



波浪観測に基づく 北海道沿岸の波浪変化について

港湾空港部港湾建設課

○平尾 隆朗

水口 陽介

近年、台風等の激甚化、頻発化に伴い、港湾施設の被害が全国で多発しており、今後、気候変動に起因して更なる災害リスクの増大が懸念されている。この対応として、気象・海象のモニタリングの継続やその将来予測に基づく、外力強化化を考慮した施設設計が求められている。本報は、気候変動が港湾施設にもたらす影響の検討に向けて、北海道沿岸における波浪観測データから、経年変化の分析を行うものである。

キーワード：波浪観測、波浪変化、気候変動

1. はじめに

近年、世界的な気温上昇や大雨の頻度の増加等、地球温暖化に伴う気候変動が発生しており、本年8月には、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の第6次評価報告書(AR6)が公表され、気候政策を導入しない温暖化ガス最大排出量シナリオ(SSP5-8.5)では、今世紀末に、気温が約4°C上昇し、平均海面水位が約1.0m上昇するなど気候変動の更なる深刻化が予測されている。

我が国でも、近年の台風等による港湾施設の被害が全国で多発しており、今後、気候変動に起因した更なる災害リスクの増大が懸念されることから、「今後の港湾におけるハード・ソフト一体となった総合的な防災・減災対策のあり方」が令和2年8月国土交通省交通政策審議会で答申され、今後の施策の基本的な考え方が取りまとめられた。この中で、波浪等の外力強化化に対する気候変動の影響を把握するために、継続した気象・海象のモニタリングや波浪の将来予測技術が必要とされている。

北海道は、太平洋、日本海、オホーツク海の3つの海域に囲まれており、台風に加えて、急速に発生する温帯低気圧(いわゆる爆弾低気圧)による高波浪の発生や流水による波浪発達の抑制等、本州等と比較して様々な特徴を有している。特に、温暖化によりオホーツク海沿岸に襲撃する流水が減少し、平均波高が10%程度大きくなるという研究¹⁾もあり、将来予測と合わせて、波浪の観測と分析を十分に行う必要がある。

本報では、ナウファスの北海道沿岸における波浪観測データを用いて、波浪の経年変化を分析するものである。

2. 波浪の調査方法

(1) 波浪の観測方法

北海道開発局では、港湾工事や災害対応等に活用するため、全国港湾海洋波浪情報網(ナウファス)により北海道沿岸の波浪を観測している。

現在、**図-1**に示すとおり日本海側の留萌港・石狩湾新港、太平洋側の苫小牧港・十勝港・釧路港、オホーツク海側の紋別港の6港において、波高、周期及び波向を海象計による観測を行っている。**表-1**は、観測地点の概要であり、水深20~50mと浅水変形の影響が比較的小さい海底に設置している。なお、観測間隔は2Hzであり、0時から2時間毎正時の前後20分間の水位変動波形からゼロアップクロス法により有義値を算出している。

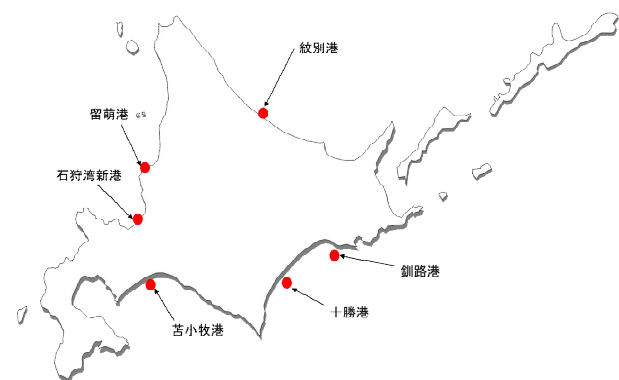


図-1 北海道開発局波浪観測地点

表-1 波浪観測地点の概要

| 観測点 | 設置水深(m) | 北緯 | 東経 |
|-------|---------|-------------|--------------|
| 苫小牧港 | -50.7 | 42° 32' 39" | 141° 26' 46" |
| 十勝港 | -23.0 | 42° 39' 06" | 143° 41' 08" |
| 釧路港 | -50.1 | 42° 54' 38" | 144° 23' 50" |
| 留萌港 | -49.8 | 43° 51' 59" | 141° 28' 07" |
| 石狩湾新港 | -22.4 | 43° 14' 55" | 141° 16' 44" |
| 紋別港 | -52.6 | 44° 19' 04" | 143° 36' 25" |

(2) 波浪の経年変化の整理方法

経年変化について、解析対象とする期間は表-2に示すとおりであり、波向については国立研究開発法人海上・港湾・航空研究所が補正²⁾を開始したのが2000年以降であることから、有義波高・有義波周期と波向で解析対象期間が異なっている。

経年変化を解析する観測値は、①年最大有義波高・有義波周期、②年平均有義波高・有義波周期、③年平均波向の3つとし、①は年間で発生した有義波高の最大値と、その時の有義波周期、②は有義波高と有義波周期の年間の平均値(12データ/日×365日=4,380データの平均)、③有義波高3.0m以上の高波浪時の波向の年間の平均値である。なお、波向については、北から来襲する波を0°とし、東を90°、南を180°、西を270°と時計回りを正としている。

経年変化は1次回帰分析により把握することとし、回帰直線の傾きを、平均的な年間変化量として整理した。さらに、既往の研究³⁾と同様に、P値と±95%の信頼区間による有意検定を行い、「P値が0.05以下」で、傾きの±95%の信頼区間の符号が同じ場合に『経年的な増加(あるいは減少)は統計的に有意』と判断することとした。

表-2 有義波高及び有義波周期、波向の解析対象期間

| 観測点 | 解析対象期間 | |
|-------|-------------|------------|
| | 有義波高及び有義波周期 | 波向 |
| 苫小牧港 | 1982~2019年 | 2000~2019年 |
| 十勝港 | 1996~2019年 | 2003~2019年 |
| 釧路港 | 2005~2019年 | 2005~2019年 |
| 留萌港 | 1981~2019年 | 2003~2019年 |
| 石狩湾新港 | 2005~2019年 | 2005~2019年 |
| 紋別港 | 2001~2019年 | 2001~2019年 |

3. 波浪の経年変化の分析結果

(1) 年最大有義波高・有義波周期

各観測点における年最大有義波高・有義波周期の経年変化の解析結果を表-3に示す。年最大有義波高については、6港の内、苫小牧港・十勝港・釧路港・留萌港の4港で傾きが正となり、平均的に増加傾向となった。特に、7.3cm/年増加する十勝港においてはP値が0.01(<0.05)であり、±95%信頼区間が2.1~12.5cm/年で両方の値が正

であることから、統計的にも増加の優位性があると判断できた。

図-2は、十勝港の年最大有義波高の経年変化を示したものであり、最大値は対象期間のほぼ中間の2006年(7.1m)ではあるが、1次回帰式が増加傾向で、その95%信頼値も若干ではあるが増加傾向となっている。

図-3は、釧路港の年最大有義波高の経年変化であり、1次回帰式の傾きが10.1cm/年と最も大きな値を示しているが、全体的なばらつきから、P値が0.25と比較的大きく、-95%信頼値も負(減少)の傾きとなっている。また、2016年台風第7号により既往最大波高を約1.3m更新する9.4m(図中赤丸箇所)が観測されており、1次回帰式の傾きは、その値に引っ張られたと考えられる。

図-4は、石狩湾新港の年最大有義波高の経年変化であり、1次回帰式の傾きが負であるが、P値も大きく、ばらつきが大きいことから、統計的に波高の増加傾向を否定できない。図-5の紋別港も石狩湾新港と同様であり、さらに、2013年~2017年のデータが欠測していることから、引き続き継続的な観測と分析が重要である。

また、表-3の年最大有義波周期については、全港でP値が0.05以上となり、統計的に有意性が見られないものの苫小牧港・十勝港・釧路港・留萌港・紋別港の5港で傾きが正となり、増加傾向を示した。

表-3 年最大有義波高・有義波周期の経年変化の解析結果

| 観測点 | 年最大有義波高 | | | | 年最大有義波周期 | | | |
|-------|---------|--------|-------------|-------------|----------|-------|------------|------------|
| | P値 | 傾き | | | P値 | 傾き | | |
| | | (cm/年) | -95% (cm/年) | +95% (cm/年) | | (s/年) | -95% (s/年) | +95% (s/年) |
| 苫小牧港 | 0.28 | 1.1 | -0.9 | 3.0 | 0.13 | 0.04 | -0.01 | 0.10 |
| 十勝港 | 0.01 | 7.3 | 2.1 | 12.5 | 0.83 | 0.01 | -0.08 | 0.10 |
| 釧路港 | 0.25 | 10.1 | -8.1 | 28.3 | 0.36 | 0.09 | -0.11 | 0.29 |
| 留萌港 | 0.20 | 1.2 | -0.7 | 3.2 | 0.09 | 0.02 | -0.01 | 0.04 |
| 石狩湾新港 | 0.59 | -3.2 | -16.2 | 9.8 | 0.44 | -0.05 | -0.19 | 0.09 |
| 紋別港 | 0.49 | -3.7 | -15.2 | 7.8 | 0.65 | 0.04 | -0.16 | 0.25 |

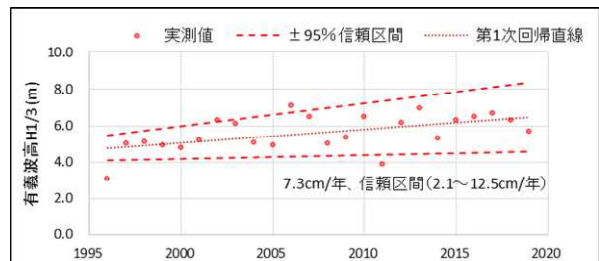


図-2 年最大有義波高の経年変化(十勝港)

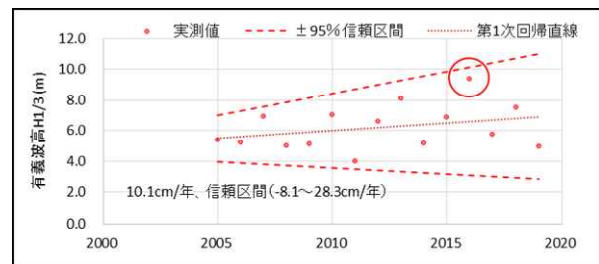


図-3 年最大有義波高の経年変化(釧路港)

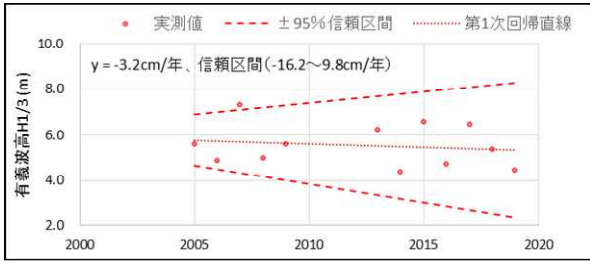


図-4 年最大有義波高の経年変化(石狩湾新港)

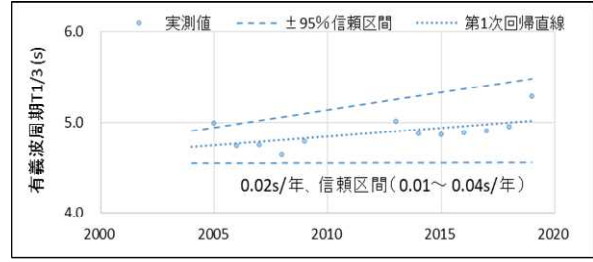


図-6 年平均有義周期の経年変化(石狩湾新港)

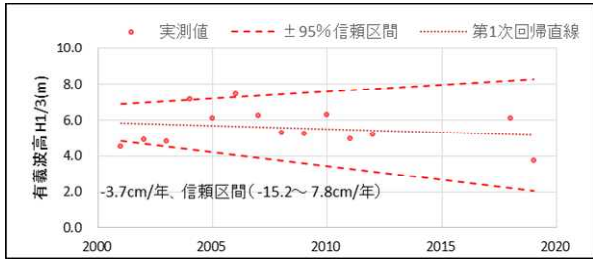


図-5 年最大有義波高の経年変化(紋別港)

(2) 年平均有義波高・有義波周期

各観測点における年平均有義波高・有義波周期について、表-4に示すとおり、年最大値と同様に整理した。

年平均有義波高については、いずれの観測地点においてもP値が0.05以上となり、統計的な有意性が見られないものの石狩湾新港で0.8cm/年、紋別港で0.4cm/年と平均的に増加傾向となった。

また、年平均有義波周期については、石狩湾新港・紋別港の2港で平均的に増加傾向となり、特に、石狩湾新港では、傾き0.02s/年、P値が0.04(<0.05)、±95%信頼区間0.01~0.04s/年となり、統計的に増加の有意性が確認された。また、図-6は、石狩湾新港の年平均有義波周期の経年変化であり、1次回帰式が増加傾向で、その95%信頼値も若干ではあるが増加傾向となっている。

表-4 年平均有義波高・有義波周期の経年変化の解析結果

| 観測点 | 年平均有義波高 | | | | 年平均有義波周期 | | | |
|-------|---------|--------|-------------|-------------|----------|-------|------------|------------|
| | P値 | (cm/年) | -95% (cm/年) | +95% (cm/年) | P値 | (s/年) | -95% (s/年) | +95% (s/年) |
| 苫小牧港 | 0.10 | -0.1 | -0.2 | 0.0 | 0.36 | 0.00 | -0.01 | 0.01 |
| 十勝港 | 0.99 | 0.0 | -0.4 | 0.4 | 0.29 | -0.01 | -0.02 | 0.01 |
| 釧路港 | 0.87 | -0.1 | -0.8 | 0.7 | 0.38 | -0.01 | -0.03 | 0.01 |
| 留萌港 | 0.97 | 0.0 | -0.2 | 0.2 | 0.14 | 0.00 | -0.01 | 0.01 |
| 石狩湾新港 | 0.10 | 0.8 | -0.2 | 1.8 | 0.04 | 0.02 | 0.01 | 0.04 |
| 紋別港 | 0.63 | 0.4 | -1.3 | 2.1 | 0.33 | 0.03 | -0.04 | 0.09 |

(3) 年平均波向

表-5は、各観測点における有義波高3.0m以上の観測値の年平均波向を整理したものである。苫小牧港・留萌港・紋別港の3港では、1次回帰式の傾きが負となっており、平均的に波向が反時計回りに変化している。一方、十勝港・釧路港・石狩湾新港の3港では、時計回りに変化しており、その内、十勝港及び釧路港では、P値が0.05以下、かつ±95%信頼区間の値も正であることから、統計的に有意なものとなっている。

図-7は、十勝港の年平均波向の経年変化を示したものであり、波向がESEからSE方向に変化しているのがわかる。写真-1に示すとおり、十勝港で波向がESEからSEに変化した場合、防波堤に対して波力が直角方向となり、防波堤の安定性の観点では危険側となる一方、港内に侵入する波浪は減少する方向であり、静穏度は向上する変化となっている。

図-8は、釧路港の年平均波向の経年変化を示したものであり、波向がSSEからS方向に変化しているのがわかる。写真-2に示すとおり、釧路港で波向がSSEからSに変化した場合、防波堤の安定性の観点では危険側となっている。また、静穏度については、回折波が港内に進入しやすくなる一方で、新西防波堤による反射は減少することから、静穏度解析等による検討が必要である。

表-5 有義波高3.0m以上の観測値の年平均波向

| 観測点 | 年平均波向(有義波高3m以上対象) | | | |
|-------|-------------------|-------|------------|------------|
| | P値 | (度/年) | -95% (度/年) | +95% (度/年) |
| 苫小牧港 | 0.42 | -0.1 | -0.5 | 0.2 |
| 十勝港 | 0.00 | 1.7 | 1.0 | 2.4 |
| 釧路港 | 0.01 | 1.1 | 0.3 | 1.8 |
| 留萌港 | 0.18 | -0.3 | -0.9 | 0.2 |
| 石狩湾新港 | 0.38 | 0.3 | -0.4 | 1.0 |
| 紋別港 | 0.32 | -0.5 | -1.7 | 0.6 |

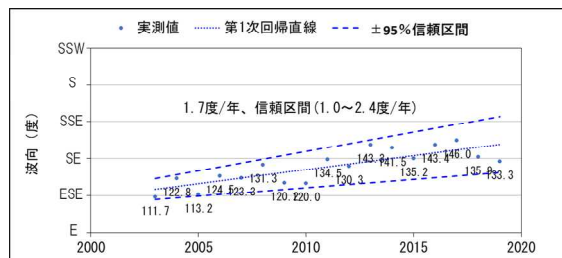


図-7 年平均波向の経年変化(十勝港)



写真-1 年平均波向の経年変化(十勝港)

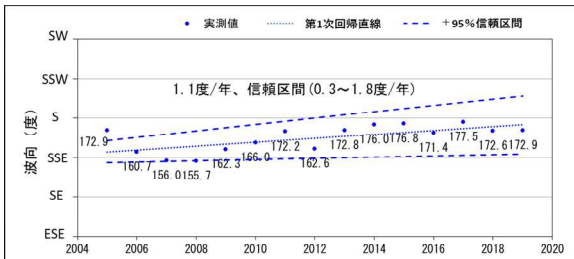


図-8 年平均波向の経年変化(釧路港)



写真-2 年平均波向の経年変化(釧路港)

4. おわりに

北海道沿岸における波浪変化について、本報における主要な分析結果は、以下の通りである。

- 年最大有義波高は、苫小牧港・十勝港・釧路港・留萌港で平均的に増加傾向にあり、特に、十勝港では統計的にも優位と判断された。
- 年平均有義波高は、石狩湾新港及び紋別港で増加傾向となったが、統計的な有意性はみられなかった。
- 年平均有義波周期は、石狩湾新港で増加傾向が統計的に有意と判断された。
- 有義波高3m以上の年平均波向の経年変化では、十勝港・釧路港・石狩湾新港で時計回り方向に変化しており、十勝港及び釧路港については統計的な有意性を確認できた。

観測波浪の分析により、波高・周期・波向の経年変化を整理した。今後も継続して観測を行い、波高、周期及び波向の経年変化について注視していく必要がある。また、今回の結果も踏まえ、北海道の港湾・漁港の技術開発ビジョンに示す将来の海象変化の予測技術の開発や港湾・漁港施設への影響評価を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 気候変動による日本周辺の波高スペクトルの将来変化予測, 土木学会論文集(海岸工学), Vol.75, No.2, PPI_1179-I_1180 (志村智也、森信人、2019年10月)
- 2) 全国港湾海洋波浪観測年報
- 3) 日本沿岸における最大有義波高の経年変化と設計沖波への影響に関する考察, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.75, No.2, I_109-I_114, 2019. (加藤 広之、遠藤 次郎、古市 尚基、不動 雅之、井上 真仁)