

潜堤における越流量

中 村 充*・乃 万 俊 文*・小 西 徹**

1. はじめに

海の生物の卵・幼体の発生は通常1個の親から数十万～数百万のオーダーであり、これが親まで成長するのはそのうちの数個体である。自然の海における生物の種の保存はこのような莫大な犠牲の上に成り立っている。海の生物の減耗の起こるのは特にその発生初期においてであり、「初期減耗」という言葉さえある。初期減耗のなかには、もちろん他種生物の餌となる部分も大きい。好適環境の場に行けず不適な環境に運ばれたための死滅もある。従って初期減耗の工学的対応は外敵のいない好適環境を造成すること、および好適環境に幼生を導くことが考えられる。ここでは後者について検討する。

水産生物は一般に発生初期には浮遊生活をする。その浮遊幼生の遊泳力は一般に海水流動に比べて無視できる程度であり、その物理的制御は流れを制御することで行うことができる。つまり浮遊幼生を特定水域に留めるには海水そのものを滞留させることになる。

流れの中に湧出し・吸込みの一つの循環域を作ると流れはこれを迂回するように流れ、循環域内の水をその周囲の流れと独立させることができる。循環を形成するためにはエネルギーが必要であるが、ここではそのエネルギー源を波に求める。つまり潜堤によって波動エネルギーを流れのエネルギーに変換し潜堤の配置によって循環域を発生させようとするものである。

ここではその基礎研究として潜堤における越流量について研究し、入射波諸元と堤頂水深によって越流現象を2つに分類し、それぞれについての越流量の計算式を導いた。

2. 越流量の計算式

潜堤における越流は、堤頂水深が大きく波の谷がきても堤頂が露出しない場合と堤頂水深が小さく波の谷が通過する際は露出する場合とがありそれぞれ取扱いが異なる。つまり堤頂水深を h_0 、潜堤前面での入射波高を H_2 とおくと、大まかには h_0 と $H_2/2$ の大小によって条件

が異なる。

a. $h_0 > H_2/2$ (堤頂露出なし)

潜堤上のある位置を波の峰が通過する時($\varphi=\pi/2$)、水粒子の移動速度が正の方向(波の進行方向)に最大となり、谷が通過する際($\varphi=3/2\cdot\pi$)負の方向に最大となる。これらの速度成分の和の残留速度成分によって越流が起こると考え、その量を $q_{\max}$ とする。次に波が進行して位相 θ および $\theta+\pi$ の場合もその残留速度成分による越流量が考えられ、これを q とする。

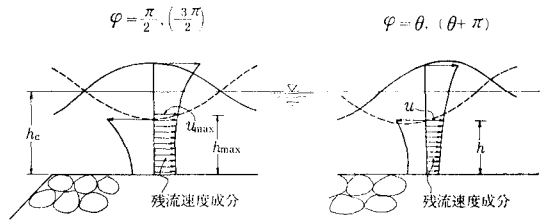


図-1 越流モデルと記号

位相が θ だけ進行したことにより残留速度および残留層厚はそれぞれ最大値に比し小さくなり次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{u}{u_{\max}} &= \sin \theta \\ \frac{h}{h_{\max}} &= \sin \theta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 u : 残留速度、 h : 残留層厚で添字なしは位相 θ 、 $\theta+\pi$ 間でのもの、添字 $\max$ は $\pi/2$ 、 $3/2\cdot\pi$ 間でのものを表わす。

また、 $q_{\max} \propto u_{\max} h_{\max}$ 、 $q \propto u h$ であるから q は次のようになる。

$$q = \alpha q_{\max} \sin^2 \theta \dots\dots\dots (2)$$

いま一波長についての平均越流量を $\bar{q}$ とすると

$$\begin{aligned} \bar{q} &= \alpha \frac{q_{\max}}{2\pi} \int_0^\pi \sin^2 \theta d\theta \\ &= \frac{\alpha q_{\max}}{4} \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

ここに、 α : 比例定数。

潜堤上での波を取扱いが簡単のように微小振幅波で与えると $q_{\max}$ は次のようになる。

* 正会員 農業土木試験場水産土木第3研

** 東海大学学生 (現・東洋建設 K.K.)

$$q_{\max} = \frac{\pi H_2}{T} \int_{-(h_c + H_2/2)}^{-(h_c - H_2/2)} \frac{\sinh 2\pi(z + h_0)/L}{\sinh 2\pi h_0/L} dz$$

$$= \frac{H_2 L}{T} \frac{\sinh \pi H_2/L}{\sinh 2\pi h_0/L} \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 L ：波長、 T ：波の周期、 z ：静水面から上方を正とする鉛直軸。

(4) 式を (3) 式に代入して (5) 式を得る。

$$\bar{q} = \alpha \frac{H_2 L}{4T} \frac{\sinh \pi H_2/L}{\sinh 2\pi h_0/L} \left(h_c > \frac{H_2}{2} \right) \dots (5)$$

b. $h_c \leq H_2/2$ (堤頂露出)

この領域では波は潜堤上で段波状に進行し越流すると考える。段波波速 u_b は

$$u_b = K \sqrt{g H_b} \dots\dots\dots (6)$$

ここに、 H_b ：段波波高、 K ：定数 (前面水深ゼロの場合 $K=1.7$)。従って越流量 q_b は

$$q_b = \beta' K \sqrt{g H_b^3} \dots\dots\dots (7)$$

ここに、 β' ：比例定数。

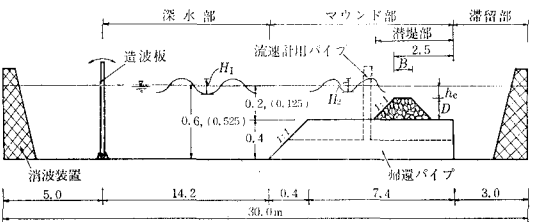
後述するように潜堤上での波高測定は困難であったので H_b の代りに前面波高 H_2 を用いると (8) 式となる。

$$q_b = \beta \sqrt{g H_2^3} \dots\dots\dots (8)$$

$$\beta = \beta' K$$

3. 実験およびその方法

実験は長さ 30 m、幅 2.4 m、深さ 1.0 m のコンクリート水槽に長さ 7.4 m にわたり高さ 0.4 m のモルタル仕上げマウンドを設け、この上に平均径 5 cm の砕石を金網枠に入れ所定断面形状の潜堤を形成して実験は行なった。マウンドの背後は 3 m にわたり滞留部となっており、滞留水はここからマウンド下部に設置した $\phi 200$ mm の塩ビパイプによってマウンド前面に帰還する。帰還パイプ中央部に $\phi 100$ mm のパイプを立て、ここから流速計を挿入し流速を測定できるようになっている。



図—2 実験水槽模式図

実験において、深水域を進行した波はマウンド前面で少し反射し、更にマウンド上では潜堤からの反射があり著しく不規則な波形となる。また潜堤を越流した後も水槽端部からのある程度の反射があった。

波は容量型波高計を深水域、マウンド上、潜堤上中央部、および滞留部に設置し記録させたが反射があり不規

則となったので結局は深水域の波高記録のうち、反射の影響のない初期のものを採用し、マウンド上の波高は次のように計算で求めた。

$$H_2 = K_s H_1$$

$$K_s = \sqrt{\left\{ 1 + \frac{4\pi h_1/L}{\sinh(4\pi h_1/L)} \right\} \tanh\left(\frac{2\pi h_1}{L}\right) \left\{ 1 + \frac{4\pi h_2/L}{\sinh(4\pi h_2/L)} \right\} \tanh\left(\frac{2\pi h_2}{L}\right)}$$

ここに、 H_1 ：深水域での波高、 h_1, h_2 ：マウンド上および深水域での水深。

越流量は帰還パイプにフォトトランジスター型流速計を挿入して流速を測定して計算によって求める。なおこの流速計は流速 6 cm/sec 以下では使用不能となるので、その場合はピンポン球に水を注入し比重調整したものを帰還パイプ入口から入れ、出口までの所要時間で流速を計算した。

実験条件は表—1 に示すようである。

表—1 実験条件一覧表

水 深		潜 堤		波	
全水深 (cm)	60, 52.5	天端幅 (cm)	10, 20, 40, 60	H_1 (cm)	1.5~15.2
マウンド上 (cm)	20, 12.5	高 さ (cm)	10, 15, 17.5, 20	L (cm)	206~520
堤 頂 h_c (cm)	0, 2.5, 5, 10	前 面 勾 配	1:1	H_1/L	0.003~0.071

4. 実験結果とその考察

実験において入射波はマウンド前面で一部分反射し、マウンド上に進入し、更に潜堤上を越えて滞留部に達する。潜堤に出合う際かなりの反射がある (反射率の測定なし) ため入射波が大きくなるとマウンドは水平であるがマウンドに進入してすぐに砕波する。砕波状の区間はそう長くはなく潜堤前面では大体非砕波となっていた。

解析のためにはマウンド上、潜堤上、潜堤背後の波のデータが必要であるが反射のため測定できなかったので深水域の波から浅水変形させてマウンド上の波高は計算した。従って上述のようにマウンド上で砕波があった場合は計算波高と実際の波高とは関連がなくなることになる。

実験結果を (5) 式に従ってまとめた一例を図—3 に示す。図によると (5) 式の適用範囲において、 $\bar{q}$ は堤頂幅波長比 (B/L) によって異なり、 B/L が大きくなるにつれて大きくなっており、 α が B/L の関数となっていることを示すが、堤頂幅 B は実用上そう大きくとれない。その適用範囲を $B/L \leq 0.1$ とすると、この範囲ではほぼ定数と扱ってよさそうである。そこで更にこの条件を考慮して実験結果を整理すると図—4 のようになる。図によると係数 α は堤頂水深によって異なり堤頂水深が小さい程 α は大きくなり、堤頂水深が大きくな

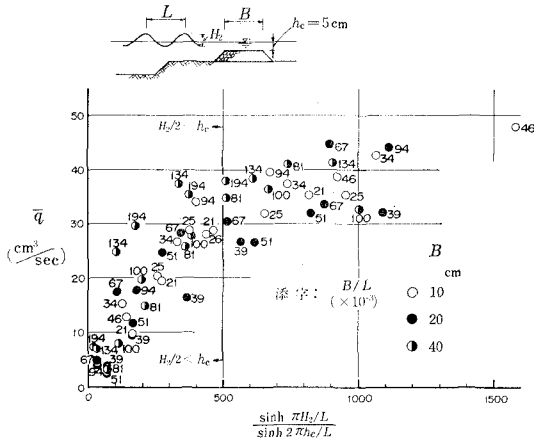


図-3 微小振幅波としての検討
($h_c=5.0$ cm の場合)

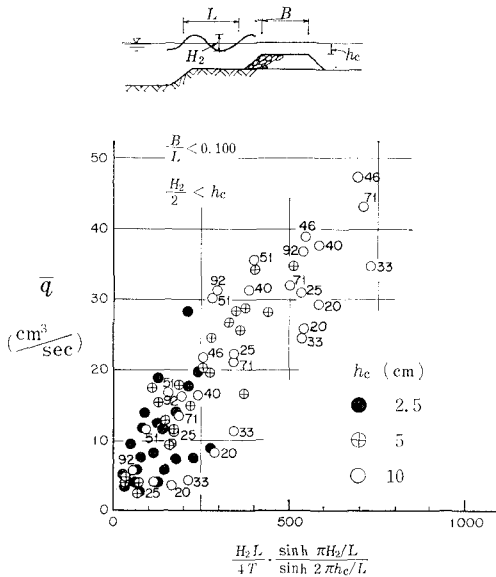


図-4 微小振幅波としての越流量

るにつれてばらつきも大きくなるが、これは水深が大きくなるにつれて B/L の影響が大きく現われるため、図において $\bigcirc$ で横軸に対し $\bar{q}$ が小さいものは B/L が小さい領域のものである (図において堤頂水深 10 cm ($\bigcirc$) のものだけ B/L を記入した)。

α は実験の範囲では 0.07 前後であった。

次に実験結果のうち $h_c \leq H_2/2$ のものを (8) 式に従って整備すると 図-5 のようになる。図において砕波と

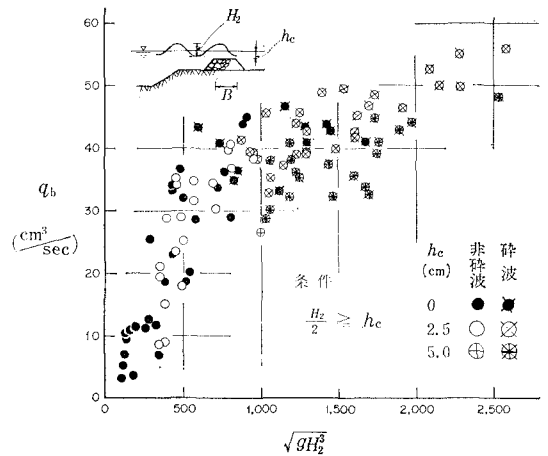


図-5 段波としての越流量

は前述の潜堤反射によるマウンド上での砕波である。この砕波条件を目的とした実験を特に行なったわけではないがデータから読み取ると、その条件は潜堤による遮へい率によって異なるが、この実験では深水部の波形勾配で表現して

$$H_1/L > 0.032$$

でマウンド上で砕波していた。

非砕波については

$$\beta = 0.05$$

を読み取ることができ、かなりの範囲に適合している。

5. 結 論

水平なマウンド上に設けた潜堤における越流量について検討した。入射波諸元、堤頂水深の如何によって波の谷が通過するとき堤頂露出の起こる場合と起こらない場合が考えられる。

越流量の式として、堤頂露出なしの場合 (5) 式を、堤頂露出の場合 (8) 式を導いた。

(5) 式における α は潜堤天端幅・波長比 (B/L)、堤頂水深・波長比 (h_c/L) によって異なり、 B/L が大きい程 α は大きくなるが、実用上のことを考え $B/L < 0.1$ とおくと α は大体定数と考えられる。

堤頂露出がありマウンド上で砕破のない場合、(8) 式における β として 0.05 が得られた。

入射波が大きくなりマウンド上で砕波のおこる場合、その条件は深水部での波形勾配で表現して $H_1/L > 0.032$ であった。