

長周期波の制御における不透過性防波堤の効果について

中 村 重 久*

1. 緒 言

海岸における波の制御の問題のうち、不透過性防波堤による長周期波の制御の問題は一般に難しい。ここでは、この問題に関連して、波高の制御に着目し、昨年にひきつづき¹⁾ 実験を中心にして研究を遂行し得られた成果について述べる。これまでの経験的事実に基づき、著者は、港湾幅、防波堤開口部の開口幅および対称性を波の制御に関連した重要な因子とみなし検討してきた。これらについて、比較的単純化した境界条件の港湾モデルを対象として、解析的手法によって、あるいは数値シミュレーションによる研究例が多い。ここでは、まず、そのような港湾モデルの1例について、水槽実験の結果にもとづき考察することにした。

2. 実験装置と実験方法

この研究において用いた実験水槽は、7m 平方のコンクリートブロック2段積防水モルタル仕上げであり、**図-1**のようになっている。ここでは、**図-1**のように湾口に第1堤（開口幅 b_1 ）、湾口と湾奥汀線との間に第2堤（開口幅 b_2 ）を考えた。湾口と造波装置のプランジャ²⁾との間の水域の幅を B_0 、第1堤と第2堤との間の水域の幅を B_1 、第2堤と汀線との間のそれを B_2 とする。ここでとりあげた港湾モデルでは、奥行は $L (=4\text{m})$ 、湾口水深は $h=8\text{cm}$ 、そして港湾内の海底こう配は $1/50$ とした。実験波は、湾口でできるだけ正弦波に近い時間

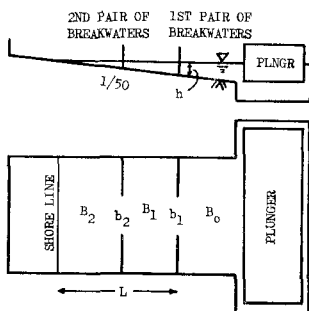


図-1 実験水槽と港湾モデルの模式図

波形の波を与えることとし、その波高は 3cm 以下、周期は 2 sec から 30 min までの範囲とした。

3. 第1堤開口幅の効果

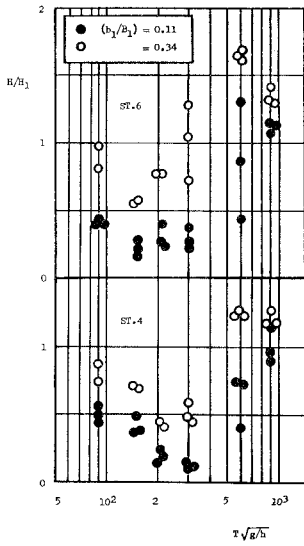
港湾内に侵入する波を防ぐためには、直観的にみても、湾口を締切ればよい。しかし、港湾としての機能や海岸線の利用を考慮すれば、波の侵入時の問題のほか、平時の、湾口を通しての船舶の出入が必要になる。一般に、湾口防波堤には、船舶の通行できる程度の開口部をもつ例が多い。ここに、防波堤の機能を検討する必要がある。

ここでは、特に、**図-1**に示すような港湾モデルを対象とする。まず、幅 $B_1=7\text{m}$ の水域の中央部に ST. 4、幅 $B_2=7\text{m}$ の水域の中央部に ST. 6 を設け、湾口の波高 H_1 に対する ST. 4 と ST. 6 との波高の比の周期特性を、それぞれ、第1堤の開口幅 b_1 が 0.8m の場合と 2.4m の場合とについて比較する。

港湾の奥行に比べて十分長い波長の線型長波を考えると、港湾内水面積 $(B_1+B_2) \cdot L/2$ で、水位がほぼ一様に H だけ昇降する場合、この水位変動に関与する水は湾口を通して出入するはずであるから、湾口流速を u とすると、大まかにみて $(B_1+B_2)LH/4 = b_1 \cdot h \int_{(T/2)}^T u dt$ なる関係を満していると考えてよい。特に、 $B_1=B_2$ 、 $b_2=B_2$ の場合には、上の関係式から $(b_1/B_1) \cdot (h/L)$ なる量は波高 H と流速 u とに関係した量であり、 $(h/L) = 1/50$ の条件のもとでは、 (b_1/B_1) は港湾モデルに侵入する長周期波の特性をとらえるに便利な変量と考えられる。

ここに、 (b_1/B_1) なる変量に着目して、湾口防波堤開口幅の効果は **図-2**のようにならわすことができる。この図によれば、防波堤開口幅の効果は港湾内全域に顕著であり、開口幅が小さいほど港湾内での波高を小さくできる。また、港奥 ST. 6 では、ST. 4 よりも波高が大きい傾向があり、海底こう配による効果のほか港湾振動における Harbour paradox³⁾ を考慮しなくては防波堤による波高制御はうまくいかないことを示唆している。とくに、 $T\sqrt{g/h}$ が 10^2 に近い値のとき、非線型横振動¹⁾

* 正会員 工博 京都大学助手 防災研究所



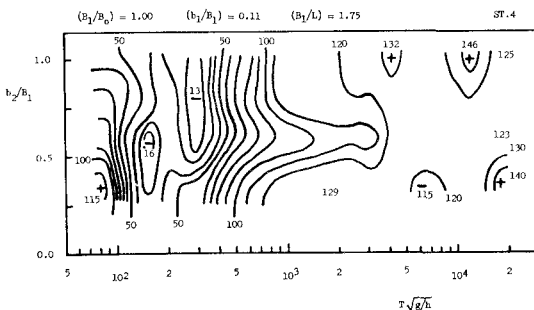
図—2 湾口防波堤開口幅の効果

が原因して港湾内の波高が著しく大きくなる。しかも、そのときでも湾口防波堤開口幅の効果は認められる。実験の範囲をこえてさらに周期が長い波については波高比 (H/H_1) の値は1に近づくものと期待される。別の見方をすれば、水域 B_2 は水域 B_1 の波高を小さくするための Resonator^{4),5)} の役割を果たしているともみこともできそうである。

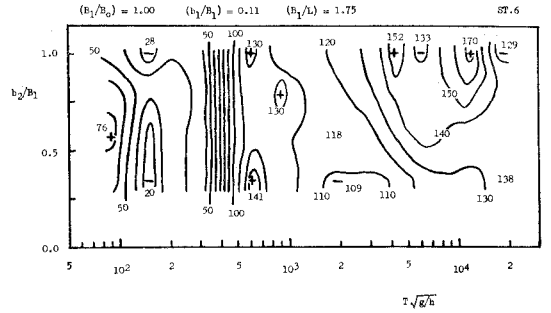
4. 第2堤開口幅の効果

ここでは、水域 B_1 および B_2 に対する第2堤開口幅の効果を検討する。前節と同様に考えて、変量 (b_2/B_1) を導入する。また、 $B_0=B_1=7m$, $b_1=0.8m$ とし、 $b_2=2.4, 4.0, 5.4$ および $7m$ の条件のもとでの実験に着目する。

図—3 および 4 は、上の条件のもとで ST. 4 および 6 について実験結果を整理解析し、とりまとめた結果である。図中の曲線群は波高比 (H/H_1) をパラメータとして示した等波高比線であり、プラス印は波高比の極大、マイナス印は極小を示す。



図—3 第2堤開口幅の効果 (ST. 4)

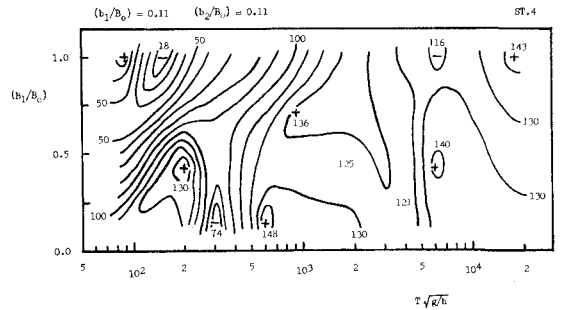


図—4 港湾奥 (ST. 6) における波高に対する第2堤開口幅の効果

まず、図—3 をみると、第2堤開口幅の効果は ST. 4 でも顕著にあらわれることがわかる。これは、湾口から侵入回折した波が第2堤で反射し、水域 B_1 で共振条件を満たすか否かに関連しているものであろう。また、(b_2/B_1) が0に近い値のときには、図—3 で周期の短いところで波高比が1に近く極大となるが、これは非線型横振動によるものである。この図をみると、このような港湾モデルの水域 B_1 における長周期波の制御には、第2堤の開口幅の効果が顕著であり、とくに、第2堤開口幅に関して (b_2/B_1) の値が 0.5 から 0.6 までの間の値であることが必要条件であるといえる。一方、図—4 をみると、港湾モデルの奥における波高比に対する第2堤開口幅の効果は、とくに、 $T\sqrt{g/h} > 10^3$ であるような長い周期の波に対して著しい。すなわち、第2堤開口幅が小さいほど港湾奥の波高比は小さくなる傾向がある。この傾向は前報¹⁾の図—7 および 8 の傾向とも対応できる。

5. 港湾幅の効果

一般に、港湾の形状あるいは共振条件を検討する場合には、港湾の奥行のほかに港湾の幅を考慮しなくてはならない。ここでは、簡単のため、 $B_0=B_2=7m$, $b_1=b_2=0.8m$ とし、 $B_1=0.8, 3.2, 5.4$ および $7.0m$ の条件に対して、ST. 4 および 6 における波高比の周期特性を検討することにする。図—5 および 6 には、それぞれ、ST. 4 および 6 について、港湾幅をあらわす量 (B_1/B_0)、波高比および無次元周期の関係が示されている。

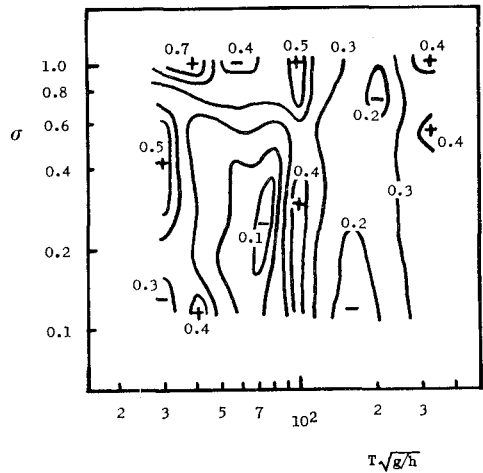


図—5 港湾幅の効果 (ST. 4)

図—5 についてみると、とくに、 $B_1=0.8m$ の場合には水域 B_1 は湾奥と湾外とを結ぶ水路と同等のはたらきをすることになり、このような場合には、channel paradox⁶⁾ を考慮する必要がある。波高比の極大のうち $T\sqrt{g/h} \sim 6 \times 10^3$ のものは、与えられた境界条件のもとで、実験水槽全水域に対する共振現象が特に関与しているものと考えられる。このようにみると、さきに、図—4 でみた同じ周期付近の波高比の極大にも、同様に、実験水槽の規模に左右される周期特性があらわれているとみなくてはならないであろう。また、考える港湾の機能からみて、水域 B_1 が単なる水路にすぎない場合には、波高制御の焦点は港奥水域 B_2 ということになるであろう。

ST.6

$(b_1/B_0) = 0.11$ $(b_2/B_0) = 0.11$ $(B_1/B_0) = 1.00$



図—7 対称性の効果

るかぎり、防波堤開口部をできるだけ対称にならないようにすることが望ましいと言えそうである。ここに、防波堤の開口部の対称性を $\sigma = l/(B_1/2)$ で定義し⁷⁾、 l は港湾モデル左岸から湾口防波堤開口部中心までの距離で、第1堤沿いにとるものとするとき、 $\sigma=1.0$ は開口部が湾口防波堤の中央に位置する場合であり、 σ の値が0に近いほど開口部は左岸寄りであることを意味する。したがって、図—7 で σ の値が1.0に比べて小さいほど波高比(図中のパラメーター)も小さい傾向がある。この図では σ の値が0.2程度が波高制御に最も有効である。

8. 結 言

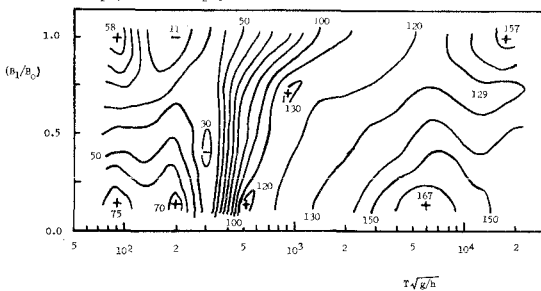
以上、前報¹⁾にひきつづき、不透過性防波堤による長周期波の制御に関する実験的研究を行い、得られた成果をとりまとめると、次のようになる。すなわち、海底こう配のある長方形港湾モデルについて、(1) 湾口防波堤の開口幅の波高制御効果は港湾全域で著しい。また、(2) 第2堤の開口幅は第2堤前面の波高制御にも効果がある。一方、港湾に侵入する波の周期がより長いとき、港奥の波高に対する第2堤開口幅の効果は顕著である。(3) 防波堤を2段がまえにしても、港湾の形状および規模を考慮しなくては、波高制御の目的を達することは難しい。港湾幅がせまくなって水路状にならないよう、共振条件を満さないようにしなくてはならない。(4) 湾口防波堤開口部の位置はできるだけ非対称な配置にするのがよい。

なお、残された問題点については逐次説明していきたいと考えている。

終りに、本研究の端緒を与えられた京都大学工学部岩垣雄一教授ならびに示唆を与えられた防災研究所土屋義

$(b_1/B_0) = 0.11$ $(b_2/B_0) = 0.11$

ST.6



図—6 港湾奥 (ST. 6) における波高に対する港湾幅の効果

図—6 についても、図—5 におけると同様な検討をすることができる。実験水槽の規模に関与した現象に留意すべきことはもちろんであるが、 (B_1/B_0) の効果は港奥でとくに顕著である。すなわち、 (B_1/B_0) の値が0.1に近い場合には共振に関係していると考えられる波高比の極大が図—6の範囲の周期帯でも4か所あらわれる。そして、 (B_1/B_0) が0.5以上の場合には、広範囲の周期帯について波高比は小さくなる。その傾向は (B_1/B_0) の値が1に近いほど顕著であるが、 $(B_1/B_0)=1$ では非線型横振動などもあらわれるので、波高制御の目的からみた (B_1/B_0) の望ましい値は0.6から0.8までの間の値ということになる。港湾の奥行と幅との比が相対的に港湾の奥行をあらわすパラメータと考えることにすると、ここに示した実験結果から判断して、港湾の奥行が幅に比べて細長いものや港湾の幅が侵入してくる波の波長と同じ程度であるものなどは、波高制御の立場からみて適切な港湾形状とはいえない。これは、従来、港湾振動の問題で指摘されていたことと同じ結論である。

7. 対称性の効果

これまでにも、著者は湾口防波堤の対称性が波高制御に効果があるかどうかを検討してきた。最近得られた実験結果に基づけば、港奥での波高に対する制御を考え

人教授に心から感謝の意をあらわす。また、本研究の一部は自然災害特別研究“海岸における波の制御に関する研究”(代表者 岩垣雄一教授)に関する文部省科学研究費補助金によって行った。

参 考 文 献

- 1) 中村重久: 第21回海岸工学講演会論文集, 1974, pp. 91~96.
 - 2) 岩垣雄一・土屋義人・中村重久: 第16回海岸工学講演会講演集, 1969, pp. 321~326.
 - 3) Miles, J. and W. Munk: J. Waterways and Harbours Div., ASCE, 1961, pp. 111~130.
 - 4) James, W.: Proc. 11th Conf. Coastal Eng., Chap. 98, 1968, pp. 1512~1530.
 - 5) James, W.: Proc. 12th Conf. Coastal Eng., Chap. 132, 1970, pp. 2181~2194.
 - 6) Carrier, G.F., R.P. Shaw and M. Miyata: J. Applied Mech., Vol. 38, 1971, pp. 335~344.
 - 7) 中村重久: 第17回海岸工学講演会論文集, 1970, pp. 435~439.
-