

漁港整備によるアサリ生息場の創出効果について

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 水産土木チーム ○牧田 佳巳
大橋 正臣

根室市の落石漁協では、作り育てる漁業に積極的に取り組むべく、根室半島の付け根に位置する落石湾内においてアサリの増養殖事業の検討を行っている。しかし、この水域は今後の漁港整備に伴う流況環境の変化が予想されている。本報告は、湾内の流速変化予測および振動流発生装置を用いた砂面低下速度実験より考察された漁港整備によるアサリ生息場の創出効果について報告するものである。

キーワード：生息環境、砂面低下、整備効果

1. はじめに

全国のアサリ漁獲量は、1980年代前半までは毎年14万トン前後で推移していたが、現在では2万トン前後まで減少している。一方、北海道では、道東地方を中心に漁獲されており、その量は全国とは逆に増加傾向にあったが、近年は減少傾向に転じている(図-1)。

このような状況の中、根室半島の付け根に位置する落石湾内北側の自然海浜においてアサリの生息が確認された。そのため、地元漁協ではアサリの増養殖事業に新規着手する意向を示しているが、これに隣接する落石漁港(図-2)では、港内静穏度向上のための防波堤延伸が計画されている。そこで本研究では、漁港整備によるアサリ生息場の創出効果について報告する。

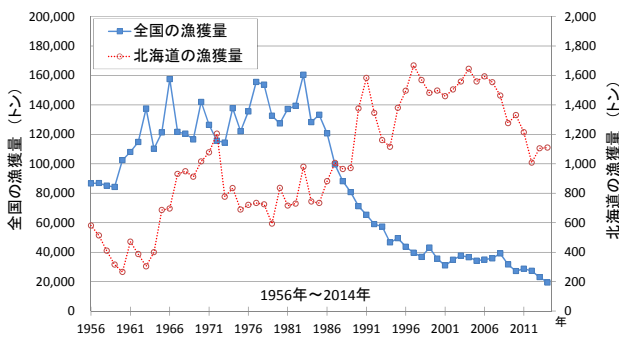


図-1 アサリ漁獲量の推移¹⁾

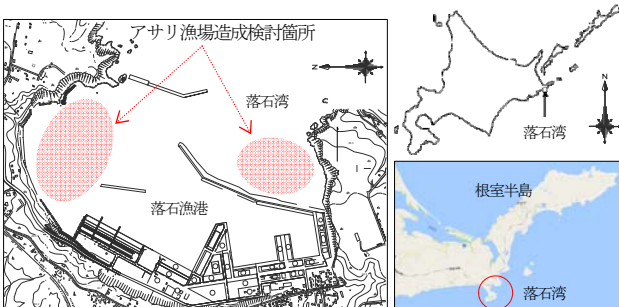


図-2 落石漁港 (アサリ漁場造成検討箇所)

2. 検討方法

アサリの生息制限要因の一つである波浪や潮流の影響については、底質の安定性を表す指標であるシーلز数(Ψ)が用いられる。これにより検討した報告では、シーلز数が0.2以上になると地盤の浸食のためにアサリが定着できないことが報告されている²⁾。また、アサリは砂面低下速度が0.06mm/s以上では地形変化に追従できず砂から流失したとの実験報告もある³⁾。

本研究では、平面波浪場の計算結果を用いて、落石漁港を対象として現況と将来港形におけるシーلز数の平面分布を把握した。また、振動流発生装置による砂面低下実験を行い、砂面低下速度がアサリが流出するとされる0.06mm/s以上となる条件(粒径, 周期, 流速)でのシーلز数を求めた。このシーلز数を「アサリの生息限界シーلز数」として、この平面分布を整備前と整備後で比較することにより、漁港整備に伴い予想されるアサリ生息可能域の創出効果について考察した。この検討フローを図-3に示す。

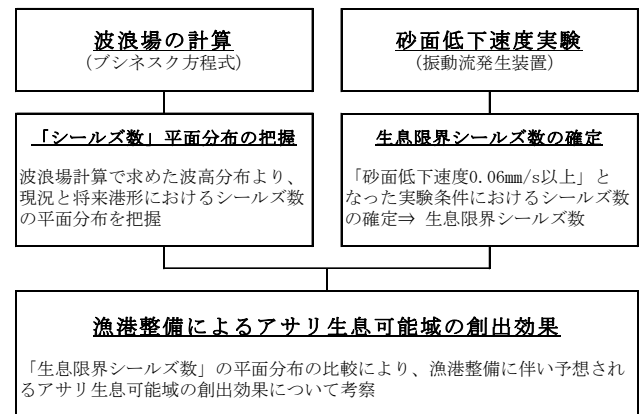


図-3 検討フロー

3. 「シールズ数」平面分布の把握

(1) 検討港形 (評価領域)

検討港形およびアサリの生息場としての評価領域を図-4に示す。検討港形は整備前の「現港形」と防波堤整備後の「将来港形」の2港形、評価領域は航路部の港外側となる「領域1」と港内側の「領域2」とした。

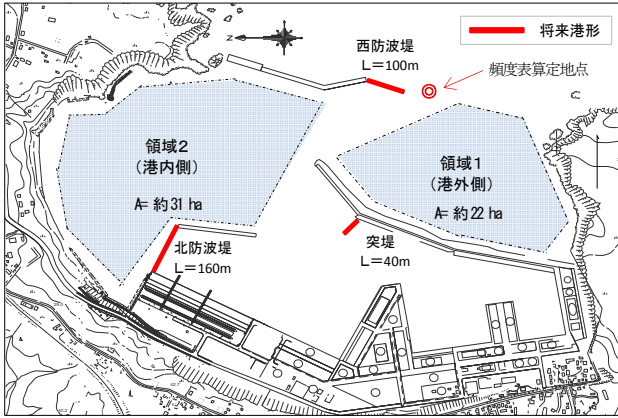


図-4 検討港形・評価領域

(2) 波浪場の計算

a) 計算手法

評価領域における波浪場の計算はブシネスク方程式モデル⁴⁾を用いた。このモデルでは、波の伝播を時間・空間領域で数値積分することにより、海底地形変化に伴う波の浅水変形、屈折、回折、反射を計算することができ、水位や流速の時間変動を得ることができる。このため、複雑な地形や水深変化の激しい海域への適用が広く行われている。ここで必要とする計算領域は、汀線付近の比較的浅い箇所となることから、このブシネスク方程式の採用が妥当であると判断した。

b) 波浪・潮位条件

波浪条件は、常時波浪と異常時波浪の2種とし、表-1のとおりとした。ここで、常時波浪の波向は発生頻度が最も多いESE、及び港内静穏度に対して厳しいSEの2波向とした。また、異常時波浪については、本漁港の30年確率波のうち波高の大きさ及び波向と港口の関係から港内静穏度に対して最も厳しいSEの1波向を対象とした。

波高・周期は、図-4に示す頻度表算定地点での諸元とした。

潮位条件は、平均水面(M. S. L.)=+0.80mとした。

表-1 検討波浪

	波向	波高	周期	備考
常時	ESE	1.0m	9.0s	頻度表算定地点での諸元
	SE	1.0m	9.0s	
異常時	SE	3.0m (10.3m) [※]	13.6s	※沖波諸元 (30年確率波)

(3) シールズ数の算定

a) 計算手法

波浪場の計算結果に式(1)を適用することでシールズ数を算定した。

参考として、表-2にシールズ数と海底砂の移動の関係を、図-14にシールズ数の算定結果を粒径別に表示す。

$$\Psi (\text{シールズ数}) = \frac{\text{砂粒子を動かそうとする力}}{\text{摩擦抵抗}} = \frac{1}{2} \times \frac{\rho_w \cdot f \cdot a_m^2}{(\rho_s - \rho_w) \cdot g \cdot d_{50}} \quad \dots \text{式(1)}$$

$$f = \exp \left\{ -5.977 + 5.2313 \left(\frac{a_m}{k_s} \right)^{-0.194} \right\}$$

$$a_m = \frac{Hgk}{2\sigma \cdot \cosh(kh)} \quad L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{L}$$

f	: 摩擦係数	H	: 波高(m)
a_m	: 水粒子軌道振幅(m/s)	g	: 重力加速度(m/s ²)
ρ_w	: 海水の密度(kg/m ³)	h	: 水深(m)
ρ_s	: 底質の密度(kg/m ³)	T	: 周期(s)
d_{50}	: 中央粒径(m)	L	: 波長(m)
k_s	: 相当粗度 (= 粒径 d_{50})		
σ	: 角速度(rad/s) $\sigma = 2\pi/T$		
k	: 波数(m ⁻¹) $k = 2\pi/L$		

表-2 シールズ数と海底砂の移動状況⁵⁾

Ψ の値	海底移動状況	
$\Psi < 0.043$	移動なし	
$0.043 \leq \Psi < 0.1$	掃流移動 (海底上を転がる) ~ 浮遊移動	
$0.1 \leq \Psi < 0.2$	浮遊移動 (砂漣が発生)	
$0.2 \leq \Psi \leq 0.5$	〃	アサリ定着
$0.5 < \Psi$	シトフ ⁶⁾ 状態 (底質が層状に移動)	不可 ²⁾

b) シールズ数算定条件

シールズ数の算定に用いる各種パラメータは以下のとおりとした。ここで、現状の底質粒径については、釧路開発建設部が過年度に実施した落石漁港の土質試験結果より、領域1、領域2ともに0.10mmとした。また、覆砂による底質改善を想定した粒径を0.75mmとして、現状とのシールズ数の比較を行った。なお、この粒径0.75mmは砂面低下速度実験において入手可能なフルイ分けされた砂の最大粒径であり、実験との関連性を考慮した。

海水の密度 : $\rho_w = 1.03 \text{ kg/m}^3$

底質の密度 : $\rho_s = 2.60 \text{ kg/m}^3$

中央粒径(現状) : $d_{50} = 0.10\text{mm}$

中央粒径(改善) : $d_{50} = 0.75\text{mm}$

(4) 算定結果

各領域において5mメッシュ毎に算定したシールズ数を、階級別出現率として図-5、図-6に示す。シールズ数が0.2以上になると地盤の浸食のためにアサリが定着できないことが報告されている²⁾。そのため、算定結果の評価はこれを指標として行った。

a) 領域1 (港外側)

底質粒径0.1mmの場合、常時波浪に対してシールズ数0.2未満となる範囲は、現港形では0~6%、防波堤を延伸した将来港形では8~19%であった(図-5 (a) (b))。

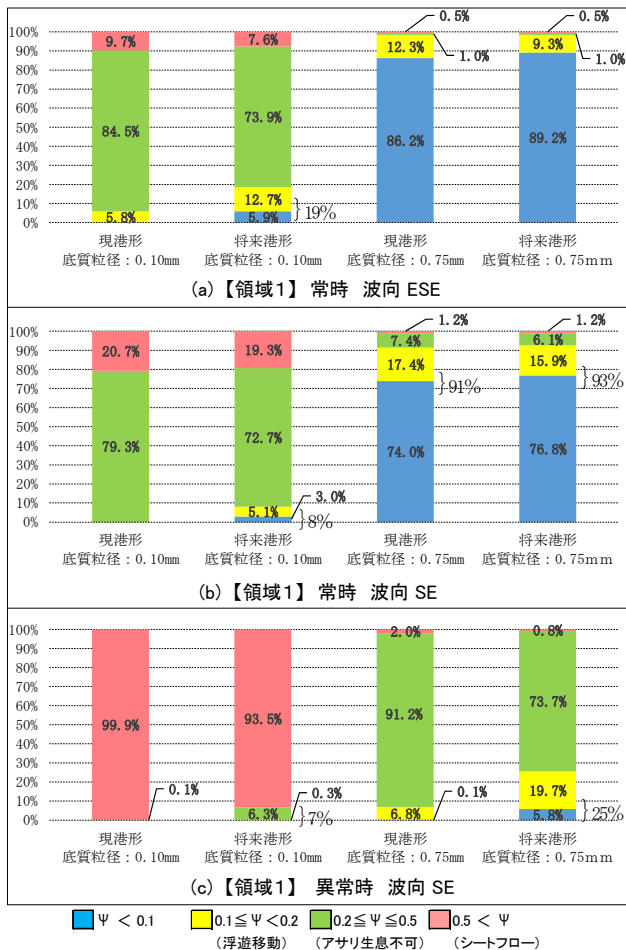


図-5 底質移動区別シールズ数出現率 (領域1)

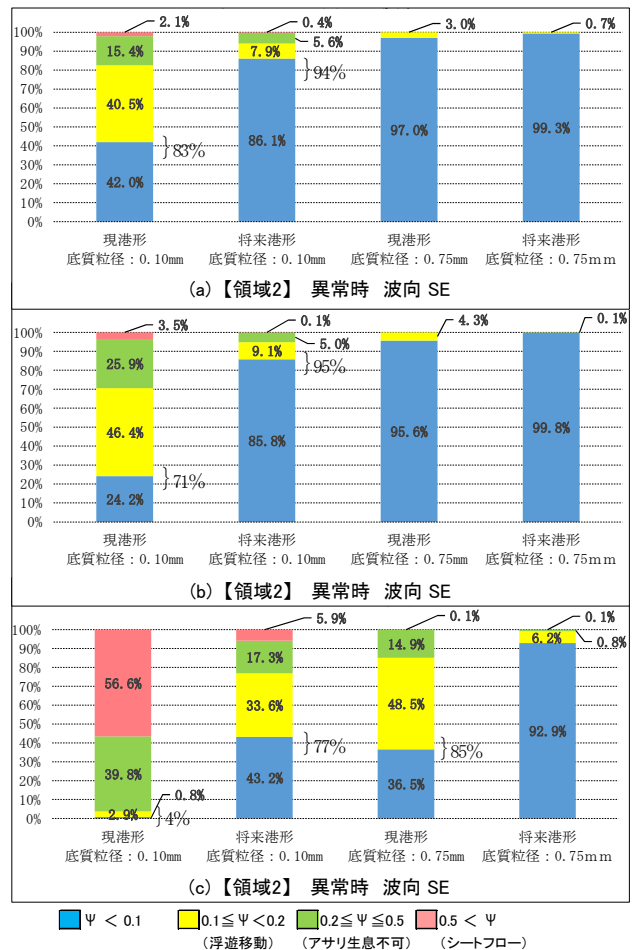


図-6 底質移動区別シールズ数出現率 (領域2)

さらに、底質粒径を0.1mmから0.75mmへ改善（粗粒化）した場合、常時波浪に対して現港形で90%以上となるが、異常時波浪では7%、防波堤を延伸した将来港形でも25%程度までしか改善されない（図-5 (a) (b) (c)）。これより、領域1は底質移動の観点からはアサリの生息域として適していないものと考えられる。

b) 領域2 (港内側)

常時波浪に対してシールズ数が0.2未満となる範囲は、現港形では71～83%、将来港形では94%を超えておりほぼ全域となった（図-6 (a) (b)）。異常時波浪に対しては、現港形でシールズ数0.2未満となる範囲は4%程度であるが、防波堤延伸によりシールズ数0.2未満の範囲が77%まで改善される。さらに、底質粒径を0.1mmから0.75mmへ改善した場合、現港形では85%、将来港形ではほぼ全域がシールズ数0.2未満となった（図-6 (c)）。

4. 砂面低下速度実験 (生息環境実験)

(1) 実験方法

実験は、長さ10m、高さ0.4m、幅0.3mの観測路を持つ任意波形振動流発生装置を使用した(写真-1)。この装置は、閉管水路内の水をピストンにより駆動するもので、

Yoshimi Makita, Masami Ohashi

波浪時に海底面付近に作用する往復の流速場を実規模で再現できる。

実験は、まず、観測路中央の長さ1.65mの範囲に、珪砂を12cmの厚さに敷き、砂面を平坦にした後、水路内に水を注入した(図-7)。

次に、水路内に流速振幅25cm/sの振動流を起し、その後60分間隔で5cm/sずつ60cm/s程度まで上昇させた時に生じる砂面の変位量を左側、中央、右側の3箇所において180秒間隔で計測した。なお、実験は観測路の底面が一部でも露出した時点で終了とした。



写真-1 任意波形振動流発生装置全景・観測路

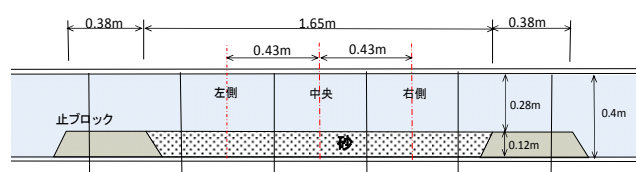


図-7 実験準備の概略 (観測路)

(2) 実験条件

実験は表-3に示す条件で実施した。使用した砂の中央粒径値は、落石漁港における現状の0.1mm、底質改善を想定した0.75mm（入手可能なフルイ分けされた砂の最大粒径）の他、比較として0.3mmを加えた3ケースとした。また、周期は比較のための4秒から異常波浪時の14秒までの4ケース、流速振幅は25cm/sから5cm/s毎の8ケースとした。なお、実験開始の25cm/sは、粒径0.1mmではシールズ数が0.17となり、アサリが定着できないとされる0.2を若干下回る流速振幅である（式(1)、図-14）。

表-3 実験条件

中央粒径	周期 (s)	流速振幅 (cm/s)
3 ケース	4 ケース	8 ケース
・ 現況 0.10 mm	・ 比較 4s	・ 25 cm/s ~ 60 cm/s
・ 比較 0.30 mm	・ 常時 8s, 10s	(60 分毎に 5 cm/s ずつ上昇)
・ 覆砂 0.75 mm	・ 異常時 14s	※底面が露出した時点で終了

(3) 実験結果

a) 砂面変位量測定結果

実験結果の内、周期8sの場合の砂面変位量を図-8に示す。この内、粒径0.3mmの実験終了後における砂漣の形成状況を写真-2に示す。

一般に、底面流速が小さい場所では、砂面は平坦で砂は砂粒子が底面上を転がる掃流移動をするが、底面流速が大きくなると砂漣と呼ばれる凸凹ができ、渦の作用によって底質が浮遊状態で移動する。また、底面流速が大

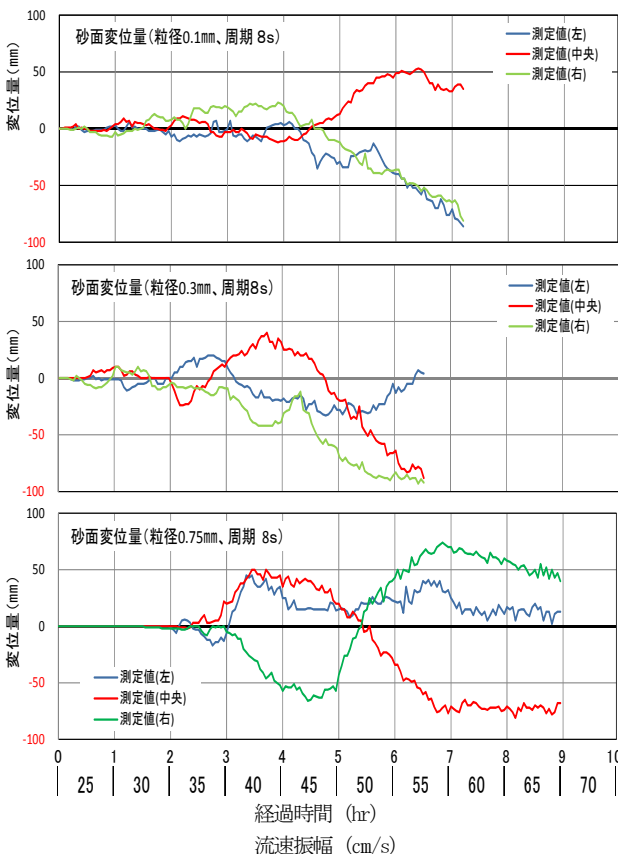


図-8 砂面変位量 (周期 8s)

きな条件では大規模な砂漣が形成される。本実験においても、時間の経過や流速の上昇に伴い砂漣が形成され、砂面は浸食と堆積を繰り返しながら変位した。

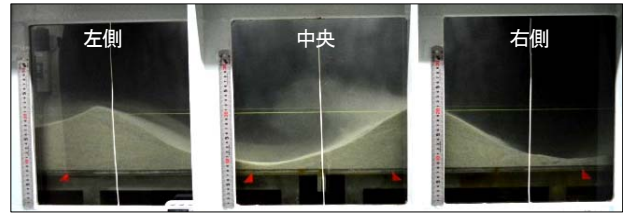


写真-2 砂漣 (粒径 0.3mm、周期 8s、6 時間 30 分経過後)

(流速振幅 55 cm/s まで上昇後に底面が露出し実験終了)

変位量: 左側 +4mm、中央 -88mm、右側 -92mm

b) 砂面低下速度の算定

砂面変位量の測定結果から、観測間隔である180秒間に砂の変位速度 (mm/s) を算出した。この内、180秒間に砂面が低下した時の変位速度を砂面低下速度として3段階 (0.0~0.02、0.02~0.06、0.06以上) に分け、その各々の出現回数を全低下観測回数に占める率として求めた。この内、図-9に周期8秒の場合の出現率を示す。

これより、砂面低下速度が0.06mm/s (10.8mm/180s) 以上となる出現率は粒径や流速振幅の違いによる明確な差異は見られなかったが、出現する流速振幅は粒径が大きくなるほど速くなる傾向が確認された。

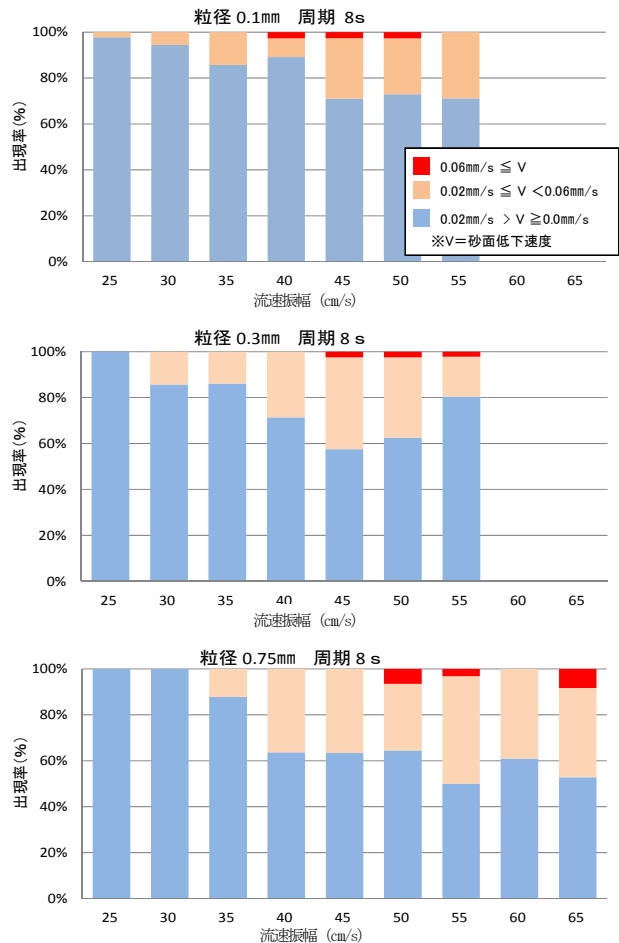


図-9 砂面低下速度の出現率 (周期 8s)

図-9に示したとおり、周期8秒において砂面低下速度0.06mm/s以上が出現した最低の流速振幅は、粒径0.1mmから0.75mmの順に40cm/s、45cm/s、50cm/sであった。この流速振幅をアサリの生息限界流速として、全ケースにおける実験結果を表-4、図-10に示す。

これより、周期8sの他、14sにおいてもアサリ生息限界流速は粒径が大きいほど速くなるが、4sおよび10sでは粒径との関連性は確認できなかった。また、同一粒径の場合、周期による明確な差は確認できなかった。

表-4 アサリ生息限界流速(実験結果)
砂面低下速度0.06mm/s以上が出現した最低流速

中央粒径	周期			
	4s	8s	10s	14s
0.10 mm	40 cm/s	40 cm/s	35 cm/s	出現無し
0.30 mm	25 cm/s	45 cm/s	45 cm/s	45 cm/s
0.75 mm	35 cm/s	50 cm/s	40 cm/s	50 cm/s

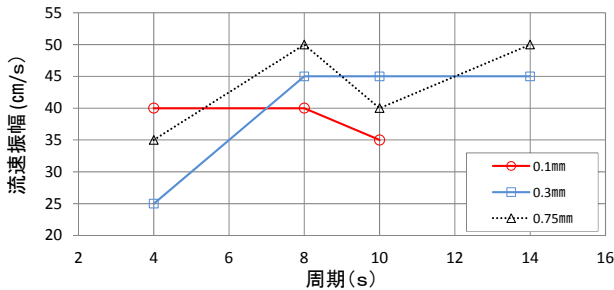


図-10 アサリ生息限界流速の比較(粒径・周期別)

5. アサリ生息場の拡幅効果

(1) アサリ生息限界シールズ数の仮定

表-4に示した「アサリ生息限界流速」より算出したシールズ数を「アサリ生息限界シールズ数」として表-5に示す。

これより、砂面低下速度から想定されるアサリ生息限界シールズ数は、粒径0.1mmは0.3~0.4、粒径0.3mmでは0.2となり、アサリが定着できないとされるシールズ数0.2と同じかそれ以上であることが示唆された。これに対し、粒径0.75mmでは0.085~0.125となり、シールズ数0.2を大きく下回る結果となった。

表-5 アサリ生息限界シールズ数(実験結果)

検討条件		アサリ生息限界流速(cm/s)	シールズ数式(1)より
中央粒径	周期(s)		
現状 0.10 mm	常時	8.0 s	0.387
		10.0 s	0.304
	異常時	14.0 s	※出現無し
比較 0.30 mm	常時	8.0 s	0.203
		10.0 s	0.203
	異常時	14.0 s	0.203
覆砂 0.75 mm	常時	8.0 s	0.125
		10.0 s	0.085
	異常時	14.0 s	0.125

砂面低下速度実験は、砂の敷設延長が1.65mと短いため、実験の継続とともに砂が域外へ流出し砂澁を形成する砂量が徐々に減少した。そのため、実海域における砂面の変位量を的確に再現したものとは言えない。しかし、式(1)による算定では、アサリ定着が不可とされるシールズ数0.2以上の流速は、粒径0.1mmの28cm/sに対して粒径0.75mmでは66cm/sとなり2倍以上の差がある(図-14)。これに対し、実験では粒径0.75mmは35cm/s程度の流速で砂面変動が始まっており、アサリの生息限界流速は粒径0.1mmに対して計算結果ほど大きな差はないものと考えられる。そのため、ここではアサリの生息限界シールズ数を実験結果を用いて以下のとおりと仮定した。

・アサリ生息限界シールズ数(実験結果)

底質粒径 0.10mm・・・シールズ数(Ψ) < 0.3

底質粒径 0.30mm・・・シールズ数(Ψ) < 0.2

底質粒径 0.75mm・・・シールズ数(Ψ) < 0.1

(2) 漁港整備によるアサリ生息場の分布

落石漁港の評価領域の底質粒径は0.10mmであるため、実験結果よりアサリ生息限界シールズ数は0.3未満の範囲となる。領域2の異常時波浪では、図-6、図-11に示すように、シールズ数0.2未満の範囲が現港形4%、将来港形77%であるのに対して、シールズ数0.3未満とした場合は、現港形10%、将来港形では85%程度となる。

これより、領域2では漁港整備により汀線以外のほぼ全域においてアサリが生息可能と想定される。

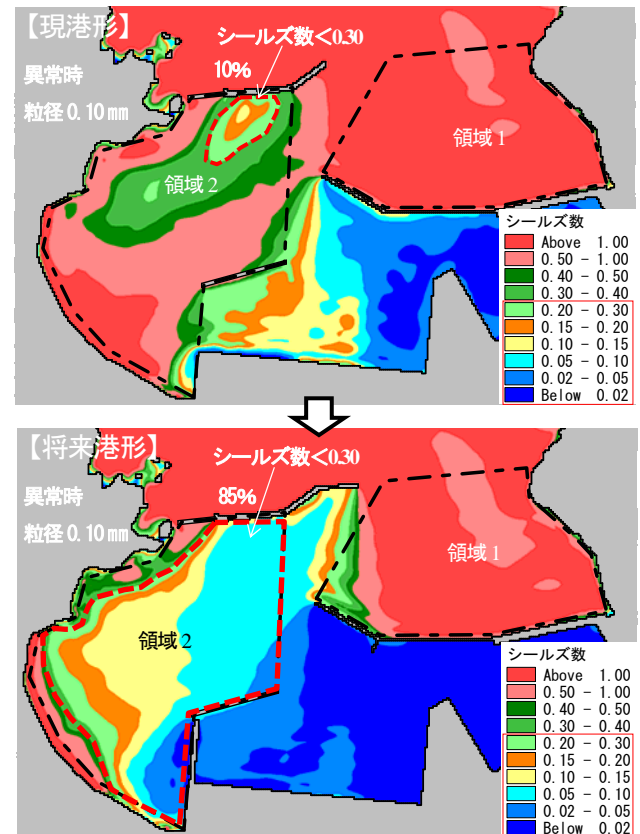


図-11 アサリ生息限界の範囲(異常時、粒径0.10mm)

--- シールズ数(Ψ) < 0.30

粒径0.75mmを用いた覆砂による底質改善を行った場合は、アサリ生息限界シールズ数は0.1未満の範囲となる。防波堤整備を行わず覆砂（粒径0.75mm）のみを行った場合、領域2の異常時では、図-6、図-12に示すように、シールズ数0.2未満の範囲が85%であるのに対し、シールズ数0.1未満とした場合は37%のみとなり、改良効果の範囲は防波堤整備に比べ防波堤背後に限定される結果となった。

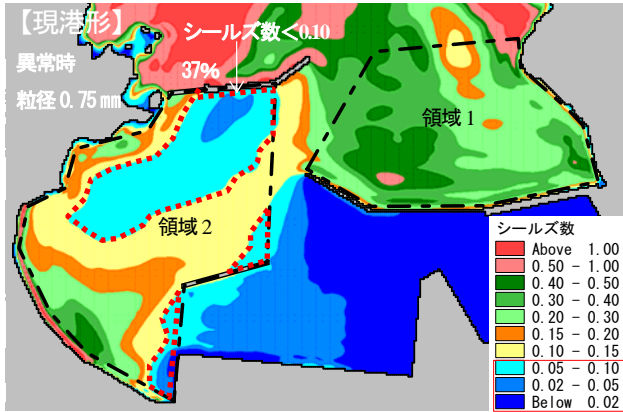


図-12 アサリ生息限界の範囲（異常時、粒径0.75mm）
 シールズ数(Ψ) < 0.10

6. おわりに

本研究は、振動流発生装置による砂面低下実験を行い、砂面低下速度0.06mm/s以上が出現した条件（流速、粒径）でのシールズ数を求め、これをアサリの生息限界シールズ数として落石漁港における防波堤整備によるアサリ生息場の分布域について考察を行った。

実験の結果、落石漁港の底質粒径0.10mmでは、アサリ生息限界シールズ数は0.3未満と想定された。これより異常時波浪の領域2におけるアサリ生息限界範囲は、現港形の10%に対して将来港形では85%程度となり、防波堤整備によって汀線以外のほぼ全域まで拡大する結果となった。

一方、粒径0.3mmでは、アサリの生息限界シールズ数は0.2未満、粒径0.75mmでは0.1未満となり、粒径の増大に伴い生息限界シールズ数は減少することが示唆された。

図-13に現港形における異常時波浪の軌道振幅を、図-14に式(1)より算定した粒径別のシールズ数を示す。これより、粒径0.75mm以上のアサリの生息限界シールズ数を0.1未満と仮定した場合、現港形における異常時波浪の底質安定範囲を図-13に示す領域2の軌道振幅0.6m/s未満まで拡幅するには、粒径2.0mm以上を用いた覆砂が必要となる。

2.0mm以上の粒径が主成分となっている底質はアサリの生息基盤として好ましくないとされている⁵⁾。そのため、漁獲作業の軽減化を目的として、さらに軌道振幅が0.6m/s以上となる汀線側の浅海域へ漁場を拡幅する場

合には、覆砂ではなく潜堤等による対策が必要である。

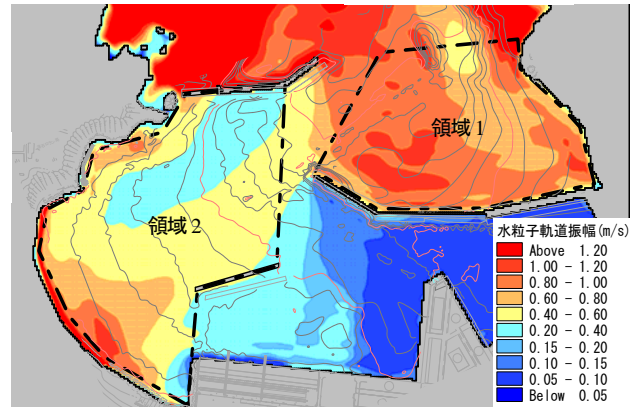


図-13 軌道振幅 計算結果（現港形、異常時）

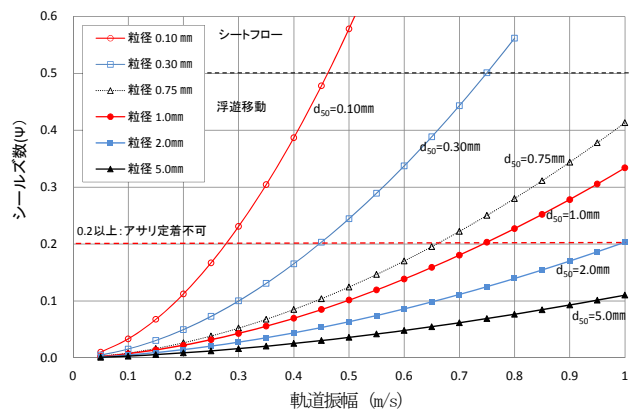


図-14 式(1)による粒径別シールズ数算定結果

謝辞：本研究は、国土交通省北海道開発局の委託研究「寒冷海域における沿岸構造物等の整備技術に関する研究委託」の一環として実施したものである。研究を進めるにあたり、港湾空港部港湾建設課、農業水産部水産課及び釧路開発建設部には、様々な情報や資料の提供を受けた。ここに改めて厚く御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 農林水産省、漁業・養殖業生産統計年報、海面漁業魚種別漁獲量累年統計（都道府県別）
- 2) 柿野純、アサリの減耗に及ぼす物理化学的環境の影響に関する研究。水産工学 2006
- 3) 櫻井泉、瀬戸雅文、海底地形の変化に対するアサリ稚貝の行動特性、北海道水産試験場報告 1999
- 4) 漁港・漁場施設的设计参考図書、公益社団法人全国漁港漁場協会、2015年度版
- 5) 二枚貝漁場環境改善技術導入のためのガイドライン、水産庁増殖推進部、平成 25 年 3 月