

消波工の越波防止効果に関する一実験

岩崎 敏夫*・沼田 淳**

1. 緒 言

現在、港湾、海岸構造物の消波工として、各種異形ブロックが使用されているが、この場合、消波工に期待する効果は、使用目的によって、越波量、波のはり上り高さ、波圧、反射率などの減少効果あるいは構造物前面の洗掘防止効果など千差万別であり、これらすべての効果を総合的に判断することはきわめて困難である。しかし、個々の効果については、それぞれ、数多くの人々によって研究されている。著者らが今回報告する消波工の越波量減少効果についても、京都大学防災研究所^{1),2)} 大阪市立大学^{3),4)}、建設省土木研究所^{5),6)}、白石・遠藤⁷⁾、中部工大⁸⁾等の研究がある。これらの研究によって、消波工天端高、空げき率、形状等による越波防止効果が、かなり明らかにされつつある。特に永井らは、砕波を沖側砕波、のり先砕波、のり面砕波の各領域に分け、無次元越波量 Q/Q_0 をパラメーターとして静水面上の護岸天端高 H_c 、および消波工天端高 H_r 、と波高の比、 H_c/H と H_r/H の関係を調べ H_c と H_r の関係を実験的に求めている。

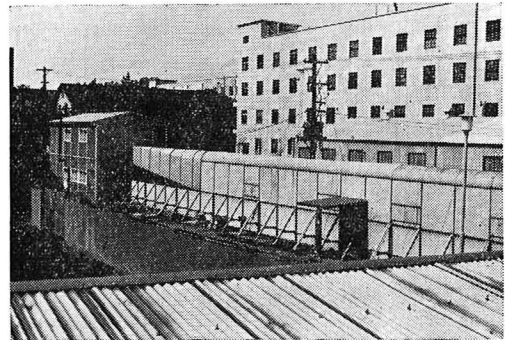
しかしながら、消波工天端幅の越波におよぼす影響を系統的に調べた例は少ないように思われる。本文は、現在、建設省東北地方建設局が施工中の庄内、浅虫、平館の各海岸における道路護岸を対象として東北大学において行なわれた越波に関する実験結果の一部をとりあげ、既往の実験結果と対比するとともに、庄内海岸の実験データにより、主として、消波工の天端幅と天端高の越波におよぼす影響を、浅虫海岸の実験データにより護岸設置水深による消波工の越波防止効果を、さらに平館海岸の実験データより、消波用異形ブロックを層積みおよび乱積みした場合の越波防止効果を考察した結果について述べたものである。

2. 実験施設および測定計器

実験に使用した水路は長さ 46 m、高さ 1.5 m、幅 1 m の風洞付造波水路で、一端にフラッター型造波機を取り付け、他端には砂利をおき、上面をモルタル仕上げして、所定の海底勾配を作り、その上に護岸模型を設置し

た。風洞の高さは 2 m であり、送風機は 1000 mmφ プロペラファンを使用し、ダンパーによって風量を 3 段階に調節できるようにした(写真-1 参照)。波高、風速

写真-1 実験水路全景

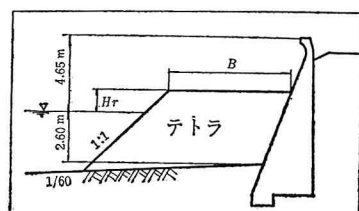


の測定は、それぞれ階段抵抗式波高計および熱線風速計を使用し、越波量は護岸模型の背後に集水器(幅 1 m、長さ 2 m、深さ 30 cm で 20 cm ごとに仕切っている)を取り付け、越波した水を水槽底に設けたパイプを通して水路外に取り出し、メスシリンダーによって測定した。

3. 実験条件および実験方法

実験の対象とした護岸および海底勾配は、図-1~3 に示した 3 種類である。消波工断面は、断面 A、B については、消波工の静水面上の高さ H_r と天端幅 B とをそれぞれ 0.45 m、1.05 m、1.65 m、および 5.0 m、6.0 m、9.0 m と変化させ、合計 9 種類の組み合わせについて、9 sec、11.2 sec、13.4 sec の 3 種類の波の周期をえらび、波高を適宜変化させて実験を行なった。一方、断面 C の場合は、消波工の勾配が 1:1.5、および 1:2 の場合について、護岸設置水深 h を -2.5 m、-3.5 m、-4.5 m と変化させ、合計 6 種類の組み合わせについて 5 sec、

図-1 断面 A (庄内海岸)



* 正会員 工博 東北大学教授 工学部
** 正会員 東北大学助教授 工学部

図-2 断面B (庄内海岸)

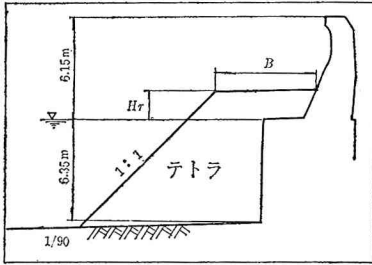
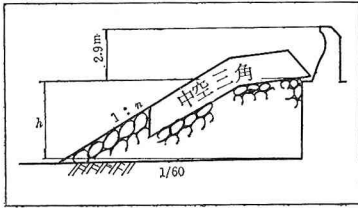


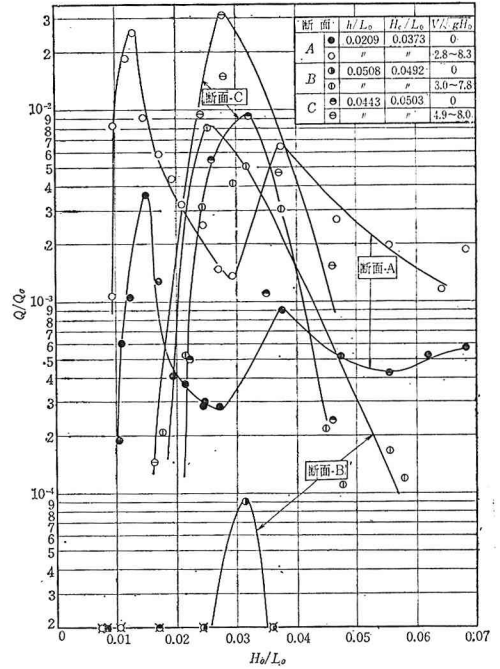
図-3 断面C (浅虫海岸)



6.5 sec の周期の波を用い、波高を適宜変化させて実験を行なった。実験の縮尺は、断面 A, B 1/20, 断面 C 1/15, であり、実験に用いた風速は、現地に換算して、それぞれ 25.5 m/sec, 22 m/sec の一種類ずつである。なお、越波量の測定は、護岸よりの反射波と進行波との合成波が、ある程度定常化する5波目より、後退波が造波板に到達し、進行波に影響をおよぼす前の10波目までの3~5波分の進入波を対象として測定した。

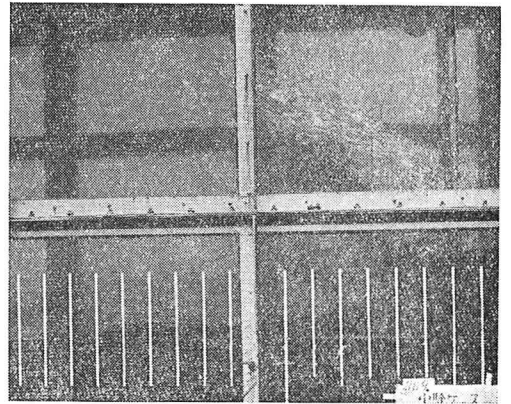
4. 実験結果の一例

図-4は、消波工を設置しない場合の実験結果から、沖波波形勾配 H_0/L_0 と無次元越波量 Q/Q_0 との関係を図示したものの一例である。この図から、断面 B, C では Q/Q_0 のピークが1カ所であるのに対し、断面 A では2カ所存在することがわかり、他の実験ケースについても同様の傾向が認められた。この原因としては、まず第一に、海底勾配がゆるく、護岸設置水深が比較的浅い場合には波高がある程度大きくなると、巨岸はるか沖合で第一砕波が起こり、(周期 10 sec, 波高 3.5 m で巨岸 120 m 程度) 最終砕波の位置が、それぞれの波についてかなり変動するためと考えられる。第二には、前述のごとく巨岸はるか沖合で砕けるような波は、護岸に到達する以前に非砕波の状態になり、波高の小さい波が、砕波せずに護岸に來襲すると同じ作用を示すことが考えられる。このような砕波後の波の変形に関する研究としては、中村・白石・佐々木の実験的研究⁹⁾があるが、その実験結果によると 1/30 よりゆるい勾配の海岸では l_b なる距離を砕波の状態で進行したのち、再び非砕波の状態にもどることが確かめられている。この実験結果を用いて上記波に対する l_b の値を求めると 94 m となり、ほぼわれわれの実験結果と一致するようである。なお、断

図-4 H_0/L_0 と Q/Q_0 との関係

面Bの場合、無風時の Q/Q_0 値が有風時のそれに比較してきわめて小さい値となっているが、これは無風時の場合、小段および波返しの効果が非常に顕著で跳波の大部分を海側に跳ね返しているためである(写真-2)。

写真-2 曲線波返しの効果



5. 既往の実験結果との比較

図-5(a), (b)は、永井・高田ら³⁾の実験結果と比較する目的で、先砕波の場合の H_c/H_0 と H_r/H_0 の関係を Q/Q_0 をパラメーターとして図示したものである。著者らの実験範囲が狭く、十分な比較はできないが、断面Bでは、ほぼ一致すると見てよいと思われる。しかし、断面Aでは、かなりの開きが見られるが、これは、著者らの実験では、風速に関するフルード数 $V/\sqrt{gH_0}$ が 6.0~9.0 であるのに対し、永井・高田らの実験は 5 以

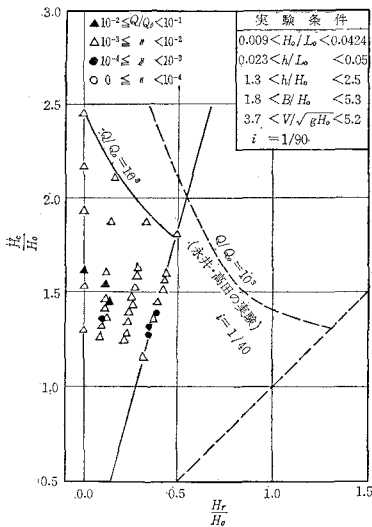
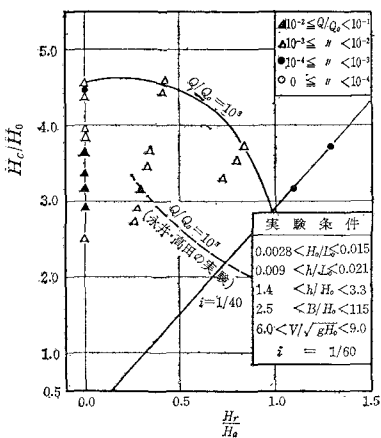
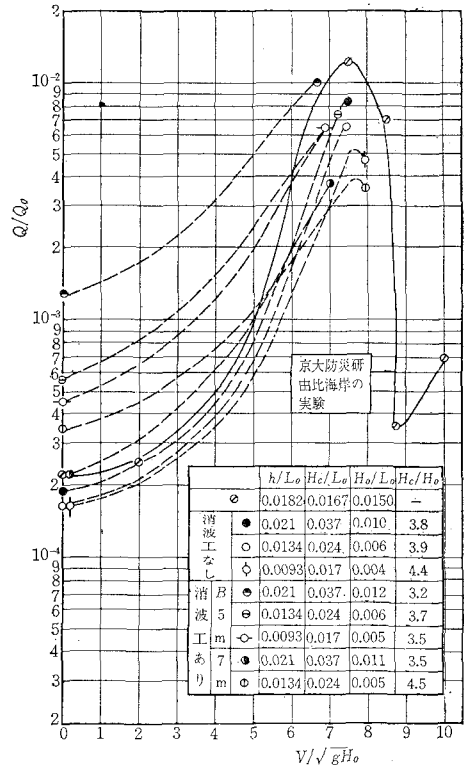
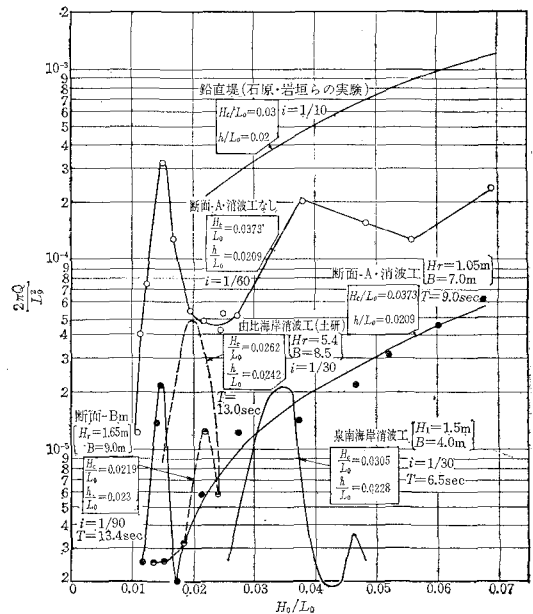
図-5 (a) H_c/H_0 と H_r/H_0 の関係
(断面B)図-5 (b) H_c/H_0 と H_r/H_0 の関係
(断面A)

図-6 風速と越波量の関係

図-7 H_0/L_0 と $\frac{2\pi Q}{L_0^2}$ の関係

下であり、この影響が表われていると考えられる。図-6は、京大防災研が行なった風速と越波量の関係を示す図に、今回の実験結果を併記したものである。この図から $V/\sqrt{gH_0}$ が5以上になると Q/Q_0 が急激に増加し、5以下の場合の10倍前後になっていることがわかる。これが、前述のような差を生じた原因と考えられる。

図-7は、一般の海岸護岸あるいは消波工を有する護岸の越波量と鉛直堤の越波量を比較する目的で、今回の実験および京大防災研^{1), 2)}、土研³⁾等の実験結果のうち、 H_c/L_0 と h/L_0 の比較的同じような資料をえらび、 H_0/L_0 と $2\pi Q/L_0^2$ の関係を図示したものである。海底勾配、護岸断面がまちまちのため、比較は困難であるが、これらの実験値の上限の包絡線が、鉛直堤の場合に相当するように思われる。

また、海底勾配 1/10 の鉛直堤の実験結果には波形勾

配の小さい場合、すなわち、堤防前面より少し沖側で碎けるような波のデータが記入されていないので、はっきりしたことはいえないが、海底勾配が 1/30 以上の実験データでは H_0/L_0 が、0.02 前後に越波量のピークが存

在し、さらに波高が増大すると、再び越波量が増大する傾向が見られ、この原因についての4.での推論の妥当性を例証する一例となるのではないかと考えられる。

6. 消波工の効果に関する二、三の検討

消波工の効果を判断する目安としては、種々の方法が考えられるが、ここでは、消波工がない場合の越波量 Q_w と消波工を設置した場合の越波量 Q_r との比を取り、消波工の効果を検討してみる。

(1) 波高の変化に伴う消波工の効果の差異

図-8, 9は、波高によって消波工の効果がどのように

図-8 H_0/L_0 と Q_w/Q_r の関係
(断面A)

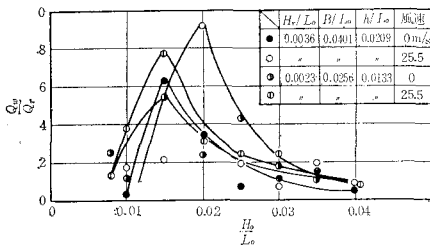
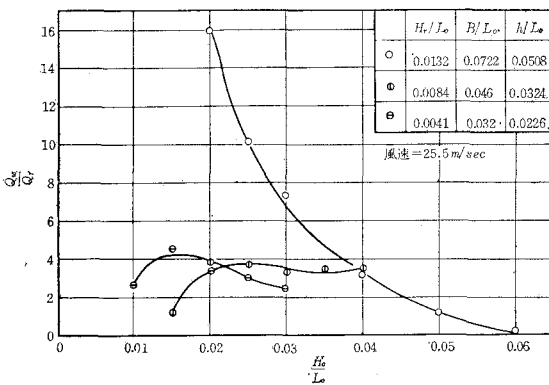


図-9 H_0/L_0 と Q_w/Q_r の関係
(断面B)



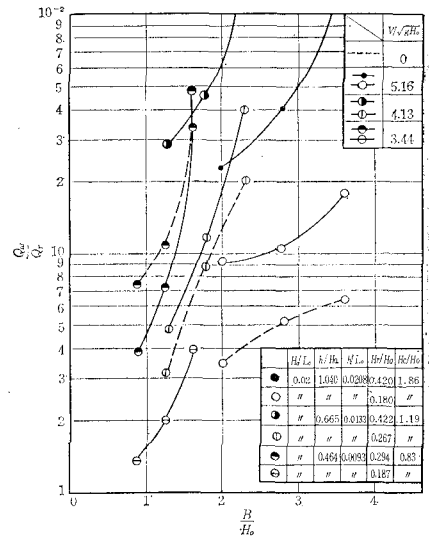
変化するかを調べるため、周期を一定として H_0/L_0 と Q_w/Q_r との関係を図示したものの一例である。断面Aの場合には $h/H_0 \approx 0.9 \sim 1.4$ のとき、 Q_w/Q_r が最大、つまり消波工の効果が最大となっている。 H_0/L_0 が0.02以下のときの h/H_0 の値は約1.5以上となるから、護岸設置水深の比較的浅い場合には、護岸前面付近で碎波する波に対して消波工の効果が最大となっている。この効果は、消波工天端幅あるいは天端高を大きくすればするほど大となり、図-4に示されるような、 H_0/L_0 が小さいところでの Q/Q_0 のピークは消滅する。このことから、護岸設置水深が浅い場合、消波工の設置は越波量および越波頻度の軽減にきわめて有効であることがわかる。これに対し、断面Bの場合はこのような傾向は不明

確であって、周期が小さいときは、 H_0/L_0 の小さい波に対して越波防止効果がきわめて大きく、 H_0/L_0 の増加とともに急激に減少するが、周期が大きくなると、 H_0/L_0 に無関係に Q_w/Q_r の値はほぼ一定の値を取るようになる。

(2) 消波工天端幅の効果

図-10, 11は、 H_0 , L_0 , h , H_r , H_c などの諸量をすべて一定に保ち、消波工天端幅 B のみを変化させた場合

図-10 B/H_0 と Q_w/Q_r との関係
(断面A)



の B/H_0 と Q_w/Q_r の関係を図示したものの一例である。天端幅の増加とともに Q_w/Q_r は増加しており、 H_r の大きいほど、また、 h が小さいほど天端幅を広げる効果が大きいようである。図-12は、図-11と同様にして B/L_0 と Q_w/Q_r の関係を示したものの一例であるが、 h/L_0 が一定なら他の無次元量が多少変化しても Q_w/Q_r と B/L_0 の関係はほぼ一定しており、護岸設置水深と波長とが Q_w/Q_r の値を左右する重要な一要素と考えられる。なお、図-13~16は、図-4に相当するグラフより Q/Q_0 の値が最大となるとき H_0 を求め、 B/H_0 と $(Q/Q_0)_{\max}$ あるいは、 H_r/H_0 と $(Q/Q_0)_{\max}$ の関係を周期をパラメーターとして図示したものであるが、

図-11 (a) B/H_0 と Q_w/Q_r との関係(断面B)

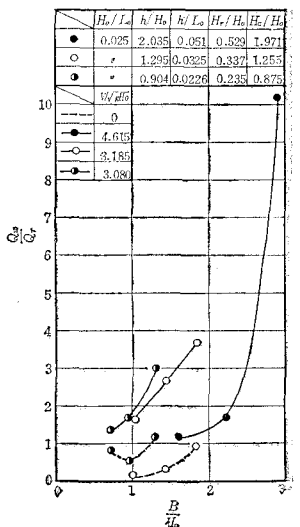
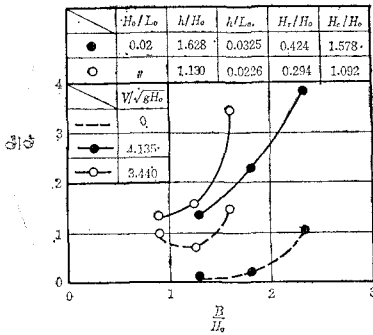
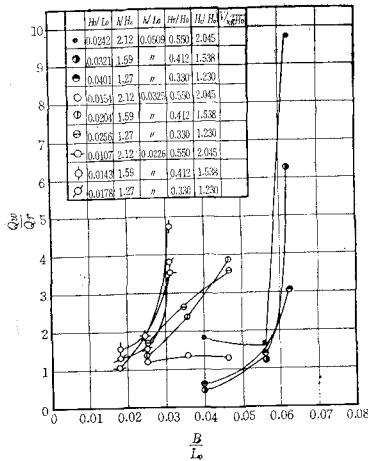
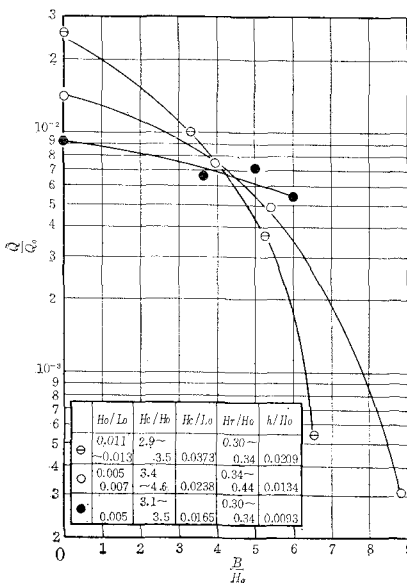
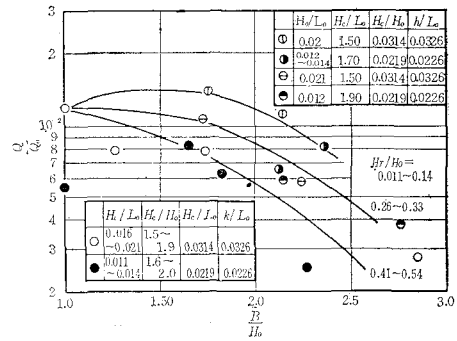
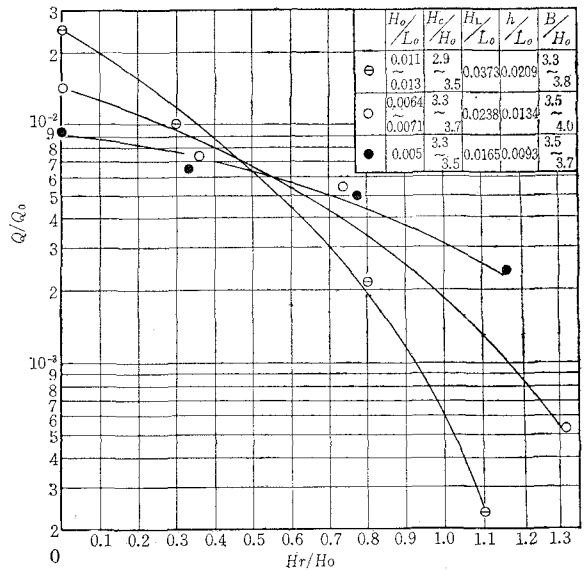
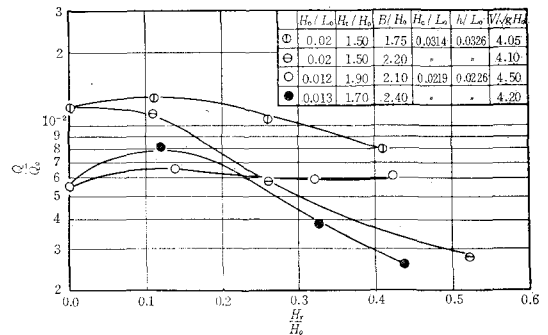


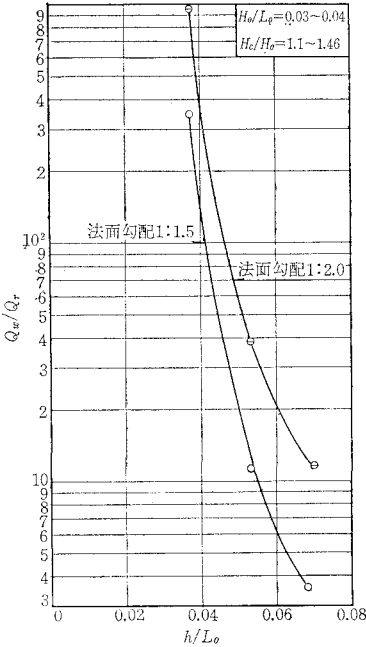
図-11 (b) B/H_0 と Q_w/Q_r との関係 (断面B)図-12 B/L_0 と Q_w/Q_r との関係図-13 B/H_0 と $(Q/Q_0)_{max}$ との関係 (断面A)

この図からも周期が小さいほど、消波工天端幅あるいは天端高を大きくする効果が大きいことがわかる。

図-14 B/H_0 と $(Q/Q_0)_{max}$ との関係 (断面B)図-15 H_r/H_0 と $(Q/Q_0)_{max}$ との関係 (断面A)図-16 H_r/H_0 と $(Q/Q_0)_{max}$ との関係 (断面B)

(3) 護岸設置水深と消波工の効果

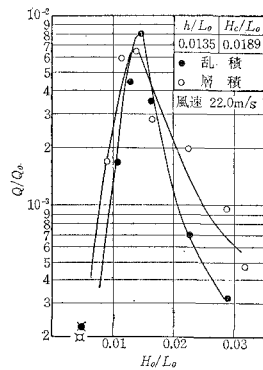
図-17は、断面Cについての H_0/L_0 と Q/Q_0 の関係を示すグラフから、最大越波量を与えるときの Q_w/Q_r の値を求め、これと h/L_0 の関係を示したものである。この図からも護岸設置水深が浅いほど、消波工の越波防

図-17 h/L_0 と Q_w/Q_r との関係

止効果が急激に増大することがわかる。

(4) 乱積み層積みの場合の越波量の比較

図-18 は、護岸前面付近の海底勾配を 1/13、それより以深部を 1/30 とした平館海岸の実験結果より、消波工を乱積みにした場合と層積みにした場合の相対越波量を比較した一例であるが、両者の間にはあまり大きな差異はないように思われる。

図-18 H_0/L_0 と Q/Q_0 の関係

7. 結 論

以上消波工の越波防止効果について、検討したが、実験範囲が狭く、護岸天端高と消波工天端高および天端幅との関係を定量的に把握することはできなかったが、定性的に大略つぎのようなことが結論づけられる。

(1) 護岸設置水深が比較的小さい場合、護岸前面付近

で碎ける波に対して消波工の効果が最大となる。さらに、消波工の断面が適当であれば、波高の小さい所での越波量のピークが消滅するので越波頻度を軽減するためにもきわめて有効である。

(2) 護岸設置水深が比較的小さい場合、周期が小さければ、 H_0/L_0 の小さい波に対して消波工の越波防止効果は大きい。周期が大きくなると、 H_0/L_0 に無関係に Q_w/Q_r の値はほぼ一定となる。

(3) 消波工天端幅が大きいほど、越波防止効果は大きい。また、 H_r が大きいほど、また h が小さいほど天端幅を広げる効果は大きくなる。

(4) Q_w/Q_r の値を左右する重要な一要素は h と L_0 であるように思われる。

(5) 周期の小さい波ほど、消波工天端幅あるいは天端高を大きくする効果が大きい。

(6) 護岸設置水深が浅いほど、消波工の越波防止効果が大きい。

(7) 消波工を乱積みにした場合と層積みにした場合の越波量には、さほど大きい差はないようである。

8. あとがき

模型実験および資料整理は、東北大学学生 植木新太郎・飯村昭正、東北大学職員 佐藤栄司・高橋弘の諸氏の協力を得て行なった。また、東北地方建設局青森工事事務所および酒田工事事務所の方々には実験遂行上多大の御援助を頂いた。ここに記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 岩垣・土屋・井上：由比海岸堤防の越波に関する模型実験，第 10 回海岸工学講演会講演集 (昭和 39 年 11 月)
- 2) 岩垣・土屋・井上：海岸堤防の越波防止に関する二、三の問題，京都大学防災研究所年報 第 7 号 (昭和 39 年 3 月)
- 3) 永井・高田：海岸堤防の越波におよぼす消波堤の効果，第 11 回海岸工学講演会講演集 (昭和 39 年 11 月)
- 4) 永井・大坪・遠藤：深い水深における消波堤に関する研究，第 22 回年次学術講演会講演概要 (昭和 42 年 5 月)
- 5) 豊島・橋本：由比海岸堤防模型実験について，海岸第 5 号 (昭和 39 年 4 月)
- 6) 富永・佐久間：越波防止のための消波工について，第 13 回海岸工学講演会講演集 (昭和 41 年 12 月)
- 7) 白石・遠藤：消波工に関する二、三の問題，第 10 回海岸工学講演会講演集 (昭和 38 年 11 月)
- 8) 高田：海浜堤防の越波に関する実験的研究，第 22 回年次学術講演会講演概要 (昭和 42 年 5 月)
- 9) 中村・白石・佐々木：碎波による波の変形に関する研究，第 13 回海岸工学講演会講演集 (昭和 41 年 12 月)