

II-23 防波堤屈曲部付近の波高、波圧分布に関する実験

北海道開発局土木試験所

正会員 嶋上雄三

同上 藤木信之

同上 上原泰正

1. まえがき

近年 港湾施設のうへ特に防波堤は、港外側に凹み屈曲角を設計しながら外海に延長する事例が多くなっている。この屈曲部に波が侵入すると波力、遡上高、越波量などが増大することが予想され、事実、この部分の被災例はかなり多い。このことは、現在の設計法において、波力公式に代入すべき設計波高として“構造物を設置しないときその地帯を通過する進行波としての波高”が主に強調され、複雑な平面形状の構造物を設置した場合の相互干渉の影響に対しては特に配慮されていないことにも一因があるように考えられる。このような構造物付近の波高分布については三井が詳しく解いており⁽¹⁾、このため波形が安定に保持されている重複波領域の波であるかぎり、波圧の大きさもある程度は推定することができると考えられる。しかし不安定領域にある波については、その変形様相、波圧強度の規模などは明らかでない。この報告は、二、三の簡単な形状の模型防波堤に、安定、不安定領域の波を作用させ、上述の事項について行った実験の結果について述べるものである。

2. 実験装置および実験方法

実験水槽は長さ15m×幅6m×深さ0.5mの屋内水槽で、造波機はフラッター型である。防波堤の開角度は四枚に180°、150°、120°、90°の4種類で、波の入射角は左右の防波堤に対して対称となるようにした。模型防波堤は図-1のような木製で、前面にコンクリートブロックを置いて不安定領域の波をまじえ、安定領域の波についての実験では、このブロックと模型防波堤の底部を取り除き、波圧計が静水面以下に位置するようにした。前面の水位変動状況は、模型防波堤前面に縦方向2cm、横方向10cm間隔の線を引き、これをビデオカメラで撮影して読み取った。入射波の諸元としては、起波板より20~45cm離れた所に設置した抵抗線式波高計6本の観測値の平均を用いた。波圧計は共和電業製製のPW-200 GA型を、縦方向には4本、横方向には40cm間隔に6箇所配置した。

実験波は $H' = 4 \sim 10 \text{ cm}$ 、 $T = 0.85 \sim 1.70 \text{ sec}$ の範囲の8種類で、模型縮尺を $1/50$ として現地波に換算すると $H' = 2.0 \sim 5.0 \text{ m}$ 、 $T = 6.0 \sim 12.0 \text{ sec}$ 、 $k = 15 \text{ m}$ 、 $d = 5 \text{ m}$ 、 $k/L = 0.012 \sim 0.087$ 、 $k/L = 0.087 \sim 0.279$ である。波圧については、有効実験時間内、5~10波の平均を実験値とし、同一条件の実験を3~5回行った。

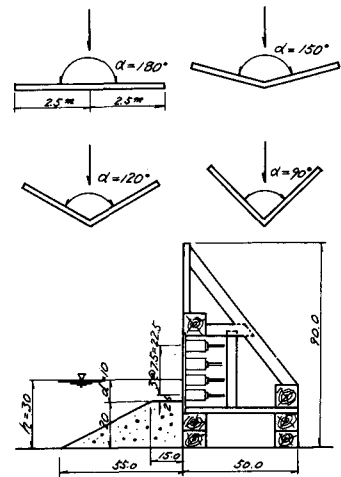


図-1 模型防波堤

3. 波高分布についての実験結果

(1) 安定領域の波 (マウンドがない場合の重複波)

この場合の波高分布については、三井が理論的に詳しく解いている⁽¹⁾。ここで 120° , 90° の開角度については、波が左右の防波堤に対称に入射し、かつ防波堤が屈曲角より無限に延びているものとする、入射波、反射波について幾何学的に影となる部分が生じないで、これらを単純に重ね合わせることにより、波高比 K ($K = \eta/H$: H は防波堤前面の水柱振巾, η は入射波の波高) を簡単に計算することが出来る。 150° の場合には上述の影のため散乱波が生じ、三井の方法によれば J 函数の合計など、計算は非常に複雑となる。したがって 150° については、尾崎らが実験と良く合うことを確認した回折波を重ね合わせる方法⁽²⁾を用いて計算した。図-1 は横軸に屈曲角からの無次元距離 x/L ととり、 $x \sim 2.0$ の実験結果をプロットしたものである。ほかの実験波についてもほぼ同様な結果を示している。理論解は屈曲角より両側にある防波堤が無限量であるとして解かれたものであるが、この実験における模型防波堤は $R = 2.5^m$ ($R/L = 0.07 \sim 0.32$) の有限長であるため、防波堤の端部より幾何学的な波高不連続線が生じ、特に 150° , 90° の場合については、この不連続部より発生する散乱波がかなり影響するものと考えられる。 120° の場合については水槽の側壁に導波板を置くことにより、境界条件を理論とはほぼ同じにすることが出来るため、散乱波の影響はそれ程大きくはない。このことは図からもほぼ推察することができ、 150° , 90° , 120° の順に理論曲線と一致する傾向が認められる。

(2) 不安定領域の波 (マウンドがある場合の碎波的な波)

図-1 のような高基なマウンドを堤体前面に設置すると、波形が安定に保持されず碎波の状態を呈する。しかしこの場合の擾乱状況を観察すると、碎波が防波堤沿いのすべての奥で生じるわけではなく、それはマウンドがない場合に最大振巾比を示す付近に限られていることがわかる。図-2 は前図と同様な波高比の分布図であるが、碎波の状態を示す部分については実質部分のはい上りのみに関する振巾比である。前図と比較すると、重複波の場合の理論曲線からのズレがかなり大きく、特に 150° の場合については明瞭な

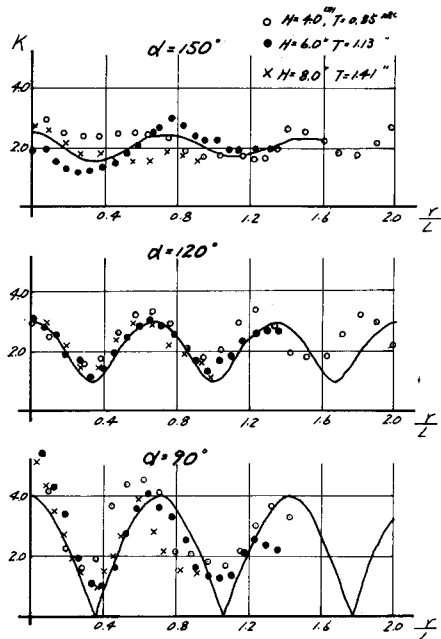


図-2. 防波堤沿いの波高分布 (マウンドを設けない場合の安定領域の波)

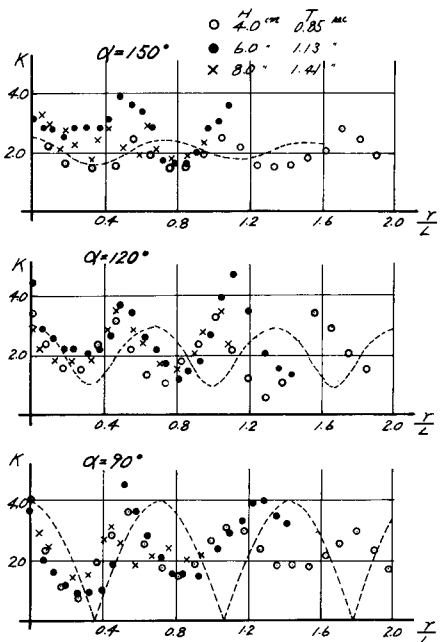


図-3. 防波堤沿いの波高分布 (マウンドを設けた場合の不安定領域の波)

傾向は把握されない。そのほか、 K 値の分布は全体的に圧曲突側 α 方向へ偏りだ形になっており、 90° 、 120° の場合について振巾比 K が第1、第2ピーク突は図-4、図-5のようになっている。すなわち重複波の場合では、第1、第2ピーク突の位置はほぼ理論値と一致しているが、研波領域になると、これらは圧曲突側に寄り、それぞれ $\gamma = 0.5L$ 、 $\gamma = 1.0 \sim 1.2L$ 程度となっている。

4 波圧分布に関する実験結果

(1) 安定領域の波（マウンドがない場合の重複波）

この場合の波圧測定箇所は静水面以下 α 突であり、ビデオコーダーで読みとったはいり α 頂突で波圧が0であるとして波圧合力を計算した。最大同時波圧合力 P を、 $P/wH'(H+h)$ なる無次元量で表わし、横軸に γ/L をとって、8種の波についての実験値をすべてプロットすると図-6のようになる。図中の曲線は、サンフルーの重複波圧公式に、波長として入射波の波長、波高として水位振巾比の理論値 K に $H/2$ を乗じたものをそれぞれ代入し、これを上述のように無次元化したものである。曲線は8種の実験波についての計算値、下限をとったものであるが、実験値は 90° の一部を除いてすべてこの曲線の下側にあり、かつ1.0以下である。したがって実験波の範囲内においては、上述のような仮定のもとにサンフルーの公式を用いることは十分安全側の結果を与え、工学的にも許容され得るものと考えられる。次にその他の重複波圧公式、すなわち永井の微小振巾波に基づく解、および谷田の有限振巾波に基づく4次解の適応性を検討するために、ビデオコーダーで読み取った前面振巾の α と波高とし、波長として入射波の波長をそれぞれの公式に代入し、これらの計算値と実験値の比を比較した。図-7は全実験についてのその比の頻度図である。ビデオコーダーの撮影時と波圧の測定時が同一時でない事例がかなり多いため、バラツキがかなり大きい、やはりサンフルーの式が大きい波圧を与えようであり、以下永井の微小振巾波解、谷田の4次解の順にその比の平均は1.0に近づくようである。

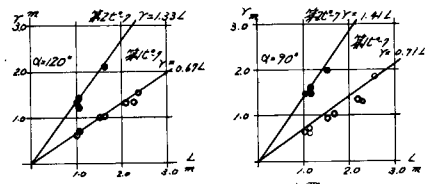


図-4 重複波の場合のピーク点位置

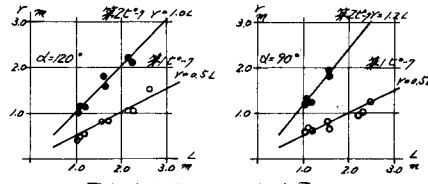


図-5 分波の場合のピーク点位置

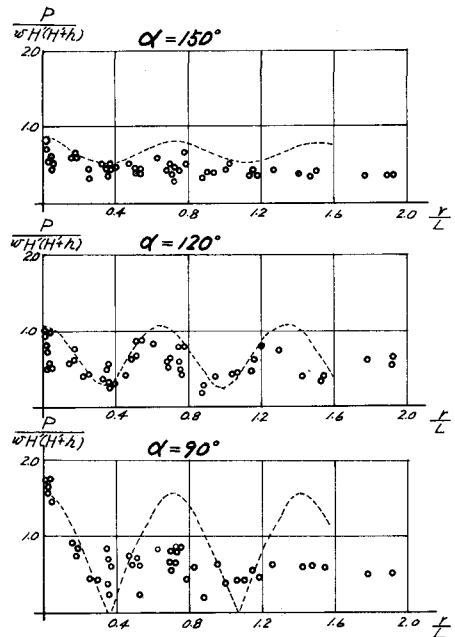


図-6 安定領域の波の波圧分布

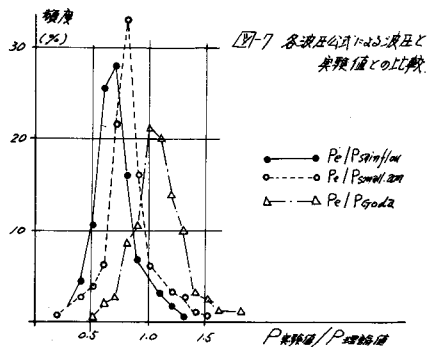


図-7 各波圧公式による波圧と実験値との比較

(2) 不安定領域の波 (マウンド設けた場合の碎波的な波)

図-8も図-6と同じく碎波領域の場合の最大波圧合力を無次元量になおしてプロットしたものである。これは次元論的な考察により次のように表わされる。

$$\frac{P}{WH(H+d)} = f\left(\frac{H}{L}, \frac{Y}{L}, \frac{d}{L}, \frac{B}{L}, \alpha\right)$$

(α : 開角度, B : マウンド巾, d : マウンド水深)

右辺の各種の無次元量が左辺の波圧に対して与える影響, すなわちその具体的な性質はここで到底明らかにされ得ない。図は上式の左辺と右辺の α に着目して整理したもので, これから実験の範囲内でピーク値の位置, 最大値などが次のように推定される。すなわち, 図-3, 5にみられるように, 波圧のピーク値は水位振巾のピーク値にほぼ一致しており, 各開角度について第1ピーク値は $Y=0.5L$, 第2ピーク値は $Y=1.0\sim 1.2L$ である。

また開角度が小さくなるとピーク値での値は大きくなる。図中の実線は $\frac{1}{2} \times 1.5$, すなわち安定領域の場合の水位振巾の理論値について, その半波高が広井公式における

1.5の波圧係数をもって壁面に作用するものと仮定した曲線である。実線は実験における最大値と外挿したものであるが水位振巾と同じようになり屈曲突側に偏る形状となっている。ピーク値も上述の値に比べほぼ2倍の規模となっており, 150° では2.0, 120° では3.0~4.0, 90° では5.0~6.0程度である。

5. おわりに

以上の実験結果を要約すると, ①安定領域の波についての前面波の波高分布はほぼ理論値と一致する。そして 150° の場合のように, 近似的には回折波を重ね合わせる方法を用いることも可能である。②碎波的な波については, ピーク値が屈曲突側にずれるが, K 値については重複波の場合の値と大差はない。③重複波領域の波圧については前面の水位振巾が明らかなければある程度推測される。すなわち前面の半波高を入射波の波高と仮定して従来の波圧公式を用いることが工学的に可能である。④碎波領域の波圧については, 局所的にかなり大きな波圧が作用するが, 図10で示されるような具体的な形を明らかにすることはできなかった。以上, 著者はあまり例のない波圧の横方向分布に関する実験を行ったが, 波圧の実測値はかなりバラツキの大きいものであり, 上述の結果はこれらの平均的な値についての論議である。今後は条件を限定しその具体的な形を検討してみたいと考えている。

参考文献

- 1) 三井他「海岸構造物不連続部の波高分布について」第1~第3報 第1回海岸工学講演会講演集
- 2) 辰崎他「屈曲部における波の反射に関する実験的研究」第2回年次学術講演会講演概要

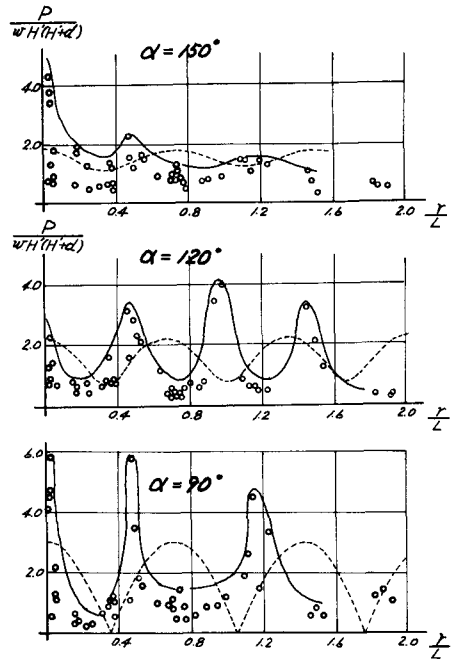


図-8 不安定領域の波の波圧分布