

(29) 秋田港の港内長周期波対策施設 における生物共生効果

長濱 祐美¹・西村 修¹・増田 周平²・小澤 敬二³・原田 久志⁴・川崎 貴之^{5*}

¹東北大学大学院 工学研究科 (〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-06)

²秋田工業高等専門学校 環境都市工学科 (〒011-8511 秋田県秋田市飯島文京町1-1)

³前国土交通省 東北地方整備局 秋田港湾事務所 (〒011-0945 秋田県秋田市土崎港1-1-49)

⁴国土交通省 東北地方整備局 秋田港湾事務所 (〒011-0945 秋田県秋田市土崎港1-1-49)

⁵株式会社エコー (〒110-0014 東京都台東区北上野2-6-4)

* E-mail: kawasaki@ecoh.co.jp

長周期波対策施設として秋田港内に設置した石積堤の生物共生効果を把握するため、施設周辺の水質、石材に着生する海藻類、施設周辺に娯集する魚類等に関する現地調査を実施した。調査の結果、施設周辺の水質環境は藻場を構成する大型褐藻類の塩分、光、栄養塩の生育条件を水深2~7m付近で満たすことが明らかとなり、石積堤ではアカモク、ソルアラメ等の藻場構成種となる大型褐藻類の生育が確認された。また、施設周辺では魚類の娯集が確認され、ハタハタの産卵期には石積堤に生育する海藻や、近傍に設置した人工産卵床にハタハタの卵塊が確認されたことから、長周期波対策施設として設置された傾斜タイプの石積堤が藻場造成基盤や魚類の生息場・産卵場としての機能を有することが示された。

Key Words: seaweed beds, habitat of fishes, spawning beds, *Ecklonia stolonifera*, *Arctoscopus japonicus*

1. はじめに

現在、全国の多くの港湾において長周期波によると考えられる荷役障害が大きな問題となっており、さまざまな対応策が講じられている。秋田港においても港内の静穏度の向上を目的とする傾斜石積堤タイプの長周期波対策施設などの整備¹⁾が進められており、2009年度末現在で港内には、第一南防波堤波除堤区間の内側、外港地区護岸の前面の2ヶ所に捨石(被覆石:1000kg/個、基礎捨石:200~500kg/個)による施設が完成している。

この石積堤タイプの施設は、基質上の凹凸や間隙の付与が、多様な生物の生息場となることが報告されている²⁾。一方で、傾斜タイプの護岸施設は、従来までの直立の基質と比較して光条件が良好な面積が広いこと、海藻の生育に適していると考えられる。たとえば、関西国際空港1期島の緩傾斜護岸では、造成の7~8年後にはカジメ、ホンダワラ類による藻場形成がなされ、大阪湾内の藻場面積において大きな割合を占めていることが報告さ

れている³⁾。大型褐藻類で形成される藻場は、小動物や付着生物へ生息場を提供するとともに、これらを餌とする魚類の良好な餌場となり、生物生産力が高い場を形成することで、沿岸水産資源を維持する上で重要な役割を果たすことが知られている⁴⁾。

ところで、秋田県における重要な水産資源としてハタハタ *Arctoscopus japonicus* が挙げられる。浅海域に形成された藻場はハタハタの産卵場としても重要であることが知られている。秋田県におけるハタハタの漁獲高は昭和50年以降に大きく減少したが、資源管理などの手法により近年の漁獲高は回復傾向にある⁵⁾。しかしながら、減少以前の昭和40年代と比較すると漁獲高は1/10程度であり、継続的な資源管理だけでなく、生息場や産卵場の保全といった、生態学的側面からの管理も必要である。

以上のことから、秋田港に設置された傾斜石積堤タイプの長周期波対策施設は、凹凸や間隙のある構造による生物生息場の提供が期待されるのみならず、施設上への藻場の形成も期待される。藻場の形成は、魚類の生息場

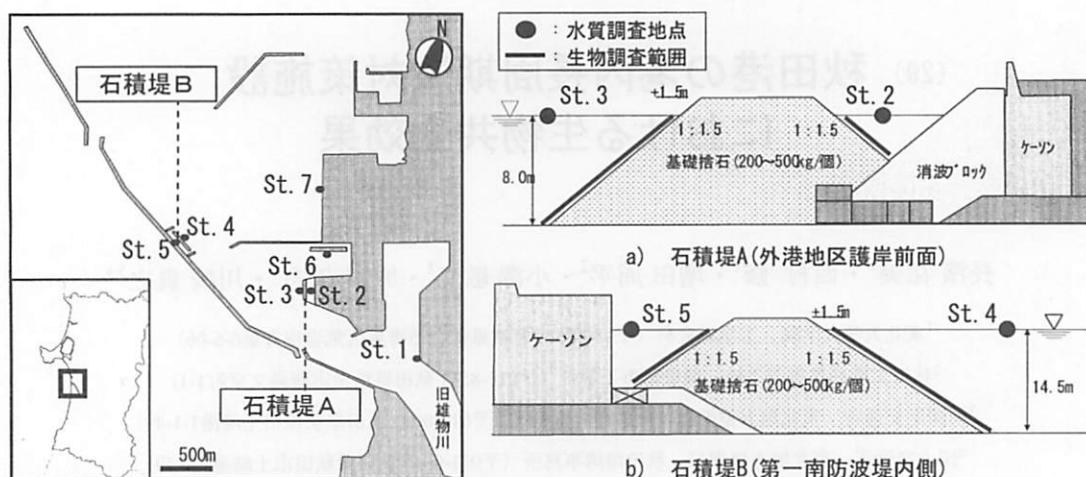


図-1 調査位置図と長周期波対策施設の石積堤A(a)と石積堤B(b)の断面および調査位置

としての環境を形成するだけでなく、有用魚種であるハタハタの産卵場としての役割を担うことで、秋田港湾内における生物生産力の高い場の形成に資すると考えられる。

そこで本論文は、秋田港内に設置した傾斜石積堤タイプの長周期波対策施設における生物共生効果を明らかにすることを目的とした。まず、藻場構成種を中心とする海藻類に対する本施設の生育適性地創出効果を明らかにすることで、今後の藻場形成におけるポテンシャルを評価するとともに、施設設置後2年間の海藻類の生育状況、遷移の特徴を明らかにした。さらに、施設周辺に生息する魚類の経年変動を明らかにし、魚類生息場としての効果を評価した。そして、秋田港周辺を回遊するハタハタの産卵場所としての本施設の適応性を、ハタハタ卵塊の調査に加えて実験的にも検討した。

2. 調査内容

秋田港湾内の外港地区護岸の前面に設置された長周期波対策施設(以下、石積堤A)と、第一南防波堤波除堤区間の内側に設置された対策施設(以下、石積堤B)周辺を対象として水質・生物の調査を行った。図-1には秋田港における調査地点概略と、石積堤A、Bの断面および周辺調査位置を示した。2007年度に施工された石積堤Aは、外港地区の護岸前面と両端を囲むコの字型に設置され、航路側との海水交換は石材の隙間を通じてのみ行われる構造となっている。一方、石積堤Bは防波堤と平行に設置しており、両端で航路側との海水交換がある。石積堤Bの北側部分は2007年度に、南側部分は2008年度に施工

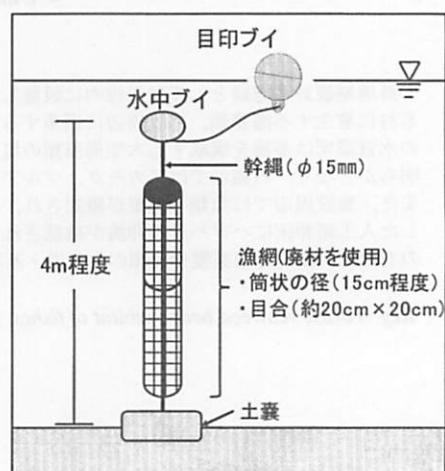


図-2 人工産卵床概略図

された。また、石積堤A、Bの面勾配はいずれも1:1.5である。

調査は季節変化を考慮し、2009年の8月20日、11月19日、2010年の2月9日に行った。静穏で海水が停滞し水質汚濁の懸念があると推測される港奥部において、旧雄物川からの淡水流入の影響を受ける河口域にSt.1を設けた。さらに石積堤Aの護岸側をSt.2、航路側をSt.3とした(図-1a)。また、石積堤Bの航路側をSt.4、防波堤側をSt.5とした(図-1b)。さらに、外港地区にSt.6、その外側にSt.7を設けた。

なお、石積堤付近の波浪条件については2009年1月～3月に調査を実施しており⁹⁾、平均有義波高は周囲が石積堤に囲まれているSt.2で0.05m、防波堤と石積堤に挟まれているSt.5で0.09m、石積堤の航路側に位置するSt.3およびSt.4でそれぞれ0.20mおよび0.26mであった。

(1) 水質調査

石積堤付近が海藻類が生育可能な環境であるかを検討することを目的とし、石積堤周辺のSt. 2～5で塩分、光量子の鉛直観測を水深0.5m間隔で海底まで実施した。さらに、海面下0.5mと海面下3mで採水を行い、COD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ の分析を行った。

(2) 生物調査

調査は石積堤周辺のSt. 2～5で行った。石積堤B周辺のSt. 4、5では、調査地を北側の2007年度施工区間と南側の2008年度施工区間に分離し、2007年度施工区間における調査地点をそれぞれSt. 4-07、St. 5-07と記し、2008年度施工区間をSt. 4-08、St. 5-08とした。調査方法は、潜水目視観察により、海藻類は水深別、魚介類は地点毎にそれぞれ出現状況を記録した。

また、ハタハタの産卵場所となる可能性について検討するため、2009年12月24日に図-2に示す人工産卵床をSt. 1, 3, 4, 6に設置し、2010年1月19日に人工産卵床設置地点およびSt. 7においてハタハタの産卵状況について潜水目視観察を実施した。

3. 調査結果および考察

(1) 水質環境

3回の調査における平均塩分鉛直分布を図-3に示した。全地点の水深2m以浅では、塩分は概ね20～30psuの範囲で調査日時によって大きく変動していた。一方で、水深2m以深では、表層よりも変動幅が非常に小さく安定しており31～33psuの範囲であった。ここで、大型褐藻類の生育可能な塩分の範囲は、コンブ類で概ね30psu以上、ホンダワラ類で26psu以上⁷⁾であることから、塩分が生育可能値より低下しない水深2m以深において、全地点で大型褐藻類の生育が可能であることが明らかとなった。

一方、3回の調査における平均相対光量子(水面上の光量子に対する各水深帯における光量子の割合)の鉛直分布を図-4に示す。全地点において、水深1mで相対光量子は40%程度、水深3mでは5～20%程度、水深8m付近では2%未満となった。ここで、大型褐藻類の生育可能な相対光量子の範囲は、アラメ・カジメ類で概ね1.0%以上⁹⁾であることから、本調査域では、約水深7m以浅において大型褐藻類の光量に対する生育可能な場所が形成されていることが明らかとなった。しかしながら、St. 2においては水深2m付近で10%未満であり、低下が著しくアラメ・カジメ類の生育環境としては厳しいことが明らかとなった。St. 2は旧雄物川の河口に位置し、コの字型に周囲を囲まれた海水交換率の低い地点であることから、

河川などから流入してきた懸濁物質の流出が起りにくく、濁度が上昇し、光量が減少したと考えられた。

さらに、水質の分析結果を図-5に示す。CODは平均で0.9～1.6mg/Lであった。 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ は、St. 2, 3において0.04～0.18mg/L、St. 4, 5において0.12～0.33mg/Lであった。 $\text{NO}_3^-\text{-N}+\text{NO}_2^-\text{-N}$ は0.21～0.54mg/L、 $\text{PO}_4\text{-P}$ は0.012～0.024mg/Lの範囲であった。ここで大型褐藻類の生育適性範囲は、CODについては年平均値が12～22mg/L以下であること、栄養塩類については、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ は0.01mg/L、 DINi は0.01mg/L、

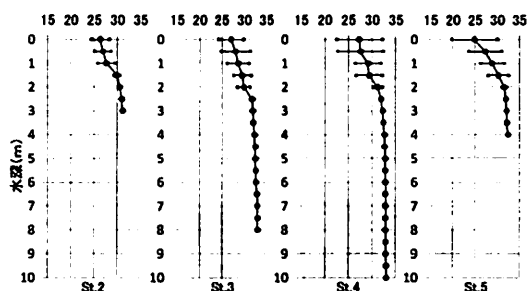


図-3 平均塩分の鉛直分布 (単位: psu, エラーバーは標準偏差を示す)

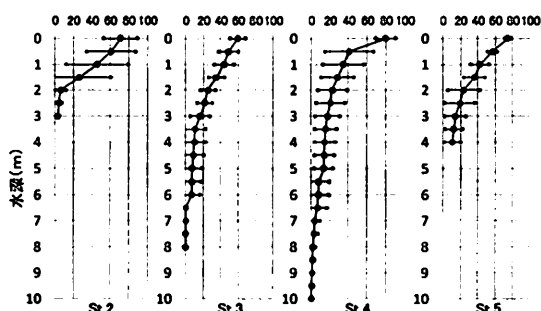


図-4 平均相対光量子の鉛直分布 (単位: %, エラーバーは標準偏差を示す)

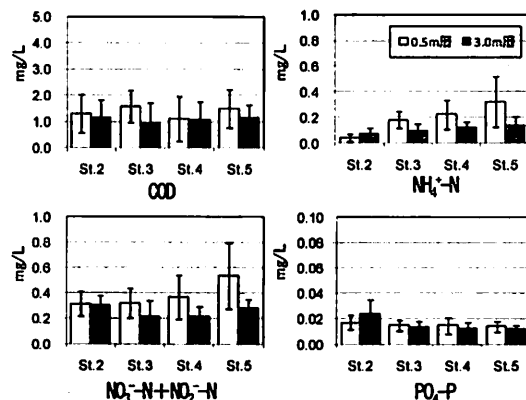


図-5 採水分析結果 (結果は3季の平均, エラーバーは標準偏差を示す)

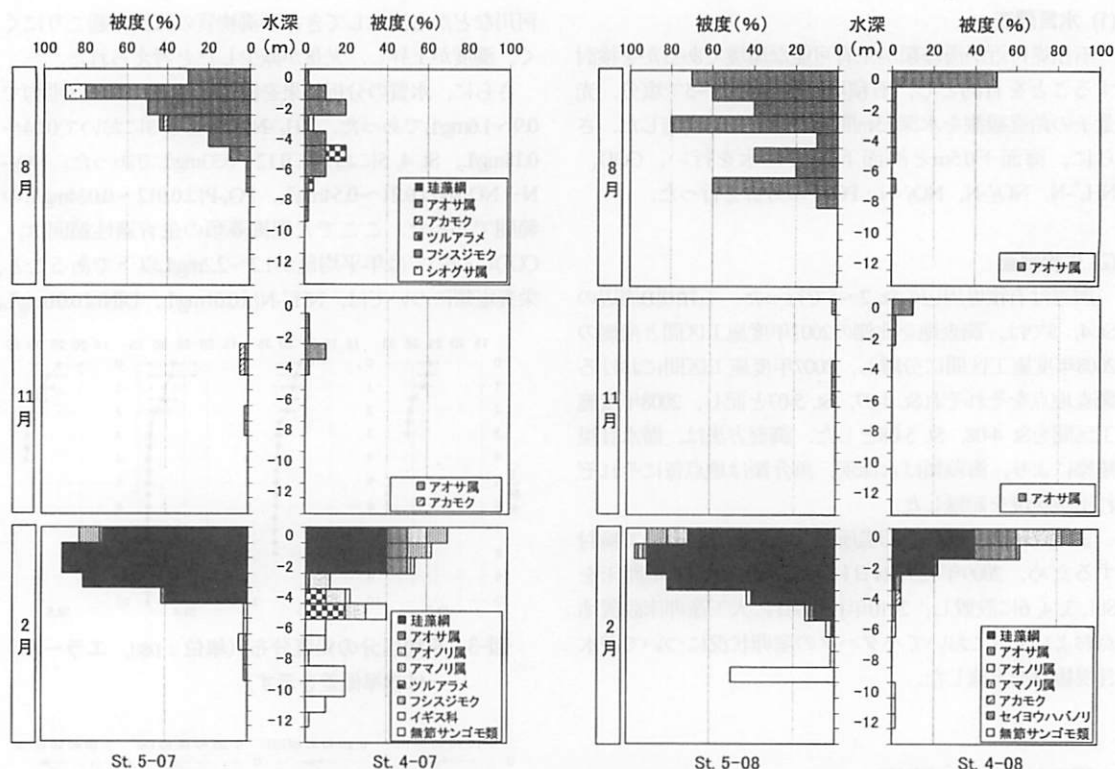


図-6 石積堤Bにおける海藻類の鉛直分布（左：2007年度施工区間，右：2008年度施工区間）

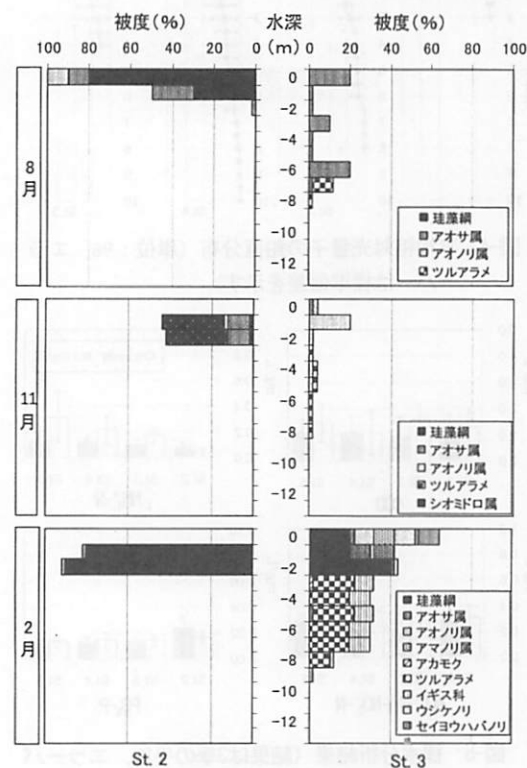


図-7 石積堤Aにおける海藻類の鉛直分布

$PO_4\text{-P}$ は 0.001mg/L 以上が必要である⁷⁾。今回の調査では、石積堤周辺の水質はどの地点もこの条件を満たしており、藻場構成種である大型褐藻類が栄養塩的な環境からは十分生育可能であることが明らかとなった。

(2) 生物出現状況

a) 海藻類

石積堤Bにおける海藻類被度の鉛直分布を図-6に示す。石積堤Bにおける防波堤側のSt. 5では、2007年度施工区間のSt. 5-07において8月には緑藻類のアオサ属が優占していたが、大型褐藻類のアカモク、フシスジモクの出現も確認された。しかし、11月には被度5%以上の出現種は認められず、2月には珪藻類が優占していた。一方、2008年度施工区間にあたるSt. 5-08では、St. 5-07同様に、8月には緑藻のアオサ属が優占し、11月には被度5%以上の出現種が認められず、2月には珪藻類が優占する季節変化を示したが、St. 5-07と異なりSt. 5-08には大型褐藻類は確認されなかった。

一方で、St. 4では、2007年度施工区間のSt. 4-07において、8月にはアオサ属が優占していたが、大型褐藻類のツルアラメの出現も確認された。さらに、2月の調査では、ツルアラメの被度は10～20%に増加していた。一方で、St. 4-08では、07年同様に海面付近に海藻のアオサ属

が優占したが、ツルアラメの出現は少なく、大型褐藻類の出現は2月におけるアカモクのわずかな出現にとどまった。

石積堤B周辺のSt. 4,5は、2007年度区間で出現する大型褐藻類が2008年度施工区間ではほとんど出現していないことが明らかとなった。また、8月から11月にかけて付着生物が少なくなっていたが、11月には潜水目視観察の際に石積堤の形状変化が確認されたことから、高波浪時の越波によって石材が攪乱され、付着生物の遷移が進まなかったのではないかと推測された。しかしながら、St.4-07の水深4～5m付近では、大型褐藻類のツルアラメの被度が増加する傾向にあることが明らかとなり、St. 4地点の水深4～5m付近において、ツルアラメを主とする褐藻類藻場が形成される可能性が示唆された。

次に、石積堤Aにおける海藻類の分布を図-7に示した。St. 2では、全期間においてアオサ属および珪藻綱が優占しており、大型褐藻類は確認されなかった。この理由としては、図-3よりツルアラメなどのコンブ類の生育可能な塩分範囲が2m以深であるのに対し、図-4よりSt. 2における水深2m以深は相対光量子が5%を下回っていることから、St. 2は淡水流入による塩分濃度の低下と濁度の上昇により、ツルアラメの生育には不適な環境が形成されたためと考えられた。一方でSt.3では、8月および11月にはアオサ属が優占する他、ツルアラメ、アカモクが出現し、ツルアラメは2月には被度10～20%に増加していたことから、大型褐藻類による藻場が形成される可能性が示された。大型海藻のツルアラメの被度が増加していた

St. 3とSt. 4は、他の地点に比べ波高が大きい地点であることが、既往研究⁹⁾により示されている。さらに、本研究から水質条件が類似していることも示されており、このことからSt. 3とSt. 4は海藻類の生育環境条件が類似していることが明らかとなった。

b) 魚介類

各調査で出現した魚介類の一覧を表-1に示す。確認された種類数は0～7種類であり、全体では15種類が確認された。出現種の構成は、岩礁性魚類のメバル属、クロダイ、メジナ、ウマズラハギなどが中心となり、沿岸性回遊魚のマアジや軟体動物のミズダコなども出現した。現状として大規模かつ安定的な藻場の形成には至っていないこと、目視観察時に魚介類が石の隙間や石積堤周辺を遊泳する様子が観察されたことから、石積堤の持つ凹凸や間隙のある構造が魚介類にとって良好な生息場を創出しているものと考えられた。

出現種は8月に多く確認されており、最も多くの種が確認されたのはSt. 5-07であった。一方、2月は魚類は確認されず、ミズダコが確認されたのみであることから、石積堤は夏季の方が多くの魚介類に利用されていることがわかった。

石積堤Bにおいて施工年度による違いを検討した結果、2007年度区間での確認種数がやや多い結果であった。また、St. 4とSt. 5で比較すると、8月では出現種数に差があまりみられないものの、11月は出現種の全てが防波堤側のSt. 5で確認されていることが明らかとなった。一方で、石積堤Aにおける護岸側のSt. 2では魚介類が確認されなかった。この理由としては、St. 2では全体が石積堤により囲われているために、魚介類の侵入が阻害され、越流などにより侵入してきた魚介類もその閉塞性から生息できなかったと考えられた。

(3) ハタハタ産卵状況

ハタハタの卵塊の確認結果を図-8に示す。ハタハタの卵塊が確認されたのはSt. 4とSt. 7の2地点のみであった。

St. 7では海底の転石やブロックに生育する小型紅藻類にハタハタの卵塊が確認された。一方で、St. 4ではSt. 7同様に小型紅藻類やエボヤ等の付着動物などに確認されただけでなく、石積堤に生育していた大型褐藻類のツルアラメやアカモクに卵塊が確認された(図-9)。また、St.4において設置された人工産卵床にも7個のハタハタの卵塊を確認した(図-10)ことから、この場所がハタハタの産卵場として高いポテンシャルを持っていることが示された。今回の調査からは、今後、石積堤Bに形成されたツルアラメを主とする藻場の拡大が期待されており、このことは、ハタハタの産卵場所形成にも繋がると思われることが明らかとなった。

表-1 出現した魚介類一覧

種名	石積堤B				石積堤A	
	2007年度施工 St.5-07	St.4-07	2008年度施工 St.5-08	St.4-08	2007年度施工 St.2	St.3
(8月)						
メバル属	○	○	○	○		○
アイナメ			○	○		○
クジメ						○
マアジ	○					
クロダイ	○					○
マダイ	○	○		○		
イシダイ						○
メジナ		○	○	○		
ウミタナゴ	○		○			○
ササノハベラ		○				
ホンベラ		○				
キュウセン						○
ハゼ科	○					
ウマズラハギ		○	○	○		
マダコ	○					
種類数	7	6	5	5	0	6
(11月)						
メバル属	○		○			
メジナ	○		○			
アイナメ			○			
ウミタナゴ			○			
ササノハベラ	○					
種類数	3	0	4	0	0	0
(2月)						
ミズダコ	○			○		
種類数	1	0	0	1	0	0

一方で、St. 3の大型褐藻類の出現状況がSt. 4と類似していたことから産卵環境は類似していたと推測されるが、St. 3においてハタハタの卵塊は確認されなかった。ここで両地点の位置関係を見ると、外港地区よりも港奥側の地点ではハタハタの卵塊が確認されていない。以上のことから、石積堤B付近が港内の産卵場所として最奥部である可能性が示された。

本研究結果から、秋田港に設置された傾斜石積堤タイプの長周期波対策施設は、凹凸や間隙のある構造が多く、魚介類に生息場を提供していた。St. 3とSt. 4において2月にはツルアラメを主とする藻場の形成が確認され、さらに今後拡大することが期待された。また、港口部に形成された藻場はハタハタの産卵場となり得ることが明らかとなり、今後、施設上に藻場が拡大することにより、本施設の生物共生効果がますます高まることが期待された。このような傾斜石積堤タイプの長周期波対策施設は、港湾における荷役障害を解消するのみならず、開発によって失われた生物共生環境を港湾内に創出する役割についても積極的に評価できると考えられる。

4. 結論

秋田港内に設置した傾斜石積堤タイプの長周期波対策施設について、生物学的観点から現地調査を実施した結果、以下の結論を得た。

- ① 石積堤A、Bともに周辺の水质は藻場構成種の生育適正範囲であり、塩分と相対光量子からは水深約2～7mの範囲が生育適地と示された。
- ② 石積堤施工後1～2年目の藻場構成種については、石積堤A、Bともに航路側の水深3～8mの水深にツルアラメの被度が増加していた。また、アカモク等も点生していた。
- ③ 岩礁性や沿岸回遊性の魚類等が夏季に石積堤A、B周辺を生息場として利用していた。
- ④ 石積堤Bに形成された藻場にハタハタが産卵した。
- ⑤ 石積堤A、Bともに航路側に生育する大型褐藻類の被度が増加する傾向があり、今後、この地点において安定した藻場の形成が期待された。さらに、石積堤Bではハタハタの産卵が増加する可能性が示された。

今後、藻場形成およびハタハタの産卵増加を検証する目的で継続的にモニタリングを行い、長期的な石積堤の生物共生効果を把握する予定である。

謝辞

本研究は、秋田港大浜地区生物共生型実験護岸検討委員会の協力を得て遂行された。ここに感謝の意を表す。

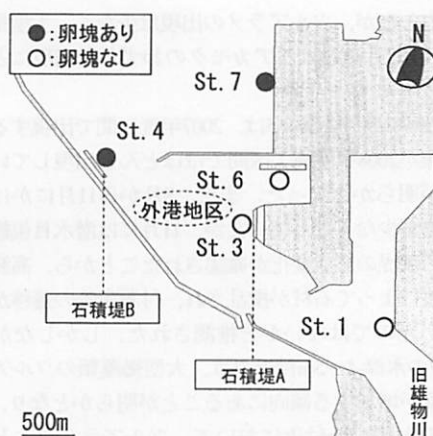


図-8 ハタハタの卵塊の確認結果

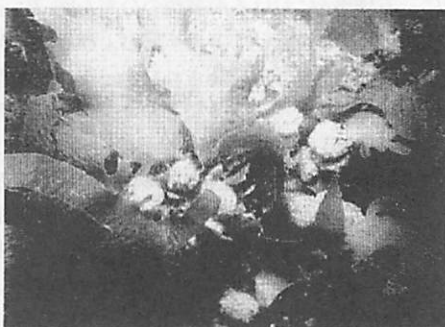


図-9 ツルアラメに産卵されたハタハタの卵塊

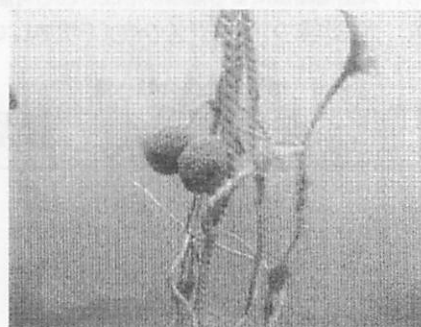


図-10 人工産卵床に産卵されたハタハタの卵塊

参考文献

- 1) 小澤敏二, 森屋陽一, 山本慎寿, 平山克也, 平石哲也: 秋田港における港内長周期波対策施設による静穏度向上効果, 海洋開発論文集, Vol. 25, pp. 653-658, 2009.
- 2) 井口薫: 緩傾斜護岸の生物多様性向上技術に関する現地実証実験による研究, 海洋開発論文集, Vol. 25, pp. 323-328, 2009.
- 3) 水産庁: 魚場環境修復推進調査報告書(総合とりまとめ), 2002
- 4) 栗原康: 河口・沿岸域の生態学とエコテクノロジー, pp.161, 東海大学出版, 1998.

- 5) 秋田県農新水産技術センター水産振興センター：平成 21 年度 第 3 回 ハタハタ資源対策協議会資料, pp.1-8.
- 6) 国土交通省 東北地方整備局 秋田港湾事務所：平成 20 年度 秋田港湾内長周期波観測調査 報告書
- 7) 海の自然再生ワーキンググループ：海の自然再生ハンドブック 第 3 巻 藻場編, pp.81-84, 2003.
- 8) 能登谷正浩：藻場の海藻と造成技術, pp.109, 成山堂書店, 2003.

(2010.5.21 受付)

Evaluation of the Long Period Wave Absorbing Sea Wall in Akita-port as Habitat for Nektons and Seaweeds

Yumi NAGAHAMA¹, Osamu NISHIMURA¹, Shuhei MASUDA², Keiji OZAWA³, Hisashi HARADA⁴ and Takayuki KAWASAKI⁵

¹ Department of Civil and Environmental Engineering, Tohoku University

² Department of Civil and Environmental Engineering, Akita National College of Technology

³ Tohoku Regional Development Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (Former)

⁴ Tohoku Regional Development Bureau Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

⁵ Ecoh Corporation

The object of this paper is to clarify the effects of inclined sea wall, a kind of the long period wave absorbing sea wall, on the creation of habitat for nektons and seaweeds. Water qualities, the cover degree and species of seaweeds on the sea wall, and the species of nektons in this area were measured during two years after construction of the inclined sea wall. The results of nutrients, light and salinity conditions show that the inclined sea wall have a high suitability for growing and forming of seaweeds beds. Actually, we found growing brown seaweeds such as *Ecklonia stolonifera* or *Sargassum horneri* on the inclined sea wall. Moreover, many kinds of nektons were observed around the sea wall. Additionally, *Arctoscopus japonicus* spawned on seaweeds inhabiting on the sea wall and artificial spawning beds. These results show that inclined sea wall is possible to play important roles for not only long period wave absorbing but also habitat creation of seaweeds and nektons.