

スリット状の開口部を有するブロック型藻留め施設の開発研究

誌名	水産工学研究所研究報告
ISSN	03889718
著者	川俣, 茂
巻/号	9号
掲載ページ	p. 1-8
発行年月	1988年3月

スリット状の開口部を有するブロック型藻留め施設の開発研究

川俣 茂*

目 次

1. 緒言	1	5. 解析結果および考察	5
2. 実験装置および実験方法	1	6. 結 言	7
3. 流出機構と解析手法	2	参考文献	7
4. 実験結果とその解析方法	3	Summary	8

1. 緒 言

アワビ、ウニの漁場では、コンブ科植物等の大型海藻の群落からかなりの量の海藻体が、波浪や食害などにより脱落し、アワビ、ウニに利用されることなく漁場外に流出すると考えられている。漁場造成では、海底上に漂流する葉体（以下、「流出海藻」という）がアワビ、ウニの重要な餌料となることから、海中造林とともに流出海藻を捕捉・滞留させ、アワビ、ウニの餌料として有効利用させる試みがなされている。しかし、現地においては未だに明確な効果は報告されておらず、施設の研究開発と効果把握が必要となっている。

流出海藻の捕捉・滞留を目的とする“藻留め施設”は、捕捉機構により“ブロック型”と“スクリーン型”との二つに大別される。前者は流れを制御してよどみ域をつくり、そこに流出海藻を捕捉・滞留させるものであり、また後者は流れをほとんど変化させずに流出海藻を引っかけたり付着させたりするものである。川俣・萩野¹⁾は、鉛直二次元の一樣流中におけるブロック型藻留め施設について先駆的な研究を行い、捕捉機構と捕捉効果を実験的に明らかにした。

しかし、三次元の一様な流れの中に有限な長さの不透過ブロックが流れに垂直に置かれている場合、その上流から底面上を流れにより移動してきた流出海藻は、負の浮力が無視できないためにブロックを越えることは少なく、ブロック両脇を通過し、そのまま流出することが多い。すなわち、ブロック一体では背後のよどみ域への取

り込み率が低く、背後での滞留効果はあまり期待できない。

その改良として、ブロックに幅の小さい開口部を多数設けることが考えられる。本報告は、等間隔にスリット状の開口部をもつブロックが一様な流れの中に置かれている場合を想定して、幅の広い開水路を用いて模型葉体の放流実験を行い、施設効果の評価指標を示すとともに構造物の諸元と効果との関係を議論した。

実験では、模型縮尺は1/10とし、また流出海藻は大きさ10cm×100cmの単葉の葉体を想定したが、剝離を伴う三次元性のある流れの取り扱いには流体力学で最も難しく問題もあるので、ここでは専ら模型現象からの定性的な考察にとどめ、相似性は議論せずに今後の課題とした。

2. 実験装置および実験方法

実験には側面の一方がガラス張りである長さ65m、幅150cm、深さ120cmのコンクリート製開水路を用いた。この水路には高水槽から一定流量が供給され、水路末端のゲート操作により水深が調節される。水路中央付近にアクリル板を敷いた試験区を設け、図1に示すような流路に垂直な一直線上に長さ l 、高さ h 、厚さ20mmのアクリル製直方体ブロックを隙間 s を開けて水路全幅にわたり連続的に設置した。今回の実験では水深 $d=50$ cmおよびブロックの影響のない位置での断面平均流速 $U_0=9.4$ cm/secとして、流出海藻の模型の放流実験を行った。

模型葉体にはセロハン紙（厚さ0.020mm、面積密度 2.95 g/cm²、体積密度 1.501 g/cm³）を10mm×100mm

* 水産土木工学部

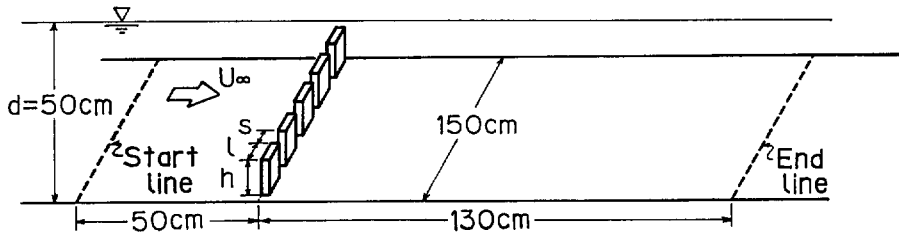


図1 試験区の概略図

Schematic diagram of test section

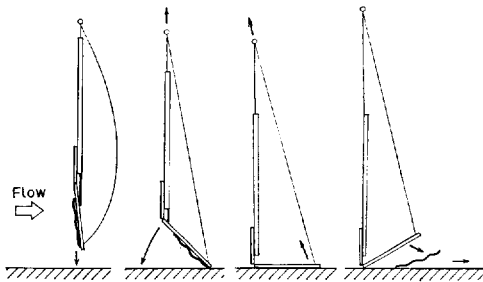


図2 模型葉体の放流方法

Procedure of releasing miniatures

の矩形に切取ったものを用いた。模型葉体はそのまま放流すると大部分が底面に付着して流れ難いので、揉んで細かいしわをつけた。また、セロハン紙は水に浸しておくと、塗料の溶出や膨潤により、材質が多少変化する。そのため、模型葉体の水中重量は実験後に8.5mgと若干小さくなった。

長さ50cm×高さ10cmの鋼製格子を有する器具を用いて、その格子に模型葉体50本を重ならないように張り付け、図1の Start line から図2のように底面に沿って静かに一斉に放流した。測定は、打ち切り時間を15分として End line の通過時間について行った。以上の操作は各実験ケースにつき6回行い、合計300個の模型葉体を放流した。ただし、放流後15分経過してもほとんど流出しなかった場合は規定の回数行わなかった。また、底面に摩擦等で付着し、ブロックを通過しなかった模型葉体は解析から除外した。

図3は、ブロックのない状態での流路方向の流速分布を径5mmの小型プロペラ式流速計により測定した結果である。境界層は流水断面中央まで及んでいるが、顕著な偏流はなく、水路側壁から約15cmの範囲を除けば側壁の影響はほぼ無視できるとみられる。

3. 流出機構と解析手法

実験で得られた情報である End line の通過時間のみ

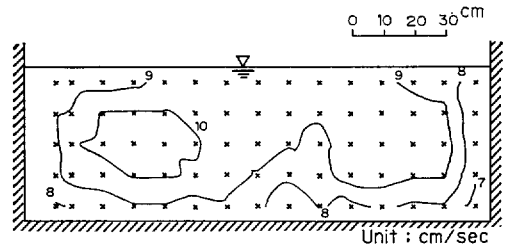


図3 流路方向の流速分布

図中の×印は測点位置を示す。

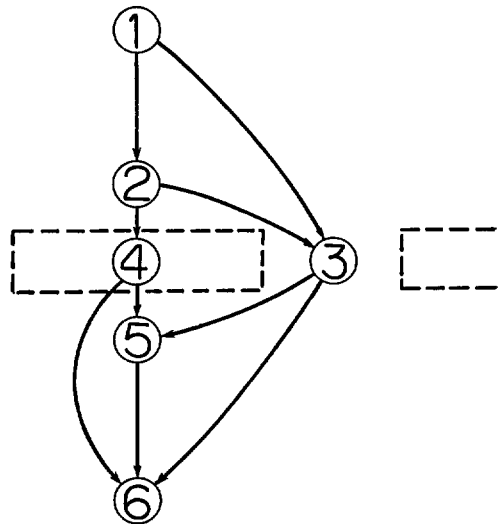
Distribution of velocity, \bar{u} 

図4 模型葉体の状態の推移図

Process of miniature's states

から、構造物の効果を検討するためには流出機構を検討しなければならない。

模型葉体の挙動は、図4に示すようないくつかの状態に区分してそれらの状態の推移として考えるとわかりやすい。図において、①；放流からブロックまで移動している状態、②；ブロック前面で一時滞留している状態、③；開口部を通過している状態、④；ブロックを越えて

いる状態, ⑤; ブロック背後に滞留している状態, ⑥; ブロック背後のよどみ域または開口部から流出し, End line まで移動している状態を表す。推移図は一般に状態の推移が離散時点(例えば1時間, 1日)でどのように生ずるかを記述する場合に用いられるが, ここでは連続時点で状態変化が起こる場合を考えなければならない。状態1および状態6は移動に関するもので底面の移動速度から各状態の滞留時間が求められる。また, 状態2および状態5は, 滞留時間に関するのに対して, 状態3および状態4は分岐の確率のみに関係し, 滞留時間は0である。流出時間分布は以上のように数多くの変数により規定されるので, 厳密には解析不能になるが, 実際には変数により流出時間への寄与の度合に大きな差異があ

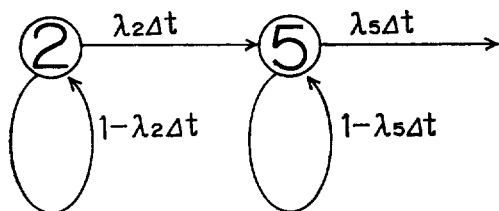


図5 単純化される推移の例

図中の数式は推移確率を表す。Δtは離散化した微小時間間隔である。

Case of the simplified state process

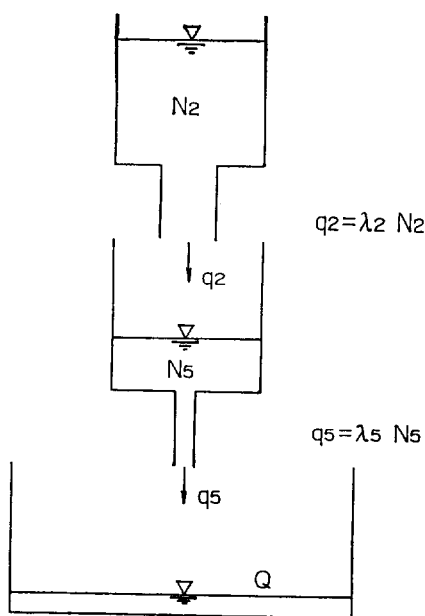


図6 タンクモデルによる表現

Representation of Fig. 5 by tank model

り, モデルを簡略化することができる場合がある。

hが大きく, sが小さい場合, 模型葉体がブロックの開口部や上側から直接流出せず, すべてブロックの前面と背後に必ず捕捉・滞留することが考えられる。この場合の状態の推移は, 図5に示す離散時点のモデルで表すことができるが, 模型葉体の放流数が微分可能であるとする, 連続時点のモデルとして図6に示すタンクモデルとして表現される。図6において, 微分方程式は,

$$\frac{dN_2}{dt} = -\lambda_2 N_2 \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{dN_5}{dt} = \lambda_2 N_2 - \lambda_5 N_5 \dots\dots\dots(2)$$

$$\frac{dQ}{dt} = \lambda_5 N_5 \dots\dots\dots(3)$$

となる。ここに, N₂およびN₅; 時点tにおいてそれぞれ状態2および状態5にある模型の数, λ₂, λ₅; 定数, Q; End line を通過した模型葉体の累積度数である。式(1), (2)および(3)より, 初期値 t=0 のとき N₂=N₀ および N₅=Q=0 として, Qについて解くと,

$$Q = \frac{N_0 \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_5} (1 - e^{-\lambda_2 t}) - \frac{N_0 \lambda_5}{\lambda_2 - \lambda_5} (1 - e^{-\lambda_5 t}) \dots\dots(4)$$

が得られる。状態3または状態4から状態6へ直接移行する割合が小さい場合には, (4)式と実験で得られたデータとに対して最適化手法の一つである Powell の共役方向法を適用して λ₂ および λ₅ を決定することができる。ただし, この解析では λ₂ と λ₅ が同程度のオーダーでなければ誤差が大きくなることに注意しなければならない。

4. 実験結果とその解析方法

図7はブロックのない場合の流出時間のヒストグラムである。底面との摩擦により流出時間が平均の約2倍になったのがみられるが, 分布の分散は平均に対して小さいので, 模型葉体は一定の速度で底面を移動するとみなせるであろう。

表1は全ケースの実験結果に対して特定の経過時点における未通過個数の割合を示したものである。ほとんど大部分の場合, 測定時間15分以内にすべての模型葉体が流出しなかったため, そのままでは平均滞留時間を求めることはできない。そこで, 次のようにして施設の効果を代表させる指標を求めた。

本実験条件の範囲では状態2の滞留時間は比較的短く, ほとんど大部分の場合, 放流3分後では模型葉体がブロックを通過して, ブロック背後に滞留しているものが徐々に流出する状態となった。すなわち, 状態5の滞

表1 実験結果一覧表
List of all experimental results

ブロックの諸元			未通過率 (%)			
h (cm)	l (cm)	s (cm)	300(sec)	600(sec)	900(sec)	
3	10	5	42.4	29.0	25.6	
		20	2	90.0	84.0	82.0
		3	73.1	67.3	59.3	
		5	47.8	32.0	22.9	
5	10	7	39.5	24.0	13.2	
		1	95.9	95.9	95.9	
		2	97.3	96.0	94.3	
		3	87.9	72.7	64.6	
	15	4	56.8	26.0	10.6	
		5	36.4	9.8	3.0	
		2	97.9	96.2	95.5	
		3	94.6	91.9	90.2	
	20	4	74.7	61.5	47.3	
		5	69.0	52.0	33.0	
		7	42.6	23.5	15.4	
		1	98.0	98.0	98.0	
7	10	2	97.7	97.3	97.3	
		3	93.2	90.5	87.5	
		4	81.6	68.3	59.4	
	15	5	74.4	52.9	40.7	
8		37.0	22.3	12.3		
3		98.7	96.0	94.9		
10	10	5	71.1	40.5	16.5	
		7	21.0	6.1	2.4	
		3	98.3	97.3	96.6	
	15	5	83.2	63.4	45.3	
		8	49.3	28.6	15.3	
		3	99.3	97.3	96.9	
	15	10	5	87.6	75.8	65.1
			7	66.9	40.5	26.4
8			50.2	28.1	15.1	
3			98.6	98.6	98.3	
20		4	96.3	87.8	78.3	
		5	71.6	28.8	9.9	
		3	99.3	98.3	98.0	
15	10	4	96.0	95.3	90.3	
		5	90.2	74.2	60.6	
		6	77.8	46.8	31.0	
		7	46.4	13.6	2.7	
	20	3	100.0	99.3	98.7	
		5	98.0	92.3	83.9	
		6	89.7	74.5	59.0	
15	10	7	77.7	57.5	42.9	
		10	56.2	29.0	12.8	
		3	99.0	99.0	99.0	
		4	100.0	96.9	92.2	
	20	5	88.7	61.0	29.5	
		3	100.0	100.0	99.0	
		4	100.0	98.6	95.9	
	5	97.3	93.5	90.1		
	6	92.7	83.6	74.2		
	7	80.4	60.1	47.4		
	10	68.0	45.0	34.0		

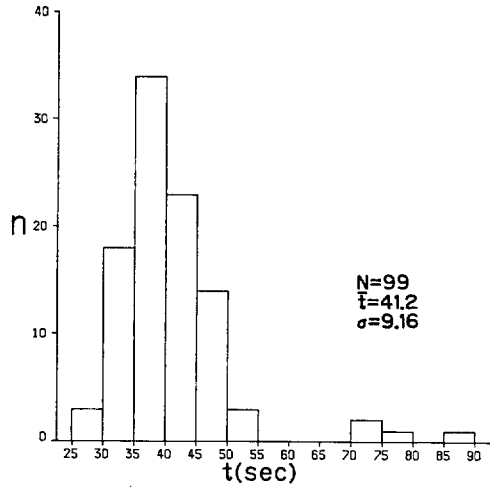


図8 ブロックがない場合の流出時間分布
Distribution of runoff time without blocks

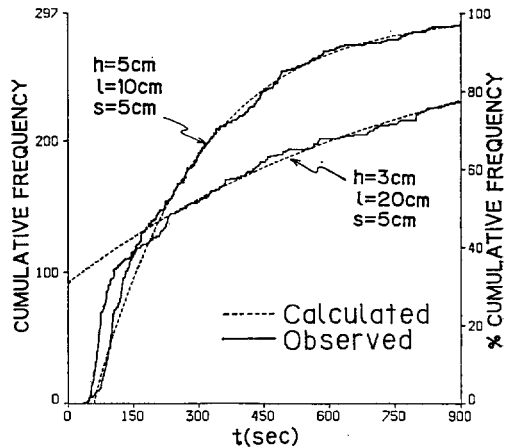


図8 累積通過度数の例

Examples of cumulative frequency of runoff time

留時間 T_3 が主要なブロックの効果とみなすことができる。このことは、式(4)において $\lambda_2/\lambda_3 = \infty$ とおくことに相当するが、式の意味を明確にするため、以下にマルコフ過程の問題として現象を定式化する。

時点 t では状態5にあって時点 $t + \Delta t$ までに状態から離れる確率は、時点 t における模型葉体の数 $N_5(t)$ に依存する正数 $q_5(N_5(t))$ を用いて、

$$P(T_3 \leq t + \Delta t | T_3 > t) = q_5(N_5(t)) \Delta t + o(\Delta t) \dots (5)$$

で表される。左辺は $T_3 > t$ の条件下で $T_3 \leq t + \Delta t$ となる事後確率を示し、また $o(\Delta t)$ はランダウの記法で、

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{o(\Delta t)}{\Delta t} = 0 \dots (6)$$

となるすべての関数 $\phi(Dt)$ を表す。ところで、ベイズの定理より

$$P(T_5 \leq t + \Delta t | T_5 > t) = \frac{P(t < T_5 \leq t + \Delta t)}{P(t < T_5)} \dots\dots(7)$$

であるから、 T_5 の分布関数および密度関数をそれぞれ $F_5(t)$ および $f_5(t)$ とおくと、 Δt が十分に小さいとき

$$q_5(N_5(t)) = \frac{f_5(t)}{1 - F_5(t)} \dots\dots(8)$$

となり、 $F_5(0) = 0$ に注意して両辺を積分すれば、

$$1 - F_5(t) = \exp\left(-\int_0^t q_5(N_5(x)) dx\right) \dots\dots(9)$$

となる。

模型葉体の排除体積はわずかであるので、定常性を仮定して $q_5 = \lambda_5$ とおき、この仮定を検証する。このとき式(9)は

$$1 - F_5(t) = \exp(-\lambda_5 t) \dots\dots(10)$$

となる。各ケース毎に6回の放流実験の結果をまとめ、累積通過率の経時変化を調べた。その例を図8に示す。図中で実線は実測値、破線はすべての模型葉体がブロックを通過したと考えた時点 $t = 200$ sec 以降のデータに対して式(10)をあてはめた回帰式を示している。模型葉体の放流初期では状態3または状態4から状態6に推移し、単位時間当たりの通過率が高くなる場合があるが、 $t > 200$ sec では模型葉体がブロック背後に移り、そこから除々

に流出する状態となる。図8において式(10)のあてはめがよいことから、上記の定常性の仮定は妥当であると認められる。このことは、一回の放流個数を変えた比較試験でも確かめられるはずである。図9の試験結果では同一の模型葉体を用いなかったためか、多少の差異がみられるが、定常性の仮定はそのまま支持される。

したがって、式(7)より状態5の平均滞留時間は

$$\int_0^\infty t dF_5(t) = \int_0^\infty \lambda_5 t \exp(-\lambda_5 t) dt = 1/\lambda_5 \dots\dots(11)$$

で推定される。

5. 解析結果および考察

全ケースの実験結果に対して瞬間流出確率密度 λ_5 を同様に求め、平均滞留時間 $1/\lambda_5$ と遮断率 $l/(l+s)$ との関係として図10に示す。ただし、打ち切り時間内に流出する個数が少なかったため、 λ_5 の計算がされていない実験ケースもある。本実験の範囲 $10 \text{ cm} \leq l \leq 20 \text{ cm}$ および $3 \text{ cm} \leq h \leq 15 \text{ cm}$ では、遮断率が $1/\lambda_5$ と最も相関が高く、遮断率がおよそ0.7よりも小さい場合、平均滞留時間は単体ブロックの形状にあまり関係なくほぼ同程度の低い水準になっている。ただし、実験条件では遮断率が小さくても模型葉体は容易に隣の単体ブロックの後流に移ることができるので、流れの中にブロックが孤立した場合とは異なることに注意しなければならない。

また、遮断率の増加に伴い、平均滞留時間は急増するとともに、 l と h との差異によって平均滞留時間の差異

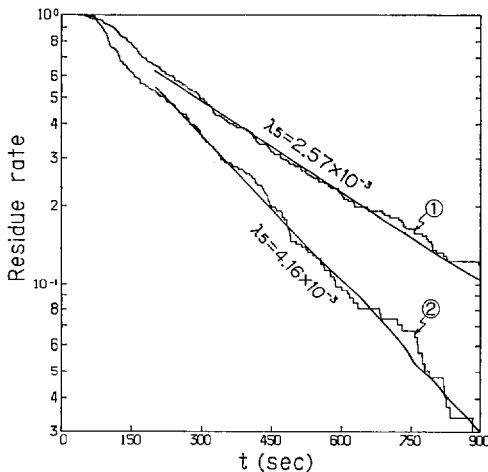


図9 一回の放流個数を少なくした場合との λ_5 の比較 ($h = 5 \text{ cm}$, $l = 10 \text{ cm}$, $s = 5 \text{ cm}$ の場合)

①; 50個/回×6回

②; 15個/回×20回

Comparison of λ_5 with the case of smaller number of miniatures released at a time

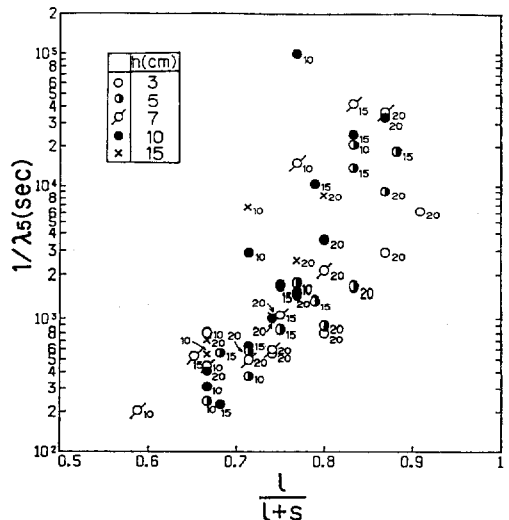


図10 遮断率と λ_5 との関係

図中の数字は $l(\text{cm})$ を表す。

Relationship between interception ratio and λ_5

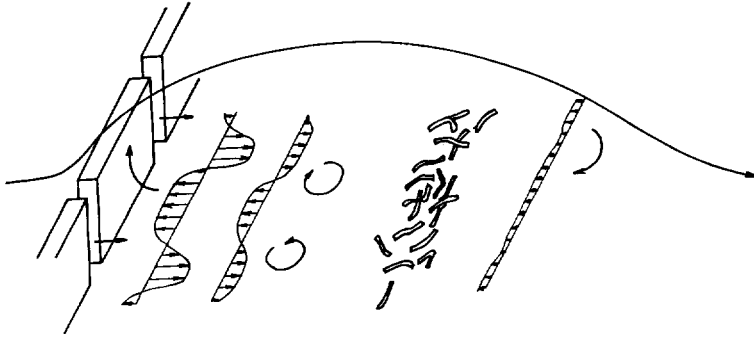


図 11 ブロック後方に滞留域が形成される場合の流れの概念図

Conceptive diagram of the flow in the case of which miniatures stay away from blocks

が大きくなる傾向がみられる。遮断率がおよそ 0.7 以上の範囲では、平均滞留時間は、 l (または s) が小さいほど、または h が大きいほど大きい傾向がみられる。

葉体の滞留様式については、条件により二つの異なる安定的に滞留する領域 (滞留域) の形成が観察された。一つは、ブロックの背面近くに形成される場合であり、もう一つはブロックから離れた下流に形成される場合である。以下、これらの事実も含めて、模型葉体の挙動を水理機構から説明してみよう。

ブロック背後に形成されるよどみ域は、開口部からの噴出する流れ (噴流) とブロック上端で剝離する自由流に影響される。噴流はブロック背後の流体を巻き込みながら次第に速度を一様化させて減少する。一方、ブロック上端から出る自由流は底面近くに逆流をつくるが、逆流の運動量と逆流域の範囲は h の増加に伴いとも増加する。

まず、 l が大きく、かつ h が小さい場合を考える。遮断率が 1 に近ければ、鉛直二次元の場合と同様に模型葉体は逆流により戻されてブロックのすぐ背後に滞留する。しかし、遮断率が低下し、噴流が逆流域を突き抜けると、開口部を通った模型葉体は逆流に捕捉されずにそのまま流出する機会が多くなる。

次に、 l が小さい、または h が大きい場合を考える。ブロックのすぐ背後では噴流または速度の大きい上昇流により模型葉体は下流に流される。噴流の影響が逆流域の外縁まで及んでいる場合、ブロックより離れた位置に分散して滞留し、そこから徐々に流出する。しかし、図 11 に示すように十分な長さや運動量をもつ逆流により噴

流が逆流域内で消失する場合、模型葉体は流出することなくブロックから離れた位置に帯状に滞留する。

また、前述した図 10 にみられる l と h による $1/\lambda_2$ の差異は次のように説明される。

二次元自由噴流の場合、噴流源からの距離 x における対称軸上の流速は、 $\sqrt{s/x}$ に比例する (例えば、Rajaratnam²⁾)。本実験の場合は底面と上層の主流の影響等があるので多少異なるが、明らかに遮断率と高さがそれぞれ等しい場合、開口部幅が小さいほど、噴流の速度の大きい範囲は小さくなるので、噴流により模型葉体が流出する機会は少なくなる。

ブロックの高さについては、鉛直二次元の場合、川俣ほか¹⁾ が次のような結果を述べている。すなわち、ブロック背後の循環流の速度は、その上層の主流の速度に比例して増加するため、ブロック背後に安定的に滞留する領域が形成される最小の高さ以上にブロックを高くすると、捕捉率が減少し、その捕捉率は流出海藻に働く流体力と浮力との比により推定される。それによれば、本実験の条件中最大の高さ $h = 15 \text{ cm}$ の場合でも、捕捉率は約 0.8 と推定され、捕捉率がブロックを飛び越えた模型葉体がブロック背後に取り込まれる率も含むことを考えれば、実験条件の範囲では、ブロック背後での巻き上げによる流出というマイナスの効果は小さかったと推定される。逆に h の増加に伴い逆流域の範囲の増加による噴流の影響の減少というプラスの効果が大きく作用したため、実験では h が大きいほど状態 5 の平均滞留時間が大きくなったと考えられる。したがって、鉛直混合による巻き上げの影響を調べるためには、水中重量のより小さい模型材料を用いたり h をより大きくした実験が必要である。

* 捕捉率 = ブロックを飛び越えたもののうちブロック背後に滞留する割合

6. 結 言

一様な流れの中に流れに垂直に置かれたブロックに等間隔にスリット状の開口部を設けることにより、背後のよどみ域への取り込み率の向上が期待されるが、逆に噴流による流出の可能性が増大する。

本実験条件の範囲内では、流出海藻を安定的に滞留させるためには少なくとも遮断率が0.7以上であることが必要であり、また同じ遮断率でも開口部は小刻みに設けた方が効果的であることがわかった。ただし、ブロックの長さ l を小さくすると、滞留域が下流に移行することに注意しなければならない。高さ h については、本実験で推定されたように巻き上げによる流出の割合が少ない場合には、 h を大きくすることにより噴流による流出を減少させることができる。しかし、模型葉体の水中重量が小さく、巻き上げの可能性がある場合には、 h の増加に伴いマイナスの効果が大きくなると考えられる。ただし、この点については模型材料や流速を変えた実験による相似性の検討が必要である。

また、顕著な滞留効果があった場合には、二つの特徴的な滞留様式が観察された。一つは、 l が大きく、 h および s がともに小さい場合にブロック背面近くに滞留域が形成される場合であり、鉛直二次元の場合と同様に流出海藻はブロック面に押しつけられるように滞留する。もう一つは、 l が小さい、または h が大きい場合にプロ

ックより離れて帯状に形成される場合である。

前者については二次元の場合と同様に主流の速度がある値より大きくなると滞留域が消失すると考えられる。

これに対して、後者の場合、主流の速度の増加に伴い、逆流の運動量と噴流の運動量がともに増加するので、滞留域は主流速度の変化に対して比較的安定して形成される可能性がある。この場合、アワビ、ウニの棲み場という生物側の問題があるが、重要な滞留としてさらに検討する必要がある。

以上のように、本改良型の効果については、いくつか重要な関係が定性的に明らかになったが、現地での効果予測を行うためには、水理機構について流体力学的検討が不可欠であり、今後このことについて研究を計画している。

本研究はマリーンランチング計画により行った。御校閲いただいた菅原輝男水産土木工学部長並びに萩野静也開発システム研究室長に感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 川俣茂・萩野静也：二次元一様流における平板型流れ藻滞留施設について、水産土木、46, pp. 1-11, 1987.
- 2) Rajaratnam, N.: Turbulent jets, Elsevier, 1976. (野村安正訳, 噴流, 森北出版, pp. 1-25.)

Developmental Studies on Block-Type Drift Alga Traps with Slit Openings

Shigeru KAWAMATA

Summary

Though drift algae are the best type of food for commercially important abalones and sea urchins, they are so easily moved by water movement that they tend to be drifted away from fishing grounds. One of the typical types of drift alga traps is a block which forms a wake downstream where algae may remain. In fact, however, drift algae are hardly trapped in the wake of the block which is finite in length.

It was proposed here to place blocks with certain intervals as a new model of the traps to make drift algae to remain in the wake more effectively. In the wide open-channel uniform flow, the blocks of h in height and l in length were placed with slit openings of s in width in a line perpendicular to the flow direction on the bottom, and miniature algae were released to investigate their behaviours with different h , l and s .

As the result, it was found that the drift algae did not stay for a long time downstream of the blocks in case that $l/(l+s)$ was less than about 0.7. It was also found that there were two different patterns of the distribution of algae when most of them remained. The one was the algae gathering immediately behind the blocks, and the other was the algae remaining apart from the blocks.

The latter pattern should be further investigated as an important mechanism.