

港内侵入過程の現地観測と統計値による来襲長周期波の特性の検討 Characteristics of Long Period Waves by Field Observation and Statistical Analysis of It's Propagation in Harbor

渥美洋一*・若山義樹**・國田淳**

関口信一郎**・木村克俊***・川口勉****・平石哲也*****

Youichi Atsumi, Yoshiki Wakayama, Atushi Kunita

Shin-ichirou Sekiguchi, Katsutoshi Kimura, Tsutomu Kawaguchi, Tetsuya Hiraishi

Long period waves sometimes cause the termination of cargo handling and break of mooring ropes in Tomakomai-port. Characteristics of long period waves in the port are discribed from the statistical analysis of field observation. The long period waves are mainly induced by the set-down waves bounded with grouping waves for the case of large wind waves. An occurrence probability table for long period waves is proposed by employing continuous observation data in the port.

Keywords : Long period waves, set-down waves, field observation

1. はじめに

苫小牧港東港区の東水路-14m岸壁では、来襲波浪に含まれる長周期成分により、係留船舶が動揺する「底うねり」と称される現象があり、係留施設や船舶に損傷を与え、荷役中止や沖待ちによる荷役作業の延期等の被害が発生しており、利用上の大きな障害となっている。

昨年度までの検討で、ビデオ撮影による船体動揺観測と超音波式波高計による港内港外長周期波の同時観測を行った(松良ら, 1994; 菅沼ら, 1995)。また、水位変動シミュレーションによる長周期波の増幅率の分布計算と、船体動揺シミュレーションによる荷役限界長周期波高の算定を実施した。これらのシミュレーションにより同時観測で得られたデータの現況再現、及び長周期波を考慮した静穏度評価を行い、現地対策工として港口防波堤の延伸を提案した(渥美ら, 1995; 神谷ら, 1996)。

本研究は、港外から侵入する波群拘束波が、港内では、見かけ上拘束が解けた自由進行波として取扱うことができるという仮定のもとで、水位変動シミュレーションを行う手法を検証し、東港区における来襲長周期波の成因を考察するために、港外1点、港内4点での長周期波同時観測を連続24日間実施し、この実測データの解析を行った。また、観測期間中にDAPHNE OCEAN号で船体動揺が発生したので、目視による動揺量の観測と、連続60時間の波高観測を行った結果を報告する。

さらに、平成4〜8年度までの天気図と長周期波実測統計値より、東港区における、長周期波の天気図別発生パターン、四季別スペクトル形状、長周期波出現頻度及び港内増幅率などにより現地における来襲長周期波の特性を明らかにする。

以下に昨年度までの検討結果を踏まえた今回の検討のフロー(図-1)を示す。

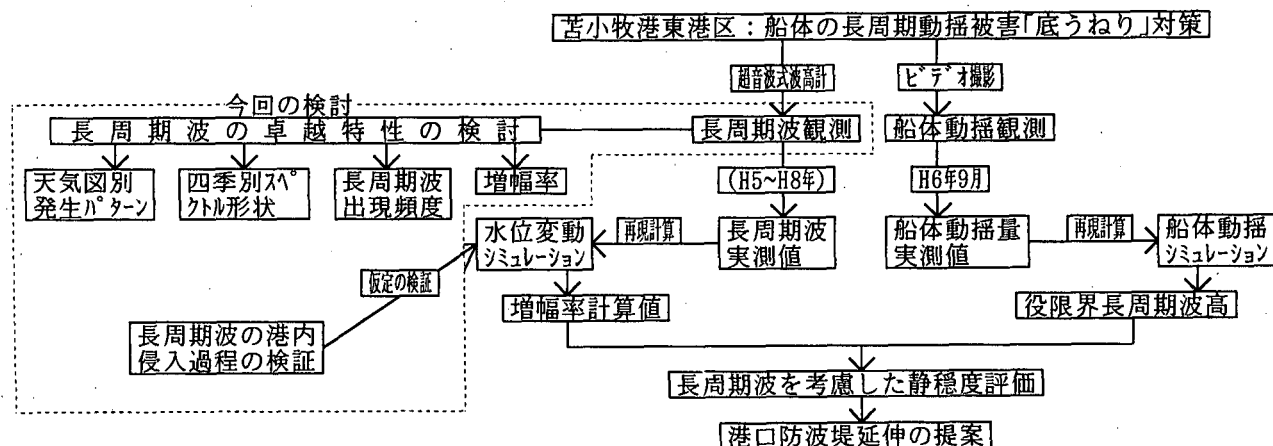


図-1 検討のフロー

- * 正会員 北海道開発局室蘭開発建設部苫小牧港湾建設事務所(053 苫小牧市末広町1丁目1番1号)
- ** 北海道開発局室蘭開発建設部苫小牧港湾建設事務所
- *** 正会員 北海道開発局開発土木研究所環境水工部港湾研究室
- **** 正会員 NDS 日本データーサービス株式会社
- ***** 正会員 運輸省港湾技術研究所水工部波浪研究室

2. 現地観測の概要

(1) 現地観測の目的

一般に港外からの長周期波の成因としては、沖から進入してくる自由進行波のほか、波群に拘束されたセッタウン波、沿岸付近の影響を受けたエッジ波などが考えられる。昨年度までに苫小牧港で行った水位変動シミュレーションにおいては、セッタウン波も防波堤による回折効果等により、波群の拘束から見かけ上解放され、港内では自由進行波として扱えると仮定し、港外境界から自由進行波を入力して計算している。この数値計算の妥当性を検証し、来襲長周期波の成因について考察するため、図-2に示す港内港外5地点に設置された波高計で同時に長周期波を観測し、長周期波高とその中に含まれるセッタウン波高との比率を求め、長周期波とセッタウン波の波形を比較することにより、港外から港口(ST. 4)を経て岸壁前面(ST. 1)へ到達する長周期波の成因と侵入過程について検証する。

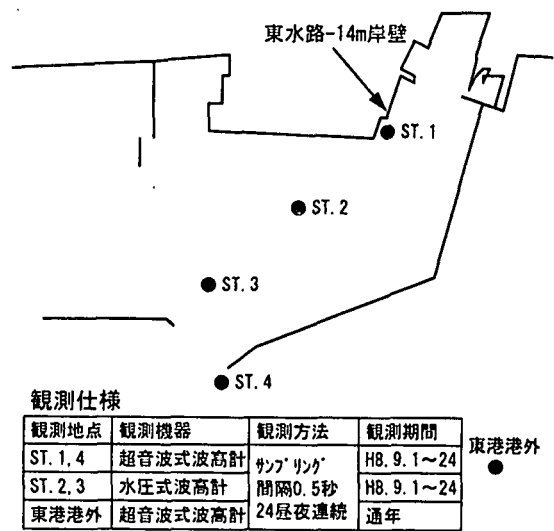


図-2 観測位置図

(2) 現地観測の概要

観測期間は、港外点で通年、St. 1~St. 4で平成8年9月1日~24日である。

苫小牧港で長周期波として扱っている周期30秒以上の長周期波高の東港港外とSt. 1における経時変化を図-3に示す。

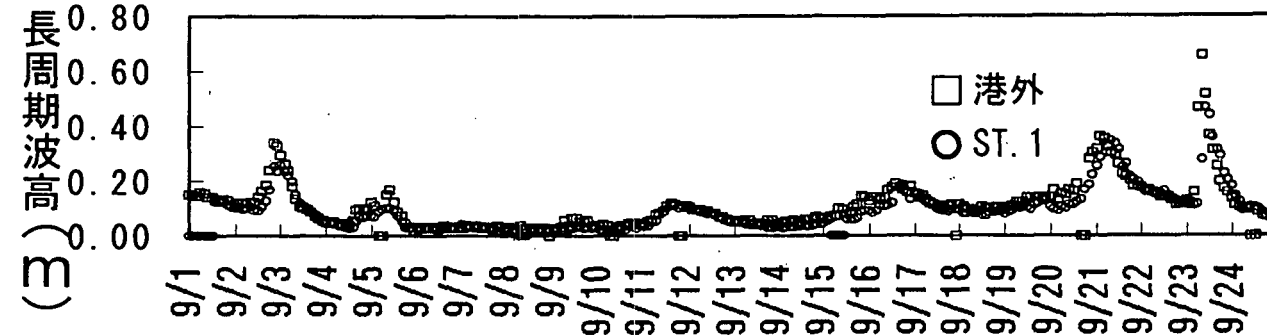


図-3 長周期波高の経時変化

観測期間中に岸壁前面長周期波高が、船体動揺シミュレーションにより求めた荷役限界波高として提案されている値である10cm以上まで発達したのは、9月1日~5日、11日~12日、15日~24日である。これらは低気圧による前線の通過や台風の影響によるものである。

(3) 船体動揺被害の検証

観測期間中の9月20日~21日にかけて、東水路-14m岸壁において荷役作業を行っていたDAPHNE. OCEAN号(DW69, 995ト、船長227m)に船体動揺被害が発生した。被害は、船体動揺により荷役作業の中止を余儀なくされた後、係留索が12本切断され、緊急離岸に至ったものである。ST. 1で観測された長周期波高と船体動揺被害の経時変化を図-4に示す。このときの船体動揺被害の経過としては、まず9月20日4時に船体動揺開始の報告を受けた。さらに同日7時に目視によるサージ動揺量が荷役限界である2mに達したと報告を受けた。このときの岸壁前面の長周期波高は約10cmであった。翌21日1時に係留索が12本切断し(サージ動揺量5m)、3時に緊急離岸を決定し、5時20分に緊急離岸(サージ動揺量10m)に至った。

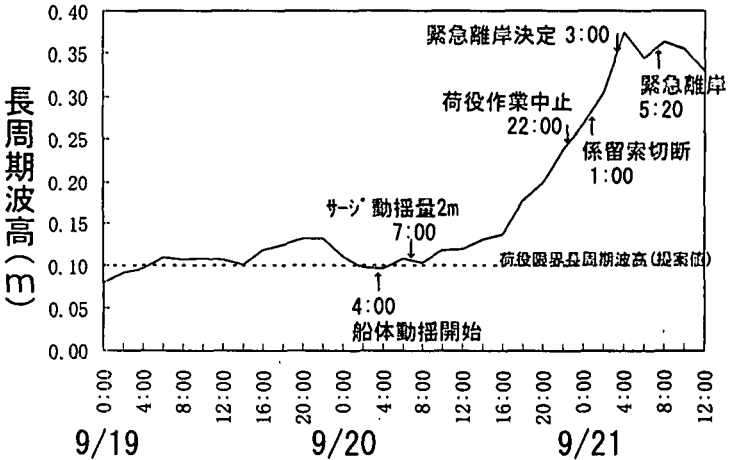


図-4 船体動揺被害の経時変化

動揺開始、荷役中止及び緊急離岸の時刻に対応する港内外における長周期波のスペクトル解析結果を図-5に示す。今回の観測による各スペクトルの形状は、平成6年の観測(神谷ら, 1995; 菅沼ら, 1995)と同様に動揺期間中に90~150秒のスペクトル密度が卓越しているのがわかり、長周期波成分の発生が確認できた。

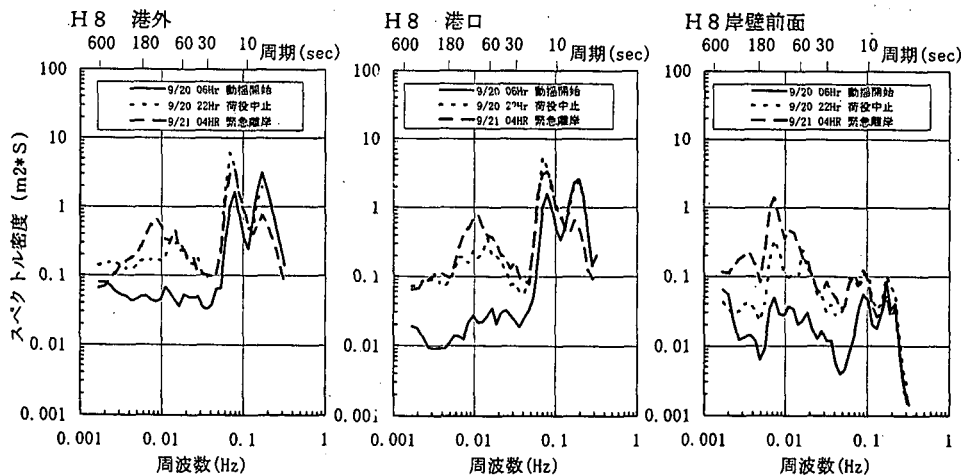


図-5 船体動揺発生時のスペクトル(平成8年)

3. 長周期波の港内侵入過程の検証

(1) 長周期波の構成比率の解析

現地観測により得られた波高データを解析し、港外から港口を通過し岸壁前面に至るまでの長周期波に対するセットダウン波の比率を観測期間全体と期間中最大の長周期波高が観測された9月23日～24日の2ケースについて検討した。なお、セットダウン波の計算フローを図-6に示す。

①観測期間全体におけるセットダウン波の構成比率

港外から岸壁前面における長周期波に占めるセットダウン波の比率の解析は、St. 3が9月15日以降欠測しているため、14日までのデータで行った。計算結果を表-1に示す。

表-1 長周期波に対するセットダウン波の比率(%)

	セットダウン波高/長周期波高 × 100 (%)				
	東港港外	st. 4	st. 3	st. 2	st. 1
9月1日～14日	53.1	37.4	18.8	20.9	16.4

②期間中最大の長周期波高が観測された9月23日～24日におけるセットダウン波の構成比率

①と同様にセットダウン波高の比率を表-2に示す。

表-2 長周期波に対するセットダウン波の比率(%)

	セットダウン波高/長周期波高 × 100 (%)				
	東港港外	st. 4	st. 3	st. 2	st. 1
9月23日～24日	93.2	91.5	欠測	57.9	18.6

表-1および2において構成比率は、港外では高く、全体を通じて53%である。これに比べて、港内では低く、st. 1では、平均して16%になる。

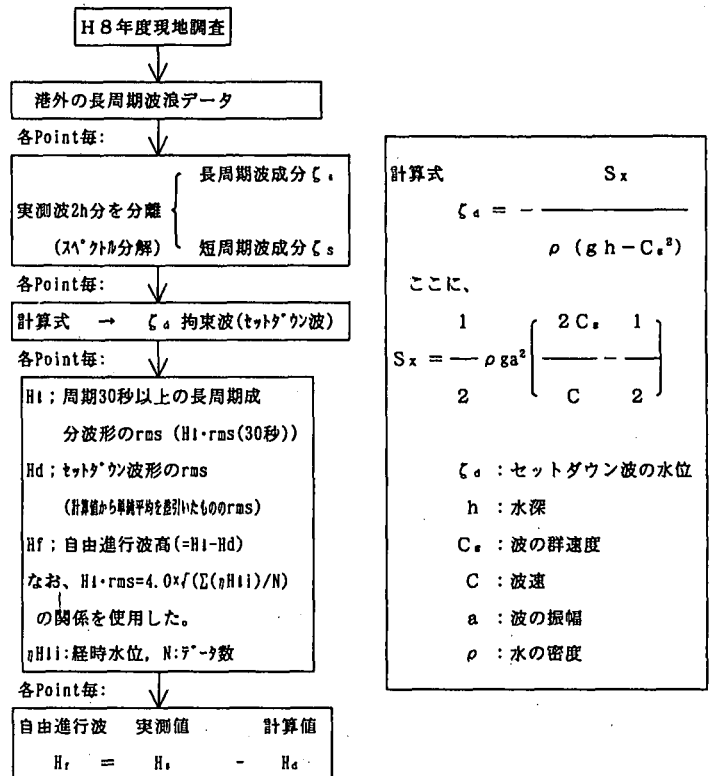


図-6 セットダウン波の計算フロー

(2) 長周期波とセットダウン波の波形比較

東港港外と岸壁前面で長周期波とセットダウン波の相関を考察するために波形を比較した(図-7)。また、フーリエとフェイズによる解析を行った結果を図-8に示す。

解析は、卓越した長周期波が観測された9月23日の港外とst. 1で行った。

相関性を表すフーリエを、スペクトルのピーク周期で比較すると、港外は

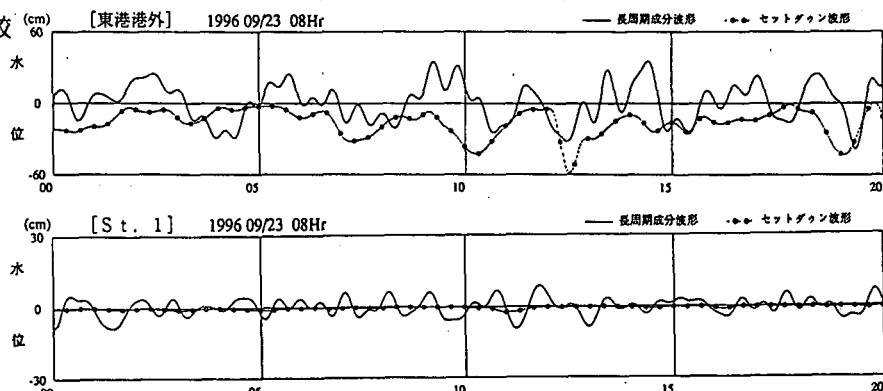


図-7 長周期成分波とセットダウン波の波形

250秒でコヒーレンスは約0.7である。これに対し、st. 1は300秒で約0.2である。

位相のズレを表すフェイズは、全体的に港外では $\pm 30^\circ$ 以内であるのに対し、st. 1では変動が大きい。コヒーレンス及びフェイズから港外では長周期波とセットダウン波の相似性が高く、港内では低いことが示された。

以上のことから、港内では、セットダウン波が港口から侵入した直後に、見かけ上、大部分の拘束が解けて、岸壁に到達しており、長周期波を自由進行波として扱えると考えられる。なお、港外の長周期波の成因は、長周期波が卓越しているときはほとんどがセットダウン波であると考えられ、この場合でも岸壁前面では見かけ上拘束が解けており、港内の伝播計算における自由進行長波としての取扱いの妥当性が検証できた。

4. 東港区における長周期波の卓越特性

これまで、船体動揺被害をもたらす、東港区の来襲長周期波の成因等を考察したが、今度は蓄積された長周期波データを統計的に解析することで、発生頻度や増幅特性を明らかにする。

(1) 天気図別発生パターン

平成5～8年度で、東港港外で観測された長周期波が、発達から減衰に至るまでに10cm以上を記録した、55期間の天気図を図-9に示す3パターンに分類した。これらの内訳をみると、パターン1(勢力の強い高気圧が日本の東にあり西から低気圧が接近するとき)が25期間と最も多く、パターン2(日本海北部に低気圧が停滞する。または関東付近を低気圧が北東進するとき)とパターン3(台風が日本の東を北上するとき)は、それぞれ16期間と14期間でほぼ同数である。船体動揺が観測された平成6年9月18日と8年9月20日は、いずれもパターン3に属しているが、全体的にもパターン3の時に発生する長周期波が大きくなる傾向がみられた。

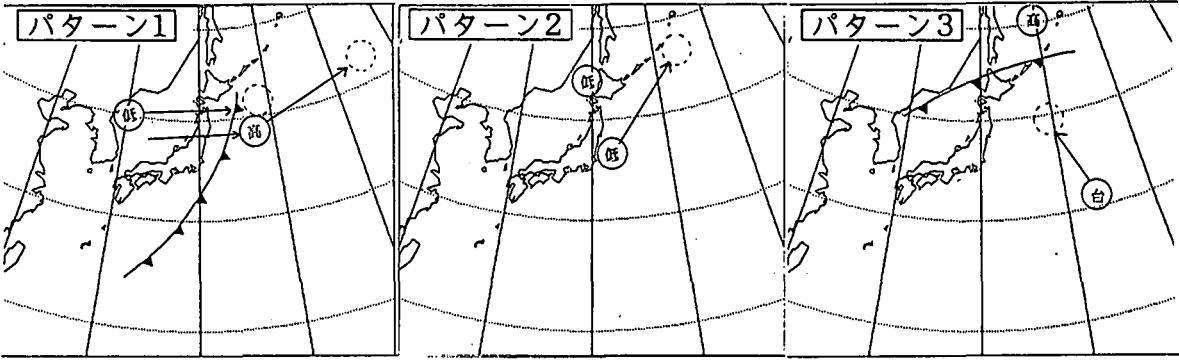


図-9 長周期波卓越時の天気図パターン

(2) 四季別スペクトル形状の比較

東港港外の長周期波高(HL)約10、約15cmとなる場合の四季毎の波高スペクトルを図-10に示す。どのケースも長周期波高のレベルによらずスペクトル密度はほぼ対応し、短周期側においては10秒前後に、長周期波においては90秒前後にピークが出現している。また、セットダウン波の周期は、波群周期の8～10倍と考えられており、短周期波と長周期波のピークと対応している。なお、H6. 9. 18のケースは20秒付近にピークが出現しているが、台風によるうねりが侵入したためと考えられる。

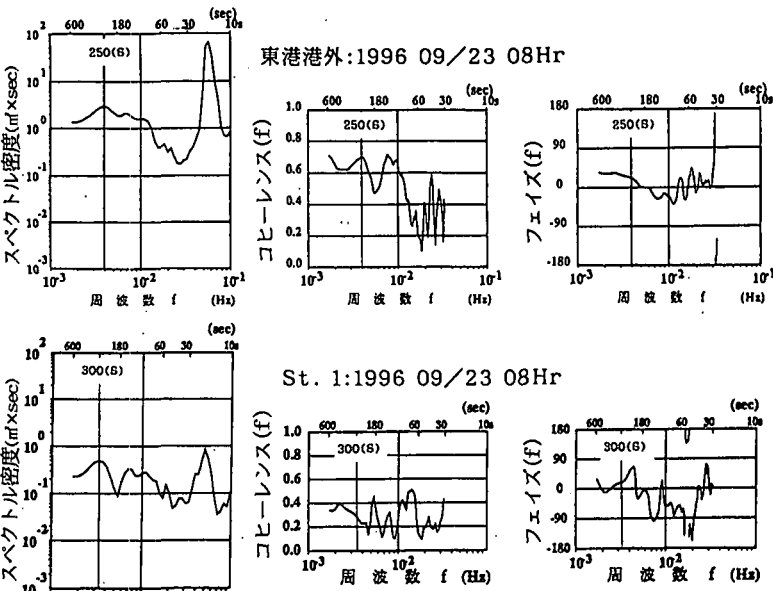


図-8 コヒーレンスとフェイズ

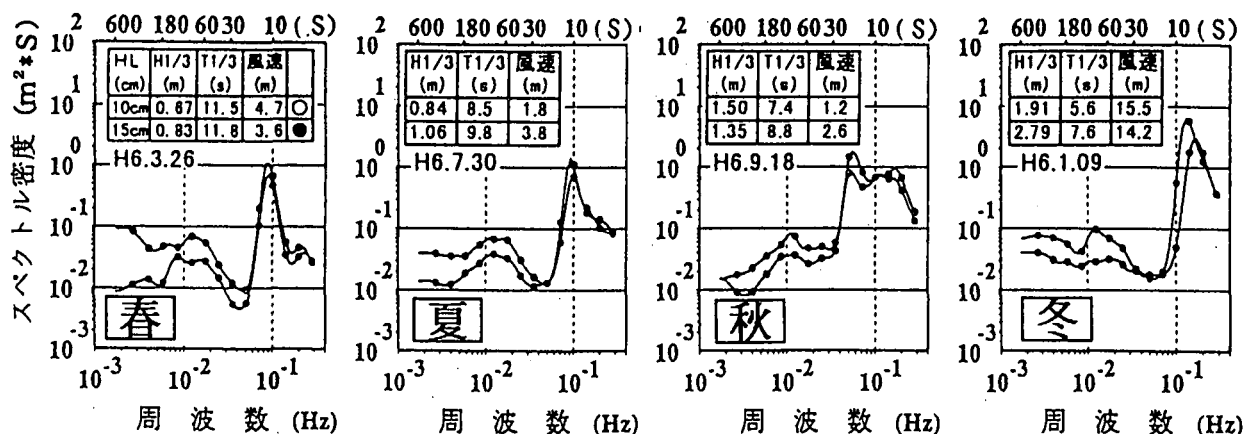


図-10 四季別スペクトル

(3) 長周期波の出現頻度

平成4年5月～8年12月の東港港外で観測された長周期波高と波向を集計した結果を以下に示す。なお、波向については、長周期波の発生主要因がセットダウン波であると考えた場合、長周期波がその搬送波であるうねり成分波浪とほぼ同じ波向を持つことから、波向としては通常の波向を用いた。

①波向別波高階級別出現頻度

長周期波高の波向別波高階級別の出現頻度を図-11に示す。長周期波は、150～180°に集中して発生しており、10cm以上の出現率も10%を超過している。なかでも、160～170°で最も多く発生しており、全波向の30%以上を占めている。

②周期別波高階級別出現頻度

長周期波高階級別の出現頻度を有意波周期別に図-12に示す。10cm以上の長周期波の出現頻度は、周期が大きくなるにつれ増大する傾向がみられ、有意波周期が10～12秒で約5割、12秒以上では7割以上になっている。

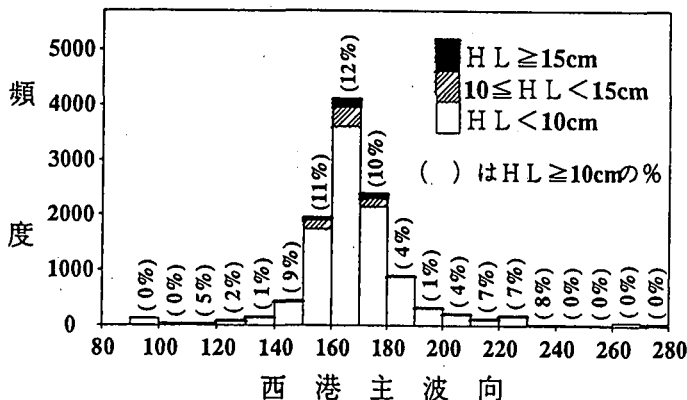


図-11 波向別波高階級別出現頻度

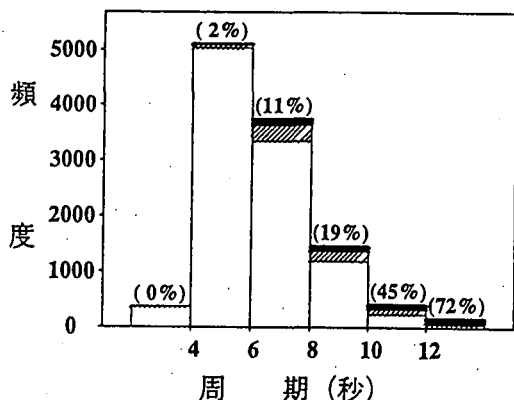


図-12 有意波周期別波高階級別出現頻度

(4) 長周期波の波向別港内増幅特性の検討

平成4年5月～8年12月のst.1の長周期波高の東港港外に対する増幅率を波向別に、集計した結果を図-13に示す。全波向の長周期波の増幅率は0.95である。波向別には、出現頻度の高い160, 170°で約1.0、180, 190°で約0.9である。その後波向が大きくなるに従い増幅率も急激に増大している。また、190°以西で増幅率が増大しているのは、港口開口部から岸壁前面への直線方向と一致し、防波堤による回折効果が現れにくいためと考えられる。

次に、現地観測結果による波向別港内増幅特性の、水位変動シミュレーションによる再現性の検証を行う。解析に使用するデータは、平成8年9月1日～24日の観測期間に

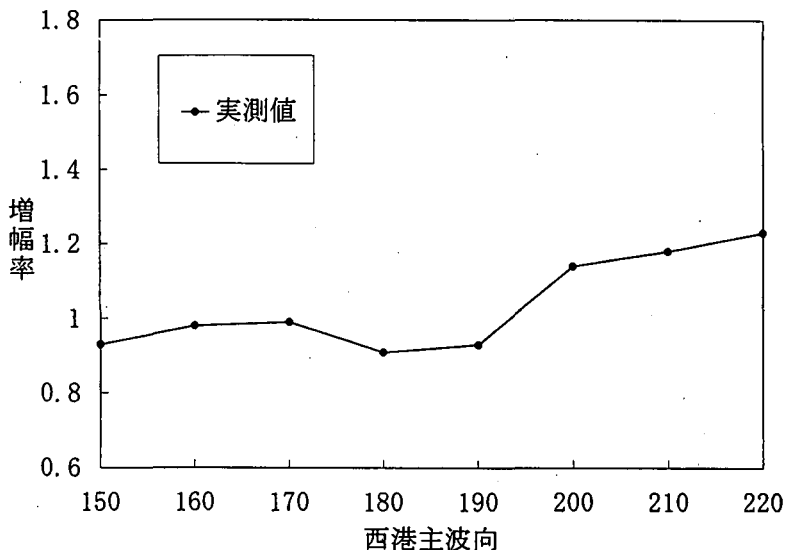


図-13 波向別港内増幅率(平成4～8年実測値)

おける波高観測データである。st.1の実測値及び計算値による港内増幅率を図-14に示す。集計の結果、長周期動揺被害と関連性が高い10cm以上の長周期波が、集中して発生する150°～180°の波向では、計算増幅率は実測値をよく再現していると考えられる。なお、計算値が実測値と異なっているのは、180°以西では発生頻度が非常になくなるため、個々のデータのバラツキが反映されているためと考えられる。従って、長周期波の波向を通常の波向で代表させた、線形長波近似による水位変動シミュレーションの妥当性が確認できた。

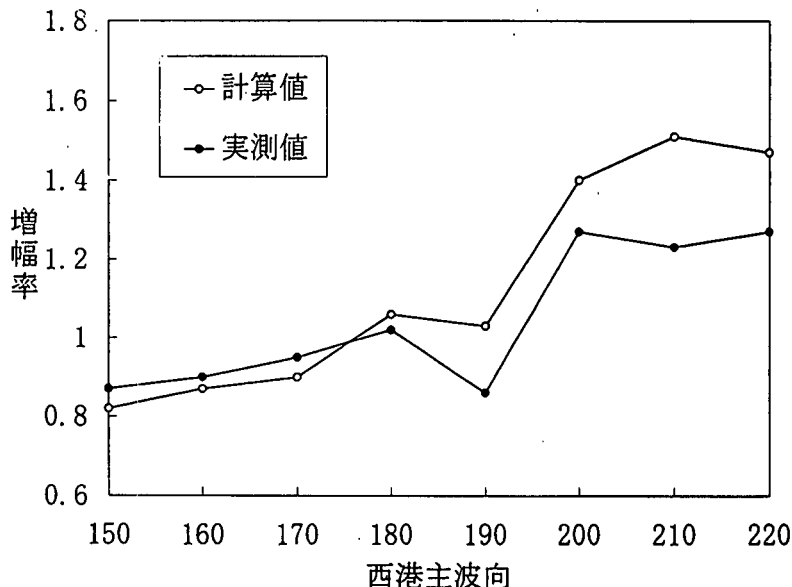


図-14 波向別港内増幅率(平成8年実測値・計算値)

5. おわりに

本報告における主要な結論を以下にまとめる。

- ①本年度において長時間連続観測に成功した、船体動揺発生時の港内外長周期波のスペクトル解析の結果は、動揺開始時、荷役中止時、緊急離岸時の各スペクトル形状が平成6年度の実測データと同様に、動揺期間中90～150秒の長周期波成分の卓越が確認できた。
- ②今年度の現地観測・解析により、当港における港外の長周期波の成因は、長周期波が卓越しているときはほとんどがセットダウン波であることが確認できた。そして、長周期波は卓越の度合いにかかわらず、セットダウン波が港口から侵入した直後に、見かけ上大部分の拘束が解けて、岸壁に到達しておりこの間は概ね自由進行波として扱えると考えられる。
- ③四季のスペクトル形状のいずれにおいても、30秒以上の長周期波成分では、スペクトルのピークは約90秒に出現しており形状もほぼ等しくなっている。
- ④波向別出現頻度では、動揺に大きく影響を与えていると考えられる長周期波10cm以上の波浪の波向は、150～180°に集中することが確認できた。なかでも、160～170°で最も多く発生しており、全波向の30%以上を占めている。周期別出現頻度では、10cm以上の長周期波の出現頻度は、周期の増大に対応しており、有義波周期が10～12秒で約5割、12秒以上では7割以上になっているのが確認できた。
- ⑤港内増幅率は、全波向で0.95程度であり、波向毎では港口とst.1を結ぶ東水路平行方向で大きくなることが確認できた。また、水位変動シミュレーションの妥当性が確認できた。

最後に、観測・解析を進めるに当たり「苫小牧港東港区静穏度対策検討委員会(委員長:上田茂 鳥取大学工学部教授)」に御意見・御指導を頂いた。ここに厚く御礼申し上げる次第である。

(参考文献)

- 神谷昌文・渥美洋一・菅沼史典・小泉信男(1995): 苫小牧東港における船体動揺に関する現地観測, 海洋開発論文集, Vol. 11, PP. 339～344
- 松良精三・渥美洋一・菅沼史典・宮本義憲(1994): 波群に拘束された長周期波の港内における増幅特性と船体動揺に関する現地観測, 海岸工学論文集, 第41巻, PP. 71～75
- 菅沼史典・神谷昌文・渥美洋一・小泉信男(1995): 現地観測による長周期波の発生頻度と船体動揺発生の子測の検討, 海岸工学論文集, 第42巻, PP. 951～955
- 渥美洋一・神谷昌文・國田淳(1995): 苫小牧東港における船体動揺特性の検討(第4報), 北海道開発局技術研究発表会発表概要集(4), PP. 171～178
- 神谷昌文・渥美洋一・國田淳・関口信一郎・木村克俊・平石哲也・白石悟・上田茂(1996): 長周期波に対する荷役稼働率の評価法とその改善策, 海岸工学論文集, 第43巻, PP. 891～895