

東北大学工学部

正員

岩崎 敏夫

正員

楊 沢民

佐藤 栄司

日立造船K. K

正員

新井 信一

○ 東北大学大学院

学生員

板橋勝一郎

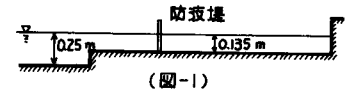
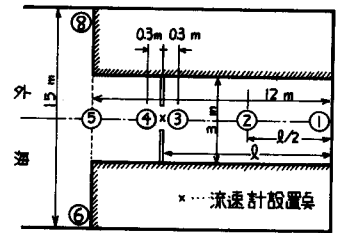
1. 緒言 津波実験水槽を用いて、矩形湾の波高増幅率について実験的に研究し、防波堤を設けた為の堤内および堤外の振動特性の変化ならびに津波防波堤の流量係数の実測について述べたものである。

この種の実験は /966 年以来東大において盛に試みられているが、周期は  $1 \sim 9 \text{ sec}$ 、水深は  $30 \text{ cm}$ 、波高  $1 \sim 3 \text{ cm}$  であるので波形勾配は  $1/800$  以下であって Stokes 波か、あるいはそれに近い Cnoid 波である。東北大では幅  $15 \text{ m}$  長さ  $50 \text{ m}$  の大型平面水槽による津波の実験が可能になり、周期が  $10 \sim 60 \text{ sec}$  であっても造波板のところでの反射波を消去させることができるのでかなり規則的な入射波をうることができる。外洋波はほぼ  $2 \text{ cm}$  の一定とし、これに対する湾奥での波高増幅率を求めたので、精度は相当上ったといえる。波形勾配は  $1/400 \sim 1/2000$  となったが、これは湾の共振特性をもとめる点からきめられた。

## 2. 実験方法

図-1 のように外湾を幅  $13 \text{ m}$ 、水深  $0.25 \text{ m}$ 、内湾を幅  $b=3 \text{ m}$ 、水深  $h=0.135 \text{ m}$ 、長さ  $L=12 \text{ m}$  とし、湾内に防波堤を設け、その開口幅  $a \text{ m}$ 、港の長さ  $l \text{ m}$  とした場合、 $1$  を  $12 \text{ m}$  (湾口)、 $10 \text{ m}$ 、 $8 \text{ m}$ 、 $6 \text{ m}$  の 4 種類、開口比  $a/b$  を  $0.5$ 、 $0.2$ 、 $0.1$ 、 $0.05$  の 4 種類にとり、都合 16 種類、および防波堤のない場合の合計 17 種類とした。

波高は図示のような 7 点において求めた。①は湾奥で湾の増幅率を求め、②は湾奥と防波堤の中間点、③は防波堤より  $30 \text{ cm}$  湾内に入った所で、②と③で共振モードを判別する。④は防波堤から  $30 \text{ cm}$  外側で防波堤外側の増幅率を求め、⑤は断面急変部で湾口の状態を調べ、⑥は外海に面する鉛直壁前で入射波高をとり出す為に測定する。さらに開口部中央 X 点にプロベラ式流速計をおき、流速の時間的変動を、③④の水位差とともに記録して、不定流での流量係数を求めた。



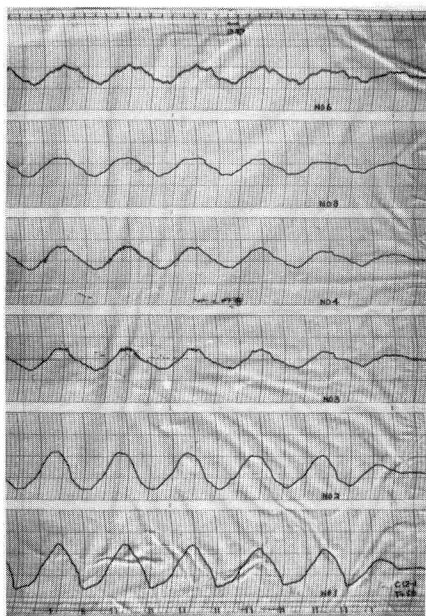
## 3. 湾内振動の特性

造波は既報の電気油圧式自動制御装置によっておこなった。その後の数多くの実験によって、微分動作は速度変動を増幅するし、積分動作は、長時間後に実験水槽内水位の上昇をもたらすことがわかったので、もっぱら比例動作のみを与えた。ロートバルブ操作量  $Y(j\omega)$ 、比例感度  $K_p$ 、目標値と負帰還信号の差  $Z(j\omega)$  とした場合、 $Y(j\omega) = K_p \cdot Z(j\omega)$  と表わせる。従って角振動数  $\omega$  によって  $K_p$  がことなるから、試行錯誤的に比例帯の調節を行なって所期の波が出るようにした。図-2 に例示するように長周期波であるにもかかわらず波形はかなり規則的であって、自動制御装置がよくその効果をあらわしているといえる。

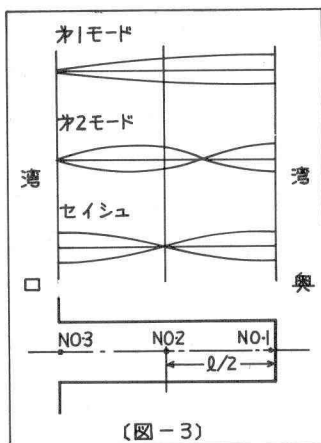
図-1 のように外洋に対し矩形湾が浅くなっている場合の共振モードは図-3 に示すような 3 コのモードが考えられ、これは波高記録より容易に判別される。

2 節でのべた各種類ごとに  $20 \text{ コ}$  の周期につき実験を行ない ⑥ または ⑤ の波高の  $1/2$  を外洋波、① の波高を湾奥の波高とし、その比  $A$  を波高増幅率として計算した。

図-4 は、防波堤のない場合および湾口に防波堤をおいた場合の共振特性である。これによると、防波堤がない場合には第 1 モードに鋭いピークがあらわれ、第 2 モードのピークは、堀川、西村の場合とことなり著しく小さく、従って、合田の理論によく一致する傾向を示している。また防波堤を設けた場合には、第 1 モードのピークは消滅するばかりか波高増幅率の低下が著しく、開口に近くなると反って Miles らが指摘したように第 2 モードが優勢になった。共振周期は、Miles と Munk 理論による値に比し、第 1 モードはやや小さく、第 2 モードはやや長く大きくなった。また、第 1 モードの一次元理論による最大値



(図-2)



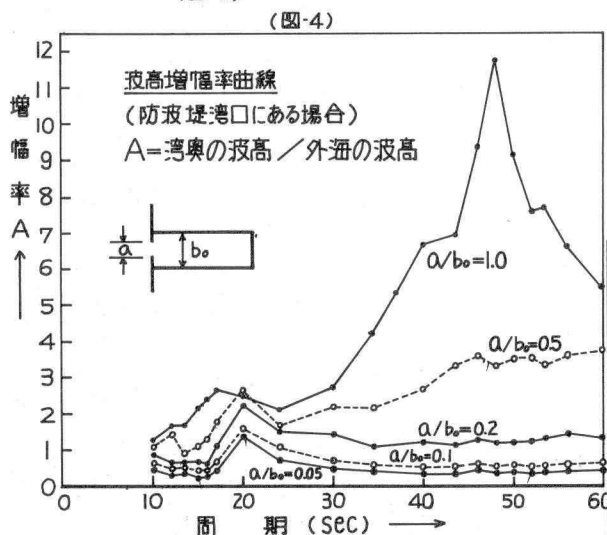
(図-3)

は、実験と一致する。

湾口より中に防波堤を設けた場合には、図-5に示すような2種類のモードを生じ、増幅率曲線は2つの第1モードのピークを生じる。開口幅が20%以下になると、この2つのピークとも消失し、第2モードが卓越してくる。

防波堤が湾のほぼ中央に設けられた場合には、湾口を節とする共振は湾口に防波堤がある場合

よりも大きく、防波堤を節とする共振は消失している。第2モードの共振は、この両者とも存在し、図-6に示すようになる。図示の3点No.1, 2, 3においては、防波堤を節とする場合大、小、大の、また湾口を節とする場合大、中、小の波高分布を示すのであるが、そのことは波高記録より確認されている。

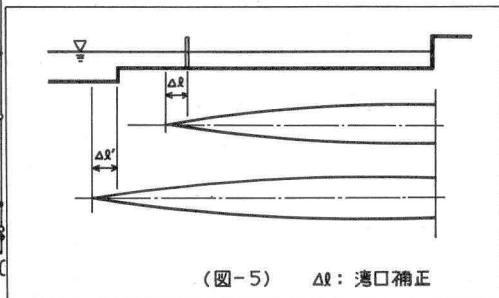


(図-4)

以上、共振周期は、Milesらの与えた値によく一致する

が、Q-値は理論値よりもかなり大きくなること、および、防波堤が湾内に設置される場合には、矩形湾は防波堤により2分され、第1、第2モードそれぞれ2つつ計4つの周期の共振を生じる。

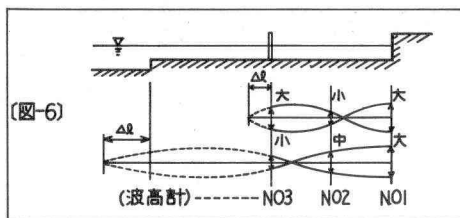
図-7はこの関係を示すもので防波堤の開口比が50%



(図-5) Δl: 湾口補正

である場合には防波堤の位置にかかわらず湾口を節とする共振があらわれ、その増幅率は防波堤が湾口に近いほど、防波堤のない場合に反して小さくなる。

しかし、防波堤を節とする第1モードの振動は防波堤が湾口に近いきにあらわれるが、湾の中央までさがってくると、消失する。しかし第2モードの振動はやはりあらわれている。Q-値で考えると、これは湾長  $l$  のみで定まり、しかも防波堤が湾内に入ってくるほど大きい。



(図-6)

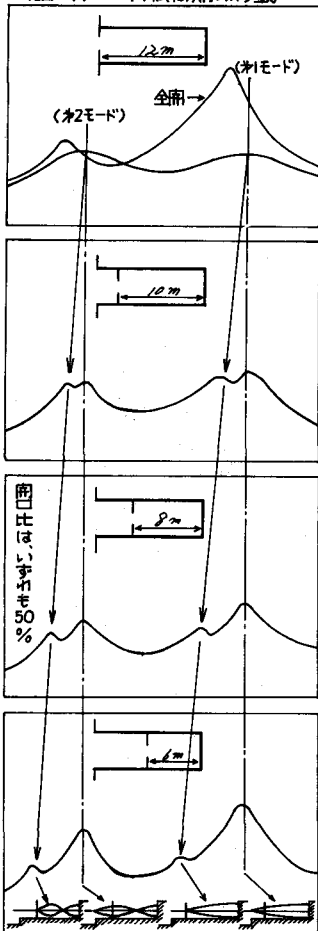
以上により防波堤は湾口に設けるのが最も効果的であるといえよう。

#### 4. 防波堤外側領域の振動特性

湾の中途に防波堤を設置した場合の防波堤外側領域については従来何等研究されていない。そこで、防波堤の外側約10mのところにおかれた波高計の記録より、この値を外海の波高で割って、それを防波堤外

側領域の増幅率とした。図-8～11はその結果である。またこれは防波堤を背後壁とする全開矩形湾と見なしうるので、その共振周期をやはり Milesらの理論式を用いて計算し図示した。これによると湾の長さの中間点に設置された場合には長周期の

(図-7) 共振周期の移動



5.0秒においては、開口幅の広い方が増幅率が大きくなっており、これは湾全体の共振であるが、開口幅が減じると湾は次第に2つの領域に分離されその増幅率は低下する。しかし、(港外)領域での第1モード共振は開口幅が減じるにつれて反って大きくなる。防波堤がもっと湾口に近づいた場合には、港外領域での第1モードの増幅率は鋭くあらわれるが、湾全体の共振(5.0秒)のモードは前より小さくあらわれている。

防波堤が湾口に近いケース(図-10)では、はっきりしたピークはあらわれず、防波堤外側領域としての振動はいちぢるしくない。防波堤が湾口にあるケース(図-11)では湾外の水面振動をあらわしており、ピークらしいものは見当たらない。

以上より防波堤の外側では開口幅の大小により、増幅率曲線上でピークの出る周期が全く異っており、しかも両者は形状の異なるピークである。開口幅が広い場合には防波堤を無視して湾全体が振動し、開口幅が狭い場合には防波堤位置を長さとする共振が生じるといえる。

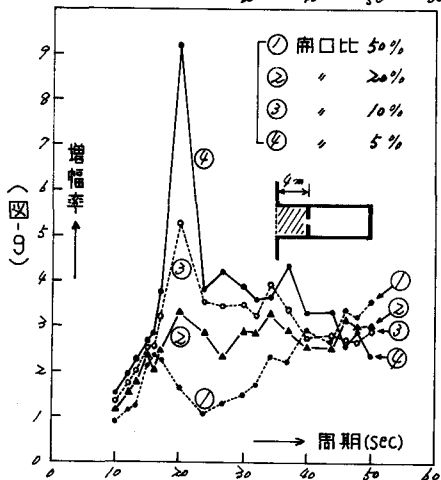
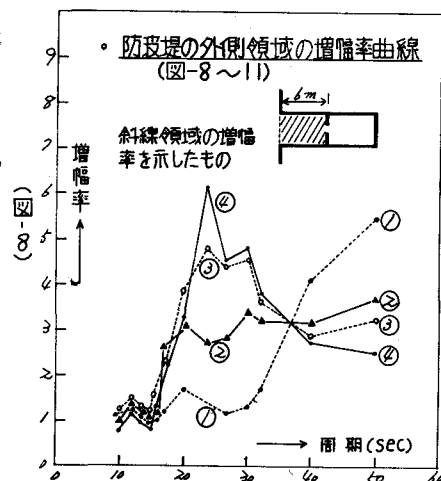
### 5. 防波堤の効果

湾内の増幅率を考える場合、防波堤の流量係数を  $k$  とした式が提案されている。すな

わち防波堤内外の水位を  $\zeta_1$ 、 $\zeta_2$  とした時、防波堤を通過する水の流速  $U$  は、次式で示される。

$$U = k \sqrt{2g(\zeta_1 - \zeta_2)} \quad (1)$$

本研究では開口部の中央(図-1中のX印)に水深のほぼ半分に直径が約3.0cmのプロベラ式流速計を設置し、防波堤の内外それぞれ30cmに設定した波高計 No. 3, 4 の波高記録を重ねあわせてその差を求め、同時記録より  $k$  を求めた。流速の



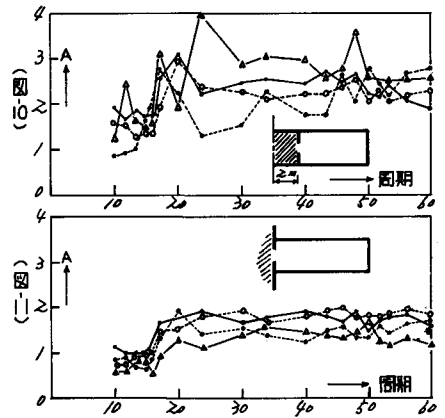
時間変動はプロベラ回転数に比例して発生するパルスを Data Recorder

(TEBAC R-410)に記録し、これよりアナログ計算機(日立 AL 505)の論理演算回路を利用して/秒ごとのパルス数を求め、あらかじめ検定されたパルス数一流速関係曲線に従った関数発生器を通して流速の時間記録になおすことによって求めた。

図-12はその例である。流速の正は湾内へ流れ込む方向をとり、水位の実線は外側(No. 4)、点線は内側(No. 3)である。いちぢるしいことは流速がほとんど一様な値の正負値の間を往復することで波形の変化に敏感には対応しないことで、これは連続の原理を含めた/次おくれ要素が加わっていることと、プロベラ式流速計が小さな流速に感応しないことの為であろう。ここでは  $|\zeta_1 - \zeta_2|$  の最大値に対応する  $k$  を求めることとした。

その結果  $k$  は湾口に防波堤のある  $\phi 12$  が最も大きく中でも開口幅が広い  $\phi 12-2$  は  $1.0 \sim 1.5$  の値を示し、開口部が狭くなると  $0.7 \sim 1.0$  に減少する。防波堤が湾の中央部近くに行くと、 $k$  は若干小さくなり、 $\phi 6-5$  では  $0.5 \sim 0.8$  になる。また一般的に流出する場合の方が  $0.1 \sim 0.2$  程度大きくなる。しかし、防波堤の位置や開口幅を一定にして周期による変動を調べると  $k$  の値はあまり変動しないことから式(1)の有効性は十分期待できるといえよう。

さらに実験より求めた  $k$  の平均値によって増幅率  $A$  を求め、これを実験値と比較すると、第1モードの場合にはほとんどよく現象を説明している。



## 6. 謝辞

本研究は昭和 45 年度文部省科学研究費の援助を受けた。ここに記してあつく感謝の意を表する。

