

潜堤付防波堤による海水交流工法の開発

山本正昭*・中泉昌光**・間辺本文**

1. ま え が き

現在、漁港は約 2900 港におよび、その大多数は中小漁港であり、水産物の陸揚げ、出漁準備、休憩、避難の場といった機能を併せもつ。これらの機能を完遂するために具備すべき第一の条件は、泊地の静穏度の保持である。しかし、静穏さを求めるあまり、港内外の海水交流が抑止され、港内の水質悪化が問題となることがある。荷さばき場などは、海水をフロアの洗浄などに利用しているため、清潔で衛生的な海水が必要とされる。また、近年、港内を活魚の一時蓄養場や養殖場としても利用することが多くなり、より一層の港内水の清浄化が要求されている。

これまで漁港の海水交流の手法¹⁾は、防波堤に開口部を設けたりしたものが主流であるが、海水を導入するために波動運動の往復流を利用しているために、小波高時に海水交換が期待できず、しかも高波浪時に開口部からの侵入波により泊地の静穏を確保することが困難になる。

そこでわれわれは、防波堤の一部を開けてその沖側に潜堤を設置し、港外水を港内へ引込むという新しい海水交流工法を提案しその実験を行った。この工法は、潜堤で波を強制碎波し防波堤と潜堤間の遊水部の水位を上昇させ、その港内外の水位差を利用し港内に一方向流を導くというものであり、併せて潜堤によって開口部からの侵入波を減衰させるものである。実験ではこの工法の有用性を確認し、その海水交換量や防波堤の開口部からの伝達波を調べた。

まず、防波堤の前面に潜堤を設置すると、どの程度の水位上昇が起きるのか、また、この水位上昇が、海底勾配、波浪条件、堤体条件（潜堤の構造形式や遊水部の長さ等）により、どのように変化するかを予備実験として水路実験により調べた。

潜堤の構造は、捨石の表面を被覆ブロックで覆った捨石式と、全断面を消波ブロックのみで製作したもののタイプとし、潜堤の天端高は、最も遊水部の水位上昇が大

きくなるように実験水位に一致させた。斜面勾配は、1/20, 1/30, 1/100 である。防波堤前面から潜堤天端後端までの長さ l は実用可能な範囲についていくつか変えてみた。

その結果、防波堤に開口部がないときの潜堤と防波堤間の遊水部の水位上昇量の波形勾配、海底勾配による差は小さかった。また潜堤の構造形式については、捨石式の方が全断面消波ブロック式に比べて水位上昇量が大きく、小波高でも確実に水位上昇が起り、しかもその量は沖波波高によりほぼ決っていた。したがって、本実験では、潜堤付防波堤の潜堤構造を捨石式とし、これを水底勾配 1/30 の斜面上に設置して海水交換量を調べることにした。

2. 実験施設と実験方法

長さ 100 m、幅 1 m、深さ 1.5 m の 2 次元水路内に水底勾配 1/30 の斜面を造り、この水平床前端に潜堤の前法端を合せて堤体模型を設置した。模型の想定縮尺は 1/30 である。潜堤付防波堤の模型図を図-1 に示す。堤体設置水深 20 cm、防波堤はコンクリート造とし越波を許さない天端高とした。潜堤は、捨石式で表面を被覆ブロック（640 g/個）で覆った。天端ブロック並びは 3 列、前後法勾配は 1:2 である。開口部の構造は、開水路と管水路の 2 タイプである。防波堤の開口部から入ってくる水が堤内に溜らないように、港外に戻る堤内水の流出口として斜面の先端を開け水平床の後端から水平床と斜面の下部を通じて沖側にもどるようにした。

実験は、まず開水路と管水路タイプについて規則波で行い、次に開水路タイプに不規則波を作用させてその差違を検討した。規則波実験は、波の周期が 1.46, 2.2, 2.92 s の 3 種類、波高が各周期について 3.6~21.2 cm の 6 種類で、この波浪条件に対して遊水部長さ l を 40, 60, 90, 120 cm と変えてみた。不規則波実験は、周期が 1.8 s と 2.2 s、波高が各周期について 3.0~20.5 cm の 6 種類、遊水部長さ l を 40, 90 cm として行った。

潜堤と防波堤の間には水路側壁より 25 cm と 50 cm に 2 本、防波堤の背後には、開口部の直背後及び直背後から 1.3~1.7 m 付近と 2.6~3.4 m 付近に容量式波高

* 正会員 農博 水産工学研究所 漁港水理研究室長

** 正会員 水産工学研究所 漁港水理研究室

開口部から外水が引き込まれると、遊水部の水位上昇量も低下する。開口部を設けたことによる遊水部の水位上昇量の減小率 $(\bar{\eta}_{0.0} - \bar{\eta}_{0.e})/\bar{\eta}_{0.0}$ と沖波波高 H_0' 並びに無次元遊水部長さ l/L (遊水部長さ l と入射波長 L の比) の関係を調べたのが図-3である。遊水部の水位上昇量の低下率は、沖波波高と最も相関が高く、沖波波高を大きくするにつれて小さくなる。また、同一沖波波高に対して無次元遊水部長さにより減小率は変動するものの、

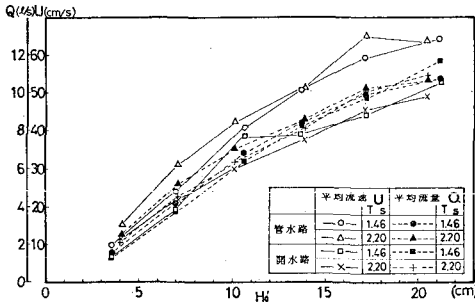


図-4 開口部での平均流速と平均流量

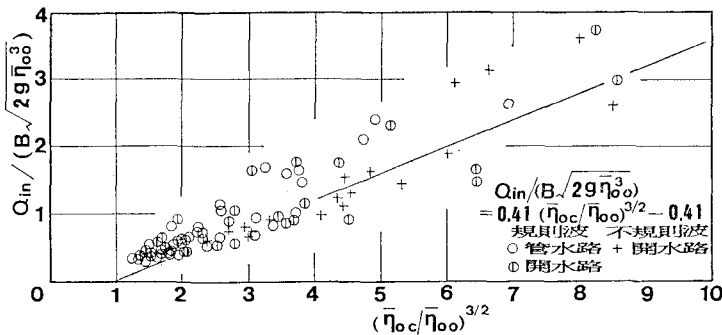


図-5 交換量と遊水部の水位上昇量の減小

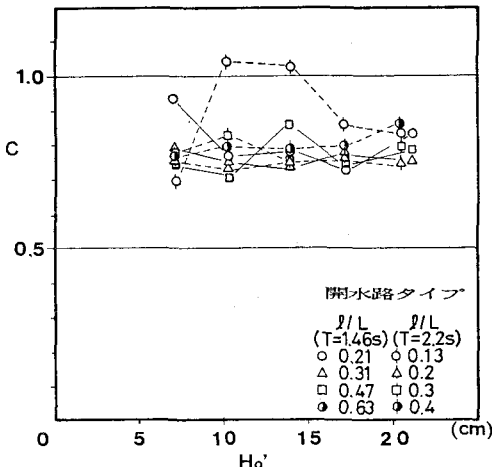


図-6 開口部の流量係数

相関性は見られない。管水路タイプについても同様であった。

b) 交換量

開口部に設置した2本の流速計から得られた流速値の平均をもって、開口部の通水断面における平均流速を代表する。平均流速においても遊水部長さや周期とは相関性がなく、沖波波高と非常に相関性が高かった。各波ごとに遊水部長さを变化させたときの平均流速を平均し、これに通水断面積を乗じて流量を求めたのが図-4である。平均流速と平均流量は、沖波波高の増大につれてその量が大きくなっている。ここで、開口部では一方向流が生じていることから、この平均流量は交換量に等しいものと言える。

交換量は、同一堤体条件(開口部の構造形式、通水断面面積並びに潜堤の法線距離)のもとでは沖波波高により一意的に決まるものと考えられる。この関係を一般化するために、開口部での交換量 Q_{in} を潜堤の法線方向距離 B (ここでは水路幅) の単位幅あたりに換算し、この単位幅交換量 Q_{in}/B とこれにより生ずる遊水部の水位上昇量の減小を表すパラメータ $(\bar{\eta}_{0.e}/\bar{\eta}_{0.0})^{3/2}$ との関係を示したのが図-5である。図は単位幅交換量 Q_{in}/B を $\sqrt{29\bar{\eta}_{0.0}^3}$ で無次元化してある。開口部の構造形式の別なく、次の実験式が得られた。

$$\begin{aligned} Q_{in}/(B\sqrt{29\bar{\eta}_{0.0}^3}) &= 0.41(\bar{\eta}_{0.e}/\bar{\eta}_{0.0})^{3/2} - 0.41 \\ &= 0.41(\bar{\eta}_{0.e}/\bar{\eta}_{0.0})^{3/2} - 0.41 \end{aligned} \quad (2)$$

ただし、この図中には、沖波波高が小波高 3~4 cm のときのデータを除いてある。

c) 開口部の流量係数

開口部の直前面の水位として遊水部の水位上昇量 $\bar{\eta}_{0.0}$ を、開口部直背後の水位として堤内の水位上昇量 $\bar{\eta}_{in}$ を用いて、開口部の流量係数を次のように定義することにする。

$$C = Q_{in}/(A\sqrt{2g(\bar{\eta}_{0.0} - \bar{\eta}_{in})}) \quad (3)$$

Q_{in} : 海水交換量 (cm³/s)

A : 通水断面積 (cm²)

$\bar{\eta}_{0.0}$: 開口部を設けたときの遊水部の水位上昇量 (cm)

$\bar{\eta}_{in}$: 堤内の水位上昇量 (cm)

図-6は、この流量係数 C と沖波波高、遊水部長さの関係を調べたものである。波高が 3~4 cm の場合、堤内外の水位上昇量が小さく、計測誤差が大きいため、この場合のデータは除いてある。流量係数 C は沖波波高、遊水部距離とは相関が見られない。開水路タイプで l/L

=0.13 ($T=2.2\text{ s}$, $l=40\text{ cm}$) の場合, 最も遊水部長さが短く, 流量係数が1.0を越えるという現象が見られるが, これは, 遊水部の長さが短いために碎波による水粒子の水平方向の運動が開口部を通過するまで継続するためと考えられる。

流量係数は, 開水路タイプで $C=0.8$, 管水路タイプで $C=0.9$ であった。

(2) 海水交換量 (不規則波)

a) 遊水部の水位上昇量

防波堤と潜堤間の水位上昇量を 図-7 に示す。水位上昇量は有義波高を用いると規則波に比べて3割程小さく, 次式で表わされる。

$$\bar{\eta}_{0.o} = 0.18 H_o' \quad \dots\dots\dots (4)$$

開口部を設けたことによる水位上昇量の減小率は, 規則波と同様に沖波波高に最も相関が高く, 遊水部長さや入射波周期によってあまり変化が見られなかった。

b) 交換量

開口部からの交換量は, 規則波と同様に沖波波高に非常に相関が高く, 波高の増大につれ大きくなっており, その値は, 規則波に対するそれに比べて, 6~7割程度であった。潜堤付防波堤に開口部を設けたことによる海水交換量と遊水部の水位上昇量の減小の関係は, 図-5のように規則波と同様な実験式で表される。

c) 開口部の流量係数

流量係数と沖波波高及び遊水部長さの関係を 図-8 に示す。図中, 沖波波高が3~4 cm の場合を除いてある。開水路タイプの流量係数は, 規則波実験では $C=0.8$ で

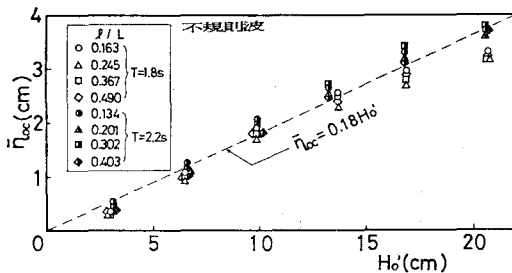


図-7 遊水部の水位上昇量 (不規則波)

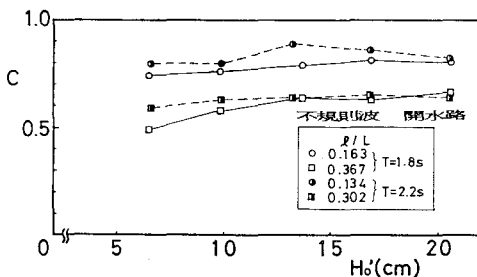
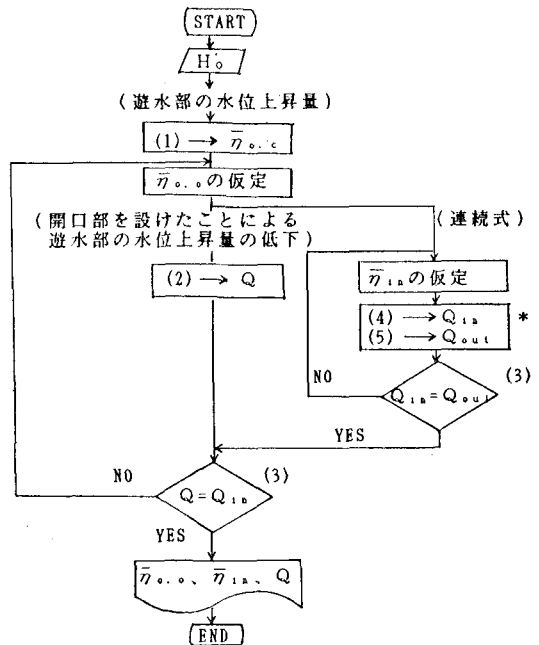


図-8 開口部の流量係数 (不規則波)

あったのが, 不規則波実験からは $C=0.7$ といったやや小さい値が得られた。不規則波を作用させると規則波と異なり水位上昇量の変動することが影響しているものと考えられるが, 今後更に調べる必要がある。

(3) 海水交換量の算定フロー

波浪条件のうち沖波波高 H_o' を与えると, 開口部を設けたことによる遊水部の水位上昇量の低下の関係式と交換量の連続式から交換量や堤内水位上昇量が推定でき, その算定フローを 図-9 に示す。この算定フローから得られた交換量の計算値と実験値を比較したのが 図-10 である。計算値が実験値に等しいことから, ほぼ



$$\begin{aligned} \bar{\eta}_{0.o} &= \alpha H_o' & \dots\dots\dots (1) \\ Q / (B_o \sqrt{2g \bar{\eta}_{0.o}}) &= 0.41 (\bar{\eta}_{0.o} / \bar{\eta}_{1.a})^{3/2 - 0.41} & \dots\dots\dots (2) \\ Q &= Q_{1.a} = Q_{out} & \dots\dots\dots (3) \\ Q_{1.a} &= C_{1.a} A_i \sqrt{2g (\bar{\eta}_{0.o} - \bar{\eta}_{1.a})} & \dots\dots\dots (4) \\ Q_{out} &= C_{out} A_o \sqrt{2g \bar{\eta}_{1.a}} & \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

- H_o' : 換算沖波波高 (cm)
- B_o : 遊水部の法線方向距離 (cm)
- $\bar{\eta}_{0.o}$: 遊水部の水位上昇量 (cm)
- $\bar{\eta}_{1.a}$: 開口部を設けたときの遊水部の水位上昇量 (cm)
- $\bar{\eta}_{1.a}$: 堤内の水位上昇量 (cm)
- $C_{1.a}$: 開口部での流量係数
- 規則波-開水路タイプ 0.8 管水路タイプ 0.9
- 不規則波-開水路タイプ 0.7
- C_{out} : 堤内水の流出部での流量係数
- $Q_{1.a}$: 開口部からの流入量 (cm^3/s)
- Q_{out} : 堤内水の流出口からの流出量 (cm^3/s)
- A_i : 開口部の通水断面積 (cm^2)
- A_o : 流出口の通水断面積 (cm^2)
- α : 水位上昇量係数
- 規則波に対して 0.27、不規則波では 0.18
- *: 堤内での損失を無視

図-9 交換量の算定フロー

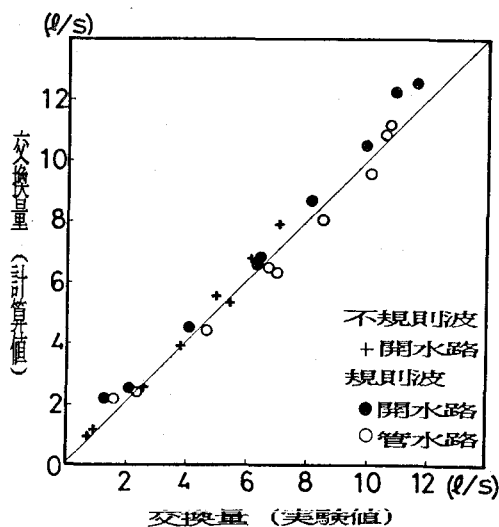


図-10 交換量の計算値と実験値

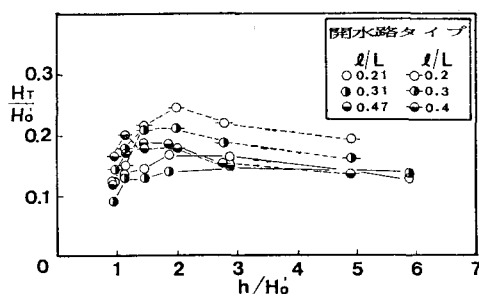


図-11 伝達波高比

図-9の算定フローにより交換量が求められる。

(4) 伝達波高

開水路タイプでは開口部直背後の波高がかなり大きい。開口部から 1.3 m 以上離れると波高はほぼ一定な値を示すようになる。管水路では、直接波が開口部を通過して堤内に入ることがないため、開口部直背後からほぼ一定な波高分布を示している。したがって、開口部直背後の波高計を除いた他の 2 本の波高計の記録から得られた有義波高の平均をもって、堤内への伝達波高 H_t とする。

開口部から伝達される波高比について開水路タイプの場合を示したのが図-11である。 l/L , h/H_0 により多少変動するが、開口比（開口幅：潜堤の法線方向距離）が 1/10 の場合の波高比 H_t/H_0 は 0.1～0.25 である。管水路タイプは $H_t/H_0=0.05\sim0.1$ であった。このように、開口部からの伝達波の港内静穏度に及ぼす影響は小さいものといえる。

$T=2.2$ s, $l/L=0.13$, 0.30 について不規則波と規則波実験の結果を比較したが、規則波実験において有義波処理した伝達波高と、不規則波実験において有義波処理した伝達波高とそれ程大差はなかった。したがって、一般に開口幅 B_0 、潜堤の法線方向距離 B のときの波高比は、規則波実験（開口幅比 1/10）で得られた波高比 H_t/H_0 を参考に $H_t/H_0 \times \sqrt{10(B_0/B)}$ で推定できる。

5. あとがき

以上、研究結果をまとめると次のようになる。

(1) 海水交流のための潜堤の構造形式は、小波高時でも遊水部の水位上昇を引き起す捨石式が有効である。その水位上昇量は、海底勾配、入射波周期、遊水部長さに無関係であり、ほぼ沖波波高により決る。

(2) 海水交換量は、図-9のフローに基づき、通水断面積、開口部の流量係数、港内水の流出部における流量係数並びに潜堤の法線方向距離、そして沖波波高を与えることにより求められる。

(3) 開口部から伝達される波高比は、開口幅比が 1/10 の場合、開水路タイプと管水路タイプでそれぞれ 0.1～0.25, 0.05～0.1 であり、とくに管水路タイプが良好であった。よって開口部からの伝達波の泊地の静穏度に及ぼす影響は小さいものと考えられる。

今回の実験では、水位上昇量が最大となるように潜堤の天端を実験水位に一致させて行なったが、今後は、小波高時を含めてさまざまな潮位における海水交換量の算定法の確立と最適な潜堤の天端高並びに潜堤付防波堤の平面配置の検討が残されている。

参考文献

- 1) 山本正昭：漁港内の海水交流について、第14回全国漁港講習会テキスト, pp. 7～23, 1980.