

釜石・両石湾の湾水振動特性

赤塚雄三*・川上俊雄**

1. はじめに

三陸沿岸における津波防災対策を講ずる場合には、湾水の共振周期を検討することは極めて重要である。湾水の共振周期に関しては、既に比較的精度の高い数値計算法が提案され、あるいは模型実験によって検討することもできる。しかし実際の湾は複雑な形状をしており、特に釜石・両石湾のような2重W字型湾においては、数値計算や模型実験結果を実測によって検証することは極めて重要である。

そこで1973年冬期および翌年秋期において長周期波高計3台を用い、水位3点同時観測を行い共振周期を実測した。ここで共振周期は平常時の微小な水位の変動の中にも共振的な変動成分が存在するものと想定し、これをスペクトル解析により3点相互間の変動の中から拾い出したものである。

釜石・両石湾の共振周期、波高増幅率等に関しては、釜石湾湾口津波防波堤計画との関連において、津波数値計算および津波模型実験が行われている^{1),2)}。この結果釜石・両石湾相互間に周期16~20分で位相の反転した横振動現象が見られた。また岩崎らは2次元の固有値問題を解くことにより横振動の共振周期が、周期18.7分に存在することを指摘している³⁾。

2. 観測の概要

観測地点および釜石・両石湾の湾形を図-1に示す。

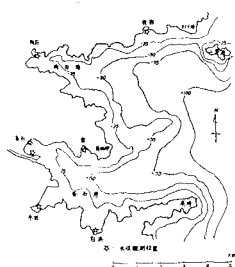


図-1 湾水振動観測位置

釜石湾は湾口幅2.2km、奥行3.0km、最深部は65m、両石湾は湾口幅2.5km、奥行3.0km、最深部は50mで、両湾全体の湾口は幅7km、水深100mである。観測地点は振動の腹に当たる湾の最奥部あるいはやや湾入した箇所（白浜、平田、釜石、泉、両石および仮宿の6か所）とした。

長周期波観測装置の概要を表-1に示す。長周期波計は水圧式波高計（SGWP型）にローパスフィルターを取付け、周期3分以下の成分波をカット可能なものとしたものである。ローパスフィルターの波高減衰特性を図-2に示す。観測は1973年冬期および翌年秋期において1回当たり約1か月間、延べ4回、表-2に示す観測地

表-1 測定装置の概要

区 分	内 容
受 感 部	型式、抵抗歪線型波高計 設置水深、-5~-10m、耐圧、2kg/cm ²
ローパスフィルター	型式、LPF-IP 通過波帯、0~0.005Hz 減衰特性、18db/oct 入力インピーダンス、50K Ω
記 録 計	型式、自動平衡型記録計 Ep-1200 型 記録感度、水深/記録振幅=1m/60mm 記録精度、フルスケール $\pm 3\%$ 以下 記録紙、幅180mm、長さ120m 記録紙送り速度、5mm/min タイムチェック、6回/1時間（シンクロサモーター50Hz 発振による）
電 源 等	入力電源、AC-100V、50Hz 回路、電源定電圧回路、降圧整流回路、測定定電圧回路

点の組合せで3地点同時観測を実施した。同表には観測データの読み取りによる顕著な長周期波の概略的な波高および周期も併せて示してある。これらによると特徴的な動きはとらえにくい、いずれも周期が10~30分で発生しており、波高は泉における28cmが最高であった。

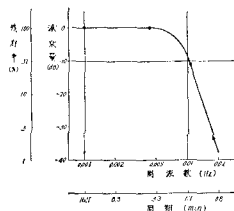


図-2 ローパスフィルター波高減衰特性

3. スペクトル解析

釜石・両石湾における3点

同時観測結果より卓越周期および周期成分ごとの振動の形態を検討するためスペクトル解析を行った。解析は3点で同時に連続的に観測値の得られた資料（1973年12月2日；釜石、泉、白浜、1973年12月28日；釜石、両石、平田、および1974年10月9日~13日；釜石、両石、仮

* 正会員 工博 前運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所所長
** 正会員 前運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所調査課長

表—2 観測期間を通して最も顕著であった長周期波の概略的波高と周期

観測 ケース	観測期間	観測地点					
		白浜	平田	釜石	泉	両石	仮宿
A	1973年11月2日 ～12月3日	$T=20\sim32\text{ min}$ $H\approx 15\text{ cm}$	観測せず	$T=20\sim30\text{ min}$ $H\approx 20\text{ cm}$	$T=20\sim30\text{ min}$ $H\approx 28\text{ cm}$	観測せず	観測せず
B	1973年12月5日 ～1974年1月6日	観測せず	$T=16\sim20\text{ min}$ $H\approx 15\text{ cm}$	$T=20\sim30\text{ min}$ $H\approx 20\text{ cm}$	観測せず	$T=12\sim18\text{ min}$ $H\approx 12\text{ cm}$	観測せず
C	1974年8月5日 ～9月7日	$T\approx 22\text{ min}$ $H\approx 15\text{ cm}$	観測せず	$T\approx 25\text{ min}$ $H\approx 15\text{ cm}$	観測せず	$T\approx 25\text{ min}$ $H\approx 15\text{ cm}$	観測せず
D	1974年9月11日 ～10月19日	観測せず	観測せず	$T\approx 20\text{ min}$ $H\approx 25\text{ cm}$	観測せず	$T\approx 15\text{ min}$ $H\approx 20\text{ cm}$	$T\approx 10\text{ min}$ $H\approx 10\text{ cm}$

宿)を対象とし、表—3 に示す4系列について実施した。即ち8時間観測資料を用いた解析に関するもの2系列、24時間観測資料を用いたもの1系列および90時間観測資料を用いたの経時的解析を行ったもの1系列である。観測資料はいずれも潮汐変動成分を取り除くため1時間または2時間の移動平均により偏差を求めて、これを解

析に供した。解析は周期20分前後の振動を念頭において表—3 に示したような処理方法を採用し、これにより、パワースペクトル、コヒーレンス、位相差および応答関数値を求めた。90時間観測資料については24時間分のパワースペクトルを4時間ごとにずらしながら17回求め、周期ごとのエネルギーの経時変化を見た。

表—3 スペクトル解析におけるデータ処理

系列 番号	対象年月日 および時間	対象地点	データ処理方法				
			移動平均	サンプリング 時間間隔	データ数	ラグ数	自由度
①	1973年12月2日 14:00時～22:00時 (8時間)	釜石, 白浜, 泉	1時間	$\Delta t=2\text{ min}$	$n=210$	$m=25$	15.3
②	1973年12月28日 14:00時～22:00時 (8時間)	釜石, 両石, 平田	1時間	$\Delta t=2\text{ min}$	$n=210$	$m=25$	15.3
③	1974年10月12日 6:00時～13日6:00時 (24時間)	釜石, 両石, 仮宿	2時間	$\Delta t=2\text{ min}$	$n=660$	$m=37$	34.2
④	1974年10月9日 13:00時～13日7:00時 (90時間)	釜石, 両石, 仮宿	2時間	$\Delta t=4\text{ min}$	$n=360$	$m=37$	25.1

4. 短期 (24 時間および 8 時間) 観測資料の解析

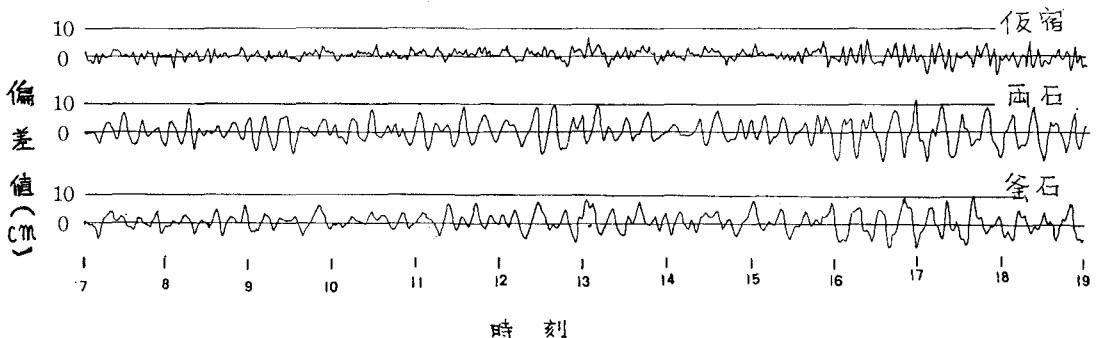
(1) 24 時間観測資料の解析

各地点の水位変動の偏差値を示すと例えば図—3 のよ

うである。その解析結果を図—4 に示す。これにより次のことが観察できる。

a) 釜石～両石

釜石および両石のパワースペクトルは、それぞれ周期18, 16分においてピークを示している。これについ



図—3 水位変動の偏差値の一例 (1974 年 10 月 12 日)

ては外洋波に本来的にこの周期成分が卓越していたとも考えられる。しかしほぼ湾外の仮宿における同時観測値ではピークが別に6.3分に存在していることから外洋波に原因を求めることは必ずしも妥当でない。さらに釜石～両石間に 180° の位相差があり、より周波数の高い領域の 11.1 分と 6.5 分にも卓越周期がみられ、それぞれの位相差は 0° と 180° である。これらのことから同時観測値で認められた卓越周期 16～18 分、11.1 分および 6.5 分は釜石・両石湾における横振動の 1 次、2 次、3 次のモードを反映したものと考えられる。それぞれのモードにおける応答関数値 ($H(f) = \sqrt{P_0(f)/P_i(f)}$, ここに $P_0(f)$; 両石のパワースペクトル, $P_i(f)$; 釜石のパワースペクトル) は 1.0, 1.5, 1.0 である。またコヒーレンスはそれぞれ 0.5, 0.9, 0.3 とそれほど高くない。また

24 分以上の成分波については位相が同一であることから横振動は生じておらず、外洋波に同期して振動が起っているものと考えられる。

b) 釜石～仮宿

仮宿のパワースペクトルは周期 7 分より低周波の領域では釜石より低く、周期 6.3 分においてエネルギーのピークがあることを示している。釜石・仮宿間の振動モードについては、前述の両石～釜石間のように明瞭ではないが、これに類似した関係が認められる。外洋波に同期する同一位相波についてみると、両石の場合と同じように周期は 24 分以上である。

(2) 8 時間観測資料の解析

a) 釜石～両石

釜石および両石のパワースペクトルは、図-5 に示す

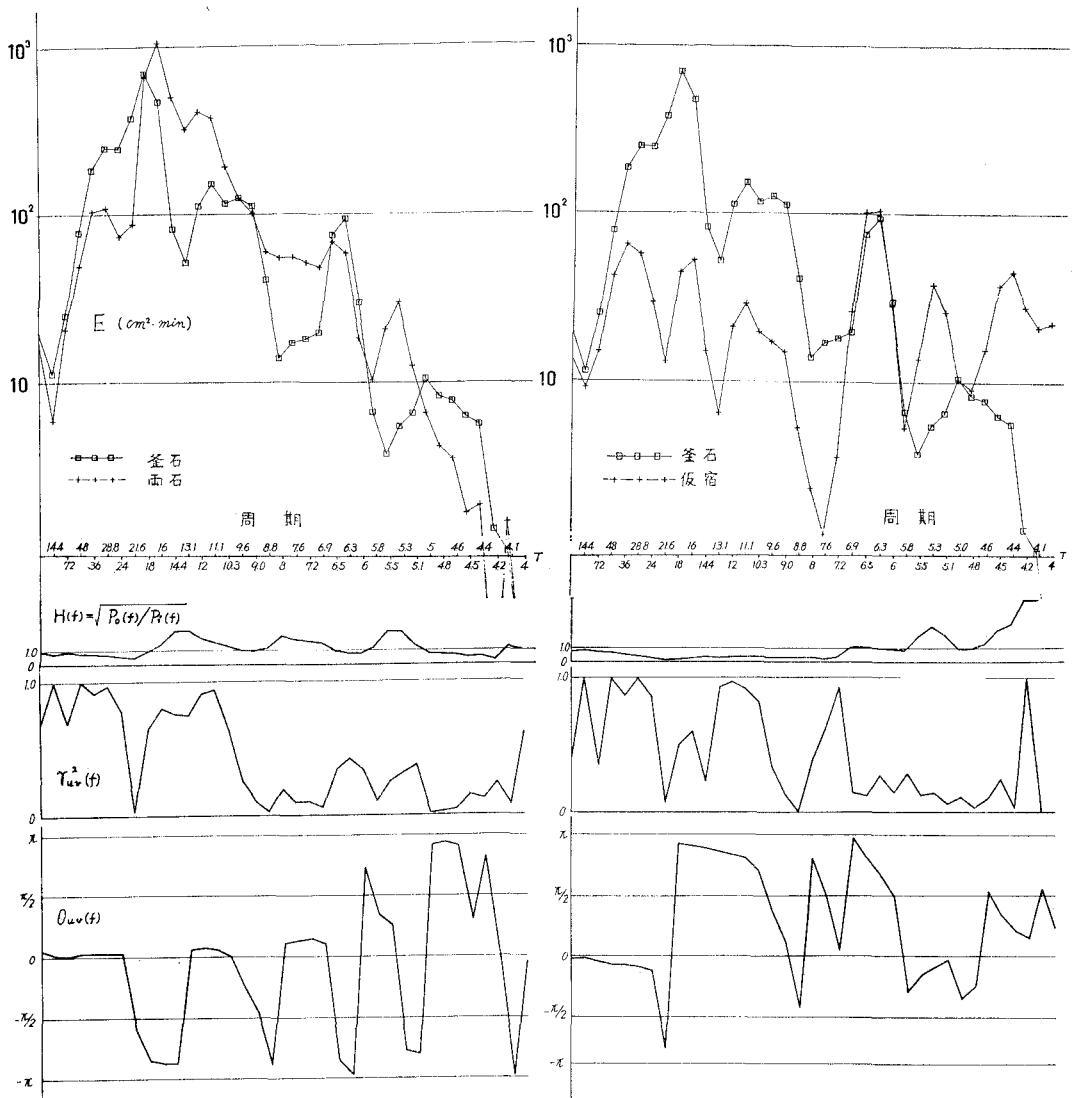
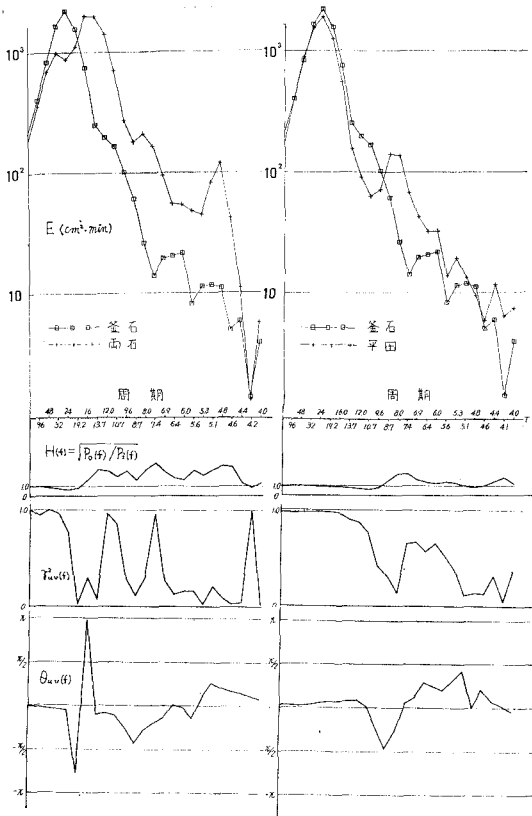
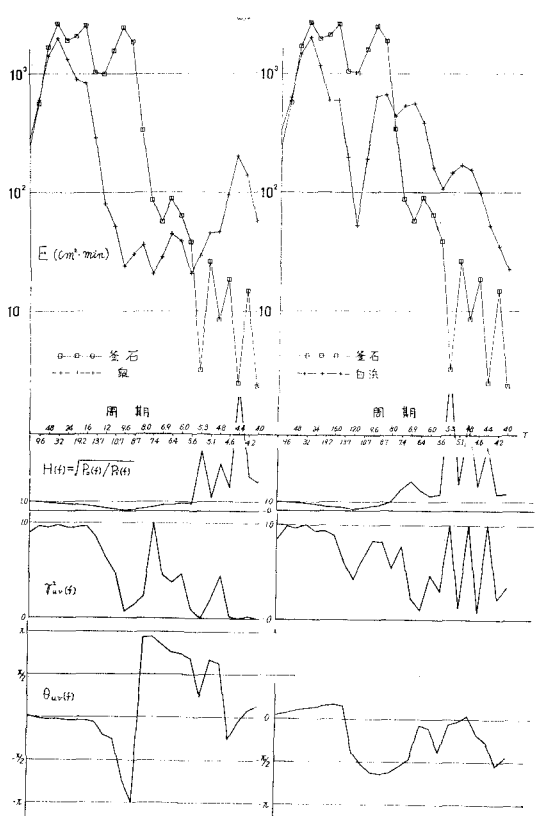


図-4 24時間観測資料のスペクトル解析結果; 釜石～両石および釜石～仮宿の場合



図—5 8時間観測資料のスペクトル解析結果；
釜石～両石および釜石～平田の場合



図—6 8時間観測資料のスペクトル解析結果；
釜石～泉および釜石～白浜の場合

ように釜石では周期 24 分においてピークを示す一方、両石では周期 16 分においてピークを示している。周期 16 分の場合の位相差は 24 時間観測の場合と同様に反転しており横振動を示すものと考えられる。同位相領域も 24 分以上であり、24 時間観測の場合と同様である。

b) 釜石～平田

釜石および平田のパワースペクトルのピークは 24 分と両者同一で、エネルギーの山の形も類似している。また周期 10.7 分以上の領域においては両者は同じ位相にある。

c) 釜石湾内の 3 地点における 8 時間観測

図—6 は釜石湾内の泉、釜石、白浜の 3 地点を対象として観測した結果である。これによると 3 地点ともパワースペクトルのピークは同一周期において発生しておりその値は 32 分である。釜石においては他に、16 分および 9.6 分においても顕著なピークが発生している。また釜石～泉間および釜石～白浜間にそれぞれ周期 6.0 分および 8.7 分の傾向としては横振動と見られるような現象が認められる。

(3) 釜石～両石間の横振動

4.(1) および 4.(2) で述べた短時間観測についての解

析結果をとりまとめると表—4 のとおりである。これを要するに、釜石～両石間の横振動については、周期を 16～18 分とする基本モードの振動が存在することが判る。表—4 には釜石・両石湾各地点における観測地点間に横振動が存在するものと想定して、基本モードの振動を長波の伝播速度を基にして算出した、共振周期を示した。これらの値は観測値とほぼ一致している。また釜石・両石湾での長波の屈折図を示すと図—7 のとおりで、釜石～両石湾の間に長波の往復すなわち横振動が存在しうることが明らかであろう。

5. 90 時間連続観測資料の解析

90 時間にわたって釜石、両石および仮宿において連続観測した場合のパワースペクトルの経時変化を釜石および両石について図—8 に示す。同図のパワースペクトルは 24 時間を対象としたものを 4 時間ごとにずらしながら 17 回求め、さらにエネルギーの高い周期 57.6 分から 12 分の間の成分を整理したものである。これによると釜石・両石のいずれにおいても 9 日 13 時より 13 日 5 時まで長時間にわたってエネルギーのピークは常に周期 16.9 分前後に共通している。またその変動形態および量もほ

表-4 スペクトル解析の結果

系列 番号	対 象 地 点 および年月日	検 討 項 目	機振動の振動モード			
			第0次	第1次	第2次	第3次
③	釜石～両石 1974年10月12日	周期 (min)	24以上	16～18	11.1	6.5
		位相角 (°)	0	160	10	150
		コヒーレンス	—	0.6	0.9	0.2
		応答関数値	—	1.4	1.6	1.0
③	釜石～仮宿 1974年10月12日	周期 (min)	24以上	16～18	—	6.5
		位相角 (°)	0	160	—	120
		コヒーレンス	—	0.8	—	0.4
		応答関数値	—	0.3	—	1.0
②	釜石～両石 1973年12月28日	周期 (min)	24以上	16	—	—
		位相角 (°)	0	180	—	—
		コヒーレンス	—	0.3	—	—
		応答関数値	—	1.7	—	—
②	釜石～平田 1973年12月28日	周期 (min)	10.7以上	8.7	—	—
		位相角 (°)	0	80	—	—
		コヒーレンス	—	0.3	—	—
		応答関数値	—	1.4	—	—
①	釜石～泉 1973年12月2日	周期 (min)	10.7以上	6.4	—	—
		位相角 (°)	0	160	—	—
		コヒーレンス	—	0.4	—	—
		応答関数値	—	6.4	—	—
①	釜石～白浜 1973年12月2日	周期 (min)	13.7以上	9.6	5.1	—
		位相角 (°)	0	110	0	—
		コヒーレンス	—	0.8	0.1	—
		応答関数値	—	0.5	3	—

注) 長波の伝播速度より求めた共振周期(1次モード)

釜石～両石: 20.2 min
 " ～仮宿: 14.5 min
 " ～平田: 10.3 min
 " ～泉: 6.4 min
 " ～白浜: 10.5 min

ほぼ同等である。このような傾向は他の周期成分のエネルギー変動にはあまり明瞭には見られない特異なものである。

図-9 は周期 16.9 分におけるエネルギーの経時変化を示したものである。これによると釜石および両石のエネルギーの経時変化は前述のようにその変動形態および量において共にほぼ同等であることが明瞭に判る。一方外洋波の影響をより強く受けていると考えられる仮宿のエネルギー変動曲線は全期にわたってほぼ1けた少ない値を示している。なおこの間における海象条件は天気図よりほぼ静穏であったと判断される。以上のことは静穏な海象条件下においても共振成分波は共振を起こして、他の周期成分波よりも卓越して常時存在するとすれば当然のことと考えられるものである。

6. ま と め

4. および 5. に述べた短期、長期の観測資料のスペクトル解析を通じて、釜石湾～両石湾間に横振動が存在し、その周期は 17 分付近にあることが明確になった。

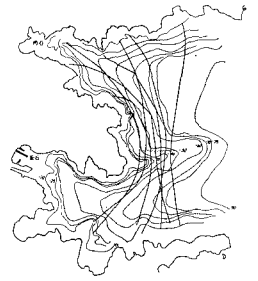


図-7 長波の屈折図

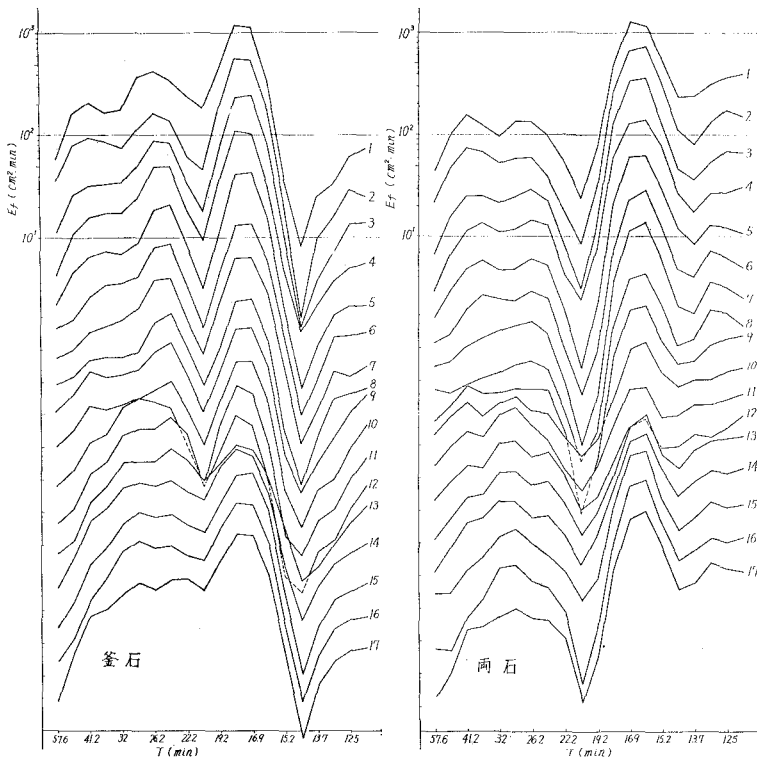


図-8 パワースペクトル形状の4時間ごとの変化

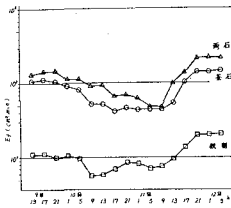


図-9 周期 16.9 分の場合のエネルギー成分の
経時変化 (1974 年 10 月)

これは現地観測に先立って行われた数値計算や模型実験により予見された値とほぼ等しい。なお過去にこの地域

に大きな被災をもたらした 1896 年 (明治 29 年) 三陸沖地震津波の周期は被災記録などから 16 分付近にあるものと推測されている⁴⁾。

参 考 文 献

- 1) 第二港湾建設局・岩手県：釜石湾津波数値計算報告書, pp. 30, 53, 55, 1973.
- 2) 東北大学・岩手県：釜石港湾調査 (津波模型実験) 報告書, pp. 55-57, 1974.
- 3) 岩崎敏夫・真野 明・前原隆生・長谷川明：湾内津波の一実験, 第 29 回年次学術講演会講演集, II-14, 1974, pp. 30-31.
- 4) 第二港湾建設局：三陸沿岸津波対策基礎調査報告書, pp. 12, 1974.