

原著論文

有明海の覆砂漁場における低天端型の堤による 砂の流失抑制とアサリの生残

中川元也*¹・平野忠彦*²・島谷 学*³・石村忠昭*⁴・柳瀬知之*⁵

Survival of Short-neck Clam in an Artificial Sand Cover Enhanced by Preventing Sand Loss with Small Breakwaters Built on an Exposed Tidal Flat in Ariake Sound, Japan

Motoya NAKAGAWA, Tadahiko HIRANO, Manabu SHIMAYA, Tadaaki ISHIMURA, Tomoyuki YANASE

As a refuge from wave disturbances for juvenile short-neck clam *Ruditapes philippinarum*, a set of small breakwaters was built in an exposed tidal flat to prevent sand escaping from the experimental plot. The artificial sand cover was successfully kept on the plot sheltered between the breakwaters made of riprap in a line, while ground heights on the cover changed with time and became spatially unequal caused by erosion and sedimentation of sand. Wild clam juveniles occurred in the sand cover, and they recruited into the adult stage after overwintering. However, it was suggested that, to maintain the effect of the clam refuge, human intervention to relocate the sand is necessary to keep an even sand cover between the low breakwaters.

2011年10月3日受付, 2012年6月27日受理

冬季の季節風などで強い波が当たる場所では海底の砂が激しく移動し、アサリが定位できないことが知られている^{1,2)}。漁場としての静穏域を確保するために、例えば魚類養殖漁場では消波堤を設置する事例がある³⁾。しかし、アサリ漁場のためにいわゆる消波堤のような大規模な構造物を設置することは経済性の面から現実的ではない。そこで筆者らは、有明海において砂の移動を抑制できるような小規模な構造物をアサリを対象とした覆砂漁場に設置することを検討した。これによってアサリ漁場の造成のために敷設した覆砂材の波浪等の作用による流失を低減し、底質の安定化を図ることができれば、比較的厳しい海象条件下でもアサリ漁場造成が可能となり、アサリ漁獲量の向上が期待できる。このような考えに立ち、筆者らは2005年に小規模な構造物として高さ

の低い捨石構造の堤（以下、砂止潜堤と表記）を提案し⁴⁾ 実証実験を開始した。実証実験は、アサリを対象とした覆砂漁場において、砂止潜堤を設置し覆砂材の流失を低減することによって、アサリの定位促進を図ることを目的として行った。

2005年の実証実験では、高さ1mの砂止潜堤を4列配置しその間に覆砂を行った実験漁場と、対照として砂止潜堤を設置していない覆砂区を造成し実験に着手した。また、それに先立ち、砂止潜堤の構造を検討するための室内実験⁵⁾を行った。2006年まで2年間の実証実験の結果、砂止潜堤を設置した覆砂区では、覆砂材の流失を低減する効果が確認され、さらにアサリの加入とその後の残留についても良好な結果が得られた。また、施工2年後の時点でも砂止潜堤は施工時の形状を維持してい

*¹ 芙蓉海洋開発株式会社九州センター

〒839-0814 福岡県久留米市山川追分 1-3-19

Fuyo Ocean Development & Engineering Co.,Ltd., Kyushu Center, Yamakawaiwake, 1-3-19, Kurume, Fukuoka 839-0814, Japan
nakaga@fuyokaiyo.co.jp

*² 芙蓉海洋開発株式会社 技術士（水産部門）

*³ 五洋建設株式会社 博士（工学）、技術士（建設部門）

*⁴ 一般社団法人マリノフォーラム 21

*⁵ 水産庁

た。これに対し、砂止潜堤を設置していない覆砂区では覆砂材がほとんど流失した。このことから、海象条件が厳しい条件下でアサリ漁場を造成する場合、砂止潜堤を設置することが有効であると確認された⁴⁾。

一方で、この技術の実用化のためには、砂止潜堤をアサリ漁場に用いるにあたり、どのような砂面変動や地盤高にすればより多くのアサリがその場に残るのかを示すことが必要であると考えられた。また、漁場の拡大に最小限必要な砂止潜堤の列数を把握することも課題として残された。そこで2006年からは砂止潜堤の列数を4列から3列に減じ覆砂の面積を広げるなどの改良を行い、新たに実験漁場を造成してその実証に着手した。本報告ではその成果を報告し、今後の技術開発の方向性について検討する。

方法

実験場所と実験漁場の造成 本実験は、有明海に面した長崎県雲仙市多比良地先の干潟で行った。実験場所を図1に示す。この干潟では、高さ1mの石囲いを用いたアサリ漁場が既設されていたが、冬季の強い波浪のために覆砂した砂が移動したり流失したりする問題を抱えていた。そこで、この干潟域を対象とし、2005年より新たに砂止潜堤を用いた実験を進めた。実験場所の地盤高は

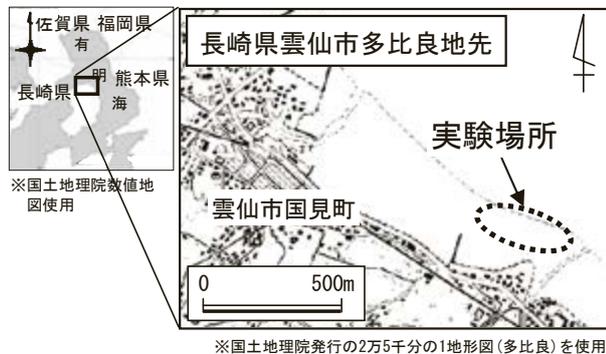


図1. 実験場所 長崎県雲仙市多比良地先

D.L. +1.5m 前後で、干出時の干出時間は最大で約4時間である。底質は礫浜であり、粒径0.3mm前後の砂分と、10mm前後の礫分が主体となっている。流れは南東方向への流れが卓越する海域となっている。

2005年に造成した実験漁場の平面図を図2に示す。砂止潜堤の長さは49mとし、15mの間隔において4列配置した。覆砂材は碎石と海砂の混合覆砂とした。砂止潜堤の断面図を図3に示す。砂止潜堤の内部には大型土のう(透過防止)を置き、その上に捨石(50~200kg/個)を積み上げ堤体の高さは1mとした。また、砂止潜堤を設置していない覆砂区を実験漁場の隣に造成し、砂止潜堤の有無による効果を把握した。

これに対し、2006年度および2007年度に造成した実験漁場では、漁場の拡大に最小限必要な砂止潜堤の列数を把握するため、砂止潜堤の配置列数を4列から3列に減らすとともに、砂止潜堤の配置の間隔を沖側17m、岸側27mに拡大した(図4)。なお、堤体の高さは2005年に造成した実験漁場と同様に1mとした。2006年には西側部分(以下、2006年度造成区と表記)を造成し、2007年には2006年度造成区の東側に拡大・伸長する形で造成した(以下、2007年度造成区と表記)。この実験漁場では、砂止潜堤の設置間隔を15mから、17mと27mに広げたため、覆砂材の流失を低減する効果が低下

断面図

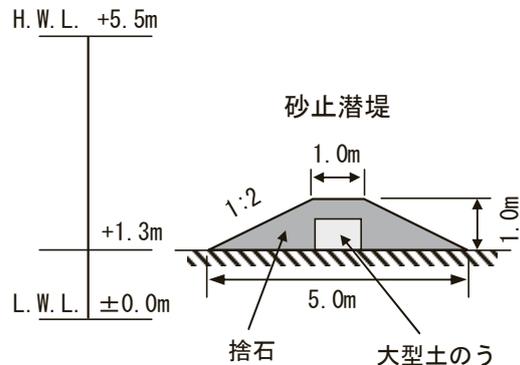


図3. 砂止潜堤の断面図

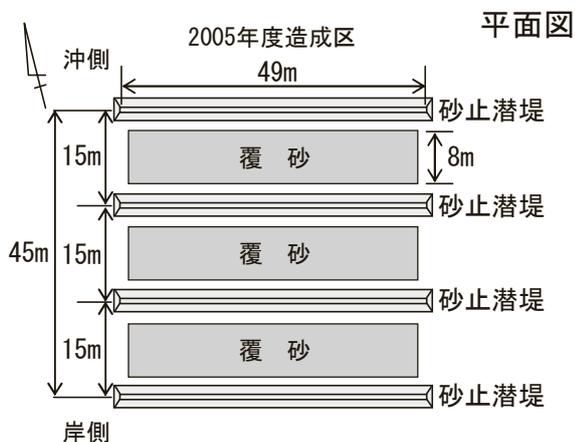


図2. 砂止潜堤の平面配置図(2005年度造成区)

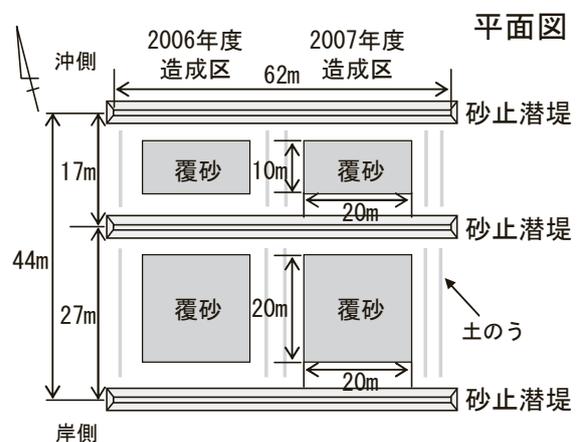


図4. 砂止潜堤の平面配置図(2006年度, 2007年度造成区)

することが危惧された。そのため、図4に示すように覆砂範囲の側面に土のうを配置し流失抑制対策とした。

2005年の実証実験では、砂に碎石を混合することにより、砂の移動によって形成される砂漣の高さが抑えられることが分かり、砂の移動も抑制されることが推察された。そこで、2006年度造成区には覆砂材として有明海で一般的にアサリ漁場造成に用いる砂（購入海砂：中央粒径0.9mm）に、碎石（5～20mm）を1対1の割合で混合したものをを用いた。一方、2007年度造成区には海岸に堆積した砂（中央粒径0.95mm）を活用した。覆砂厚は2006年度造成区が30cm、2007年度造成区は実験漁場が東側にかけてゆるやかに高くなっているため、覆砂面の地盤高が2006年度造成区とほぼ等しくなるように15cmとした。

効果調査 覆砂材の流失低減効果の確認は、覆砂面の地盤高を継続的に計測することにより行った。地盤高の計測には国土地理院認定1級GPS測量機（日本GPSソリューションズ株式会社製NetSurv3000、計測精度：水平±10mm、垂直±20mm）を用いた。2006年度造成区の地盤高の計測は、造成直後の8月8日から2008年6月5日までの間、合計9回行った。また、地盤高の計測結果を用いて砂の体積およびその変化量を計算した。

アサリ漁場としての効果は、覆砂区とその周辺を対照区としてそれぞれ砂止潜堤の内側および外側にアサリの採取点を設けて確認を行った（図5）。各点では採取面積0.05m²の方形枠を使って底質を10cmの深さで2回採取し、1mm目のふるいに残ったアサリを現地でホルマリン固定し持ち帰り、アサリの個体数を計数し、各個体の殻長を計測した。

実験場所である島原半島北部沿岸域のアサリ漁業は、秋に殻長20mm程度のアサリを放流し、翌年の春に漁獲するという操業形態である。実証実験においても当地の操業形態に倣ってアサリを放流し、放流後の残留を把握する実験を行った。本報告では、2006年からの実証実験結果について報告しているが、砂止潜堤を設置して

いない覆砂区への放流アサリの残留実験は2005年のみ実施したものである。このため、放流アサリの残留結果のとりまとめは2005年から2007年の値を用いた。

アサリの放流は、2005年には同年に造成した砂止潜堤を設置した覆砂区と設置していない覆砂区の2カ所、2006年と2007年はそれぞれの年度に造成した覆砂区で実施した。アサリの放流量は、2005年は1.95トンで、2006年および2007年はともに1.5トンであった。放流に用いたアサリは、無作為に50個体を選んで殻長と湿重量を計測し平均値を求めた。2005年の単位面積当たりの放流量は236個体/m²、放流時の平均殻長27.8mm、2006年は806個体/m²、平均殻長25.5mm、2007年は676個体/m²、平均殻長26.3mmであった。放流量（トン）と1個体の平均湿重量および放流面積から放流時における1m²当たりアサリ個体数を計算し残留率を算出するための初期値とした。アサリの個体密度の変動は、死亡による減少だけでなく、個体の移動による出入りも含んでいることから、本論文では生残率という語を用いず、ある時点の個体密度とその前の時点の個体密度との百分比を残留率と呼ぶことにする。なお、方形枠で採集されるアサリの個体数はばらつきが大きいので、残留率が100%より大きな値を示すことがあるが、これは誤差によるものである。放流したアサリの残留の確認は、放流2カ月後（12月）、4カ月後（翌年2月）および8カ月後（6月）の3回行った。調査期間は、漁場造成2カ月後の10月に放流を行ってから翌年6月までであるため、造成から1年以内である。天然アサリと放流アサリの違いは、10月の放流時点で新しい覆砂区に天然アサリがほとんど確認されていないこと、また6月の時点で新たに加入した天然アサリは殻長約15mmまでの稚貝であったことから、残留実験における天然アサリの影響はほとんど無いものとみなした。なお、ナルトビエイによる食害の影響を除くため、アサリを放流した実験漁場に食害防止対策として地元の漁業者が行っている方法に倣い、目の大きさ約15cmの網を用いて地盤から2mの高さの囲いを設けた（図6）。

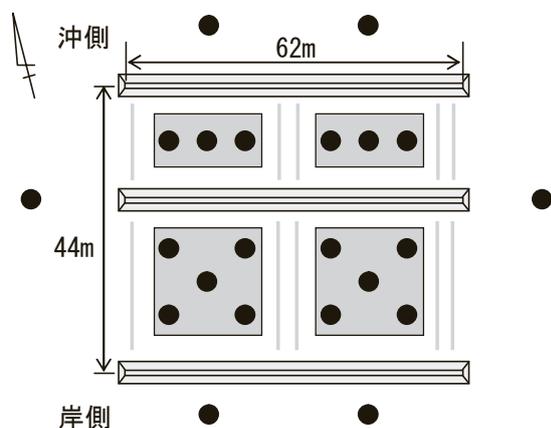


図5. アサリ採取地点



図6. 食害防止対策（網の敷設）

この実験漁場はやや地盤高が高く干出時間が長い
ため、アサリの生息環境を把握する項目のひとつとして地
温の計測を行った。地温の計測には、超小型メモリー式
水温計（JFE アドバンテック株式会社製 MDS-Mark V 型、
精度± 0.05℃）を用いた。この水温計を実験漁場の平均
的な地盤高である D.L.+1.5m の 1 地点で深さ約 3cm の
地中に埋めて 10 分間隔で温度を連続記録した。なお、
地温の変化に影響を与える気温は、近隣に位置する長崎
県島原市のアメダスデータを引用した。また、地温を計
測した干潟表面には水温塩分計も設置し、塩分値から干
出時刻を判断した。

結 果

地盤高の変化 砂止潜堤間の覆砂区では、覆砂材が沖側
から岸側に向かって移動し、結果、岸側の地盤が上昇す
る傾向が認められた。そこで、沖側と岸側の地盤高の変
化を確認するため、砂止潜堤に直交するように 2006 年
度造成区および 2007 年度造成区それぞれの中心測線に
おける造成直後の地盤高の計測値と各回の計測値との差

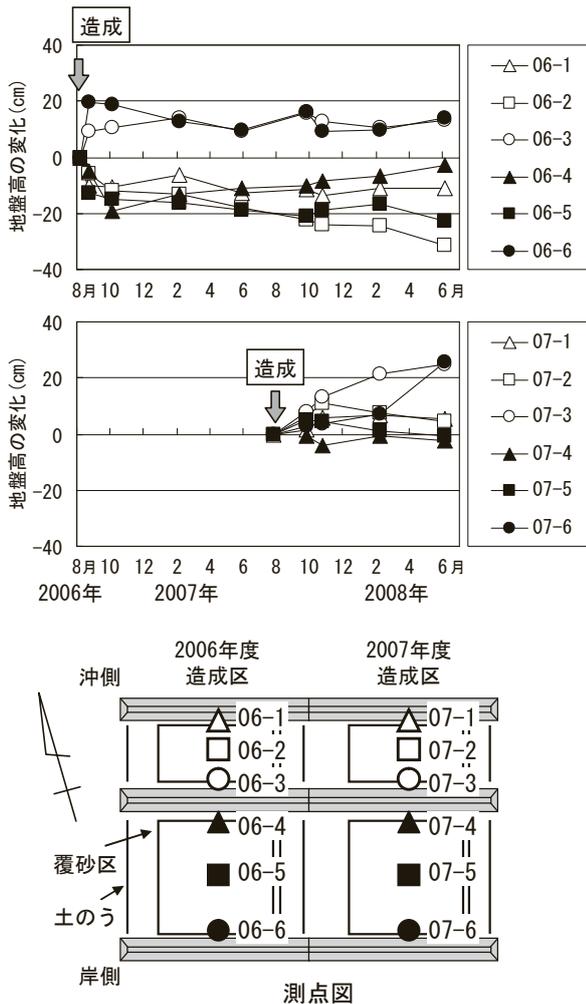


図 7. 潜堤間の覆砂区の地盤高変化

分をプロットしたものを図 7 に示す。2006 年度造成区
では砂止潜堤間の覆砂区の最も岸側の測点（06-6）で堆
積傾向を示した。施工から約 2 週間で約 20cm 地盤が高
くなり、その後やや地盤が下がったものの施工の約 14
カ月後の 2007 年 10 月には、施工時より約 + 10cm、施
工の約 23 カ月後の 2008 年 6 月には施工直後の時より
も + 14cm 高い地盤高を示した。一方、最も沖側の測
点（06-1）では侵食傾向を示し、施工から約 2 カ月後で
10cm、施工約 14 カ月後には 13cm、23 カ月後には 11cm
の地盤低下がみられた。2007 年度造成区では岸側の測
点（07-3、6）において施工約 12 カ月後（2008 年 6 月）
で約 25cm の地盤高の上昇がみられた。また、中心部と
沖側（07-1、2、4、5）では、施工 12 カ月後（2008 年 6 月）
までの変化は 10cm 程度であり、岸側の測点と比べると
施工後からの地盤高の変化は小さい傾向が認められた。

地盤高の変化を平面的に整理したものを図 8 に示す。
2006 年度造成区として示した図は、2006 年 8 月から
2008 年 6 月の計測値の差分を、2007 年度造成区として
示した図は、2007 年 7 月から 2008 年 6 月までの計測値
の差分をコンターで表している。その結果、堤間の岸側
でいずれも 10cm 以上の地盤の上昇域が認められた。こ
の期間における地盤高の変化は 2006 年度造成区の覆砂
区では -15 ~ 20cm で、覆砂区の岸側で堆積、中心部と
沖側で侵食傾向にあった。同様に、2007 年度造成区の
覆砂区では地盤高の変化は 0 ~ 20cm であり、覆砂区の
岸側で堆積傾向がみられたが、覆砂区を中心部および沖
側では地盤高の変化が少なかった。

地盤高の変化を連続計測した値を用いて、実験漁場
内の砂の体積を求めた。その結果、当初の覆砂量の
370.5m³ に対し、1 年後は 372.2m³ で約 0.5% 増加した。
潜堤間の覆砂区では、地盤高の変化、覆砂材の移動はあ
るものの、砂の総量はほとんど変化せず、砂止潜堤によ
って砂の流失が抑制されたことが示された。

アサリの加入および成長 2006 年度造成区への新規加
入が期待される 2007 年 7 月から 2009 年 11 月までの間

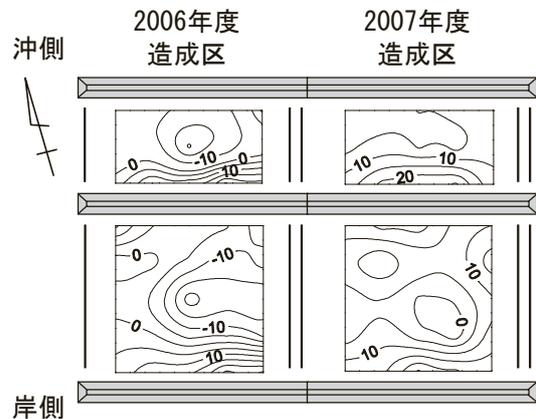


図 8. 潜堤間の覆砂区の地盤高変化（平面図：cm）

に採取したアサリについて殻長組成の変化を図9に示す。採取したアサリには放流した個体も含まれている。なお、殻長組成図の作成には、砂止潜堤間の覆砂区で採取した個体と潜堤の外側で採取した個体を区分し、前者を覆砂区、後者を対照区として整理した。

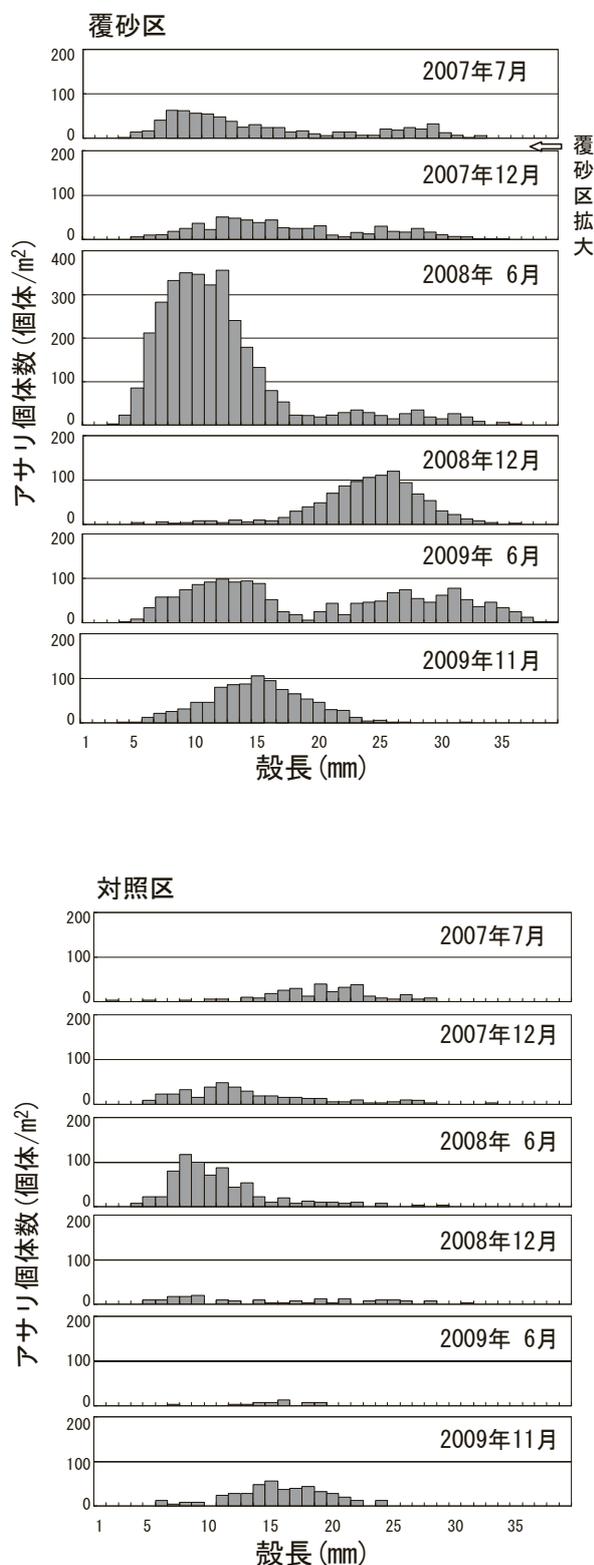


図9. アサリの加入および成長

2007年7月の調査では砂止潜堤間の覆砂区に殻長10mm前後のアサリ稚貝の加入が観察された。それに対し、同年同月の対照区では、稚貝の加入はほとんど認められなかった。さらに翌年の6月には、前年よりも高密度でアサリ稚貝の加入が観察された。この時は、対照区でも稚貝の加入が観察されたが、加入の密度は砂止潜堤間の覆砂区と比べると3分の1以下であった。この2008年6月の稚貝の加入群は、同年12月には殻長25mm程度に成長したことも観察された。一方、対照区と同加入群は半年後の同年12月の時点でほとんどみられなくなった。2008年6月に潜堤間の覆砂区に着底したアサリは、1年後の2009年6月の時点で平均殻長が28mm以上に成長した。すなわち、砂止潜堤間の覆砂区に着底したアサリはそこで冬を越え、翌年6月には漁獲サイズにまで成長していた。アサリ稚貝は年変動はあるが2007年から2009年まで毎年確認され、加入群の成長と残留を追跡調査した結果、砂止潜堤間の覆砂区に加入したアサリ稚貝はそこで成長し、越冬したことを確認した。

砂止潜堤間の覆砂区では、砂止潜堤の設置によって堆積や侵食など地形の変化がみられた。2008年加入群のアサリが覆砂区の中の範囲で残留しているかを調べるために、2008年6月から2009年6月までにおける地点別のアサリの残留率と地盤高の変化の関係を図10に示す。アサリの残留率は、地盤高の変化が小さい、すなわち覆砂の堆積や侵食が少なかった地点で高い残留率を示した。

放流したアサリの残留 10月にアサリを放流し、その翌年春までの残留率について調査した結果を図11に示す。2005年に造成した砂止潜堤を設置していない覆砂区に放流したアサリの残留率は、放流2カ月後に約8%、漁獲時期となる放流8カ月後の残留率は約3%であり、残留はほとんど認められなかった。これに対して、砂止

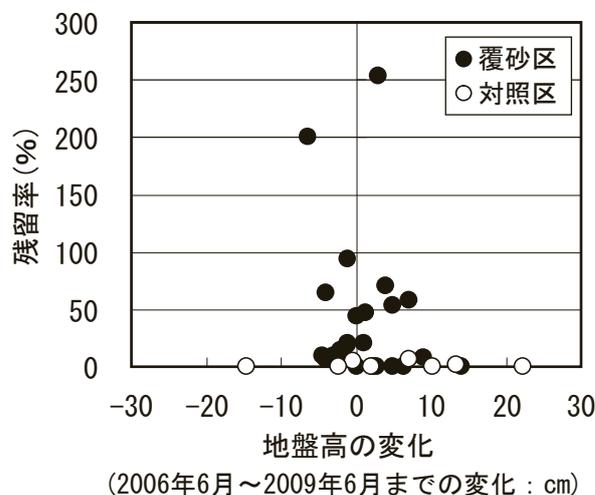


図10. アサリの残留率と地盤高変化(堆積・侵食)の関係

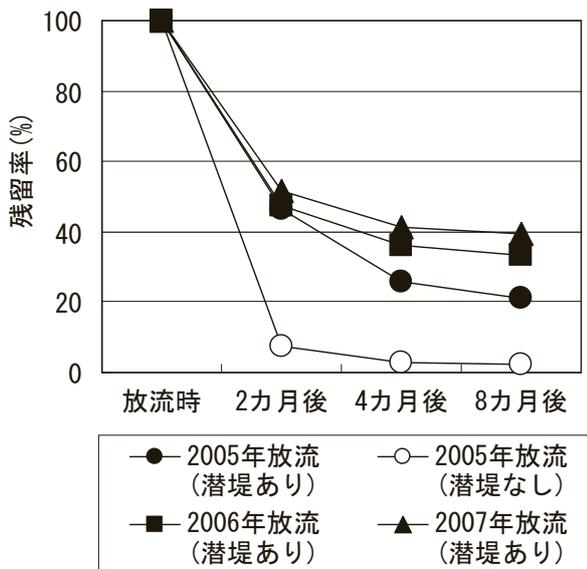


図 11. 放流アサリの個体数残留率

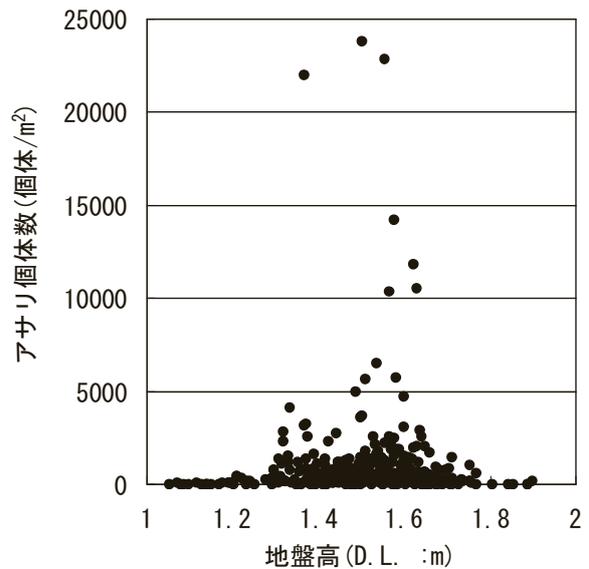


図 13. アサリの生息密度と地盤高の関係

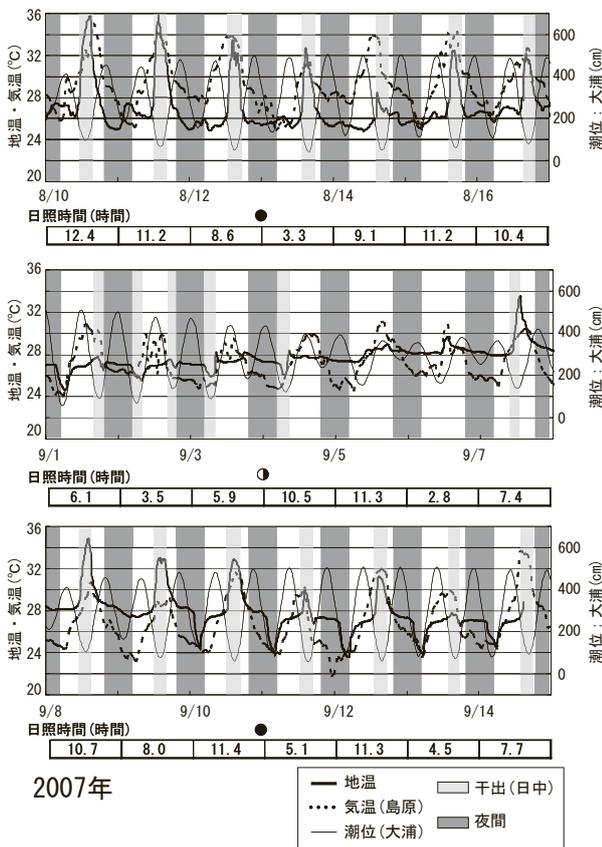


図 12. 地温の計測結果

潜堤間の覆砂区に放流したアサリの残留率は、放流2カ月後の時点で50%前後、漁獲時期となる放流8カ月後では21～40%程度を維持した。砂止潜堤を設置することによって、砂止潜堤を設置していない覆砂区に放流するよりも残留率が大きく改善することが確認でき、アサリ漁場としての機能性が期待される結果を得た。

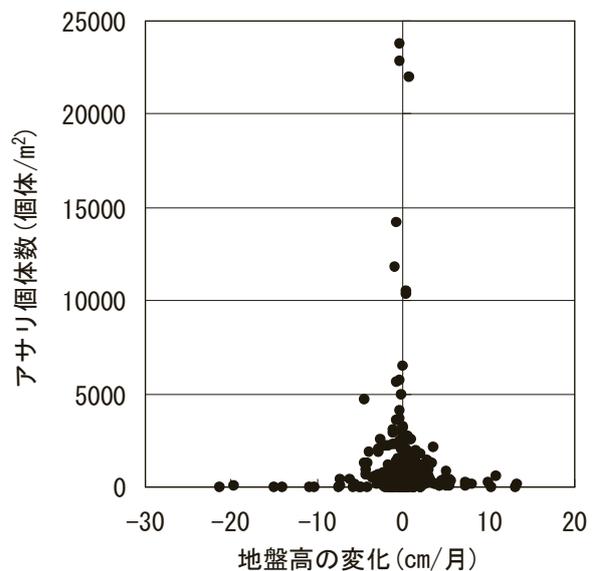


図 14. アサリの生息密度と地盤高の変化量との関係

夏季における地温の変化 2007年9月に覆砂面の地温を連続観測した結果を図12に示す。地温は、日中に干出すると30～35℃となり、また、日照時間が8時間以上の時に高くなる傾向があった。日中に干出した回数は、観測期間中19回であり、その内気温が30℃を超えたのが13回、地温が30℃を超えたのが11回観測された。8月10日と11日には地温が35.8℃を記録し、35℃を上回った時間は10日に80分間、11日に40分間継続した。

地盤高とアサリの生息密度の関係 覆砂漁場に砂止潜堤を設置した結果、覆砂材の流失は低減できるものの、覆砂面の高さが20cm程度は変化することがわかった。ま

た、実験漁場では、夏季に干潟面の干出に伴い地温が30℃以上にまで上昇することもわかった。実験漁場内における地盤高とアサリの生息密度との関係をまとめた結果を図13に示す。実験漁場の平均的な地盤高はD.L.+1.5mであり、D.L.+1.3mから+1.7mの範囲にアサリが多く分布している。また、地盤高がD.L.+1.2m以下、+1.8m以上となるとアサリの生息はほとんど認められないことが示された。地盤高の変化速度に着目し、継続的に計測した地盤高の計測値を月当たりの変化量に換算し、アサリの生息密度との関係を整理した結果を図14に示す。アサリの生息密度は、月当たりの地盤高の変化量が±5cm以内の測点で高い傾向が認められた。

考 察

砂止潜堤を活用したアサリ漁場造成技術では、砂の移動は許容するものの、その適切な範囲を明らかにする必要がある。砂止潜堤の設置間隔を15m、列数を4列とした2005年の実証実験において砂止め効果を確認したが⁴⁾、設置列数を1列減らし砂止潜堤の設置間隔を広げた今回の実証実験においても、覆砂材の流出が砂止潜堤によって低減することが明らかになった。碎石混合覆砂は碎石を混入することによって砂の移動を抑える効果を期待したが、移動した砂を物理的に捕捉する潜堤の効果が大きく、波浪環境の厳しい今回のような実験漁場では、碎石の混合による砂止め効果は明確には確認できなかった。一方、覆砂区の側面に配置した土のうは、砂止潜堤と平行した流れによって移動する覆砂材の流出を抑える効果があると考えられた。

覆砂材の流出を抑えることとアサリの分布パターンとの関係では、地盤高の変化が月当たり±5cm以内に抑制された場所でアサリの個体密度が高くなることが示唆された。これは、砂止潜堤によって覆砂材の流失が低減され、底質が安定した結果、着底したアサリの生息基盤が安定し、漁獲サイズとなるまでの成育環境が確保されたことによるものと考えられた。実験漁場では、砂止潜堤を導入することにより、天然のアサリ稚貝の加入による生産性の向上が期待できると考えられた。砂止潜堤による覆砂材の流出低減効果は、放流したアサリの残留率の向上にも寄与しており、砂止潜堤を設置していない場合のアサリの残留率は、放流8カ月後で約3%とほとんど残らなかったのに対して、砂止潜堤を設置した覆砂区では残留率が21～40%と大幅に上昇していた。

その一方、潜堤間の覆砂区の沖側では侵食傾向にあるのに対し、岸側の砂止潜堤の前面では覆砂材が堆積し、地盤高が高くなることも分かった。これは、波浪等の影響で移動する覆砂材を砂止潜堤が捕捉したためであるが、この状態を放置すると、覆砂した地盤が砂止潜堤の高さを越え、覆砂材が外部に流出することが懸念される。さらに、地盤高の上昇による干出時間の増加にともない、

夏季の地温の上昇によってアサリの成育環境が悪化することも考えられる。地盤高はアサリの生息環境の重要な要素のひとつである⁶⁾。地盤高が高くなると、干出時間が長くなり、夏季には地温が35℃以上になることは本実験が示したとおりである。今回の実験漁場では地盤高をD.L.+1.3～1.7mに維持することが必要と考えられた。

そこで、覆砂漁場の効果を維持するため、岸側の砂止潜堤の前面に堆積した砂を侵食された覆砂区の沖側に戻す管理方法を検討し、実験漁場に適用した。以下にその経緯を記す。既に述べたとおり、実験漁場では、地盤高がD.L.+1.3～1.7mの範囲でアサリの生息密度が高いことが示唆されている。堆積によって地盤がこの高さを超えた岸側の砂を一輪車で運び、侵食によって地盤高が低くなった覆砂区の沖側に移動させた。2008年7月29・30日に各日2時間6人で砂を移動させた(図15)。整地作業の概略を図16に示す。

砂を移動させた直後、2009年2月、同年6月および11月に実験漁場の地盤高を計測した。地盤高の変化を断面としてまとめた結果を図17に示す。約1年4カ月



図15. 整地作業による維持管理の試行

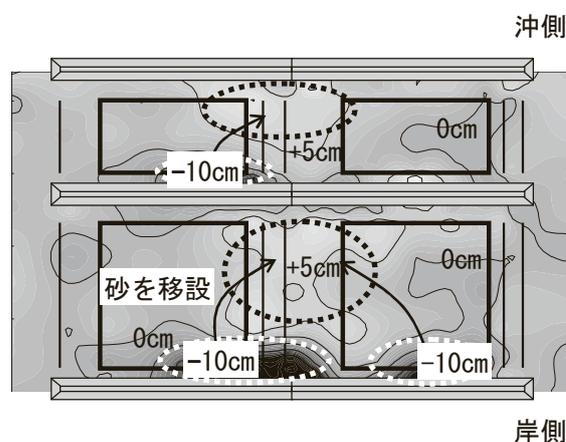


図16. 整地作業の概略

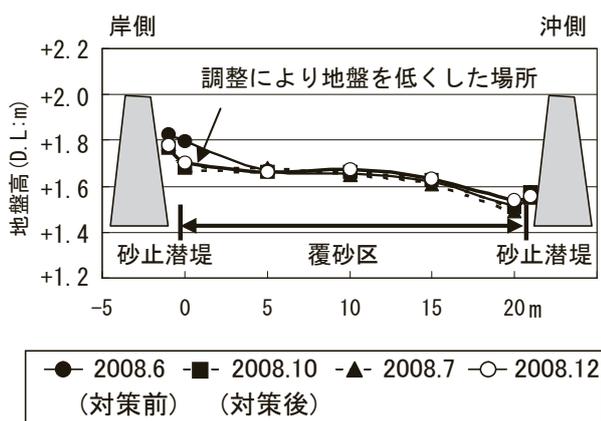


図 17. 整地作業前後の地盤高の比較

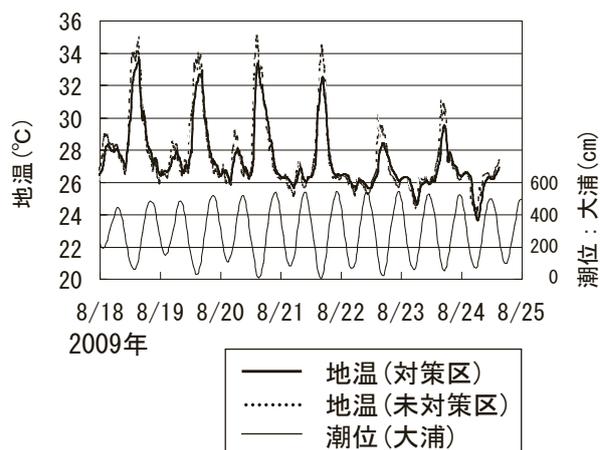


図 18. 整地作業に係わる地温の計測結果

経過した 2009 年 11 月でも地盤高は D.L.+1.8m 以下を維持していた。次に、整地作業を実施した翌年の 2009 年 8 月に地温を計測した結果を図 18 に示す。整地作業を行わず、地盤高 D.L.+1.85m で放置した地点の地温は、平均 27.8℃、最高 36.8℃を記録したのに対し、地盤高 D.L.+1.7m の地点の地温は平均 27.5℃、最高 34.7℃であった。平均温度にほとんど差はなかったが、最高温度には 2℃以上の差が認められた。このことから、地盤高を低く維持することによって、夏季の日中における地温の上昇を緩和できることが示された。

アサリの高水温への耐性は、40℃以上で 1～2 時間、また、35℃以上で 24 時間以上の接触によりへい死するとされている⁷⁾。また、有明海における生息適地は、大潮時干出時間が 3 時間以内といわれている⁸⁾。実験場所の干出時間は平均して 3 時間前後であるが、大潮時には約 4 時間となる。今回の実験漁場の地温は、気温よりも 3～4℃ほど高くなり、特に夏季の日照が強い時と大潮期の干出時が重なる場合には地温が大きく上昇する。覆砂材の移動と堆積により地盤高が上昇すると、さらに干出時間が長くなる。このため、適切なアサリ漁場環境を保つには、地盤高の監視を定期的に行い、地盤が高くなった時には人間の手で砂を移動させることが必要である。

今後の技術開発の方向 今後の技術開発としては、アサリの残留率を高めるために砂止潜堤を活用するにあたって、砂止潜堤を別の海域においても利用出来るように、潜堤の設置位置や設置間隔等について設計指針のような形で取りまとめることが必要である。砂止潜堤を用いたアサリ漁場造成技術の実用化には、本技術の費用対効果を明らかにすることが必要である。また、経済性を高めるためには、これまでの実証実験で示された機能性を保持した上でその建設・維持費の縮減を図ることが求められる。

謝 辞

本技術開発は、水産庁委託業務「有明海環境改善技術開発事業」ならびに「有明海漁場造成技術開発委託事業」において実施したものであり、本事業の関係各位に感謝申し上げます。特に地元漁業者の方々には、実証実験場所の提供および覆砂漁場の調査、維持管理作業等においてご協力を頂いた。アサリ資源全国協議会を構成する道県及び独立行政法人水産総合研究センター等の関係各位には、貴重なご意見とご助言を頂いた。また、2名の匿名の査読者によるご指摘・ご助言により原稿を大きく改善することが出来た。ここに感謝申し上げます。

文 献

- 1) 柿野 純・中田喜三郎・西沢 正・田口浩一 (1991) 東京湾盤洲地先におけるアサリの生息と波浪との関係. 水産工学, 28 (1), 51-55.
- 2) 柿野 純 (2006) アサリの減耗の及ぼす物理化学的環境の影響に関する研究. 水産工学, 43 (2), 117-130.
- 3) 浮消波堤協会 (1990) 浮消波堤・浮防波堤施工実績.
- 4) 島谷 学・清水英久・中川元也・石村忠昭・金巻精一・森健二 (2007) 長崎県有明海沿岸域におけるアサリ漁場造成を目的とした覆砂材の安定化に関する技術開発について. 平成 19 年度日本水産工学会学術講演会講演論文集, 237-240.
- 5) 島谷 学・住田裕志・清水英久・金巻精一・田中郁也 (2006) アサリ漁場の安定化に関する技術開発. 平成 18 年度日本水産工学会学術講演会講演論文集, 75-78.
- 6) (社) 全国沿岸漁業振興開発協会 (1997) 沿岸漁場整備開発事業 増殖場造成計画指針 ヒラメ・アサリ編 平成 8 年度版. 316.
- 7) 倉茂栄次郎・松本文夫 (1957) アサリの生態研究, 特に環境要素について. 水産学集成, 東京大学出版会, 611-655.
- 8) 山本正昭 (1997) アサリ漁場の物理環境. 水産工学, 33 (3), 193-199.