

護岸法線の隅角部周辺における越波量分布

井 上 雅 夫*・松 永 博 史**

1. 緒 言

臨海埋立地などでよくみられるような法線形状が複雑な護岸の場合、その隅角部周辺では回折散乱波の影響を受け、護岸前面の波高分布は一様でなくなり、したがって、越波量の分布も一様でなくなるものと考えられる。

事実、過去の海岸災害の調査結果¹⁾にも、護岸法線の隅角部近傍で構造物が被災した例が数多く報告されている。

著者ら²⁾は、これまでこうした護岸の越波による危険箇所の推定方法を確立する目的で、法線形状が単純凸90°の隅角部周辺における越波量の分布特性を検討し、若干の定性的な結果を得てきた。本研究の目的も前述のように、越波による護岸の危険箇所を推定し、そこにおける越波量を推算することであるが、本論文では、特に、従来提案されてきた越波量の推算式を使用して、護岸法線方向の越波量分布を計算によって求め、実験結果との比較を行った。なお、ここでは高潮時における護岸の越波現象を想定したため、来襲波高が前面水深に比べて十分小さく、護岸前面で激しく碎波しない場合に限定した。

2. 実験設備および方法

法線形状は図-1の法線AOBだけの場合（これを単純護岸という）と、これに法線DCEもある場合（これを河口護岸という）の二種類とした。実験は、長さ20 m、幅10 m、深さ0.6 mの平面水槽内に1辺の長さが3.0 mの鉛直護岸を設置した。護岸の高さは、前面波高

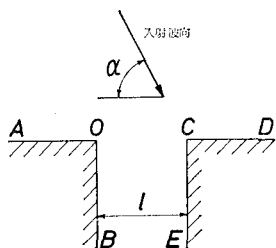


図-1 法線形状

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。また、水深 h は25.0 cmと一様にし、越波時の静水面上の天端高 H_0 は3.0 cmとした。実験波の特性は、単純護岸の場合、入射波高 H を4.0 cmと一定にし、周期 T は1.0 s, 1.2 s, 1.4 s および 1.6 s とした。波向 α は45°, 60°, 90°, 120° および 135° とした。河口護岸の場合は入射波高は4.0 cm、周期は1.0 s および 1.2 s、波向は45°, 60° および 90° とした。また河口幅 l は2.0 mとし、周期が1.0 sで波向が45°の場合だけ、0.7 m, 1.3 m および 2.0 mの三種類とした。さらに、周期が1.0 sで波向が90°、河口幅2.0 mの場合だけは、造波機の左右の造波板の位相 δ を $\pi/2$, π および $3\pi/2$ だけずらせて、河口護岸の左岸と右岸とで位相のずれた切れ波を入射させた。非越波時の前面波高の測定は護岸前面にテレビカメラを設置し、ビデオコードで読みとり、入射波高および越波時の前面波高は、それぞれ電気抵抗線および容量式波高計で測定した。また、越波時の天端上での流速を測定するために、超小型プロベラ流速計を天端上4 mmの位置に取りつけ、リニアコードに記録させた。さらに、越波量は幅5.0 cmの小容器を護岸背後に並べ、前面波高の測定と同様に波ができるだけ定常状態となった連続3波を対象として採集した水量を直接測定した。なお、これら諸量の測定は、すべて法線方向5.0 cm間隔で行った。

3. 単純護岸の隅角部周辺における越波分布特性

図-2は、波向が45°で周期が1.2 sの場合の実験結果であり、縦軸は上図から越波量 Q 、最大越波流速 U_B 、前面波高 H' および越波時間 t の無次元量である。横軸は波数 k とO点からの距離 x との積である。また、 H' は $H/2$ 、 K は H'/H である。これによると、どの水理量も法線方向に一様に分布せず、明確な極大および極小値がみられる。すなわち、一般に隅角部からやや離れた位置に最初の極大値が現われ、続いてある間隔で第2、第3の極大値が現われるが、隅角から離れた極大値ほど、その値が小さくなる。また、こうした分布形状は波向や周期によって、その特性が非常に異なるが、

* 正会員 工博 関西大学教授 工学部土木工学科

** 正会員 工修 東洋建設(株) 技術研究室

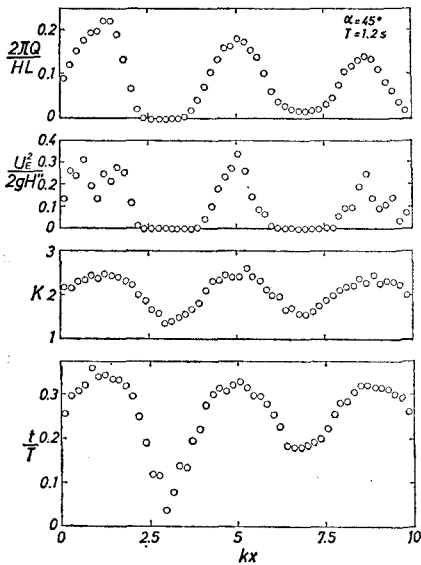


図-2 単純護岸の実験結果の一例

この傾向は回折散乱波理論の結果³⁾とも一致している。さらに、越波量とその他の諸量との対応はよいが、流速だけは、その測定が困難であり、他の諸量に比してばらつきが大きい。しかし、極大値の出現位置は他のものとはほぼ一致しているようである。

図-3 は、越波量と三井の理論から求めた前面波高比のそれぞれの極大値の位置の関係である。これらによると、いずれの波向や周期についても、両者は一致し、したがって、極大越波量の位置は、非越波時の波高分布から、その推定が可能であることがわかる。

つぎに、このような場合の越波量を推算してみよう。

越波量の推算式としては、種々の仮定のもとに、近藤⁴⁾の式、椎貝ら⁵⁾の三角波と正弦波を仮定した二つの式、高田^{6),7)}の時間および空間波形による二つの式および井上⁸⁾の式などがある。しかし、これらの諸式を用いて、

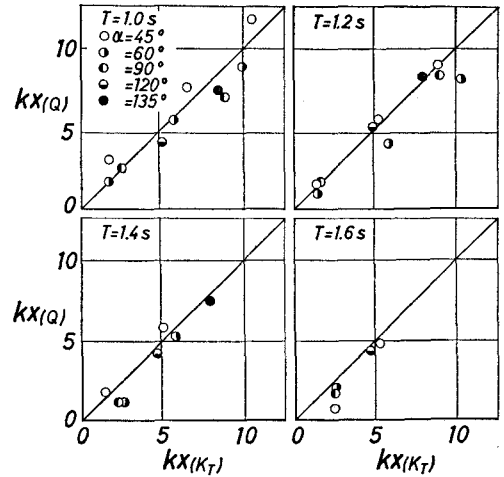
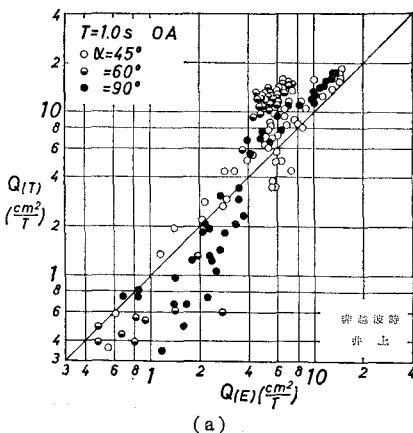
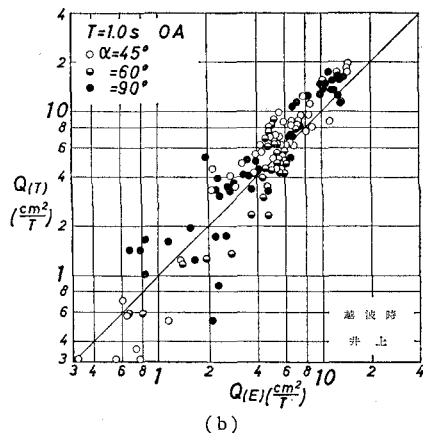


図-3 極大越波量と極大波高比の出現位置の比較

越波量を求める際に、もっとも重要なことは波高のとり方である。この場合、法線方向に前面波高が変化し、それによって、越波量も変動するのであるから、ここでは、非越波時と越波時の前面波高の 1/2 を仮想入射波高として、越波量を近似的に計算した。図-4 (a) および (b) では、入射波高として、それぞれ非越波時および越波時の前面波高の 1/2 を仮想入射波高として、井上の式による計算値 Q_T と実験値 Q_E を比較した。図-4 (a) では、越波量が多いときには計算値が大きくなり、少いときにはその逆の傾向がみられる。一方、図-4 (b) でも、前述の傾向はまだみられるが、両者の適合性はさきの場合よりもよい。しかし、高田の空間波形式で同様な検討を行うと、非越波時の仮想波高を用いた方が実験値によく一致すること、非越波時と越波時の前面波高の関数があまり明確でないこと、さらには、非越波時の波高分布についてはかなりの研究成果があることなどを考慮して、以下の越波量分布の計算には、非越波時の前面波高の 1/2 を仮想入射波高とした。

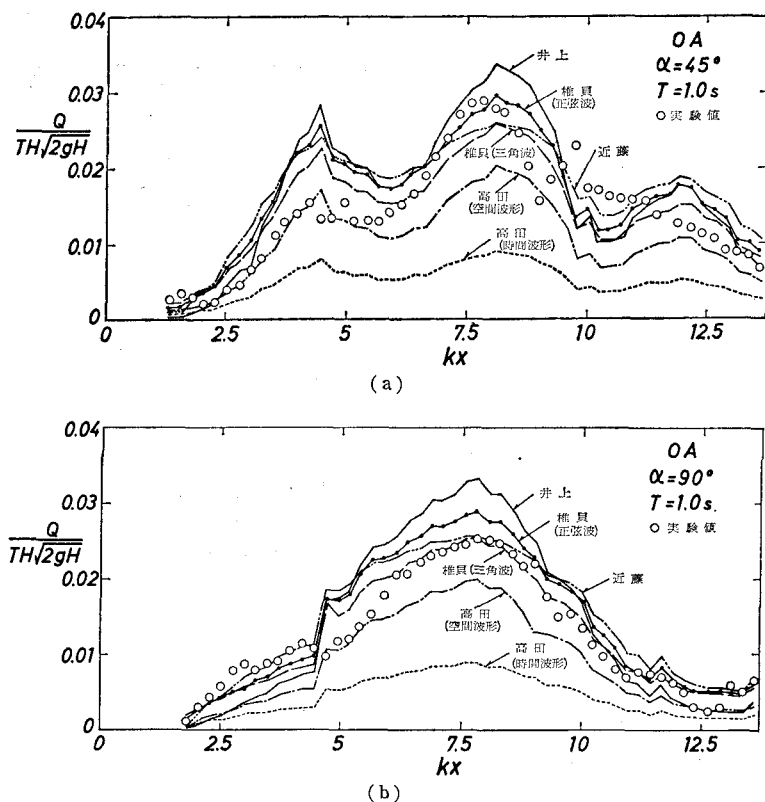


(a)



(b)

図-4 越波量の計算値と実験値の比較



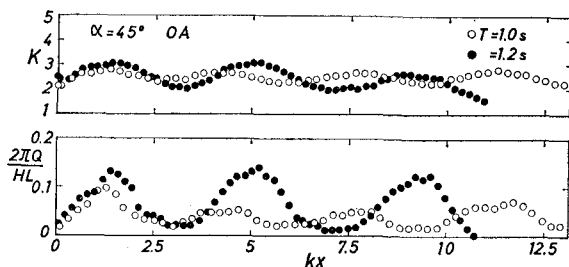
図—5 越波量分布の計算値と実験値の比較

図—5 (a) および (b) は、周期が 1.0 s で波向がそれぞれ 45° および 90° の法線 OA 沿いの越波量分布であり、図中の各線は前述の諸式による計算値である。なお、計算に際し、高田および井上の式は、越波量係数が他の諸量を与えることによって一義的に定まるか、あるいはまったく含まれていないため問題はないが、他の諸式については実験値にもっともよく合うようにこれを定めた。すなわち、近藤の式の $\alpha=0.1$ 、椎貝らの三角波の場合には $k'=1.2$ 、正弦波では $k'=1.1$ とした。図—5 によると、各式による越波量の分布形状は類似の傾向を示すが、越波量についてはかなりの違いがみられる。たとえば、極大越波量は井上によるものよりも大きく、これを 1 とすれば、高田の空間波形式では約 $1/2$ 、時間波形式では約 $1/4$ となる。また、無次元越波量が 0.01 より小さい範囲の実験値は、井上の計算値に等しいか、やや大きい、約 0.01 では高田の空間波形式にはほぼ一致する。しかし、0.02 以上では井上と高田の空間波形式による計算値のほぼ中間の値を示す場合が多い。なお、近藤および椎貝らの式による計算値は、前述の理由で、ここでは実験値との比較はできない。このように、すべての条件に対して、越波量が適確に推算できる式を見出すことは困難であったが、単純護岸の場合、1) 極大越波量の実験値は井上と高田の空

間波形式による計算値の中間の値を示すこと、2) 時間波形式による計算値は実験値に比べて小さい値となること、などが多くの場合にみられた。

4. 河口護岸の越波分布特性

図—6 は、波向が 45° の法線 OA 沿いの前面波高比お



図—6 河口護岸の実験結果の一例

よび無次元越波量分布である。これによると、いずれの分布形状も一様でなく、明確な極値を示し、波高比と越波量の分布は対応している。また、こうした分布形状は波向や周期によって著しく変化するが、これらのことは 3. の場合とまったく同様なことである。

図—7 は、越波量と三井の理論から求めた前面波高比のそれぞれの極大値の位置の関係であり、図—8 は、バ

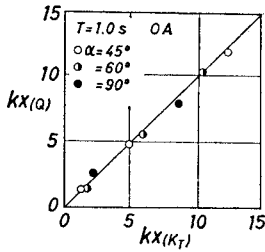


図-7 極大越波量と極大波高比の出現位置の比較

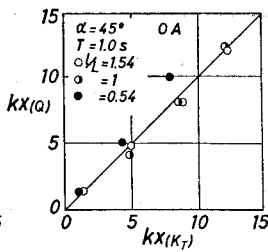


図-8 極大越波量と極大波高比の出現位置の比較

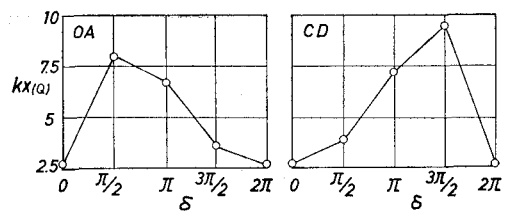


図-10 極大越波量の出現位置と位相角との関係

ラメーターを河道幅 l と波長 L との比としたときの同様の結果である。これらによると、波向や河道幅が変化しても、両者は非常によく一致し、このことはいずれの法線方向についても、また、周期が変化してもまったく同じ傾向を示した。

図-9 は、一樣波と切れ波の法線 OA 沿いの前面波高比と無次元越波量の分布である。入射波が切れ波の場合には一樣波の場合に比べて、いずれの分布も一樣になる傾向を示し、極大値の位置もかなり異なる。

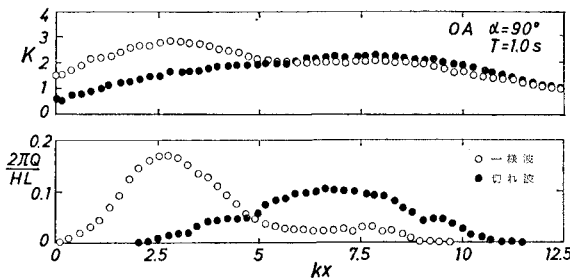


図-9 一樣波と切れ波の場合の実験結果の比較

図-10 は、切れ波の極大越波量の位置と位相角のずれとの関係を示した。これによると、切れ波の極大越波量の位置は、波向や周期が一定でも、位相角のずれによって変動し、左岸と右岸とで対象的であることは興味深い。なお、極大越波量の位置は実験的に求めた非越波時の極大波高比の位置によく一致した。

つぎに、3. で示した越波量の推算方法を河口護岸の場合についても適用してみる。図-11 は、波向が 90° で周期が 1.0 s の法線 OA 沿いの越波量分布である。図中の各線は、図-5 の場合と同様である。これによると、実験値は、無次元越波量が 0.01 より大きい場合には高田の空間波形式、 0.01 より小さい場合には時間波形式による計算値に、それぞれよく一致することがわかる。また、図-12 (a) および (b) は、それぞれ位相角が π の法線 CD、位相角が $3\pi/2$ で法線 OA 沿いの越波量分布である。これらによると、無次元越波量が $0.005 \sim 0.01$ 以上では、実験値は高田の空間波形式、それより小さい場合には時間波形式にそれぞれほぼ一致している。このことから、入射波が切れ波であっても、3. で示した越波量の推算法が基本的には適用できるものと考えられる。なお、図-11 および 12

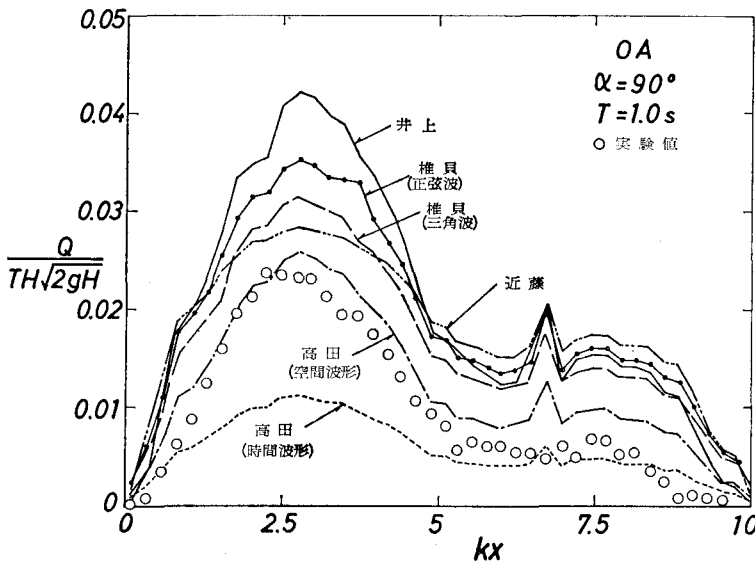


図-11 越波量分布の計算値と実験値の比較 (一樣波)

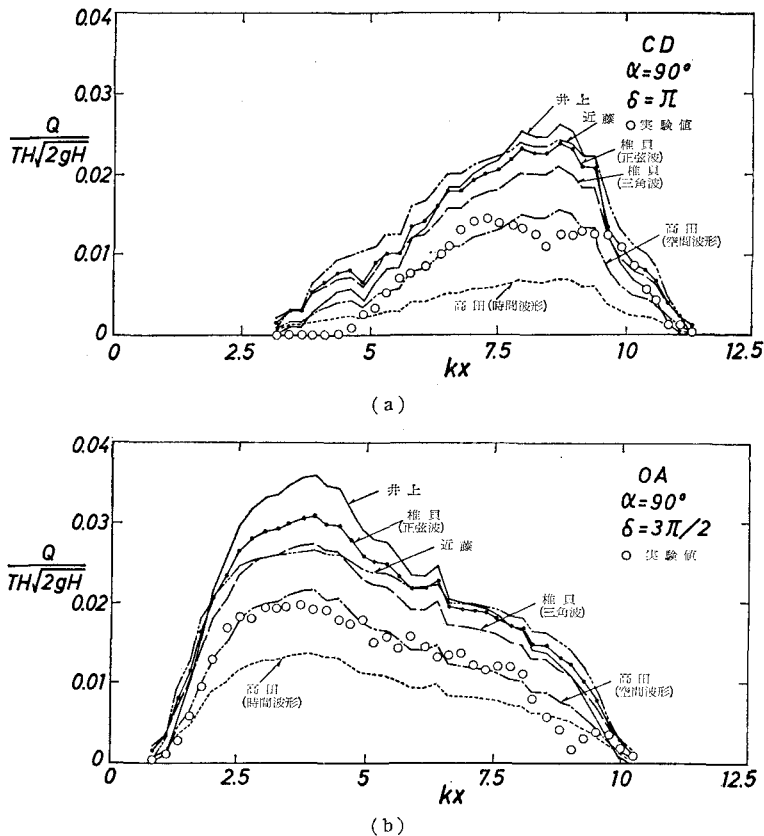


図-12 越波量分布の計算値と実験値の比較 (切れ波)

の近藤および椎貝らの式による計算値は、3. の場合の越波量係数をそのまま使用したため、実験値より大きい。したがって、河口護岸の場合には、越波量係数を 3. の場合よりもやや小さくした方がよいようである。

5. 結 語

以上、護岸法線の隅角部周辺における越波量分布について、主として実験的な検討を行ってきたが、その結果を要約すると、つぎのようである。

1) 単純および河口護岸のいずれの場合も、隅角部周辺の越波量は一様でなく、明確な極値が現われ、その分布形状は波向、周期、また切れ波の場合には、位相角のずれによって著しく変化する。

2) 単純護岸の越波量分布、特に、極大越波量の位置は、いずれの推算式によっても、ほぼ同様の傾向を示す。しかし、極大越波量の実験値は井上と高田の空間波形式による計算値のほぼ中間の値を示す場合が多い。近藤および椎貝らの式は、越波量係数を適当に選ぶことによって、実験値に一致させることができる。

3) 入射波が一様波でも切れ波であっても、河口護岸の越波量の分布特性は、単純護岸の結果が基本的には適用でき、特に、越波量に関する適合性については、高田

の空間波形式が優れている。

以上のように、前面波高から越波量が推算できる可能性のあることを示したが、今後は各推算式の適用限界などを明確にすべきであろう。

最後に、本研究は文部省自然災害特別(計画)研究(代表者: 土屋義人京大教授)によるものであることを明記するとともに、研究に大いに助力した島田広昭助手や多くの卒業生諸君に謝意を表する。

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, 京都大学学位論文, 1971.
- 2) 井上雅夫・中川 巧: 凸90°隅角部を有する鉛直護岸の越波特性, 第26回海講論文集, pp. 277~280, 1979.
- 3) 前出 1).
- 4) 近藤淑郎・佐藤 功: 防波堤の天端高に関する研究, 北海道開発局土木試験所月報, 第117号, pp. 1~15, 1963.
- 5) Shiigai H. and T. Kono: Analytical approach on wave overtopping on levees, Proc. 12th Conf. Coastal Eng., pp. 563~573, 1970.
- 6) 高田 彰: 有限振幅重複波の時間波形と越波量の相関特性, 土木学会論文報告集, 第201号, pp. 61~76, 1972.
- 7) 高田 彰: 波のうちあげ空間波形と越波量の相関特性, 土木学会論文報告集, 第212号, pp. 25~39, 1973.
- 8) 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.