

長周期波対策施設による静穏度向上効果

池内章雄*・高山知司**・三井道雅***・森屋陽一****

* (財) 沿岸技術研究センター 調査役

** (財) 沿岸技術研究センター 理事

*** 前 (財) 沿岸技術研究センター 調査役

****前 (財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員

秋田港では、港内に傾斜堤タイプの長周期波対策施設を設置し、長周期波の波高を低減させることによって、即時的な静穏度の向上を図っている。本研究では、秋田港の長周期波対策施設前背面で波浪観測を行い、長周期波対策施設の反射率を推定するとともに、施設整備の進捗に応じた静穏度の検討を行い、長周期波対策施設の適切な配置による静穏度向上効果について数値的に確認した。

キーワード：長周期波，傾斜堤，静穏度，反射率，ブシネスク方程式

1. はじめに

多くの港湾において長周期波によると考えられる係留索の破断や荷役障害が問題となっている。一般の公共岸壁を対象として、長周期波の問題に対応するためには、泊地の長周期波の波高を低減し静穏度を向上させることが有効であり、防波堤の延伸や港内への長周期波対策施設^{1), 2)}の設置が考えられている。ただし、防波堤の延伸は整備期間が長くなるため、即時的な静穏度の向上には港内への長周期波対策施設の設置が有効である。

本研究では、秋田港の防波堤の港内側に沿って設置された長周期波対策施設の前後面で水位と流速等の現地観測を実施し、これまで明らかにされていなかった現地での傾斜堤タイプの長周期波対策施設の長周期波に対する反射率を推定した。さらに、ブシネスク方程式を用いた波浪場解析により、現状および将来の施設整備の進捗に応じた、長周期波に対する静穏度の検討を行った。そして港内長周期波対策施設の静穏度向上効果について調べた。

2. 現地観測の概要

2.1 長周期波対策施設の整備状況

現在、秋田港では第一南防波堤波除堤区間および外港地区の護岸前面において、傾斜堤タイプの長周期波対策施設の整備を進めている。図-1 に平成 19 年度 (2007 年度) の波浪観測時点での長周期波対策施設の整備状況を示す。防波堤港内側の防波堤波除堤区間において、港口側 130m, 港奥側 50m が整備済みの状況である。

2.2 観測期間および観測位置

2008 年 2 月 7 日～3 月 11 日 (34 日間) に港口 (St. 0) および図-2 と図-3 に示す港口側の対策施設前背面 (St. 1

～St. 4) において水位、水圧、水平 2 成分流速の観測を実施した。

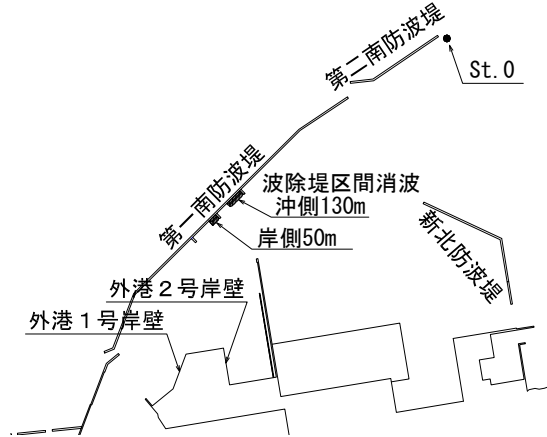


図-1 秋田港の長周期波対策施設位置図

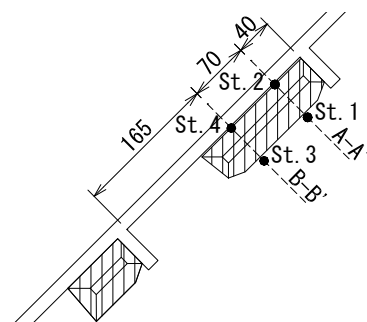


図-2 波浪観測位置 (単位:m)

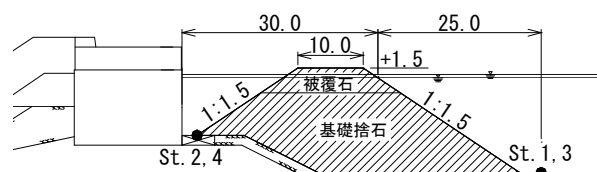
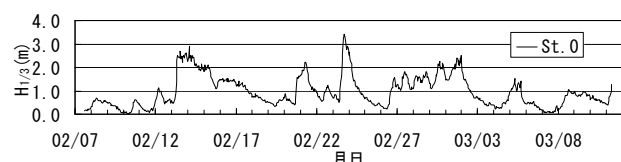


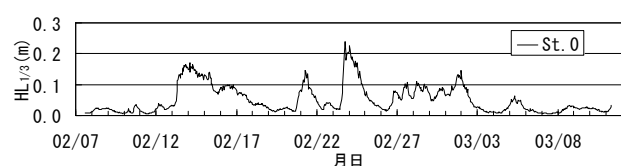
図-3 長周期波対策施設の断面および観測位置 (単位:m)
(被覆石 1000kg/個, 基礎捨石 200~500kg/個)

2.3 解析対象期間の設定

観測期間における観測データを1時間単位で、全成分および長周期波成分の統計処理を行った。St. 0における全成分、長周期波成分の有義波高の経時変化を図-4に示す。ここで、長周期波成分の周期帯は30s~300sとした。観測期間中、St. 0における全成分の有義波高が2m以上となった表-1に示す4期間を高波イベントとして抽出した。



(a) 全成分



(b) 長周期波成分 (30s~300s)

図-4 有義波高の経時変化(St. 0)

表-1 抽出した高波イベント発生時刻

イベント No.	観測時刻
No. 1	2008/02/14 02~03 時
No. 2	2008/02/21 07~08 時
No. 3	2008/02/23 17~18 時
No. 4	2008/03/02 00~01 時

3. 長周期波対策施設の反射率の推定

長周期波対策施設の反射率について、以下の方法により推定した。

- ① ブシネスク方程式を用いた水路モデルの波浪場解析により、長周期波対策施設の性能を表すパラメータであるエネルギー吸収係数と反射率の関係を求める。
- ② ブシネスク方程式を用いた平面モデルによる港内長周期波浪場の再現計算結果と現地観測結果との比較により、現地観測結果を最もよく再現する吸収係数を推定する。
- ③ 水路モデルで求めた吸収係数と反射率の関係から長周期波対策施設の反射率を求める。

ここで、ブシネスク方程式を用いた波浪場解析には、港湾空港技術研究所により開発された NOWT-PARI Ver. 4. 6c5a³⁾を用いた。

3.1 反射率とエネルギー吸収係数の関係

ブシネスク方程式を用いた水路モデルの波浪場解析により、長周期波対策施設の消波性能を表すパラメータで

あるエネルギー吸収係数を変化させたときの反射率の感度分析を行った。

(1) 長周期波対策施設のモデル化

水路モデルの計算格子間隔は長周期波対策施設の幅との関係から10mとし、水深は現地の状況から14mとした。長周期波対策施設は傾斜堤タイプであるため、その断面のモデル化は、防波堤(直立壁)から30m離れた位置が前面法肩となるように、3格子(30m)に吸収係数を設定した。また、長周期波対策施設の中央と法面とでは波浪の減衰の度合いが異なると考えられるため、両サイドの吸収係数は中央の吸収係数の半分の値とした。入射波は非線形性の影響を受けないように波高1cmの規則波とし、6周期(10, 30, 50, 60, 80, 100s)を検討した。

(2) 反射率の算定

水位および水路長方向の流速を用い、線形長波理論により入・反射波の分離を行い、反射率を求めた。水路モデルによる反射率の算定結果を図-5に示す。本研究で着目している長周期波の周期は60~90s程度であり、ここで検討したエネルギー吸収係数0.0~3.0の範囲は、周期60sに対しては反射率0.74程度以上、80sに対しては反射率0.80程度以上に対応していることを示している。

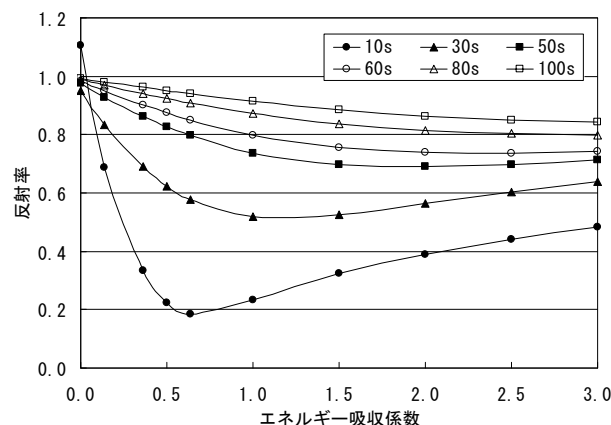


図-5 エネルギー吸収係数に対する反射率の算定結果

3.2 平面モデルによる検討

長周期波対策施設の設置位置にエネルギー吸収係数を設定して、ブシネスク方程式を用いた秋田港の平面波浪場解析を実施し、観測波高との整合性より反射率の推定を行った。検討条件は、観測期間中で最も高波浪であったイベントNo. 3 (2008/02/23 17~18 時) の条件とした。

(1) 計算条件および計算ケース

計算時間間隔は0.25sとし、格子間隔は10mとした。入射波高はSt. 0における観測波高と計算波高の整合により入射波境界で0.183mを与えた。入射波の周波数スペク

トルは、30s~300s で矩形のエネルギー分布となる不規則波とし、波向は観測期間における St. 0 の風波の波向と同一の単一方向として与えた。計算は緩起動造波時間 300s を含めて 7200s 行い、港内の波高が定常になる 3600s 以降のデータを用いて解析した。

計算ケースは表-2 に示す 6 ケースとし、周期 80s に対する長周期波対策施設の反射率は 0.83~1.0 である。表-2 の吸収係数の値は、長周期波対策施設の中央での設定値である。

表-2 エネルギー吸収係数と反射率の対応[周期 80s]

Case.	Case. 1	Case. 2	Case. 3	Case. 4	Case. 5	Case. 6
吸収係数	1.60	1.00	0.64	0.36	0.14	0.00
反射率	0.83	0.87	0.91	0.94	0.97	1.00

(2) 反射率の推定

数値計算の精度を勘案し、まず、観測波高および計算波高のそれぞれの St. 1~4 の平均値が等しくなるように計算波高を補正した。次いで、観測波高から補正後の計算波高を差し引き、観測波高で無次元化した値の St. 1~4 の平均値を誤差として、誤差が最小になる吸収係数から、表-2 の関係を用いて長周期波対策施設の反射率を推定した。ここで、反射率としては、周期 80s の波に対する値とした。図-6 に各設定反射率に対するイベント No. 1~4 の誤差およびその相加平均値、標準偏差について整理した。この結果より、対象としたイベントによりばらつきはあるものの誤差が最小となる範囲から、長周期波対策施設の反射率は周期 80s に対して 0.91~0.97 の間であるといえる。

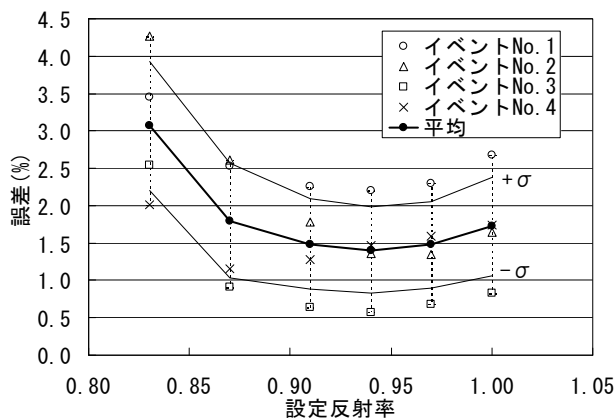


図-6 設定反射率と誤差の関係

4. 対策施設の整備による静穏度向上効果

現状および将来の施設整備の進捗に応じた、長周期波に対する静穏度の検討を行い、港内長周期波対策施設による静穏度向上効果について検討した。静穏度算定の対象としたのは、図-1 に示した外港 1 号および 2 号岸壁で

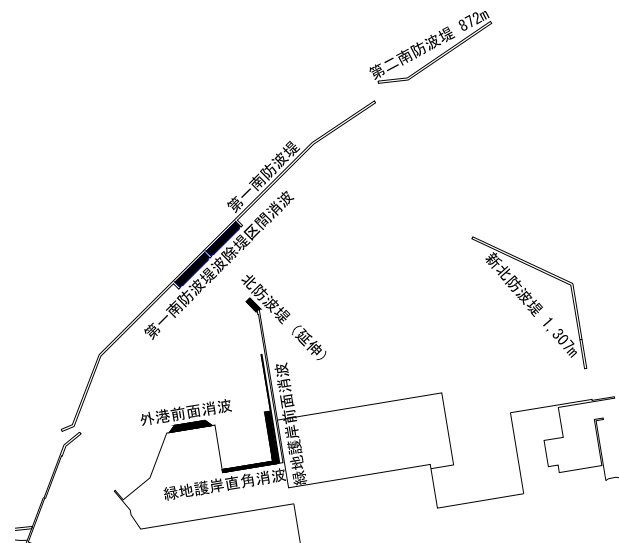
ある。静穏度の算定は、マニュアルの標準解析法⁴⁾に従った。

4.1 検討港形

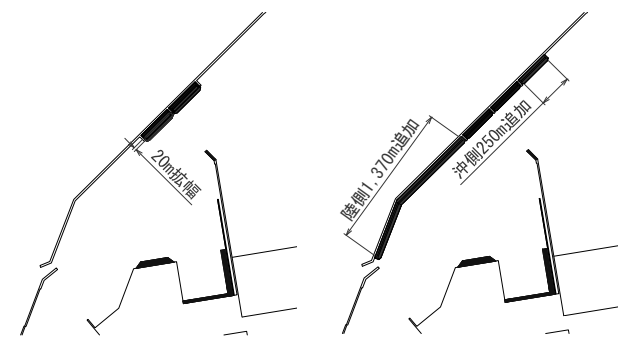
検討した港形は表-3 に示す 5 ケースとした。このうち、②および④、⑤を図-7 に示す。①の長周期波対策施設なし (平成 16 年度) は、図-7 に示す防波堤延長で港内の長周期波対策施設が設置されていない状態、③の防波堤の整備も含めた港湾計画完成時は、図-13 に示した②の状態に加えて主として第二南防波堤が 872m から 1500m に延伸されている状態である。④および⑤は、②平成 23 年度予定の長周期波対策施設完成港形に対して、港内の長周期波対策施設による静穏度向上対策として位置付けて設定したケースである。

表-3 検討ケース

①	長周期波対策施設なし (平成 16 年度)
②	長周期波対策施設完成 (平成 23 年度予定)
③	防波堤の整備も含めた港湾計画完成時
④	②平成 23 年度予定港形の静穏度向上対策 長周期波対策施設の 20m 拡幅
⑤	②平成 23 年度予定港形の静穏度向上対策 長周期波対策施設の 1620m 延長



(a) ②長周期波対策施設完成 (平成 23 年度予定)



(b) ④20m 拡幅

(c) ⑤1620m 延長

図-7 検討港形

4.2 静穏度算定条件

港口での長周期波高の出現頻度は1994年～2003年の10年間のデータを用い、静穏度算定時の荷役限界波高は対象船舶を考慮して10cmとした。計算におけるエネルギー吸収係数は、対策施設の設置水深の違いにより反射率が変化するを考慮し、推定した長周期波対策施設の反射率を既往の実験結果⁵⁾により補正して設定した。

4.3 静穏度算定結果

静穏度の算定結果を図-8に示す。なお、ここで静穏度の目標値としては、港湾の施設の技術上の基準・同解説⁶⁾に従い97.5%とした。

②平成23年度予定港形の静穏度は外港1号で96.5%、外港2号で96.4%と、①平成16年度港形の静穏度に対して、それぞれ5.0%および9.3%向上する。また、③港湾計画完成予定港形の静穏度は外港1号で98.4%、外港2号で98.4%と、何れも目標値である97.5%以上を満足する結果が得られた。

平成23年度予定港形に着目し、④長周期波対策施設を20m拡幅した場合の静穏度は、外港1号で96.7% (0.2%向上)、外港2号で96.9% (0.5%向上) と僅かではあるが静穏度が向上する結果となった。同様に⑤1620m延長では外港1号に対する効果が大きく98.3% (1.7%向上) と目標値としている97.5%以上となったが、外港2号に対しては97.2% (0.8%向上) と0.3%ほど目標値を満足できなかった。

この結果より、長周期波対策施設を港内に適切に配置することで、一般に整備に長期間を要する防波堤の延伸と同様の効果を得られるといえる。

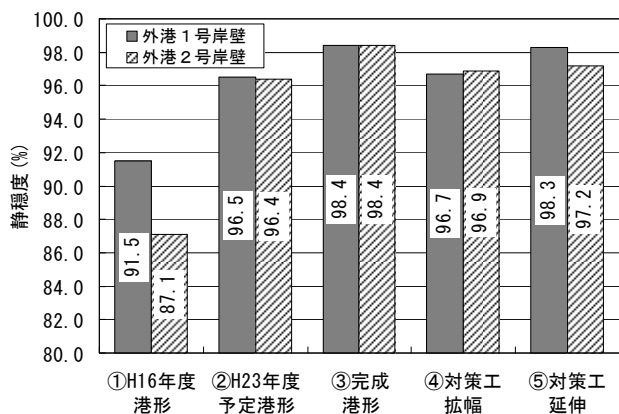


図-8 静穏度算定結果

5. おわりに

現地観測を実施し、秋田港の第一南防波堤の港内側の波除堤区間に設置された長周期波対策施設の反射率を推定した。その結果、長周期波対策施設の反射率は、周期80sに対して0.91～0.97の間であった。

計画している長周期波対策施設の設置が完了する平成23年度予定港形では、長周期波対策施設がない平成16年度港形に比べて荷役稼働率が5%以上向上する。さらに、長周期波対策施設を拡幅または延伸させることで、静穏度をより向上させることができることも確認できた。以上より、長周期波対策施設を港内に適切に配置することによって、整備に長期間を要する防波堤の延伸と同様の効果を得られるといえる。

なお、本論文は参考文献の7)の一部に加筆修正したものである。

参考文献

- 1) 平石哲也, 永瀬恭一: 長周期波対策護岸の最適構造に関する実験, 海岸工学論文集, 第51巻, pp.721-725, 2004.
- 2) 大島香織, 森屋陽一, 水流正人, 杉田繁樹, 平石哲也: 渦による消波効果を活用した長周期波対策施設の特性, 海洋開発論文集, 第22巻, pp.145-150, 2006.
- 3) 港内長周期波影響評価マニュアル: (財) 沿岸技術研究センター, 86p, 平成16年8月.
- 4) 平山克也: 非線形不規則波浪を用いた数値計算の港湾設計への活用に関する研究, 港湾技術研究所資料, No.1360, 162p, 2002.
- 5) 山田晶子, 国栖広志, 爲廣哲也, 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, pp.785-790, 2005.
- 6) 国土交通省港湾局監修: 港湾の施設の技術上の基準・同解説, (社) 日本港湾協会, pp.181, 2007.
- 7) 小澤敬二, 森屋陽一, 山本禎寿, 平山克也, 平石哲也: 秋田港における港内長周期波対策施設による静穏度向上効果, 海洋開発論文集, 第25巻, 2009 (印刷中).