

# 凸 90° 隅角部を有する鉛直護岸の越波特性

井 上 雅 夫\*・中 川 巧\*\*

## 1. 緒 言

近年、わが国における埋立護岸の前面水深はいちだんと増大し、また、その法線形状も複雑なものが多い。このため法線の隅角部付近では回折散乱波の影響によって越波量が法線方向に一樣でなくなることが予想される。

従来、こうした構造物法線の隅角部付近における波の問題は、その前面波高の平面分布が主として議論の対象となり、それについては三井<sup>1)</sup>による一連の研究成果などかなり多くのものがあるが、波力<sup>2)</sup>あるいは越波<sup>3)</sup>の問題にまで、これを発展させたものは数少ないようである。

そこで本論文では、まず大水深における凸 90° 隅角部を有する鉛直護岸を対象として、その前面波高および越波量を実験的に検討し、埋立護岸の危険箇所の推定法を確立しようとした。

## 2. 実験設備および方法

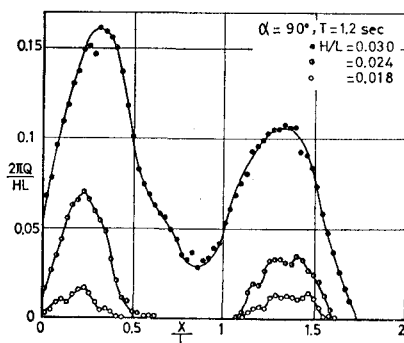
長さ 20 m、幅 10 m、深さ 0.5 m の平面水槽内に長さがそれぞれ 3.0 m の 2 枚の鋼板で凸 90° 隅角部を有する鉛直護岸を設置した。護岸の高さは、前面波高および越波量の測定に際して、それぞれ 50.0 cm および 28.0 cm とした。

入射波の特性は、波高  $H$  を前面波高の測定に際しては 3~4.5 cm、越波量の測定では約 4 cm とし、周期  $T$  はいずれも 1.0 sec、1.2 sec、1.4 sec および 1.6 sec とした。実験波の波向  $\alpha$  (波の入射方向と護岸法線との角度) は 45°, 60°, 90°, 120° および 135° とした。また、この実験では現象を簡単にするため、水深は一様とし、護岸の前面水深  $h$  は 25.0 cm とした。したがって、越波時の静水面上の天端高  $H_0$  はつねに 3.0 cm である。前面波高の測定は、護岸前面にテレビカメラを設置し、ビデオコーダで読みとり、越波量は幅 5.0 cm の小容器を護岸背後に並べておき、前面波高の測定と同様に波が定常状態の連続 3 波を対象として、採取した水量をメスシリンダーで直接測定した。また、入射波高および越波

時の前面波高は、電気抵抗線式および容量式波高計でそれぞれ測定した。

## 3. 実験結果とその考察

まず、本実験に先立って、越波量に及ぼす入射波高の影響および越波時と非越波時の前面波高比の関係について検討を行った。



図—1 越波量分布に及ぼす入射波高の影響

図—1 は、入射角が 90° で周期が 1.2 sec の場合について、入射波高を変化させたときの越波量の分布を示した。縦軸は無次元越波量  $2\pi Q/HL$ 、横軸は隅角部からの距離  $x$  と入射波の波長  $L$  との比  $x/L$ 、パラメータは波形勾配  $H/L$  である。これによると、入射波高が増大すれば越波量も当然増加するが、越波量の分布形状はほとんど変化しないことがわかる。このことは、護岸の法線計画に際し重要となる極大越波量の出現位置は、波高によってはほとんど変化しないことを示している。

次に、越波量と前面波高との関係を調べるために、まず越波量ともっとも関係深い越波時の前面波高と非越波時のそれとの対応を検討した。

図—2 は、入射角が 45° で周期が 1.2 sec の場合の越波時と非越波時の波高比  $K$  (前面波高  $H'$  と入射波高との比) の分布を図—1 と同様に示した。なお、図中の理論曲線は三井の回折散乱波理論による計算結果である。これによると、実験値は理論曲線に比べ、その変化が著しいが、非越波時と越波時の波高比についてはあまり大差はなく、越波時の波高比がやや小さい程度である。

\* 正会員 工博 関西大学教授 工学部土木工学科

\*\* 正会員 工修 日本シールドエンジニアリング (株)

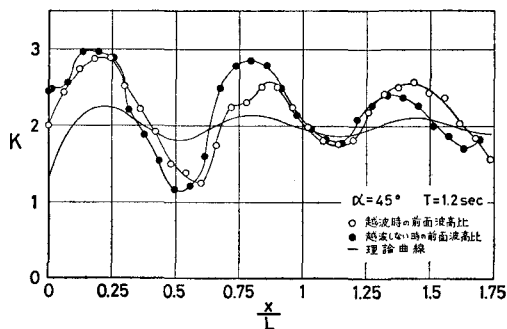


図-2 越波時と非越波時の前面波高比の比較

以上のような予備的な考察を行ったのちに、2. に示した実験条件にしたがって、前面波高比と越波量の測定を行った。

図-3 (a) および (b) は、入射角がそれぞれ  $60^\circ$  および  $90^\circ$  の場合の実験結果であり、 $\theta=0^\circ$  は反射領域に面した護岸を意味している。また、各図の上図は波高比、下図は無次元越波量の分布を示し、横軸は相対距離  $\rho$  である。ここに、 $\rho=kr$  で、 $k$  は波数、 $r$  は隅角からの距離であり、図中の理論曲線は前述の三井によるものであ

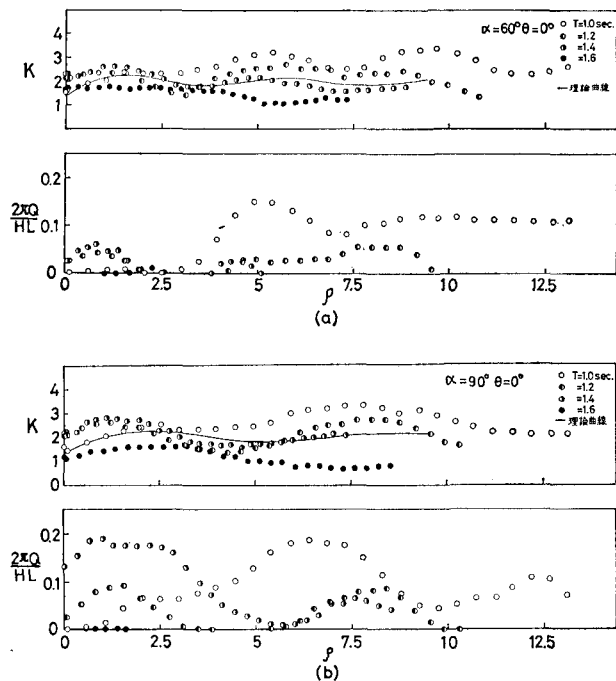


図-3 前面波高比と無次元越波量の分布

る。これらによると、隅角部付近の前面波高比と越波量の分布は一様でなく、かなり明確な極大、極小値が現われ、いずれの場合も、隅角部ではその値は小さくなる。また、こうした分布形状は波の入射角や周期によって、その特性が非常に異なり、波高比についての三井の理論と実験値とでは、周期のもっとも長い 1.6 sec の場合に

は両者はあまり一致しないようである。

図-4 は、こうした波高比と越波量の分布の対応をより明確にするために、極大越波量と極大波高比の出現位置を前述の  $x/L$  で表わし、それらの関係を周期ごとに

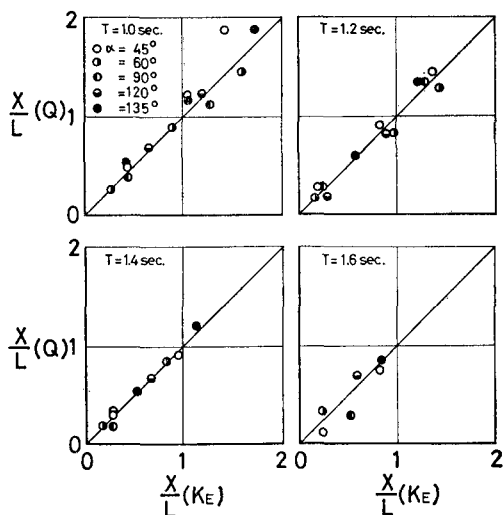


図-4 極大越波量と極大波高比の出現位置の比較

入射角をパラメーターとして示した。これらによると、越波量が極大となる位置は、非越波時の波高比が最大となる位置に、いずれの場合もかなりよく一致している。したがって、越波量が極大となる危険箇所は、波高比分布を求めることによって、いちおう推定が可能であるといえる。

つぎに、越波量と波高比との関係については、一般にこのような大水深領域における越波特性は波高の増大とともに越波量も増加するが、その増加率を検討しておくこともきわめて重要である。そこで図-5 は、非越波時の前面波高比と無次元越波量との関係から、波高比に対する無次元越波量の増加率  $2\pi Q/HL$  を求め、入射角との関係を示した。これによると、波高比の増大によって、越波量も当然増加したが、その増加率は図-5 にみられるように、入射角や周期にあまり関係なく、ほぼ一定であることがわかる。

図-6 は、越波量に及ぼす入射角の影響を明らかにするため、前面波高と入射波長の比  $H'/L$  と入射角との関係を、周期ごとに波長だけを用いた無次元越波量をパラメーターとして示した。これ

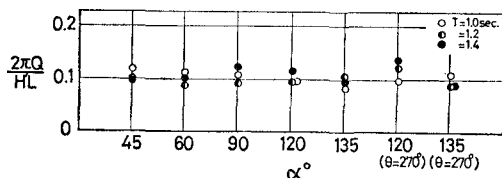


図-5 越波量の増加率と入射角との関係

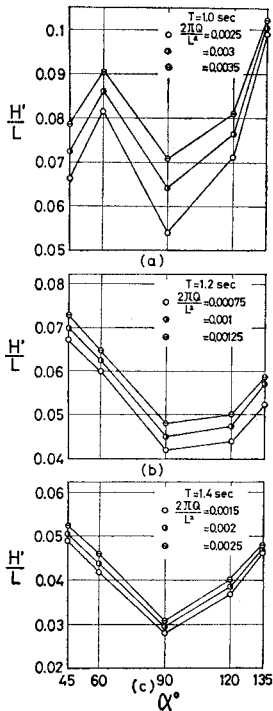


図-6 前面波高波長比と入射角との関係

によると、周期が 1.0 sec で入射角が 45° の場合を除けば、波高比を一定としたときの越波量は、波が法線に対し直角に入射する場合がもっとも多く、斜め入射になるほど減少することがわかる。

したがって、波高比から越波量を直接推算することは、特に斜め入射波の場合にはかなり困難であることが予想されるが、ここではいちおう、その可能性を検討することにした。

越波量の計算に際しては、井上<sup>4)</sup>による鉛直堤の越波量に関する推算式を用い、さらに、非越波時の前面波高の 1/2 を仮想入射波高とすれば、鉛直護岸の単位幅 1 周期当りの越波量  $Q$  は次式で求めることができる。

$$Q = \frac{1}{3} H' \sqrt{g H'} \int_{t_1}^{t_2} \left( \sin \sigma t - \frac{2H_0}{H'} \right) dt \quad \dots\dots (1)$$

ここに、記号は前出のほか  $t_1$  および  $t_2$  は越波開始および終了時間、 $\sigma = 2\pi/T$  である。

図-7 は、式 (1) による計算値  $Q_T$  と実験値  $Q_E$  とを、入射角が 90° の場合について比較したものである。これによると、データにかなりのばらつきはみられるが、計算値は実験値よりも 1.5~2 倍程度大きいものが多いようである。また、周期による違いは明確ではないが、周期が 1.4 sec の場合が両者はもっともよく一致するようであり、周期が短いほど、その差は大きくなるようである。

一方、図-8 (a) および (b) は、入射角がそれぞれ 45° および 60° の場合について、計算値と実験値とを比較し

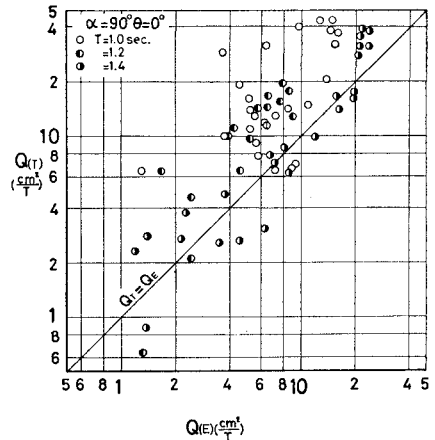
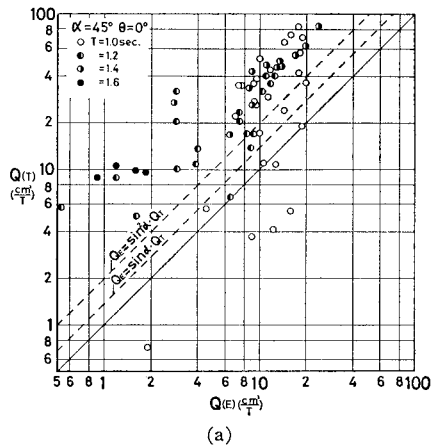
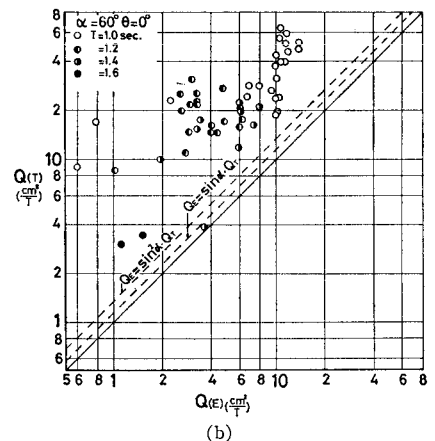


図-7 越波量の計算値と実験値との比較



(a)



(b)

図-8 越波量の計算値と実験値との比較 (斜め入射波)

たものである。図中には、 $Q_T = Q_E$  の直線のほかに、波向を考慮して、 $Q_E = \sin \alpha \cdot Q_T$  および  $Q_E = \sin^2 \alpha \cdot Q_T$  の直線を記入した。これらによると、計算値は実験値よりも 4 倍程度大きく、たとえば、計算値に  $\sin \alpha$  あるいは  $\sin^2 \alpha$  を乗じたとしても、その差は直角に入射する場合よりも依然として大きく、この傾向は特に入射角が 60°

の場合が著しい。なお、入射角が  $120^\circ$  や  $135^\circ$  の場合についても同様な傾向がみられた。

このように、前面波高を用いて、隅角部周辺の越波量を推算した結果、越波量の推算式の妥当性は本質的ではあるが別の問題としても、斜め入射波の越波量には入射角の影響が大きく、単に前面波高だけからそれを求めることは、きわめて困難であることが再確認された。

#### 4. 結 語

以上、著者らは埋立護岸の基本的な形状となる単純凸  $90^\circ$  隅角を対象として、その周辺部における鉛直護岸の越波特性を実験的に検討した。その結果、隅角部周辺の越波量は一様に分布するのではなく、極大値を示す箇所があり、その位置は前面波高の極大値の位置とほぼ一致すること、波高比の増大とともに越波量も増加するが、その増加率は周期や波向に関係なく、ほぼ一定であること、波高比を一定とすれば、法線に直角に入射するとき越波量がもっとも大きく、斜め入射になるほど減少すること、前面波高を用いた越波量の計算値は、一般に実験

値よりも大きく、特に斜め入射波の場合にその傾向が著しいこと、などの知見が得られた。

今後はさらに、斜め入射波の越波機構やいまい少し複雑な法線形状をもつものに対する実験的な検討を加え、こうした埋立護岸の危険箇所の推定法の確立に努めていきたい。

最後に、本研究は文部省自然災害特別(計画)研究(代表者: 京大土屋義人教授)によるものであることを明記するとともに、実験に大いに助力していただいた前関西大学学生野田泰弘、藤島文雄および松永博央の諸君をはじめ、研究室の諸氏に謝意を表する。

#### 参 考 文 献

- 1) 三井 宏: 臨海埋立地護岸の前面波高に関する研究, 京大大学学位論文, 1971.
- 2) 谷本勝利・小舟浩治: 隅角部を有する防波堤に沿う波高分布と波力, 第23回海講論文集, pp. 17-21, 1976.
- 3) 井上雅夫・土屋義人: 斜め入射波による鉛直堤の越波に関する実験的研究, 第18回海講論文集, pp. 259-264, 1971.
- 4) 井上雅夫: 海岸堤防の越波機構について, 第20回海講論文集, pp. 107-112, 1973.