

苫小牧海域における長周期波特性について

和田 耕 造*・梅 沢 信 敏**・小 谷 野 喜 二***・桑 原 伸 司****

1. ま え が き

苫小牧西港は、太平洋に面した掘込み港湾であり、副振動による被害が懸念されるため、その実態を明らかにする目的で昭和 60, 61 年に 図-1 に示す地点で水位の現地観測を行った^{1), 2)}。その結果をまとめると次のとおりである。

① 西港内の副振動は単節モード（周期約 60 分）の振動が最も顕著であり、双節・三節モードの振動も有意な大きさをもっている。

② 単節モードよりも長い周期が西港内で観測され、また周辺他港の港内でも港型のみでは出現し得ない長周期波が観測された。そこで、津波シミュレーションの手法を用い数値計算を行った結果、現地観測とよく一致した振動周期が得られた（図-2）。

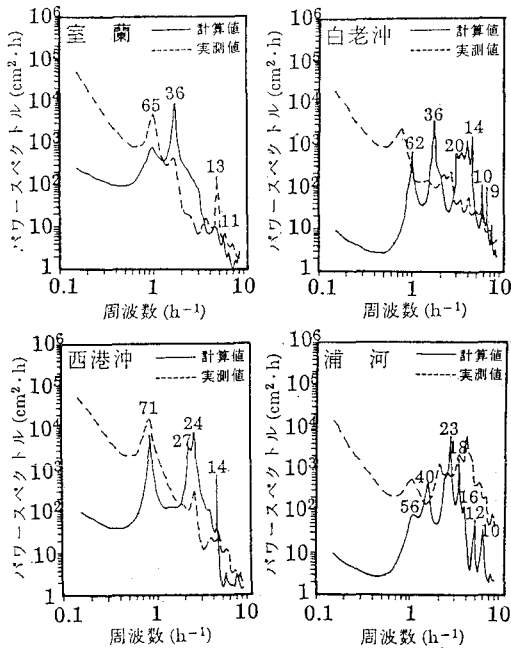


図-2 数値計算と現地観測の比較

③ 港外で陸棚振動が発生していない場合でも西港内では副振動が発生している時もあり、西港のみに働く外力が考えられる。

④ 港外において観測される長周期波エネルギーを気象条件別に比較した結果、何らかの要因（気圧、風、低気圧の経路等）と相関関係があるようである。

本報告では、以上の結果を踏まえ、港外での長周期波発生メカニズム及び長周期波特性と気象条件の関係を明らかにすることを目的として、スペクトル密度解析を行い、さらに低気圧の移動とそれに伴う風等の外力変動を考慮した数値シミュレーションを行った。

2. 現 地 観 測

本報告に用いる現地観測記録の取得は、図-1 で示した 8 地点（西港内 4 地点、室蘭港内、白老港沖、西港沖、浦河港内）において、昭和 61 年 10 月 20 日～同 12 月 20 日の間で行った。8 地点のうち、西港内の 1 地点、室蘭

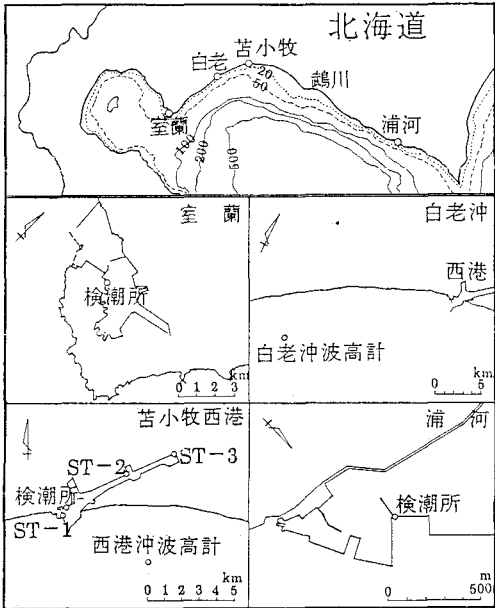


図-1 観測位置図

* 正会員 工務 北海道開発局 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 港湾研究室
*** 正会員 北海道開発局 港湾部港湾建設課
**** 正会員 北日本港湾コンサルタント(株)

港内、浦河港内の3地点は常設の検潮所記録を、白老沖、西港沖の2地点は北海道開発局が常設した超音波式波高計記録を、他の西港内3地点は特設した水圧式水深計の記録を用いている。記録処理については、あらかじめチャートスピード、サンプリングタイムを長周期波観測用に設定し、観測終了後デジタイザにてデジタルデータとして電算処理を行った。

観測対象としているこの海域の地形的特徴は、ともに太平洋に面する弓形状の砂浜海岸であり、比較的緩い海底勾配(1/50~1/100)を有している。従って汀線から大陸棚までの距離は約20~40kmと比較的長くなっているが、鵜川付近前面の大陸棚は広く、逆に浦河付近は狭くなっている。

代表的な観測記録例を図-3に示す。周期60分程度、平均振幅10cm程度の明確な長周期波が観測されている。振幅の大小はあるが、ほぼ全観測期間中に観測されている。

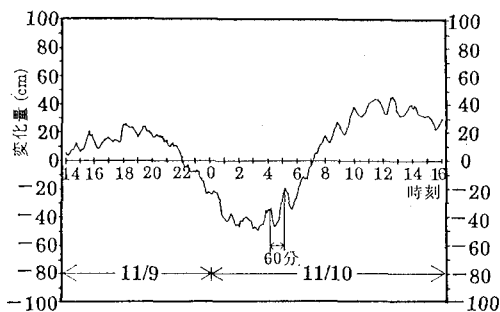


図-3 西港沖での水位変動観測結果

3. スペクトル密度解析

8地点の記録からパワースペクトルの密度分布を求めるが、その方法は、まず12時間毎に前後計26時間のパワースペクトルをMEM法を用いて求め、次にエネルギー密度の経時変化を平面的に表現するものである。また、それぞれの計算間隔を12時間、計算期間を26時間と重複期間を設けることにより、密度変化に連続性を持たせている。

図-4にスペクトル密度の代表的な例として西港沖の計算結果を示す。密度分布によると、港外にもかかわらず、70~90分の固有周期が認められ、長周期波の存在を示している。

ここで、気象条件と長周期波の関係を調べるために、西港外4地点における長周期波ピークに着目し、そのエネルギーの経時変化を図-5に示した。また、図中には苦小牧で観測されている気象・海象記録をもとに、その特徴分類記号を併記した。分類は(財)日本気象協会の分類に従い、低気圧の通過経路を中心に表-1に示すとおりとした。

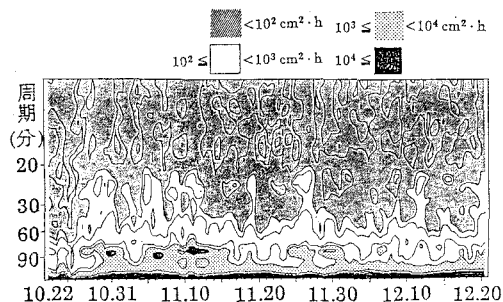


図-4 代表的なスペクトル密度(西港沖)

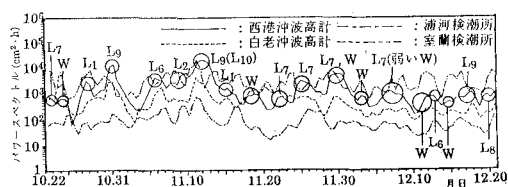


図-5 エネルギーピークの経時変化

表-1 気象分類記号

低気圧や台風のコース		型
低気圧が大陸より東進してきて、	樺太中部以北を通過したもの。	L ₁
	宗谷海峡付近(樺太南部、北海道北部を含む)を通過したもの。	L ₂
	津軽海峡付近(北海道南部、奥羽南部を含む)を通過したもの。	L ₃
	奥羽南部を通過したもの。	L ₄
低気圧または、台風が日本海西南部から日本海を北上し、	北海道西方海上を北上し、さらに北上したもの。	L ₅
	宗谷海峡付近を通過したもの。	L ₆
	津軽海峡付近を通過したもの。	L ₇
	奥羽地方を通過したもの。	L ₈
低気圧または、台風が関東沖から三陸沖を北上し、北海道にかなり接近したが沖合を通過したもの。		L ₉
二つ玉低気圧、太平洋側の低気圧と、日本海側の低気圧が本州をはさみながら北上することが多い。太平洋側の低気圧が、日本海側の低気圧より勢力が非常に強い場合はL ₉ 型とする。		L ₁₀
冬季の季節風の吹きだしによるもの。		・
顕著な前線または、気圧の谷が通り、この前線で、気圧傾度が強まった場合。		・

昭和61年度の報告では、長周期波の発生は大陸棚地形に依存するものとされており、本報告では発生外力と考えられる気象・海象条件について検討した。その結果、長周期波の発生は、以下の2つの発生パターンに分類され、低気圧が第1の要因であるものの低気圧の規模よりも、その通過経路・配置に依存していることが判明した。

① 11月10日頃までは、太平洋上を低気圧が北上する場合 (L_6, L_7, L_9, L_{10}) にスペクトルのピークが認められる。特に二つ玉低気圧である L_{10} の時には最大ピークとなった。

② 冬型の気圧配置が強まってきた11月10日以降は津軽海峡付近を通過する低気圧 (L_7) によりスペクトルピークを有するが、そのピークの型に鋭さはなくなっている。

一方、西港沖と西港内奥の ST-3 のスペクトル密度比を求めた結果を図-6に示した。それによると西港内の固有周期に対応した3つのモード (60 数分, 20 数分, 10 数分) が明確に現われており、西港沖の陸棚振動に起因して生じる副振動が、西港内で独自に発生することもあり得ることを示している。こうした場合の外力条件を整理した結果、港口から港奥へ風が吹く場合 (西風: 図中に「風向」と示す) がその最も有力な条件であったものと考えられる。

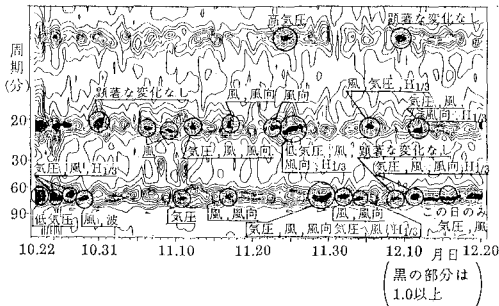


図-6 西港沖と ST-3 の密度比

また、図-5 で示した西港沖で高エネルギーを示す期間 (11月20日過ぎ頃までは、西港内で発達せず、港外の低エネルギー時には比較的発達するようである。この問題については、①港口でのエネルギー損失³⁾により長周期波の港内侵入が防がれる。②西港内での振動エネルギーには容量があり、その上限は一定である。等の考え方もできようが、今後の課題である。

4. 数値シミュレーション

外洋の長周期波は、西港内の観測結果でも明らかにあったように、その影響を何らかの形で港内にもたらすようである。港湾利用を考えた場合、長周期波の侵入は荷役に支障を及ぼすとともに、係留ロープの切断等の被災をもたらす場合さえある。そこで、本報告では、2. で述べた長周期波特性を、実測された低気圧を用いて再現を試みることにし、港内副振動の発生予報の可能性を検討する。

4.1 基礎方程式⁴⁾

基礎方程式は、Navier-Stokes の方程式を水深方向に積分した平面 2 次元長波の方程式によって次のように表

わされる。

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial [(h+\zeta)u]}{\partial x} + \frac{\partial [(h+\zeta)v]}{\partial y} = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial t} + v \frac{\partial u}{\partial t} - f \cdot v + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{1}{\rho_\omega} \cdot \frac{\partial P_0}{\partial x} + \frac{\tau_x^b - \tau_x^s}{\rho_\omega(\zeta+h)} - A_h \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) = 0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial t} + f \cdot u + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{1}{\rho_\omega} \cdot \frac{\partial P_0}{\partial y} + \frac{\tau_y^b - \tau_y^s}{\rho_\omega(\zeta+h)} - A_h \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) = 0 \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 u, v : x, y 方向の平均流速、 ζ : 水位、 h : 水深、 P_0 : 大気圧、 f : コリオリのパラメータ ($=2\omega \sin \phi$)、 ω : 地球自転角速度、 ϕ : 緯度、 ρ_ω : 水の密度、 τ_x^s, τ_y^s : 海底面での摩擦力、 τ_x^b, τ_y^b : 海面でのせん断応力 (風の関数)、 A_h : 水平混合係数、 g : 重力加速度である。

4.2 低気圧モデル⁵⁾

台風の気圧分布を表わすものとして、いくつかのモデルが発表されているが、本検討では代表的なモデルの 1 つである Myers の式により低気圧を表現するものとする。モデル式を以下に示す。

$$P = P_0 + \Delta P \cdot \exp \left(-\frac{r_{\max}}{r} \right) \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 P : 台風中心から r 離れた位置での気圧、 r : 台風中心から圧力算定地点までの距離、 P_0 : 台風中心での気圧、 ΔP : 気圧深度 ($P_\infty - P_0$)、 P_∞ : $r = \infty$ における位置での気圧、 $r_{\max}$: 台風中心から最大風速が発生する地点までの距離である。

(4) 式で求めた気圧分布により傾度風を求め、さらに低気圧の進行に伴う場の風と合成することにより、風速が求められる。

4.3 計算条件

計算ケースの選定は、長周期波観測結果より明確な長周期波が出現している昭和 61 年 11 月 6 日～8 日を選定した。この時の気象概要は、表-1 に示した分類のうち L_6 に相当している。その期間中の苫小牧港における気象履歴を表-2、図-7 に示す。それによると、この期間中の気圧変化量は 10 mb 以下と大きくはない。

表-2 低気圧の履歴

日付時刻	潮位 (cm)	気圧 (mb)	風向 (16方位)	風速 (m/s)
10/29 3	71	1015.0	NNW	1.4
9	65	1016.0	C	0.0
15	103	1016.0	W	4.2
21	74	1017.5	W	3.0
10/30 3	91	1016.0	C	0.0
9	59	1015.5	N	1.4
15	115	1014.5	N E	3.0
21	59	1017.5	WNW	3.0
10/31 3	105	1019.5	WNW	1.2
9	49	1022.0	NNW	2.0
15	111	1022.0	N W	1.0
21	29	1022.0	NNE	0.8

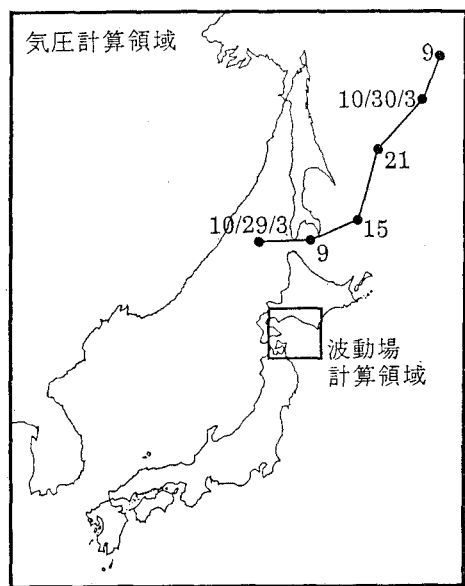


図-7 低気圧の経路及び計算領域

計算領域は、図-7 に示した範囲であるが、計算時間の制約上、波動場計算領域と気圧計算領域を分けて考えた。なお、波動場計算領域は $5\text{ km} \times 5\text{ km}$ の計算格子で区切り、計算ステップ (Δt) は 18 秒とし 30 時間後まで計算した。

4.4 計算結果

気圧分布、風速分布及び西港沖での水位変動計算結果を図-8、図-9 に示す。気圧については、低気圧の中

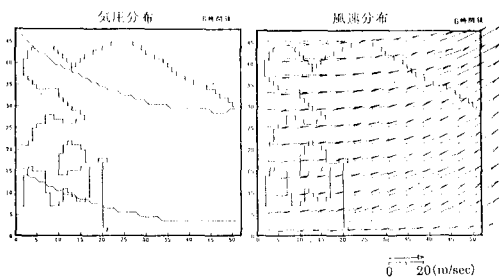


図-8 気圧・風速分布計算結果

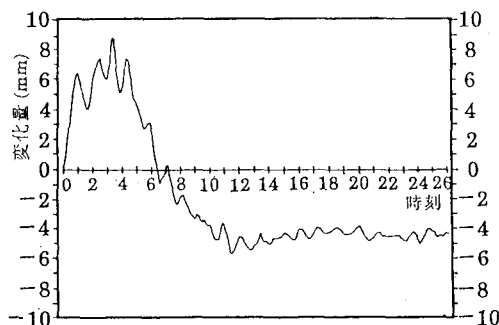


図-9 西港沖での水位変動計算結果

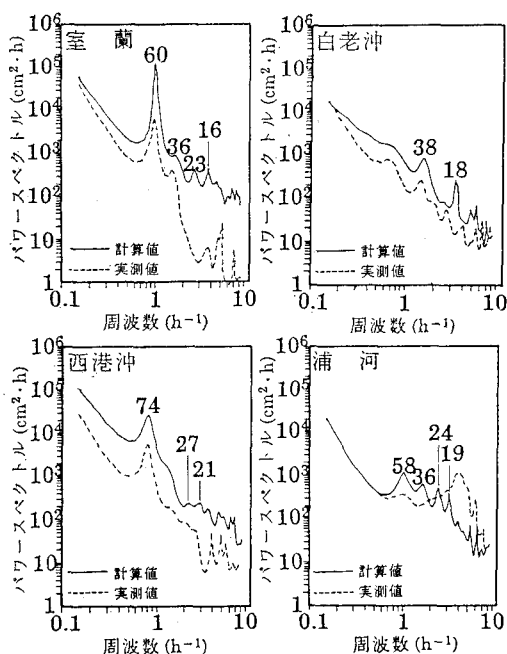


図-10 予測と実測のスペクトル比較

心気圧と苦小牧での実測値を計算条件として入力した結果、室蘭、白老、浦河とも良く一致していた。一方、水位変動については、最大 1 cm 程度と観測結果に比べかなり小さくなっている。これは、波動場の計算領域が苦小牧海域周辺のみと狭く、水位変動の直接的要因の 1 つである風波を計算する際、吹送距離を過少評価するためと考えられる。振幅の再現性を高めるためには、波動場の計算領域を広範囲 (計算時間を抑えるためには 1 次、2 次領域に分け、メッシュ間隔を変える等) にとる必要がある。

次に、得られた水位変動計算結果より求めたスペクトルの計算結果を図-10 に示す。出力地点は、現地観測地点に合せ、室蘭、白老、苦小牧、浦河の 4 地点とする。なお、前述したとおり振幅の再現性が不十分であり、計算値のエネルギーが、かなり小さいため、図中では 10^2 程シフトして示してある。

長周期波の周期については、各地点第 1, 第 2 モードの周期は比較的よく再現しているものと考えられ、このモード程度までは、大陸棚の存在及び低気圧に起因しているようである。さらに本文中には載せていないが、低気圧の大小に係わらず、経路を変えて実施したケースについても、同程度の周期再現性を示しており、現況観測で推定した「低気圧の規模よりも、その通過経路・配置に依存する」という長周期波の発生要因を裏づける結果となっている。また、経路・配置別のエネルギー大小についても再現可能であった。

5. 結 び

過去2年間にわたり実施した現地観測結果をもとに、特に長周期波について解析を行ったが、得られた結果は以下の5項目にまとめられる。

① 大陸棚（海底地形）の影響によるものと考えられるスペクトルピークがあり、その振動周期に関与する要因としては、気圧傾度よりも、通過経路の方が重要なようである。

② 港外で明確なスペクトルピークが現われていない時にも港内で顕著な副振動が発生するのは、水路長手方向に港口から港奥に吹く風によることが判明した。

③ 港外の長周期波のエネルギーが大きい場合には、港口等でのエネルギー損失等が大きくなり、港内での増幅率は小さくなる。

④ Meyers 台風モデルを用い、港外長周期波の再現

計算を行った。計算領域の関係から、スペクトルエネルギーの再現は不十分であったが、振動周期の再現については、ほぼ満足する結果が得られた。

⑤ シミュレーションにより、通常の気象条件時の港外長周期波の推定が可能になるとともに、港内についても天気予報による低気圧の通過経路を用いて副振動の大きさを予測することも可能になるものと考えられる。

参 考 文 献

- 1) 小谷野喜二・数土 勉・宮地陽輔：苫小牧西港における副振動特性について，第33回海岸工学講演会論文集，pp. 85～89, 1986.
- 2) 北海道開発局室蘭開発建設部苫小牧港湾建設事務所：苫小牧港港内副振動調査報告書，1987.
- 3) 岩垣雄一：最新海岸工学，pp. 133～136，共立出版，1987.
- 4) 村上和男・森川雅行・堀江 毅：ADI法による高潮の数値計算法，港湾技研資料，No. 529, 1985.
- 5) 土木学会編：水理公式集，pp. 489～491, 1985.