

用地拡張に伴う秋田港静穏度の再検討

宮脇 周作*・高山 知司**・菊地 隆二***・津谷 達彦****

* (一財) 沿岸技術研究センター 調査部 主任研究員

** (一財) 沿岸技術研究センター 参与

*** 前 国土交通省 東北地方整備局 秋田港湾事務所 企画調整課 企画調整課長

****前 国土交通省 東北地方整備局 秋田港湾事務所 企画調整課 企画調整係長

秋田港では、長周期波による荷役障害対策として、港内反射波対策施設が全国に先立ち設置されており、円滑な荷役が可能となっている。しかしながら、今後の秋田港の更なる発展に伴い、用地拡張等により港形が変化し、港内静穏度も変化することが予想される。本研究では、秋田港の将来港形とその整備過程における港形を対象として、風波、長周期波に対する静穏度解析を実施するとともに、静穏度向上策について検討を行った。

キーワード：長周期波，静穏度，傾斜堤，ブシネスク方程式

1. はじめに

本稿は、風波及び長周期波を対象として、秋田港の将来港形とその整備過程港形について静穏度解析を行うとともに、静穏度向上策について検討を行い、港湾計画改訂の基礎資料とすることを目的とした調査をとりまとめたものである。

2. 静穏度解析

2.1 検討ケース

静穏度解析の検討港形を図-1に、検討ケースを図-2、表-1に示す。検討ケースは、用地拡張①～③の有無、およびそれに伴う岸壁建設の有無、泊地水深等の違いによる計7ケースとした。

なお、現在延伸中である第二南防波堤の延長は計画延長(1,500m)とした。



図-1 検討港形 (秋田港)

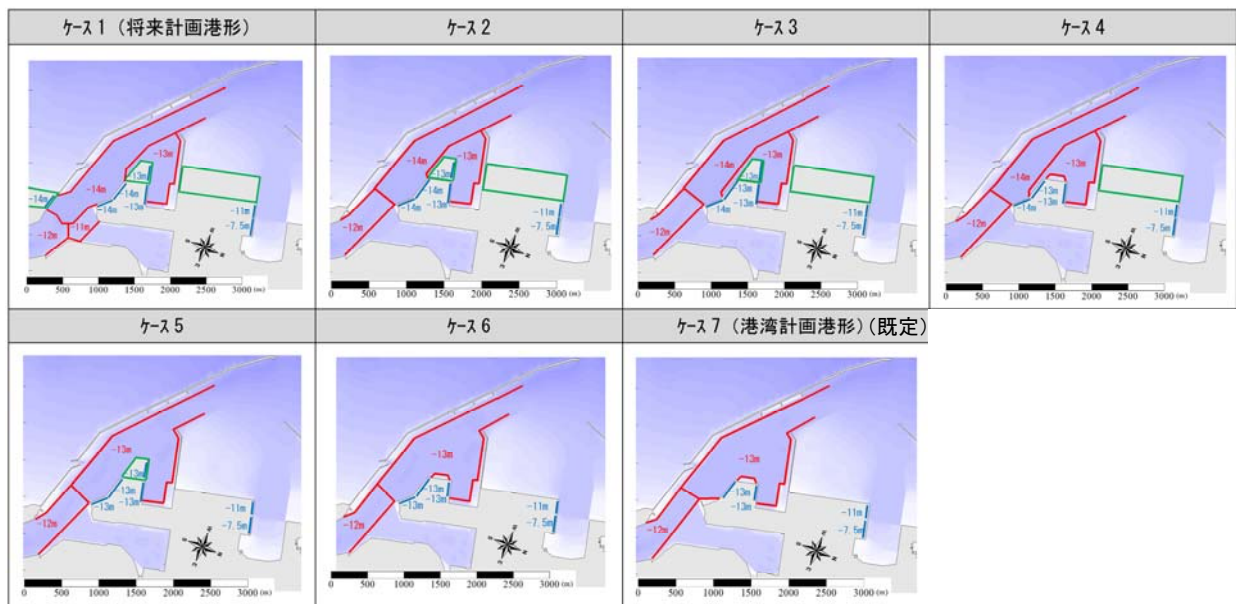


図-2 検討ケース

表-1 検討ケース

| | 用地拡張 | | | 備考 |
|------|------|---|---|---------------|
| | ① | ② | ③ | |
| ケース1 | ○ | ○ | ○ | 将来想定港形 |
| ケース2 | ○ | ○ | | 外港1号岸壁 水深-13m |
| ケース3 | ○ | ○ | | 外港1号岸壁 水深-14m |
| ケース4 | | ○ | | 外港棧橋 水深-14m |
| ケース5 | ○ | | | 外港棧橋 水深-13m |
| ケース6 | | | | 外港棧橋 水深-13m |
| ケース7 | | | | 港湾計画港形(既定) |

2.2 計算条件

(1) 波浪条件

1) 風波

風波の条件は、波浪観測地点（以下、NOWPHAS 秋田）で観測された波浪データ（観測期間：1991年～2015年）のうち、欠測率が5%以下となる10年分の波浪データを用いて設定した。秋田港の風波の特徴は以下のとおりである。

- ①出現率が10%を超える波向は、WSW・W・WNWの3波向であり、その他の波向の出現率は、5%以下と低い。
- ②周期8秒以下の出現率が90%と高い。8秒～13秒の周期の出現頻度は7%程度と低いものの、高波浪の出現頻度が高いことから荷役稼働率に及ぼす影響は高い。
- ③港内静穏度に影響を及ぼす波高1.0m以上の波形勾配は0.03の出現頻度が高い。

以上①～③より、風波の静穏度解析を実施する際の波浪条件は表-2のとおりとする。

表-2 波浪条件（風波）

| | |
|-----------|-------------------------|
| 波高 | $H_0=1.0m$ |
| 周期 | $T_0=8.0s、10.0s$ |
| 波向 | WNW、W、WSW |
| S_{max} | $S_{max}=25$ (波形勾配0.03) |

2) 長周期波

既往調査で整理された6ヶ年分（2006年～2011年）の長周期波台帳に、新たな3ヶ年分（2012年～2015年）の生波形データから整理した情報を追加して波浪条件を設定した。秋田港の長周期波の波向きで出現率10%を超える波向きはWSW～WNWであり、その中でも波向Wの出現率は42%と突出して高いことから、静穏度解析の対象波向はWとした。

また、長周期波の方向集中度は、長周期波成分の方向分布関数が明らかではないため $S_{max}=999$ （一方向波）と仮定した。長周期波の静穏度解析を実施する際の波浪条件を整理して表-3に示す。

表-3 波浪条件（長周期波）

| | |
|-----------|-------------------------|
| 波高 | $H_0=0.1m$ |
| 周期 | 周期30s～300sの一樣スペクトル |
| 波向 | W |
| S_{max} | $S_{max}=999$ (一方向不規則波) |

(2) 潮位条件

静穏度解析を実施する際の潮位は風波、長周期波ともに平均潮位D.L.+0.19mとした。

(3) 計算領域及び解析手法

1) 風波

ブシネスク方程式法を用いて波浪変形計算を実施する場合、波浪変形計算の計算領域に対象港湾全域とNOWPHASの波浪観測地点が含まれるのが望ましい。しかしながら、秋田港の風波の場合、代表周期を8s、計算領域の代表水深を10mと仮定すると、計算格子間隔が5mと細くなるため、NOWPHAS 秋田および秋田港全域をブシネスク方程式法の波浪計算の計算領域に含めると、格子数が膨大となり、実務に対応し得る計算時間から逸脱してしまう可能性がある。更に、膨大な格子数を対象とした波浪変形計算は、計算誤差の蓄積という観点からも推奨できない。

このことから、NOWPHAS 秋田を含む広域についてはエネルギー平衡方程式法による波浪計算を行い、より精度の高い解析が必要となる港内付近の領域については、エネルギー平衡方程式法とブシネスク方程式法（プログラム：NOWT-PARI Ver. 4.6d8a）による波浪計算を接続することにより、計算精度を維持しつつ計算負荷の緩和を図った。

2) 長周期波

ブシネスク方程式法（プログラム：NOWT-PARI Ver. 4.6d8a）を用いて波浪変形計算を実施した。

(4) 反射率

風波及び長周期波に対する反射率は、既往の研究成果^{1),2)}及び「港内長周期波影響評価マニュアル」³⁾に基づき表-4のように設定した。なお、ブシネスク方程式法における反射率は、目標反射率（表-4）と整合するエネルギー吸収係数を水路モデルによる感度分析から設定し、平面計算の計算条件として与えた。

表-4 反射率

| 構造 | 反射率 | |
|-----------|-----|-----------|
| | 風波 | 長周期波 |
| 直立壁 | 1.0 | 1.0 |
| 異形消波ブロック | 0.4 | 1.0 |
| 直立消波施設 | 0.8 | 1.0 |
| 天然海浜 | 0.2 | 0.7 |
| 港内反射波対策施設 | 既存 | 0.4 |
| | 新設 | 0.4 |
| | | 0.76～0.92 |
| | | 0.81～0.88 |

(5) 荷役限界波高

1) 風波

風波に対する荷役限界波高は、「港内長周期波影響評価マニュアル」³⁾を参考にして、周期別に 0.2m~0.5m とした。

2) 長周期波

長周期波に対する荷役限界波高は、「港内長周期波影響評価マニュアル」³⁾を参考にして、表-5 のように設定した。

表-5 荷役限界波高 (長周期波)

| 施設名 | 想定船舶 | | 荷役限界波高 |
|---------|-------|------------------|--------|
| | 船種 | 船型 | |
| 外港1号 | 一般貨物船 | 40,000~50,000DWT | 10cm |
| | コンテナ船 | 20,000DWT | |
| | 鉱石運搬船 | 30,000DWT | |
| 外港2号 | 一般貨物船 | 40,000~50,000DWT | 10cm |
| | コンテナ船 | 20,000DWT | |
| | 鉱石運搬船 | 30,000DWT | |
| 外港3号 | コンテナ船 | 30,000DWT | 10cm |
| 飯島-11m | 一般貨物船 | 18,000DWT | 10cm |
| | CGC船 | 5,000DWT | |
| 飯島-7.5m | 一般貨物船 | 5,000DWT | 10cm |
| 外港棧橋 | コンテナ船 | 50,000DWT | 10cm |
| 向浜 | 一般貨物船 | 50,000DWT | 10cm |

(6) 目標荷役稼働率

目標荷役稼働率は通年、冬季 (12月~2月) とともに 97.5%とした。

2.3 荷役稼働率の算定

前述の計算条件のもと、風波及び長周期波に対する港内静穏度解析を行い、通年及び冬季 (12月~2月) の荷役稼働率を算定した。なお、港内静穏度解析を行うにあたり、観測波高比と計算波高比を比較して、波浪変形計算の妥当性を確認している。

(1) 風波に対する荷役稼働率

風波に対する冬季の荷役稼働率を表-6 に示す。荷役稼働率は、全てのケースで目標値 (97.5%) を上回っている。なお、通年の荷役稼働率についても同様に、全てのケースで目標値を満足する結果となった。

(2) 長周期波に対する荷役稼働率

長周期波に対する通年の荷役稼働率を表-7 に、冬季の荷役稼働率を表-8 に示す。通年、冬季ともにいずれかの施設で目標稼働率を下回っており、特に、外港棧橋、外港1号、外港2号の荷役稼働率が低くなっている。



図-3 荷役稼働率算定対象施設

表-6 荷役稼働率 (風波, 冬季)

(%)

| 冬季 | 係留船舶 | ケース1 | ケース2 | ケース3 | ケース4 | ケース5 | ケース6 | ケース7 |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 外港棧橋 | 一般貨物船 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | --- |
| 外港1号 | コンテナ船 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 外港2号 | コンテナ船 | 99.97 | 99.91 | 99.91 | 99.97 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| 外港3号 | コンテナ船 | 100.00 | 99.95 | 99.95 | --- | 100.00 | --- | --- |
| 飯島-11m | 一般貨物船 | 99.77 | 99.05 | 99.05 | 99.01 | 99.97 | 99.97 | 99.79 |
| 飯島-7.5m | 自動車専用船 | 99.22 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 99.81 | 99.82 | 100.00 |
| 向浜 | 一般貨物船 | 100.00 | --- | --- | --- | --- | --- | --- |

表-7 荷役稼働率 (長周期波, 通年)

(%)

| 通年 | 係留船舶 | ケース1 | ケース2 | ケース3 | ケース4 | ケース5 | ケース6 | ケース7 |
|---------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 外港棧橋 | 一般貨物船 | 97.62 | 96.89 | 96.89 | 97.25 | 96.84 | 97.04 | --- |
| 外港1号 | コンテナ船 | 94.37 | 94.41 | 94.41 | 95.20 | 92.77 | 95.20 | 97.74 |
| 外港2号 | コンテナ船 | 97.49 | 96.66 | 96.66 | 98.27 | 94.74 | 98.02 | 98.45 |
| 外港3号 | コンテナ船 | 99.08 | 98.27 | 98.27 | --- | 97.99 | --- | --- |
| 飯島-11m | 一般貨物船 | 99.62 | 99.32 | 99.32 | 99.24 | 98.87 | 98.87 | 99.01 |
| 飯島-7.5m | 自動車専用船 | 99.53 | 99.30 | 99.30 | 99.35 | 98.38 | 98.51 | 98.57 |
| 向浜 | 一般貨物船 | 97.84 | --- | --- | --- | --- | --- | --- |

表-8 荷役稼働率 (長周期波, 冬季)

(%)

| 冬季 | 係留船舶 | ケース1 | ケース2 | ケース3 | ケース4 | ケース5 | ケース6 | ケース7 |
|---------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 外港棧橋 | 一般貨物船 | 94.42 | 92.69 | 92.69 | 93.51 | 92.56 | 92.98 | --- |
| 外港1号 | コンテナ船 | 87.22 | 87.31 | 87.31 | 89.06 | 83.67 | 89.06 | 94.44 |
| 外港2号 | コンテナ船 | 93.88 | 91.99 | 91.99 | 95.74 | 87.91 | 95.10 | 96.18 |
| 外港3号 | コンテナ船 | 97.69 | 95.74 | 95.74 | --- | 95.12 | --- | --- |
| 飯島-11m | 一般貨物船 | 99.00 | 98.30 | 98.30 | 98.11 | 97.22 | 97.22 | 97.54 |
| 飯島-7.5m | 自動車専用船 | 98.80 | 98.25 | 98.25 | 98.38 | 96.01 | 96.35 | 96.47 |
| 向浜 | 一般貨物船 | 94.65 | --- | --- | --- | --- | --- | --- |

3. 港内静穏度向上策の検討

前節の検討結果を踏まえ、長周期波に対する港内静穏度向上策について検討を行う。検討対象ケースはケース1(将来計画港形)とし、港内反射波対策施設として捨石式傾斜堤(図-4)を設置した場合の静穏度検討を行った。

3.1 港内反射波対策施設を全域配置した場合

港内反射波対策施設 a~j を全域配置した場合(図-5)の荷役稼働率を表-9 に示す。荷役稼働率は通年、冬季ともに目標稼働率を満足している。

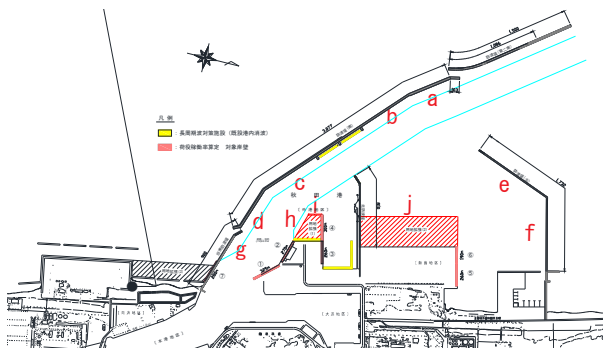


図-5 港内反射波対策施設の設置位置 (a~j)

表-9 荷役稼働率 (全域配置) (%)

| 施設名 | 係留船舶 | 通年 | 冬季 |
|---------|--------|-------|-------|
| 外港棧橋 | 一般貨物船 | 99.74 | 99.31 |
| 外港1号 | コンテナ船 | 99.16 | 97.95 |
| 外港2号 | コンテナ船 | 99.06 | 97.64 |
| 外港3号 | コンテナ船 | 99.73 | 99.29 |
| 飯島-11m | 一般貨物船 | 99.95 | 99.83 |
| 飯島-7.5m | 自動車専用船 | 99.96 | 99.83 |
| 向浜 | 一般貨物船 | 99.82 | 99.51 |

3.2 港内反射波対策施設の最適配置

表-9 に示すとおり、港内反射波対策施設を全域配置

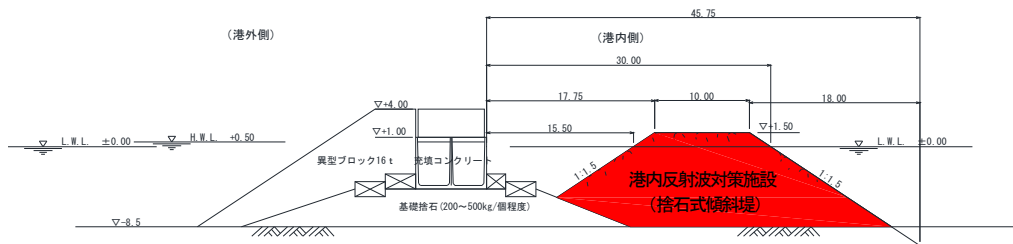


図-4 港内反射波対策施設 (捨石式傾斜堤) (施設 g を例示)

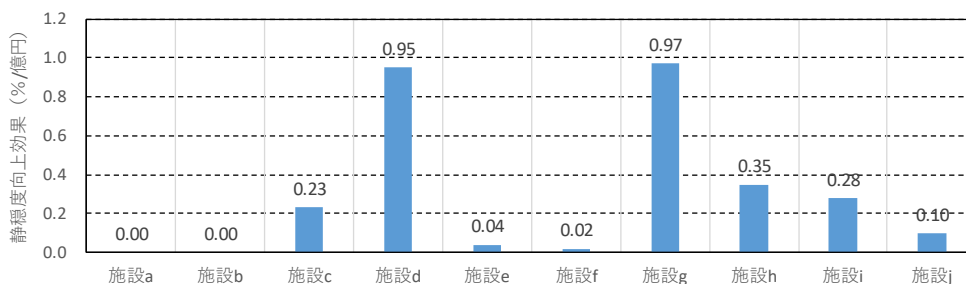


図-6 各港内反射波対策施設の静穏度向上効果

した場合の荷役稼働率は、目標値(97.5%)に対して余裕があることから、港内反射波対策施設を個別に配置した場合の静穏度検討を行い、港内反射波対策施設の最適配置を求めた。各施設を設置した場合の静穏度向上効果(費用対効果)を図-6 に示す。施設 a, b, e, f の静穏度向上効果が低いことから、これらを除外した6施設 c, d, g, h, i, j を設置するのが最適と考えられる。ここで、港内反射波対策施設を最適配置した場合の概算事業費は、全域配置した場合の約 40%となる。港内反射波対策施設を最適配置した場合の荷役稼働率を表-10 に示す。

表-10 荷役稼働率 (最適配置) (%)

| 施設名 | 係留船舶 | 通年 | 冬季 |
|---------|--------|-------|-------|
| 外港棧橋 | 一般貨物船 | 99.74 | 99.32 |
| 外港1号 | コンテナ船 | 99.16 | 97.95 |
| 外港2号 | コンテナ船 | 99.06 | 97.64 |
| 外港3号 | コンテナ船 | 99.73 | 99.28 |
| 飯島-11m | 一般貨物船 | 99.85 | 99.56 |
| 飯島-7.5m | 自動車専用船 | 99.88 | 99.62 |
| 向浜 | 一般貨物船 | 99.81 | 99.47 |

4. おわりに

本稿は、国土交通省東北地方整備局秋田港湾事務所発注の「秋田港外静穏度検討業務」の成果の一部をまとめたものである。検討に際し、事務所関係者には、貴重なご意見・ご指導を頂いた。ここに記して厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) (社)日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，p.153，平成19年7月
- 2) 国土交通省東北地方整備局秋田港湾事務所：平成24年度 秋田港長周期波対策検討業務 報告書，平成25年3月
- 3) (一財)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，平成16年8月