

越波の少ない低天端堤の開発

山 本 正 昭*・西 裕 司**

1. 緒 言

防波堤や護岸は越波が少ない程有効であるが、更に丈が余り高くなくことが良い。例えば、防波堤裏側が岸壁として利用しやすいこと、小型漁船の出入時に見通しが効くことなどのため低い堤が望まれる。また、護岸についても海と密接に係わっている沿岸住民の生活の利便上及び景観上からも堤高が低くて越波の少ないものが要求される。

低天端堤の研究は種々行われ実用化されているが、その代表的なものが異形ブロックを壁体に接して斜面状に積み重ねた消波工と称するものである。本研究は消波ブロックを使って、従来とは異なった断面形状の消波工を開発し、これが越波防止に有効なことを実験的に確めたものである。新しく開発した消波工の形状は、図-1に示すように護岸や防波堤の直立壁から少し離れた前面水域に自立式消波工を設置するものである。これは消波工部と直立部との波の干渉を想定した1体の構造であり、従来の離岸堤と呼ばれる構造物とも機能的に異なるため、遊水部付消波工と呼ぶことにする。この遊水部長さ l と波長 L との間で、重複波領域では $l/L=0.25$ で越波量が極小となることが知られている^{1),2)}。文献 3) では、この直立堤とブロック消波工との間隔が $l_1/L=0.5\sim0.8$ 付近 (l_1 は直立堤から離岸堤中央まで) で最小となり、長い場合については、一般の消波工と同等またはそれ以下の機能しか発揮しないと報告されている。しかし、ある現場でより近づけて設置された仮設例では非常に有効との声が聴かれた。また、越波の状況観察などを考慮して、砕波帯に浅に設置される場合を想定してこの開発に着手した。

2. 研究の方法

実験は最適遊水部長さを求めるための第1段階と、海底勾配の影響を調べるための第2段階の実験に分けて行った。第1段階の実験は幅 70 cm の規則波造波水路の中に 1/20 の一様勾配の模型床を作り、その上に水深を 3 種

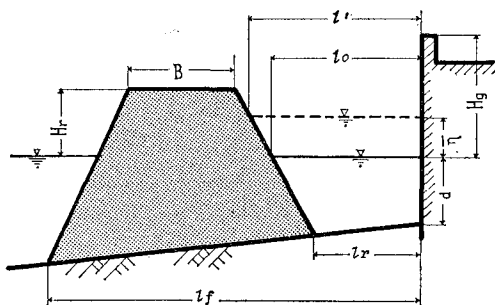


図-1 遊水部付消波工の概念と使用記号

類変えて直立護岸模型を設置し、その各々の護岸に対して消波工の堤丈を 2 種類、護岸と消波工の間の距離を 4 種類変えた消波工を設置した。その際、直立護岸天端高は海岸保全施設築造基準解説による消波工付の目安の値と等しいかやや低くした。消波工天端高も同基準の目安の値と同等か低くした。また、遊水部長さは 0~0.4 波長程度とした。模型の異形ブロックは、模型縮尺 1/30 を想定し、入射波高に合わせて 700, 120, 64 gr を使用した。消波工天端幅 B は、ブロック 2 個並び分とした。さらに実験波の条件としては周期 2 通り、沖波波高 4 通りの 8 通りを用い、この実験の種類は 192 種類とした。このうち消波工と護岸の間の距離のみ異なる 4 種類ごとの実験をまとめて 1 ケースとして扱った。

測定した項目は、前面波高 10 波分の越波量、遊水部中央の水面変動記録等である。

第 2 段階の実験として、海底勾配 1/10 と 1/50 という条件の場合をとり上げ、6 段階の波高の大きさに対する越波量のちがいを求めた。堤体模型としては、護岸高は消波工がない時の目安高の 7 割と 6 割、消波工天端はその護岸高の 8 割とした。遊水部長さは、第 1 段階実験の見積りから、水位上昇量を考慮した場合の遊水部中央での波長の約 10% の長さとした。消波ブロック模型は実験中転倒が多かったので、ハドソン公式から出される重量の約 3 倍程度のものを用いた。すなわち、1/10 勾配では 2 000 gr と 1 000 gr、1/50 勾配では 1 000 gr と 120 gr とした。

また、別の研究⁴⁾で、海底勾配 1/50 の場合の実験も

* 正会員 農博 水産工学研究所 漁港水理研

** 正会員 工修 水産庁漁港部 建設課

表-1 実験諸元

諸元		記号	第1段階実験			第2段階実験			
海底勾配		i	1/20			1/10		1/50	
護岸	設置水深	d	0.0	-6.7	-13.3	0.0	-6.7		-6.7
	堤体高	H_0	+7.0	+11.3	+16.3	+15.2	+13.7	+16.0	+11.2
消波工	天端高	H_r	+5.0, +6.7	+6.7, +10.0	+8.3, +13.3	+12.1	+11.3	+12.8	+5.3
遊水部長さ		l_0	0.0, 16.7 33.3, 66.7	0.0, 33.3 66.7, 100.0	0.0, 33.3 66.7, 100.0	8.3	14.8	14.8	15.7
沖波	周期	T	1.5, 2.0			2.0			
	波高	H_0	6.7, 10.0, 13.3, 16.7			6.7, 10.0, 13.3, 16.7, 20.0, 23.3			
全実験ケース数			192			44			

注) 長さの単位: cm, 時間の単位: sec

行っており, この実験条件も合わせて解析した。

測定項目は, 越波量と波高である。その越波量の測定には, 太い針金で枠(31×50cm)を作り, これにビニール袋を取付け, この袋で越波した水を受け, その重量変化から越波量を求めた。計測は10波ずつ2回行なった。

3. 実験結果と考察

3.1 遊水部水位上昇量

遊水部の平均水位の上昇は越波量に直接影響する。

図-2に示す水深6.7cm, 消波工天端高6.7cmの時の水位上昇量を見ると, 堤体が無い場合より格段に大きく, かつ, また, 遊水部長さが短い時は上昇量も大きくなっている。このケースは消波工天端高が低い方のケースであり, 他方の高いケースでは, 図-3に示す通り上昇量はこれより低く, 一樣斜面より高くなっている。直立堤設置水深が0cmの時は上昇量データはまとまって一樣斜面での水位上昇推定値とよい合致を示している。この場合, 消波工を越える波はほとんどなかった。図中 η/H_0 が0.4以上となっているケースは, 遊水部長さが短かく, かつ, 消波工が低いケースである。以上の結果を総合的にみて, 消波工を越える水量が多くない場合の遊水部の平均水位上昇量は, 一樣斜面での汀線での上昇量程度以下とみなすことができる。従って, 水深がある程度ある場合もデータのバラツキはあるが h/H_0 が0~

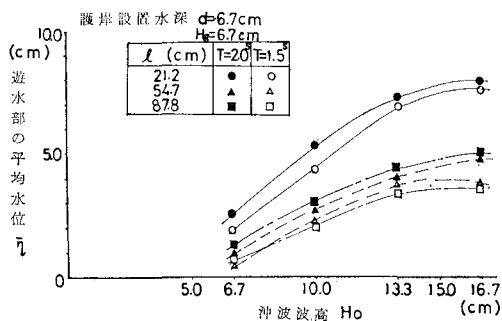


図-2 遊水部の水位上昇量と沖波波高及び周期の関係

1.0の間は文献5)による $h/H_0=0$ での水位上昇量と同じ量に見積ることとした。

3.2 越波量と遊水部長さ

越波量を無次元越波量($2\pi Q/H_0 l_0$)で表現し, 離岸距離を水位上昇を考慮しない遊水部の長さ(l)と消波工設置水深での入射波の波長(L)との比 l/L で表わしたのを見ると越波量を極小にする l/L の値が0.1~0.2付近に存在するように読み取れるが, 全てのグラフに共通の値とは言いがたい。

そこで越波量には遊水部の水位上昇も影響していると考え, l の代りに水位上昇後の遊水部長さ(l')を用い, L の代りに水位上昇後の遊水部中央での波長(L')を用い l'/L' と無次元越波量の関係を調べた。その結果は

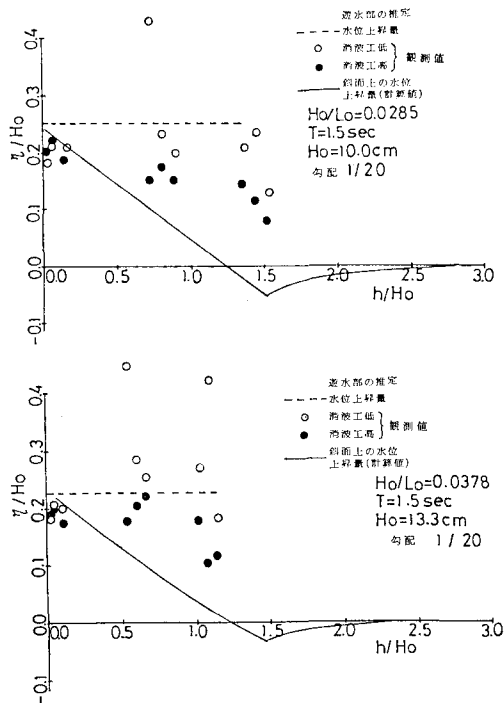


図-3 遊水部の水位上昇量

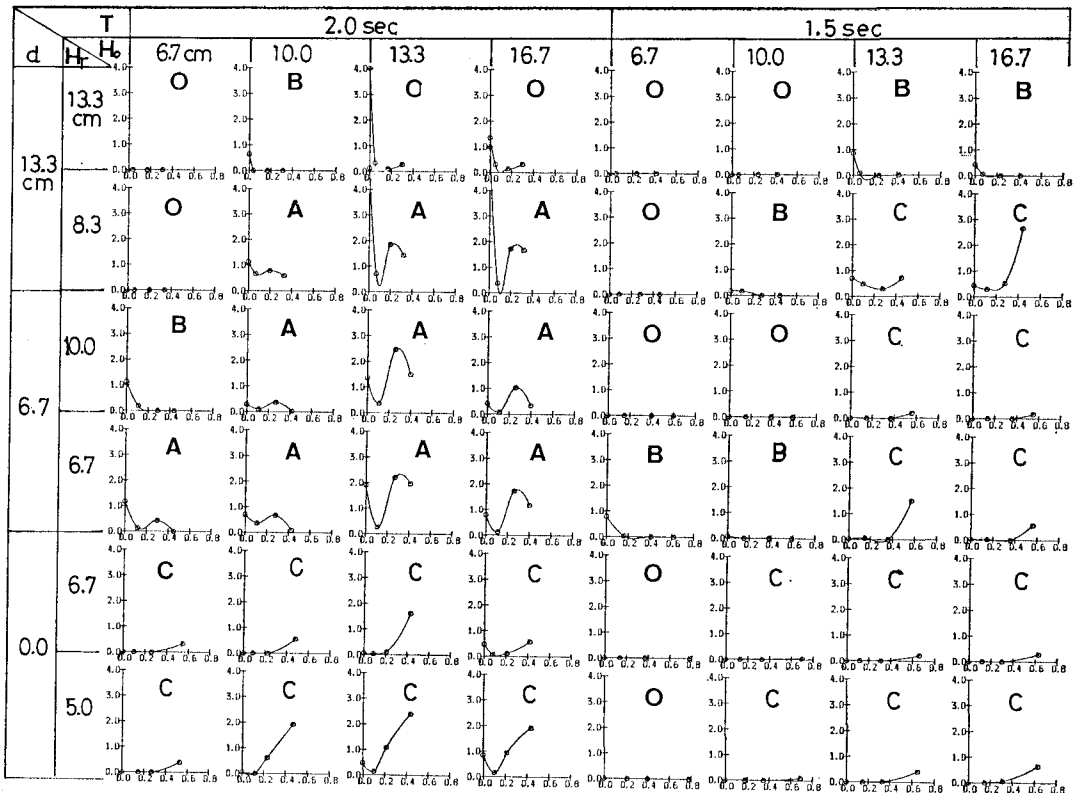


図-4 遊水部長さ (L'/L : 横軸) と無次元越波量 ($2\pi Q/H_0 L_0$: 縦軸) の関係

図-4に示す。この図の中にまったくパターンの異なる曲線が含まれている。このパターンを全ケースの中で比較することができるように、また離岸距離以外は同一条件の点は4点しかなく、これを結ぶ時に極小点の位置が主観で決まってしまうのを防ぐ為にXYプロッターによる2次曲線補間作図による。

この図を見ると L'/L が 0.25 付近でピークを持つパターン (タイプA) とピークがあらわれないパターン (タイプB) と L'/L が 0.5 付近でピークを持つパターン (タイプC) で分類すると、この3つのタイプは全実験 48 ケースのうちタイプAは 10 ケース、タイプBは 7 ケース、タイプCは 20 ケース、その他越波が微小等で判定不明なものは 11 ケースである。またこのタイプの分布を見ると $d = \pm 0.0 \text{ cm}$ の護岸を汀線に設置した場合は越波量がなく判定不明な2ケースを除いてすべてタイプCである。その他の護岸設置水深の場合も波高が増大すると共にタイプCに移ってゆく傾向が見られる。タイプBはタイプAと異なりピークがあらわれない場合なのであるが、このタイプはタイプAより護岸天端高が少し高い等の理由により、越波量が減少した場合を考えるとタイプAと一致することが考えられる。従ってタイプBをタイプAの一変種として扱うことができる。

タイプAのパターンは L'/L が 0.1 付近で極小値をも

ち、 L'/L が 0.25 付近で極大値をもつが、砕波により入射波の倍振動の波が発生し、その倍振動の波の方が遊水部においては卓越しているとする、井島等及び菅原等²⁾の研究で述べられた波長の 0.5 倍の所で極大となるという現象は、発生した倍振動の波の波長の 0.5 倍、つまり入射波の波長の 0.25 倍の所で極大となる現象に読み替えることができるのではないかと、遊水部の護岸に最も近い点で記録した波形記録のスペクトル解析を行なった結果、砕波及び消波工での越波等により、沖波の周期の倍振動の波が発生しているのが判明した。

タイプCの顕著な例では L'/L が 0.5 付近で遊水部において共振現象が起きているのが観察され、井島等及び菅原等の研究で述べられた波長の 0.5 倍の所で極大となるという事と一致した現象と考えられる。

このようにタイプA、B、Cと3種のパターンに分けて考えたが、すべてのパターンに共通して言えるのは護岸に接して消波工を設置した場合つまり L'/L が 0 の場合に比べて L'/L が 0.1 付近に設置した場合は越波量の減少が期待できると考えられる。

3.3 遊水部長さ $L'/L = 0.1$ の越波量

従来の消波工タイプ ($L'/L = 0$) の場合と $L'/L = 0.1$ の場合の越波量の比較を図-5に示す。この場合、越波量測定用の柵の幅は 68 cm で、メスシリンダーで測った為、

10 cc 以下は測定誤差に大きく左右されるので、1 cm 当りの越波量 0.1 cm^3 以下のデータは無視することにした。なお、越波量の $0.1 \text{ cm}^3/\text{cm}$ に対応する無次元越波量は $0.00006 \sim 0.0003$ で海岸で考えられている許容越波量よりかなり小さな値である。この図によると $l'/L'=0$ の場合に比べて $l'/L' \approx 0.1$ の場合は越波量を 0.1 倍から 0.5 倍まで下げることができると言える。

図—6, 7 に 1/10 勾配及び 1/50 勾配の $l'/L'=0$ と $l'/L'=0.1$ の場合の越波量の比較を示す。これらの図によると、1/20 勾配の場合に比べて越波量は 1/10 勾配の場合は多く、1/50 勾配の場合は少ない。

1/10 勾配の場合、護岸設置水深が深くなると越波量は極めて多くなる。また、1/20 勾配の場合に見られた、越波量が多くなるほどの工法の効果が大きくなるという現象は 1/10 勾配においては見られなかった。

一方、1/50 勾配の場合、毎秒 $0.02 \text{ cm}^3/\text{cm}$ 以上のデータを採用した。それに加え、影山等の「離岸タイプの消波工の効果について⁴⁾」で述べられたデータを * 及び × 印でマークすると、越波量が多くなると、1/20 勾配の場合よりこの工法の効果が大きくなることが分る。

3.4 期待越波量の算定

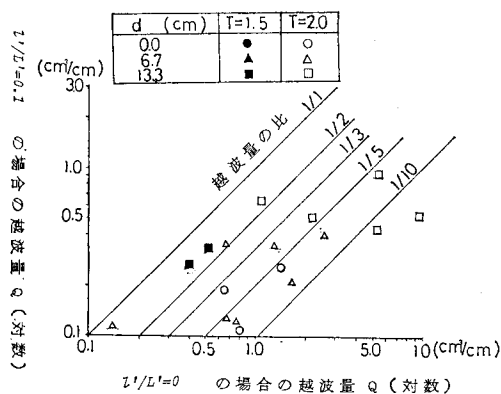
合田の方法^{7),8)}で、すなわち、周期が一定で、波高がレーリー分布するものと仮定し、波高を階級分けして、

その分布率と実測越波量を掛けたものを全階級について合計し期待越波量を求めた。この際、実験の範囲内にはない波高の越波量は外挿したが、その外挿による越波量が全体の 50% を越えるものは除外した。この結果では期待越波量は、有義波に相当する規則波の越波量の 30% ~ 60% と小さかった。

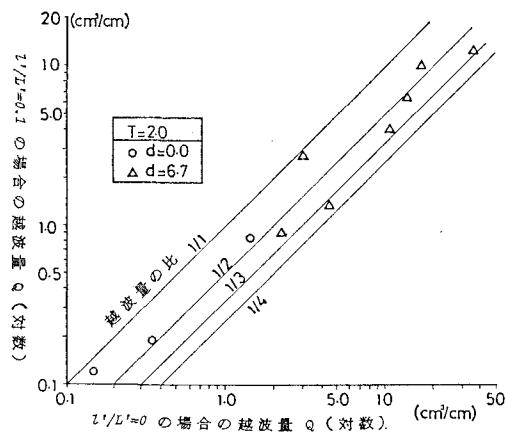
これとともに、縦軸に無次元期待越波量 $q \exp \sqrt{2g(H_{1/3})_0}$, 横軸に沖波有義波高 $(H_{1/3})_0$ と護岸設置水深 d との比をとり、それぞれ海底勾配、沖波周期別に別葉に、遊水部長さが $l'=0$ と $l'=0.1L'$ の場合の比較を行なった。このグラフ中の数字は $H_0/(H_{1/3})_0$ の値でこれが約 1~1.5 の範囲の点で実測率が 50% 以上の点のみプロットしてある。

図—8 は $i=1/20$, $T=2.0 \text{ sec}$, H_r/H_g が 0.5~0.6 の範囲の比較であるが、 $l'=0$ の場合に比べて $l'=0.1L'$ の場合 $H_0/(H_{1/3})_0=1$ のときで無次元期待越波量は 0.1~0.5 倍になり、 $H_0/(H_{1/3})_0=1.5$ のとき 0.1~0.3 倍に減少している。

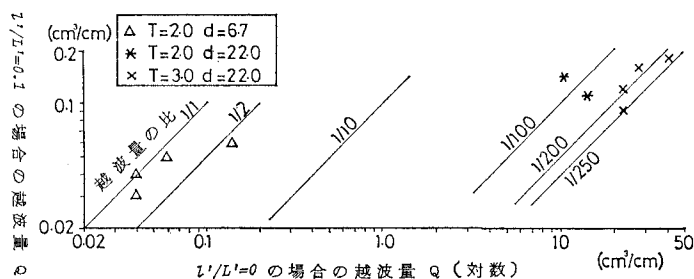
図—9 は、 $i=1/10$, $T=2.0 \text{ sec}$, H_r/H_g が 0.78~0.83 の範囲の比較であるが、無次元越波量は $l'=0$ の場合に比べて $l'=0.1L'$ の場合の方が $H_0/(H_{1/3})_0=1$ のとき 0.3~0.6 倍、 $H_0/(H_{1/3})_0=1.5$ のとき約 0.3 倍になる。



図—5 $l'/L'=0$ と $l'/L' \approx 0.1$ の場合の越波量の比較 ($i=1/20$)



図—6 $l'/L'=0$ と $l'/L' \approx 0.1$ の場合の越波量の比較 ($i=1/10$)



図—7 $l'/L'=0$ と $l'/L' \approx 0.1$ の場合の越波量の比較 ($i=1/50$)

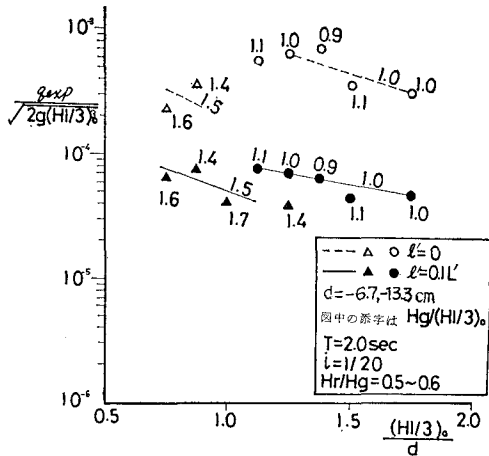


図-8 $l/L'=0$ と $l/L'=0.1$ の無次元期待越波量の比較 (不規則波)

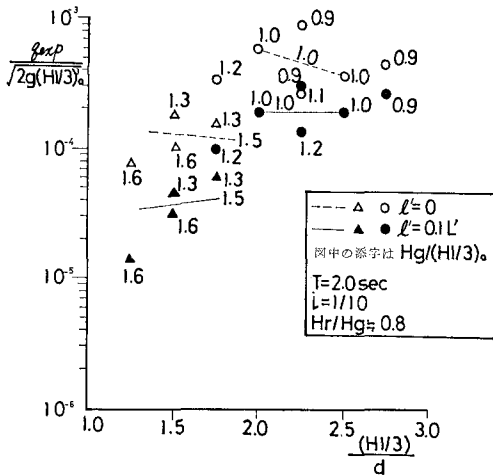


図-9 $l/L'=0$ と $l/L'=0.1$ の無次元期待越波量の比較 (不規則波)

1/50 勾配の実験の場合、海岸保全施設築造基準により設定した消波工高さではまったく越波がおこらず、それを極端に低くした場合に $0.0001 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{sec}$ 程度の越波量しかなく、想定した越波量にオーダーとしても満たなかった。

4. 結 言

以上の結論を簡条書きすると、

- ① 遊水付き消波工の遊水部長さによる越波量の変化は、A, B, C の3つのパターンに分けられ、A型は0.1波長付近、B型は0.1波長以上、C型は0.3波長以下に極小値が有るので、総合的には約0.1波長離して消波工を設けた場合が最も越波量の減少が期待できる。
- ② 遊水部における平均水位の上昇量は、同じ波浪条件下での同一海底勾配一様斜面上の汀線での上昇量に近い値を示す。
- ③ 実測値より期待越波量を算定し、従来の消波工の越流量と比較したところ遊水部を有する消波工の場合海底勾配 1/10 では 0.3~0.6 倍、海底勾配 1/20 では 0.1~0.3 倍程度に減少した。

以上の結果は規則波実験より導びいたものであり、現在、不規則波による確認実験を行なっている。

なお、この研究は、海岸事業調査費による依頼研究として行なったものである。

参 考 文 献

- 1) 井島武士・奥蘭英明・湯村やす・坂井久雄：遊水部をもつ直立消波防波堤と護岸，第19回海講演文集，pp. 185~192, 1972.
- 2) 榎木 亨・岩田好一郎・森永勝登：海岸堤防前面波高に及ぼす離岸堤の設置距離の効果について（2次元モデルの場合），第22回海講演文集，pp. 415~420, 1975.
- 3) 合田良美・岸良安治：不規則波による低天端型護岸の越波特性実験，港湾技研資料 No. 242, 1976.
- 4) 影山智将・山本正昭：離岸タイプ消波工の効果について，水工研技報水産土木第2号，pp. 51~66, 1981.
- 5) 菅原輝男・山本正昭：規則波の浅水変形計算モデル，農業土木試験場技報D第20号，pp. 1~22, 1978.
- 6) 菅原輝男・長野 章：直立透過堤による波の反射・透過に関する研究，農業土木試験場報告第14号，pp. 137~144, 1976.
- 7) 合田良美・竹田英明：不規則波に対する護岸の期待越波流量について，第15回海講演集，pp. 259~266, 1968.
- 8) 合田良美：不規則波に対する護岸の期待越波流量について第2報，第17回海講演集，pp. 125~132, 1970.
- 9) 佐伯 浩・菊地秀明・京谷 修・松井弘夫・尾崎 晃：分離式防波堤の水理機能と設計波圧について，第27回海講演文集，pp. 335~338, 1980.