

苫小牧港における 長周期波対策工の効果検証

今 卓也¹・松野 健²・小葉松和也¹・田川 人士¹・葛西 弘行³

¹北海道開発局室蘭開発建設部苫小牧港湾事務所計画課（〒053-0011 北海道苫小牧市末広町1-1-1）

²北海道開発局小樽開発建設部小樽港湾事務所第一工務課（〒047-0008 北海道小樽市築港2-2）

³日本データサービス株式会社（〒065-0016 札幌市東区北16条東19丁目1-14）

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。しかし近年、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、係留索切断などの問題が発生している。このため、苫小牧港西港区において、2008年度より東防波堤背後の未利用水面に、長周期波の反射波低減が可能な吸収層を持つ長周期波対策工の整備を進めている。

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した長周期波高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

苫小牧港は、札幌市の南約 60km に位置しており（図-1）、世界初の本格的な堀込み式の港湾として 1951 年の工事着手以降、港湾整備の進捗とともに貨物量が増大し、現在では全道港湾貨物量の約半数を扱い、北海道経済にとって重要な役割を担っている。

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、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、利用に支障を来している。そこで、荷役障害低減を目的として、東防波堤背

後の未利用水面に長周期波の反射波低減が可能な吸収層を持った対策工を計画し、2008年度より施工を開始した。

本報告では、波浪観測結果をもとにこの長周期波対策工の波高低減効果を明らかにすることを目的とする。

2. 長周期波対策工の概要

(1) 施設配置

近年、図-2に示す苫小牧港西港区では、特に入船ふ頭及びフェリーふ頭で船体動揺による荷役障害等の被害が発生している。旅客貨物輸送の定時性確保及び被害時対応における岸壁利用者の費用負担発生が問題となっているため、利用者からは早急な対策が要請されている状況にあった。長周期波対策としては、防波堤延伸等により港内への波浪の進入を抑制することが有効な対策の一つと考えられるが、防波堤整備には多大な施工費・期間が必要となる。



図-1 苫小牧港の位置



図-2 苫小牧港西港区各施設位置

このような背景から、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に図-3に示す長周期波対策工を設置することとした。

(2) 長周期波対策工の構造

長周期波対策工の形状は、図-4に示すように中割石(30~300kg/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。

吸収層天端幅は、目標反射率に対する必要幅として山田らの模型実験・理論式¹⁾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²⁾。

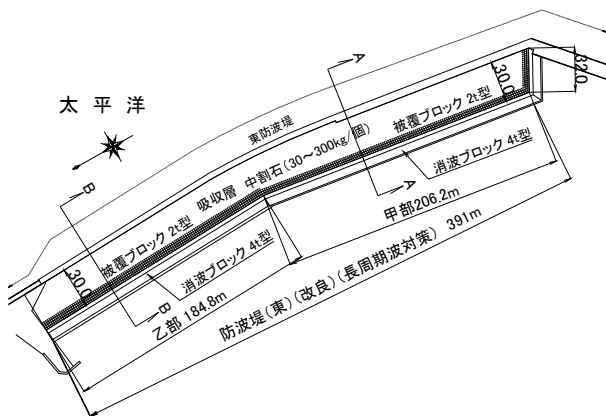


図-3 長周期波対策工の平面配置

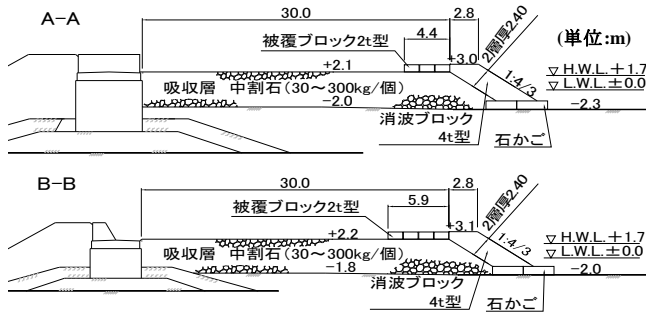


図-4 長周期波対策工の断面形状

(3) 長周期波対策工の目標反射率と静穏度

港内長周期波影響評価マニュアル³⁾ ((財) 沿岸技術研究センター) (以後、長周期波マニュアルと呼ぶ) によれば、両面スリットケーン護岸、自然海浜等で透水性の確保できるものの長周期波反射率の参考値として0.7が示されていることから、この値を目標反射率として設定した。

また、反射率を0.7とした対策工について、設定した位置や所要延長のもとで静穏度解析を行い静穏度向上効果を確認している。図-5に、長周期波の静穏度解析結果を示す。対策工を配置した現況港形(2007年時)の解析を行った結果、晴海ふ頭を除くふ頭で目標値を満足する結果となった。さらに、対策工を配置した将来港形では、全てのふ頭で目標値を満足する結果が得られた²⁾。

3. 現地観測

(1) 長周期波対策工の整備状況

長周期波対策工は図-3に示す通り全体延長391mを計画しており、そのうち2008年度に80mまで、2009年度に160mまで、2010年度末時点で260mまで施工を完了している。写真-1は、2011年3月に撮影した260m完成時の施設状況である。写真-2、3は、2011年度及び今年度工事施工時の状況である。今年度内の施設の完成に向けて残りの区間についても、鋭意整備を進めている。

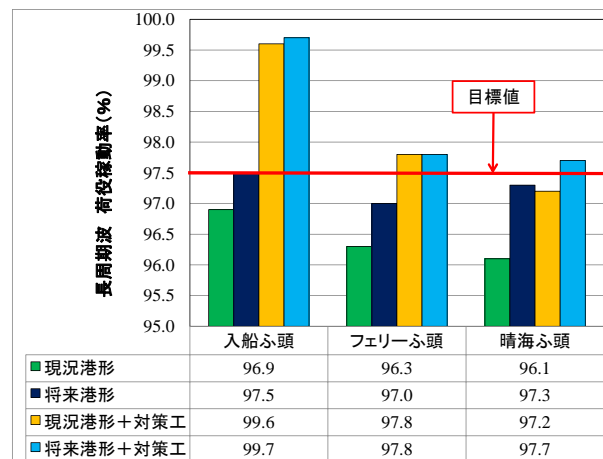


図-5 主なふ頭の静穏度解析結果

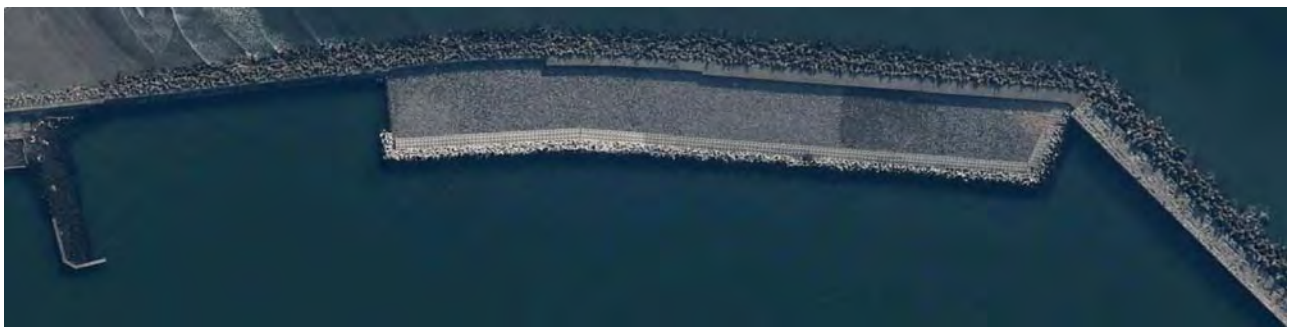


写真-1 長周期波対策工 航空写真 (2011年3月撮影)



写真-2 長周期波対策工施工状況 (2011年4月撮影)



写真-3 長周期波対策工沖側端部 (2012年4月撮影)

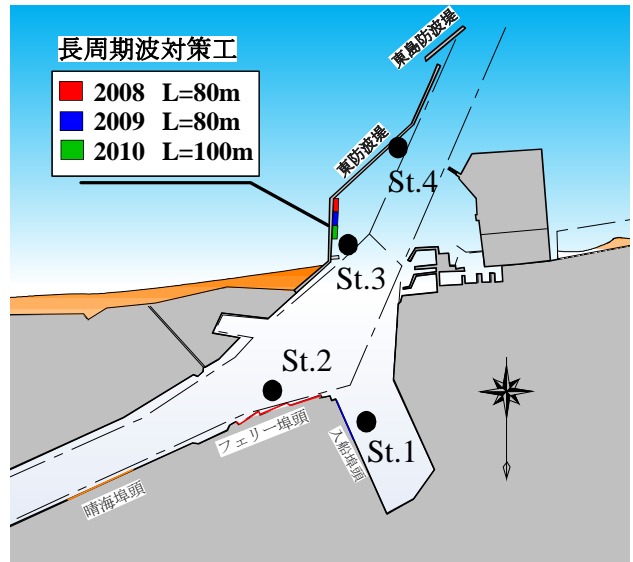


図-6 現地観測位置



図-7 勇払沖の波浪観測位置

表-1 現地調査の実施期間

観測年度	対策工延長	期間
2005	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
2008	L=0~80m	2008.10.10 ~2009.2.9
2009	L=160m	2009.10.6 ~2009.11.7
		2009.12.14 ~2010.2.14
2010	L=160~260m	2010.8.11 ~2010.9.13
		2010.9.25 ~2010.10.29
		2011.1.22 ~2011.2.23

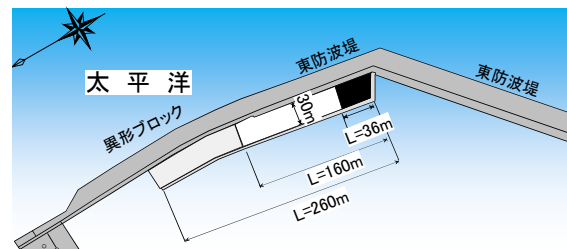


図-8 完成延長別の配置 (36m, 160m, 260m)

(2) 観測位置と観測期間

本研究での波浪観測位置は、図-6に示す過去に係留索切断等の船体動揺被害の発生したフェリーふ頭と入船ふ頭の前面2カ所St.1,2と長周期波対策工の前後の2カ所St.3,4とした。現地観測期間は、表-1に示すとおり長周期波対策工の建設前と建設過程毎に実施した。観測は、0.5秒毎の連続観測により、長周期波対策工建設前の2005年に計60昼夜、施工開始した2008年から2010年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。また、沖波のデータとして、苫小牧港西港沖(勇払沖)観測地点(図-7)のデータを活用した。

(3) 対策工延長別の観測値の比較

図-8は、波浪観測時における2008年の完成延長36m, 2009年の160m, 2010年の260mの施工状況を示したものである。図-9に、長周期波対策工の完成延長別(0m, 36m, 160m, 260m)における苫小牧西港沖(勇払沖0.1m以上)と港内St.1~St.4の長周期波高の平均波高比を示す。

長周期波対策工の延長とともに長周期波高が低減していることが明らかとなり、特に36m整備時の効果が高い結果となった。当該箇所は、隅角部にあり多重反射による波高増幅が顕著な箇所である。対策工は、隅角部から整備を開始したため、反射による波高増大を防ぐ効果が大きく現れたためと推定される。対策工建設前と対策工延長260mの平均波高比を比較した場合、St.1では約55%、St.2では約46%平均波高比が減衰していた。

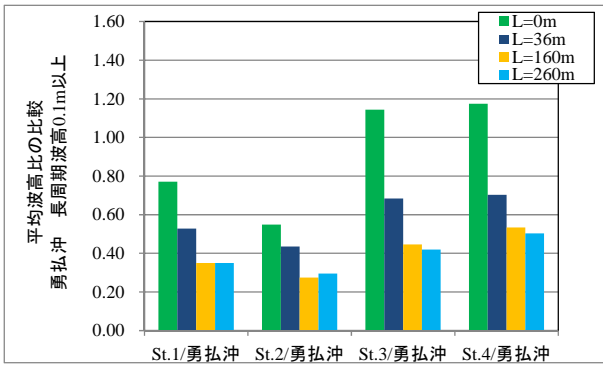


図-9 対策工の延長と各地点の長周期波の平均波高比

4. 長周期波対策工の効果検証

(1) 波浪変形計算モデルの設定

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。数値計算モデルは、このブシネスクモデルを用いた。

(2) 計算条件および検討ケース

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。ブシネスクモデルを用いて長周期波対策工の反射率を変化させた港内長周期波高の数値計算結果と現地観測結果を比較することにより、誤差割合が最も小さい反射率を求め、設定した目標反射率の妥当性を検討した。

各計算条件を表-2に示す。長周期波対策工の反射率は0.6から1.0までの5ケースを計算対象とした。入射条件は、現地観測期間中に観測した代表的な高波高時として7ケース設定した。

図-10に入射条件に用いた代表的な荒天時の波浪スペクトルを示す。

(3) 長周期波対策工の反射率の検討

対象波浪とした7ケースについて、観測値と計算値の誤差割合を比較した結果を図-11に示す。ただし、これはSt.1からSt.4までのすべての値を平均したものである。

各ケースとも反射率0.6から0.8の間で誤差割合が最低値となり、おおむ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目標反射率0.7の妥当性が確認できた。

表-2 計算の設定条件

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	現況港形に対策工を配置した港形
対策工延長	L=80m, 160m, 260m
対策工反射率	$K_r=0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0$
入射条件	長周期波高発達時(7ケース)
入射スペクトル	30~600s (実測スペクトル)
成分波数	250

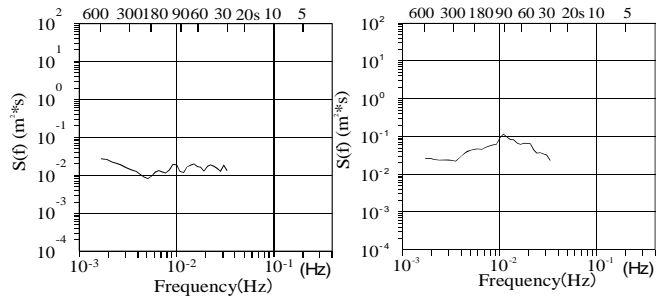


図-10 代表的な入射条件の波浪スペクトル

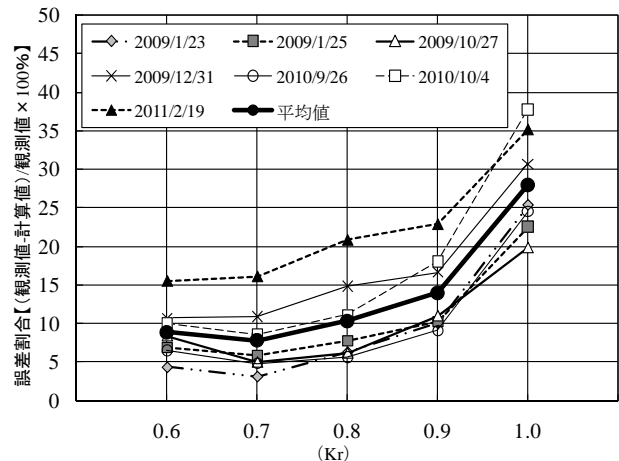


図-11 対策工反射率の誤差割合

(4) 長周期波対策工延長の効果

対策工の延長効果に関する計算値と観測値の比較検討を行った。表-3に、計算条件を示す。なお、計算条件は、図-5で示した対策工検討時と同一条件である（対策工の延長を除く）。

図-12に、苫小牧西港沖（勇払沖）と対象ふ頭の前面（St.1,2）の長周期波の平均波高比（勇払沖0.1m以上）と対策工延長の関係を示す。なお、図中に示した計算値は、表-3で示した対策工検討時の計算条件で延長別に解析した結果である。対策工の施工延長が伸びることにより、平均波高比が低減する傾向であること及び数値解析により精度良く再現できていることが確認できる。

表-3 計算の設定条件

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	現況港形に対策工を配置した港形
対策工延長	$L=0m, 80m, 160m, 260m, 391m$
対策工反射率	$K_r=0.7$
入射条件	HL=0.1m 波向 SSE, S, SSW
入射スペクトル	周期 90s にピークを持つスペクトル (30~600s)
成分波数	250

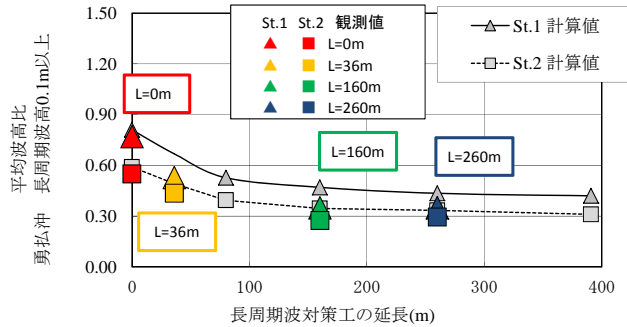


図-12 対策工延長別の平均波高比計算値と観測値の比較

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、吸収層による長周期波対策工を計画・設計し、今年度の完成に向けて、現在施工を進めている。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長周期波対策工の反射率について現地観測値と数値計算結果を比較検討したところ、長周期波マニュアル、水理模型実験の結果等を用いて設定した反射率0.7の妥当性が確認された。

②施工前施工中の現地観測により、対象ふ頭前面の長周期波平均波高比が、対策工の延伸と共に低減する傾向が初めて確認され、その傾向は計算値とほぼ一致した。また、平均波高比は港口付近を含めた観測箇所においても低減されていて、港内全域で効果があることがわかった。

本港での長周期波対策工は、北海道で最初の対策施設として整備を進め、今年度完成する予定である。北海道内では、長周期波が要因となる利用障害が他の港湾や漁港においても発生しており、その対策が急務となっているが、本港の施工・調査事例を参考といただければ幸いである。

本研究の成果から、長周期波対策工の効果が期待できることが明らかとなった。完成時における効果を確認するため、引き続き現地観測を行い、最終的な効果をさらに検証していく予定である。

謝辞：長周期波対策工を検討するにあたり、ご指導ご協力頂いた室蘭工業大学大学院木村克俊教授、京都大学防災研究所平石哲也教授、(独)寒地土木研究所山本泰司上席研究員をはじめとする関係各位に、深く感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 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
- 2) 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
- 3) (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