

波浪推算による設計沖波算出時の 課題と解決策の検討

PROBLEM AND SOLUTION OF WAVE HINDCASTED DESIGN OFFSHORE WAVE CALCULATION

吉野真史¹, 篠田邦裕², 佐藤勝弘³, 笠原宏紹⁴, 田中則夫⁵

Masafumi YOSHINO, Kunihiro SHINODA, Katsuhiko SATOU,

Hirotsugu KASAHARA and Norio TANAKA

¹⁻⁴ 正会員 (財)漁港漁村建設技術研究所 第1調査研究部

(〒101-0047 東京都千代田区内神田 1-14-10 東京建物内神田ビル)

⁵ 北海道水産林務部漁港漁村課 (〒060-8588 北海道札幌市中央区北 3 条西 6 丁目)

Design offshore waves are one of the most important exerting forces for marine structures. Ideally, they may be calculated from reliable observed waves, but there are not enough observation stations. So generally, design offshore waves are calculated from wave hindcasting. Recently, a new wave hindcasting method has been developed. But, in determination of design offshore waves, even with excellent theoretical analysis, there are several practical problems.

In this paper, we report problems and solutions encountered in determination of design offshore waves for fishing ports in Hokkaido.

Key Words : design offshore waves, wave hindcasting, spectral method for shallow water

1. はじめに

設計沖波は、沿岸構造物設計における最も重要な外力の一つである。これは、長期間の波浪観測結果を基に求めることが理想であるが、わが国の海岸総延長をカバーするほどに波浪観測施設は整備されていないため、実際には波浪推算によって求めることが多いのが現状である。波浪推算の手法は近年飛躍的に発達してきている¹⁾が、設計沖波算出にあたっては、波浪推算法以外にも種々の課題が存在する。例えば、波浪推算対象ケースの選定基準、あるいは推算波浪を実際に設計波として用いる際の波浪変形評価手法などがあげられ、これらについては主に経験的な対策がとられてきた。ここでは、筆者らが北海道沿岸漁港の設計沖波見直しを実施した際に顕在化した問題点と解決策をまとめ、報告する。

2. 北海道沿岸漁港設計沖波見直しの概要

従来、北海道沿岸漁港で採用していた設計沖波諸元は昭和 53 年に制定²⁾されたものであり、それか

ら約 20 年が経過し、次のような問題点が顕在化していた。

①施設の被災発生頻度が高く、従来の設計沖波諸元は実状よりも小さめの可能性がある。

②制定当時の波浪推算手法(有義波法)では、波浪に含まれるうねり成分が考慮されていない。

③北海道沿岸は噴火湾のように外洋波と湾内波が浅海域で混在する半閉鎖的な海域が複数存在するが、従来の設計沖波は、このような複雑な波浪状況が考慮されていない。

以上の状況を踏まえ、北海道沿岸を対象とした波浪推算を実施し、漁港の設計沖波諸元(16 方位別 1 年~50 年確率波諸元)を見直すこととした。

風推算には、後藤ら³⁾による境界層モデルを採用した。このモデルは、空間を縦方向に 2 分割し、上層は気圧傾度力とコリオリ力、下層は気圧傾度力・コリオリ力・摩擦力の力学バランスを仮定したモデルである。また、傾度風モデルと台風モデルを結合させ、同時に計算できることも大きな特徴である。

波浪推算手法には風波とうねりを同列に扱えるスペクトル法(MRI モデル第一世代)を採用したが、後に述べる半閉鎖海域においてはスペクトル法に海

底地形の効果を付加した浅海波浪推算モデル⁴⁾を採用した。

確率波の算出には Petruaskas-Aagaard の極値統計解析手法を用い、16 方位別確率波諸元を算出した。統計解析の基準波高(下限値)は波向ごとに年最大波の最低値とし、極大値統計で解析を実施し、北海道沿岸全漁港の確率波諸元を算出した。

3. 北海道沿岸の波浪特性および地域特性概要

我が国沿岸に高波浪をもたらす気象擾乱のタイプは海域ごとに異なり、低気圧が危険経路をとると長期の再現期間を持つ異常波浪が発生する可能性がある。駒口⁵⁾は指摘している。そのため、北海道沿岸の設計沖波見直しにあたっては地域特性を十分に把握した上で波浪推算ケースを選択する必要がある。

北海道は日本海、太平洋、オホーツク海と、特徴的な海象特性を持つ3海域に囲まれており、それぞれ高波浪をもたらす気象擾乱タイプ(低気圧の位置や進行方向)が異なる。例えば、太平洋は台風、日本海・オホーツク海は北東進する冬季日本海低気圧によって高波浪が発生することが多い。加えて、北海道沿岸は岩礁海岸と砂浜海岸が複雑に入り混じっており、噴火湾や津軽海峡のような半閉鎖的な海域も多数存在する。特に、湾内においては、高波浪の発生と気象擾乱タイプや地形(規模や湾口方向)とは、より密接な関係があると考えられる。以上から、高波浪を発生させる気象擾乱は海域ごとに異なることに加えて、同じ海域においても地形で細分化される小海域ごとに多少異なることが予測される。

また、半閉鎖的な海域では、外洋波と短フェッチで発達する湾内波が浅海域で混在しており、波浪推算にあたっては、そのような複雑な波浪場を再現する必要がある。

4. 問題点と解決策

ここまでに述べた北海道沿岸漁港設計沖波算出にあたっての問題点は、次の2点に概ね集約できる。

①気象海象特性の把握と、それを反映した波浪推算ケースの選択。

②外洋波・湾内波が浅海域で混在する波浪場の再現。

これら問題点の解決策について次に述べる。

(1) 気象海象特性を考慮した波浪推算ケースの選択

前に述べたとおり、海域ごとに高波浪をもたらす気象擾乱タイプは異なると考えられ、それを漏らして極値統計解析を行うと、確率波を小さく見積もる危険性がある。よって、海域ごとに高波浪をもたらす気象擾乱を十分に把握した上で波浪推算ケースを選

択しなければならない。

a) 気象擾乱タイプの分類

北海道沿岸に高波浪をもたらす気象擾乱タイプは、主に次の3種類に大別できる。

①低気圧がユーラシア大陸北東部で発達し、北海道～サハリンを東進する場合。

②日本海南西部で発生した低気圧が発達しながら北東へ進む場合。

③太平洋南部で発生した低気圧および台風が太平洋沿岸を北上する場合。

北海道開発局²⁾は、北海道沿岸に高波浪をもたらす低気圧の位置と進行経路を図-1に示すように分類した。また、駒口⁵⁾は日本海沿岸に高波浪をもたらす低気圧の進行経路を図-2のように分類した。ここでは、過去の高波浪の観測結果と当該時期の低気圧の経路を比較検討し、図-3および表-1に示すように気象擾乱を分類した。

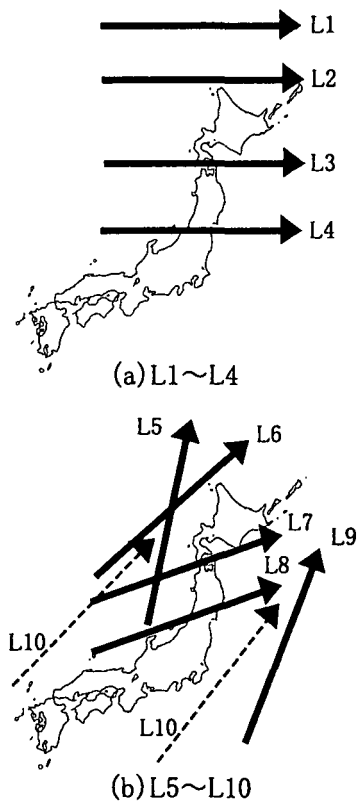


図-1 北海道開発局による気象擾乱の分類²⁾

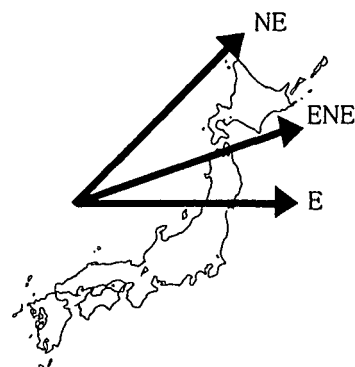
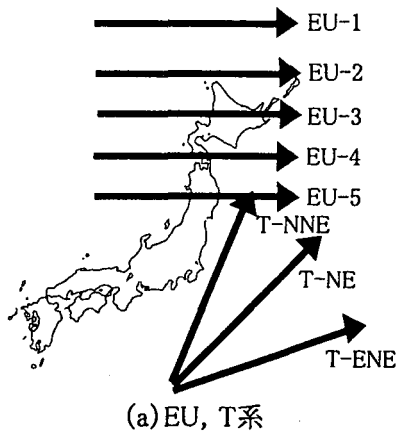
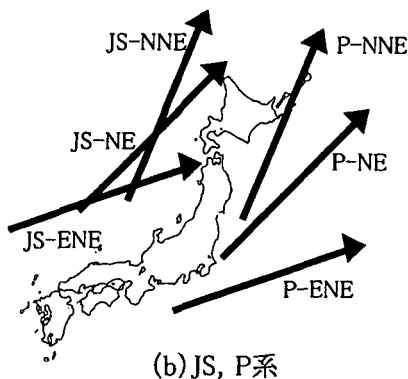


図-2 駒口による気象擾乱の分類⁵⁾



(a) EU, T系



(b) JS, P系

図-3 本報告における気象擾乱タイプ分類

表-1 本報告における気象擾乱タイプ分類の内容

名称	分類基準
EU-1	大陸で発達した低気圧が樺太を横断して東進
EU-2	大陸で発達した低気圧が宗谷海峡を横断して東進
EU-3	大陸で発達した低気圧が北海道を横断して東進
EU-4	大陸で発達した低気圧が津軽海峡を横断して東進
EU-5	大陸で発達した低気圧が東北地方を横断して東進
JS-ENE	日本海南西部で発達した低気圧が東北東進
JS-NE	日本海南西部で発達した低気圧が北東進
JS-NNE	日本海南西部で発達した低気圧が北北東進
P-ENE	太平洋で発達した低気圧が東北東進
P-NE	太平洋で発達した低気圧が北東進
P-NNE	太平洋で発達した低気圧が北北東進
T-ENE	台風が日本近海を東北東進
T-NE	台風が日本近海を北東進
T-NNE	台風が日本近海を北北東進
T-S	台風が迷走し、日本近海へ到達せず
W	西高東低の気圧配置で季節風卓越

b) 海域分割

北海道沿岸を地形と風特性から 12 海域に分割し、海域ごとに気象・波浪特性を把握することとした。図-4 に海域分割結果を示す。各海域内に位置する波浪観測点は表-2 のとおりであり、この観測データで各海域の波浪特性を代表させた。なお、第 3 海域は波浪観測点がないため、近傍の瀬棚港波浪観測結果を準用した。また、第 9・10 海域は近傍にも波浪観測点がないことや、根室海峡内という短フェッチ海域であり波浪は主に風波と考えられることから、風観測結果から波浪特性を類推することとした。

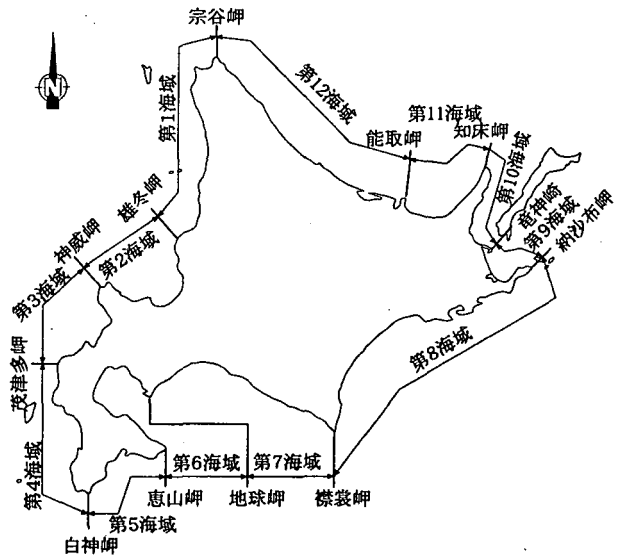


図-4 海域分割

表-2 海域ごとの波浪観測点

海域番号	範囲	代表波浪観測点
1	宗谷岬 ~ 雄冬岬	留萌港
2	雄冬岬 ~ 神威岬	石狩湾新港
3	神威岬 ~ 茂津多岬	(瀬棚港)
4	茂津多岬 ~ 白神岬	瀬棚港
5	白神岬 ~ 恵山岬	山背泊漁港
6	恵山岬 ~ 地球岬	室蘭港
7	地球岬 ~ 襟裳岬	苫小牧港
8	襟裳岬 ~ 納沙布岬	釧路港
9	納沙布岬 ~ 竜神崎	根室(風観測)
10	竜神崎 ~ 知床岬	標津(風観測)
11	知床岬 ~ 能取岬	宇登呂漁港
12	能取岬 ~ 宗谷岬	紋別港

c) 海域ごとの波浪特性の把握と波浪推算ケースの選択

代表させた波浪観測結果を用いて、各海域の波浪特性、すなわち高波浪をもたらす気象擾乱を把握した。有義波高が 2.0m を越える期間を気象擾乱期間とし、その間の最大値を 1 個の気象擾乱に対応した最大有義波高と定義した。その上で、気象擾乱タイプごとに最大有義波高の平均値を求め、海域ごとの波浪特性を検討した。

ここでは太平洋沿岸を例として示す。図-5 は太平洋沿岸海域(第 5~8 海域)における気象擾乱タイプ別出現率(棒グラフ)と最大有義波高の平均(折れ線グラフ)である。黒丸にかかった縦棒は標準偏差である。これによると、出現率が最も高い気象擾乱タイプはいずれの海域においても JS-ENE であるが、最大有義波高平均値が大きいのは概ね台風によるものである。ただし、第 5 海域では P-NNE、第 6 海域では JS-NE、第 7 海域では JS-NNE、P-NE、EU-3、第 8 海域では P-NE でも最大有義波高平均値が高くなっており、波浪推算ケースは台風に加えてこれらの気象擾乱タイプを優先的に選択した。同様の検討

を日本海、オホーツク海においても実施し、波浪推算ケースを決定した。対象期間は 1947～1996 年の 50 年間で、ケース数は日本海で 171 ケース、太平洋で 172 ケース、オホーツク海で 179 ケースとなった。

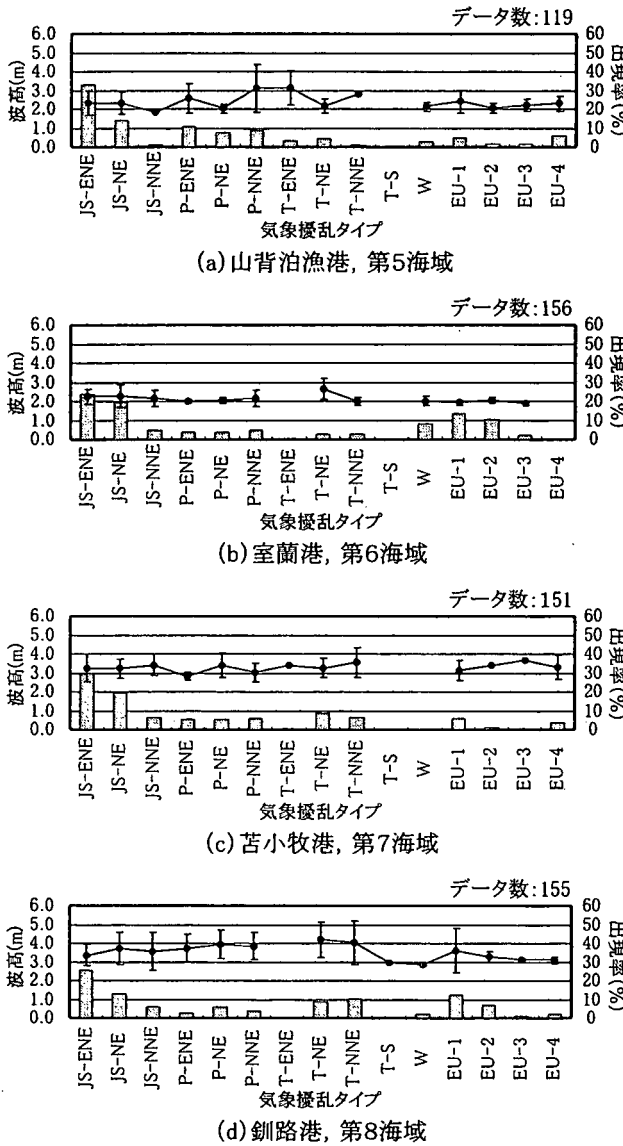


図-5 海域別気象擾乱タイプ別最大有義波の平均 (太平洋)

(2) 半閉鎖海域の波浪場の再現と設計波算出手法

北海道沿岸には、噴火湾のように、湾内波と湾口から侵入する外洋波とが浅海域で発達・減衰しつつ混在する半閉鎖的な海域が複数存在する。このような特徴的な海域における波浪を再現するため、当該海域については、MRI モデルに海底摩擦・浅水変形・屈折・砕波の効果を付加した浅海波浪推算モデル³⁾を採用した。浅海波浪推算モデルの適用範囲は図-6に示すとおりであり、他の海域においては MRI モデル (深海モデル) を採用した。

ただし、浅海波浪推算モデルで求められた波高値は沖波 H_o ではなく、既に屈折や浅水変形などの波浪変形が考慮されているため、そのままでは他の異

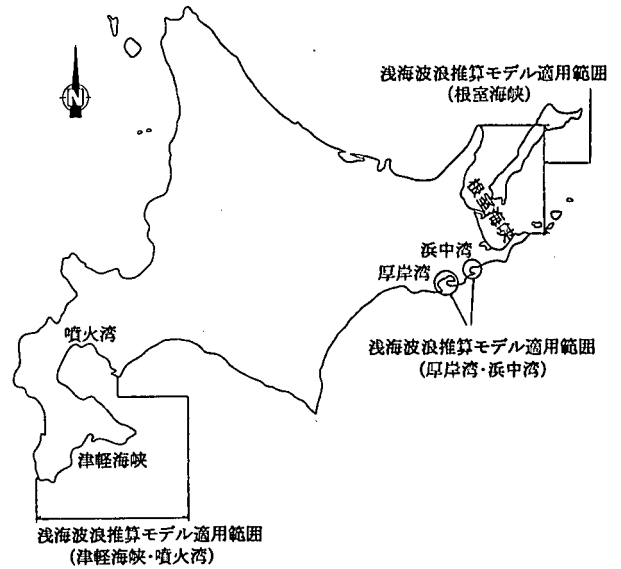


図-6 浅海波浪推算モデルの適用範囲

なる水深における設計波への変換が煩雑で、現場の設計者が使用しづらい。このため、算定波高値を計算格子上の水深と有義波周期に応じた浅水係数 K_s で除した換算沖波波高を $H_o'_{off}$ (off は offshore の意) と定義し、以浅の局所的な沿岸係数 (= 屈折係数 × 回折係数 × 浅水係数 × 砕波変形の係数) を考慮すれば設計波が求められるようにした。設計波算出に際して、沖波 H_o を対象とした場合は深海から浅海に至る比較的広範囲の波浪変形の考慮が必要であるが、このように $H_o'_{off}$ を算出することにより、対象漁港沖合いの設定水深から浅海に至る比較的狭い範囲の波浪変形を求めることとなる。 $H_o'_{off}$ の概念を図-7に示す。

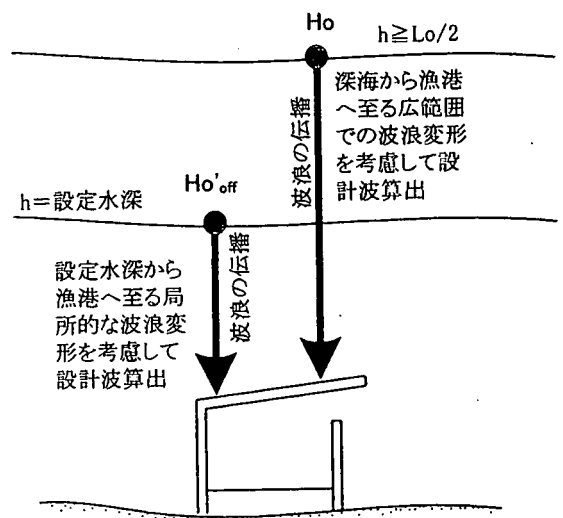


図-7 $H_o'_{off}$ の概念

5. 精度の検証

はじめに述べたとおり、設計沖波は、長期間の波浪観測結果を基に求めることが理想であり、波浪推算は、わが国の海岸総延長をカバーするほどには存在しない波浪観測点を補完するという位置付けである。その趣旨にのっとりならば、推算確率波が観測確率波を補完できるだけの精度を持つことが、最重要と考えられる。

図-8 に太平洋（深海モデル）を例として、推算波浪および観測波浪による確率波の比較を示す。なお、波浪推算は 50 年分行ったが、波浪観測が実行されている期間は殆どの観測点において十数年程度と推算対象期間と比して非常に短いため、図に示した推算確率波は、波浪観測と同期間の推算値に基づいて算出した。また、波浪観測においては波向観測がなされていない場合が多いことから、確率波は全波向を対象として算出した。

図から、推算確率波は観測確率波に対して十分な精度を持つと考えられる。よって、波浪観測点周辺以外の海域においても、同等な精度があると判断し、推算確率波を漁港計画に用いることとした。

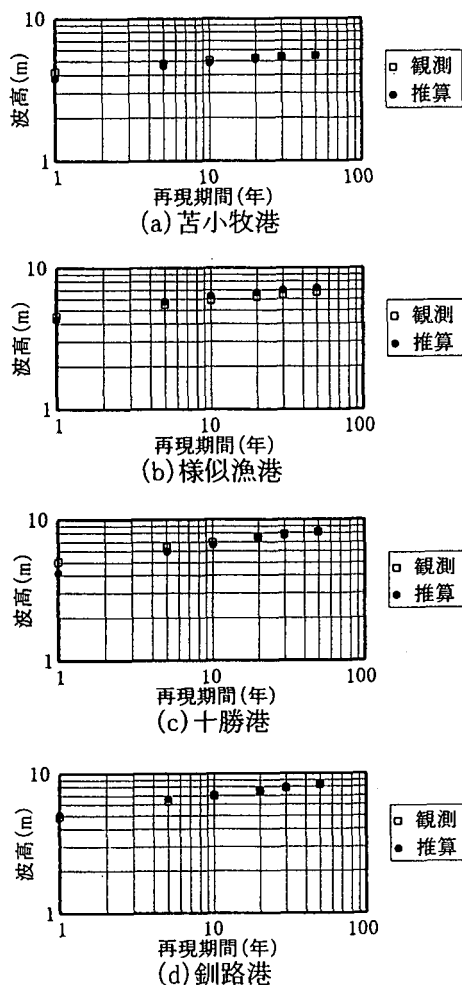


図-8 観測確率波と推算確率波の比較（太平洋・深海モデル）

6. まとめ

本報告では、北海道沿岸漁港を対象とした設計沖波見直しを通じて生じた問題点について解決策を示した。主要な結論を次に示す。

①波浪推算ケースの選択においては、海域ごとに高波浪をもたらす気象擾乱タイプを優先する必要がある。

②外洋波・湾内波が浅海域で混在する波浪場の再現には浅海波浪推算モデルが有効である。

③以上に留意して波浪推算を実行した結果、観測波浪と比較して十分な精度を持つ確率波諸元が得られた。

謝辞：ここに報告した北海道沿岸漁港の設計沖波見直し実施にあたっては、北海道大学大学院工学研究科教授、佐伯浩委員長をはじめとする「北海道港別沖波波浪推算検討委員会」委員諸氏より貴重なご意見を賜った。北海道開発局からは波浪観測資料をご提供いただいた。また、株式会社テトラ水産基盤整備推進室、駒口友章氏および東海大学工学部、故後藤智明教授には多大なるご指導を賜った。ここに記して深甚なる謝意を表す。

参考文献

- 1) 土木学会海岸工学委員会研究現況レビュー小委員会：新しい波浪算定法とこれからの海域施設の設計法，土木学会，pp. 27-64，2001.
- 2) 北海道開発局：北海道沿岸波浪推算マニュアル，北海道開発局，pp. 2-1-2-29，1978.
- 3) 後藤智明，柴木秀之：陸上地形の影響を考慮した海上風推算，港湾技術研究所報告，第 32 巻，第 3 号，pp. 65-97，1993.
- 4) 柴木秀之，渡辺晃，磯部雅彦，三原正裕：浅海波浪推算モデルとその応用に関する研究，海岸工学論文集，第 42 巻，pp. 341-345，1995.
- 5) 駒口友章：わが国沿岸における異常波浪とその予知に関する研究，京都大学学位論文，pp. 4-94，1993.