

銚子漁港長周期波の現地観測

山本正昭*・菅原輝男**

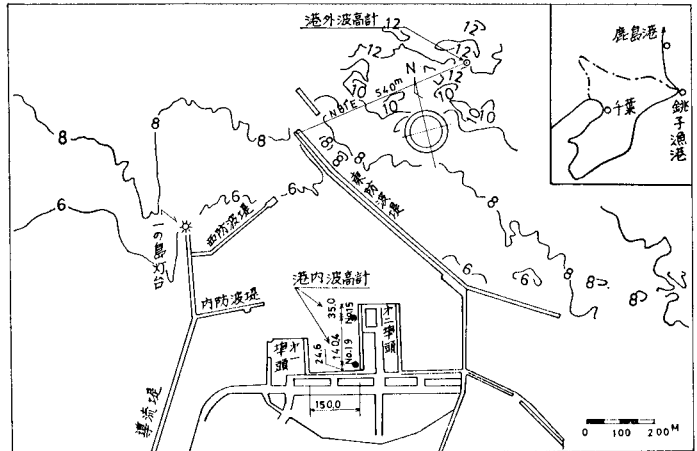
1. 緒 言

銚子漁港の外港岸壁に荒天時、8本のもやい綱をとってしっかり係留した大型漁船に前後方向の動揺があり、このため陸揚げ作業に支障をきたす場合があると報告されている。この現象は冬から春にかけて頻度が多く、台風時にも起ることが知られている。これはあびきと呼ばれる長周期波の水粒子運動によって生ずることが推定できるが、その動揺を起こす長周期の振幅や周期の大きさについての観測データはない。ただ、宇野木の研究¹⁾によると銚子漁港(内港)での最大のあびきは周期5分、波高0.64mと報告されている。ここで述べる長周期波とは潮汐よりも短かく、一般の波浪よりも長い周期のものを指す。この長周期波の外海での波高は波浪より1桁小さいが、回折も大きく消波されにくいと、湾や港内で共振を起こして波高を増幅させ問題となる。この長周期波の内でも波長 L の大きさが港長 l より桁違いに大きい場合は共振が生ずる恐れはなく、 $L/l \geq 4$ ではタンクモデルとして港内振幅を計算できる²⁾。たとえば、前記の $T=5$ 分、 $H=0.64$ mの場合について計算すると波長 $L=2500$ m、港内振幅0.64mとなる。この波長は港長($l \approx 600$ m)より充分大きい。しかし、 $L/l \leq 2$ すなわち、150秒以下の長周期波については共振の可能性が大である³⁾。したがって、我々は、150秒以下の長周期波に注目して、港内長周期波を量的に把握し、その波が港外の波といかなる関係で生じているかを研究するため現地観測を行ない、その解析を試みた。なお、この観測は千葉県漁港課ならびに銚子漁港事務所の協力を得て行なわれた。

2. 現地観測と解析手法

(1) 波高測定方法

現地観測は千葉県銚子漁港で行なった。波高計の設置



図一1 波高計設置位置図

位置は漁港の東防波堤の沖合に1ヶ所、港内の外港第二埠頭岸壁沿いに2ヶ所であった。その位置を図一1に示す。港外の波高計は超音波式で常時観測されている。岸壁部の波高計は携帯用の容量式波高計を使い、1台はデータレコーダに、他の1台はペン書きサーボ式レコーダにそれぞれ記録した。容量式波高計の検出線材にはテフロン線とエナメル線を用いたが、テフロン線は港内に浮いた油膜が付着し、水切れが悪化した。一方エナメル線は水切れは良いが、現地用としては線の太さが細すぎた(0.5mm)ため伸びてしまう結果となり、以後の改良の必要を感じた。

(2) データの解析方法

データの読取りは、記録紙についてはカーブリーダーにより、データレコーダについてはA-D変換機により、1秒間隔ごとに量子化して紙テープに出力した。

このデータから一般の波浪(20秒周期以下の波)を除去し長周期波のみ抽出するため数値フィルタを設計した。すなわち20秒の移動平均後さらに13秒(20秒の2/3区間)の移動平均を行なうものである。その利得特性は周期15秒で1%(設計上0%)、20秒で4%(同0%)、40秒で51%(同53%)、85秒で89%(同87%)であった。その検出記録例を図一2に示す。

次に1秒間隔ごとの3地点のデータについてスペクト

* 正会員 農水省水産工学研究所漁港水理研究室

** 正会員 水産庁漁港部防災海岸課

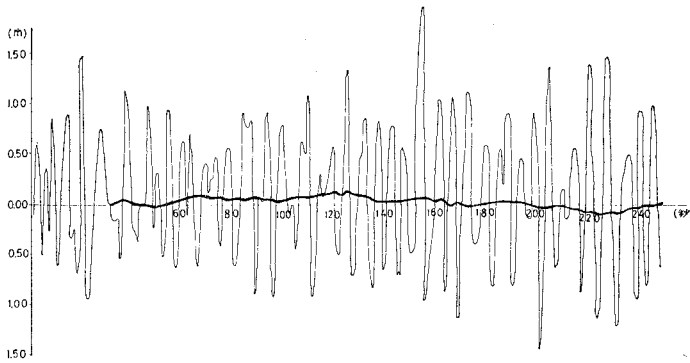


図-2 長周期波の検出記録

ル計算を行なった。スペクトルの算法は、自己相関係数を調和分解して赤池のウィンドウを用いる方法をとった。さらにこの港内2測点の値と港外の値との比を平方根して振幅比を求めた。この振幅比から港内で共振が起こっているか否かの判定を行なった。

2.2 m 周期は 7.5 秒, 14 時では波高 2.8 m, 周期 7.8 秒で波向は共に東であった。港内の状況は、波が東からであったため、回折波は約 0.2 m と小さく比較的穏やかであったが、港内で短周期の風浪が発生したり越波による伝達波も発生していた。

表-1 気象海象観測日原簿

昭和 53 年 3 月										銚子漁港事務所									
日 時		風向	風速	天気	視程	気圧	気温	降水量	波向	有義波		1/10 最大波		最高波		潮			
日	時間	16方位	m/s		km	mb	°C	mm	16方位	波高 cm	周期 sec	波高 cm	周期 sec	波高 cm	周期 sec	潮位 cm	干潮	時 分	同潮位 cm
9	06	NNE	4.0	①	20.0	1028.6	8.1	—	NE	149	6.0	175	6.1	207	6.9	79	干	10 25	10
	09	NE	3.5	⊙	25.0	1030.4	8.1	—	NE	141	6.8	164	6.8	183	4.5	19	潮	22 40	-12
	12	NE	5.0	①	20.0	1029.6	9.6	—	NE	143	6.2	180	7.4	208	7.1	27	満	04 30	92
	15	NE	4.0	⊙	20.0	1028.2	9.1	—	NE	148	8.4	189	9.3	250	13.6	90	潮	16 16	99
	18	ENE	4.2	⊙	20.0	1027.4	7.8	—	日平均	145	6.9	177	7.4	212	8.0	78	潮	16 16	99
10	06	SE	6.2	●	20.0	1018.0	10.3	0.0	ENE	200	11.0	261	12.1	295	10.1	91	干	10 50	12
	09	SE	8.3	●	15.0	1016.3	10.3	1.5	E	203	8.3	246	9.8	299	11.4	20	潮	23 00	17
	12	SE	10.2	●	15.0	1010.4	11.3	0.5	E	233	7.5	289	7.5	333	6.6	21	満	04 55	98
	15	SE	12.2	●	13.0	1003.6	11.7	2.0	E	336	8.0	408	8.1	453	9.5	94	潮	17 00	119
	18	SE	12.5	●	6.0	995.4	13.3	0.0	日平均	243	8.7	301	9.4	345	9.4	110	潮	17 00	119

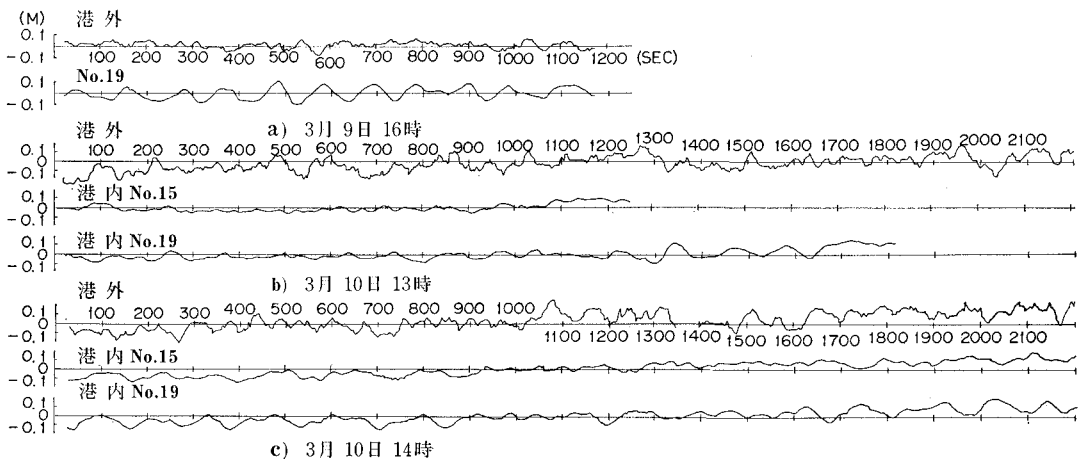


図-3 長周期波記録

なお、9日の観測時間は16時01分から16時21分の20分間、10日は13時0分から30分までの30分間と14時07分から45分までの37分間であった。

(2) 長周期波形

各測点のスムージング波形を図-3に示す。9日16時の港外記録では波がないが、港内 No. 19 には周期110秒、波高0.2m程度の水面振動が顕著に現われている。

10日13時の記録では、港外の長周期波には一定の周期性は読みとれないが、港内の測点 No. 15 では長周期波はほとんど認められなかったにもかかわらず、測点 No. 19 では平均8cm程度の長周期波が表われている。

10日14時の記録はやや振幅が大きい。港外では一定周期の長周期波は認められない。港内の測点 No. 19 では120秒位の長い水面振動と60秒位の振動とが認められ、その振幅は15cm程度である。No. 15 では150秒位、振幅8cm程度の振動が認められる。これはNo. 19で表われた周期120秒の波はNo. 15付近では節にあたるため振幅が小さくなったものと推定される。

(3) 長周期波のスペクトル図

図-4の9日16時の港外では長周期0.01Hz(100秒)付近にピークが現われ、港内 No. 19 でもやはり100秒のピークが最も大きい。なおそれらのピークは港外より港内が大きい。

10日13時の港外の記録では長周期波部には0.025Hz(40秒)に小さいピークがあるが、0.01Hz以下はほぼ一様な大きさである。港内のNo. 19のスペクトル線では0.008~0.01Hzのエネルギーが最も大きく、0.0325Hz(31秒)にも小さいピークが表われている。港内No. 15は0.021Hz(48秒)にピークが表われ、0.01Hz以下は低い周波数程大きくなっている。

10日14時の港外の記録では長周期(20秒以上)波のエネルギーはほぼ一様な大きさに分布している。港内No. 19では長周期波のエネルギーが卓越し、そのピークは0.0075Hz(133秒)であった。又No. 15のスペクトル線には0.006Hzと0.022Hz(45秒)0.053Hz(18.9秒)の長周期にピークがわれている。これらのピークは、泊地部奥の護岸からの反射波の腹部にあたるため大きくなったものと推定される。

(4) 港内外の振幅比

3月9日16時の港内外振幅比を図-5a)に示す。その比は50秒以上の長周期部分において1以上となり、港外より大きい振動が生じていることを示す。特に90秒から150秒間は2以上を示している。その他振幅比が回折係数より特に

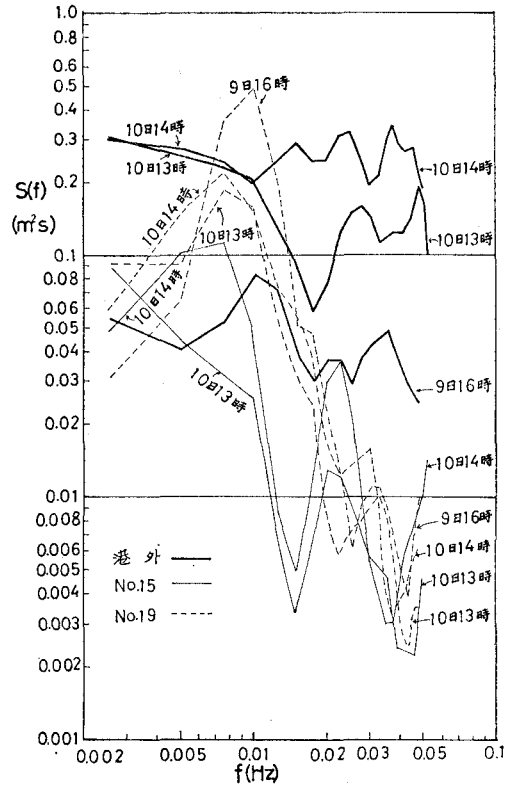


図-4 長周期波スペクトル

大きくなる周期は57秒、33秒、20秒付近である。また3月9日の振幅比が全体的に3月10日のそれよりも大きい値を示す。

図-5c)に示す3月10日の13時および14時の港内No. 19と港外との比は周期100~133秒が最大を示す。大勢的には周期が短い程その比は回折係数のように減小しているが、目立って振幅比が大きい周期は57秒、33秒、20秒付近であることは9日と同様である。各々の波長は港内平均水深6.5mの場合、455m、263m、159mであり、前の2つは港の奥行の約1倍と1/2倍に

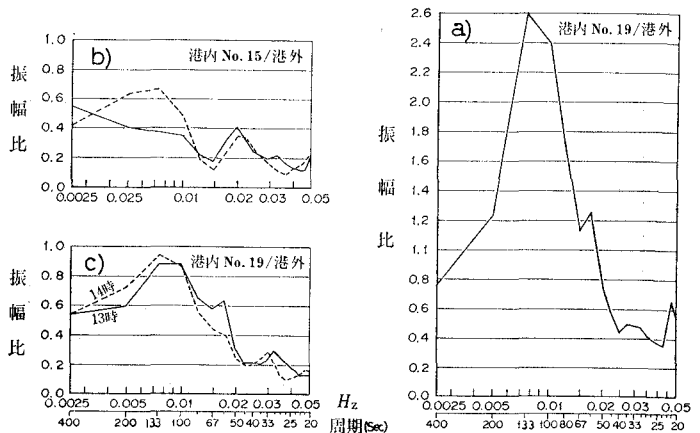


図-5 港内外振幅比

近い波長であり、20秒のピークは第2埠頭と第1埠頭間(150秒)の反射が関係していると思われる。

図-5 b)に示す港内 No. 15 と港外との比の最大はやはり 100~133 秒であるが、No. 19 との比より小さい。また、13 時と 14 時で値に差が生じているが、その原因ははっきりしない。その他に、周期 50 秒付近にはっきりしたピークが現われている。このピークは測定位置が護岸から 165 m で半波長(護岸付近はやや埋没しているため波長は短くなっている)の位置にあり、定常波の腹にあたるためと推定される。

4. 数値模型実験による検討

(1) 数値模型実験と結果

観測値でみられるような周期に関する選択的増幅現象を港内全域で把握するため数値実験を行なった。実験の手法は差分法による漁港数値模型実験⁴⁾を用いた。使用電算機のメモリの制約上から、屈折回折計算と港内共振計算とに分けて計算を行なった。その計算条件は表-2の通りである。

表-2 数値模型実験の計算条件

	屈折・回折実験	港内共振実験
計算範囲	東西 1,320 m 南北 1,410 m	東西 820 m 南北 620 m
メッシュ間隔	30 m	20 m
潮位・水深	MWL+1.0 m, -15 m~-6 m	MWL+1.0 m -8 m~-2 m
波の周期(秒)	20, (30), 40, (50), 60 (70), 80, (100), 120	20, 30, 40, 50, 60, 70 80, 90, 100, 110, 120
波高	E, NE*, N*	港口より
計算時間間隔	2.0 秒	2.0 秒

* 印の波向 NE と E の波の実験周期は()を除いた5種とした。

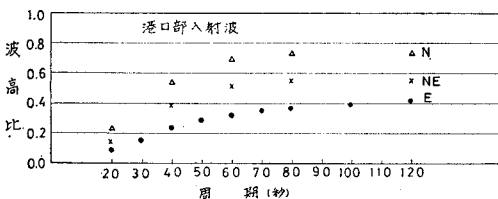


図-6 港口部入射波

屈折回折計算の結果、図-6に示すように、波向Eの場合港口部での波高比は周期120秒で40%、60秒で32%、20秒で8%と周期の減小とともに漸減する。波向NEの港口部での波高比は周期120秒で55%、60秒で51%、20秒で13%と波向Eに比べ波高比は大きく、N波は更に大きい。港内 No. 15 での波高は図-9にも示すように港口部の波高比のさらに5~6割となっている。この値と観測値とを比べると全体的に観測値の方が大きい。

次に、泊地の共振実験について述べる。港内水域形状と水深により港の固有周期は決まる。港外の振動と共振を生じた場合は振動の腹や節が発生し、場所的に振幅の差が大となるとともに腹では入射波高の3倍以上となる。今回の現地観測でも港奥部の測点 No. 19 では No. 15 より振幅が大きく、かつ、港内外振幅比が周期により変動することが判明した。この港内の振動特性を確認するため数値模型実験を行なった。

数値模型では、港内水深はほぼ -6 m、岸壁や防波堤等の海との境は完全反射するものとみなした。また、入射波は港口部において与えた。したがって周期120秒以上の波には不適当なので実験を省いた。その他のデータ

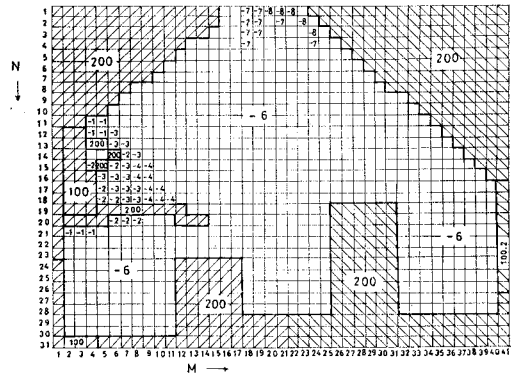


図-7 港内数値模型

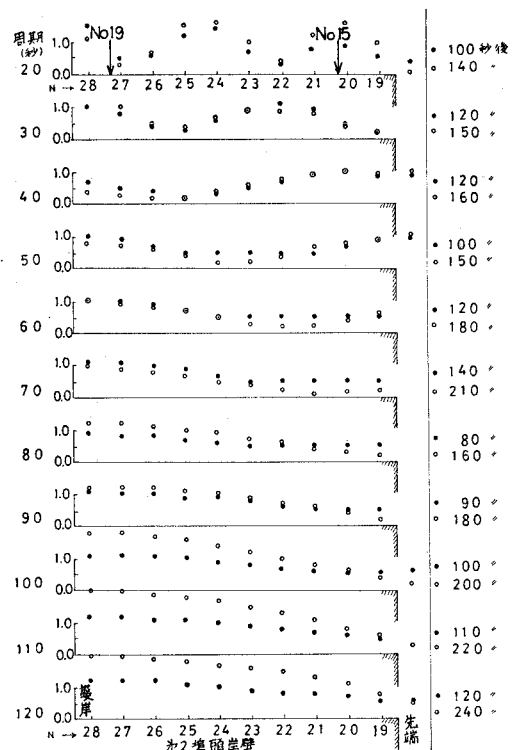


図-8 岸壁沿いの波高分布(対港口部波高)

は表-2に示す。この実験結果港内 No. 19 では港口との平均振幅(第2波以後320秒までの平均振幅)が、周期100~120秒, 60秒, 30秒にて2を越えており、この地点を腹とする共振が発生することを示していた。このことは前章で述べた振幅比のピークと一致する。一方、港内 No. 15 の周期特性を調べるため第2埠頭沿いの振幅比を示したものが図-8である。この図より、No. 15 では、周期80秒付近で節となり、45秒付近で腹となることが判る。よって、観測値の周期特性と一致した。

(2) 実験値の考察

実験による港内外の振幅比は、屈折回折実験の港口部の振幅比と港内共振実験による測点对港口の振幅比の積として求めることができる。この値を図-9に●印で示した。長周期波のうち周期200秒以上の波は1章でも述べたように銚子漁港での港内共振に関係ないので省いた。今回の実験による振幅比は3月10日の観測値よりやや小さく表われている傾向にあるが、その振動特性は現地観測値と合っているとみなせる。ところが、3月9日観測振幅比は図-5a)に示した通り、周期133秒で2.6倍にも達している。港内の反射が3波程度の今回の共振実験では、波向をNEに補正しても振幅比は1.3倍以上にはならず、原因は究明できなかった。したがって不規則波の波のつらなりについても研究する必要がある

と思う。

現地観測および実験を通じて、港内 No. 19 と港外の振幅比の大きさは周期100~133秒が最も大きい、周期が短くなるに従って回折係数が小さくなるために、第2モード以上の共振周期は問題とならないと思われる。

次に第2埠頭先端にあたる測点 No. 15 では泊地終端で反射した定常波の腹に位置する場合振幅比が大となることが確かめられた。したがって周期45秒付近が最大となる。しかし、今回問題となったあびき現象について考えると定常波の節に位置する時すなわち港奥からの距離が $L/4$ に相当する時が流速が最も大きくなる。従って埠頭先端であびきが問題となるのは、No. 19 との振幅差が大となる100秒前後の長周期であると判断される。

5. 結 言

銚子漁港にて長周期波観測を行ない、港内振動の特性を調べた結果、① 港内長周期の卓越周期は100~120秒であり、港外には卓越した周期性は認められなかった。② 同港の最大共振周期も100~130秒である。③ 数値模型実験により求めた周期と振幅比の関係は、3月10日の観測値についてはほぼ合致した。しかし、3月9日の記録とは性状は似ていたが振幅比の大きさが合わなかった。今後も港内外の同時観測を行なってデータを蓄積し、港の共振の大きさに重点を置いて研究する必要がある。そのため、53年9月より港奥測点 No. 19 付近に水压式波高計を設置し、また、港外波高計に長周期波検出装置を付設して定時観測を開始した。その結果は後日報告を行なう予定である。

参 考 文 献

- 1) 宇野木早苗：港湾のセイシュと長周期波について、第6回海講演集、pp. 1~11, 1959.
- 2) 中村 充・白石英彦・佐々木泰雄：海水交流の一解法、第12回海講演集、pp. 128~132, 1965.
- 3) 杉江正文・神瀬 哲：消波岩壁の配置に関する研究、農士試技報D(水産土木)第15号、pp. 1~38, 1974.
- 4) 山本正昭・長野 章・菅原輝男：波の数値実験の漁港整備計画への適用、第22回海講演集、pp. 255~258, 1975.

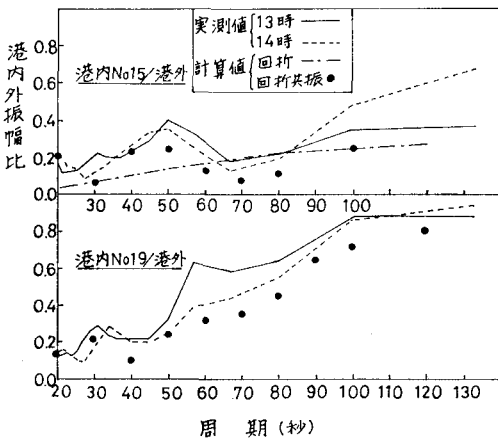


図-9 実験値と観測値の比較(港内外振幅比)