面での検討であり、設置水深を浅くすると衝撃砕波力を受けて堤体の安定を確保できず、逆に設置水深を深くすると波力に見合う堤体重量が確保できないため、設置水深検討の自由度は新規設計に比較すると制限を受けた。続いて基礎捨石・地盤改良範囲の計算を行い、最も経済的と思われる断面を採用した。なお、震災復旧で補強した腹付けコンクリートはそのまま流用して港内側に配置している。これは、撤去が施工上困難であること、また、厳しい波浪に耐える堤体重量として必要であったためである。



### 2.2.3 流用ケーソンの劣化評価

流用ケーソンは、流用先の第 8 防波堤(南)で耐用年数 50 年を目標として設計するため、劣化度の評価が大きな課題

図 - 3 第八防波堤(南)標準断面図(七防流用)

対応できるが、劣化進行状況によっては補修困難な場合も考えられるためである。このため、現況の第7防波堤の海水中にあるケーソンをサンプル調査し、劣化度の概略評価を行うこととした。劣化調査は、クラック等の目視調査、鉄筋の腐食調査に加えコンクリート壁のサンプリングによる中性化、アルカリ骨材反応、圧縮強度等の試験を行った。この結果、流用ケーソンの劣化については、問題はないものと評価された。とりわけ中性化による大々的な劣化はコンクリートの打ち直しとなり事実上補修が困難であるため、評価時には特に注意した。劣化していないと判断されればケーソンは初期強度を現在も保持しているものとした。なお、詳細については施工段階の劣化調査により、必要に応じて補修する。

### 2.2.4 外力条件

部材検討に必要な主な外力条件は以下の通りである。

- ・ 終局限界設計波；50年確率波（ $H_{1/3}=4.0\text{m}$ 、 $H_{\text{max}}=7.2\text{m}$ 、 $T=7.2\text{sec}$ ）
- ・ 使用限界設計波；耐用期間50年に対する  $H_{1/50}=3.1\text{m}$ 、 $T=5.0\text{sec}$
- ・ 疲労限界設計波；現在利用された期間20年の疲労蓄積を考慮して、耐用年数70年とした。

## 3. 部材耐力照査結果と対策方法について

### 3.1 部材耐力照査結果

設定した外力条件の下、部材耐力照査を実施したところ図-4に示す箇所(港内側の隔室底版及び港外側法線平行方向側壁・法線直角方向側壁)について使用時のひび割れが許容値をこえる結果となった。これに対して以下のように対策工法の検討を行った。

### 3.2 側壁部の対策方法

ケーソン側壁部は、引波時の中詰土圧により、外側においてひび割れが生じることとなる。これに対応するため、ひび割れの補強対策工法として次の3つの案を考えた。

- ・ モルタル吹き付け工法
- ・ 炭素繊維シート(FRP 接着)工法
- ・ 外力低減工法(蓋コンクリートの増厚と上部工の一体化による中詰土圧低減工法)

比較の結果モルタル吹き付け工法・炭素繊維シート工法は水中での施工が困難であり陸に揚げての対策工法となる。

また、流木等の衝突による剥離の懸念も考えられるため、海上での施工が容易で経済的である外力低減(蓋コンクリートの増厚と上部工との一体化)工法を本ケーソンの補強工法として採用した。

— 耐力不足  
鉄筋位置

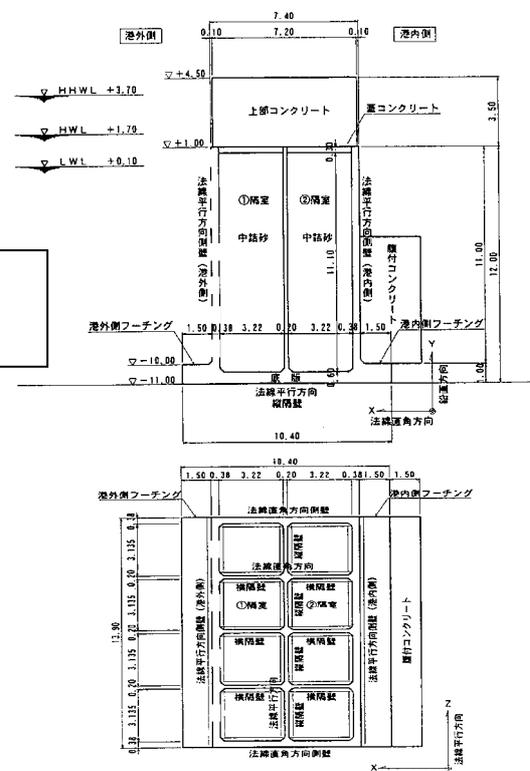


図-4 補強対策必要部材

外力低減時の部材耐力照査を行った結果、蓋コンクリートを 20cm 増厚し、上部工と一体化することにより側壁部の耐力が満足できた。

### 3.3 底版部の対策方法

波圧時には、港内側の隔室底版の上側でひび割れ幅が許容値を上回る結果となる。しかし、『ハイブリッドケーソン設計マニュアル 平成 11 年 6 月(沿岸開発技術研究センター)』によると、ケーソン内部は、蓋コンクリートなどで外気より遮断されていることから隔室内の溶存酸素量だけでは腐食が進行することは考えにくく鋼板の防食対策は不要となっている。また、海底土中部の腐食速度 0.02mm/年を用いた場合、耐用年数 50 年に対する腐食量は 1mm であり、ひび割れ発生部分の局所的な腐食に留まるものと考えられるため、極端な耐力低下は考えにくいものと思われる。このことから底版部の対策については行わないこととした。

## 4. まとめ

### 4.1 流用ケーソンの評価について

- ・ 20 年前に許容応力度法で設計されたケーソンの評価を行うに当たり、新規材料と同品質のものを求められ、新規ケーソンの設計と同様、限界状態設計法で設計を行った。
- ・ 流用ケーソンの劣化についてはサンプル調査を行った結果に基づき、おおむね問題ないものと評価した。詳細については施工段階の劣化調査により、必要に応じて補修することとした。

### 4.2 対策工法について

- ・ 補強対策として蓋コンクリートと上部工を一体化することにより、側壁に作用する中詰土圧を低減でき、側壁部の大規模な補強対策が不要となった。
- ・ 底版部(上側)では、許容ひび割れ幅を満足していないが、隔室内は外気と遮断されているため腐食の進行は少ないものと判断し、補強対策は行わないものとした。

## 5. あとがき

今回の検討は設計段階の検討である。ケーソンの劣化の状況確認も水中での目視といくつかのテストピースでの室内試験の結果にとどまっており、圧縮試験により 32.9 ~ 52.2N/mm<sup>2</sup> という強度が得られたが、データ数が少ないため設計基準強度である 24N/mm<sup>2</sup> を採用した。今後、現場において詳細調査を実施し、今回の評価・対策が適用可能かどうかを判断することとなる。

対策工については、今回は大規模な補強は必要なかった。今後、建設コスト縮減と地球環境保全という社会的要請に伴いリサイクル材の有効活用がますます求められてくる。今回のような第一線から第一線への転用を行うことが増えると予想される。本検討は大阪湾内での流用検討であるが、今後各港湾区域での同様な検討と対策の一助になると考えている。

