

II-88

漁港内蓄養施設周辺の流動環境に関する研究 (1)

北海道開発局開発土木研究所	正会員	明田定満
北海道開発局開発土木研究所	正会員	谷野賢二
北海道開発局開発土木研究所	正会員	大森康弘
日本データサービス株式会社		三船修司

1. まえがき

高品質な食品を求める消費動向は、グルメ志向や自然食品、健康食品への根強い志向をもたらした。特に、中高級魚介類に対する根強い需要が形成された結果、中高級魚介類を中心とする輸入が増加するとともに、栽培漁業の展開が促され、また、養殖生産量も着実に増加している。一方、順調に推移してきた魚価は、動物性蛋白質の摂取を巡る乳畜産物との相対的な比較から伸び悩みが見られる。このような社会情勢下において、魚価上昇を願う漁業者による付加価値向上の取組と、消費者の高鮮度志向、グルメ志向に対応した水産物流通の急激な変革いわゆる「活魚流通」が全国的に進展するとともに、天然魚介類や養殖魚介類を対象にした活魚流通に対応した漁港内蓄養が行われるようになってきた。

昭和63年度の漁港法改正により、漁港内に蓄養施設の整備が可能となったが、北海道においても、第8次漁港整備長期計画（昭和63～平成5年度）に基づいた蓄養施設の整備は、抜海漁港¹⁾、雄冬漁港、追直漁港の3漁港において事業実施されている。漁港内蓄養は漁業者の経験に基づいて、試行錯誤的に実施されていることが多く、蓄養施設整備や施設管理等の基本方策が確立しているとは言い難い²⁾。しかしながら、現在策定中の第9次漁港整備長期計画（平成6～11年度）では、上記漁港以外の漁港からも、蓄養施設の事業化要望が出されており、蓄養施設整備に際しての整備目標（蓄養施設の計画や設計に際して準拠すべき指針、例えば、蓄養に応じた波浪静穏度、海水交換などの流動・水質環境等の考え方）を早急に策定する必要が出てきている。そこで、蓄養施設整備に際しての整備目標策定の一環として、漁港内の流動環境と水質環境に関する数値解析プログラムの開発と、モデル漁港を対象にした数値解析を実施したので、その概要について報告する。

2. 蓄養魚介類の生理生態特性

魚介類養殖の場合、その減耗は、①水温上昇、②溶存酸素量の低下、③高密度飼育、に起因することから、漁港内蓄養を経済的に効率よく行うためには、蓄養水面周辺の環境条件（特に、流れ、水温、溶存酸素）を、蓄養魚介類の生理的活力の許容範囲内に制御することが必要不可欠である。そこで、蓄養魚介類の重要な生理特性である水温耐性及び酸素消費量について、蓄養水面における水理水質環境制御の観点から留意事項を述べる。

そこで、北海道において蓄養対象となり得るエゾメバル（地方名ガヤ）、アイナメ（地方名アブラコ）、クロソイ、フグ類、ヒラメ・カレイ類、エゾアワビ、ウバガイ（地方名ホッキガイ）、ホタテガイ、エゾパフンウニ、キタムラサキウニ、タコ類、ヒメエゾボラ（地方名ツブ）、マナマコ等の北方系魚介類について、文献³⁻⁸⁾から生理生態特性（特に水温耐性と酸素消費量）を整理した。

(1) 水温耐性

蓄養対象魚介類の生息適水温帯を図1に示す。一般的に、温帯から寒帯まで幅広く分布生息している魚介類は、生息適水温帯幅が広く、急激な温度変化に対する耐性も有していると考えられるが、北方系魚介類は、高水温に弱く、生息適水温帯も狭い種が多い。魚類養殖の経験から、生息適水温限界を越える日が数日程度継続した場

合、体力の消耗や病気の発生等が起こっているが、すぐには斃死に至らず、他の環境条件（例えば、溶存酸素量の一時的な低下、河川水の大量流入など）の悪化が重なった場合、生息適正水温内であっても斃死に至ることが知られている。水温上昇は溶存酸素量の低下をもたらすこともあり、北海道における漁港内蓄養では、夏期の高水温期においても、水温が24～25℃以上に上昇しないように、港内流動を促進し、特に、蓄養水面周辺での滞留防止対策が重要である。

（２）酸素消費量

蓄養水面内の溶存酸素は、①魚介類の呼吸、②水溶性有機物の分解、③底泥中の有機物の分解、給餌を行う場合は、④残餌の分解、に伴い消費されるが、概ね蓄養水面内における溶存酸素の消費量は次式で示される。

$C = kA + B$

ここに、

C：溶存酸素の消費量

A：養殖魚の総重量

k：養殖魚の単位重量、単位時間当たり

の酸素消費量（k A：①）

B：有機物等による酸素消費量（B：②③④の和）

海水交換の目安を得るために、北海道における標準的な蓄養密度と考えられる抜海漁港、雄冬漁港の蓄養計画事例から、蓄養魚介類毎の単位面積（あるいは単位容積）当たりの蓄養密度と、蓄養魚介類毎の単位重量単位時間当たりの安静状態での酸素消費量の関係から、蓄養単位面積（あるいは単位容積）当たりの溶存酸素の消費量を表1に示す。ここで、表1に示す蓄養対象魚介類の酸素消費量（魚介類の呼吸量）は、Von't Hoffの温度と反応速度の法則に従い、10℃上昇で酸素消費量が2～3倍に増加することが知られているので、酸素消費量の考察の際は水温に注意しなければならない。なお、表1の溶存酸素消費時間は、雄冬漁港蓄養水面（60m×20m×深さ5m）を対象にして、溶存酸素が過飽和状態から魚類養殖において許容限界と考えられる4 ml／ℓまでに要する溶存酸素の消費時間を示しており、海水交換の目安となりうる。

表1 蓄養魚介類毎の単位面積単位時間当たりの酸素消費量

魚介類名称	酸素消費量 (ml/kg・hr)	蓄養密度 (kg/m²)	蓄養単位面積当 たり酸素消費量 (ml/hr/m²)	溶存酸素消費時間 (h r)	実験条件等
イシガレイ	2.6	1.0	2.60	3.1	160g 9.8℃
ヒラメ	130～230	1.0	130～230	4.0～6.2	10℃
クロソイ	1.6	2.1	3.36	2.4	215g 20℃
トラフグ	100	9	900	0.9	1kg 25～27℃
エゾアワビ	50.9	5.0	254.5	7.6	25g 25℃
ホッキガイ	7.2	5.0	36.0	55.6	5℃
マダコ	120	3.0	360.0	1.1	
ナマナコ	43.5	5.0	217.5	9.2	5g 18.5℃

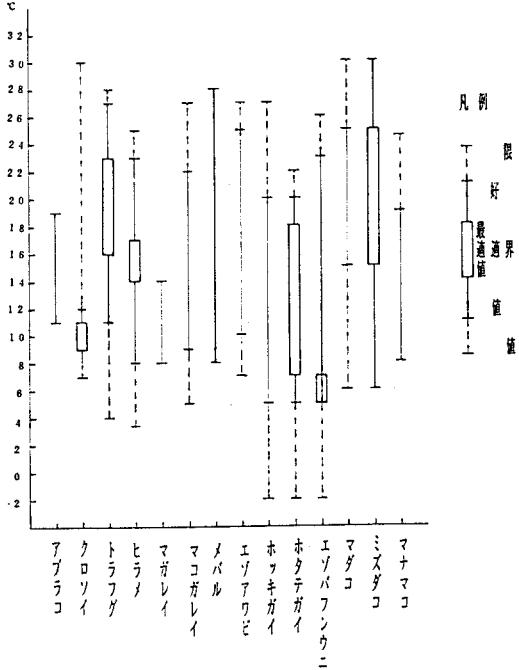


図1 蓄養魚介類の適正水温帯

3. 漁港内の流動環境と水質環境に関する数値解析

漁港内に蓄養施設を整備する上で検討すべき項目として、漁港内における流動環境と水質環境の変動に及ぼす蓄養水面施設の配置規模の影響を把握しておく必要がある。そこで、北海道の漁港を対象にして、単純な漁港周辺地形と漁港港形とからなるモデル漁港を仮定し、モデル漁港内に蓄養水面施設を整備した場合の蓄養水面施設周辺の流動環境、水質環境に関する数値計算を行った。本研究は、モデル漁港における蓄養水面施設の規模配置と流動環境、水質環境の関係を考察することにより、モデル漁港と類似した地形港形関係の漁港における蓄養水面施設の整備に資するのみならず、漁港内の流動環境と水質環境の改善に資するための資料を提供することを目的としている。

漁港内における流動環境と水質環境に関する数値解析に使用した3次元密度流モデル⁹⁾は、水塊混合による海水密度変化の影響を取り込んで流れと物質拡散の計算が可能であるため、夏季に成層し易い海域にも適応可能な解析モデルである。なお、同解析モデルの基礎方程式は、①連続式、②運動方程式、③熱収支式、④塩素量収支式、⑤状態方程式、⑥移流拡散方程式、から構成されるが、基礎方程式、基礎方程式の差分法、数値計算法等の詳細については、参考文献⁹⁾を参照して戴きたい。

3. 1 解析方法

図2に示すモデル漁港を対象にして、表2の計算ケースに示すように、①回折波防止用の防波堤Bの有無と型式、②海水導入工の位置、③河川水流入の有無、等の蓄養水面施設の配置規模を決定する基本的な要因を変化させた場合、蓄養生物の飼育に影響を及ぼす代表的な環境因子である海水交換、水温及び塩分の変動について検討した。なお、本論では紙面の都合もあり海水交換について御報告する。

3. 2 解析条件

海域及び河川における各種条件は、モデル漁港が北海道日本海側に位置するものとして、蓄養条件の最も厳しい夏期を想定して設定した。計算格子間隔は、水平 $\Delta x = \Delta y = 20\text{m}$ とし、鉛直 Δz は3層（上層1m、中層2m、下層は海底面まで）とした。潮流は上・中・下層ともに5cm/sとし、流向は地形と平行とした。水温は上層24℃、中層23.5℃、下層23℃、河川水15℃とした。塩分は上・中・下層ともに34.5‰とした。潮位差は0.4mとした。河川流量は中小河川の平水量にほぼ相当する $10\text{m}^3/\text{s}$ とした。海水導入工は、防波堤Aの所定位置（A、B、C、Dの位置で幅は120m）の中層に2メッシュ設け、通水面積を海水導入工の全面積に対して約7～10%とした。

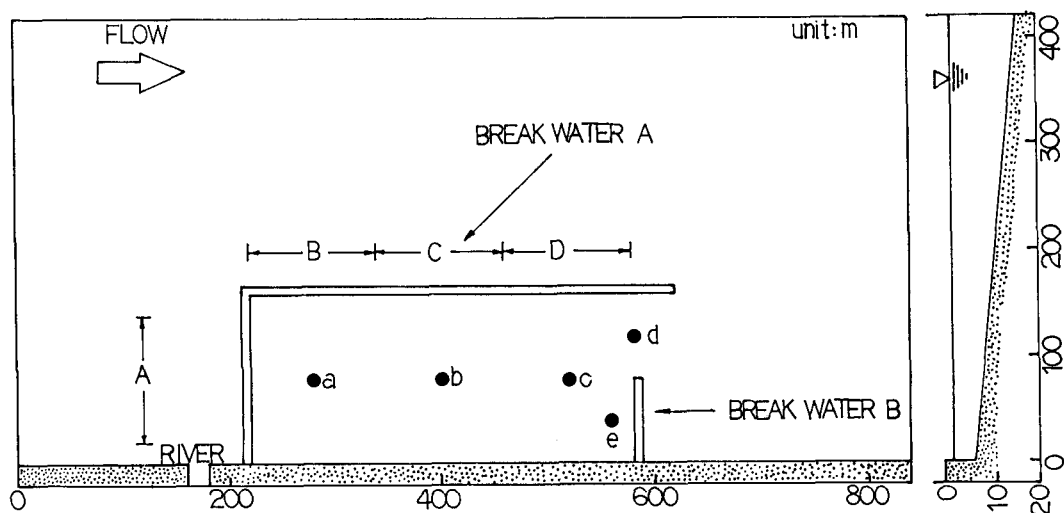


図2 計算領域とモデル漁港の概要

表2 計算ケース（防波堤Bの有無と型式、海水導入口の位置、河川の有無）

NO.	防波堤B	海水導入口の位置				河川	検討項目
		A	B	C	D		
1	無	不透過	不透過	不透過	不透過	無	現況（防波堤Bの有無と型式の相違による）
2	有（不透過）	〃	〃	〃	〃	〃	
3	有（透過）	〃	〃	〃	〃	〃	
4	有（不透過）	透過	不透過	不透過	不透過	無	防波堤Bを不透過堤にした場合、①海水導入口の位置と型式、②河川の有無の影響
5	〃	〃	〃	〃	〃	無	
6	有（不透過）	不透過	透過	不透過	不透過	無	
7	〃	〃	〃	〃	〃	無	
8	有（不透過）	不透過	不透過	透過	不透過	無	
9	〃	〃	〃	〃	〃	無	
10	有（不透過）	不透過	不透過	不透過	透過	無	
11	〃	〃	〃	〃	〃	無	
12	有（透過）	透過	不透過	不透過	不透過	無	防波堤Bを透過堤にした場合、河川の有無の影響
13	〃	〃	〃	〃	〃	無	

3. 3 海水交換に関する計算結果と考察

計算ケース毎の海水交換改善率を図3に示す。現況の港内流況（ケース2）を図4に示すとともに、海水導入口に代替することにより、海水交換が最も改善された港内流況（ケース12）を図5に示す。さらに、漁港に隣接する河川からの河川水流入の影響を考慮した港内流況（ケース13）を図6に示す。ここで、海水交換改善率は、仮想断面（防波堤Bと港口を通り防波堤Aを結ぶ断面）からの単位時間当たり流出流量とモデル漁港の港内水量との比で表示しており、1日当たりの海水交換回数を概ね表す。

①防波堤Bの影響（ケース1～3）

モデル漁港のような港形した漁港では、港内静穏度を保つため、主外郭施設である防波堤Aは不透過堤として設置される。また、防波堤Aの堤端部からの回折波の侵入を防ぐため、図2に示す位置に防波堤Bが設置されることが多い。例えば、モデル漁港に類似した雄冬漁港では、図2に示す位置に不透過堤が設置されており、現在、不透過堤に隣接して養魚水面施設を整備中である。図4に示すように、防波堤Bが不透過堤であれば港内に滞留域が形成されるが、防波堤Bを透過堤あるいは防波堤B無しとすれば、港奥の隅角部を除いて港内における滞留域の形成は抑制される。当然ながら、防波堤Bの有無と型式による海水交換改善率は、防波堤B無しが良く、次いで、透過堤、不透過堤の順であった。

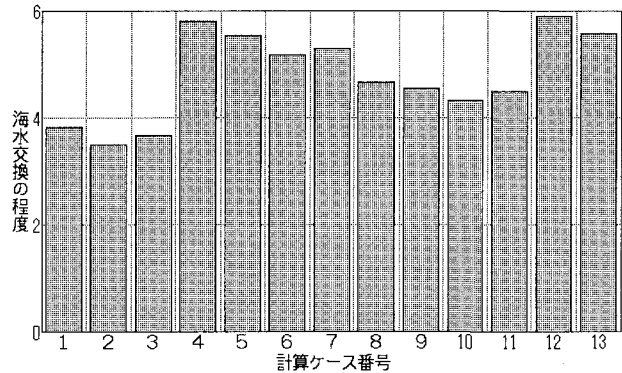


図3 海水交換の改善率

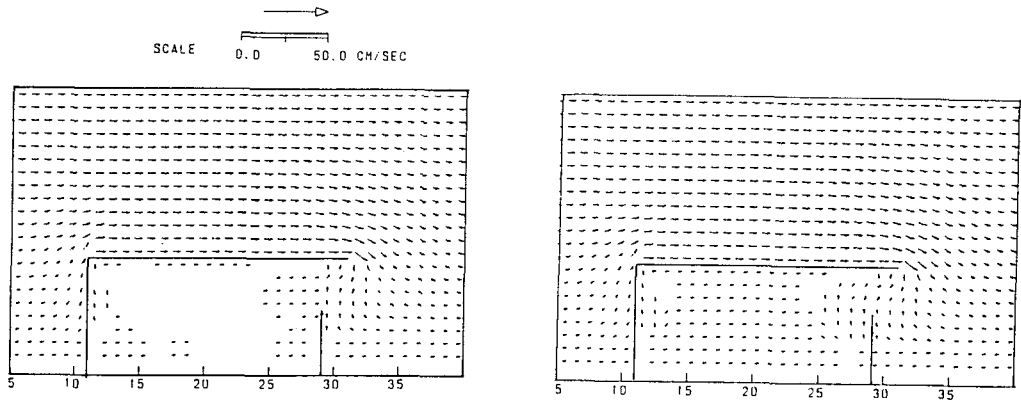


図4 現況の港内流況（左図：ケース2、中層 右図：ケース3、中層）

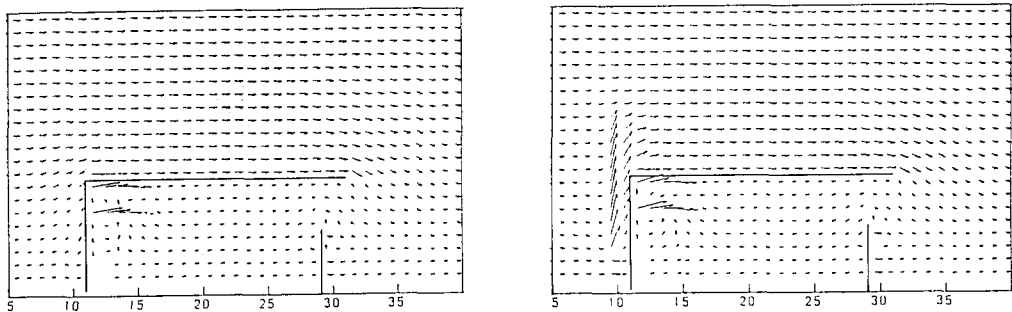


図5 海水導入工付きの港内流況（ケース12、中層） 図6 河川水が流入した港内流況（ケース13、中層）

②海水導入工の位置の影響（ケース4～11）

海岸線に沿って細長く港域が広がるモデル漁港では、防波堤Aの一部を海水交換型防波堤に代替した場合、港内に滞留域や反流域が生じづらく、港内水は殆ど港口から流出することが報告されている¹⁰⁾。ところが、今回の数値計算では、防波堤AのA、Bの位置を海水導入工に代替した場合、海水交換は現況港形（ケース2）と比較して5割程度改善され、文献¹⁰⁾ とほぼ同様の港内流況となった。しかるに、防波堤AのC、Dの位置では、海水交換は現況と比較して2～3割程度しか改善されず、また、港奥部に滞留域、反流域が形成された。その理由として、今回の数値計算では、海水導入工への代替位置を防波堤AのA～Dに4分割して考察しているが、文献7)では海水交換型防波堤をB、C、Dの全幅に相当する部分に設けているためである。

③河川の影響（ケース4～13）

漁港が、①河川に隣接する、②河川内に設置される、あるいは、③河川が港内に流入する、等の場合が多く見られるので、計算諸条件が明確な、河川に隣接した漁港における海水導入工の効果を検討した。海水交換改善率は、河川の有無に関係なく、海水導入工の代替位置Aが最も良く、次いでBが良く、C≒Dの順であった。但し、防波堤AのAの位置を海水導入工に代替した場合、河川水の冲出し拡散の影響により海水導入工からの港内流入が抑制されるため、河川無しの場合より海水交換が若干低下する傾向が見られた。B、C、Dの位置を海水導入工に代替した場合、海水交換は同程度であった。

4. 結語

本研究では、漁港内蓄養水面整備に際しての整備目標策定に当たり、蓄養対象魚介類の生理生態的な特性を整理するとともに、モデル漁港を対象にして、漁港内における流動環境と水質環境に関する数値解析を行った結果、下記に示す結果が得られた。

- ① 3次元密度流モデルによる解析プログラムは、夏季に成層し易い海域、あるいは流水海域にも適用可能であるため、寒冷地圏域（特に、北海道）の漁港内における流動環境と水質環境を予測する手段として有用であることが確認出来た。
- ② 防波堤Aの堤端部からの回折波の侵入防止のために防波堤Bを設置する場合、防波堤Bからの透過波が問題とならない場合、防波堤Bの型式は透過堤の方が不透過堤より、港内の滞留域が余り生じず、港内流動を抑制しないことが明らかとなった。
- ③ 既存の不透過堤を海水導入工に代替する場合、防波堤AのA、Bの位置であれば、現況より海水交換が5割程度改善されるが、河川が防波堤Aに隣接する場合、港内の水温、塩分等の水質環境に影響を及ぼすので検討を要する。
- ④ 飼育生物の生理生態学的な知見に基づき、蓄養水面施設の配置と規模の決定や給餌の可否が検討出来るように、溶存酸素量（DO）、懸濁物質（SS）、化学的酸素要求量（COD）等の拡散計算まで包含するように、解析プログラムの機能向上を図る必要がある。

5. 引用文献

- 1) 稚内開発建設部・漁港漁村建設技術研究所：昭和63年度抜海漁港蓄養水面施設基本調査報告書、1989.
- 2) 北海道開発局農業水産部水産課：漁港整備計画における蓄養水面施設の基本計画について、1992.
- 3) 長澤和也・鳥澤雅編：北のさかなたち、北日本海洋センター、1991.
- 4) 全国沿岸漁業振興開発協会：沿岸漁場整備開発事業構造物設計指針 1985.
- 5) 海洋生物環境研究所：沿岸至近域における海生生物の生態知見、魚類・イカタコ類編、1991.
- 6) 海洋生物環境研究所：沿岸至近域における海生生物の生態知見、貝類・甲殻類・ウニ類編、1991.
- 7) 日本水産資源保護協会：環境条件が魚介類に与える影響に関する主要要因の整理、1983.
- 8) 川本伸之編：養魚学各論、恒星社厚生閣、1977.
- 9) 藤原正幸・明田定満・武内智行：マルチレベル密度流モデルの開発と人工湧昇流への適用、水産工学研究所技報（水産土木）、第14号、pp. 13-35、1992.
- 10) 水野雄三・谷野賢二・木村克俊：海水交換型防波堤に関する水理特性について、海洋開発論文集、VOL. 8、pp. 253-258、1992.