

漁場造成を目的とする消波循環流工の水理学的効果

塚 茂樹*・小野敏行**・小林貴史***

平山健一****・佐伯 浩*****

1. 緒 言

200 海里経済水域の制定後、わが国の水産業は遠洋漁業から沿岸あるいは沖合漁業への転換を図ってきた。しかし、近年の沿岸域利用の多様化などにより周辺水域に於ける水産資源は減少しつつあり、その対策として総合的整備計画に基づく増殖事業の必要性が高まっている。このような背景から岩手県田老地区海岸に消波循環流工（後述）を中心とする増殖場を造成した結果、以前は磯焼け状態（魚介類はもとより海草も無い状態）の海岸が一躍<あわび>とくうに>の優良漁場となり、消波循環流工が注目され、この手法を他の海岸へ適用するための設計指針の確立が望まれている。

本研究では田老海岸での消波循環流工の水理学的効果を現地観測と模型実験により明らかにすると共に、その基本的性質を解明するために一様勾配上での実験を行い、設置水深及び設置間隔に関する設計指針を確立することを目的としている。

2. 消波循環流工

本研究で扱われる消波循環流工とは図-1に示すような中央部が潜堤となる離岸堤を複数基設置し、その背後を静穏にし、循環流を発生させる工法である（沿岸漁場整備開発事業構造物設計指針（1984））。循環流の発生原理は図-2に示すような波浪変形に伴う平均水位の変化を利用するものである。つまり、潜堤上で碎波した波は離岸堤背後に越流し、このため背後の水位は上昇する。一方、離岸堤間の碎波点以深では浅水変形に伴う wave set-down により水位は低下している。この水位差のため離岸堤背後から離岸堤間に向かう流れが生じ、さらに離岸流として離岸堤間を沖へと流れる。離岸堤前面では潜堤上での越流のため水位が低下しており、離岸流は離岸堤前面へと進む。このような水位差に対応する一連の流れにより、結果的に離岸堤を中心とした循環流と離岸

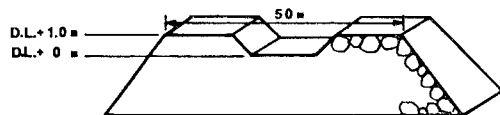


図-1 離岸堤の構造

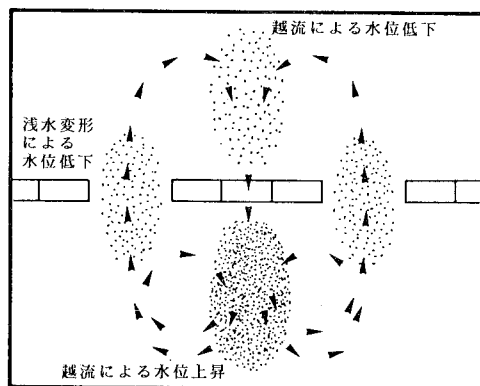


図-2 平均水位の変化と循環流の発生

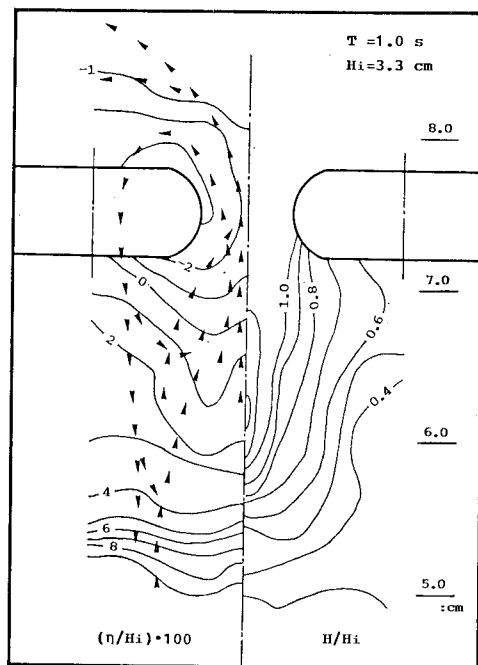


図-3 波高及び平均水位の分布と流況

* 正会員 工博 岩手大学助教授 工学部土木工学科

** 北海道大学技官 工学部土木工学科

*** 岩手県久慈地方振興局水産部長

**** 正会員 Ph.D 岩手大学教授 工学部土木工学科

***** 正会員 工博 北海道大学教授 工学部土木工学科

堤背後の内部循環流が発生する。

図-3 は後述する実験で観測された離岸堤背後の波高 H 及び平均水位 η の分布と流況を比較したものである。波高変化に伴い平均水位に差が生じ、それに対応した循環流が見られる。

消波循環流工の水産的效果としては以下のようなことが期待される。

①循環流を形成する水塊は海流、潮流などのより大規模な流れに対してある程度独立しており、水産動物の卵、浮遊幼生、海藻の胞子あるいは魚介類の栄養源である流れ藻（海藻の根が海底から剥がれたり途中からちぎれるなどして、海中を浮遊している海藻）などが漁場から流出するのを抑止する。

②海水が淀まず循環しているため、外海水との混合拡散により栄養塩などの補給がある。

③消波効果により潜堤背後を静穏にし、生物に対する物理的環境を改善する。

④構造物自体が各種生物の付着基盤となる。

3. 田老海岸での効果に関する現地観測

田老海岸に於ける消波循環流工の水理学的効果を検討するため、1) 消波効果、2) 循環流の流況、3) 流れ藻の滞留位置 に関する現地観測を行った。観測期間は1) については昭和60年10月5～6日、2) と3) に関しては12月3日である。図-4 には田老地区海岸の位置及び消波循環工の配置を、また 図-5 には現地観測地点の深浅図及び観測点を示した。

3.1 観測方法

波高観測では、波高桿を観測地点に浮かせ、陸上の2台のトランシットによって測定した。波高桿は水面の変動によって幾分上下するため、波高桿自体の変動と水面の波高桿上の目盛りを読み、水面変動を観測した。10分間の観測より、有義波高と平均周期を求めた。

表面の流況を観測するには浮子の軌跡をトランシットにより追跡し、また海底付近の流況は標識を付けた昆布の移動をダイバーが追跡することにより測定した。流れ藻の滞留位置もダイバーが潜水中に確認した。

3.2 観測結果

a) 消波効果

図-5 に示す10箇所で波高を観測し、離岸堤より沖側の2測点での平均を入射波高 H_i として、背後の波高伝達率を求めた。なお、入射方向は離岸堤にほぼ垂直であった。観測期間中の潮位は $D.L+96\sim+121\text{cm}$ であり、消波効果に対する潮位の影響は見ることが出来なかったが、10回の観測中に入射波高は $37\sim141\text{cm}$ と小さい波高ではあるが多少変化していたので、入射波高の影響を検討した。図-6 中の上段の数値は波高が小さい場

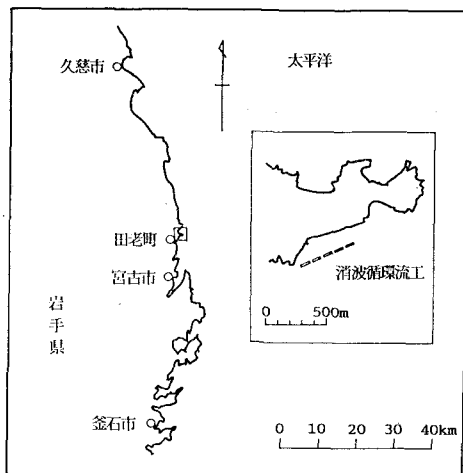


図-4 田老海岸の位置と離岸堤の配慮

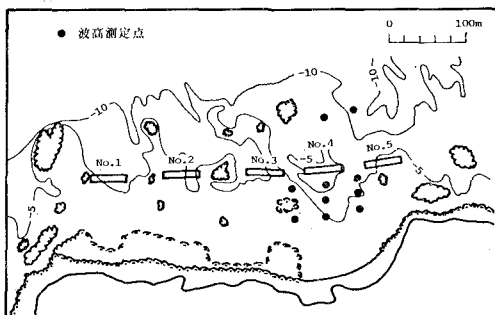


図-5 現地観測地点の深浅図及び波高観測点

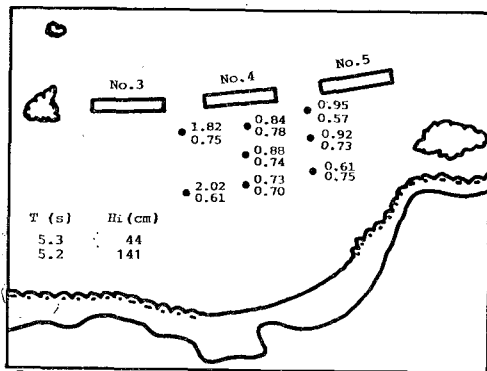


図-6 消波効果に関する観測結果

合、また下段は波高が比較的大きかった場合の波高伝達率である。波高が小さい場合には、第3堤と4堤間の背後にある岩礁のためここを進行する波高はかなり増大している。しかし、離岸堤背後では離岸堤上での碎波による波高減衰が見られる。第4堤と5堤間でも離岸堤の影響により碎波が生じ、そのためその背後での波高伝達率は小さい。波高が比較的大きい場合、離岸堤背後及び離

岸堤間の背後共波高伝達率は 60~80% であり、全体的に消波効果は良好である。

b) 循環流の流況

観測当日は風も弱く、浮子の移動には風の影響はないと判断できた。入射波は 9:30 の観測では入射波の有義波高 H_i が 50 cm, 平均周期 T は 9.6 秒, 12:20 では H_i は 65 cm, T は 10.4 秒であり、波向きは離岸堤にほぼ垂直であった。

図-7 に10回の観測で得られた浮子の軌跡を示した。

⑥及び⑤あるいは⑨と⑦の流況に見られるように、離岸堤間から沖に出てさらに堤上を通り再び背後に進入するような離岸堤を中心とする循環流の存在が確認できる。また、②、⑥、⑧の様に南進する沿岸流も見られるが、南端は第5堤と島に囲まれた狭い水域になっており、②と⑧はここに滞留した。

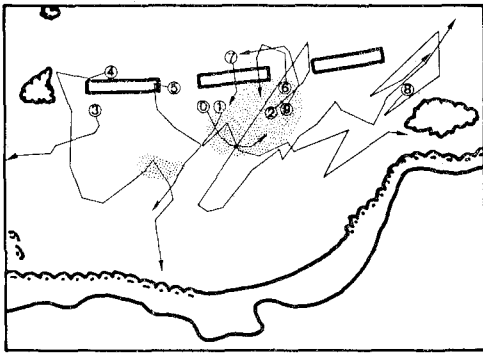


図-7 水面上の流況及び流れ藻滞留位置

標識を付けた昆布の移動を追跡した結果、移動速度は海面上の浮子の約 1/7~1/8 程度と極めて遅く、ダイバーの潜水時間の制限上、流況を把握するには至らなかった。

c) 流れ藻滞留位置

第3~5堤までの範囲で流れ藻が多く滞留している位置を測定した結果が図-7中のハッチした部分である。これらの位置は海底付近の循環流と海底地形とに依存しているのであろうが、今回の現地観測からはその関係を明確にすることはできなかった。しかし、消波循環流工の大きな目的の一つである流れ藻を滞留させる効果は確認できた。

4. 田老海岸での効果に関する模型実験

4.1 実験装置及び実験方法

実験には北海道大学工学部土木工学科の (8m×11m×0.5m) の平面水槽を用い、幾何縮尺を 1/100 とし、Froude の相似則より時間縮尺を 1/10 とした。水深 20 m までの海底地形をモルタルで再現し、塗装すること

により粗度を軽減した。なお、水深 20 m 以深での地形は無視し、一様勾配とした。離岸堤は鋼製の枠の内外に採石を充填し、所定の形状にした。

消波効果及び循環流の発生状況に対する入射波特性の影響を検討するため、波向き、波高、周期、潮位を表-1に示す範囲に変化させた。なお、これらの値は近隣の波浪観測所での資料に基づいて決定した。

表-1 田老海岸に関する実験条件

周期 (sec)	0.6, 0.8, 1.2
波高 (cm)	1.0, 2.0, 3.0
潮位 (cm)	+0.5, +1.5
波向 (°)	0.0, 11.25

波高は離岸堤背後の 124 点で、抵抗線式波高計により測定した。流れを観測するため、水面では一辺が 0.5 cm の紙片を、底面では比重 1.017 のアスファルトを直径約 0.5 cm の球形にしたものを投入し、これらの軌跡をビデオカメラで撮影した。

4.2 模型実験による現地再現性

a) 消波効果

現地での波高観測の中で入射波の周期、波高及び潮位がほぼ同一であった 2 組の観測値を平均し、実験条件とした。図-8 は実験結果と観測値を比較したものであり、本実験が現地での波高変化をよく再現していることが分かる。

b) 循環流の流況

同様な方法で流況の再現性を検討したが、観測時の入射波の条件では明瞭な循環流を確認することが出来なかった。これは入射波高が実験では 0.5 cm と極めて小さいため、発生したとしても小規模な循環流であるためと思われる。杜多ら (1982, 1983) は昭和57年9月25日に同海岸に於て著者らと同様な観測を行っている。杜多らの観測結果から流況の概略を示したのが図-9中の実線であり、この時の入射波条件で行った実験の結果が破線

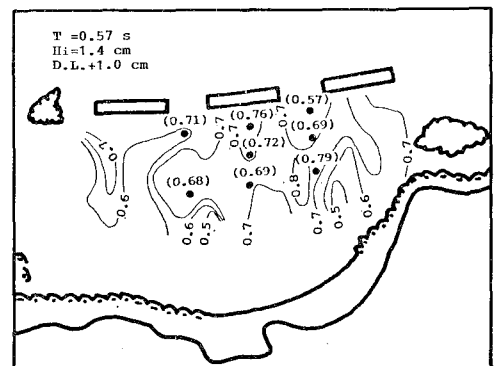


図-8 消波効果に関する観測結果と実験結果の比較

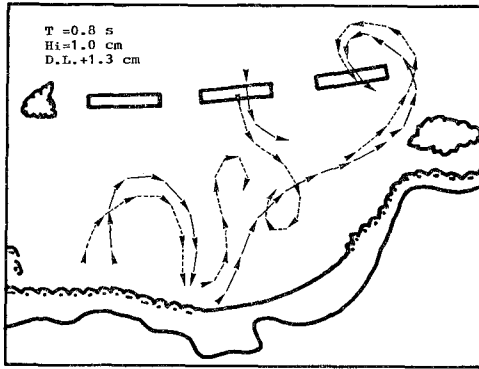


図-9 流況に関する観測結果と実験結果の比較

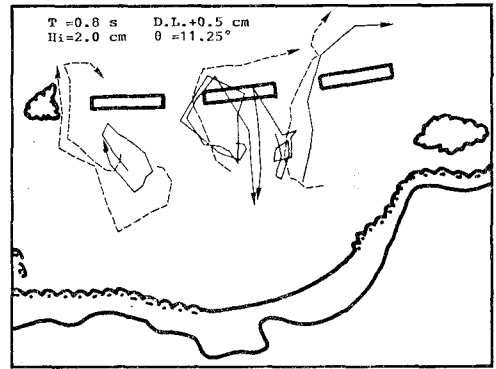


図-10 水面及び底面での流況

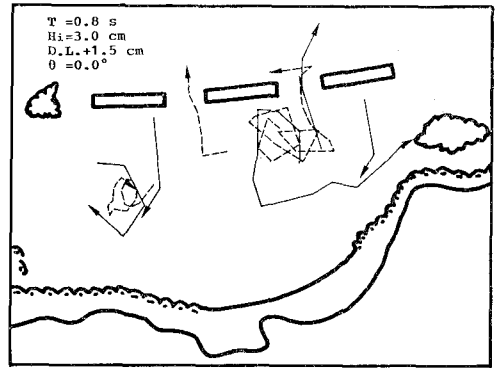


図-11 水面及び底面での流況

であり、類似した流況であることが認められる。

以上のように、実験での波高が 1cm 程度以上であれば波高及び流況とも本実験での装置及び方法で現地での現象を良く再現できることが明らかとなった。

4.3 消波効果及び循環流発生に対する潮位及び波浪特性の影響

a) 消波効果

消波効果に対する波浪特性等の影響を要約すると以下のようである。

①離岸堤を設置すると、背後の波高は最大で 1/2 程度に減衰する。②潮位が $D.L. + 1.5 \text{ cm}$ の場合は $D.L. + 0.5 \text{ cm}$ に比べ波高伝達率は全体的に大きく、平均で 2～3 割、最大で 5 割程度大きい。③波向きが北寄りに 11.25° 傾いた場合でも垂直入射の場合とほぼ同一の消波効果がある。④入射波の波形勾配が大きい程消波率は高い。

b) 循環流の流況

図-10 は入射波の周期が 0.8 秒、波高 2.0 cm、潮位 $D.L. + 0.5 \text{ cm}$ 、入射角 11.25° の場合の実験結果である。図中の実線が水面での流況であり、離岸堤を中心とする循環流あるいは離岸堤背後の循環流が発生している。また、図中の破線は底面での流況であるが、離岸堤間から沖に流出しており、離岸堤背後での循環流の発生は見られない。一方、周期が 0.8 秒、波高 3.0 cm、潮位 $D.L. + 1.5 \text{ cm}$ 、垂直入射の場合の結果を図-11 に示したが、この条件では底面での循環流が発生し、逆に水面での循環流は見られない。他の結果も含めて、底面に比べ水面での循環流が発生し易く、流況も明瞭である。また、発生条件は水面と底面では一般に異なる。水面での循環流発生には入射角、潮位に係わらず波高が 2 cm の場合が最適であり、次いで 1 cm、3 cm の順である。また、潮位は低い方が、周期は 0.8、1.2、0.6 の順に明瞭な循環流が発生する。循環流の発生には海底地形も大きく影響すると思われるが、潜堤部で碎波する場合に循環

流が発生し、また波高が大き過ぎると碎波帯内の乱れが強いいため定常な流れが発生し難いことが本実験結果から判断できる。

5. 一様勾配上での最適設置水深及び設置間隔

前章で述べた離岸堤による消波効果及び循環流の発生状況には海底地形の影響が含まれている。そこで、消波循環流工の基本的な性質を把握するため、水底勾配 1/50 の一様勾配での実験を行い、循環流の発生に対する最適設置水深及び設置間隔を検討した。

実験装置及び方法は 4.1 で述べたものと同一であり、実験条件は表-2 に示す範囲である。

循環流が発生するか否かは碎波位置と離岸堤設置位置との関係に依存している。離岸堤設置水深 h_d と構造物

表-2 一様勾配上での実験条件

周 期	(sec)	0.7, 1.0, 1.2
波 高	(cm)	0.9～7.0
潮 位	(cm)	+0.0
設 置 水 深	(cm)	4.0, 6.0, 8.0, 10.0
設 置 間 隔	(cm)	50 50 100
堤 長	(cm)	50 100 100

が無い場合の碎波水深 h_b との比 h_d/h_b と入射波波形勾配 H/L の関係で循環流の発生の有無を分類すると 図-12 のようになる。これは堤長 $Y=50\text{ cm}$ 、設置間隔 $W=50\text{ cm}$ の場合であり、二つの領域で循環流が発生することが分かる。逆に発生しないのは 1) $0.65 < h_d/h_b < 1.2$, 2) $H/L > 0.06$, 3) $H/L < 0.02$, 4) $h_d/h_b > 2.5$ の場合である。循環流が発生した場合と 1), 2), 3) の条件での流速ベクトルの例を図-13に示す。これらの図より循環流が発生しない原因が以下のように考えられる。

1) h_d/h_b が 1 程度であれば潜堤上に限らず、構造物間でも碎波が生じているため、表面での流れは全体的に岸向きとなる。

2) 波形勾配が大きい場合には、潜堤上の向岸流も離岸堤間の離岸流もいずれも流速が早く、安定した循環流が出来にくい。

3) 波形勾配が小さい場合には、潜堤上でも碎波が生じないか、生じて小規模であるため、発生する循環流の流速は極めて遅く、明瞭な流れになりにくい。

4) 同一の H/L に対し h_d/h_b が大きいのは離岸堤の汀線からの距離が長い場合であり、平均水位に差が生じて離岸堤背後が広すぎるため流れの進行方向が拘束されず、定常な流れとはならない。

図-14 は堤長 $Y=100\text{ cm}$ 、設置間隔 $W=50\text{ cm}$ の場合である。 $Y=50\text{ cm}$ の場合と比べ、 h_d/h_b が 1 付近での非発生領域が狭まり、逆に 2 以上では発生しなくなる。波形勾配の限界は同一であり、堤長は設置水深のみに影響する。

離岸堤を設置しない場合にも一般に離岸流が発生する。このような離岸流が発生する位置が離岸堤間になる場合には離岸流は依然として残り、発生した循環流も明瞭である。しかし、離岸流が見られなかった箇所にも循環流は発生しており、離岸流は循環流の発生を助長はするが、発生の有無を支配してはいない。川崎ら (1986) が提案した離岸流発生間隔に関する式による値と離岸堤の設置間隔を比較したところ、全く相関は見られず、最適設置間隔は離岸流発生間隔には依存しないことが明らかとなった。

次いで、循環流が発生する場合の流量を検討した。潜堤上の越流量を中村 (1977) の式により求め、これから離岸堤間の戻り流れの平均流速とその断面の径深及び動粘性係数を用い、仮想レイノルズ数 Re を定義する。これと離岸堤設置水深 (h/L_0)、離岸堤設置間隔 (W/L_0) との関係を調べた。その結果、設置間隔 $W=50\text{ cm}$ ($W/L_0=0.22\sim0.66$) の場合は Re が 100 以上、 $W=100\text{ cm}$ ($W/L_0=0.44\sim1.33$) では 50 以上の時に発生しており、 h/L_0 には依存しないことが明らかとなった。また、 W が 2 倍になると Re は $1/2$ となることは循環

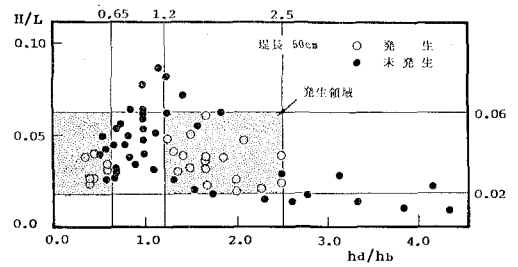


図-12 循環流の発生領域(堤長が 50 cm の場合)

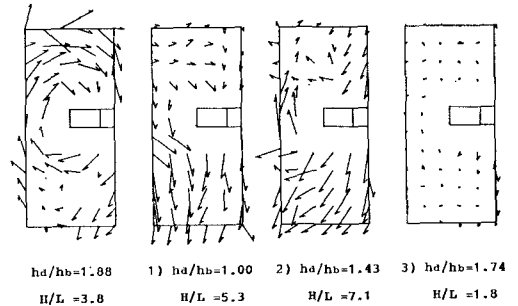


図-13 流速ベクトルの測定例

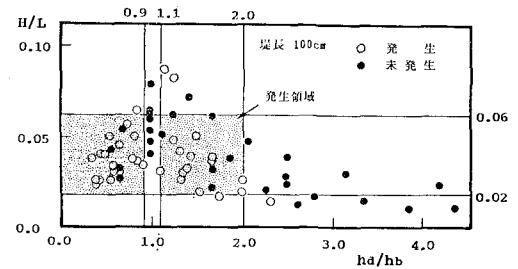


図-14 循環流の発生領域(堤長が 100 cm の場合)

流発生のための限界流量が存在することを意味しており、設置間隔が堤長程度からその半分までの範囲では現地換算で 6 t/sec 以上の戻り流れ、つまり潜堤越流量があれば循環流が発生する。

本研究に際し、岩手県林業水産部漁業振興課及び栽培漁業センターの方々と岩手大学工学部笹本 誠氏に大変お世話になった。また、本論文発表に当り、小川基金からの補助を受けた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 川崎 清・恋塚 貴・渋谷 学・佐伯 浩・尾崎 晃 (1982): 海浜流と海浜変形の相互関係について, 第 29 回海岸工学講演会論文集, pp. 342-346.
- 杜多 哲・乃万俊文・中村 充 (1982): 田老海岸の流動についての現地観測, 水産工学研究所技報-水産土木 3-1, pp. 1-14.
- 杜多 哲 (1983): 消波循環流工周辺の流れの実験と現地観測, 水産土木 Vol. 20, No. 1, pp. 65-73.
- 中村 充・乃万俊文・小西 徹 (1977): 潜堤における越流量, 第 24 回海岸工学講演会論文集, pp. 300-302.
- 全国沿岸漁業振興開発協会 (1984): 沿岸漁場整備開発事業構造物設計指針, pp. 189-192.