

護岸越波流量の時間変動に関する模型実験

Model Test on the Variation of Wave Overtopping per Wave

高山知司*・鈴木康正**・池田直太***・藤井 久****

Tomotsuka, Takayama, Yasumasa, Suzuki, Naota, Ikeda, Hisashi, Fujii

The variation of amounts of wave overtopping per wave has been measured in hydraulic model test in order to investigate the characteristics of the biggest or the mean amount of one-third biggest amount of wave overtopping. The biggest amount of wave overtopping is in direct proportion to the significant wave period of deepwater waves and the significant wave height of deepwater waves to three fourth power on condition that the crest height of seawall is designed to keep wave overtopping rate constant. The biggest amount of wave overtopping is in direct proportion to the wave overtopping rate to the one-half power if the significant deepwater wave height and period are constant.

Key words: Wave overtopping, Accessible seawall, Model test

1. はじめに

現在、護岸の計画や設計においては、護岸背後地の利用状況や護岸の構造物としての耐久性を総合的に考慮して許容越波流量を決定し、算定した期待越波流量が許容越波流量を越えないように護岸の天端高を決定する方法が用いられている。許容越波流量や期待越波流量は、波数にして100波～200波、時間にして20分～40分程度の間に生じる越波量の護岸幅および時間あたりの平均値を表しており、ある短時間で生じる越波流量は、これらの平均値よりも大きくなる（木村ら, 1981, 井上ら, 1989）。従前においては、護岸が海岸保全施設として機能し、防災上の安全が図れさえすればよいことが多かったために、過去の被災例に基づいて許容越波流量をうまく設定すれば、越波流量の時間的な変動は、大きな問題にはならなかった。

しかしながら近年では、「市民が（海）水に親しみ、かつ楽しむために構造物に立ち入ることのできる機能」すなわち「親水性」ということが重視されるようになってきた。親水性に配慮した護岸の計画や設計を考えると、防災上の安全性を保ちつつできるだけ天端を低くすることや、どこまで人を立ち入らせることができるかということ、また、人の安全を図る施設をどのように造ればよいかなどが問題になる。そして、これらの検討をする上では、越波流量の時間的な変動が重要と考えられる。そこで本研究では、護岸前面水深や天端高、沖波の波形勾配を変えて直立護岸についての越波模型実験を行い、不規則波を作用させたときの越波流量の時間変動を測定し、1波あたりの越波量の最大値および1波あたりの越波量の上位1/3の平均値の特性について調べたものである。

2. 越波流量の時間変動測定法に関する予備的検討

一般に越波模型実験では、ある一定の時間内に護岸模型を越波した水を集水枡に集めてその体積を測定し、それを測定時間で除すことによって越波流量を求めることが多い。本実験では越波流量の時間変化が問題となるので、集水枡の水位を波高計によって測定し、その上昇速度から越波流量の時間変動を求めることにした。しかし、集水枡の中の水面は越波した水が流入することによって激しく乱されることが予想される。そこで、振動する水面の平均的な位置を測定するために下部に穴をあけたアクリルパイプを集水枡の中に立て、パイプ内の水位を測定することにした。このような方法で越波流量の時間変動を測定するとき、次の2つの問題について検討する必要がある。一つは、集水枡の中の水面の振動がパイプ内の水面に伝わるときの伝達率の大きさであり、もう一つは、集水枡の水面上昇に対してパイプ内の水面上昇にタイムラグが生じるかどうかということである。実験の精度をよくするには、伝達率もタイムラグの大きさも小さいほうがよい。そこで、以下に述べるような予備実験によって伝達率やタイムラグの大きさを測定し、パイプの設置位置やパイプ下部に設ける通水口の面積、パイプの直径などの条件を決定した。

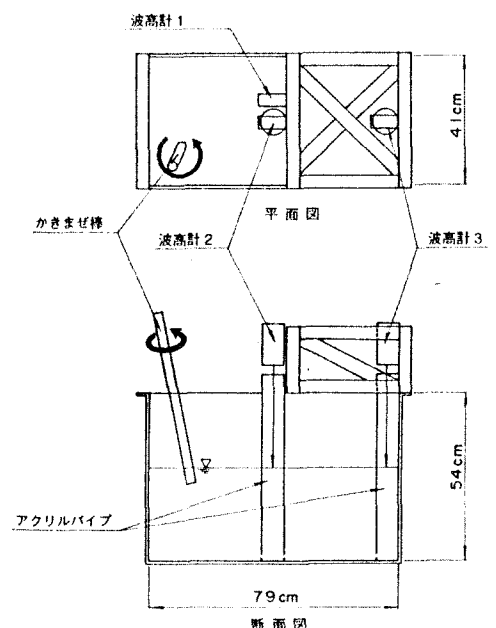


図-1 実験方法(予備実験1-伝達率の測定)

* 工博 正会員 運輸省港湾技術研究所水工部長
 ** 工修 正会員 運輸省港湾技術研究所水工部波浪研究室長
 *** 正会員 運輸省港湾技術研究所水工部波浪研究室(239 横浜買市長瀬3-1-1)
 **** 運輸省第二港湾建設局工務第二課

(1) 集水枡内の水面の振動がパイプ内に伝わる際の伝達率の測定(予備実験1)

図-1は、集水枡の水面の振動がパイプ内に伝わる際の伝達率を測定するための実験システムを示したものである。実験では、かきまぜ棒で起こした集水枡の水面の擾乱を波高計1で1分間測定するとともに、集水枡の中央と端にとりつけたパイプ内の水面の変動を波高計2と波高計3によってそれぞれ測定した。パイプは、直径70mmと110mmの2種類のものを用意し、パイプ下部における通水口は直径10mmの円形とした。通水口の個数は0, 2, 4, 8と4種類に変えて実験した。穴の数がゼロの場合でも、パイプと集水枡の底板の間に隙間があるため、水はパイプ内に入ることができる。また、集水枡の中の水深は、40cm, 30cm, 20cmと3種類に変えて実験した。

波高計2と波高計3で測定した水面の変動のスペクトルを波高計1で測定した水面の変動のスペクトルで除すことによって集水枡の水面の振動がパイプ内に伝わる際の伝達率を周波数別に計算した。その結果、伝達率は0.8Hz～1.0Hz付近で最大の値を示した。そこで、ピークとなる周波数における伝達率を求めて集水枡の水深との関係を示したのが図-2である。これによると伝達率の特性について次のようなことがわかる。

- (a)パイプの設置位置は集水枡の端よりも中央のほうが伝達率が小さい。
- (b)集水枡の水深は深いほうが伝達率が小さい。
- (c)パイプの直径は大きいほうが伝達率が小さい。
- (d)パイプの通水口の個数は少ないほうが伝達率が小さい。

(a)は、集水枡の長手方向の固有振動を考えたときに端が固有振動の腹の部分になり、集水枡の中央が節になるためと考えられる。(b)は、水面

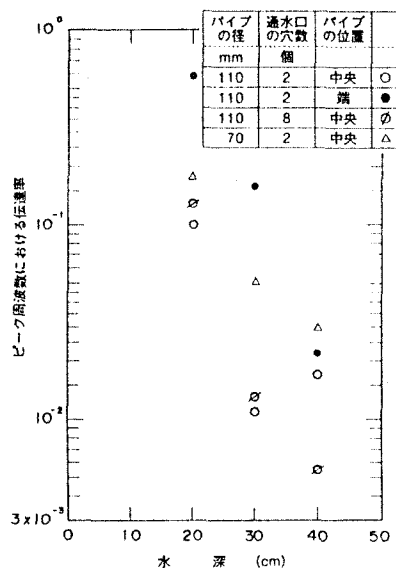


図-2 パイプ内の水面への伝達率

の振動がパイプ下部の通水口に水圧変動として伝わる際の減衰の度合いが、水深に伴って増大するためと考えられる。(c)は、パイプの直径が大きいとパイプ内の水の体積が大きくなり、パイプ内の水を振動させるのに必要なエネルギーが大きくなるためと考えられる。(d)は、パイプの通水口の個数が多いとそれだけパイプ内に水が流入しやすくなるためと考えられる。

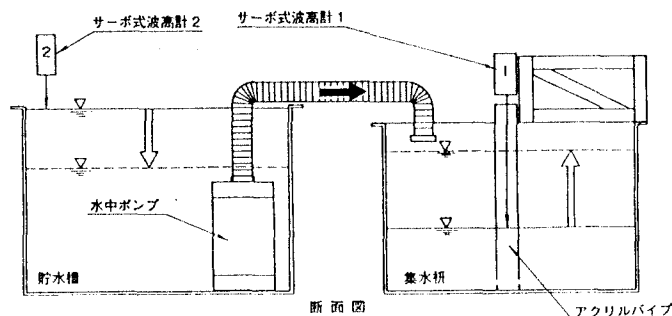


図-3 実験システム(予備実験2-タイムラグの大きさの測定)

(2) 集水枡の水面上昇に対するパイプ内の水面上昇のタイムラグの大きさの測定(予備実験2)

図-3は、集水枡の水面上昇に対するパイプ内の水面上昇のタイムラグの大きさを測定するための実験システムを示している。先に(1)においてパイプの取り付け位置と伝達率の関係について検討した結果から、この実験においては集水枡の中央にパイプを取り付けた。実験では、まず集水枡の中の水深を20cmになるように水を入れ、貯水槽にも水を一杯に満した。集水枡と水槽の水面が静かになったところで水位の測定を開始し、測定開始10秒後から水中ポンプに電源を入れて貯水槽内の水を集水枡内に流し込み、貯水槽内の水位が下がって水中ポンプの上部が水面に現れる直前で水中ポンプを止めた。その後測定開始後1分間経過するまで水位を計測した。そして再び貯水槽に水を一杯に入れ、同様の測定を3回繰り返した。

図-4は、貯水槽内の水位変化から求められる貯水槽から流出した水の体積 $X(t)$ と、パイプ内の水位から求められる集水枡に流入した水の体積 $Y(t)$ の時間変化の一例を示したものである。この図によると $Y(t)$ の変化のほうが $X(t)$ の変化よりも約0.2sほど遅れて生じていることがわかる。

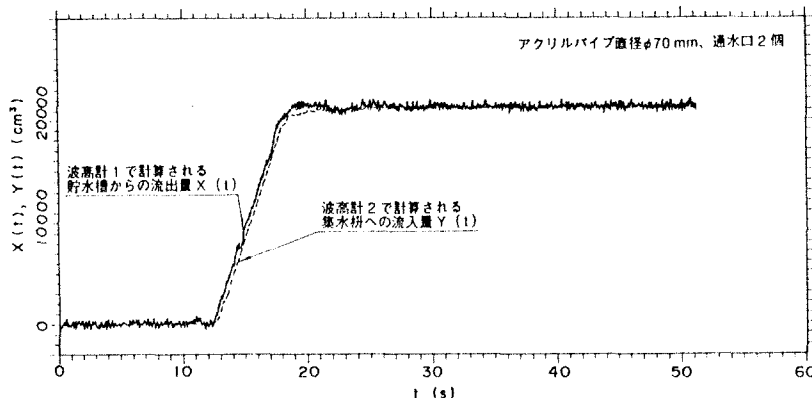


図-4 貯水槽からの流出量 $X(t)$ と集水枡への流入量 $Y(t)$ の関係

そこで次のような方法によってタイムラグの大きさを算定した。まず、 $Y(t)$ を時間 τ だけずらしたときの $Y(t+\tau)$ と $X(t)$ の差を各タイムステップごとに合計した関数 $\chi(\tau)$ を次式によって計算する。

$$\chi(\tau) = \sum_{i=N_1}^{N_2} \{X(t_i) - Y(t_i + \tau)\} \quad (1)$$

但し N_1 と N_2 は、貯水槽から集水枡へ水が流入し始めるタイムステップと流入が終わるタイムステップをそれぞれ示す。図-5はこの $\chi(\tau)$ の τ による変化の一例を示したもので、 $\tau=0$ では $X(t_i) > Y(t_i)$ であるので $\chi(\tau)$ は正の値をとり、 τ の増大とともに $Y(t_i + \tau)$ が増加するために $\chi(\tau)$ は単調に減少し、 $\tau=0.25$ sで $\chi(\tau)=0$ となる。これは、 $\tau=0.25$ sにおいて $X(t)$ と $Y(t+\tau)$ の曲線がほぼ重なりあうためと考えられる。そこで、 $\chi(\tau)=0$ となるときの τ を求めてタイムラグの大きさ τ と定義した。図-6は、この方法によって算定された τ とパイプの下部にあけた穴の個数との関係を示したものである。この図からタイムラグの大きさの特性として次のようなことがわかる。

(e)パイプの直径が小さいほうがタイムラグは小さい。

(f)パイプの通水口の穴の数が多いほうがタイムラグは小さい。

(e)は、パイプの直径が小さいとパイプ内の水の体積が小さくなり、パイプに流入する水の量が少なくてもパイプ内の水位が上昇するためと考えられる。また(f)は、パイプの通水口の面積が大きくなるとパイプ内に水が流入しやすくなり、パイプ内の水位も上昇しやすいためと考えられる。

(3) 考察

越波流量の時間変動を精度よく測定するには、伝達率が小さく、かつタイムラグが小さいことが望まれる。そのためには、以上の予備実験によると(1)で述べた(a)~(d)ならびに(2)で述べた(e), (f)の条件を満たすことが必要である。しかしながら(1)で述べた(c), (d)の条件と(2)で述べた(e), (f)の条件は互いに矛盾し、両者を同時に満足させることはできない。本研究では、護岸に不規則波を連続して作用させたときの護岸の越波流量を測定する。このため、集水枡の中の水面変化の測定にタイムラグがあると、測定した集水枡の水位変化に複数の越波による影響が重なり合ってしまうことになり、1波1波に対応する越波量を定義するのが難しくなることが予想される。そこで、タイムラグが小さくなるほうの条件を優先させることにした。まず、パイプの取り付け位置は集水枡の中央とし、パイプの直径は70mmとした。通水口については、10mmの穴2個と同程度の面積とすることにしたが、一つの穴を小さくして穴の個数を多くしたほうが、水が穴を通るとき摩擦損失が大きくなることによって伝達率が小さくなることが予想される。そこで、1mmの穴を220個あけたものを用意し、(2)で述べた方法によってタイムラグ測定したところ、0.1s程度となり、直径10mmの穴を2個あけたものよりも小さくなった。また、(1)述べた方法によって伝達率を求めたところ、直径10mmの穴を2個あけた条件における伝達率とほぼ同程度となった。このように一つの穴の直径を小さくしても、伝達率が低下しなかった理由は不明であるが、一つの穴の直径が大きいときよりもタイムラグが小さかったので、パイプ下部の通水口は、直径1mmの穴を220個あけることとした。

3. 越波流量の時間変動の測定

(1) 実験水路及び造波装置

実験で用いた水路は、当研究所の長さ40m、幅1.5mの水路で、これを仕切壁によって幅60cmと90cmの2つに仕切り、幅60cmのほうに水底斜面模型及び集水枡を設置して実験を行った。図-7は、水底斜面模型及び直立護岸模型、集水枡、波高計の配置を示したものである。造波装置から11m離れた地点に40cmの間隔において2本の容量式波高計を設置し、これらによって得られた水面波形によって入射波と反射波の分離計算(合田ら, 1976)を行ない、入射波の有義波高が設定した値になっているかどうかを確認した。また、護岸越波流量と護岸前面水位の関係を調べるために護岸前面に護岸から25cm離して容量式波高計を配置して水位を計測した。本研究で用いた造波装置は、ピストン型の不規則波造波装置で、水路内に設置した模型で反射されて造波装置に返ってくる波が、造波板で再反射しないように造波制御(平口ら, 1988)できるものである。

(2) 実験条件

実験の対象とした護岸形式は直立護岸とし、護岸前面の海底勾配 i は1/30とした。護岸前面水深 h は、水深波高比 h/H_0 を0.036, 1.07と変化させた。実務において護岸天端高 h_c は、まず許容越波流量を定めて、予測される越波流量がこれを

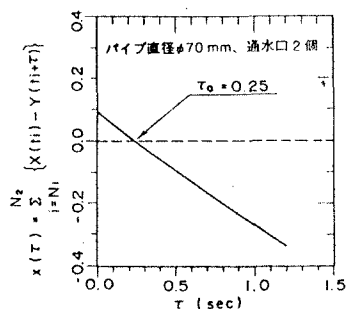


図-5 $\chi(\tau)$ と τ の関係

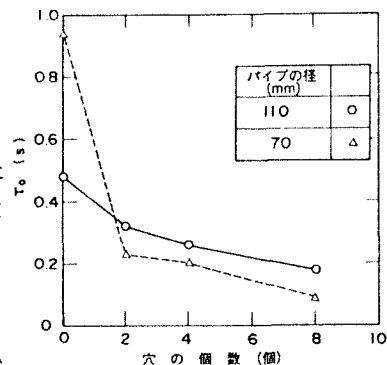


図-6 通水口の穴の数と

タイムラグの大きさの関係

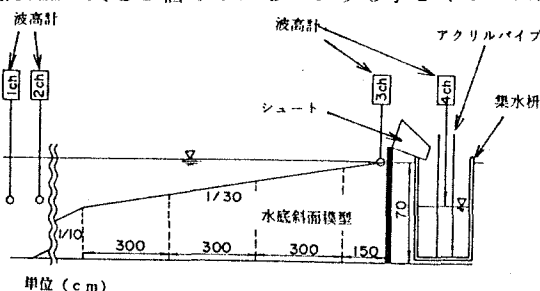


図-7 水底斜面模型と波高計、集水枡の配置

表-1 実験波の諸元

波	H_0 / L_0	H_0 (cm)	T_0 (s)
1	0.012	14	2.73
2	0.017	14	2.3
3	0.036	14	1.58

下回るように設定される。また、許容越波流量は護岸の構造や背後地の利用状況によって、 $0.002 \sim 0.02 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{s}$ 程度に設定されることが多い。そこで本実験では、高山ら(1982)の提案している越波流量算定式によって現地縮尺の越波流量が 0.01 及び $0.05 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{s}$ となる護岸天端高 h_e を求め、実験波の沖波波形勾配及び護岸水深ごとに護岸天端高 h_e を設定した。また、模型縮尺については、目標とする越波流量が有義波周期の100倍の時間継続しても集水枡がいっぱいにならないように考えて、 $1/36$ と設定した。

実験の対象とする波浪としては、現地の設計条件を考慮して、沖波波高 H_o' を 5m とした。また、沖波周期 T_o としては、うねり性の波と風波とでは越波流量の時間変動特性が異なることが予想されるため、沖波波形勾配 H_o'/L_o が $0.012, 0.017, 0.036$ となるように $T_o=16.4\text{s}, 13.8\text{s}, 9.5\text{s}$ と設定した。これらを模型縮尺に換算した諸元を表-1に示す。実験波のスペクトルは、修正Bretschneider-光易型の周波数スペクトル(合田、1987)を目標とした。表-2は、実験ケースを示したものである。同一の波浪条件に対して波連の異なる2種類の造波信号を作成し、一つの実験ケースについて2回実験を行った。越波流量の計測は、いずれの条件においても造波開始2分後から7分間行った。

表-2 実験ケース

護岸水深 h (cm)	目標越波流量 q_e $\text{m}^3/\text{m} \cdot \text{s}$	目標無次元越波流量 q_e^*	H_o'/L_o	天端高 h_e (cm)
0	0.01	2×10^{-4}	0.012	7.0
			0.017	6.5
			0.036	5.8
	0.05	1×10^{-3}	0.012	4.3
			0.017	3.9
			0.036	3.4
5	0.01	2×10^{-4}	0.012	11.5
			0.017	10.3
			0.036	8.3
	0.05	1×10^{-3}	0.012	7.4
			0.017	6.6
			0.036	5.2
15	0.01	2×10^{-4}	0.012	24.7
			0.017	23.0
			0.036	20.0
	0.05	1×10^{-3}	0.012	17.2
			0.017	15.8
			0.036	13.3

(3) 実験結果及びその考察

図-8は、実験によって得られた護岸前面における水面波形 η と集水枡の中の水位 z の時間的な変化の一例を示したものである。図面上部の実線は、護岸前面における水面波形 η を表し、二点鎖線は η を20秒間の移動平均したもので、護岸前面におけるビート状の水面変化を表している。図面中段に示した実線は集水枡の水位 z を表し、点線は z を2秒の移動平均することによって求めた z_m を表している。図面下部のハッチングを施された棒グラフは、次に述べる方法によって算定した1波1波の越波量 Q_w を示したものである。まず、護岸前面の水位 η と集水枡の中のパイプ内の

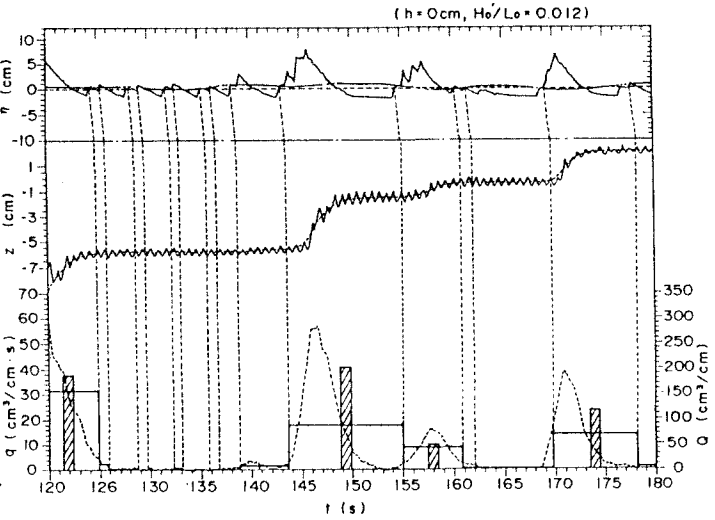


図-8 護岸前面及び集水枡の水位、越波流量、越波量の時間変化

水位の時間変化量 (dz/dt) との相互相関関数を求める。この相互相関関数を全ケースについて検討したところ、 0.5 秒前後にピークが現れたことから、護岸前面の波高計設置点を通過した波は 0.5 秒後に集水枡の中に到達すると考えられる。そこで、ゼロアップクロス法によって定義された護岸前面における波が護岸を越波した場合、 0.5 秒後に集水枡に到達すると考えて、1波1波の越波量を定義した。図-8によると、集水枡の中に立てたパイプ内の水面の水位 z にも微少な振動成分が存在するので、集水枡の中の平均的な水面の位置は、パイプ内の水位 z を2秒の移動平均をかけた z_m として定義した。そして護岸前面における水位がゼロアップクロスして 0.5 秒後の時刻から次にゼロアップクロスして 0.5 秒経過する時刻までの間の集水枡の中の平均的な水面の上昇量 Δz を z_m から求め、 Δz に集水枡の底面積を乗じ、護岸の幅 B で除したものを1波1波の越波量 Q_w とした。また、この Δz をそれぞれの波に対応する波の周期で除することによってそれぞれの波の越波流量 q_w を計算した。図-8下部のグラフの細い実線は、この q_w を示したものである。また、図-8下部のグラフに示した点線は、 z の時間微分から求めた越波流量 q_e を示したものである。

図-8を見ると、1波1波の越波量は波ごとに大きく変動していることがわかる。したがって今後、親水性機能を有する護岸を建設するときには、越波量の変動を考慮して計画、設計する必要があると考えられる。このように大きく変動する越波量をどのような値で代表すればよいかということについては、未だ知見が得られていない。護岸に立ち入る人の安全を考えるには、1波あたりの越波量の最大値が重要と考えられる。しかし、砕波帯の外側では、波高分布はレーリー分布となるため、越波量の最大値は来襲する波数が多くなればなるほど大きくなって、特定の値に収束しないことが予想される。そこで本研究では、先に述べた方法によって定義した1波あたりの越波量についてそれらの最大値とそれらの上位1/3の越波量の平均値の特性について検討した。簡単のため、1波あたりの越波量の最大値を最大越波量 Q_{max} 、1波あたりの越波量の上位1/3の平均値を有義越波量 $Q_{1/3}$ と呼ぶことにする。また、計測時間中に生じた全越波量を護岸幅と計測時間で除することによって平均越波量 $\bar{q}$ を求めた。 Q_{max} 及び、 $Q_{1/3}$ は、 $\bar{q}$ と沖波有義波周期 T_o で除することによって無次元化された。

図-9、10は、護岸の天端高と沖波有義波高の比 h_e/H_o' と無次元化された有義越波量 $Q_{1/3}/\bar{q} \cdot T_o$ の関係と、無

次元化された最大越波量 $Q_{max}/\bar{q}\cdot T_0$ の関係をそれぞれ示したものである。これらの図によると、護岸の天端高が高くなるにつれて有義越波量も最大越波量も増大する傾向が認められ、特に $h_c/H_0'=0.46$, $h/H_0'=0$ の場合には、 $Q_{max}/\bar{q}\cdot T_0$ は150にも達する。これは、1波あたりの越波量の最大値は、従来用いられている方法によって推定される平均越波流量と沖波の有義波周期の積の150倍にもなることを意味している。このようになるのは、護岸の天端高を高くすると、波群の中で越波する波の頻度が減少して時間的に平均した越波流量 $\bar{q}$ が急激に減少するためと考えられる。これとは逆に護岸の天端を低くすると、来襲する波群の中で越波する波の頻度が増大するために、1波あたりの越波量が時間的に平均した越波流量 $\bar{q}$ と T_0 の積に近い値になり、無次元化された有義越波量や最大越波量は減少すると考えられる。

次に、図-9及び図-10に示した無次元化された有義越波量及び最大越波量と天端高の関係における護岸前面の水深や沖波の波形勾配の影響について検討すると次のような傾向が認められる。まず、沖波の波形勾配 H_0'/L_0 が異なっても護岸前面水深と沖波波高の比 h/H_0' が同一で h_c/H_0' がほぼ近い値であれば、無次元化された有義越波量や最大越波量は比較的近い値をとることが認められる。このため、実験結果は護岸前面の水深によって3つのプロット群に分類され、それぞれ護岸前面の水深と沖波有義波高の比ごとに図中に点線で示した曲線の周囲に分布すると考えられる。このように、沖波波形勾配が異なっても無次元化された有義越波量や最大越波量が変わらないのは、沖波波形勾配が変わっても護岸前面の波高の出現頻度分布に大きな差異が生じないためと考えられる。ただし、一般的には波形勾配の小さな波はうねり性の波であるため沖波有義波周期が長い。したがって無次元化した1波あたりの越波量が同一であっても、沖波有義波周期が長くなると、最大越波量や有義越波量の絶対値は周期に比例して増大すると考えられる。これに対して護岸前面の水深によって無次元化された有義越波量や最大越波量と護岸の天端高の関係が変化するのは、護岸前面の水深が異なると、護岸に来襲する波の波高出現頻度分布が大きく変化するためと考えられる。すなわち水深が浅くなると、波高の出現頻度分布における波高の分布する幅が碎波によって狭くなるため、護岸の天端高を高くすることによって護岸を越波する波の出現頻度は急激に減少して平均越波流量も急激に低下する。このため、護岸前面の水深が浅い場合には、護岸の天端高を高くすると無次元化された最大越波量や有義越波量は急激に増大することになる。これとは逆に護岸前面の水深が深い場合には、護岸に来襲する波の波高出現頻度分布はレーリー分布に近づき、比較的広い範囲に波高が分布する。このため、護岸の天端高を高くしても護岸を越波する波の出現頻度は急激には減少せず、平均越波流量も急に低下することはない。したがって護岸前面の水深が深い場合には、護岸の天端高を高くすることによる無次元化された有義越波量や最大越波量の増大は、緩やかになるものと考えられる。

以上の検討において、無次元化された有義越波量ならびに最大越波量が平均越波流量によって変化することが示唆された。そこで、実験で得られた平均越波流量 $\bar{q}$ を $(2gH_0')^{1/2}$ で除すことによって無次元化し、この無次元越波流量と無次元化された有義越波量ならびに最大越波量との関係を求めたところ、図-11、12にそれぞれ示すようになった。これらの図を見ると、図-9、10で検討したように、沖波の波形勾配が無次元化された有義越波量や最大越波量に及ぼす影響は小さく、実験結果は護岸前面の水深によって3つのプロット群に分類されることが認められる。そして無次元越波流量と無次元化された有義越波量や最大越波量との関係は、図中に点線で示すように護岸前面水深をパラメータとする直線でほぼ近似できるようある。これらの直線は右下がりの傾きを示し、無次元越波流量が小さくなるほど無次元化された有義越波量や最大越波量は増大する。これは、無次元越波流量が低下するということが護岸の天端高を高くすることであることを意味しており、天端高が高くなると護

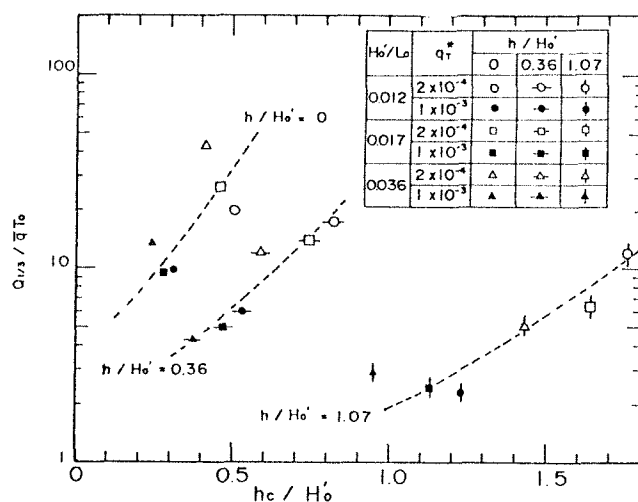


図-9 相対天端高と無次元化された有義越波量の関係

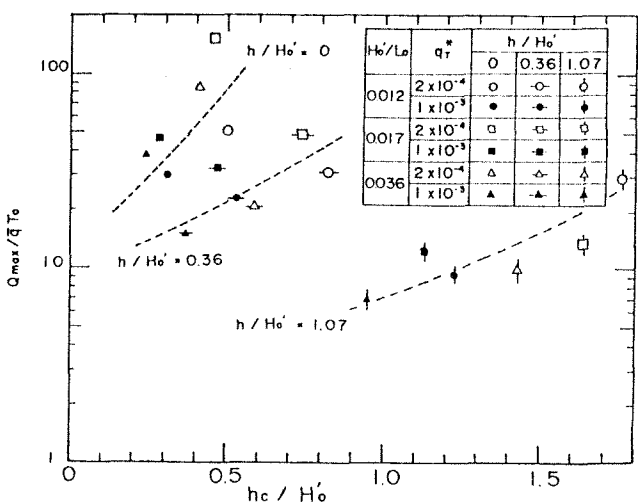


図-10 相対天端高と無次元化された最大越波量の関係

岸に來襲する波群の中で越波する波の頻度がそれだけ低下するためであると考えられる。また、無次元越波流量が同じでも、無次元化された有義越波量や最大越波量は護岸前面の水深によって変化し、水深が小さいほど大きくなる。これは、水深が浅くなると、砕波によって護岸に來襲する波の周期が全体的に長くなり、平均越波流量が同一である場合にはそれだけ1波あたりの越波量が增大するためと考えられる。したがって、同一の許容越波流量と沖波の有義波高ならびに有義波周期を用いて護岸を設計した場合、水深の浅いところに建設した護岸の有義越波量や最大越波量のほうが水深の深いところに建設した護岸の場合よりも大きくなるといえる。

図-11、12に示した点線の傾きは、護岸前面の水深が変化してもほとんど変化しておらず、図-11の場合には-0.6程度、図-12の場合には-0.5程度になる。したがって、本研究で扱った護岸の設置条件や波浪条件の範囲で平均越波流量が一定である場合には、有義越波量は沖波の有義波周期と有義波高に比例するといえる。また、沖波の有義波高ならびに有義波周期が一定である場合には、有義越波量は平均越波流量の0.4乗に比例するといえる。最大越波量は、平均越波流量が一定である場合には、沖波の有義波周期に比例し、有義波高の3/4乗に比例する。沖波の有義波高と有義波周期が一定である場合には、最大越波量は平均越波量の1/2乗に比例する。したがって、例えば沖波の条件が変わらずに最大越波量を1/2にするためには、護岸の許容越波流量を1/4にして天端高を決定すればよいといえる。

4. あとがき

本研究によって集水枡の中に立てたパイプ内の水位上昇速度から越波流量の時間変動を測定する方法に関して次のことが明らかになった。

- (1) 集水枡内の水面の振動がパイプ内の水面に伝わる際の伝達率は、水深が深くパイプの径が大きく通水部の面積が小さいほど低下する。パイプの取付位置については、端よりも中央のほうが伝達率は小さくなる。
- (2) 集水枡の中の水面上昇に対するパイプ内の水面上昇のタイムラグの大きさは、パイプの径が小さく通水口の面積が大きいほど減少する。

また、越波流量の時間変動を解析して求めた1波あたりの越波量の最大値、すなわち最大越波量と、1波あたりの越波量の上位1/3の平均値、すなわち有義越波量については、次のことが判明した。

- (3) 平均越波流量 $\bar{q}$ と沖波の有義波周期 T_0 で除することによって無次元化された最大越波量ならびに有義越波量は、沖波の波形勾配によっては変化せず、護岸の天端高が高くなると増大する。この増大の度合いは、護岸前面の水深が浅いほど急になる。
- (4) 平均越波流量や沖波の有義波高、有義波周期が一定でも護岸前面の水深が浅くなると無次元化された最大越波量と有義越波量は大きくなる。
- (5) 有義越波量は、平均越波流量が一定である場合には、沖波の有義波周期と有義波高に比例する。また、沖波の有義波高ならびに有義波周期が一定である場合には、有義越波量は平均越波流量の0.4乗に比例する。
- (6) 最大越波量は、平均越波流量が一定である場合には、沖波の有義波周期に比例し、有義波高の3/4乗に比例する。沖波の有義波高と有義波周期が一定である場合には、最大越波量は平均越波流量の1/2乗に比例する。

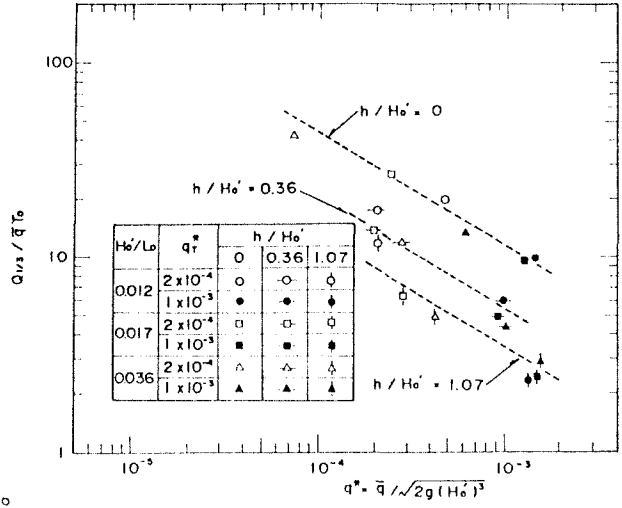


図-11無次元越波流量と無次元化された有義越波量の関係

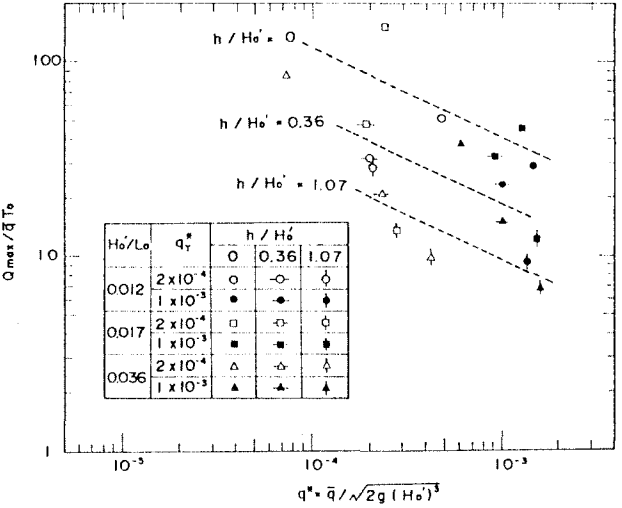


図-12無次元越波流量と無次元化された最大越波量の関係

参考文献

- 1) 井上雅夫・島田広昭・殿最浩司(1989); 不規則波における越波量の出現分布特性, 海岸工学論文集, 第36巻, pp. 618~622
- 2) 木村晃・瀬山明・山田敏彦(1981); 不規則波の短時間越波量の確率特性, 第28回海岸工学講演会論文集, pp. 335~338
- 3) 合田良実・鈴木康正・岸良安治・菊池治(1976); 不規則波実験における入・反射波の分離推定法, 港湾技研資料, No. 248
- 4) 合田良実(1987); 数値シミュレーションによる波浪の標準スペクトルと統計的性質, 第34回海岸工学講演会講演集, pp. 131~135
- 5) 高山知司・永井紀彦・西田一彦(1982); 各消波工による越波流量の減少効果, 港湾技術研究所報告, 第21巻, 第2号, pp. 151~205
- 6) 平口博丸・鹿島達一・川口隆(1988); 水面波形制御方法による無反射造波機の不規則波実験への適用性, 第35回海岸工学講演会論文集, pp. 30~34