

潮位差が大きい漁港での波浪エネルギーによる海水交換の検討

大村 智 宏*・中山 哲 巖**・前川 拓 司***

1. はじめに

漁港内での魚介類一時蓄養やつくり育てる漁業の種づくりとしての中間育成を行うためには、対象生物が生息できる水環境であることが常に求められる。また、漁港内へは背後の漁村からの生活雑排水や荷揚げ時の排水等に含まれる汚濁負荷物が流入するので、これを速やかに移流拡散させて好氣的分解を促進することが水質、底質を良好に維持していくうえで必要である。このため、港外水や外海水を港内へ導水して海水交換を促す各種海水導入工の研究開発、実用化が行われてきた（たとえば小田ら、1996、猿川ら、1993）。

その一つとしては、潜堤背後の遊水部で水位上昇を生じさせて海水導入をはかる潜堤付き海水導入工（山本ら、1987）がある。この方式は志賀島漁港で施工されており、山本ら（1994、1995）により小波高時でも導水され、かつ潜堤上で波が碎波して曝気されるため溶存酸素の飽和度が高いといったことが現地調査で確認されている。しかしながら、適用に際しては潮位と潜堤の天端高が一定

の範囲にないと十分な導水性能が発揮されないという制約条件を考慮しなければならない。

そこでこのたび、「潮位差が大きい」、「出現波高が小さい」、「海水の取水口から配水口までの距離が長い」といった条件を有する漁港を想定して、海水導入工の適用範囲の拡大を考えた。このため、従来型に改良を加えてどの潮位時にも導水が行われるように潜堤の高さを3段階に設定した2種類の潜堤付き海水導入工を考案した。1つは各潜堤を沿岸方向に並べた横並び型（図-1）であり、他方は岸沖方向とした縦並び型である。

本研究においては水理模型実験で横並び型の導水特性を把握するとともに水位と流速の関係について解明する。つづいて、港内への海水導入の効果について数値計算により検討する。

2. 水理模型実験の方法

水理模型実験はフルード相似則により平面水槽（長さ40 m、幅22 m、深さ0.8 m）で縮尺1/16、実験波浪に周期1.0、1.5 s、換算沖波波高で概ね2.0～10.0 cmの規則波を用い、水深は7潮位に変化させて行った。計測項目は電磁流速計による各管内中心流速と容量式波高計を用いた造波機前面、遊水部、貯水部等の水位変動であり、サンプリング間隔は50 Hzとした。

海水導入工は現地での潮位差を3 m程度と仮定して図-2の模型諸元とした。潜堤は斜路1:2の不透過堤（コンクリート製）として端部を消波ブロックで被覆した。海底面は水平床である。また、各遊水部から各々の管で港内へ導水する方式（TYPE-1）と、導水距離が長いこと経済性を考慮して各遊水部からの導水管を貯水部でまとめて1本の管で港内へ導水できるようにした貯水部方式（TYPE-2）の2方式で実験を行った。管路は直径10 cmの塩化ビニル製とし、TYPE-1で4.3 m、TYPE-2で貯水部から6.7 mのものを使用した。

3. 実験結果と考察

3.1 水位差と管内流速の関係

ここではTYPE-1の実験結果を用いて水位差と管内流速の関係について検討する。

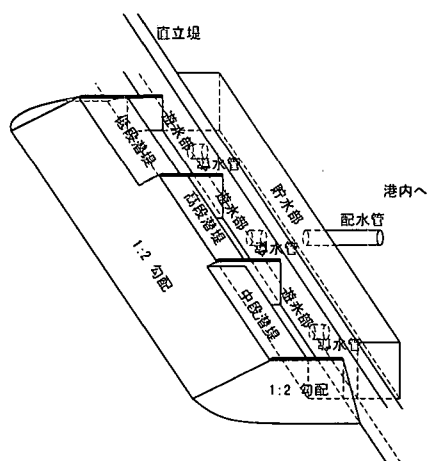


図-1 横並び型潜堤付き海水導入工概念図

* 正会員 水産庁水産工学研究所
 ** 正会員 工修 水産庁水産工学研究所
 *** 工修 (財)漁港漁村建設技術研究所

潮位	1	2	3	4	5	6	7
D.L.	±0.0	+31.3	+62.5	+93.8	+125.0	+156.3	+187.5

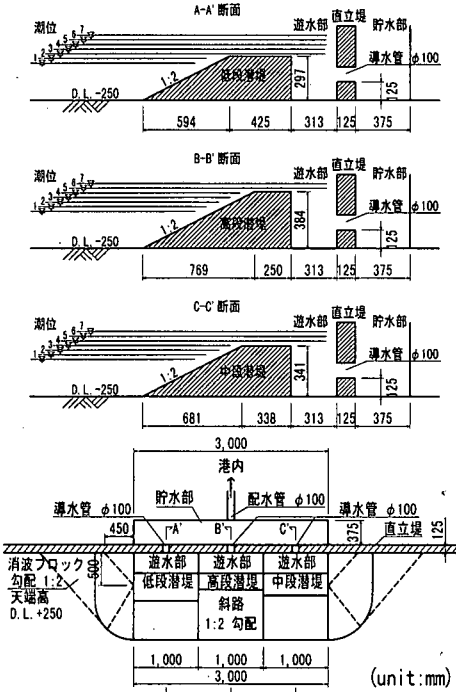


図-2 模型の構造諸元

(a) 非定常解法

次式示される非定常流のエネルギー式の適用性について考える。

$$\frac{l}{g} \frac{du}{dt} + (1 + f \frac{l}{D} + f_e + f_o + f_b) \frac{u|u|}{2g} - \frac{\Delta p}{\rho g} = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 l ：管路長さ、 g ：重力加速度、 u ：管内流速、 f ：摩擦損失係数、 D ：管径、 f_e ：入口損失、 f_o ：出口損失、 f_b ：曲がり損失、 Δp ：管路両端での圧力差、 ρ ：水の密度である。

摩擦損失係数については粗度係数 n を用いた次式で評価した。

$$f = 12.7gn^2/D^{1/3} \quad \dots\dots\dots (2)$$

計算条件を $l=4.3\text{ m}$ 、 $D=0.1\text{ m}$ 、 $f_e=0.5$ 、 $f_o=1.0$ 、 $f_b=0.29$ 、 $n=0.009$ 、圧力項 $\Delta p/(\rho g)$ を管路両端での水位差 $\Delta\eta$ として、換算沖波波高 8.6 cm、周期 1.0 s、水位 4 のケースに適用した場合の計算流速について図-3 に示す。造波後 60 秒間の時系列図であるが、波の到達により流速が上がっていく傾向や定常状態での流速は計算値と計測値でよく一致している。遊水部での水位については変動成分が顕著であるが、管路が長く抵抗が大きいため管路全体の水柱が振動しにくく流速の変動成分が極めて小さいことが特徴である。その他のケースに対する適用についても良好な結果となっており、上式により水位と管内流速の関係が説明できることが判明した。

(b) 定常解法

流量係数（流速係数） C_{in} は以下の式で定義される。

$$C_{in} = \bar{u} / \sqrt{2g\Delta\eta} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 $\bar{u}$ ：管内時間平均流速、 $\Delta\eta$ ：管路両端での時間平均水位差である。

式（1）で加速度項の寄与が小さいものとして時間平均を行い、式（3）に対応させると次式となる。

$$C_{in} = \sqrt{\frac{1}{(1 + f(l/D) + f_e + f_o + f_b)}} \quad \dots\dots\dots (4)$$

図-4 に式（1）と式（3）より計算したものとの比較を示す。これより流速が小さい場合を除いて非定常解法と定常解法の差はほとんどみられず、時間平均量で論じることができることがわかる。

次に、定常解法による計算流速と水理実験での計測値との関係を図-5 に示す。計算流速が小さいものを除くと計算値は計測値と比較的良好に対応しているものとなっている。ここで、流速が大きい場合については一致度がよくないが、これらは静水時に潜堤の天端が水面上に出ていたケースのものであり遊水部に越流することによって水位上昇が起こるため、平均水位上昇量を精度よく把握できないことに起因するものと思われる。したがって、流量係数を式（4）で評価しても差し支えないものと判断できる。

3.2 TYPE-1 の導水性能

図-6 は中段潜堤での管内流速を潮位で整理したもの

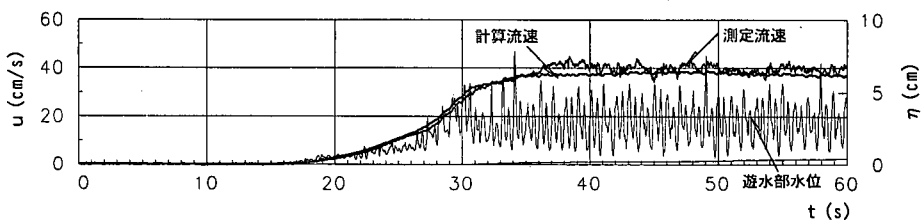


図-3 水理実験と計算の時系列（中段潜堤）

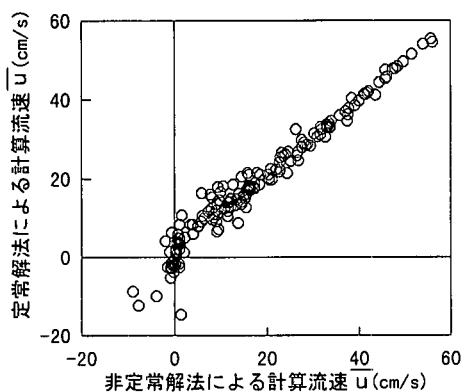


図-4 非定常解法と定常解法の計算流速

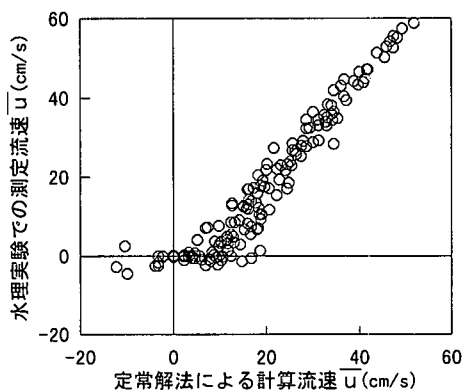


図-5 定常解法の計算流速と測定流速

である。潮位4は中段潜堤の天端と静水面がほぼ一致する場合であり、波高2.0 cm, 4.0 cmの小波高時ではこの水位で導水性能が最もよくなっているが、波高8.0 cmの時には天端が静水面上となっている水位3で最大流速となっている。これについては、潜堤の天端が平均水位上昇量程度静水面上にあると碎波が促進されて大きなセットアップを引き起こすためであることが図-7からも推察される。また、天端が静水面上となる潮位時には周期の違いが明らかにみられるが、この時は潜堤の斜路を波が遡上して越流することにより遊水部での水位上昇が生じるため、周期の長い波の方が斜路を遡上しやすく越流量が大きいことを表していると考えられる。

図-8は各遊水部での管路流速を合計したものである。潜堤を3段階としたことにより幅広い潮位で導水がはかれるようになっていたことが確認できる。周期については長い1.5 sの方が導水性能が高いものとなっているが、これは前述した天端が水面上にある時の周期の影響が3つの潜堤で足しあわされた結果として顕著に表れたものである。ここで、波高4.0 cm, 周期1.5 sの結果についてみると潮位2～6で管内流速は25 cm/s以

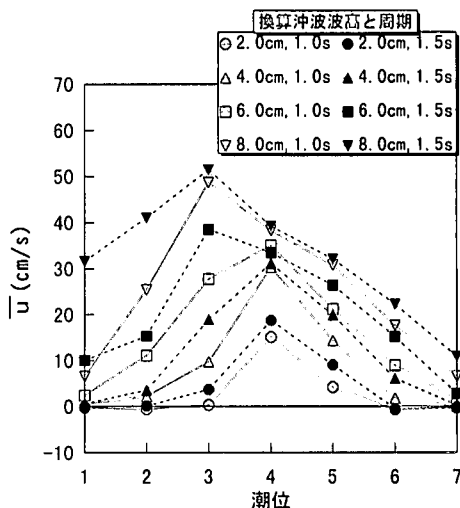


図-6 管内流速 (TYPE-1, 中段潜堤)

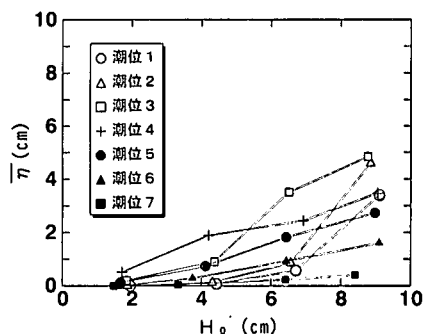


図-7 遊水部での平均水位上昇量 (TYPE-1, 中段潜堤, 周期1.5 s)

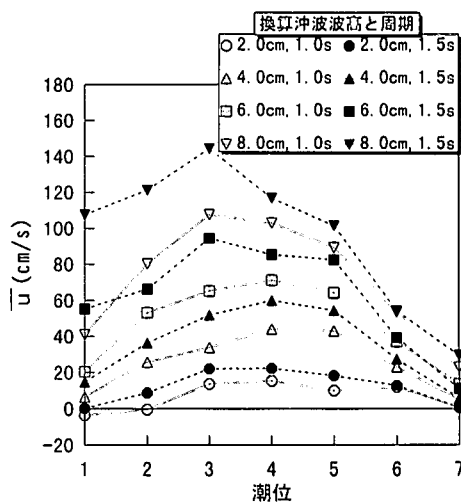


図-8 管内流速 (TYPE-1, 3段合計)

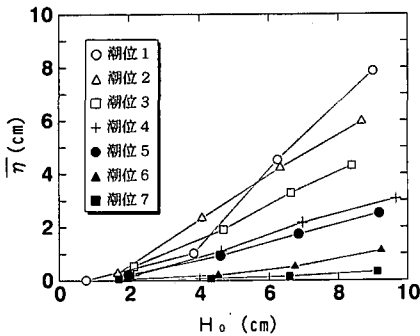


図-9 貯水部での平均水位上昇量 (TYPE-2, 周期 1.5 s)

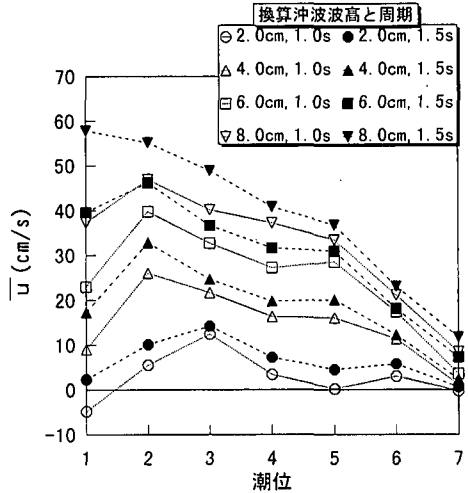


図-11 管内流速 (TYPE-2)

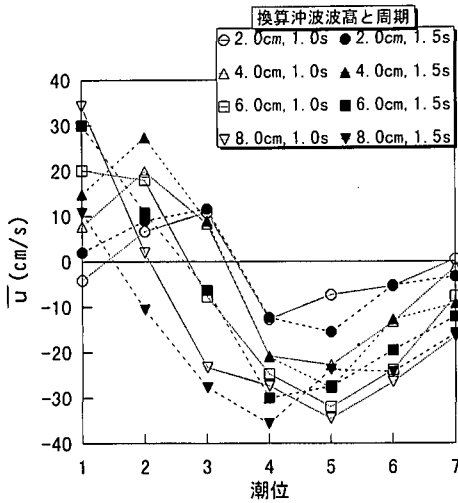


図-10 管内流速 (TYPE-2, 低段潜堤)

上となっており、現地スケールに換算すると潮位差が 2.0 m 程度あっても常時 2 m³/s 導水できることとなる。ピーク時には約 5 m³/s となり、中・小漁港の泊地スケールを考えると大きな導水量である。

この実験は流量係数 0.52 に相当する条件で行ったものであるが、当初想定した厳しい条件下でも効果的に海水導入がはかられることが明確になった。

3.3 TYPE-2 の導水性能

周期 1.5 s の換算沖波波高と貯水部の平均水位上昇量との関係を図-9 に示す。潮位が高くなるにしたがって水位上昇量が低下しているが、これは貯水部での水位よりも低段潜堤遊水部での水位の方が低くなり戻り流れが顕著になることによるものである。各水位毎については波高と水位上昇がほぼ線形関係で対応している。

図-10 に低段潜堤と貯水部をつなぐ管路内流速を示す。先述したように水位が高くなると負の流速が発生して貯水部からの戻り流れが認められる。管路内には気泡を多量に含んだ水が流れていることや管内での流速分布

が均一でないこともあって、平均流速としては精度よく把握できていない。

最後に貯水部から港内への管路流速を図-11 に示す。潮位が高くなるにつれて管内流速が遅くなっていくことが特徴である。導水性能は TYPE-1 と比較すると劣るものの、波高 4.0 cm, 周期 1.5 s の場合をみると潮位 1~5 で管内流速は約 20 cm/s を確保している。これを実スケールに換算すると潮位差が 2.0 m 程度あっても常時 1.5 m³/s 程度確保できる結果となり、海水導入工設置場所の波浪特性や用途によっては適用できるものと思われる。

なお、今回の実験は貯水部と港内をつなぐ管として管径 10 cm, 流量係数 0.48 に相当するもので行っており、管経路を更に大きいものに変えることにより戻り流れを減らして導水量を増やすことができるものと考えられる。

4. 海水導入の効果

4.1 計算方法

流動計算は非線形長波の式を基礎式として移流項をドナーセル法とした ADI 法により行った。計算範囲は岸沖方向 660 m, 沿岸方向 1250 m, 格子間隔は岸沖, 沿岸方向ともに 5 m とし、計算条件は潮位 2.7 m, 平均水面 D.L + 1.55 m, 周期 12 時間, 時間ステップ 0.3 s, 海底面の粗度係数 0.02 とした。コリオリ力は考慮していない。水平拡散係数は摩擦速度と水深の積に補正係数 10 を乗じて評価しており、境界処理は構造物および計算領域側方で完全反射, 沖側境界で強制水位を付与, 壁面は滑り壁とした。ここで、海水導入工については幅 5 m で流量を付与した。

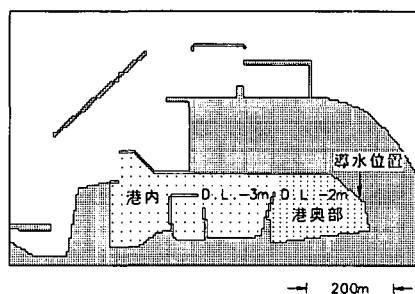


図-12 計算対象漁港

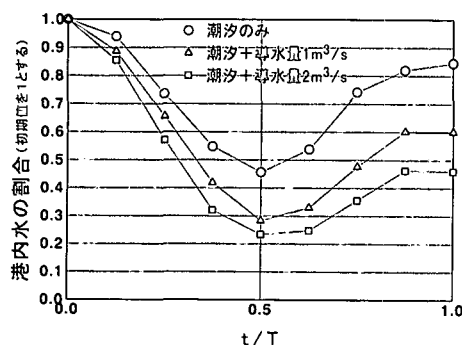


図-13 港奥部における港内起源水存在割合

海水交換状況については流動計算結果によりマーカーを移動させることで把握した。マーカーは1格子に1つ配置し、構造物で完全反射するものとした。計算対象漁港を図-12に示す。

4.2 計算結果と考察

図-13は満潮時を起点として対象漁港港奥部にある港内起源水の時間的変化を示したものである。ここで縦軸は港内起源水の体積を満潮時の港奥部海水体積で除したものである。潮汐のみについてみると干潮時に0.46となっており、港奥部での干潮時と満潮時の海水体積比が0.45であることから、マーカーが海水体積をよく表現していることが確認される。次に潮汐のみに頼る場合とそれに付加して海水導入工により導水があった場合とを比較すると1周期後には潮汐のみで0.84、導水量1 m³/sで0.60、導水量2 m³/sで0.46となっており、港奥部での港内起源水の割合に明瞭な違いがみられ海水導入により海水交換が大きく促進されていることがわかる。導水された海水がどの程度港奥部の海水交換に有効に寄与しているのかについて把握するため、1周期間の導水量のうち1周期後に港奥部に存在する導水量の割合を計

算したところ導水量1 m³/sで72%、2 m³/sで57%となる。これは導水量と交換量が1対1で対応しないことを示しており、漁港形状に応じて滞留域をできるだけつくり出さない検討の必要性が示唆される。また、干潮時から満潮時にかけての港内起源水の増加をみると導水量がある場合には増加割合が小さくなっており、下げ潮の際に港奥部から流れていった海水が上げ潮時に再び港奥部へと入ってくるのを抑制する効果が認められる。

5. まとめ

本研究での内容を要約すると以下のとおりである。

1) 水位差と管内流速の関係については、非定常流のエネルギー式で説明できることが水理模型実験結果への適用により判明した。この非定常式によるものと流量係数を算定して時間平均で評価したものとはほとんど差がないことを示した。

2) TYPE-1は潜堤を3段としたことにより幅広い潮位において海水導入がはかられることが確認された。導水性能については周期の依存性がみられ、周期の長い方が導水能力が高い。

3) TYPE-2では潮位が高くなるにしたがって低段潜堤からの戻り流れが顕著となり、港内への導水性能が低下した。

4) 潮位差の大きい漁港をモデルとして数値計算を行ったところ、港奥部への海水導入により海水交換が大きく促進された。また、下げ潮時に流れ出ていった海水が上げ潮時に再び入ってくるのを抑える効果が認められた。

参考文献

- 小田一紀・真栄平宜之・山上雅実・田中彬夫 (1996): 水面にパイプ孔を有する透過堤の波浪誘起導水量に関する理論的解析, 海岸工学論文集, 第43巻, pp. 1231-1235.
- 猿川 弦・水野雄三・笹島隆彦・木村克俊・高橋哲美 (1993): 消波ブロック被覆型有孔堤の海水交換特性に関する研究, 海岸工学論文集, 第40巻, pp. 971-975.
- 山本 潤・武内智行・中山哲蔵・田畑真一・池田正信 (1994): 志賀島漁港外港の導水工による環境改善効果に関する現地調査, 海岸工学論文集, 第41巻, pp. 1096-1100.
- 山本 潤・武内智行・中山哲蔵・田畑真一 (1995): 漁港内における溶存酸素濃度の変動機構の解明のための現地調査, 海岸工学論文集, 第42巻, pp. 1186-1190.
- 山本正昭・中泉昌光・間辺本文 (1987): 潜堤付防波堤による海水交流工法の開発, 第34回海岸工学講演会論文集, pp. 675-679.