

消波護岸不連続部の越波特性に関する実験的研究

渡辺 増美*・三浦 雅彦**・豊田 裕作***
浅川 勉***・松岡 道男***

1. ま え が き

海浜に面した発電所の異型ブロック消波護岸に放水口あるいは取水口等を設けた場合には、部分的に消波工が設置されず不連続な場所が生じる。この様な消波工不連続部の越波分布について系統的に検討されたものは無いので、便宜的に直立護岸の越波流量を設計に使用しているのが現状である。

本研究においては、波向・波形勾配・海底勾配および護岸条件（消波工開口幅、設置水深、天端高）を変化させて、消波工不連続部の越波分布を測定した。その結果、消波工不連続部における実験値と既往の直立護岸および消波護岸の越波流量推定方法に基づく推定値との関係を明らかにするとともに、消波工不連続部の越波流量分布をより合理的に推定する方法を提案した。

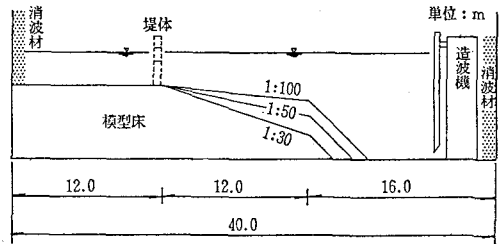
また、従来の越波実験は1/30よりも急な海底勾配について行われたものが多く、1/50～1/100の緩い海底勾配のデータは非常に少ない。埋立護岸が水深の深い領域に建設される場合、海底勾配が1/50～1/100である事例は多い。そのため、本研究では緩い海底勾配についても実験を行い、越波特性を検討した。

2. 実験概要

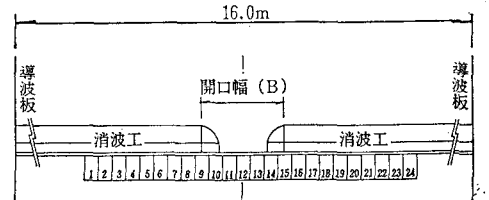
実験は、40m×30m×1.2mの平面水槽において、図一1に示すように、1/30、1/50、1/100の一樣勾配斜面図を有する模型床に、護岸模型および集水桁を設置して行った。斜め入射実験は、護岸模型の法線を直角入射実験より22.5°および45°傾けることにより、波が屈折せず護岸法線に対して斜めに入射する条件で実験を行った。

実験に用いた波は、Bretschneider—光易型のスペクトルを目標とする不規則波とし、沖波波高 H_0' を10cm、周期を1.33 sec ($H_0'/L_0=0.036$)、1.80 sec ($H_0'/L_0=0.02$)の2種類とした。

消波工は、護岸位置波浪を合田(1975)の碎波帯内の波浪算定方法により算定し、ハドソン公式により求まる安定重量を有するテトラポット模型(118g)で全断面形成した。消波工の天端高は護岸天端より $0.1 \times H_0' = 1$ cm 低くし、天端幅はブロック3個並び、法面勾配は1:4/3とした。消波工開口部は、図一2に示す様に水槽中央部に設けた。開口幅は、開口部両側の消波工法肩間の距離とし、沖波波長に対して表一1に示す比率であった。



図一1 模型床断面図



図二 模型堤体および越波集水桁配置

直角入射実験における波浪条件、海底勾配および護岸条件の組み合わせを表一2に示す。なお、消波工開口部の越波分布を明瞭に確認するために、同一の海底勾配、波浪条件および護岸条件で開口部の無い、消波工連続堤の実験も表一2に示す全ての組み合わせに対して実施した。

斜め入射実験は、海底勾配1/50、護岸高 $h+hc=30$ cm の条件で、入射角度22.5°と45°について行った。

実験に際しては、波浪変形過程、護岸位置波浪および護岸法線方向の波浪の一樣性が越波量に直接的に反映されるため、護岸模型を設置しない通過波状態で、水槽中

* 正会員 中部電力(株) 電力技術研究所
** 正会員 工修 中部電力(株) 電力技術研究所
(現) 海外電力調査会
*** 正会員 工修 日本テトラポッド(株)
応用水理研究所

表—1 消波工開口幅

周期 (sec)	L_0 (m)	B/L_0			
		$B=0.8m$	$B=1.2m$	$B=1.6m$	$B=2.4m$
1.33	2.76	0.29	0.43	0.58	0.86
1.80	5.05	0.16	0.24	0.32	0.48

表—2 実験諸元

波形勾配 (H_0'/L_0)	海底勾配 $\tan \theta$	護岸高 $h+hc$ (cm)	水深 h (cm)	天端高 hc (cm)	消波工開口幅 B (m)
0.036 0.020	1/30 1/50 1/100	20	6 12 15	12 8 5	消波工連続堤 0.8, 1.6 2.4
			8 12 15	22 18 15	消波工連続堤 1.2 1.6 2.4
			12 18 22.5 27	28 22 17.5 13	消波工連続堤 1.2 1.6 2.4
		30	8 12 15 18	22 18 15 12	消波工連続堤 1.2 1.6 2.4
			12 18 22.5 27	28 22 17.5 13	消波工連続堤 1.2 1.6 2.4
			12 18 22.5 27	28 22 17.5 13	消波工連続堤 1.2 1.6 2.4

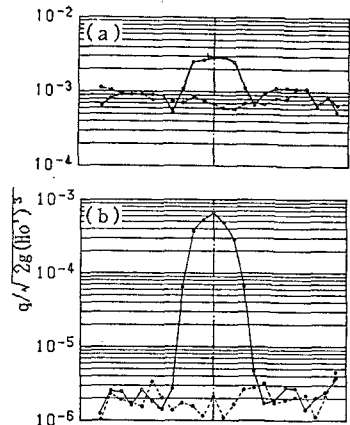
央における沖岸方向（9点）および護岸法線位置における法線延長方向（9点）の波浪検定を行った。その結果沖岸方向の波高変化については、合田（1975）の碎波帯内の波高算定図と良い一致を示した。また、法線延長方向の波高は24個の集水枡を設置した水槽中央部9.6mの範囲では、平均波高の±5%以内のばらつきに納まった。

測定した越波は、無次元越波流量で整理した。無次元化に要する換算沖波波高値は、越波集水時に造波機前面において入反射波分離測定（合田ら、1976）を行い、入射波波高を沖波に換算して求めた。斜め入射実験では、多方向の反射系が形成されるので入反射分離測定の意味が無いため、通過波状態での造波機前面における入反射分離測定結果に基づく換算沖波波高値を用いて無次元化を行った。

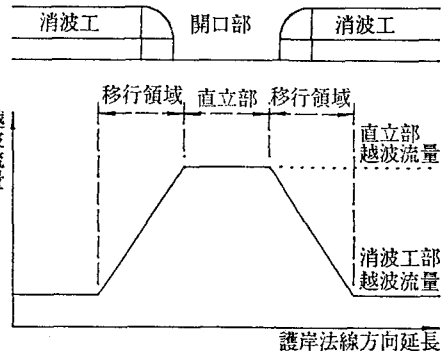
3. 越波流量分布形状

越波流量分布の例を、図—3 に示す。図中の実線が開口部を有する場合の分布形であり、破線は消波工連続堤での分布形である。図—3 の（a）と（b）の分布形の違いに示されているように、直立部と消波工部の越波流量値の差異が大きい場合には、消波工端部における急激な越波流量の変化と直立部中央における分布形の尖度の増大が見受けられる。逆に、直立部と消波工部の越波流量値の差異が小さくなるほど消波工不連続部全体の越波流量変化は緩やかとなり、直立部中央付近はほぼ一様と見做しうる分布となる傾向にある。

消波工不連続部の越波流量分布の近似形としては、図—4 に示す台形分布が考えられる。ここで、不連続部周辺の越波分布を量的に把握するために明らかにしなければならない点は、（1）直立部幅（ D_p ）および移行領域



図—3 越波流量分布測定例



図—4 消波工不連続部の越波流量分布近似形状

幅（ D_s ）（2）移行領域の分布形、（3）直立部の越波流量を一樣な分布と見做せるか否か、（4）直立部および消波工部の越波流量値、等が挙げられる。

上記の各項目を検討するために、まず直立部の一様性を検討した。その結果、直立部幅を $B=2.4m$ で $1.6m$ ($D_p/H_0'=16.0$)、 $B=1.6m$ で $0.8m$ ($D_p/H_0'=8.0$)、 $B=1.2m$ 以下では $0m$ （三角形分布）と設定すると、ピーク越波流量と平均越波流量の差異が殆どなくなり、ほぼ直立部の越波流量を一樣と見做し得ることが明らかとなった。

次に、移行領域の幅と分布形を検討するために全測定結果について検討した。その一例を、図—5 に示す。図—5 の（a）は、上記の直立部幅に対応した平均越波流量を1.0、消波工連続堤での越波流量を0.0として直立部両側の分布形を示したものであり、（b）は直立部端から0.8m 位置において完全に連続堤での越波流量に達すると仮定して描いたものである。ここに示した例は、典型的な分布形であるが、他の条件においても同様な傾向が見受けられた。よって本実験の範囲内においては、移行領域幅を $D_s=0.8m$ ($D_s/H_0'=8.0$) と見做して差し支

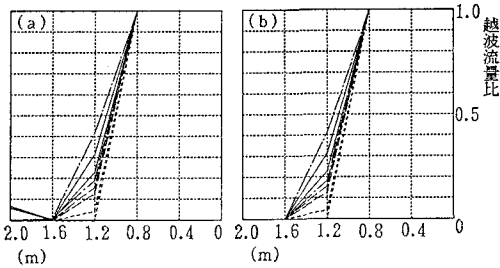


図-5 移行領域越波分布形の一例

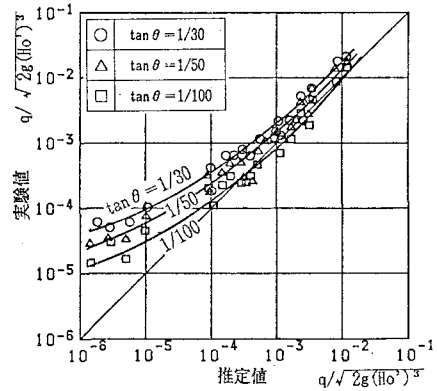
えないと考えられる。また、移行領域の分布形は図-5に示す様に、直立部端からの水平距離に対して対数的な低減を示す分布形が多く見受けられたが、消波工不連続部全体の越波流量オーダーの高いケースで線形的な低減を示す場合があった。したがって、設計上は安全側となる、水平距離に対して線形な低減を設定するのが妥当と考えられる。

4. 代表断面の越波流量特性

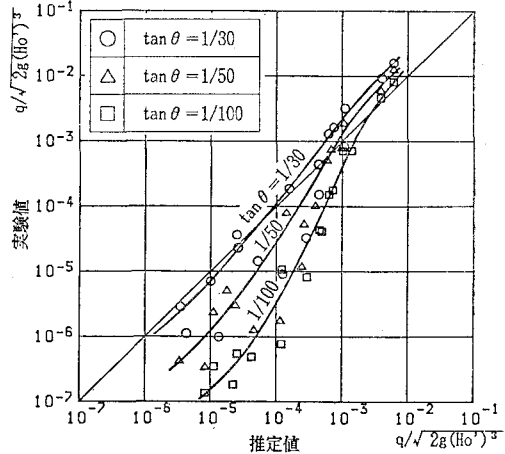
上記の検討により消波工不連続部における越波流量分布形状を明らかにすることができたが、実際に越波分布を推定するためには、直立部および消波工部の越波流量値を推定する必要がある。

そこで、直立部については4.で示した直立部幅に対応する越波流量を直立部の実験代表値とし、消波工部については消波工連続堤での越波流量を消波工部の実験代表値として、既往の越波流量推定方法による推定値と比較を行った。これにより、本実験結果の特性を明らかにするとともに、既往の推定方法の応用性を検討した。既往の推定方法として、任意の波浪、護岸条件に対して数値的に算定できる高山ら(1982)の推定方法を用い、本実験条件に対する推定値を算定した。

その結果、直立部および消波工部での実験値と推定値の対応関係が、図-6に示す通りとなった。直立部の実験データは、開口幅の最も広い $B=2.4\text{m}$ に対応するものである。消波工部は、直立部の結果に比してばらつきが大きいことは否めないが、異なる波浪、護岸条件の結果を同一図面に載せているにも関わらず、近似曲線で示すように海底勾配に対して系統的な関係が見受けられる。ここで、合田(1975)の越波流量算定図における推定値に対する真値の想定範囲を参照すると、ほぼ 10^{-3} 以上のオーダーでは想定範囲に入っているが、それ以下のオーダーでは直立部では海底勾配が急なほど、逆に消波工部では海底勾配が緩いほど想定範囲から外れる傾向にある。この原因として直立部に関しては、消波工端部から発している散乱波等の影響を受ける分、直立部護岸前面波高が大きくなり、直立護岸として算定している推定値よりも実験値の方が大きくなったと考えられる。な



(a) 直立部



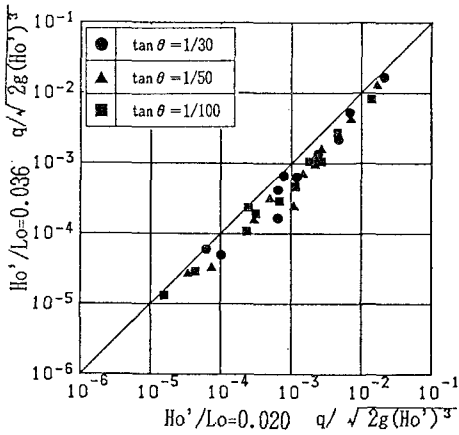
(b) 消波工部

図-6 高山の推定値と実験値の関係

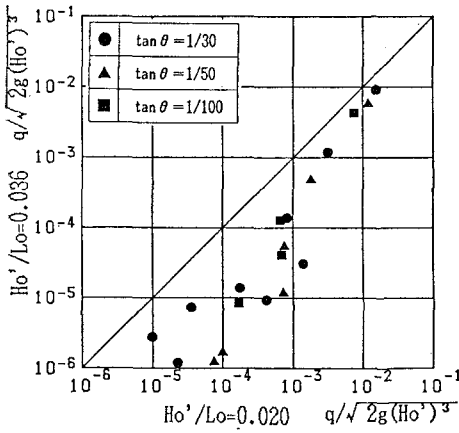
お、数ケースについて護岸前面における水位の上昇および変動について検討したが、有意な量が確認されなかったため、補正は加えなかった。何れにしても、消波工不連続部周辺の越波流量を推定する際には、高山の方法による推定値をここで得られた関係を用いて補正することができると考えられる。また、従来の実験に比して海底勾配の緩い、1/50、1/100の結果を示しているの、海底勾配間の越波流量変化率を図-6から読み取ることもできる。

次に、波形勾配の違いに着目してデータを整理したのが図-7である。これらによると直立部では2種類の波形勾配間の越波流量比率はほぼ一定であるのに対し、消波工部では異なっている。

さらに、直立部と消波工部の各実験代表値間の関係を示したのが図-8である。これによると、消波工の効果は、越波流量オーダーが低いほど顕著であることが分かる。波形勾配あるいは海底勾配による差異は明瞭ではない。



(a) 直立部



(b) 消波工部

図-7 異なる波形勾配間の関係

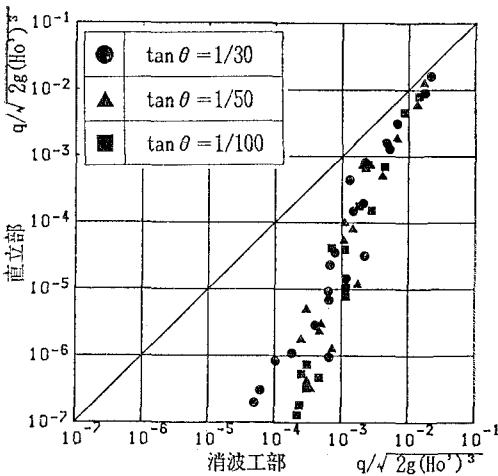
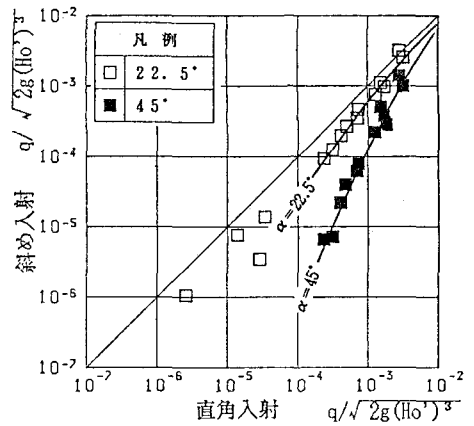


図-8 直立部と消波工部の関係

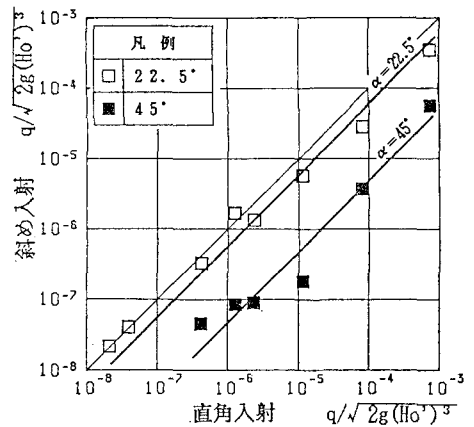
5. 斜め入射実験結果

入射角度の違いによる越波流量変化を検討した。比較に供したデータは、 $B=1.6\text{m}$ 、 2.4m の2種類の開口幅についてである。比較にあたっては、斜め入射時の越波分布が直角入射時とは異なり、直立部越波の分布重心が波の進行方向に対して下手側に移動する傾向が見受けられたので、入射角度に応じた直立部幅を検討した。その結果直立部幅が集水桁幅単位ではあるが入射角度 22.5° では 0.8m 、 45° では 1.6m だけ直角入射時に対して下手側に拡張されることが明らかとなったので、各直立部幅に対応した直立部代表値を算定した。図-9に、直立部および消波工部における直角入射と斜め入射の越波流量の対応関係を示した。

ここに示す結果から、直立部と消波工部では斜め入射による越波流量の低減傾向は異なり、消波工部では越波流量オーダーに係わらず入射角度に応じて一定比率の低減傾向を示しているが、直立部では越波流量オーダーに



(a) 直立部



(b) 消波工部

図-9 直角入射と斜め入射の関係

より低減比率は異なる。これにより、消波工部については越波流量オーダーによらない低減関数提示の可能性があると考えられるが、直立部については越波流量オーダーに対する配慮が必要であると考えられる。

6. ま と め

消波工不連続部の越波特性について検討した結果、以下に示す成果を得た。

(1) 消波工不連続部の越波分布は、消波工開口中央部を一樣な越波量とした台形分布で仮定することができる。

(2) 消波工部から直立部に移行する間の越波流量分布を、設計に適用するにあたっては護岸法線方向の水平距離に対して線形的低減関係を仮定できる。

(3) 直角入射時の消波工不連続部における移行領域幅を $D_s/H_0'=0.8$ 、消波工部から移行領域への変化点を消波工法肩より $0.5 \times D_s$ の位置、直立部幅を $B-D_s$ と設定することにより、越波流量分布測定結果と良い一致を示す。

(4) 直角入射時の直立部と消波工部について、高山ら(1982)の越波流量推定値と本実験結果の比較により、

図-6 に示すような海底勾配 (1/30, 1/50, 1/100) の別による系統的な関係が得られた。また、各海底勾配間の越波流量の関係を知ることができた。これにより、直立部および消波工部の越波流量を高山の推定方法で算定し、図-6 により補正することによって消波工不連続部の越波流量を算出できる。

(5) 同一条件下にある直立部と消波工部の越波流量の関係を図-8 に示した。

(6) 直立部と消波工部について、直角入射と斜め入射 (入射角度 : 22.5° , 45°) の越波流量の対応関係を図-9 に示した。

参 考 文 献

- 合田良実 (1975): 浅海域における波浪の碎波変形, 港研報告, 第14巻, 第3号, pp. 59~106.
合田良美・岸良安治・神山 豊 (1975): 不規則波による防波護岸の越波流量に関する実験的研究, 港研報告, 第14巻, 第4号, pp. 3~44.
合田良美・鈴木康正・岸良安治・菊地治 (1976): 不規則波実験における入・反射の分離推定法, 港研資料, No. 248, 24 p.
高山知司・永井紀彦・西田一彦 (1982): 各種消波工による越波流量減少効果, 港研報告, 第21巻, 第2号, pp. 151~205.