我が国の外洋に面した漁港での 長周期波に関する実態調査について

久保 雅義*・前田 保男**
水井 真治***・弓山 泰****

Basic Research on Long-Period Waves at Fishery Harbors Facing to Open-Sea

Masayoshi KUBO, Yasuo MAEDA, Shinji MIZUI and Yutaka YUMIYAMA

Abstract

At fishery harbors facing to open-sea, we carried out a questionnaire survey which concerns the actual condition on long-period waves. Then a numerical calculation was performed on the basis of the received answers.

The obtained results are summarized as follows :

- (1) As wave group causes the harbor oscillation of high order modes, long-period waves are not amplified so much, and in the harbor the height of long-period waves is about 1/10 times as high as offshore waves.
- (2) Even at the innermost point of harbor, the energy of long-period waves is not attenuated so much.
- (3) At fishery harbors facing to Open-sea, a water current and a vortex caused by long-period waves are easy to occur near the harbor entrance.
- (4) On the area of north side of the Pacific Ocean, ship entering into harbors is hard under a strong seasonal wind and a typhoon.
- (5) Even if the fishery harbor is facing to Open-sea, it is easy to enter the harbor and moored ships are safe, if the harbor is surrounded by natural geographical features.
- (6) In the Tohoku region of the Pacific Ocean and west side of Shikoku, most harbors are natural good harbors, and are not affected by long-period waves.

1. 緒 言

外洋に面する港湾には短周期重力波から潮汐波に至るまで広範囲に及ぶ周期の波が襲来する。従来、港内の静穏度は港内波高により評価がなされ、港内波高の低減という視点において防波堤の延長や沖防波堤の設置等の整備がなされてきた。

しかし、外海から来襲する長周期波は周期が十秒前後の風波、うねりとは異なり、防波堤などの構造物によるエネルギー減衰が少ないため、潮汐波とともに港内で生じる流れを引き起こし、入出港および係留時の安全性に与える影響は大きい。

また、港湾の形状によっては、入射波の周期が港湾の固有振動周期に近づくと波高が増幅される湾水振動現象が発生する。港湾の固有振動周期は、港湾の形状と湾水振動のモード数にもよるが、長周期波の周

* 正会員 神戸商船大学 (〒658 神戸市東灘区深江南町5-1-1)

** 正会員 神戸商船大学大学院 (〒658 神戸市東灘区深江南町5-1-1)

*** 正会員 広島商船高等専門学校 (〒725-02 広島県豊田郡東野田4272-1)

**** 非会員 東洋建設株式会社 (〒663 西宮市鳴尾浜3-17-1)

期帯と重なりやすく、長周期波と湾水振動現象の関連性が考えられる。

さらに、港内に係留された船舶は係留索や防舷材による非対称係留の復元力によってスウェーのような水平方向の動揺周期が1～2分となることは既に知られているが、この動揺周期と同程度の長周期波が係留船に作用すれば船は共振現象を起し、大振幅の運動が生じることとなる⁽¹⁾⁽²⁾。

以上のように長周期波は、港口付近に発生する渦、荷役作業や操船等の船舶活動の阻害、係留索の切断の事故などの原因となるものであり、今後の港湾の安全性を評価していく上で十分な議論が必要である。

そこで、本研究では、長周期波の影響を直接受けと思われる、外洋に面した漁港において、使用している漁港の水面状態を把握できる漁業協同組合にアンケート調査を依頼した(1995年6～7月)。アンケートの調査結果とこれを基にした数値計算で得られた知見について考察を行ったのでここに報告する。

2. 調査の方法

著者らは、漁港法による第2種、第3種、特定第3種、第4種漁港のうち日本地図を大縮尺で見ても、外洋に面していると思われる漁港について、その漁港を使用する428の漁業協同組合を対象にアンケート調査を実施した。アンケートの主な内容を表1に示す。

「管理漁港の所在」の質問項目は、漁業協同組合が使用している漁港を特定するために漁港の名称を尋ねた。「漁港」の質問項目では、漁港周辺の海岸線の状態、防波堤の設置状況、港内障害物の有無などを知るために漁港の形状を尋ね、また港内の水面状態と漁港への波の入射方向を尋ねた。「係留船への影響」の質問項目は、長周期波が係留船に与える影響を知るために係留中の事故の有無を尋ね、影響がある場合にはその場所とそのときの気象状況を尋ねた。「港内のうねり」の質問項目は、長周期波とうねりとの関連を知るためにうねりの周期、波高、そして、大きい波と小さい波との連なり方について尋ねた。

表1 アンケートの主な内容

質問事項	回答内容
漁港の所在	都道府県、漁港の名称
漁港	漁港の形状 港内の水面状態 漁港への波の入射方向
係留船への影響	事故の有無 事故の場所 事故発生時の気象状況
港内のうねり	うねりの周期、波高 大きい波と小さい波との連なり方
長周期波	長周期波の周期、波高
港口付近の様子	入港・出港の困難性 港口付近の状況 (渦の発生の有無など)

図1 地域区分

表2 アンケートの回収率

地域区分	【地域番号】	発送数	回答数	回答率
日本海側地域	オホーツク沿岸区 [1]	12	8	66.67%
	北海道西岸区 [2]	27	10	37.04%
	日本海北岸区 [3]	35	23	65.71%
	日本海南岸区 [4]	65	37	56.92%
	西九州海区 [5]	35	21	60.00%
北関東～	北海道南岸区 [6]	24	8	33.33%
	北海道東側地域 [7]	60	25	41.67%
南西太平洋側地域	本州東岸区 [8]	116	64	55.17%
	本州南岸区 [9]	46	17	36.96%
	南西諸島区 [10]	8	2	25.00%
合 計 / 回 答 率		428 件	215 件	50.23%

図2 係留船への影響

「長周期波」の質問項目は、港内の静穏度を評価していく上で重要となる長周期波の波高と周期を尋ねた。「港口付近の様子」の質問項目では、長周期の波が港口付近にどのような影響を与えているかを知るために入港・出港の困難性と港口付近の状況（渦の発生の有無など）を尋ねた。

3. 回答率

日本の海岸線は気象・海象などの自然環境により地域性があると考えられるため、図1に示すように全国の外洋に面した海岸線を10区域に区分して、この地域ごとにアンケートの検討を行うことにした⁽³⁾。なお、東京湾、伊勢湾、知多湾、渥美湾、三河湾、大阪湾、瀬戸内海、有明海、八代海、鹿児島湾の沿岸部に位置する漁港は、外洋に直接面していないと考えられるためアンケート調査の対象から外している。表2に地域ごとのアンケートの発送数と回答数、及び回答率を示す。428の漁業協同組合にアンケートを発送した結果、合計で215件の回答（回答率50.23%）を得た。

4. 調査結果

4.1 係留船への影響

図2は係留船への影響に関して、係留中の船が接触したり、係留ロープが切断したりする事故の有無について日本全国にまとめたものである。台風や低気圧の接近時、または季節風の強くなる時に、あらかじめ船を他の漁港や港奥部の静穏域に避難したり、船を陸揚げしたりする漁港では事故はないと回答しているが³、日本海側、太平洋側ともに多くの漁港で事故が発生していることがわかる。とくに、日本海側では新潟県から九州北部にかけての地域、太平洋側では本州の南岸区の地域に位置する漁港において多く発生している。

事故が発生したときの気象状況については、太平洋側では「台風が接近しているとき」と回答する漁港が多く、「季節風時・台風時の両方の時期ともに事故が発生する」と回答する漁港もみられる。また、日本海側では、季節風時、季節風時・台風時の両方の時期の事故が多いが、九州北部の地域においては台風接近時の事故が多い。

4.2 波の連なりにより生じる長周期波と湧水振動

4.2.1 波の連なり方の特性

図3はうねりに関して、大きい波と小さい波との連なり方の特性を日本地図にまとめたものである。なお、図3には久保ら⁽⁴⁾が調査した各漁港ごとの波の連なり方の特性についてのデータも加えて記した。各漁港でさまざまな表現がされているものの、日本海側では3大4小程度の特性を示す漁港が多く、3大8小といった連なりの長いものは太平洋側でしか見られないことが特徴として挙げられる。

一般的に、日本海側と太平洋側においては、波のスペクトルはごく簡単に形状を捉えれば、図4(D)に示すようになる。つまり、日本海側は太平洋側よりもフェッチが短く、スペクトルも短周期側となり易い。ここで、図4(D)中の日本海側の波のスペクトル(I)についてみると、図4(E)中の(a)、(b)は二つの代表させた周波数をもつ波であり、その波形はそれぞれ図4(A)、図4(B)となっている。この二つの波が重なれば、図4(C)の波形の波となる。港外におけ

図3 波の連なり方の特性

図4 日本海側と太平洋側の波のスペクトル

図5 波の連なり

表3 波の連なり周期とモード数

漁港	有義波周期	連なり方の特性	波の連なり周期 (秒)	モード数
A	7.1 (秒)	2大3小	$7.1 \times (2+3) = 35.5$	7~8
B	7.5 (秒)	1大2小	$7.5 \times (1+2) = 22.5$	7~8
C	7.5 (秒)	1大3小	$7.5 \times (1+3) = 30$	5~6
D	7.5 (秒)	1大7小	$7.5 \times (1+7) = 60$	3~4
E	7.3 (秒)	1大3~4小	$7.3 \times (4 \sim 5) = 29.2 \sim 36.5$	5
F	7.3 (秒)	5大3小	$7.3 \times (5+3) = 58.4$	2~3
G	8 (秒)	3大4小	$8 \times (3+4) = 56$	3~4
H	8.8 (秒)	2大3小	$8.8 \times (2+3) = 44$	3~4
I	8.9 (秒)	3大4小	$8.9 \times (3+4) = 62.3$	2~3
J	8.2 (秒)	2大3小	$8.2 \times (2+3) = 41$	2~3
K	8.4 (秒)	3大4小	$8.4 \times (3+4) = 58.8$	3
L	6.8 (秒)	3大2小	$6.8 \times (3+2) = 34$	3~4

図4(C)のような波の連なりが長周期波を発生することは既に知られており⁽⁵⁾、(a)、(b)から生じた2次波としての長周期波は図4(E)中の(イ)となる。同様に、太平洋側の波についても図4(E)中の(ロ)の波から図4(E)中の(ニ)の長周期波が発生する。しかし、太平洋側の波の周波数帯は日本海側のそれに比べて狭く、重なる波の周波数が近いために、太平洋側で発生した長周期波の周期は日本海側で発生した長周期波の周期より長く(周波数は小さく)なる。以上のことから、波が連なって生じた長周期波のうち、日本海側の季節風による波は3大4小程度の短い連なり特性を、太平洋側の台風による波は3大8小といった長い連なり特性を示すと考えられる。

4.2.2 長周期波と湾水振動

波の連なり方の特性とうねりの周期とを考慮合わせることにより、波の連なり周期を長周期波の周期と考えることができる。たとえば、図5のように波の連なりが3大4小の特性を示し、うねりの周期が7秒である場合、 $(3+4) \times 7 = 49$ 秒がうねりの連なりから生じる2次波としての長周期波の周期である。表3に各漁港の波の連なり方と波の連なり周期を示した。ここで有義波周期は、地点別有義波高周期表⁽⁶⁾の対象漁港に最も近い地点を選び、季節風の影響を受けやすい地域は11月から翌年4月、台風の影響を受けや

すい地域は6月から10月の各月の平均値のうち最も大きい値のものを採用している。

ここで、波の連なり周期と数値計算で求める湾水振動の周期とを比較する。数値計算はLeeによるGreen関数法を用いて行う⁽⁷⁾⁽⁸⁾。ただし、以下の仮定の下で計算を行っている。

- ① 水粒子の運動は非粘性・非圧縮性である。
- ② 水深が一定である。
- ③ 海岸線および港内の境界上では完全反射が起る。
- ④ 港口部には防波堤がなく、港口における入出流はほぼ一様である。
- ⑤ 海岸線は左右無限遠方まで一直線に延びている。
- ⑥ 入射波は一定周期の微小振幅波であり、海岸線に対し直角に入射する。

湾水振動には、波の周期と漁港の形状とに応じて、図6に示すような港口部に節を1つつ第1モードの湾水振動から港内に節がいくつかできるモード数の高い湾水振動がある。湾水振動では、節となる位置で水平方向（横方向）の流れが激しく、腹となる位置で水位の上昇と下降（上下動）が激しくなる。また、港口部や港内の節となる位置で港内防波堤などの障害物がある場合にはその場所で、水平動に伴う流れによって渦が発生しやすい。

図7は、本州東岸区に属する漁港Gについて、数値計算の結果、周期と振幅増幅率の関係を示したものである。なお、計算点は、図8に示すアンケートの回答で、長周期波による水位の上昇と下降が激しいと回答のあった位置のうち漁港の最も奥部に位置するものとした。これは、長周期波の影響が港内奥部にまで及ぶと考えるからである。その結果、第1モードの周期が457（秒）（振幅増幅率：13.0）、第2モードの周期が200（秒）（振幅増幅率：15.0）、第3モードの周期が102（秒）（振幅増幅率：4.0）、第4モードの周期が36（秒）（振幅増幅率：4.5）となった。

また、ピークをとるそれぞれの周期について、港内波高の振幅増幅率分布を示したものが図9 aから図9 dである。図9 aは、457（秒）の港内波高の振幅増幅率分布であり、全体として振幅増幅率は高く、港内には湾水振動の節となる部分はない。図9 bは、200（秒）の港内波高の振幅増幅率分布であり、港内中央にある防波堤付近において湾水振動の節となっている。図9 cは、102（秒）の港内波高の振幅増幅率分布であり、港内の右部分では静穏であるが、左部分では節が1つある湾水振動となっている。図9 dは、36（秒）の港内波高の振幅増幅率分布であり、港内の右部分では、典型的な湾水振動となっており、左部分には節が3つある。しかし、図7より、第1

- : 長周期波による水平方向（横方向）の流れが激しい位置
- ▲ : 長周期波による水位の上昇と下降が激しい位置
- ◎ : 渦が発生する位置

図6 湾水振動

図7 波高の振幅増幅率(漁港Gの例)

- : 長周期波による水平方向（横方向）の流れが激しい位置
- ▲ : 長周期波による水位の上昇と下降が激しい位置
- ◎ : 渦が発生する位置

図8 アンケートの回答(漁港Gの例)

図9 a 周期457(秒)の港内波高の振幅増幅率分布

図9 b 周期200(秒)の港内波高の振幅増幅率分布

図9 c 周期102(秒)の港内波高の振幅増幅率分布

図9 d 周期36(秒)の港内波高の振幅増幅率分布

モード周期に近い波が入射する場合には、周期帯が広いために容易に湾水振動を起こすが、第2モード以降の振動は、周期帯が狭いため、発生しにくいと考えられる。また、表3より漁港Gでは、波の連なり周期が56秒であることから、波の連なりは第1モードの湾水振動を引き起こしていないことがわかる。

さらに、56(秒)の港内波高の振幅増幅率分布を求めたのが図10である。港内左部分、右部分ともに奥部に向かって振幅増幅率は高くなっているが、第1モードの湾水振動を引き起こす周期の振幅増幅率分布と比べて全体的に静穏である。しかし、図8に示すアンケートの回答と重ね合せると、図8の水平方向の流れが激しい位置、渦が発生している位置と図10の湾水振動の節となる位置とが一致する。つまり、計算結果とアンケートの回答とが一致している。

つぎに、表4は各漁港について、アンケート調査で水位の上昇と下降が最も激しいと回答のあった位置における第1～5モード周期を計算した結果である。また、表3の最右列に波の連なり周期と対応するモード数を示した。どの漁港においても数値計算による第1モード周期は、波の連なり周期とかなり差があり、波の連なりは第1モードの振動を起こすものではないことがわかる。これは先に示した図10の結果からもわかる。

港外においては、図5のように波の連なりが長周期波を発生し、波の連なり周期が長周期波周期と等し

- : 長周期波による水平方向(横方向)の流れが激しい位置
- ▲ : 長周期波による水位の上昇と下降が激しい位置
- ⊙ : 渦が発生する位置

図10 周期56(秒)の港内波高の振幅増幅率分布

表4 各モードの周期

漁港	第1モード	第2モード	第3モード	第4モード	第5モード
A	411 (秒)	191 (秒)	119 (秒)	73 (秒)	57 (秒)
B	414 (秒)	138 (秒)	63 (秒)	60 (秒)	37 (秒)
C	530 (秒)	224 (秒)	127 (秒)	82 (秒)	47 (秒)
D	491 (秒)	170 (秒)	110 (秒)	48 (秒)	33 (秒)
E	315 (秒)	93 (秒)	57 (秒)	40 (秒)	33 (秒)
F	372 (秒)	70 (秒)	47 (秒)	28 (秒)	21 (秒)
G	457 (秒)	200 (秒)	102 (秒)	36 (秒)	32 (秒)
H	341 (秒)	74 (秒)	62 (秒)	41 (秒)	38 (秒)
I	375 (秒)	90 (秒)	52 (秒)	43 (秒)	36 (秒)
J	156 (秒)	45 (秒)	35 (秒)	23 (秒)	21 (秒)
K	308 (秒)	106 (秒)	59 (秒)	53 (秒)	41 (秒)
L	255 (秒)	81 (秒)	41 (秒)	23 (秒)	18 (秒)

く、また長周期波の波高が沖波波高の約1/10であることは既に知られている⁽⁹⁾。このような波が、連なって港内に入った場合には、うねりは防波堤により減衰され、長周期波は湾水振動により増幅され、荒天時には図11のような波浪が港内で観測される。しかし、今回アンケートの回答を基にして上述のように数値計算を行った結果、波の連なりはモード数の高い振動を起こし、図7に示すようにその振動による増幅率は第1モードの振動による増幅率に比して小さいことがわかった。また、久保らの港内係留船の船体運動に関する研究⁽¹⁰⁾では、長周期波の波高は沖波波高の約1/10で長周期波の影響の計算を行うことにより現地実験との妥当性を検証しており、長周期波の波高は港内においてはさほど増幅されていない。このように、波の連なりに伴う長周期波による湾水振動は、モード数が高いために、数値計算の例からも明らかなように港内では長周期波の波高はさほど増幅されず、沖波波高の1/10程度のままであることの理由が明らかになった。

4.2.3 長周期波の港内奥部に対する影響

表5は、港口付近で長周期波に起因する流れが生じている漁港のうち、港の奥部で長周期波による水位の上昇と下降が激しいと記入のあった漁港の割合を地域ごとに示したものである。防波堤などの構造物により静穏に保たれているはずの港内最奥部が実際はそうではないことがわかる。防波堤などの構造物があっても、長周期波のエネルギーは減衰されず、長周期波が港内の奥部にまで入り込み、水位変動と流れの原因となっている。

4.3 港口付近の様子

4.3.1 入港・出港の困難性

図12は港口付近の様子に関して、入港・出港の困難性とその時期を日本全図にまとめたものである。なお、九州北部や紀伊半島西部などのように●印が重なっている所は、それぞれの時期をひとつにまとめて記入している。多くの漁港が困難性を示しており、港口付近の流れ、不規則な波、渦といった港口部でのが題をかかえていることがわかる。困難性を示す時期については、日本海側は11月～3月の季節風の時期がほとんどであるが、太平洋側では、台風接近の時期が多いものの、季節風の時期に困難性を示す港も見

図11 港内における長周期波とうねり

表5 長周期波の港内に与える影響

地域区分 [地域番号]	長周期波に起因する流れが生じている漁港数	港の最奥部で水位の上昇と下降が最も激しいと記入があった漁港数	割合
オホーツク沿岸区 [1]	6	6	100%
北海道西岸区 [2]	4	2	50%
日本海北岸区 [3]	8	4	50%
日本海南岸区 [4]	19	15	79%
西九州海区 [5]	6	5	83%
北海道南岸区 [6]	1	0	0%
本州東岸区 [7]	12	7	58%
本州南岸区 [8]	27	23	85%
西九州海区 [9]	5	4	80%
南西諸島区 [10]	0	0	-
合計	88	66	75%

図12 入港・出港の困難性とその時期

図13 天然の良港の例 1

られる。とくに、三陸海岸の漁港や紀伊半島の西側の漁港ではこの傾向がよく現われている。また、四国の西側に位置する漁港はすべて困難性を示していない。大局的に見て、この地方の漁港が季節風や台風による入射波の影響を受けない位置にあり、また、局所的に見ても、この地域の海岸線が複雑になっている、漁港の位置的・地形的条件に恵まれているためと考えられる。

このとき、漁港の周辺地形についてみると、漁港が図13のような半閉鎖性海域の奥部に位置して、地形的条件に恵まれた天然の良港となっている場合には、困難性を示していない。これは大縮尺の地図では認識できないような周辺地形によって港が遮蔽されており、外洋からの入射波エネルギーが周辺地形によって消散されているためと考えられる。このような特徴をもつ漁港は若狭湾や三陸海岸（リアス式海岸）に多い。また、図14のように港口部の前に小島があるような場合にも、外洋からの入射波は打ち消され港内が静穏となっており、困難性を示していない。

困難性を示す漁港の中には、港口が狭いため季節風や台風の時期に、入港・出港が困難になると回答する漁港がみられた。また、季節風の強い時や台風接近時には、防波堤を越えて波が港内に進入してくるという回答もみられた。港内施設を波浪・高潮・津波などから防護する防波堤が、荒天時には入港・出港において障害となっており、港内の静穏を維持し、船舶の航行・係留の安全および港内施設の保全を図るという防波堤の役割が十分に果たされていない場合もあることが明らかになった。

4.3.2 渦の発生

図15は港口付近で長周期波に起因する流れが生じ、その流れによって渦が発生している漁港を日本全図

図14 天然の良港の例 2

図15 港口付近における渦の発生

にまとめたものである。本州日本海側と本州太平洋側の地域で渦が発生している漁港が多く、長周期波の影響を受けていることがわかる。また、港口付近でなく港内であっても、港内防波堤などの港内の障害物により、水路が狭くなっている所で渦が発生している漁港が多くみられた。

また、渦の発生についても、四国の西側に位置する漁港は渦の発生はないと回答しており、これらの漁港では長周期波の影響を受けていないことがわかる。

5. 結 語

本研究では、長周期波の影響を直接受けると思われる、外洋に面した漁港に対してアンケート調査を実施した。その調査結果とそれを基にした数値計算の結果とによって、長周期波の実態に関して以下のことが明らかとなった。

- (1) 「3大4小の波」といった波の連なりは、モード数の高い湾水振動を引き起こし、港内では、長周期波はさほど増幅されず、その波高は沖波波高の1/10程度である。
- (2) 本来、最も静穏域であるはずの港の最奥部において、水位の上昇と下降が激しくなっている漁港が多く見られ、防波堤などの構造物があっても入射波エネルギーが減衰されにくいという長周期波の特徴が表われている。
- (3) 外洋に面している漁港では、港口付近または港内の水路の狭くなっている所で、長周期波に起因する流れとその流れによる渦が発生しやすい。
- (4) 入港・出港の困難性を示すのは、日本海側では冬期の季節風が強い時期、太平洋側の関東地方以南ではほとんどが台風の時期、以北では台風の時期と季節風の時期が混在している。
- (5) 外洋に面している漁港であっても、港を遮蔽するような周辺地形を持つ場合、係留船への影響はなく、また、入港・出港が困難になることはない。
- (6) 東北地方の太平洋側、四国地方の西側に位置する漁港は天然の良港となっている漁港が多く、長周期波の影響を受けていない。

また、今回行った数値計算では、海岸線の状態、港口部の防波堤、水深の考慮をしていない。今後は、これらの影響を考慮した計算モデル、さらに、長周期波に起因する流れによって発生する渦を含む計算モデルを作成し、長周期波の評価を行っていく必要がある。

最後に本調査を行うにあたり多大な御協力を頂いた各漁業協同組合の方々、漁港形状についての貴重な資料を頂いた各都道府県の漁港課の方々に感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 久保雅義・笹健児：係留船のSWAYモードにおけるサブハーモニック・モーションの評価方法に関する研究，日本航海学会論文集，第91号，pp.11-19，1994.
- (2) 松岡道男：中小港湾の港内埋没におよぼす長周期波の影響に関する研究，大阪大学学位論文，1994.
- (3) 久保雅義・沖 剛志・高岡俊輔：外洋に面した離島航路に及ぼす気象・海象条件の影響についてのアンケート調査報告，日本航海学会論文集，第90号，pp.147-156，1993.
- (4) 久保雅義・水井真治・斎藤勝彦：自然環境の厳しい漁港における入港問題について，日本航海学会論文集，第91号，pp.1-10，1994.
- (5) 喜岡 渉・柏原謙爾・岩垣雄一：不規則波群に伴う2次長周期波の湾水振動，土木学会論文集No.473/II-24，pp.55-64，1993.8.
- (6) 全国港湾海洋波浪観測資料(NOWPHAS 1993)：平成6年8月，運輸省港湾局監修／財沿岸開発技術研究センター.
- (7) Lee, Jinn-Jen：Wave induced oscillation in harbors of arbitrary shape, Calif. of Tech., 1970.
- (8) 榎木 亨・久保雅義：Slip内の波高分布に関する二，三の考察，日本航海学会論文集，第63号，pp.97-106，1980.
- (9) 合田良実：浅海域における波浪の碎波変形，港湾技術研究所報告，第14巻第3号，pp.59-106，1975年9月.

- (10) 久保雅義・榊原繁樹：荷役稼働率計算における波群・副振動による長周期波の影響について，海岸工学論文集，1995，投稿中。

質 疑 応 答

桑島 進（東京商船大学）：

- (1) 波の連なり表現として用いた「3大4小」や「4大5小」等は容易に知ることができるのでしょうか。
- (2) 日本の各港を上記「3大4小」等の表現で示していますが、この現象は各港に固有な現象でしょうか。

前田保男（神戸商船大学大学院）：

- (1) 久保らが行った実務者を対象にしたアンケート調査⁽⁴⁾では、港口付近の波の連なり方の特性と操船方法に関して、「大きい波は、3枚来て、間がある」、「波のあいまを見る」といった回答を得ており、実務者は小さい波の時に港口付近を通過できるように予測しながら運航しています。今回の調査でもすべての漁港で確定した回答が得られたわけではありませんが、各漁港において実務者は波の連なり方の特性についてある程度熟知していると思われます。
- (2) 一般的に、スペクトル形状とフェッチとの関係から、日本海側の季節風による波は3大4小程度の短い連なり特性を、太平洋側の台風による波は3大8小といった長い連なり特性を示すと考えられます。しかし、漁港によって周辺地形や防波堤の設置状況が異なるため、図3のように各漁港でさまざまな表現がされていると思われます。