

# 苫小牧港西港区における長周期波対策工の効果検証

室蘭開発建設部 苫小牧港湾事務所 計画課 ○城 敏也  
田川 人士  
今 卓也

苫小牧港は、北海道の海上貨物の約5割を扱い北海道経済を支える重要な役割を果たしている。近年、長周期波の影響から係留船舶の船体動揺による荷役障害、係留索切断等の問題が発生している。

このため、西港区東防波堤背後に長周期波の反射率低減が可能な吸収層の整備を進め、平成24年度に完成した。本報告では、これまで実施してきた現地波浪観測結果と数値計算を基に、長周期波の低減効果についての検討結果を報告する。

キーワード：長周期波、波浪

## 1. はじめに

図-1に、苫小牧港西港区の各施設位置を示す。

苫小牧港は、昭和26年に世界初の本格的な掘込み式港湾として工事着手以降、昭和38年4月に重要港湾、昭和56年5月には特定重要港湾（現在の国際拠点港湾）に指定され、北海道開発の重点施策として臨海工業地帯の核となる工業港を目指した整備が進められ、北海道の物流拠点として北海道経済に大きく寄与しており、国際貿易港として重要な役割を果たしている。また、平成25年には、開港50周年の節目の年を迎え、様々な記念事業等が行われている。

苫小牧港西港区は、本州航路の内貿ユニットロード貨物（フェリー、RORO、コンテナ）を多く取扱っており、定時性の確保が重要となっている。しかし近年、入船ふ頭およびフェリーふ頭において、長周期波の影響による船体動揺により係留船舶の荷役障害（中断・延長）、係留索切断、タグボートによる押さえつけが必要となるなどの障害が発生し、利用者から早急な対策が要請されている状況にあった。このため、港内静穏度向上を目的として全国で2例目となる長周期波対策工を平成20年度より施工を開始し、平成24年度に総延長391mの長周期波対策工が完成した。

本報告では、平成23年度に行った施工途上での効果検証結果に引き続き、これまで実施してきた現地波浪観測結果と数値計算を用いて反射率を推定し、長周期波の低減効果を明らかにすることを目的とする。



図-1 苫小牧港西港区 各施設位置

## 2. 長周期波対策工の概要

### (1) 対策の方針と平面配置

図-2に、長周期波対策工の平面配置を示す。

港内長周期波影響評価マニュアル（以後、長周期波マニュアルと表記）<sup>1)</sup>によれば、長周期波対策としては、①波浪制御構造物による対策、②係留系による対策、③波浪予測による対策の三つが示されている。②係留系による対策は、利用者が既に係留索による対策等を行っていること、③波浪予測による対策は、定時制確保や信号管制から避難対応が困難であることなどから、苫小牧港では、①波浪制御構造物による対策を採用している。

波浪制御構造物による対策は、防波堤を延伸して長周期波の侵入を抑制する対策と、港内の水際線の消波性能

を向上させ、反射による長周期波高の増大を防ぐ方法の二つが長周期波マニュアルに示されている。苫小牧港では、経済性、施工環境、周辺施設への影響等について総合的な検討を行い、東防波堤背後の未利用水面の消波性能を向上させ、反射による波高増大を防ぐ方法を採用している。

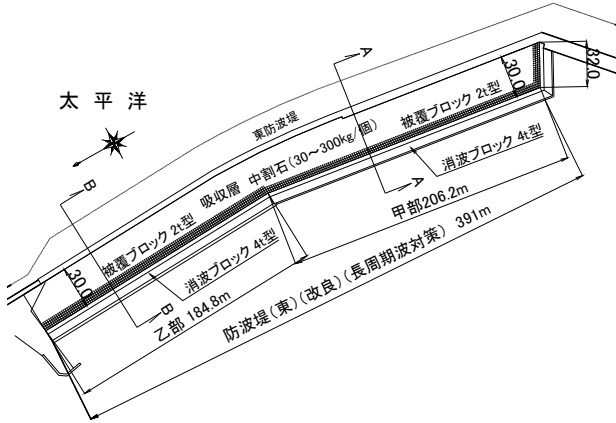


図-2 長周期波対策工の平面配置

(2)長周期波対策の断面形状

図-3に、長周期波対策工の断面図を示す。

長周期波対策工は、中割石（30kg～300kg/個）からなる吸収層と、その前面に設置した消波ブロックの2層構造とした。なお、水深の違いにより甲部（A-A' 断面）、乙部（B-B' 断面）に断面区分している。吸収層の天端幅は、目標反射率 $K_r=0.7$ （周期90s）に対する山田らの模型実験・理論式<sup>2)</sup>を用いて検討し、現地観測を基にした入射角補正を行って30mと決定している。なお、構造諸元の決定方法等の詳細については、平成21年度報告<sup>3)</sup>を参照されたい。

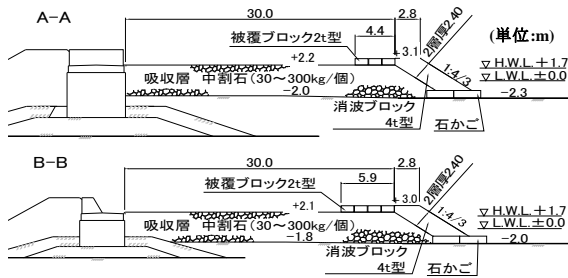


図-3 長周期波対策工の断面図

3. 現地観測による対策工の効果検証

(1) 観測期間と観測位置

図-4に、長周期波対策工の施工年度・延長を示す。

長周期波対策工は、平成20年度に80m迄、平成21年度に160m迄、平成22年度に260m迄、平成23年度に325m迄、平成24年度に全延長391mが完成している。

表-1に、現地観測の実施期間を示す。

現地観測は、長周期波対策工建設前の平成17年度に

計60昼夜、施工開始した平成20年度から平成24年度にかけて台風来襲期と冬季風浪期の時化を対象にして、各年に90昼夜波浪観測を行った。

表-1 現地観測の実施期間

観測年度	対策工延長	期間
H17d	L=0m	2005. 7. 22 ~2005. 8. 6
		2005. 8. 8 ~2005. 8. 23
		2005. 9. 1 ~2005. 9. 16
		2005. 9. 24 ~2005. 10. 9
H20d	L=0~80m	2008. 10. 10 ~2009. 2. 9
H21d	L=160m	2009. 10. 6 ~2009. 11. 7
		2009. 12. 14 ~2010. 2. 14
H22d	L=160~260m	2010. 8. 11 ~2010. 9. 13
		2010. 9. 25 ~2010. 10. 29
	L=260m	2011. 1. 22 ~2011. 2. 23
H23d	L=325m	2011. 8. 29 ~2012. 10. 3
		2011. 12. 18 ~2012. 1. 17
		2012. 1. 18 ~2012. 2. 18
H24d	L=325~391m	2012. 9. 22 ~2012. 10. 26
		2012. 11. 10 ~2012. 12. 12
		2012. 12. 25 ~2013. 1. 28
H25d	L=391m	2013. 8. 29 ~2013. 9. 29

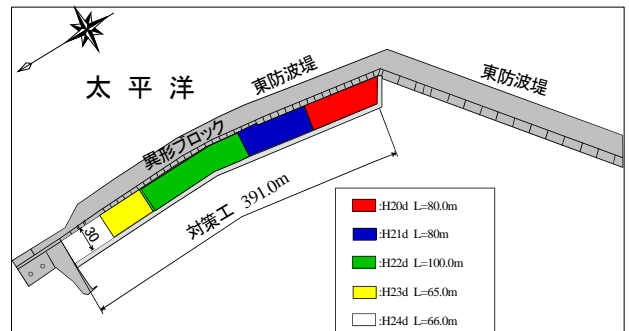


図-4 長周期波対策工の施工年度・延長

表-2に観測位置の座標、図-5に勇払沖（苫小牧港西港沖）の波浪観測位置、図-6に現地波浪観測位置を示す。

波浪観測位置は、過去に係留索切断等の船体動揺被害が顕著に発生したフェリーふ頭と入船ふ頭の前面2カ所 St. 1、St. 2、と長周期波対策工の前後の2カ所 St. 3、St. 4とした。なお、平成24年度の11月と12月の現地観測は、工事の関係上、St. 3の位置を移動して観測を実施している。勇払沖観測地点のデータは、平均波高比算定時等の沖波の基準データとして活用している。

表-2 観測位置の座標

地点名	北緯	東経
St. 1	42-38-20.5	141-37-42.0
St. 2	42-38-11.5	141-38-08.2
St. 3	42-37-35.0	141-37-44.9
St. 3 (移設時)	42-37-34.5	141-37-44.9
St. 4	42-37-11.4	141-37-25.3
勇払沖	42-35-51.0	141-41-56.0

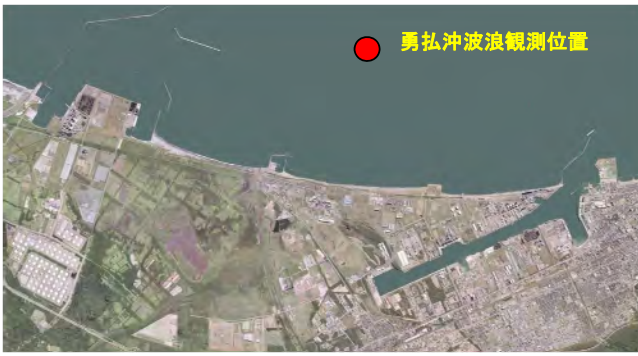


図-5 勇払沖の波浪観測位置

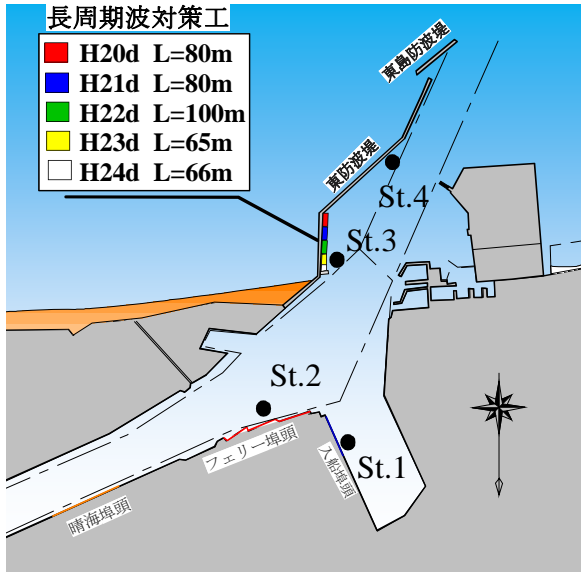


図-6 長周期波対策工の平面配置

(2) 対策工の延長別の観測結果

図-7に、長周期波対策工の延長別平均波高比を示す。なお、対象とした観測データは、観測データのサンプル数等を考慮し、60昼夜以上のデータ数を確保しているL=0m、L=160m、L=325mの観測データを対象とした。

勇払沖を基準とした各地点の平均波高比は、長周期波対策工の延長とともに、平均波高比が減衰する傾向を示し、対策工の整備効果および延伸効果が確認された。

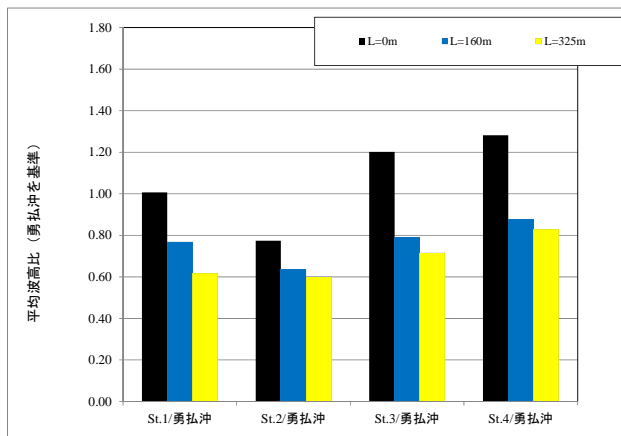


図-7 長周期波対策工の延長別平均波高比

(3) 水位変動スペクトル

図-8に、代表的な長周期波高発達時（平成25年9月22日～9月27日）の経時変化を示す。勇払沖の長周期波高は、平成25年9月24日に0.1m以上を観測した。港内の長周期波高は、St.4で0.1m以上を観測した。その他の地点では、0.1m未満であった。水位変動スペクトルの対象ケースは、平成25年9月24日10時のケースを対象に検討を行った。

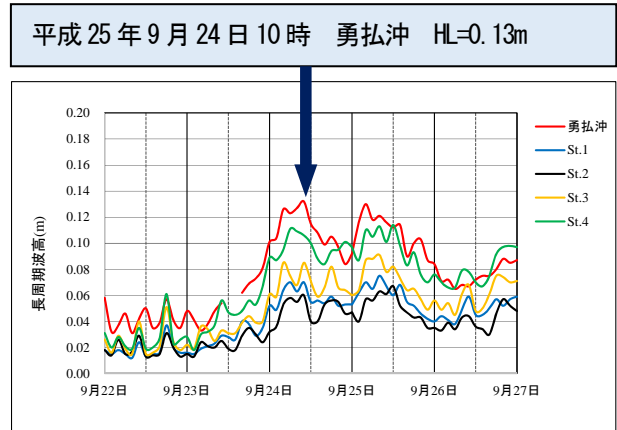


図-8 長周期波高の経時変化  
(平成25年9月22日～27日)

図-9に、平成25年9月24日10時の水位変動スペクトルと周波数帯別の増幅率（St.3）を示す。

勇払沖の水位変動スペクトルは、長周期波の周期帯（30s～600s）で、周期60s～90sにピークを持つ波浪が来襲しており、St.3の水位変動スペクトルは、周期90s付近にピークがみられた。勇払沖を基準としたSt.3の各周期帯の増幅率は、周期100s付近がやや増幅傾向にあった。増幅傾向にあった要因としては、港の固有振動もしくは反射の影響が考えられる。なお、St.3の水位変動スペクトルのピークは、長周期波対策工の設計周期90sと概ね一致することから、長周期波対策工の反射率を検討する上で、重要なケースであると考えられる。

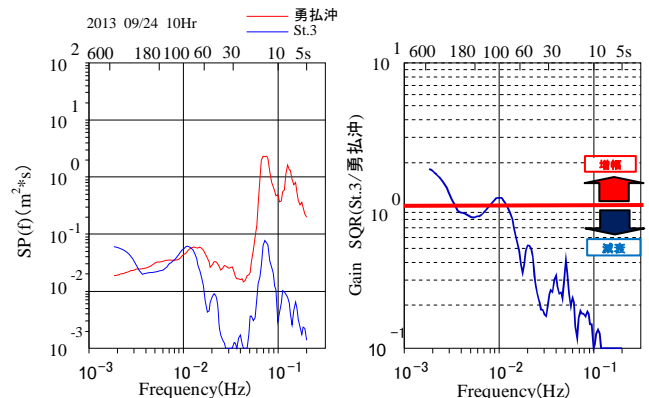


図-9 勇払沖・St.3 水位変動スペクトル

## 4. 長周期波対策工の反射率検証

### (1) 反射率の検証方法

長周期波対策工の反射率を把握するためには、現地観測結果と数値計算結果を総合的に検討することが必要である。波浪変形計算を用いて長周期波対策工の反射率を0.6から1.0に変化させた反射率毎の計算結果と観測値を比較し、誤差割合が最も小さい反射率を求めた。なお、これまでの報告<sup>4)</sup>では整備途上を対象としてきたが、本報告では長周期波対策工完成時を対象とした。

### (2) 波浪変形計算方法の選定

長周期波マニュアルによれば、長周期波は、風波成分の非線形干渉で生じる拘束長周期波、海岸付近で拘束が解除されて自由に伝搬する長周期波からなるため、浅海域における波の分散性と非線形性を考慮して計算しなければならないとある。港内長周期波の変形を求める数値計算方法としては、「ブシネスク方程式を用いた非線形型波浪変形モデル (NOWT-PARI Ver4.6β) (H13.12)」（独立行政法人港湾空港技術研究所）が開発されている。波浪変形計算は、このブシネスクモデル (NOWT-PARI Ver4.6c7a) を用いた。

### (3) 計算条件の設定値

表-5 に計算条件の一覧、図-10 に入射条件に用いた波浪スペクトルを示した。

入射条件は、完成時の観測データを対象に勇払沖で長周期波高 0.1m 以上を観測した平成 25 年 8 月 30 日 8 時と平成 25 年 9 月 24 日 10 時のケースを対象とした。

表-5 計算条件の一覧

項目	設定条件
メッシュ長	$\Delta S=20.0m$
計算領域	17.1km×10.6km
検討港形	H25d 港形 (長周期波対策工 L=391m)
対策工反射率	$K_r=0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0$
入射条件(8.30)	HL=0.12m 波向 SSE $S_{max}=10$
入射条件(9.24)	HL=0.13m 波向 S $S_{max}=10$

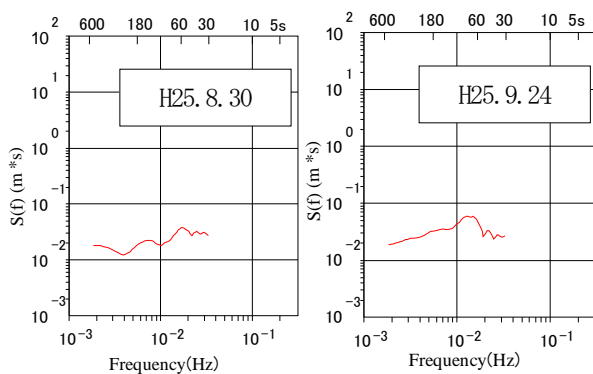


図-10 入射条件に用いた波浪スペクトル

### (4) 検討ケース毎の反射率検証

図-11 に検討ケース毎の対策工反射率と誤差割合の関係を示す。なお、図-11 に示した各ケースの誤差割合の値は、St.1~St.4 までの全ての値を平均した値である。

観測値と計算値から求めた誤差割合の値は、各ケースともに、反射率  $K_r=0.6\sim 0.8$  の間で誤差割合が最低値となり、概ね同様な傾向を示した。全ケースを平均すると反射率 0.7 で最も観測値と計算値の誤差割合が小さくなり、苫小牧港西港区における長周期波対策工の反射率は  $K_r=0.7$  と推定された。

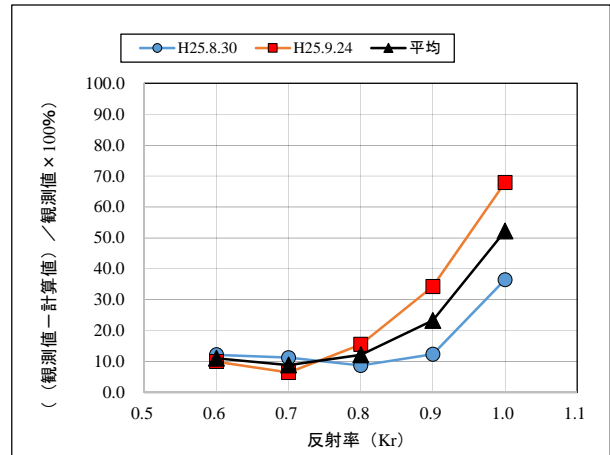


図-11 検討ケース毎の対策工反射率と誤差割合の関係

### (5) 地点別の反射率検証

図-12 に、地点別の反射率と誤差割合の関係を示す。

図-12 に示した各ケースの誤差割合の値は、全てのケースの誤差割合の値を地点別に平均したものである。地点別にみると、長周期波対策工に最も近い St.3 の誤差割合の平均値は、反射率  $K_r=0.6\sim 0.8$  の間で誤差割合が最低値となり、 $K_r=0.7$  の誤差割合が最も小さい値を示した。なお、現地観測結果で周期 90s にピークが示した平成 25 年 9 月 24 日 10 時の St.3 の誤差割合は、 $K_r=0.7$  の誤差割合が最も小さな値を示した。

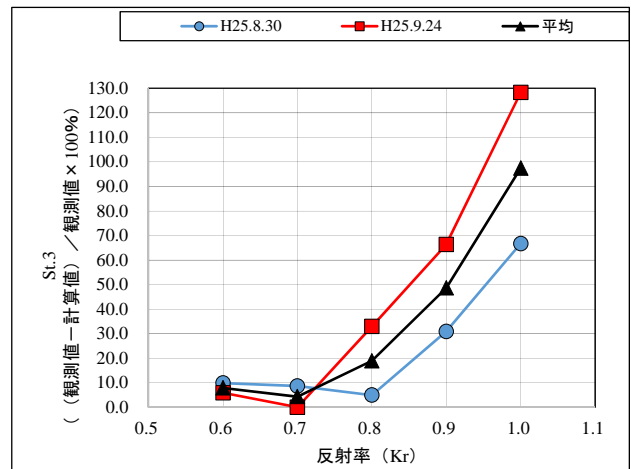


図-12 地点別の反射率と誤差割合の関係



## 5. おわりに

苫小牧港西港区において利用障害低減を目的として、全国で2例目となる吸収層による長周期波対策工を計画・設計し、平成24年度に完成した。当該施設を対象とした現地観測により得られた成果は以下の通りである。

- ①施工期間中の現地観測による、St. 1～St. 4の対象地点において、長周期波対策工の延伸に伴って波高比が低減していることが確認された。
- ②完成時の観測データと波浪変形計算を用いて、長周期波対策の反射率を推定した結果、長周期波対策工の反射率は $K_r=0.7$ と推定され、設計目標の反射率と一致する結果となった。

本研究の成果から、長周期波対策工による波高比の低減効果が確認された。また、推定した反射率と設計目標反射率が一致したことから、これまでの検討手法および設計手法が概ね妥当であったと考えられる。今後、利用

障害の改善効果を確認するため、引き続き現地観測を行う必要があると考えられる。

**謝辞：**長周期波対策工を検討するにあたり、ご指導ご協力頂いている室蘭工業大学大学院木村克俊教授をはじめとする、苫小牧港長周期波評価検討会のメンバーに、深く感謝を申し上げます。

## 参考文献

- 1) (財)沿岸技術研究センター：港内長周期波影響評価マニュアル，2004
- 2) 山田晶子，国栖広志，爲弘哲也，小平田浩司，平石哲也：石巻港における長周期波の消波対策に関する検討，海洋開発論文集，第21巻，2005
- 3) 松野健，青野奨，矢野隆博：苫小牧港西港区における長周期波対策工の概要とその効果について，第53回平成21年度北海道開発局技術研究発表会論文集，2009
- 4) 松野健，伊藤千尋：苫小牧港における長周期波対策工の効果検証，第55回平成23年度北海道開発局技術研究発表会論文集，2011