

様似港の港内波浪について

——港の形と静穏度との関係に関する研究 第1報——

尾崎 晃*・柳沢 満夫**

1. 様似港の概況

(1) 様似港について

様似港は図-1に示すように北海道の太平洋岸に面し、国鉄日高線の終点、様似町にある第三種漁港である。日高海岸は苫小牧から襟裳岬に至る約160kmの間ほぼ一直線をなした比較的単調な海岸であるが、詳細に見れば大半の弧状をなした海岸線の連続であって、局部的な侵食が各所に見られる。この海岸を概観すると、静内を中心にしてこれより苫小牧方面は砂浜、襟裳岬よ

図-1 原位置

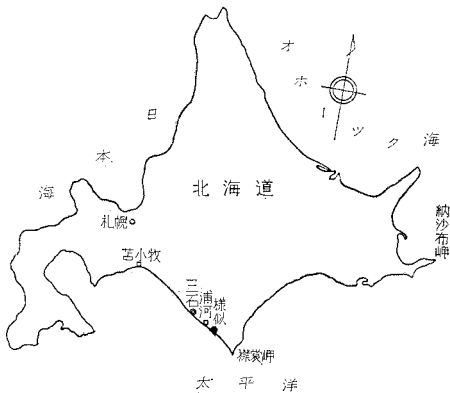


図-2 様似港一般平面図

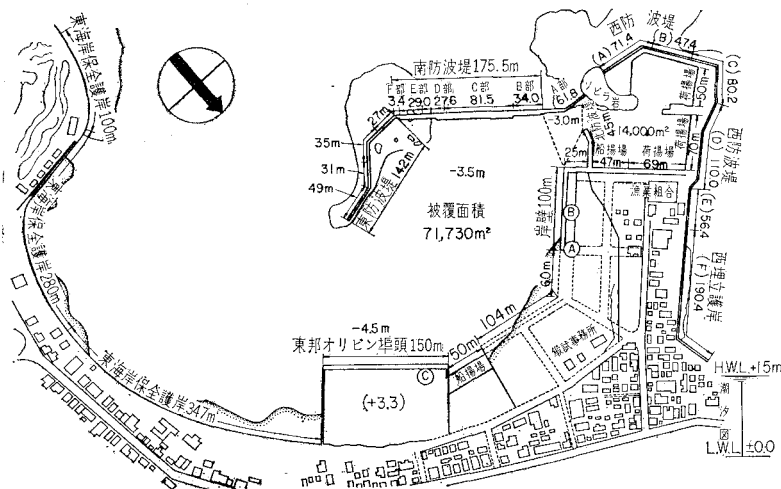
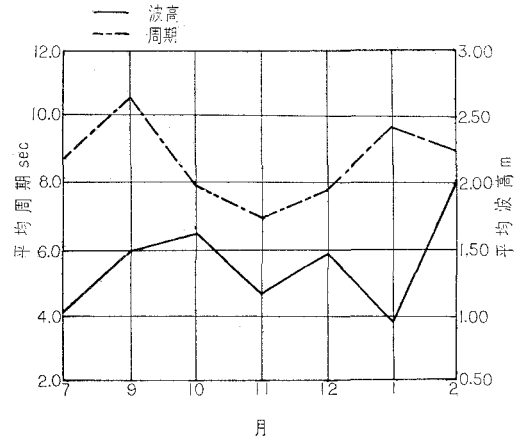


図-3 三石港の平均波高および周期



りは主として岩礁海岸と大別される。このような海岸線にあって様似漁港は、海岸線からおおよそ900m突き出しているエンルム岬と、これに約700mへだてて相対する、ソビラ岩を中心とする岩礁によって囲まれた小湾の奥に位置している。この岩礁群を利用し、そのうえに建設された防波堤と、エンルム岬とによって被覆された港内は、単調に外海に直面しているこの海岸線においては地形的に恵まれた小港湾といえる(図-2)。同港に來

襲する波に関しては観測記録がないので、やむを得ず同じ海岸線で30kmあまり西方の三石港における観測記録¹⁾によると表-1、および図-3に示すとおりである。

これによれば波高は1~2.4m、周期は6~12秒の範囲内にあることがわかる。様似港の波も、地理的な条件より見て大体この程度のものであろうと推定する。また波向については、苫小牧における観測²⁾以外に資料がない。これによると周期10秒以上の波の波向は例外なく(8ヵ月間の記録)S~SE方向である。波高2m以上の波の波向はSE~SW方向であるが、これ

*正員 工博 北海道大学教授 工学部土木工学科

**KK 日立製作所

表-1 日高三石港における波

波			高				周				期				観測年
	最多波高		第2次最多波高		第3次最多波高		最多周期		第2次最多周期		第3次最多周期				
	区 分	出現率(%)	区 分	出現率(%)	区 分	出現率(%)	区 分	出現率(%)	区 分	出現率(%)	区 分	出現率(%)			
1 月	0.5~0.99	66.7	1.0~1.49	33.3			8~9.9	66.8	10~11.9	33.2			30		
2 月	2.0~2.49	56.4	〃	18.7	1.5~1.99	12.5	6~7.9	50.0	4~5.9	43.8	10~11.9	6.2	〃		
7 月	1.0~1.49	69.6	0.5~0.99	30.4			8~9.9	43.4	10~11.9	34.8	6~7.9	13.1	〃		
9 月	〃	85.7	1.5~1.99	14.3			10~11.9	57.3	8~9.9	28.4	12~13.9	14.3	〃		
10 月	1.0~1.49	35.5			2.0~2.49	25.8	8~9.9	58.1	6~7.9	41.9			〃		
11 月	1.0~1.49	50.0	1.5~1.99	37.5	0.11~0.49	12.5	6~7.9	100.0					〃		
12 月	0.5~0.99	29.9	1.0~1.49	21.8	1.5~1.99	19.4	〃	44.0	8~9.9	34.1	10~11.9	14.6	29		
秋	1.0~1.49	57.1	1.5~1.99	29.1	2.0~2.49	8.6	6~7.9	47.3	〃	28.8	〃	4.8			
冬	0.5~0.99	34.4	1.0~1.49	24.6	〃	21.2	8~9.9	34.3	6~7.9	30.7	〃	18.0			
全観測期間平均	1.0~1.49	40.8	1.5~1.99	19.9	0.5~0.99	17.7	6~7.9	39.3	8~9.9	31.2	〃	18.6			

(運輸第二港湾建設局資料)

らのうち SW 方向のものは周期が小さい(5~6 秒以下)という特徴がある。この傾向は同じ海岸線上の様似港に対しても適用できるものと思う。

(2) 港内波浪の特性

前項に述べたように同港の港口は、現在 図-2 のように東防波堤とエンルム岬との間の約 300 m の部分で SW 方向に向いている。しかし S~SWW 方向からの波はこの広い開口部から自由に湾内に侵入するので、実際の泊地は東防堤先端と東邦オリビン埠頭の東端を連ねる線から西の区域である。同港は、昭和 7 年に起工され同 9 年に第一期工事が終わったのであるが当初の築港計画では、港はソビラ岩を中心とする現在の西防波堤に囲まれた内港部だけであった。その後拡張計画が進められ、現在の南防波堤の部分を経口とする予定の下に東防波堤 142 m が設けられた。しかしこれでは被覆面積が小さく、将来の日高東部地域の発展に対応しえないとして再び計画が変更されて、湾全体を港として利用できるよう態勢がとられ、港口を NE 方向に向けることとし、南防波堤が建設された。この新しい港口から東南方向へかけての、湾の海岸線の 1/2 に相当する海浜は、平均約 1/40 の海底勾配を持ち、汀線には海岸保全事業によるテトラポッドが投入され、消波浜を形成している。したがって平面的に見た防波堤の遮へい範囲内においては、S 方向の波による回折の影響が多少ある程度で港内は静穏であるべきはずであった(南防波堤からの越波の影響を防ぐため同防波堤のかさ上げ工事は継続実施中)。港内には公共物揚場として、内港から続いて鉤形に延びる 100 m の物揚場が昭和 33~34 年度に建設されていた。引続いて翌昭和 35 年度に、同地方特産のオリビンサンド積出しの専用ふ頭として延長 150 m の東邦オリビンふ頭が現在地に建設された。同時に港内のしゅんせつ工事が進められ、将来はさらに図の点線の部分に新しい物揚場の建設が計画されるに至った。ところがオリビンふ頭の完成後、港内の静穏度が従来とその様相を一変し、特に

現在の公共物揚場の一端 A 付近においては、港内全段ではさほどの波が認められないときでも異常に高い波が発生し、エプロン上にしばしば打上げ、物揚場が災害を受けるというような事態を生ずるに至った。したがって 35 年度に完成した物揚場は延長の半分も満足に利用し得ない状況にある。このような現象はオリビンふ頭からの反射波によるものであろうということは容易にうなずかれるのであるが、ただ簡単な反射の問題だけでなく港の大きさとふ頭配置、来襲波の方向、周期などによって、いろいろ複雑な波の合成が起ることが考えられる。この問題を解決する目的でわれわれは昭和 36 年 10 月と 11 月の 2 回にわたって現地調査を実施した。

2. 波浪観測

(1) ステップ式波高計

様似港においては前記のように現在までのところ、波浪観測が行なわれ

写真-1 物揚場に取りつけたステップ式波高計と波

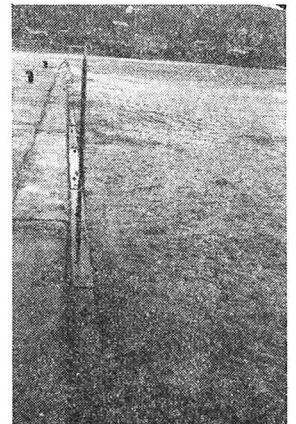
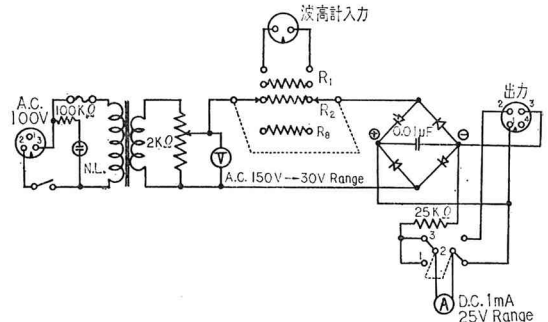


図-4 ステップ式波高計回路図



ていないために、したがってその施設もなく港に來襲する沖波については、三石港あるいは遠く苫小牧港などの記録によって推定するほかないが、港内波浪を調査するため以下のような観測を実施した。

まず、問題の公共物揚場と港口近くのオリビンふ頭との2カ所に波高計を設置し、両地点の波を記録する。波高計としては、図-4に示す構造を持ったステップ式波高計を用いた。

ステップ式波高計に関してはすでに二、三のタイプのものが発表されているが³⁾、今度の観測に使用した波高計は、1回の観測時間が比較的短いこと、および岸壁に取りつけられ保守が容易であることを考慮して、リレーなどを用いない簡単な構造を採用し製作した。1ステップを5cmとし、20ステップで2mまでの波高をはかりうるようにした。この波高計を図-2に示すように物揚場(B点)と、オリビンふ頭(C点)とに取りつけ、後方の事務所内に設けた観測所のオッシログラフに導いた。2日間における波高観測の結果、良好な記録が得られた。

(2) 波高観測結果

前項に述べたようにして、36年11月8日および9日の両日にそれぞれ3回ずつ港内の波高を観測した。一回における記録継続時間は約20~35分であった。図-5に記録の一部分を示す。なおNo.1からNo.6までの記録、およびそれに対応する潮位、天候、また参考として室蘭港の潮沙を表-2に示す。表中の波高および周期

表-2 波 浪 観 測 記 録

No.	日 時	地点	波高		周期	潮位	天気	風		備 考
			$H_{1/3}$	$T_{1/3}$				風向	風速	
			cm	sec	m				m/s	
1	36.11.8 自11h25m 至11.45	B	61	12	+0.91	晴	SSE	3.3	HW	室蘭港の潮沙 03h24m144cm 14 47 159 LW 09h13m 65cm 21 44 14
		C	61	"						
2	36.11.8 自14.37 至14.57	B	65	11	+1.43	晴	SE	5.3	LW	
		C	58	"						
3	36.11.8 自15.22 至15.57	B	63	12	+1.33	晴	SE	6.0		
		C	50	"						
4	36.11.9 自12.02 至12.20	B	66	7.8	+1.03	曇 時々雨	W	15.5	HW	03h57m146cm 15 18 164 LW 09 43 69 22 15 5
		C	61	"						
5	36.11.9 自14.21 至14.50	B	86	9.6	+1.41	曇	WNW	16.7	LW	
		C	84	"						
6	36.11.9 自15.22 至15.57	B	74	"	+1.46	曇	WNW	14.8		
		C	72	9.0						

注：Bは物揚場測点，Cはオリビンふ頭測点

図-5 波浪観測記録の一部 (オッシロ ペーパーを図化したもの)

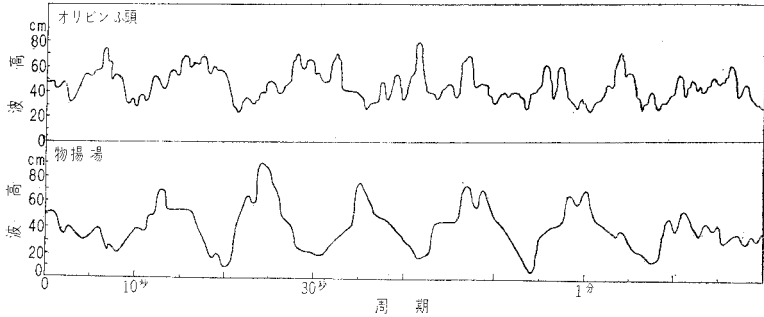
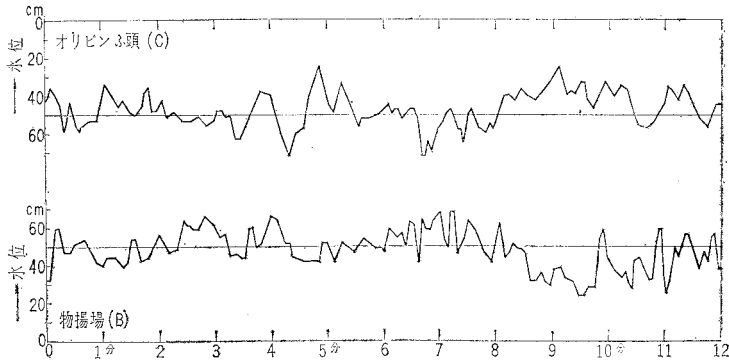


図-6 平均水面の変動



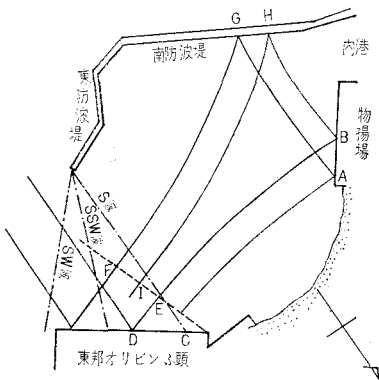
はそれぞれ有義波に対するもので $H_{1/3}$ 、 $T_{1/3}$ である。あとに述べるような観点からすればこのような表わし方は必ずしも必要ではないが、一応比較の便宜上求めた。図-6 はそれらの記録により平均水面を求め各時刻におけるその変動を調べたものの一例である。

3. 模型実験

現地における観測結果を整理し考察を進めるうえに必要な問題点を解決する目的で、様似港の港内波に関する模型実験を行なった。模型は、図-2 の全港域をふくむ縮尺 1/85 のひずみなし模型、およびオリビンふ頭、物揚場、南防波堤の一部のみをふくむ縮尺 1/20 の部分模型の2種を作り、二方向からの入射波による波の合成について観測した。小型模型においては波高が小さいため海底摩擦の影響が大きく、反射、合成に関する詳細な測定は困難であったが、港内に侵入した波の折屈、回折、おもなる反射方向などについてかなりの資料を得ることができた。大型模型は縦横 20m×15m、深さ 40cm の水槽中に製作した。これにおいては造波機の最大周期 (2.03 秒) の関係から、現地の波にそのまま対応するものというよりはむしろ、反射、合成の観測が容易な各種の波について実験した。

模型実験の結果によれば港口から侵入する各方向の波に対する、防波堤による遮蔽域 (幾何学的) および港内における反射、屈折による波向は図-7 に示すとおりである。これより明かなように、港内に最も影響をおよ

図一7 港内波の進行経路



ぼすのはS方向からの波であって、この場合にはオリビン頭のほとんど全部が、遮蔽域外となる。反射波の波向も屈折によって、物揚場に到達するときには約60°の入射角となり、また一方、南防波堤に衝突して反射される波も、物揚場に対し、ちょうど反射側から40°の角度で入射するようになる。SSW波に対してはオリビン頭前面の非遮蔽域(幾何学的)は全長の約1/3となり、SW波では完全に遮蔽域内となるが、実際には回折および屈折の影響で、SW波、SSW波ともにオリビン頭の奥の方まで侵入する。

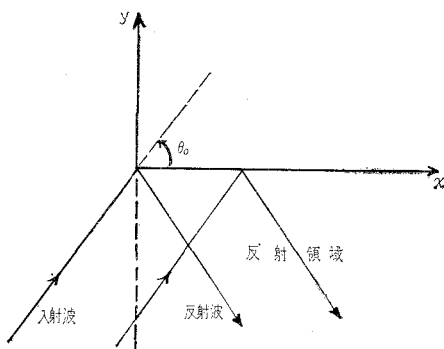
4. 観測結果に対する考察

以上に述べて来たもろもろの現象を要約すれば、その主要部は、岸壁に斜方向から入射してくる波に対する反射領域内の波形を論ずる問題となる。現実の問題はこれらの重ね合わせであり、さらに屈折、回折の影響が加わるのでいっそう複雑になって理論的解を得ることは困難である。

直立岸壁に対し波が斜方向から入射し、それが単純に反射される場合、その反射領域内の波に関しては、水深が一樣な場合には理論解が求められている^{4),5)}。図一8のように座標を取り、 x 軸の方向を岸壁の長さとする。速度ポテンシャルを

$$\phi = A e^{ikct} \cosh k(z+h) F(r, \theta) \quad \dots\dots\dots (1)$$

図一8



と書けば、表面波形 ζ は

$$\zeta = \frac{Aikc}{g} e^{ikct} \cosh kh F(r, \theta) \quad \dots\dots\dots (2)$$

また任意の点の波高を示す関数 $F(r, \theta)$ は

$$F(r, \theta) = \exp\{-ikr \cos(\theta - \theta_0)\} f(\sigma) + \exp\{-ikr \cos(\theta + \theta_0)\} f(\sigma') \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに

$$f(\sigma) = \frac{1}{2}(1+i) \int_{-\infty}^{\sigma} e^{-\frac{\pi}{2} i u^2} du \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\sigma = 2\sqrt{\left(\frac{kr}{\pi}\right)} \cdot \sin \frac{1}{2}(\theta - \theta_0),$$

$$\sigma' = -2\sqrt{\left(\frac{kr}{\pi}\right)} \cdot \sin \frac{1}{2}(\theta + \theta_0) \quad \dots\dots\dots (5)$$

である。直立壁(剛)前面の反射領域では

$$2\pi - \theta_0 < \theta < 2\pi$$

であるから $\sigma, \sigma' > 0$ である。

また $f(\sigma)$ はつぎの性質をもつ。

$$\left. \begin{aligned} f(\sigma) + f(-\sigma) &= 1 \\ f(\sigma) &\rightarrow 1 \quad (\sigma \rightarrow +\infty \text{ の場合}) \\ f(\sigma) &\rightarrow 0 \quad (\sigma \rightarrow -\infty \text{ "}) \\ f(\sigma) &= 1/2 \quad (\sigma = 0 \text{ "}) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式(6)により式(3)を書きなおすと

$$F(r, \theta) = \exp\{-ikr \cos(\theta - \theta_0)\} + \exp\{-ikr \cos(\theta + \theta_0)\} - \exp\{-ikr \cos(\theta - \theta_0)\} f(\sigma) - \exp\{-ikr \cos(\theta + \theta_0)\} f(\sigma') \quad \dots\dots\dots (7)$$

式(7)右辺の第1項は入射波、第2項は反射波、第3, 4項は回折波をあらわす。この回折波は岸壁の端を波源とする円形波でその波高は反射境界に沿っては入射波高の1/2をもち、反射領域の内部に入るにしたがって漸減し、波源からの距離 r に対し $r^{-1/2}$ で波高が減少するから実際問題としては式(7)の第1, 2項のみで十分である。これより式(7)の第1, 2項のみをとって式(1)の右辺 $F(r, \theta)$ に代入し、実部をとれば反射領域の波形は

$$\zeta = 2 H_0 \cos(ky \sin \theta_0) \sin(\sigma t - kx \cos \theta_0) \dots\dots\dots (8)$$

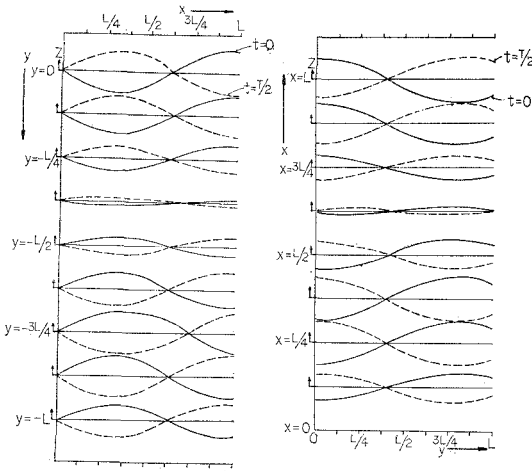
ここに、 H_0 : 入射波の波高、 $\sigma = \frac{2\pi}{T}$, T : 周期、

$$k = \frac{2\pi}{L}, \quad L: \text{入射波の波長},$$

となる。式(8)は $\theta_0 = 90^\circ$, すなわち直角に入射する波に対しては

$$\zeta = 2 H_0 \cos ky \sin \sigma t \quad \dots\dots\dots (9)$$

となり、振幅、周期、波長ともに等しい正、負の方向に進む波による定常波の式である。一例として入射角 θ_0 が 30° の場合に対し式(8)を計算して求めた波形を図一9に示す。すなわち $\theta_0 < 90^\circ$ の場合には、岸壁の線に頂点を有する菱形の網目をつないだ形の波ができる。網の結び目に相当する点では波高は原波の約2倍、岸壁から一定距離ごとに ($\theta_0 = 90^\circ$ の場合は $L/4$) 壁に平行な節線を有し、各波頭が $c \cos \theta_0$ (c : 入射波の伝播速度) なる

図-9 反射領域の波形 ($\theta_0 = 30^\circ$)

速度で壁に平行に進む波である。 θ_0 が 90° に接近するにしたがってこの菱形は壁に平行な方向に扁平となり節線の位置は $L/4$ に近くなる。

様似港においてはオリビンふ頭前面に上記のような波が発生し、反射波はやがて反射領域をはなれて港内へ進み、屈折して物揚場前面に到達する頃には約 60° の入射方向の波となる。観測の結果によれば、No. 1, 2, 3の波($T \approx 11 \sim 12$ sec, うねり)の場合にはオリビンふ頭においては比較的規則正しい波形の進行が見られ、計算結果に近い形を示した。つぎに物揚場においては、前者と同様規則正しい波形がやってくるとき、これがくずれて前者より高い波または低い波が全く不規則にくるときとが1~2分の間隔で継続するという現象が認められた。オリビンふ頭から港内に向った反射波の一部は南防波堤に到達すると、そこで、再反射され屈折を受けて約 40° の入射角で物揚場に到達する。オリビンふ頭から直接くる波を第1次波、上記の波を第2次波と呼ぶことにすれば、波の周期したがって波長によっては、物揚場のある特定的位置においては1次波と2次波の山と山が重なり、またほかのある位置においては山と谷とが重なるような点ができる。また場合によってはそれらが多少ずれてぶつかることも起こりうる。図-7において、もし

$$\text{dist. } EB = nL$$

$$\text{dist. } (IH + HB) = \left(\frac{2m+1}{2} \right) L \quad \dots\dots\dots (10)$$

m, n は正の整数

の場合にはB点の波高は最小になり

$$\text{dist. } EB = nL$$

$$\text{dist. } (IH + HB) = mL \quad \dots\dots\dots (11)$$

の場合には最大になる。実際には全く等しい周期の波はやってこないのに加えて、さらに屈折により、波長が多少変化するのでB点に定常的に今のような状態が起こるとは限らない。Bにおける観測記録が時間的に変化する

理由はこのような原因によるものと考える。No. 4, 5, 6は比較的周期の短い風浪による港内波であったのと、南防波堤を越波した波により新しい波が発生していたので、この現象は前者の場合ほど明瞭でなかった。

様似港における実際の波は以上のように、周期、波高とも変動が大きいため、物揚場で観測された波の現象を説明するいっそう確実な資料を得るために、大型の模型実験を行なった。実験の詳細についてはほかの機会に報告する予定であるが、物揚場の波について結果をまとめると以下のようなものである。すなわち周期 $T = 1.4, 2.0, 2.03$ 秒の3種の波に対して、それぞれの場合に式(10)および式(11)の関係が成り立つことが確かめられた。波の進行、および反射にともなう波高の減衰については、なお継続研究中である。

様似港の物揚場における問題のA点(災害を受けた箇所)は周期が12秒、波長70mの波に対してはちょうど式(11)があてはまる地点となる。また、この地点の前面は水深が浅いためいっそう波高が増大するものと思われる。

さらに港湾全体としてセイシュが観測され、東防波堤の線を節とする1節のセイシュの存在が図-6より明らかである。この場合、 $l = 500$ m, 平均水深5m(観測時の潮位にて)であった。

$n=1$ とすると、

$$T = \frac{2 \times 500}{\sqrt{9.8 \times 5}} = 142.8 \text{ sec}$$

図-6より平均水深変動の周期は約2分20秒前後であるので計算結果と一致する。振幅は30~50cmであった。

あとがき

以上の現地調査にあたっては、北海道開発局土木試験所、同室開発建設部に大そうお世話になった。さらに観測にあたっては五十嵐日出夫助教授、観測および模型実験は佐藤幸雄助手、小野敏行技術員の尽力によるところが大きい。深く感謝の意を表する。なお本研究の一部は文部省科学研究費によるものであることを付記し、感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 運輸省第2港湾建設局：日本沿岸の波の性質に関する研究、(昭和36年2月)
- 2) 運輸省港湾局建設課：波浪観測概要、(1958年)
- 3) 高橋 将：ステップ式波高計による波高観測(1)、昭和34年度苫小牧港調査報告
- 4) Penny, W.G., Price, A.T.: The diffraction theory of sea waves and the shelter afforded by breakwater, Phil. Trans. of the Royal Soc. of London, Series A. Vol. 244 (1952)
- 5) 佐藤清一・岸 力・佐藤昭二・川上善久・春田精二：苫小牧港模型実験—主として防波堤によって生ずる流れについて—、第5回海岸工学講演会講演集、(1958)