

不規則波に対する護岸の期待越波流量について

合 田 良 実*・竹 田 英 章*

1. ま え が き

海岸堤防や防波護岸の計画で最も重要なのは、天端高の選定である。この考え方としては、波の最大打ち上げ高および許容越波量の2つがある。もし護岸の天端高を最大打ち上げ高さ以上にすることができれば申し分ないが、実際の波の不規則性を考えると、設計有義波高の数倍の高さにしないと波浪群中の最高波の実質的越波を阻止できないのであり、実現不可能である。これは消波工を設けた場合でもいえることで護岸の天端高を(1.0～1.5) $H_{1/3}$ 程度にとる限り、波浪群中の何波かは、しぶきなどではなしに実質部分の越波を生ずることを想定しておかなければならない。したがって、計画天端高においてどの程度の越波量または平均越波流量を見込むべきかが計画の問題となるはずである。

越波量に関しては京大防災研の実験¹⁾を始めとして各種の研究が行なわれすぐれた成果が上げられているが、これらはそのほとんどが規則波に関するものである。現実問題となるのは、波高が0から $H_{\max}$ まで分布した不規則波の越波であり、規則波のデータをそのまま使うわけにはいかない。このため筆者らは先に不規則波の期待越波流量の計算方式を示し、具体例について試算を行なった^{2), 3)}。

今回、不規則波発生水路において実験を行なう機会が得られたので、この計算方式の妥当性について実験的に検討し、さらに既往の実験データを用いて直立護岸および消波護岸の期待越波流量の一般的推定を行なった。ここにその概要を報告する次第である。

また、本報告において使用する記号および定義を一括して示すところとおりである。

H : 波高 (m)

H_0 : 沖波波高 (m)

$\bar{H}$: 平均波高 (m)

$H_{1/3}$: 有義波高 (m)

$(H_{1/3})_0$: 沖波有義波高 (m)

L_0 : 沖波波長 (m)

N : 波の総数

$P(\eta)$: η の未超過確率

$P(H)$: レーリ分布による波高の未超過確率

ΔP_i : 波高区分 ($H_i - \Delta H/2$) $\sim$ ($H_i + \Delta H/2$) に対する波高の出現確率

Q : 単位幅当りの越波量 (m^3/m)

R : 護岸の静水面からの天端高 (m)

R' : 消波工天端高 (m)

T : 周期 (sec)

$\bar{T}$: 平均周期 (sec)

$T_{1/3}$: 有義周期 (sec)

V : 風速 (m/sec)

g : 重力加速度 ($9.8 \text{ m}/\text{sec}^2$)

h : 護岸前面水深 (m)

i : 海底勾配

n_i : 波高区分 ($H_i - \Delta H/2$) $\sim$ ($H_i + \Delta H/2$) に対する波の出現度数

q : 単位幅当りの越波流量 ($\text{m}^3/\text{m} \cdot \text{sec}$)

q_i : 波高 H_i に対する規則波越波流量 ($\text{m}^3/\text{m} \cdot \text{sec}$)

q_{exp} : 期待越波流量 ($\text{m}^3/\text{m} \cdot \text{sec}$)

$\eta = H/\bar{H}$

2. 不規則波による越波流量の実験

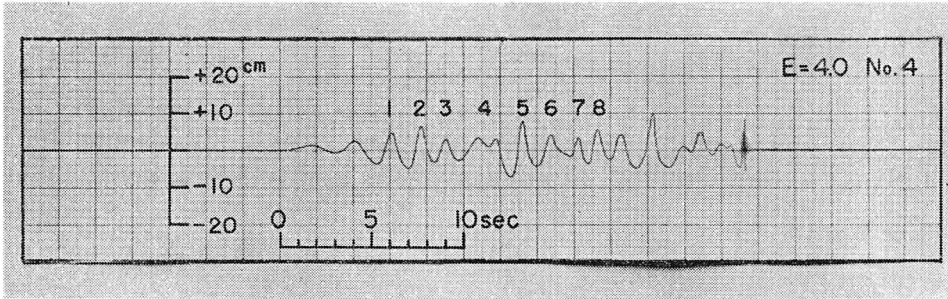
(1) 実験施設、実験装置および実験方法

実験施設として、長さ 32 m、幅 0.5 m、高さ 1.2 m の不規則波発生水路⁴⁾を使用した。この水路は港研水工部観測調査課で設計・製作したものである。

造波装置は、電氣的に 10 個の正弦波を発生させてそれらを合成する関数発生装置と油圧制御装置で構成されている。関数発生装置には、周期 0.50、0.65、0.83、1.07、1.38、1.77、2.30、2.88、3.84 および 5.00 秒の正弦波を発生させる 10 個の出力設定ダイヤルとそれらの合成波の振幅を調整する出力調整ダイヤル 1 個が付属している。油圧制御装置は、油圧弁と油槽、油圧パルスモータ、およびピストン型の造波板より構成されている。なお造波装置にはこのほかに、フィードバック機構ならびに安全装置が付属されている。実験の際は、10 個のダイヤルの目盛を設定してそれぞれ周期・振幅の異なる 10 個の正弦波を発生させ、この合成波の振幅を出力調整ダイヤルで調整する。この合成波形によって制御される油圧弁によって油圧パルスモータが駆動され、これに直結した造波板によって不規則波が発生される。もし、1 個の正弦波を用いれば、規則波が発生される。な

* 正会員 運輸省港湾技術研究所水工部

図-1 実験不規則波の一例
実験不規則波 (護岸通過波)
 $H_{1/3}=12.6\text{ cm}$, $T_{1/3}=1.60\text{ 秒}$



お, 最大発生波高は 30 cm である。

水路は, 造波板の前方 2.5 m から始まる仕切壁によって実験水路と検定水路とに二分されており, また造波板から 10.5 m の地点より海底勾配 1/20 の斜面が設置されている。

斜面の先端より 5 m 後方に直立護岸を設置して, 護岸前面の水深を 35 cm として実験を行なった。護岸を越えた水は, 護岸後方のマスに導かれる。このマスは常時荷重計を介して吊り下げておき, 越波水量の時間的変化がペン書きオシロ グラフに記録されるようにした。波形記録としては, 抵抗線式波高計を用いて, 実験水路ならびに検定水路の護岸設置点の波形を記録した。なお, 護岸設置後はその前方 1 cm に波高計を置き, 越波時の水位変化を越波量と同時に記録した。

実験は, 護岸からの反射波が造波板で再反射されて護岸に達する前に打ち切られた。すなわち, 波群の先端は長波の速度で進むが, この部分は減衰が激しいので, $T=1.6$ 秒の波の位相速度を考え, 造波板が動き始めてから波が護岸との間を 1 往復半する時間 23.5 秒を実験時間とした。ただし, 波形記録の最初の部分は長周期成分しか含まれないので, 群波の先端が到達する 10.3 秒以降 23.5 秒までの約 13 秒間を測定時間とした。また規則波に対しては, 同様の考察により 3~4 波目より 8~10 波目までの波について実験を行なった。

この水路では同一波形の不規則波をくり返し再現できないので, 当初は護岸を設置したときの入射波として検定水路の波形記録を使用する予定であった。しかし, 護岸設置前の測定で実験水路と検定水路の波高に差が見られたので, 越波実験の不規則波の諸元は実験水路の護岸を設置しないときの通過波の波形記録を用いて算出することにした。なお, 護岸の設置前および設置後の不規則波の同一性は検定水路の波形記録の χ^2 検定によって確認した。

護岸を設置しないときの通過波高としては, 規則波では実験を 3 回くり返してその平均波高を用いた。不規則波の諸元はつぎのようにして求めた。すなわち, 1 回ごと

の実験によって 図-1 のような記録が得られるのでゼロアップクロス法によって各波を定義し, 実験を 20 回くり返して累計約 170~190 波の波形記録を求め, 各波の周期, 波高を読み取って $H_{1/3}$, $T_{1/3}$ などを算出した。

規則波の越波流量 q は, 実験を 5 回くり返して 1 波の平均越波量 Q を求めその値を周期で割って算出した。不規則波の平均越波流量 q は, 実験を 20 回行なって越波総重量 ΣQ を求めてその値を計測時間の総和で割って算出した。さらに不規則波に対しては 1 波ごとの越波量と周期を記録紙より読み取って, 1 波ごとの越波流量を求めた。

実験は, 天端高 12.8 cm および 9.4 cm の直立護岸に対して, 5 種類の不規則波および周期 1.77 秒と 1.38 秒の規則波について行なった。

(2) 実験不規則波の性質

造波装置の 10 個のダイヤルの組み合わせを一定にして, 出力調整のダイヤルのみを変えて 5 種類の不規則波を発生させた。これらの不規則波の諸元は表-1 のとおりである。

実験不規則波の有義波高と平均波高の比はほぼ 1.4~1.5 であり, 有義周期と平均周期の比は 1.0~1.1 である。

実験波の波高分布を求めたものが 図-2 である。図中の直線は $P(\eta)=1-\exp[-\pi/4\cdot\eta^2]$ のレーリ分布⁵⁾を示す。同図によれば, 実験波はレーリ分布で示される波にくらべて波高の大きな部分が少なく, 実験波はほぼ $P(\eta)=1-\exp[-\pi/4\cdot\eta^{2.5}]$ で表わされる。また, $H_{1/3}=10.5\text{ cm}$, $T_{1/3}=1.56\text{ 秒}$ の波について通過波の波形の連続記録をとって, そのうちの 124 波についてパワー スペクトルを計算した結果が 図-3 である。5 種類の実験波はダ

表-1 実験不規則波の諸元

	N (波)	$\bar{H}$ (cm)	$H_{1/3}$ (cm)	$\bar{T}$ (秒)	$T_{1/3}$ (秒)
①	188	5.3	7.5	1.43	1.54
②	180	7.0	10.5	1.51	1.56
③	188	8.4	12.6	1.51	1.60
④	174	10.0	14.8	1.60	1.81
⑤	170	11.4	16.4	1.58	1.77

図-2 実験不規則波の波高分布

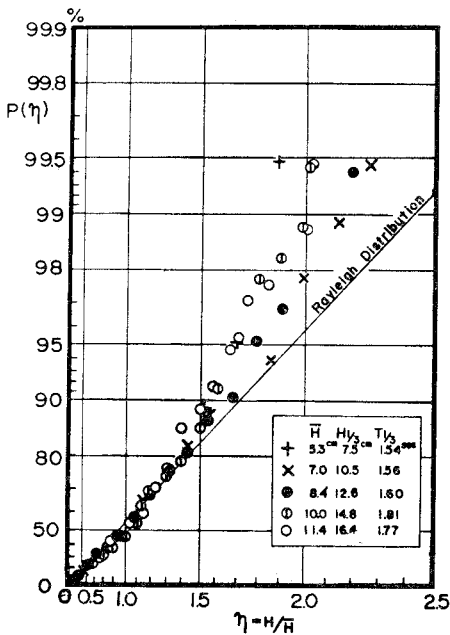
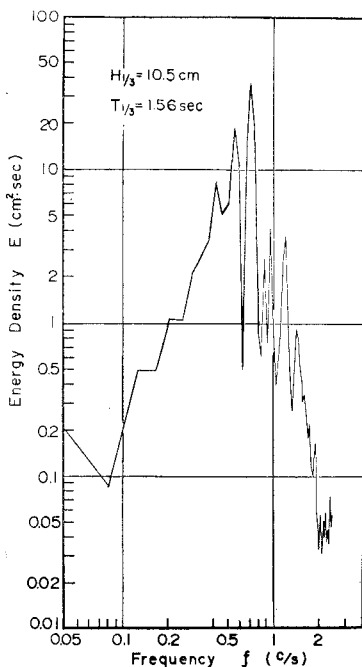
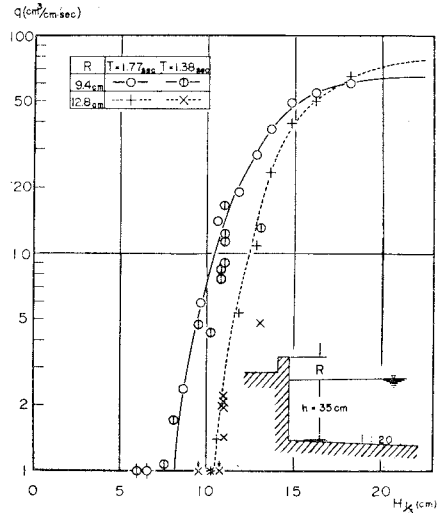


図-3 実験不規則波のパワースペクトル



イアルの組合せを一定にして出力調整のダイヤルのみを変えことによって起こされたものであるから、他の波のパワースペクトルもほぼ似たような形になるものと予想される。実験不規則波は図-3からわかるように線スペクトルの性質が強い。しかし、波の越波流量におよぼす不規則性の効果を検討するためには差しつかえないと思われる。

図-4 規則波による直立護岸の越波流量



(3) 実験結果とその考察

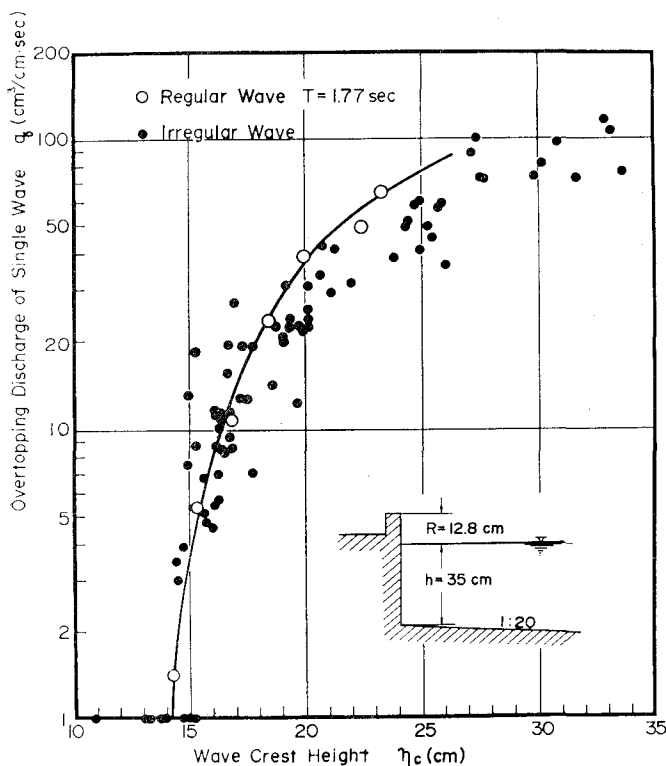
天端高 9.4 cm ならびに 12.8 cm について、周期 1.77 秒および 1.38 秒の規則波に対する越波流量を求めたものが、図-4 である。図中、天端高 9.4 cm に対する越波流量は、波高の大きい波については越波した水の一部が堤外に流れ出したので、やや少なめになっている。同図によれば、周期 1.77 秒と周期 1.38 秒の越波流量はあまり変わらないので、越波流量曲線としては図中の実線 ($R=9.4$ cm) および破線 ($R=12.8$ cm) で表わすことができる。

つぎに図-5は、周期を全く考慮せずに不規則波の一波ごとの越波流量と護岸前面の波頂高との関係を示したものである。図-5は天端高 12.8 cm に対するもので、比較のために周期 1.77 秒の規則波の越波流量を白丸で示した。同図によれば、不規則波の一波ごとの越波流量は波頂高が小さいときにはばらつきが大きいけれども、規則波の越波流量にほぼ等しい。波頂高が大きくなると不規則波の越波流量は規則波とほぼ等しいかやや少なめになっている。同様に、天端高 9.4 cm についても不規則波の1波ごとの越波流量と波頂高の関係は周期 1.77 秒の規則波の場合とくらべた結果では、天端高 12.8 cm のときとは逆に、波頂高の小さなきには越波流量がやや少なく、波頂高の大きなきには越波流量はばらつきが大きいけれどもほぼ同じであった。

波頂高は主として波高に支配されるので、不規則波の1波ごとの越波流量と波高との関係もまた図-5とほぼ同じようになると考えられる。したがって、実験不規則波の1波ごとの越波流量は図-4の規則波の越波流量とほぼ等しいかやや少なめであろう。

いま、不規則波が相当長時間続いたときの総越波量 Q が不規則の1波ごとの越波量の和によって表わすことができるものとするれば、波の平均周期を $\bar{T}$ 、越波限界以上

図-5 不規則波の一波ごとの越波流量と波頂高との関係



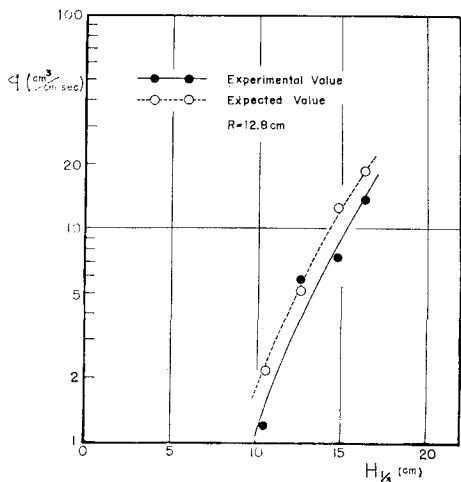
この想定期間中の平均越波流量は

$$q_{exp} = \frac{Q}{N \cdot T} = \sum_{i=1}^{\infty} (q_i \times \Delta P_i) \dots\dots\dots (2)$$

で表わされる。式(2)で波高区分 $\Delta H \rightarrow 0$ の極限を考えると、この式の右辺は $q(H)dP \cdot (H)$ を $H=H_c \sim \infty$ で積分する形すなわち期待値の計算になる。式(1)および式(2)は N が十分大きいとの前提で導いたものであるから、観測時間を比較的短くとればその期間中の平均越波流量は波高の大きな波の出現状況に応じて変動する。式(2)で与えられる越波流量は、こうした比較的短時間に対する平均越波流量を多数集めたときの平均値であるといえる。このような意味から、式(2)の流量を期待越波流量^(2),3),6)と呼ぶことにした。

不規則波の平均越波流量が式(2)によって表わされるかどうかを検討するために、実験不規則波の各波高区分に対する波数を求めて図-4の規則波の越波流量曲線から期待越波流量を計算した。そして、不規則波による越波量実験結果から求めた平均越波流量と比較したのが、図-6および図-7である。図-6

図-6 期待越波流量と平均越波流量との比較 (天端高 12.8 cm)



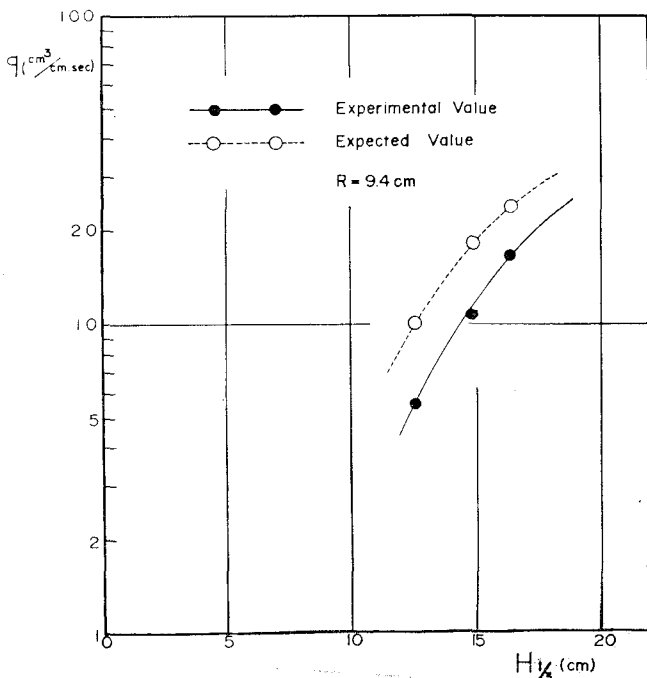
の波高を ΔH ごとに区分した各波高区分 ($H_i - \Delta H/2 \sim (H_i + \Delta H/2)$) の出現度数を n_i 、波高 H_i に対応する越波流量を q_i として

$$Q = \sum_{i=1}^{\infty} q_i \times n_i \times T \dots\dots\dots (1)$$

で求められる。ここで、この想定期間中の全波数を N とすると、 N が十分大きければ、各波高区分の出現率 n_i/N はその波高区分の出現確率 ΔP_i にほぼ等しい。この出現確率を用いると、

は天端高 12.8 cm に対するものであり、図-7 は天端高 9.4 cm に対するものである。両図とも、期待越波流量は実験値にくらべてやや大きくなっている。これは、図

図-7 期待越波流量と平均越波流量との比較 (天端高 9.4 cm)



5 からもわかるように、不規則波の一波ごとの越波流量が図-4の規則波の越波流量にくらべてやや小さかったためと考えられる。もし、不規則波の一波ごとの越波流量に相当する規則波の越波流量を用いれば、期待越波流量と不規則波の平均越波流量とは一致するものと思われる。

したがって、期待越波流量は不規則波の平均越波流量のよい近似値を表わすと考えられる。

3. 期待越波流量の試算

(1) 越波流量の無次元表示

a) 直立護岸

前節のように、不規則波の越波流量を規則波の積み重ねとして計算できることが確認されたので、つぎに期待越波流量をつぎのように無次元化して、既往の越波量データを整理した。

$$q/\sqrt{2gh^3} = \phi(H_0/h; R/h, h/L_0, i) \dots \dots \dots (3)$$

この表示方法は、吉川ほか⁷⁾による $q/\sqrt{2gh^3}$ を想定し、これを期待越波流量の計算に便利なような書かえたもので、 $2\pi Q/H_0L_0$ の方式との換算は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{q}{\sqrt{2gh^3}} &= \frac{1}{4\sqrt{\pi^3}} \frac{H_0}{L_0} \left(\frac{L_0}{h} \right)^{3/2} \cdot \frac{2\pi Q}{H_0L_0} \\ \frac{H_0}{h} &= \frac{H_0}{L_0} \cdot \frac{L_0}{h}, \quad \frac{R}{h} = \frac{R}{H_0} \cdot \frac{H_0}{L_0} \cdot \frac{L_0}{h} \end{aligned} \right\} \dots (4)$$

この表示方式にしたがい、 R/h のほぼ等しいデータごとに実験曲線を定め、これを集成した結果が図-8である。図中のデータは $R/h=1.0$ に相当する。この作成にあたって基準としたデータは京大防災研の越波量算定曲線⁸⁾、B.E.B.の実験値^{9),10)}、由比海岸堤防の消波工なし

の断面¹¹⁾白石・遠藤の実験値¹²⁾、および前節の実験値であり、前面海底勾配は $1/10 \sim 1/30$ である。このうち京大のデータは生の値でなく図中の曲線から h/L_0 の各値に対応する点を式(4)で換算したものである。また、越波量曲線の零点すなわち越波境界の H_0/h は、重複波の波頂高の図表¹³⁾ および有限振幅波の H/H_0 図¹⁴⁾ を用いて計算し、

$H_0/L_0=0.01 \sim 0.03$ の波を対象としてつぎのようにその範囲を求めた。

$$R/h=0.2 \quad H_0/h=0.18 \sim 0.19$$

$$R/h=0.4 \quad H_0/h=0.28 \sim 0.33$$

$$R/h=0.7 \quad H_0/h=0.35 \sim 0.47$$

$$R/h=1.0 \quad H_0/h=0.42 \sim 0.58$$

図-8の作成で一番問題になるのは周期の影響であり、式(3)の表示では h/L_0 で表わされる。一般に越波量は周期の長い波ほど大きく、B.E.B.の実験でも $T_p=15$ 秒の波など他の周期とかけ離れた越波量を示している。しかし、 $H_0/L_0 > 0.01$ の条件を設けると、図-8の例のように実験値のばらつきに隠れてしまい、明瞭には現われない。越波量曲線の零点などは周期の影響が強く現われるところであるが、この付近は波高測定値のわずかの差で越波流量が大幅に変化するところであり、やはり識別がむずかしい。また前面海底勾配の影響も当然に考えられるが、これも実験値から見る限りあまり明瞭でない。図-8は、このような各種の条件を含む実験値を総括して平均的に作成したものであり個々の実験値については隣接する曲線の幅程度のばらつきを含んでいる。

b) 消波護岸

同様に消波護岸に関する各種の実験値から平均的な越波流量を求めたのが図-9である。データとして用いたのは、由比海岸^{11),15)}、大分鶴崎埋立地^{16),17)}、和歌山北港¹⁸⁾、桃取海岸¹⁹⁾、西神戸埋立地^{2),3)}の各護岸模型実験、白石・遠藤による実験値¹²⁾、永井らの実験値²⁰⁾、高田の基礎実験データ²¹⁾であり、 $R'/R=0.5 \sim 1.0$ を対象とした。また、この範囲には含まれなかったけれども岩崎・沼田による庄内海岸の越波模型実験データ²²⁾も越波流量曲線の形状を判断するのに用いた。なお、消波ブロックとしては各種のものが含まれている。

消波護岸の越波流量曲線の零点は、 H_0/h の小さいとこ

図-8 直立護岸の越波流量曲線

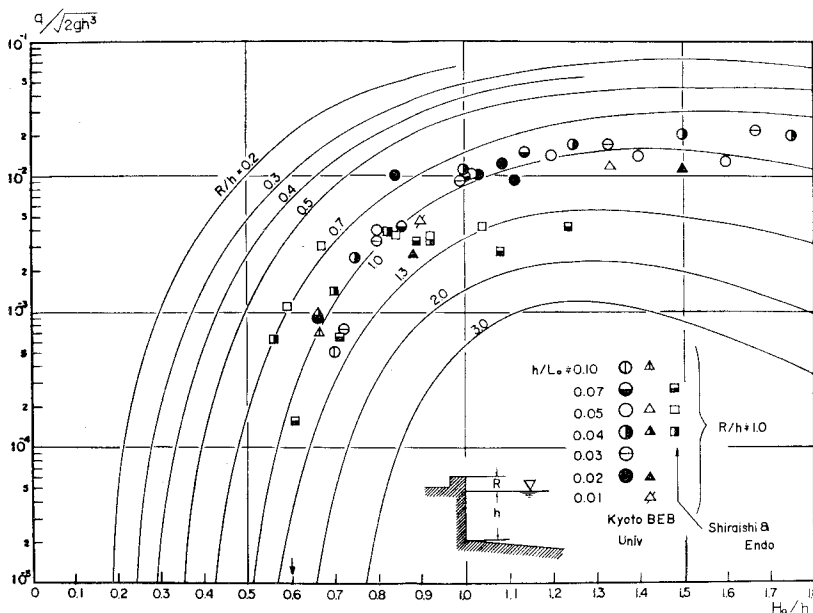
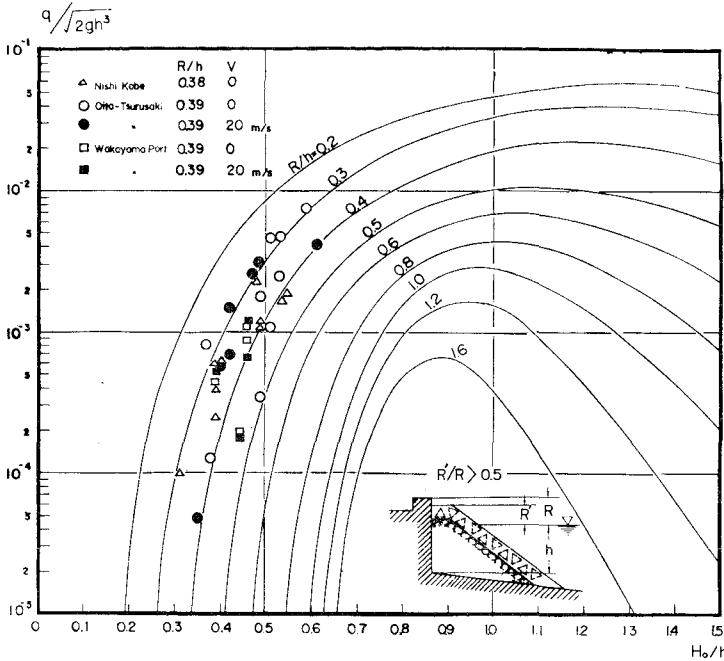
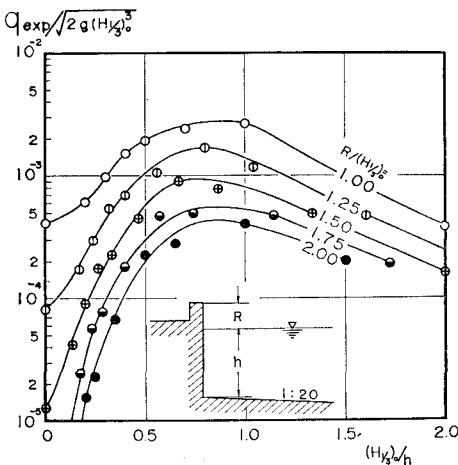


図-9 消波護岸の越波流量曲線



ろでは直立護岸と大差ないことを考慮し、消波工を設けた場合の遡上高の実験値^{(12), (23), (24)}を参照しながら定めた。消波護岸の越波流量は、天端幅、のり先形状、その他によって微妙に変化するため、図-9のような越波流量曲線を作成することは、直立護岸の場合以上に困難である。図-9には比較的まとまっている $R/h=0.38\sim0.39$ のデータを示したが、 R/h が大きいところではばらつきがますます大きくなる。これは遡上限界 ($1.0\sim1.9$) H_0 の変動範囲に実験値が入るためである。また風速の影響は図-9の例のように必ずしも明瞭でない。したがって、このようなデータのばらつきを受容しながら、一応のめやすとして図-9の越波流量曲線を作成した。

図-10 直立護岸の期待越波流量



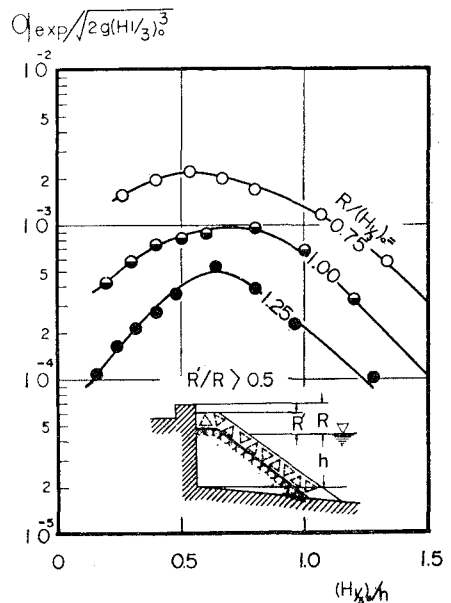
(2) 期待越波流量の計算

図-8 および 図-9 を用いて期待越波流量の計算を行なうためには、あらかじめ波高の出現確率 ΔP_i を求めなければならない。海の波の波浪群における波高のひん度分布に関する理論値としては現在レーリ分布の式が用いられており、この理論値は実際の波浪観測結果にほぼ一致することが知られている。レーリ分布の式によれば波高が 0 から H の間にある確率は $P(H)=1-\exp[-\pi/4(H/\bar{H})^2]$ で表わされる⁵⁾ ので、 $\Delta P_i=P(H_i+\Delta H/2)-P(H_i-\Delta H/2)$ を求めて式 (2) により期待越波流量を計算した。その結果が図-10 ならびに 図-11 である。図-10 は直立護岸、図-11 は消波護岸の期待越波流量である。両図とも、縦軸に期待越波流量の無次元量 $q_{exp}/\sqrt{2g(H_{1/3})_0^3}$ をとり、横軸に沖波有義波高と護岸前面水深との比 $(H_{1/3})_0/h$

をとって、静水面上の天端高と沖波波高との比 $R/(H_{1/3})_0$ をパラメータとして表示したものである。

図-10 によれば直立護岸の期待越波流量が最大になるのは $(H_{1/3})_0/h=0.6\sim1.0$ のときであり、また消波護岸の期待越波流量が最大になるのは図-11 より $(H_{1/3})_0/h=0.5\sim0.8$ のときである。したがって両図について同じ $R/(H_{1/3})_0$ に対する直立護岸と消波護岸の期待越波流量の最大値をくらべると、消波護岸の期待越波流量が

図-11 消波護岸の期待越波流量



最大となるときの $(H_{1/3})_0/h$ の値は、直立護岸の $(H_{1/3})_0/h$ の値にくらべて小さくなっている。またその時の消波護岸の期待越波流量は直立護岸のときのほぼ $1/3$ になっている。天端高 $R/(H_{1/3})_0=1.00$ および $R/(H_{1/3})_0=1.25$ について消波護岸と直立護岸の期待越波流量の比を調べると、 $(H_{1/3})_0/h=0.3$ 以下では 10 割～ 5 割、 $(H_{1/3})_0/h=0.4\sim0.7$ ではほぼ 4 割、 $(H_{1/3})_0/h=1.0$ 以上では 2 割以下となり、消波工は $(H_{1/3})_0/h$ が大きいところほど効果的であるが、 $(H_{1/3})_0/h$ の小さい場合には越波流量をそれほど減少させないことがわかる。なお、期待越波流量曲線は $q_{\text{exp}}/\sqrt{2g(H_{1/3})_0^3}$ が急激に増減するようなピークがなく滑らかな曲線となっているので、 $(H_{1/3})_0/h$ の値が多少変わっても期待越波流量はそれほど急激に変化することはないと思われる。

図-6 および 図-7 に示す不規則波の越波量実験より求められた平均越波流量を式 (3) のような無次元表示にすると表-2 のようになり、図-10 の期待越波流量の推定値とほぼ一致する。

表-2 実験不規則波の平均越波流量

R (cm)	$H_{1/3}$ (cm)	$T_{1/3}$ (sec)	$R/(H_{1/3})_0$	$(H_{1/3})_0/h$	$q/\sqrt{2g(H_{1/3})_0^3}$
9.4	12.6	1.60	0.71	0.38	2.6×10^{-3}
	14.8	1.81	0.62	0.43	4.1×10^{-3}
	16.4	1.77	0.56	0.48	5.5×10^{-3}
12.8	7.5	1.54	1.60	0.23	2.1×10^{-5}
	10.5	1.56	1.14	0.32	7.2×10^{-4}
	12.6	1.60	0.96	0.38	2.7×10^{-3}
	14.8	1.81	0.84	0.43	2.8×10^{-3}
	16.4	1.77	0.76	0.48	4.2×10^{-3}

いま、一例として護岸前面水深 $h=6$ m, $(H_{1/3})_0=3$ m, $R=3$ m の消波護岸について図-11 から期待越波流量を求めると $q_{\text{exp}}=0.0185 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{sec}$ となる。もし護岸延長 1 km ごとに 1 か所排水施設を設けるとすれば、この施設は最低限度毎秒 18.5 トンの排水能力を必要とすることになる。

図-10 および 図-11 の期待越波流量は、各種の実験データのばらつきを平均して求めた総括的な越波流量曲線 図-8 および 図-9 を用いて計算したものであり、また波高の出現確率はレーリ分布として求めたものであるから、図-10 ならびに 図-11 の期待越波流量曲線には $1/3$ から 3 倍程度の誤差があるものと思われる。

期待越波流量は 2.(3) で述べたようにある程度長時間の平均越波流量である。したがって、護岸背後地区の浸水量などの計算に用いることはできるけれども、護岸裏側の排水孔の設計などのように 1 波ごとの越波量が問題になるときには不適当である。このようなときには、波高の大きい波が続いてやってくるようなモデルを想定して排水施設が満杯になるまでの時間を検討するなどの方法を用いなければならない。あるいは、図-10 や 図-11 の値を適宜割増して用いることも考えられよう。

なお、図-10 の期待越波流量は海底勾配 $1/10$ から $1/30$ までの直立護岸に対するものであり、図-11 は消波工の天端高と護岸の天端高との比が $0.5\sim1.0$ であるような消波護岸の期待越波流量を示すものである。したがって、このような条件にあてはまらない護岸に対しては個別実験を行なって越波流量曲線を求め、波高分布を仮定して期待越波流量の計算を行なうことが必要である。

4. 結 論

越波量実験ならびに期待越波流量の試算を行なった結果、つぎのような結論が得られた。

(1) 直立護岸の越波量実験によれば、不規則波の 1 波ごとの越波流量は規則波の越波流量とほぼ等しいかやや少なめである。

(2) したがって、規則波の越波流量曲線と不規則波の波高出現確率から、不規則波の期待越波流量を求めることができる。

(3) 規則波の越波流量は式 (3) の形に無次元表示することが可能であり、このうち h/L_0 の影響はあまり顕著でなく、一般図表として直立護岸については 図-8、消波護岸については 図-9 が得られる。

(4) 直立護岸および消波護岸の期待越波流量は図-10 および 図-11 のように推定される。

なお、既往の越波量実験結果の取りまとめにあたっては、東北大学 沼田助教授、徳島大学三井助教授、中部工業大学高田助教授、ならびに KK 日本テトラポッド 遠藤氏の各位から越波量の実験データをご提示いただいたことを記し、上記の各位のご好意に深く感謝する次第です。また、本実験は港研鶴田千里水工部長のご指導のもとに行なったものであり、本実験の遂行にあたり港研水工部、阿部淑輝・福森利夫両技官の協力を得ました。ここに記して謝意を表する次第です。

参 考 文 献

- 1) 三井 宏：海岸堤防の越し波防止効果に関する研究，京都大学大学院工学研究科修士論文，昭 32 年 3 月。後述文献 8) による。
- 2) 運輸省港湾技術研究所水工部：神戸市西神戸地区防波護岸模型実験報告，1966 年 2 月，pp. 59
- 3) 山崎 博・鳥居幸雄：西神戸高潮対策事業における消波護岸構造決定について，第 13 回海岸工学講演会講演集，1966 年 12 月，p. 191-197.
- 4) S. Tsuruta: A tentative design of an irregular wave generator, Modern trends in hydraulic engineering research, Golden jubilee symposia, vol. 2, Central Water and Power Research Station, Poona, Jan. 1966, p. 55-59.
- 5) たとえば，井島武士：海岸水理学，水工学便覧，森北出版，昭 41 年 8 月，p. 341-342.
- 6) 合田良実：波浪に関する模型実験の最近の手法について，第 18 回直轄技術研究会資料，運輸省港湾技術研究所，昭 42 年 10 月，p. 26, pp. 53
- 7) 吉川秀夫・椎貝博美・河野二夫：海岸堤防の越波に関する基礎的研究(1)，第 14 回海岸工学講演会講演集，1967

- 年 10 月, p. 118-122.
- 8) 岩垣雄一: 海岸堤防論, 水工学シリーズ 64-08, 土木学会水理委員会, 1964 年 7 月, p. 27, pp. 41
- 9) Saville, T. Jr. and Caldwell, J.M.: Experimental study of wave overtopping on shore structures, Proc. of Minnesota Intern. Hydraulics Convention, I.A.H.R., 1953.
- 10) Saville, T.Jr.; Laboratory data on wave run-up and overtopping on shore structures, B.E.B. Tech. Memo. No. 64, 1955.
- 11) 岩垣雄一・土屋義人・井上雅夫: 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, 1963 年 10 月, p. 132-137.
- 12) 白石直文・遠藤泰司: 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, 1963 年 10 月, p. 138-143.
- 13) 合田良実・柿崎秀作: 有限振幅重複波ならびにその波圧に関する研究, 港湾技術研究所報告第 5 巻 10 号, 1966 年 6 月, p. 35.
- 14) 岩垣雄一・酒井哲郎: 有限振幅波の shoaling について, 第 14 回海岸工学講演会講演集, 1967 年 10 月, pp. 1-7.
- 15) 建設省中部地方建設局: 由比海岸工事誌, 昭 41 年 3 月, pp. 187-281.
- 16) 辰巳寿男: 大分臨海工業地帯における埋立地の消波護岸の設計について, 第 11 回海岸工学講演会講演集, 1964 年 11 月, pp. 239-246.
- 17) 大分県臨海工業地帯建設局・東京大学工学部土木工学科港湾研究室: 大分鶴崎臨海工業地帯水理模型実験報告書(1), 昭 35 年 5 月.
- 18) 永井莊七郎・高田 彰: 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, 1964 年 11 月, pp. 279-286.
- 19) 富永正照・佐久間襄: 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, 1966 年 12 月, pp. 183-190.
- 20) 永井莊七郎・大坪崇彦・遠藤正男: 深い水深における消波堤に関する研究, 第 14 回海岸工学講演会講演集, 1967 年 10 月, pp. 182-187.
- 21) 高田 彰: 消波護岸越波量実験資料.
- 22) 岩崎敏夫・沼田 淳: 海岸護岸波浪実験報告書, 建設工学研究振興会, 昭 41 年 12 月, pp. 101
- 23) 古谷浩三・鴻上雄三・近藤俊郎: テトラポッド防波堤に関する実験的研究, 第 8 回海岸工学講演会講演集, 1961 年 9 月, pp. 91-96.
- 24) 森平倫生・鎌水幸雄: 海岸堤防・護岸の所要天端高におよぼす消波工の効果に関する研究(未定稿), 港研水工部, 1967 年 5 月.