

北海道日本海沿岸の漁港における 長周期波浪の影響について

EFFECTS OF LONG-PERIOD WAVES IN FISHERY PORTS ON THE SEA OF JAPAN IN HOKKAIDO, JAPAN

伊東公人¹・本間隆²・松田斉久³・湯口雄司²・戀塚貴²・三船修司⁴

Kimihito ITO, Takashi HONMA, Narihisa MATUDA, Yuji YUGUCHI, Takashi KOIZUKA,
and Shuji MIFUNE

¹正会員 北海道開発局 小樽港湾事務所 (〒047-0008 小樽市築港2番2号)

²非会員 北海道開発局 小樽港湾事務所 (〒047-0008 小樽市築港2番2号)

³非会員 北海道開発局 根室港湾事業所 (〒087-0024 根室市宝林町3丁目9)

⁴正会員 日本データサービス株式会社 (〒065-0016 札幌市東区北16条東19丁目1-14)

Furubira and Bikuni Fishery Ports are on the Sea of Japan in Hokkaido, Japan. At these ports, mooring lines have broken from the oscillation of fishing boats moored to the mooring quay. In Bikuni Fishery Port, the hull of a fishing boat was seriously damaged when water level rise drove the boat against the mooring quay. When this happened, the sea was rough due to a low-pressure storm system, but the waves in the port were not strong enough to cause oscillation of fishing boats. Onsite surveys at these two ports determined that long-period waves are largely responsible for such oscillation. Based on the survey results, the critical wave height for cargo handling was determined, and analysis of port calmness was made under the condition of long-period waves. The analysis showed that countermeasures against the long-period waves are needed in the abovementioned ports.

Key Words : *long-period wave, oscillation of fishing boats, calmness, rate of effective working days, fishing port planning*

1. はじめに

北海道日本海沿岸に位置する古平漁港では、平成14年10月29日に係留中の漁船が大きく動揺したことに伴い係留索が切断された。また、近隣の美国漁港では、船体動揺による係留索の切断に加え、水面が上昇したことにより漁船の底部が岸壁に接触して大破する重大な被害が発生した。この時、港外では $H_{1/3}=4.2\text{m}$ （石狩湾新港沖での観測値）の波が観測されたが、港内の状況は一見すると静穏であり、船体を動揺させるような波は見られず、長周期波浪に類する要因により船体動揺が発生したと考えられた。

長周期波浪の研究は港湾を対象として行われており、対策工の提案もされている¹⁾。また、漁港については北海道の漁港で見られた船体動揺が長周期波浪に起因して発生した可能性が高いことが示されている²⁾が、

漁港を対象とした長周期波浪の研究例は少ない。

本報告では、このような現象を解明し対策を検討することを目的として、被害が発生した古平漁港を対象に現地調査を実施し、これらの調査結果と長周期波浪を考慮した静穏度解析による稼働率の評価から、漁港の長周期波浪の影響に関してとりまとめを行った。

2. 調査概要

(1) 地元漁業者へのヒアリング

港湾については、長周期波浪による動揺に関する調査研究が進められており、港湾船舶を対象とした係留系と動揺の関係などについては知見が得られており、長周期波浪の静穏度解析による岸壁稼働率の算定に用いる港湾船舶の荷役許容波高についても現地観測結果からの提案値がある³⁾。

漁港において長周期波を対象とした検討を行う場合、港湾の手法を適用できると考えられるが、検討に必要な荷役許容波高などについては整理されていない。今回、被災した漁港では、これまでに高波浪時に荷役障害が発生している事例もあることから、地元漁業者による漁港の利用状況と動揺被害が発生した時の状況を把握するため、漁業者へヒアリングを行った。表-1にヒアリング内容を示す。

表-1 ヒアリング内容

項目	内容
漁業船舶の諸元	漁船のトン数、長さ、喫水、係留場所など
港内静穏度の状況	静穏度の印象、悪化する場所、悪化する時の港内、港外の気象海象状況など
航走波の発生状況	航走波の影響など
係留船舶の動揺と荷役作業	動揺時の荷役中止状況、港外・港内の気象海象状況など
係留船舶の動揺と係留索の切断や損傷との関係	係留索の切断および船舶の損傷の状況など

(2) 波浪観測

高波浪が来襲した時の港内擾乱状況を把握するため、高波浪が比較的多く来襲する冬期の平成14年12月29日から平成15年2月7日にかけて、波浪観測を実施した。観測地点は図-1に示す。観測は、水深10mの港外1地点(St.1)と水深3mの港内2地点(St.2、St.3)に超音波水圧併用式波高計を設置して行った。

波浪データは長周期波浪を対象として0.5秒の連続サンプリングとした。

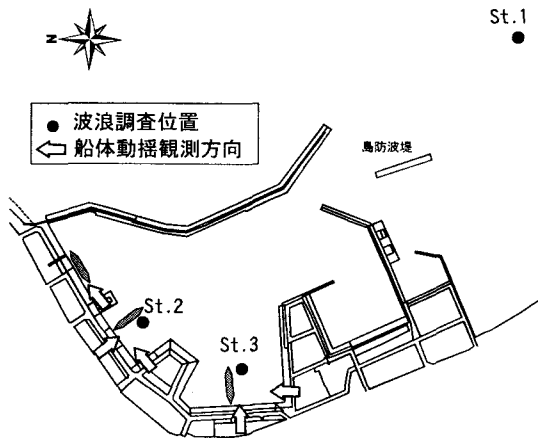


図-1 調査位置図(古平漁港)

(3) 船体動揺観測

図-1に示す3地点を対象として、船体動揺観測を実施した。対象地点は、ヒアリングの結果から船体動揺が発生しやすい場所である。

観測はCCDカメラとタイムラプスビデオを用いて2方向から撮影した。撮影は波浪観測期間中に発生した

高波浪時(1月24日～25日、28日～29日)に1日約3時間行った。撮影したビデオからサージ、スウェイ、ヒーブの変動を読みとり、動揺量と周期について解析した。

3. 調査結果

(1) ヒアリング調査結果

漁業船舶の80%以上は5～10tで、ほとんどの漁業者は港内静穏度が悪いという印象を持っていた。その原因として、風波とうねり性の波、さらに航走波の影響も指摘された。ほとんどの人が船舶の動揺により荷役作業を中断したことがあり、又係留索の切断・船舶の損傷を経験していた。

(2) 波浪観測結果

観測期間中の港外(St.1)における有義波高と主波向の経時変化を図-2に示す。また、表-2にSt.1の有義波高が2.0m以上の代表波浪を、St.2、St.3の波浪緒元と一緒に示す。これらによれば、観測期間中の最大有義波高は約3.2mであり、高波高時の周期は7～11秒、波向はNE、NNEで特にNEの出現率が高い。観測期間全体では波向NNEの出現頻度は76.4%、NEでは18.3%で、合わせて全体の94.7%を占めた。高波高時の港内(St.2、St.3)の波高は0.3～0.4mで、地点間の差異はほとんど見られなかった。

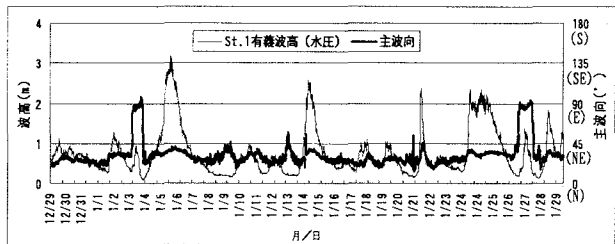


図-2 有義波高と主波向の経時変化(港外-St.1)

表-2 代表波浪(有義波)

月/日	St. 1						St. 2			St. 3		
	MAX H (m)	MAX T (s)	H1/3 (m)	T1/3 (s)	主波向 (°)	16方位	H1/3 (m)	T1/3 (s)	H1/3 (m)	T1/3 (s)	H1/3 (m)	T1/3 (s)
03/1/05 23:50	3.61	10.00	2.84	10.56	37.50	NE	0.38	8.27	0.35	8.63		
03/1/06 02:50	4.34	11.50	3.19	10.77	35.10	NE	0.35	8.22	0.33	8.71		
03/1/14 15:30	4.04	8.00	2.53	7.93	35.90	NE	0.34	8.14	0.37	8.00		
03/1/21 13:10	3.55	6.50	2.37	6.74	39.70	NE	0.36	7.10	0.32	6.99		
03/1/24 12:30	3.53	7.00	2.35	6.84	35.00	NE	0.29	7.05	0.28	7.11		
03/1/25 04:50	3.67	8.00	2.34	8.10	31.90	NNE	0.30	7.86	0.28	8.14		

図-3に全観測値について、St.1を基準としたSt.2、St.3の有義波高相関を示す。各地点ともSt.1との波高の相関性は高い結果となった。図-4に波向別のSt.1に対する各地点の平均波高比を示す。St.2の平均波高比は、波向ENEが0.25で最も高く、次いで波向Eで0.2である。また、St.3での平均波高比は波向Eで0.27と最も高く、次いで波向ENEで0.25を示した。St.2とSt.3の平均波高比は、波向が東よりに変化していくにつれて高くなる傾向を示した。これは、古平漁港の

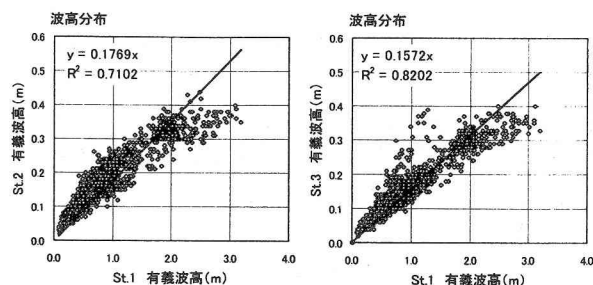


図-3 地点間波高相関

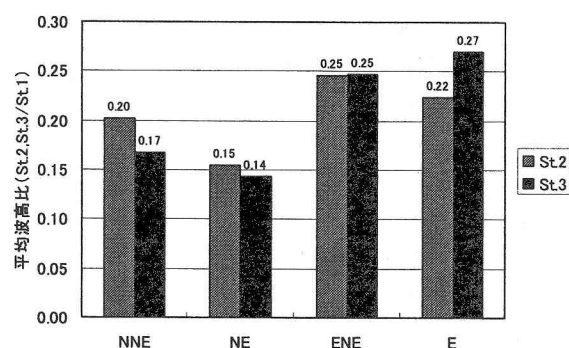


図-4 波向別平均波高比(St.1 基準)

港口が東側に位置しているためと考えられる。

漁港内の陸揚げ作業及び係留が可能な最大有義波高は「漁港・漁場の施設の設計の手引」⁴⁾に示されている。古平漁港の場合、各岸壁の利用水深が3.0m以上であるため、休憩岸壁の利用限界波高は0.4mである。この指標に照らすと、観測期間中0.4mを越える波高の出現頻度は約3%であり、古平漁港は風波に対しては静穏な港であると言える。

(3)長周期波特性

図-5に観測期間中の高波高時と静穏時における水位変動のパワースペクトルの例を示す。港外St.1のパワースペクトルは、高波高時で周期15秒前後、静穏時は周期7秒前後にピークが見られる。港内(St.2, St.3)のパワースペクトルは、周期80秒前後に明瞭なピークが見られ、高波高時および静穏時ともに同様な傾向を示した。また、周期20秒以下の短周期成分は港外に比べて港内で大きな減衰を示しているが、30秒以上の長周期成分、特に約80秒のスペクトルピークは港内で逆に大きくなっており、港外の長周期波が港内へ侵入し、増幅しているものと考えられる。港外のスペクトル分布は周期20～30秒でスペクトルが小さくなっているため、この周波数帯を境に短周期側と長周期側に分割してみる。周波数1/30秒～1/10分を長周期波と定義し、長周期波高 H_L を次式¹⁾により算出した。

$$H_L = 4\sqrt{m_0}, m_0 = \int_{f_1}^{f_2} S(f) df,$$

ここに、 $S(f)$:周波数スペクトル

$$f_1 = 1/600(\text{Hz}), f_2 = 1/30(\text{Hz})$$

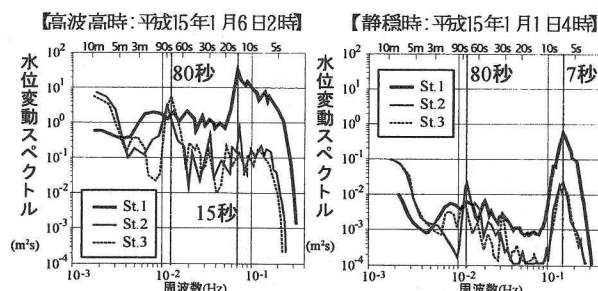


図-5 水位変動スペクトル

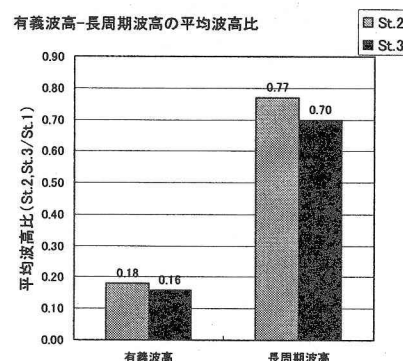


図-6 有義波高と長周期波高の平均波高

図-6には、港外St.1に対する港内St.2とSt.3のそれぞれの平均波高比を、短周期成分の有義波高（以降、有義波高）と長周期波高の場合で示した。有義波高の波高比は0.2未満なのに対して、長周期波高の場合は0.7以上となっており、長周期波は有義波に比べて港内で減衰しにくいことが分かる。

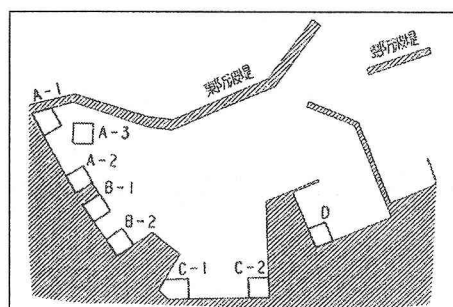
表-3に周波数応答解析によって得られた古平漁港の固有振動周期を示す。表から、計算の対象とした港内の地点では、周期81.5秒から89.5秒の共振周期が存在していることが分かる。実測したスペクトル周期と比較すると、共振周期と実測したスペクトル周期のピークが80秒付近で一致している。このことから、港外

表-3 共振周期と固有振動周期及びそのモードの対応表

モード	固有振動周期 (港湾振動解析モード)	共振周期(s)							
		A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	C-1	C-2	D
基本	372.4	-	-	-	-	-	-	-	-
1	165.2	171.6	171.8	171.6	171.6	171.6	-	-	171.6
2	136.5	-	-	-	-	-	-	-	-
3	88.1	81.5	89.1	81.5	81.5	81.5	89.1	89.1	81.5

注) 1.単位:sec

2-共振周期が認められないモード



からあまり減衰することなく伝播してきた長周期波成分とそれを外力として励起した副振動成分が港内の長周期波の要因として考えられる。

(4) 船体動揺観測

写真-1 に調査対象とした船舶の係留状況を示す。各地点での対象船舶と係留状況は、①地点は 19t 漁船が岸壁に対して横付け、②、③地点は 19t 以下の小型船が岸壁に対して縦付けしており、係留索は比較的緩い状態であった。

船体動揺の観測は、観測時に動揺量が大きい 5 ケースについて解析を行った (表-4)。

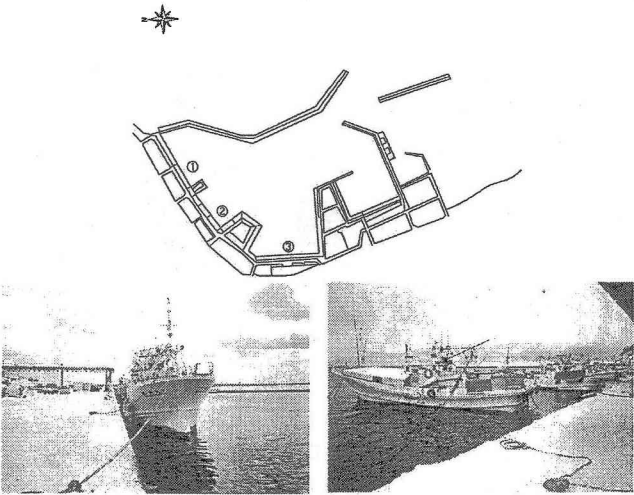


写真-1 撮影位置及び係留状況

表-4 算定ケース

ケース	月日	時間	場所	対象漁船
A	1月24日	11:20~12:20	③	10 t
B		13:00~14:00	③	19 t
C	1月25日	8:30~9:30	①	19 t
D	1月29日	8:30~9:30	②	10 t
E		13:00~14:00	③	10 t

上記 5 ケースにおける動揺量の経時変化の内、1 月 29 日の②地点のケース D を図-7 に示す。サージ動揺量は船首方向を+、船尾方向を-、スウェイは右舷方向を+、左舷方向を-とした。このケースでは全体的にサ

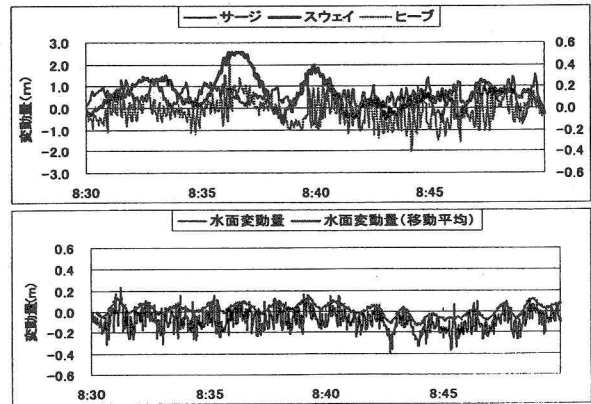


図-7 船体動揺の経時変化の例(ケースD)

ージに比べてスウェイの周期が長く、非常に緩やかな波形である。ヒープは、サージやスウェイと異なり、周期が小さいことが特徴的である。水面変動は観測期間中に大きな変動は無く、水面変動量と動揺量との相関性はサージとスウェイで特に見られないが、ヒープとは似た傾向を示した。但し、水面変動量の 30 秒毎の移動平均はサージの変動量と近い傾向にあった。

表-5 に船体動揺量の諸元を示す。ここで、動揺量是有義波高と同じ定義で処理した有義両振幅として示した。表から、最大動揺量は、1 月 29 日にサージで 4.07m、スウェイで 3.27m、ヒープは 24 日に 0.51m を観測した。サージとスウェイの周期は 30 秒程度から 100 秒を越える周期が観測された。ケース C 以外のサージとスウェイの動揺量は、ケース C と比べて大きい値となっているが、これは係留索が強く張られておらず、特に時化時では係留索が海中に没するほど緩く係留されているためである。この為、特にケース D のスウェイの動揺量は非常に大きくなっている。また、表には示していないが、ヒープは各ケースでの差は見られなかった。港内の有義波高は 0.3m 前後で各ケースにおける大きな違いは無く、動揺量との関連性は特に見られない。1 月 29 日は長周期波高が高く、この時のサージ、スウェイの動揺量は他のケースより比較的大きいものであった。

表-5 船体動揺量及び港内状況

ケース	A		B		C		D		E	
	1月24日 (11:20~12:20)		1月24日 (13:00~14:00)		1月25日 (8:30~9:30)		1月29日 (8:30~9:30)		1月29日 (13:00~14:00)	
項目	最大	有義	最大	有義	最大	有義	最大	有義	最大	有義
	両振幅	両振幅	両振幅	両振幅	両振幅	両振幅	両振幅	両振幅	両振幅	両振幅
サージ	変動量(m)	1.95	1.46	3.73	1.52	0.59	0.28	2.87	1.55	4.07
	周期(秒)	42.03	39.88	214.08	101.39	30.25	15.22	62.52	54.38	160.33
スウェイ	変動量(m)	1.89	0.97	2.81	1.11	1.33	0.93	3.27	1.73	-
	周期(秒)	40.73	34.37	257.21	113.92	67.14	53.17	237.88	140.18	-
有義波高(沖波)(m)	0.26(1.84)		0.30(2.00)		0.32(2.01)		0.29(2.24)		0.22(1.50)	
	0.05(0.07)		0.07(0.09)		0.11(0.14)		0.23(0.29)		0.12(0.16)	
長周期波高(沖波)(m)	5.61		5.84		3.27		3.32		2.81	
	風速(m/s)		NE		NNW		SSW		SW	
風向	NE		NE		NNW		SSW		SW	
	係留状況		③,10t		③,19t		①,19t		②,10t	

(5) 船体動揺特性

図-8 に、表-4 に示したケース C とケース D における船体動揺のスペクトルを示す。どちらのケースもスウェイで 10 秒前後に、サージは 10 秒前後と 60 秒 (ケース D)、80 秒 (ケース C) にスペクトルピークが見られた。また、10 秒前後のピークのエネルギーレベルに比べて 60 秒あるいは 80 秒の長周期側のエネルギーレベルが数倍~10 倍と大きくなっていた。

ここで、船舶のサージ運動の固有周期について、質点 (船舶) と、ばね (係留索) からなる振動系を仮定して次式で算定すると表-6 の様になる。

$$T_0=2 \pi \sqrt{\frac{M}{2K}}$$

T_0 : 固有周期, M : 質点の質量(kg), K : ばね定数(N/m)

ケースC (1/25 8:30-9:30) ケースD (1/29 8:30-9:30)

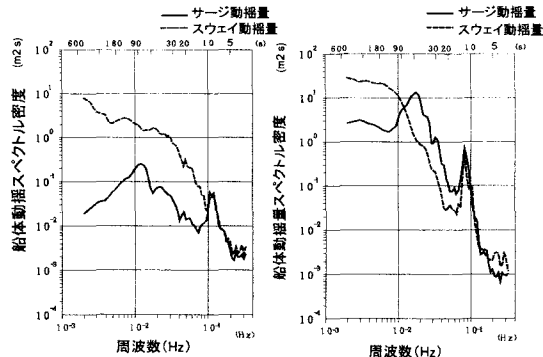


図-8 船体動揺スペクトル

表-6 サージの固有周期の概算(サージ方向の動揺量：漁船±0.5m, RORO, 貨物船±1.0mとした場合)

サージ方向の動揺量： 漁船±0.5m RORO,貨物船±1.0mとした場合													
船 種	トン数	素 長 (m)			素の伸び(%)			素の荷重(kN/m)			合計張力	サージ固有周期	
		①② =L/3	③④ =B	⑤⑥ =B/2	①②	③④	⑤⑥	①②	③④	⑤⑥	(kN/m)	(秒)	
漁 船	5t	6.2	5.4	-	8.1	9.3	-	3.5	4.0	-	7.4	4	
	10t	7.3	6.4	-	6.8	7.8	-	2.9	3.3	-	6.3	6	
	20t	9.7	8.6	-	5.2	5.8	-	2.2	2.5	-	4.7	9	
	30t	13.3	12.0	-	3.8	4.2	-	1.6	1.8	-	3.4	13	
RORO船	500DTW	16.7	8.5	4.3	6.0	11.8	23.5	0.7	1.8	14.7	17.2	24	
	700DTW	18.3	8.8	4.4	5.5	11.4	22.7	0.6	1.7	13.1	15.4	30	
	1000DTW	22.3	10.9	5.5	4.5	9.2	18.3	0.5	1.1	7.0	8.6	40	
貨物船	2000DTW	27.7	13.1	6.6	3.6	7.6	15.3	0.6	1.2	4.7	6.5	55	
	3000DTW	31.3	14.8	7.4	3.2	6.8	13.5	0.7	1.1	3.5	5.2	87	
	5000DTW	36.3	16.9	8.5	2.8	5.9	11.8	1.2	1.3	3.4	5.9	100	
	10000DTW	45.7	19.9	10.0	2.2	5.0	10.1	1.3	1.5	2.9	5.7	132	
	18000DTW	53.7	23.6	11.8	1.9	4.2	8.5	1.8	2.0	4.1	7.9	212	
	40000DTW	66.7	29.9	15.0	1.5	3.3	6.7	1.8	4.0	4.0	9.8	285	

この結果、各船舶の固有周期は5t～30tの漁船では20秒未満、500～700DTWのRORO船では20～30秒、1000～5000DTWの貨物船では40～100秒、10000DTW以上では130秒以上となった。従って、本調査の観測から得られた船体動揺における10秒前後の動揺スペクトルピークは、来襲波浪あるいは係留系の固有振動によるものかもしれないが、長周期側(60秒、80秒)のスペクトルピークは係留系の振動とは考えにくく、おそらく来襲した長周期波あるいは港全体の副振動が原因と考えられる。長周期側のピークのエネルギーレベルが、短周期側のそれよりも大きいことから、本漁港の船体動揺を含む利用障害は主に長周期波によるものと考えられる。

図-9に、現地観測で得られた周期30秒以上を対象とした長周期波高と船体動揺量の関係を示す。サージ

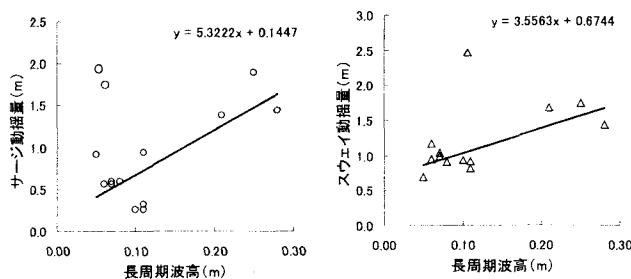


図-9 長周期波と船体動揺量

方向では長周期波高が大きくなると、動揺量も大きくなる傾向を示した。このグラフから、長周期波高が0.2m以上になると、サージ動揺量は1.5m以上となることがわかる。スウェイ方向についても、長周期波高が高くなると動揺量が大きくなる傾向を示した。

4. 長周期波浪を考慮した静穏度の評価

(1) 荷役限界波高の設定

静穏度の評価を行う場合は荷役限界波高の設定が必要となる。港湾における通常波と長周期波の限界波高については、「港湾の技術上の指針・同解説」³⁾に示されている。しかし、漁港においては通常波に対する荷役及び係留限界波高は示されているが⁴⁾、長周期波高に対する許容限界波高は示されていない。ここでは、古平漁港で観測した船体動揺量とヒアリングにより荷役限界動揺量から、許容荷役限界波高を求めた。

表-7に、上田・白石⁵⁾が提案した荷役限界動揺量と古平漁港のヒアリング調査結果による荷役限界動揺量を示す。なお、ヒアリング調査結果は、両振幅であるため±値に補正した。提案値とヒアリング調査結果による限界動揺量を比較すると、大きな差は見られない。

図-9を用いて古平漁港の荷役限界動揺量に対応した長周期波高を求めた。サージの荷役限界動揺量1.5m(±0.75m)、スウェイ1.25m(±0.63m)に対応する長周期波高はそれぞれ0.25m、0.16mになった。従って、ここでは荷役限界長周期波高を0.16mと設定した。

表-7 限界動揺量の比較

船種	サージ	スウェイ	ヒープ
一般貨物船	±1.00m	±0.75m	±0.50m
穀物運搬船	±1.00m	±0.50m	±0.50m
鉱石運搬船	±1.00m	±1.00m	±0.50m
タンカー(外航)	±1.50m	±0.75m	±0.50m
タンカー(内航)	±1.00m	±0.75m	±0.50m
古平漁港の漁船(10tor19t)	±0.75m	±0.63m	---

(2) 波高分布計算

計算モデルは(独)港湾空港技術研究所の「非線形波浪変形モデルNOWT-PARI ver. 4.6」⁶⁾を用いた。入射波は長周期波を対象として、観測結果を参考に設定した。波向は出現頻度が高いNNEとNE、波高は各波向毎の最大値とし、周期は水位変動スペクトルの結果から80秒とした。計算領域は古平漁港を中心とした沿岸方向2000m、沖合方向2500mとし、ΔS=10mでメッシュ化し計算に用いた。

表-8、表-9に入射波条件及び設定した反射率を示す。

表-8 入射波諸元

波向	波高	周期	Smax
NNE	0.502	80	10
NE	0.822	80	10

表-9 反射率の設定

自然海岸	0.7
消波護岸	1.0
直立堤	1.0

図-10、図-11に現況港形及び将来港形における波向NEの場合の波高分布を示す。また、表-10に現況港形における実測値と計算値の比較を示す。この表によればSt.1を基準とした波高比をみると実測値と計算値は概ね一致しており、再現性が良好であることが分かる。

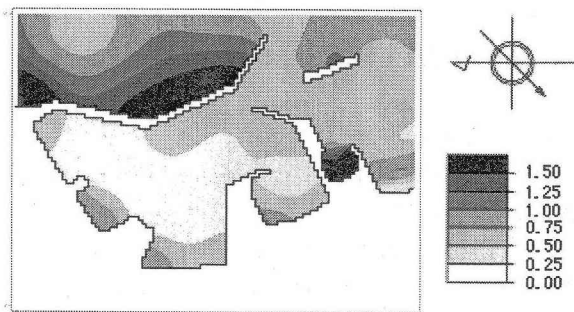


図-10 長周期波高分布（現況港形，波向NE）

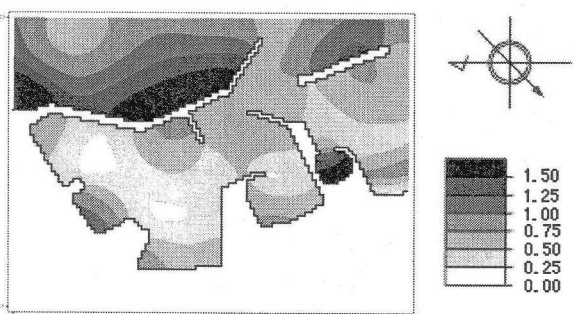


図-11 長周期波高分布（将来港形，波向NE）

表-10 実測値と計算値の比較

波向	観測地点 番号	実測		計算結果	
		波高(m)	波高比 (St.1基準)	波高(m)	波高比 (St.1基準)
NNE	St.1	0.502		0.798	
	St.2	0.358	0.713	0.520	0.652
	St.3	0.350	0.697	0.504	0.632
NE	St.1	0.822		0.798	
	St.2	0.541	0.658	0.504	0.632
	St.3	0.485	0.590	0.485	0.608

(3) 静穏度

観測値から長周期波の出現頻度表を作成し、岸壁利用稼働率を算出した。その結果を整理して、代表水域①～④毎にまとめ、ヒアリング結果と合わせて表-11に示した。

表から、ヒアリングで得られた利用障害の程度と長周期波の稼働率について比較したところ、その傾向は概ね一致しており、係船岸の利用上の印象についての再現性は良好と考えられる。また、平成14年10月の港内擾乱時に船体動揺が発生した水域②と水域③の稼働率が95%未満であることから、長周期波が実際の船体動揺に強く影響を及ぼしていることが推定できる。

次に、将来港形について現港形と同様の波浪諸元を用いて稼働率の評価を行ったところ、稼働率は現港形とほぼ同じ傾向となり、長周期波の低減が期待出来ないことが分かった。

このことから、今後、長周期波の響を低減させる抜

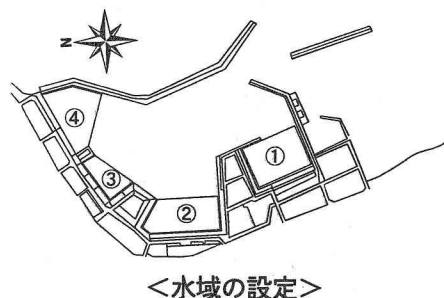
本的な対策が必要であることが分かった。

表-11 岸壁の利用障害及び稼働率の評価結果

項目	現港形		稼働率 (長周期波)	将来港形 稼働率 (長周期波)
	利用障害(ヒアリング)	係留索損傷		
水域①	○	◎	○	○
水域②	×	×	×	×
水域③	×	×	△	×
水域④	△	○	○	○

【凡例】

ヒアリング ◎: 回答者0名 ○: 回答者1名 △: 回答者2名以上3名以下 ×: 4名以上
稼働率 ○: 95%以上 △: 1水域稼働率95%未満 ×: 2水域稼働率95%未満
長周期波 長周期波実測値より作成した波向別波高頻度表+利用限界波高0.16m
(ヒアリングより)で算定した稼働率



5. まとめ

本報告において、北海道日本海沿岸に位置する古平漁港を例に、冬期の現地波浪観測と船体動揺の画像解析から港内擾乱の主要因を検討した結果、長周期波が大きく影響していることが明らかとなった。但し、より精度の高い検討を行うためには、長期間のデータ取得を行う必要がある。また、近隣の漁港においても、長周期波に起因すると思われる被害が発生していることから、今後は他の漁港における、事例の情報収集や現地調査を実施し、現象の総合的理解を深めるとともに、長周期波浪を考慮した施設配置計画や船体動揺対策に資するための、汎用性が高い効率的な調査検討手法の確立が必要と考えられる。

参考文献

- 1) 港内長周期波影響評価マニュアル, 平成16年3月, (財) 沿岸開発技術研究センター
- 2) 佐藤典之・佐伯浩: 北海道の漁港における係留船舶の動揺の実態について, 海洋開発論文集, 第19巻 2003. 7, pp. 637-642
- 3) 港湾の施設の技術上の基準・同解説, 平成11年5月, (社) 日本港湾協会
- 4) 漁港・漁場の施設の設計の手引, 2003年10月, (社) 全国漁港漁場協会
- 5) 上田茂, 白石悟: The Allowable Ship Motions for Cargo Handling at Wharves, 港湾技術研究所報告 第27巻第4号, 1988年12月, pp. 3~61
- 6) 平山克也: 非線形不規則波浪を用いた数値計算の港湾設計への活用に関する研究, 港湾技術研究所資料, No. 1036, 162p, 2002