

人工産卵基質による沿岸構造物への魚類産卵場機能の付加

森 信 幸* ・坪田 幸雄** ・福田 光 男*
丸 山 修 治*** ・岸 哲 也**** ・三 宮 芳 明****

北海道の苫小牧東港でハタハタの産卵が確認されている内防波堤において、天然海藻を模倣した人工産卵基質を設置した結果、産卵基質の有効性が確認された。しかし、その後の調査により設置した人工産卵基質の約 9 割が破断、流失したことがわかり耐久性に課題を残した。本研究では、破断原因は、破断面の形状などから振動流によるものと推定した。振動流水槽による耐波実験の結果、曲げの繰返しにより発泡壁が疲労破壊で破断することが明らかになった。破断原因から材質も含めた人工産卵基質の改良、現地に設置したところ、耐久性に優れたハタハタの産卵基質としての有効性が確認された。

1. はじめに

砂浜域に建設される漁港・港湾施設等の沿岸構造物は、藻場創出機能が付加される等、自然岩礁と同様に多様な生態系を形成することが知られている。北海道の苫小牧東港でも、汀線から沖側に伸びた内防波堤の消波ブロックに着生する海藻（ウガノモク・アカモク）に資源の回復が望まれているハタハタの産卵が確認された。しかし、この内防波堤は近い将来に移設が予定されており、移設後藻場が再生される間、産卵機能を維持させるための技術として人工産卵基質の開発が必要であった。

人工産卵基質の実用化は、前述した藻場再生までの産卵機能の維持だけでなく、天然海藻が着生しない海域などでのハタハタ産卵場の創出あるいはハタハタ以外の魚種（ニシン等）の産卵の可能性など環境共生を図る上での利用が期待されている。

伊藤ら（2000）は、ウガノモクの形状や可撓性などの物理的要因を模倣した長さ 60 cm、太さ 4.5 mm の発泡体を用いた人工産卵基質を開発し平成 12 年度にハタハタの産卵を確認した。しかし、人工産卵基質は、孵化を迎える前に多くが破断、流失し、耐久性に課題を残した。

本研究は、破断原因を解明するための検討を行い、人工産卵基質の振動流水槽を用いた耐波実験により破断原因を解明し、耐久性を有する人工産卵基質に改良するとともに、現地調査により改良した人工産卵基質の有効性と耐久性を確認するものである。

2. 人工産卵基質の破断・流失原因調査

(1) 人工産卵基質現地調査結果（H12）

苫小牧東港の内防波堤周辺には、ハタハタの産卵場となる海藻（ウガノモク・アカモク）が分布しており、産卵はこの海藻に行われていた（図-1、2）（写真-1）。

しかし、ハタハタの産卵が確認された苫小牧東港の内

防波堤は将来移設する計画である。そこで、移設後も藻場が再生されるまでの間、消滅する産卵場において産卵機能を維持する目的から、人工産卵基質に対する産卵の可能性について現地試験により検討している。

平成 12 年度に設置した人工産卵基質は、太さ 4.5 mm 角の発泡性プラスチック材料（ポリプロピレン系）でできており、直径 30 cm のリング状の鋼材に 6 本の基質を結束して 1 基とした。枝本数、単位面積当たり株数は表-1 のとおりである。これを基点からの距離 220 m から 400 m、水深 1.0 m から 3.0 m 範囲の防波堤消波ブロッ

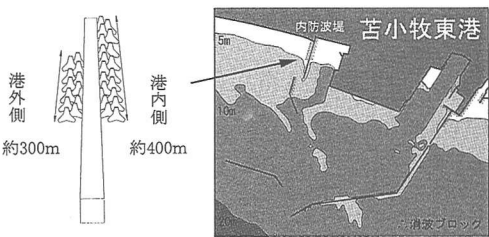


図-1 苫小牧東港内防波堤位置図

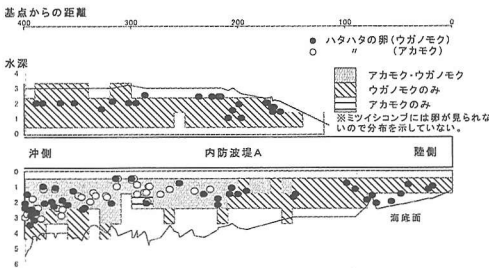


図-2 天然海藻に産卵及びハタハタ卵塊分布図

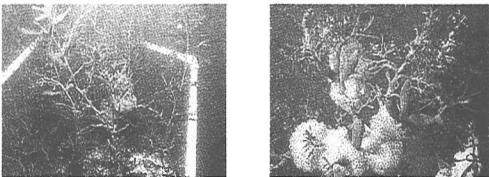


写真-1 天然海藻に産卵した状況

* (独法)北海道開発土木研究所水産土木研究室
** 正会員 (独法)水産総合研究センター水産工学研究所漁港施設研究室
*** 北海道開発局釧路開発建設部
**** 北海道開発局室蘭開発建設部

表-1 人工産卵基質の形状 (H12)

	平成 12 年度設置基質
長さ	60 cm
1 本の太さ	4.5 mm
枝の本数	18 本
枝分かれ間隔	約 10 cm
最下部枝分かれした部分の取付部からの高さ	5 cm
1 m ² の株数	85 株
単位面積当たりの引張強度	2.28 Mpa

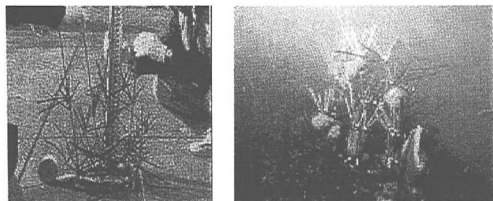


写真-2 人工産卵基質とハタハタ卵塊の固着状況

クに 10 基計 60 本を取付けた結果、ハタハタの産卵が 10 基すべてに確認された (写真-2)。

平成 12 年度に設置した人工産卵基質への産卵状況を以下に示す。

- 卵塊個数は、平成 12 年 11 月 25 日の潜水調査時に比べ平成 12 年 12 月 22 日調査時では 4.6 倍に増加しており、この時期を含め人工産卵基質への産卵がある期間に行われたことが確認された (図-3)。
- 天然海藻より人工産卵基質へ卵塊が集中していることが目視により確認されているが、卵塊は、ウガノモク・アカモク等の天然海藻への産卵の場合は、その形状にも関係して、海藻の根元に集中するが、人工産卵基質の場合は、上部まで枝部が存在し、枝部の幅が均一なことから、産卵が全体的に行われたものと考えられる。なお、平成 12 年 12 月 22 日の卵

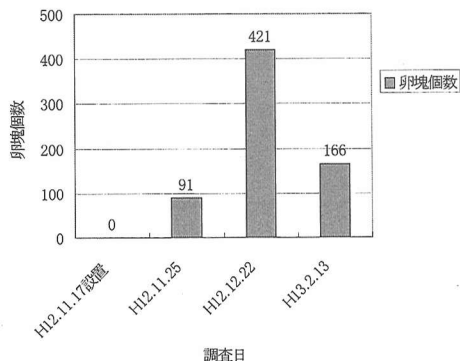


図-3 人工産卵基質への卵塊個数

塊個数 421 個は、平成 10 年度に内防波堤延長 680 m 区間に分布していた天然海藻に産卵した卵塊数のほぼ半数に上っている。

しかし、平成 13 年 2 月 13 日に調査した結果では卵塊数が 166 個に減少している。これは、取付けた人工産卵基質 60 本のうち 32 本が完全に基部から破断・流失、19 本が一部分破断したためであり、波の影響 (流速) により破断・流失したのと考えられ使用した材質の耐久性に検討が必要であることが確認された。なお、流失した人工産卵基質のうち、防波堤近傍で回収可能なものは回収を行なった。その後、平成 13 年 12 月 10 日の調査では、60 本全ての人工産卵基質が破断流失している。

(2) 人工産卵基質の破断原因の推定

当初、人工産卵基質の破断は、リング状の鋼材に固定していることや、破断が基部に多いことから、卵塊が付着したため流れに対する抗力が増加し引張力で切断したものと推定した。しかし、回収した人工産卵基質の破断原因が以下の理由から、抗力増加による引張力の影響ではないと考えられる。

- 人工産卵基質を設置した内防波堤は、港内の施設で過去の流速結果を踏まえ、人工産卵基質を卵塊付着状態で流速 200 cm/s を許容する引張力で設計したが、人工産卵基質設置から 3 ヶ月間の流速観測結果では、最大 80 cm/s 程度の有儀流速である。
- 現地で回収した人工産卵基質の破面は、形状変形が殆どなく、大きな形状変形を伴う引張力による切断面とは全く異なることが判明した (写真-3)。
- 顕微鏡を用いて回収した人工産卵基質の破面と正常断面との比較を行った結果、正常断面では小さい気泡の発泡壁が均一に分布しているのに対し、人工産卵基質の破面では発泡壁が破壊し大きな気泡が形成されている (写真-4)。

以上の結果から、人工産卵基質が振動流による曲げの繰り返しの影響を受け発泡内の気泡が圧縮と膨張を繰り返し圧力が変動したために発泡壁の疲労破壊によって破

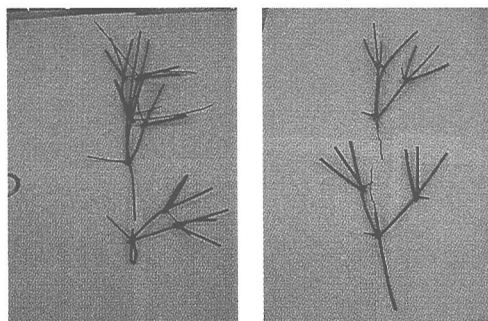


写真-3 回収した人工産卵基質の破断状況 (左) と引張切断状況

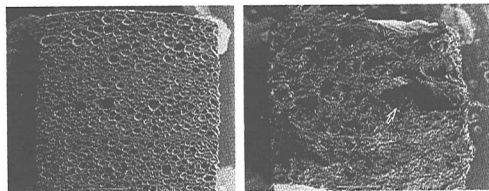


写真-4 正常断面（左）と回収した人工産卵基質の破断面面

断したものと推定した。

(3) 振動流水槽による耐波実験

人工産卵基質の破断原因を検証するため、振動流水槽（写真-5）により、振動流下での耐久性実験を行った。

なお、卵塊付着による抗力増加効果も確認するため、ハタハタ卵塊4個体積相当のシリコン製疑似卵塊を取付けた実験も行った。

実験条件は、疑似卵塊数 $M=0\sim3$ 個、振動流周期 $T=6$ 秒、振動流速 $V=10\text{ cm/s}\sim150\text{ cm/s}$ で実施した。

実験の結果を以下に示す。

- 振動流による人工産卵基質の変位角 α は、概ね振動流速と疑似卵塊数に比例して増加するものと考えられる。なお、変位角 α は、人工産卵基質が最大に変位した状態を指数関数 $y=ae^{bx}$ 式にあてはめ基部の接線角度としている（図-4）。
- 破断時の作用回数 N は、バラツキはあるが振動流速 V 、疑似卵塊数 M から求めた変位角 α の関係から

示す事ができるものと考えられる。変位角 α が増加するほど減少することが明らかになり、この図から、振動流速 $V=100\text{ cm/s}$ 、疑似卵塊数 $M=0$ 個の場合人工産卵基質の変位角 $\alpha=35^\circ$ であり、作用回数 $N=8,000$ 回で破断することが解る（図-4）。

耐久性実験による破面は、回収した人工産卵基質同様、形状変形が殆どなく人工産卵基質の破断原因が振動流による曲げの繰り返しの影響を受けたためによるものであると考えられる。

(4) 耐久性のある人工産卵基質の開発

従来型人工産卵基質の破断が、発泡壁の破壊によるものであったため、改良型では材質をも含め検討を行った。

改良型人工産卵基質は、振動流による繰り返し曲げに対する破断を防止するため、ナイロン系の繊維を中心として、浮力を付けるため低発泡体（スチロール系）、これらを筒状に織った組紐で覆う三重構造で耐久性の向上を図った（写真-6）。

改良型人工産卵基質の耐久性を確認するため、振動流水槽による耐波実験を行った。耐波実験は、従来型人工産卵基質が作用回数約3,000回で破断した条件である疑似卵塊 $N=3$ 個、振動流速 $V=75\text{ cm/s}$ で行った。改良型は、作用回数30万回を越えても破断しなかったことから、振動流に対する耐久性が充分あるものと判断した。

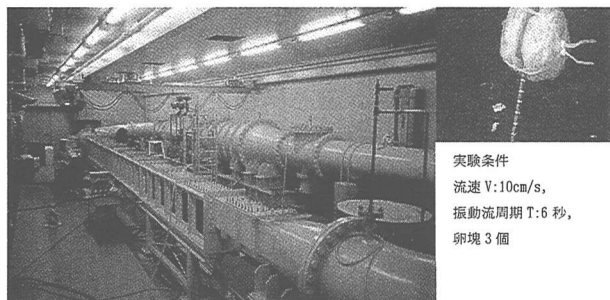


写真-5 振動流水槽及び実験状況

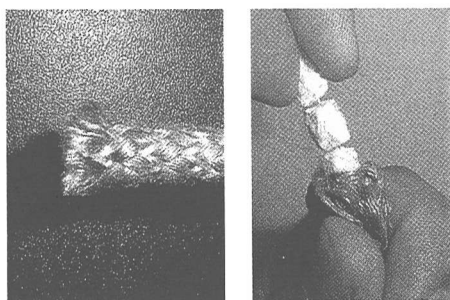


写真-6 改良型人工産卵基質

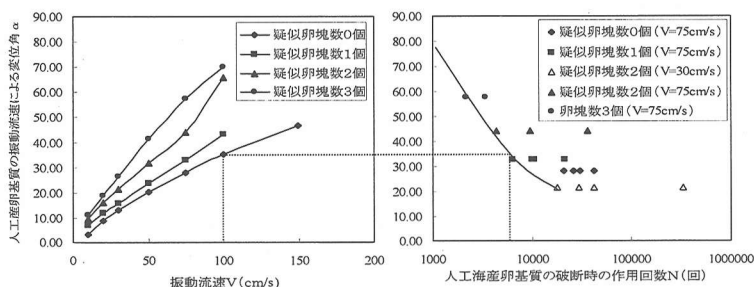
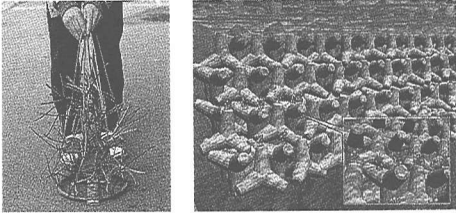


図-4 人工産卵基質の変位角と破断作用回数

3. 改良型人工産卵基質による現地調査結果

(1) 改良型人工産卵基質の設置

耐波実験により改良型人工産卵基質の強度が確認されたことから、平成13年11月に改良型人工産卵基質を現地に設置した(写真一7)。



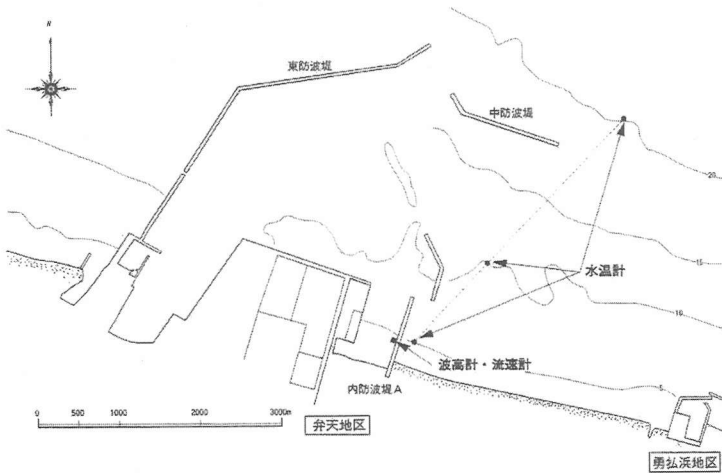
写真一7 改良型人工産卵基質設置状況 (イメージ図)

改良型人工産卵基質は、内防波堤Aを挟み港内側に10基60本、港外側に13基78本の計23基138本を設置した。その他、産卵基質としての有効性・耐久性を比較するため、従来型人工産卵基質を港内側に5基30本、港外側に2基12本の計7基42本を設置した。

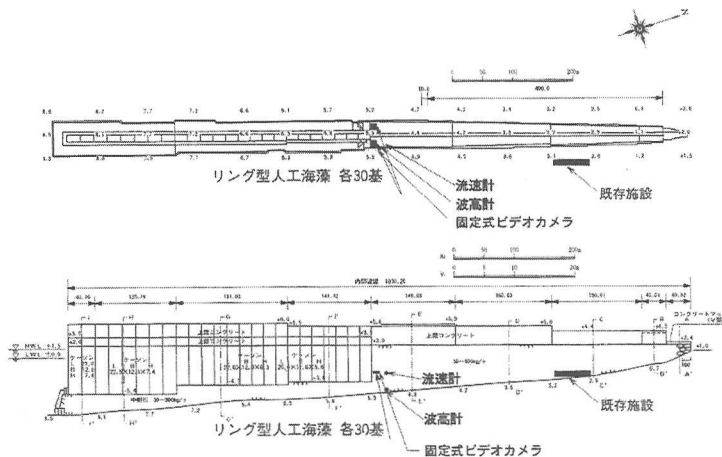
さらに、ハタハタの卵塊固着状況(固着部位、卵塊数、卵塊固着水深)を把握するためダイバーによる目視観測、写真撮影、ビデオ撮影を実施した(時期: H13. 11. 29, H13. 12. 4, H13. 12. 10の3回)。

(2) 海域環境調査(波浪・流況)

ハタハタの産卵時期前後の海域環境把握と人工産卵基質の破断・流失の検討資料とするため、内防波堤A部港内側の海底面に超音波式波高計を消波ブロックの水深2.0mに電磁流速計を各1基設置し、平成13年11月14日から60昼夜の連続観測を実施した(図一5, 6)。



図一5 観測機器設置位置図



図一6 人工産卵基質・観測機器設置

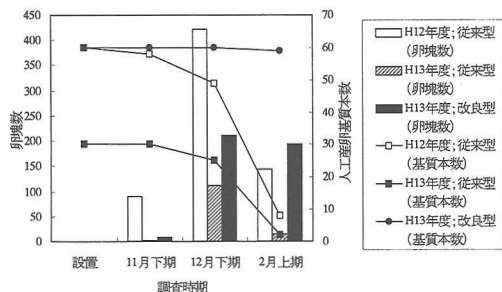


図-7 人工産卵基質（従来型，改良型）の経時変化

(3) 人工産卵基質の耐久性

図-7は、港外側に比べ卵塊の固着が多く見られた港内側に設置した従来型，改良型人工産卵基質の破断状況を示している。平成13年度に設置した従来型人工基質では、30本中28本が破断し、卵塊は1割しか残らなかった。一方、改良型人工産卵基質は、60本中1本の幹と枝部を固定するバンドがはずれただけで、従来型に見られる、幹部の破断は見られなかった。

現地の流速は、平成13年11月15日に最大流速80 cm/sを観測している。この流速は、振動流水槽の耐波実験では、従来型人工産卵基質に疑似卵塊3個取付けた場合、約3,000回（振動流速75 cm/s，周期6 sで5時間）破断に相当する。改良型人工産卵基質では、同一条件で30万回でも破断しなかった。また、現地調査でも切断していない。

(4) 人工産卵基質への産卵状況

産卵実績がある従来型人工産卵基質は、平成13年度港内側設置本数30本に112卵塊（3.7卵塊/本）が確認されたが、この内約9割は破断・流失した。一方、改良型人工産卵基質では、210卵塊/60本（3.5卵塊/本）が確認され、従来型と同程度の産卵があった（図-7）（写真-8）。また、目視により、周辺の天然海藻（ウガノモク・アカモク）より卵塊数の密度が高いことが確認された。

4. おわりに

発泡性プラスチック材料（ポリプロピレン系）の従来型人工産卵基質の破断原因を究明し、耐久性の向上を図った改良型人工産卵基質の現地における耐久性及びハタハタの産卵を確認した結果、以下のことが分かった。

- ① 従来型人工産卵基質の破断原因は、引張力ではなく振動流による曲げの繰り返しの影響を受け発泡内の気泡が圧縮と膨張を繰り返し圧力が変動したために発泡壁の疲労破壊により破断したことが原因であった。
- ② 現地の破面を振動流水槽で再現することができ、変

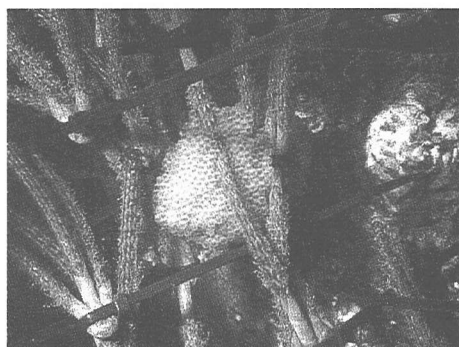


写真-8 改良型人工産卵基質への卵塊固着状況

位角の増大に伴って破断時の作用回数は減少する。実験の結果、バラツキはあるが、振動流速と疑似卵塊個数を設定すると破断時の作用回数が推定できる。

- ③ 改良型人工産卵基質は、耐久性に優れ振動流水槽実験及び現地実証試験でも破断していない。
- ④ 改良型人工産卵基質も従来型同様に、ハタハタの産卵が確認され、産卵に有効な基質であることが確認された。
- ⑤ 改良型産卵基質に固着した卵塊の中には、発眼卵まで成長している卵塊が目視により確認された。

今後は、改良型人工産卵基質の長期耐久性について継続的に調査するとともに、ハタハタの孵化するまでの基質の有効性について継続して調査し明らかにしていく。また、天然海藻が着生しない水深においてハタハタの産卵確認調査やハタハタ以外の魚種（ニシン等）への展開を図り人工産卵基質の汎用性について確認していきたい。

参考文献

- 伊藤卓也，中山学之，北原繁志（2000）：人工海藻による環境調和機能を付加した防波堤の開発，第44回北海道開発局技術研究発表会概要集，pp. 1322-1329。