

氷見漁港の海水交流調査

誌名	水産工学研究所技報. 水産土木
ISSN	03892344
著者	山本, 正昭 西, 裕司
巻/号	3号
掲載ページ	p. 51-63
発行年月	1982年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



氷見漁港の海水交流調査

山本正昭*・西 裕司*

Field Study on Exchange of Water in Himi Fishing Port

By Masaaki YAMAMOTO and Yuji NISHI

目 次

1. 緒 言 51

 1.1 調査の概要 51

 1.2 従来の調査 51

2. 調査計画と実施 52

 2.1 現地調査概要 52

 2.2 調査内容と方法 52

3. 調査結果およびその分析 53

 3.1 流 況 53

 3.2 水 位 56

 3.3 水温, 塩分, 密度の鉛直分布 58

 3.4 水質分析結果 60

 3.5 底質分析結果 60

4. 考 察 60

 4.1 調査結果の要約 60

 4.2 潮通しを塞いだ場合の海水交流量および交換量 62

 4.3 外海との潮通しを設けた場合の海水交流 62

 4.4 泊地内の汚濁濃度の推定 63

5. 結 言 63

1. 緒 言

1.1 調査の概要

氷見漁港は富山湾の西部に位置し, 利用漁船276隻, 1,360トン, 水揚高11,929トンと県内最大の第3種漁港であり, 主たる漁業は定置網漁業である。この漁港の一3m泊地(S45完成)は, その外に泊地と防波堤が造られるに従がって, 水質の悪化が進んでいる。現在, 沖側防波堤の一部を幅6mに亘り撤去し港内水の交換に努められているが, 第6次漁港整備計画(図1)外港施設の整備が進むに従って海水交流が悪くなり水質の汚濁も進むものと思われる。この対策を樹てるために, 以下のことを目的とする現地調査を行なった。

- ① 現在の海水の水質状況, 海水交換機構を調べる。
- ② 整備計画実施により潰れる潮通し部に代わる海水交換のための施設を作るためのデータを調べる。

なお, この調査は富山県の依頼により, 県水産施設課と共同で行なったもので, 当研究室は主に調査計画及び結果の解析を担当した。

1.2 従来の調査

1.2.1 水質について

図2に示すように, 昭和54年4月から55年5月までの

* 漁港水理研究室

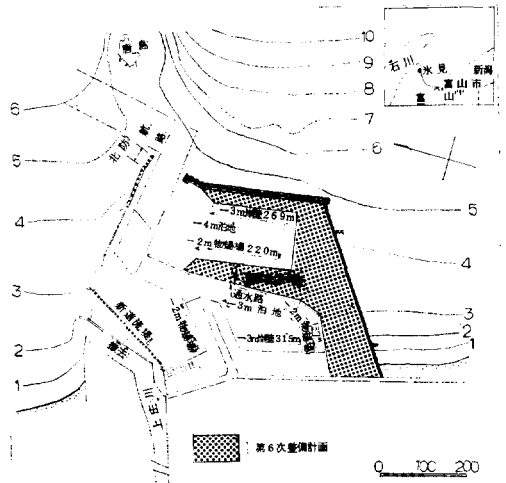


図1 氷見漁港修築計画平面図

毎月の水質調査では, COD値は2.0ppm~11.0ppmを示し, 最高は55年1月, 4月の11.0ppmとなっている。この漁港周辺海域の53年調査では, 同平均値は阿尾地先で1.2ppm, 島尾地先で2.1ppmを示した。これと比べて港内CODは高い。また, DOも環境基準値より小さく, 5.1~8.2ppmを示す。特に8月(飽和度76%), 9月(75%)が悪い。

この原因を考える場合, 河川との関係がはつきり表われている。氷見漁港内のCODは上庄川の値に従がって

変動し2, 3の月を除いて上庄川の値が大きいか等しい。このことは、上庄川からの河川水が汚濁の主原因であることが窮える。特異な月としては、昭和54年4月, 9月, 55年1月などの泊地内のCODが上廻っているが、これは漁業活動に関係している可能性もあると思われる。

1.2.2 潮汐

富山伏木港における潮和常数²⁾は、

M ₂ 潮	振幅 6 cm	遅角 77°
S ₂ 潮	〃 2 cm	〃 95°
K ₁ 潮	〃 5 cm	〃 359°
O ₁ 潮	〃 5 cm	〃 326°
S _a 潮	約15 cm	〃 約170°

したがって、大潮差16cm, 小潮差8cmであり、1年を通じて9月が最も潮位が高く、3月が最も低くなる。

2. 調査計画と実施

2.1 現地調査概要

(1) 調査期間

- 第1回調査 昭和55年7月10~11日 (11日水門閉)
- 第2回調査 昭和55年9月16~18日 (17日水門閉)

(2) 調査場所

富山県水見漁港周辺：測定点は図3に示す。

(3) 調査項目

- ① 水位：漁港泊地内外の水位およびその長周期変動。
- ② 流況：流れの経時変化、鉛直分布、潮通し部の流量。
- ③ 塩分、水温：1時間毎の鉛直分布
- ④ 水質：上層および下層のCOD, DO, SS, T-N等。
- ⑤ 底質：粒度組成, 汚染状況 (COD 強熱減量等)

2.2 調査内容と方法

2.2.1 水位測定

第1回調査では、2台のストレンゲージ式水圧計と1台の差圧計を用い、港内外 (I点~H点) の水位変化と水位差を求めんとしたが、水位差は機械故障のため測定できなかった。各機器の接続は図4の通り。

第2回調査では、2台の現地用波高計を用いた。港内側はストレンゲージ型波高計 (SGW), 港外側は直記水圧型波高計 (DW) を長周期波測定が可能のように改良

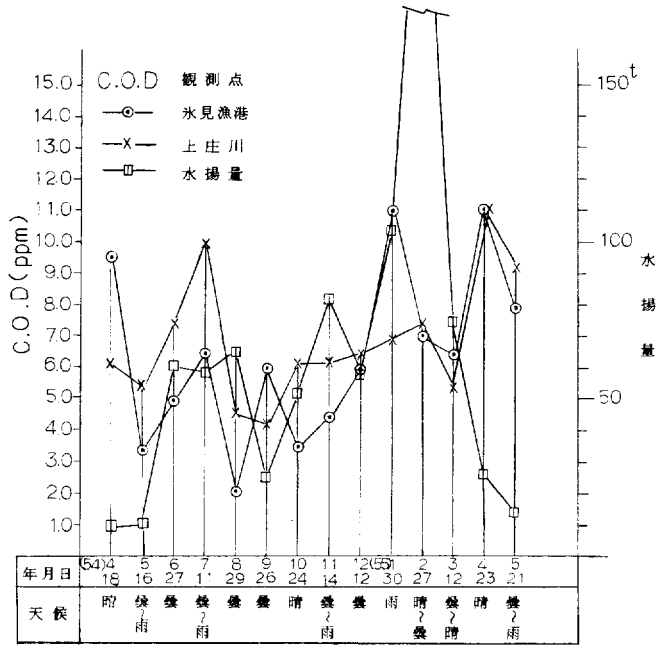


図2 水質データの変化

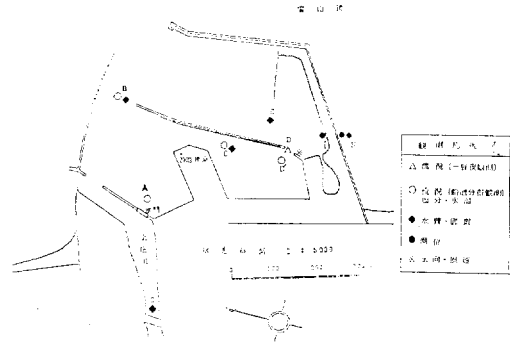


図3 測点位置

して用いた。これも記録の振幅が小さかったため、余り良い結果は得られなかった。

2.2.2 流れの測定

第1回調査では

- ① 小野式流速計を用いてA点(1層), B点(2層), D点(1層)における流速の断続測定を行う。同時に、
- ② A, B, C, D各点において、CM-2型流速計を用い、流速の鉛直変化を求めんとしたが、流速が小さかったため正確なデータは得られなかった。また、
- ③ 流跡を求めるため、漂流板を流したが風や深さによる流向のちがいが等により不正確なデータとなった。

第2回調査では、

表 1 氷見漁港D点に於ける気象観測 (昭和55年9月17日)

時 間	風 向	風 速	乾 球	湿 球	天 候
06:00	NW	m/s 0.2	°C 20.8	°C 19.6	快 晴
07:00	NNE	0.25	20.8	19.6	〃
07:30	ENE	0.5	20.9	19.7	〃
08:00	ENE	0.5	21.5	19.7	〃
09:00	SSE	0.0	24.1	19.7	〃
10:00	E	1.5	25.5	19.9	〃
11:00	ENE	1.5	25.5	20.0	〃
12:00	E	1.5	25.1	20.0	〃
13:00	SEE	1.8	24.8	19.4	薄 雲
14:00	ESE	0.8	25.4	19.4	晴
15:00	ENE	1.2	24.5	19.6	薄 雲
16:00	ENE	2.2	23.8	20.2	晴
16:30	ENE	2.7	23.6	20.2	〃
17:00	ENE	2.4	23.5	20.2	薄 雲
17:30	NNE	2.8	23.2	19.8	〃
18:00	N	2.3	21.5	19.7	夕暮

上記データ収集のための観測器材は次のものを使用した。

- 1) ビラム式風向, 風速計
- 2) アスマン式乾湿計

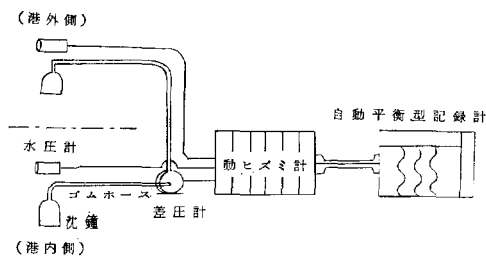


図 4 水位計測器接続図

① 微流速用流速計(CM-2S A) およびDCM-2 流速計の2台を用い, A, B, C, D 4点の鉛直分布を上層および下層から2台同時測定した。さらに

② D点において, DCM-2型流速計により, 2分間隔に流速を測定し交番流の周期, 流速を求めんとした。

③ -3m泊地奥部の流動状況を求めるために, ウラニンを投入し, その移動状況を観察した。

2.2.3 塩分, 温度測定

第1回調査では, ECT-5型塩分計を用いて, 表面から海底まで0.5m毎に, 測定点A, B, C, D各点において, 7月10日6時から1時間毎13回, 11日8時30分より1時間ごと6回の測定を行った。

第2回調査では, 前記の方法で9月17日6時より12回の測定を行った。

2.2.4 水質調査および底質調査

昭和55年9月17日, 水質については干潮時, 満潮時の2回, 測点H, B, C, D, Eにおいて上層と下層の2層をバンドン式採水器を使用して採水し, 表2の分析方法で, 透明度, pH, Cl, DO, COD, SS, T-N, T-Pについて測定した。

底質については, 上記と同じ地点よりSK式採泥器を使用して採泥し, 外観観察, 含水比, COD, 強熱減量, 硫化物, 粒度組成を測定した。

3. 調査結果およびその分析

3.1 流 況

3.1.1 流速の時間変化(第1回調査)

(1) 測点A

流向は数時間単位で比較的安定しておりN-W方向が主体である。流速は数時間単位の間欠的に約5cm/secが表われている。

(2) 測点B-0.5m

流向は大方N-NWを示すが変動がある。流速は1~

表 2 水質・底質分析方法

	項 目	分 析 方 法
水	透 明 度	気象庁編海洋観測指針 4-1 (透明度板法)
	pH	JIS K 0102-8 (ガラス電極法)
	Cl	気象庁編海洋観測指針 8-2 (硝酸銀滴定法)
	DO	JIS K 0102-24.3 (ウインクラー・アジ化ナトリウム変法)
	COD	JIS K 0102-13 (酸性 KMnO_4 法)
	SS	JIS K 0102-10.2.1 (ろ紙によるろ過法)
質	T-N	JIS K 0102-17.1.1.2, 17.3.2. 及び 17.1.2. B 法 (水蒸気蒸留インドフェノール青法)
	T-P	JIS K 0102 解説-27.3 及び JIS 0102-27.1(C) (加水分解後 n-ブチルアルコール抽出モリブデン青法)
底 質	含 水 比	環境庁水質保全局 底質調査方法 2.3
	COD	環境庁水質保全局 底質調査方法 4.1
	強熱減量	環境庁水質保全局 底質調査方法 2.4
	硫 化 物	環境庁水質保全局 底質調査方法 4.2
	粒度組成	ピペット法による。

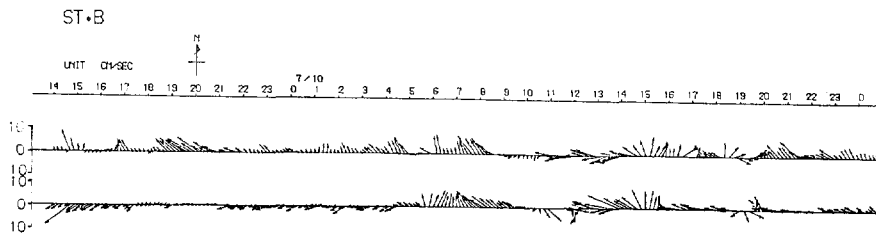


図 5 流速ベクトル図 (ST.B, 1980.7.9~10) 上:上層, 下:下層

10cm/sec 程度である。

(3) 測点B-1.5m

流向は比較的安定しており, NW と WSW が主体を示す。流速は 0~10cm/sec でその盛衰が1時間に2~3回現われている。

B点の上下層の流れを比較すると, 流れが安定している場合は, 平均して下層は上層より左廻りに $90^\circ \sim 120^\circ$ 偏向している。

(4) 測点D

20cm/sec 以上の強い流れが表われているが流向の変動がはげしく, 小野式流速計よりこの交番流を読むことは困難である。従って, 測点Dの分析は以後省くことにする。

(5) 恒流成分の検出

Progressive Diagram より1日あたり流程を求めると以下の通りになった。

測点A-0.5m: WNW 方向 1.3km

測点B-0.5m: NW 方向 3.0km

測点B-1.5m: W 方向 2.2km

したがって, A点では水門から河川に流出している。B点では測点の-0.5m層および-1.5m層は流向はやや違っているが, やはり-2m泊地に向かって流れていることを示している。

3.1.2 流れの鉛直分布 (7月10日:水門開放時)

(1) 測点A

その流向は時間毎にも鉛直的にも変化が大きく, 水深-1.7mまでの間に流れは2層ないし3層に分かれている。特に, その表層(-0.2m)は下層と異なりSEまた

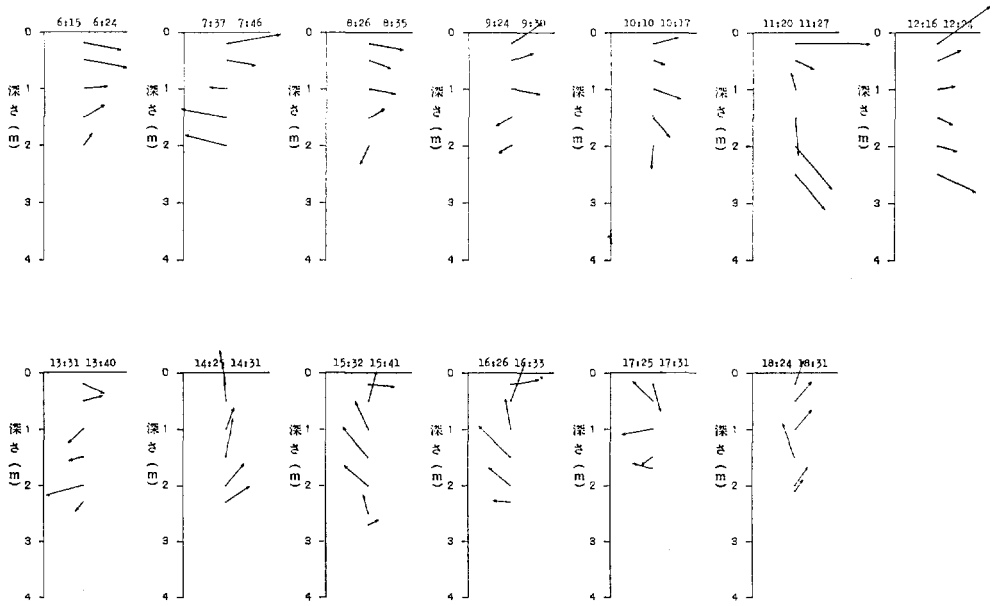


図 6 流動鉛直分布図 (測点B 1980. 7.10)

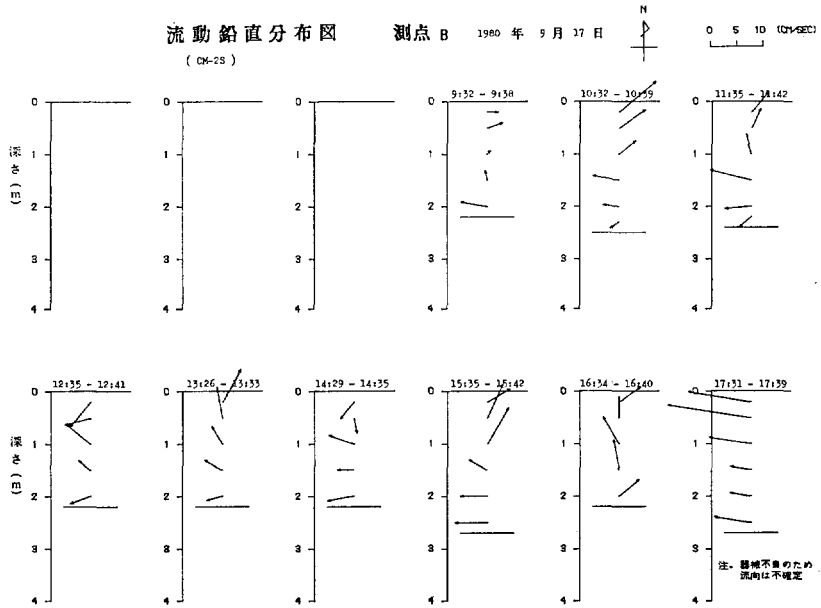


図 7 流動鉛直分布図 (測点B 1980. 9.17)

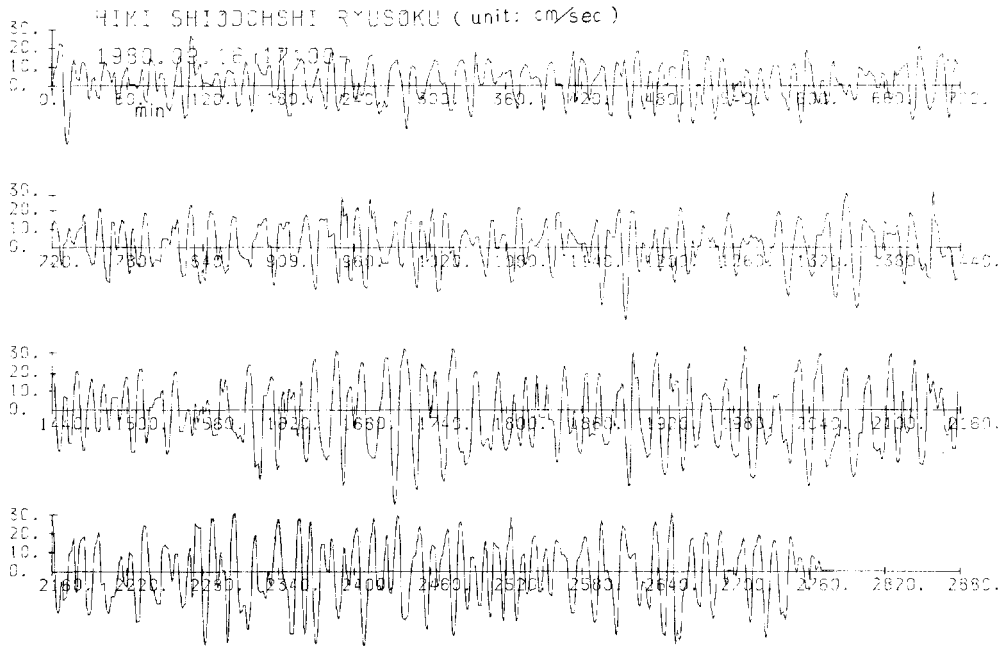


図8 潮通し部流速

はSW方向の流れが多い。

(2) 測点B

深さ-2.0mまでに流れはほぼ2層に分かれている。表層はE(河川より流入)方向の流れが大勢を示すが、上げ潮時には一時流出を示す。この層厚は下げ潮時には薄く、上げ潮時には厚い。下層はW方向が主流を占めている。

(3) 測点C

深さ-2.8mまでに0~3層の流れを時により形成しているように見え、流れは複雑である。

また底層にも流れが存在する。

(4) 測点D'

最深部で-3.5mあり、表層ではS向き流れが卓越している。下層は一般に流れが弱く一定しない。

3.1.3 流れの鉛直分布(9月17日:水門閉鎖時)

流速測定は各点同時刻にCM-2Sは上層から下層へ、DCM-2は下層から上層へ測定した。

その結果、両測定値に不一致が大きかった。この原因は流れのノイズ(波などの短周期変動など)とは考えられず、流速計の精度上の問題と考えられる。したがって、測定下限値の小さいCM-2Sを信用せざるを得ない。以下、CM-2Sの測定結果について述べる。

(1) 測点A

6時、7時、13時、17時では全層ははっきりW方向の流れを示し、他の時刻は流速が3cm/sec以下と弱い。

(2) 測点B

-1.0~-1.5mより上層はN~E方向の流れが卓越し、その下層ではW方向が卓越している。

(3) 測点C

流れは水深平均3~5cm/sec程度と弱く、流向の鉛直変化ならびに時間変化もはげしい。

(4) 測点D'

平均流速2~4cm/sec程度と弱く、E方向の流れがやや卓越している。

3.1.4 潮通し部の流速(9月16~18日)

現潮通し部において変動流速を求めたものが図8である。この潮通し部では、ピーク流速20~40cm/secの周期約15分の交番流が発生していることがわかる。

3.2 水位

3.2.1 第1回調査

図9に示す如く、平均周期17分の長周期変動が観測された。波高は以下の通りである。

7月10日 午前 $H_{1/2}=3.7\text{cm}$ (4時間)

ク 午後 $H_{1/2}=3.8\text{cm}$ (3時間)

7月11日 午後 $H_{1/2}=3.4\text{cm}$ (3時間)

そのスペクトル(図10)は0.06rpm(16.7分)付近にピークを示し、固有周期が存在することを証明している。

3.2.2 第2回調査

図11に示す如く、ノイズの多いデータであるが、これ

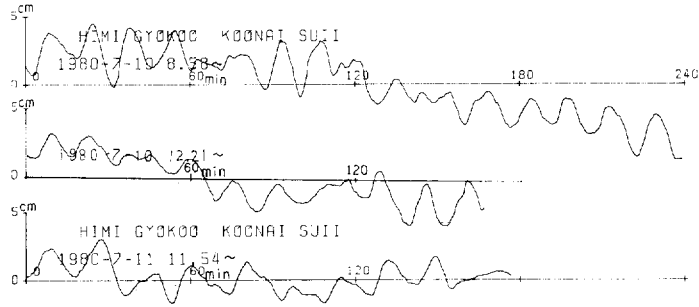


図9 水位変動(第1回・港内)

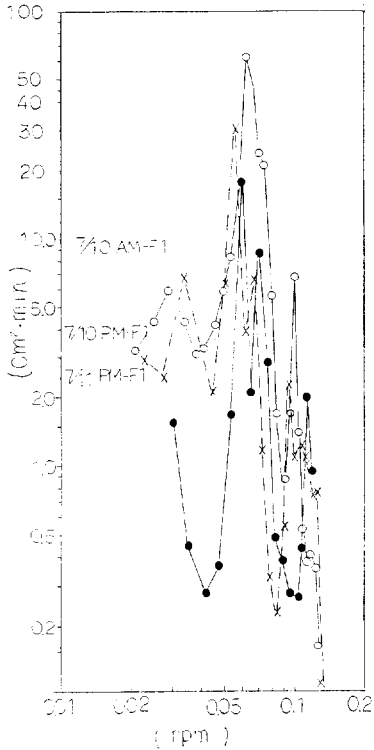


図10 水位のスペクトル(第1回・港内)

に Low pass filter を通して波高を求めると

9月16日 港内 $H_{1/4}=4.1\text{cm}$

港外 $H_{1/4}=5.0\text{cm}$

この港内外の波高差は読取精度上有意なものとは言い難い。スペクトル図(図12)は0.050rpmと0.055rpmにピークが現われた。したがって、港内外に周期1000秒の長周期固有振動が存在することがわかる。この周期は富山湾全体の横振動と推察される。エネルギー平均波高は、 $H_{1/4}$ の約0.7倍となり、 $H_{rms}=0.03\text{m}$ 位である。

3.2.3 水位差に関する水理模型実験

現地において港内外の水位差を測定することができなかったため、実験水槽でその模型実験を行なった。実験諸元は次の通りである。

	実物	模型	縮尺
周期	1,000秒	22.2秒	1/45
水深	300cm	15cm	1/20
波速	542cm/s	121cm/s	1/4.47
波長	5,800m	29m	1/200

模型は水平モルタル床(水深15cm)上にコンクリートブロックで外郭施設を作り(図13)、水槽の固有振動を利用して長周期定常波を発生させた。その水位変化および流速変化を図14に示す。これより港内外の位相差

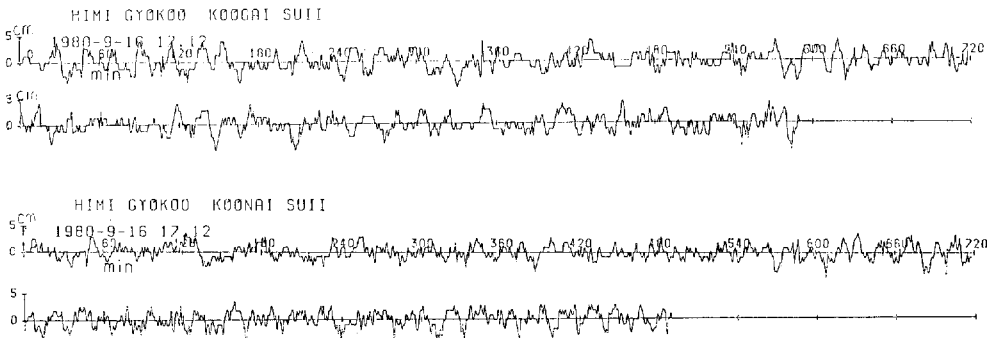


図11 港内外水位変動(潮汐除去後)

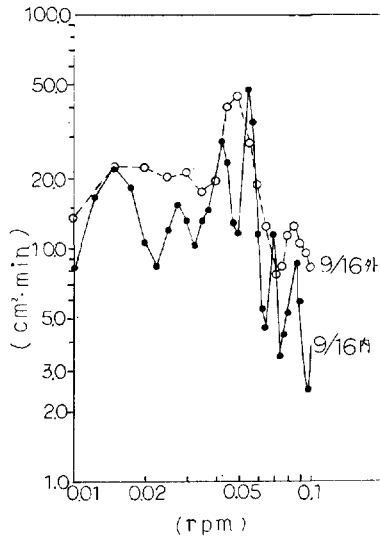


図 12 水位のスペクトル (第2回)

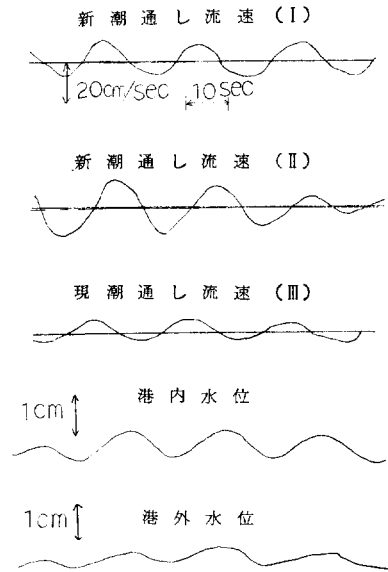


図 14 模型による水位・流速

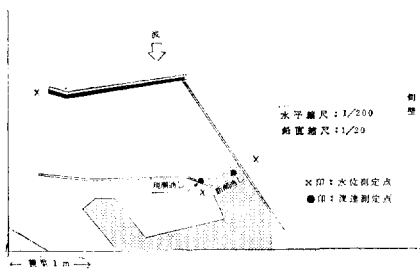


図 13 模型概要図

Δt が現地で約80秒位になることが判明した。

3.3 水温、塩分、密度の鉛直分布

3.3.1 第1回調査 (7月10日 (開), 11日 (閉))

(1) 概要

全測点とも表層は河水水が流入し、水温が低く淡い水となっている。密度は下層が大きい安定した層をなしている。変化が大きいのは塩分濃度でこれを海水交換の指標とするのが適当と判断する。(図15参照)

(2) 測点A

12時間観測中、表面の塩分の最低は7.37‰、最高は26.7‰であり、表層の交換は充分である。-1m層も時折大きく濃度に変化しているので海水交換は充分である。

水門を閉じた場合、表層の塩分は平均的に高くなるし-1m層も濃度の変化が小さくなる。

(3) 測点D

水深は-3.5m程度であるが、その表層では3~4時間周期の塩分変動が見られる。その平均濃度は18‰前後である。深さが増すごとに塩分は増すが、-2.5m層より下層では濃度の変化はほとんど見られない。

また、水門を閉じた場合、上層では濃度が上昇し、かつ、その変動が小さくなっていることから下層との混合も行なわれていることが窺える。

3.3.2 第2回調査 (9月17日, 水門閉鎖時)

(1) 測点A

水門を閉じたため塩分濃度は高く、表層でも28.3~31.5‰、底層では32.0~33.5‰を示した。一方、水温は河水水の流入がないため、表層で上昇し、表層密度を下げる作用をした。なお、表層と下層との密度差は15時以降を除き0.01以下である。表層の塩分は15時以降やや下がった。

(2) 測点B

測点Aと同じ傾向を示し、塩分濃度は31.5‰以上であり表層と底層との差は2‰以下となっている。密度差も上下層の差は0.01以下である。

(3) 測点C

表層で27.6~30.8‰、底層で32.5~34.0‰の塩分濃度であり、表層は16時以降濃度が低下している。したがって密度の上下層差は、午前中は0.01以下と小さく、16時以降は0.025程度と拡大している。水温は表層でやや変動するが $24 \pm 1^\circ\text{C}$ 範囲である。

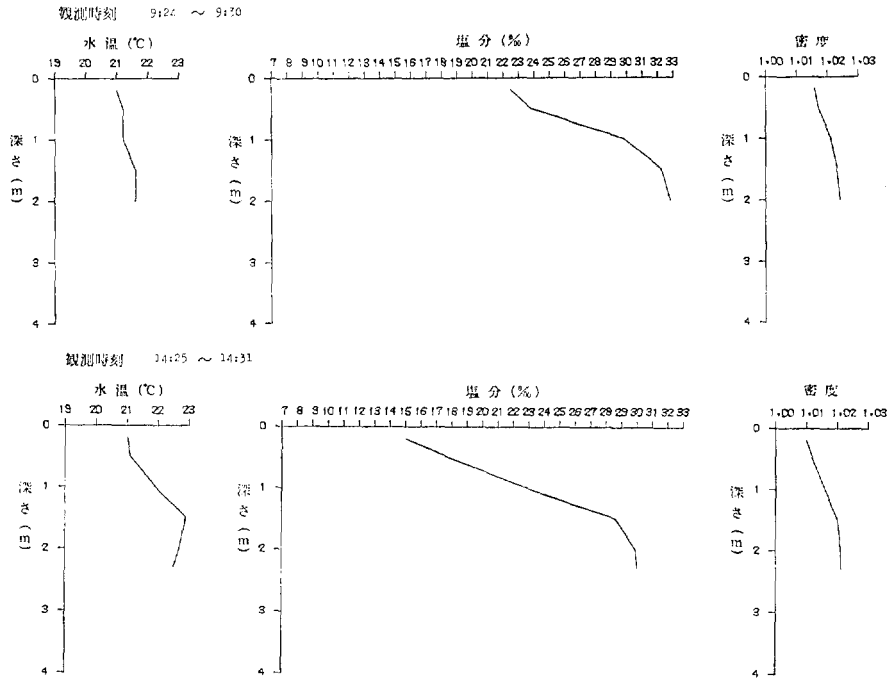


図 15 水温・塩分・密度の鉛直分布図 (測点B 1980.7.10)

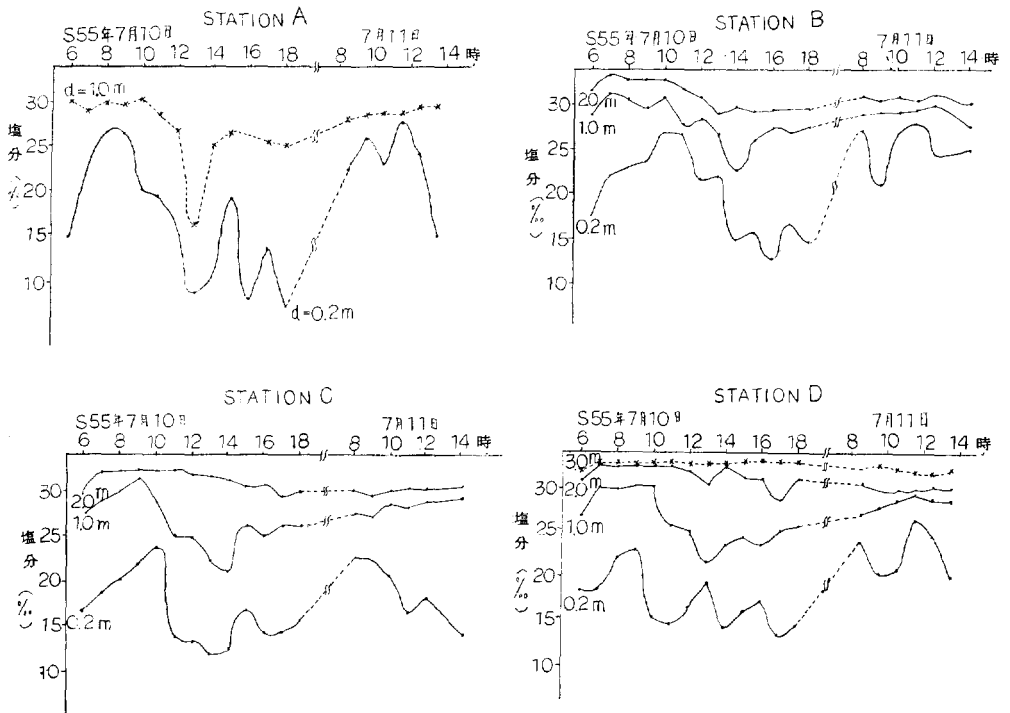


図 16 塩分濃度の変化 (1980.7.10~7.11)

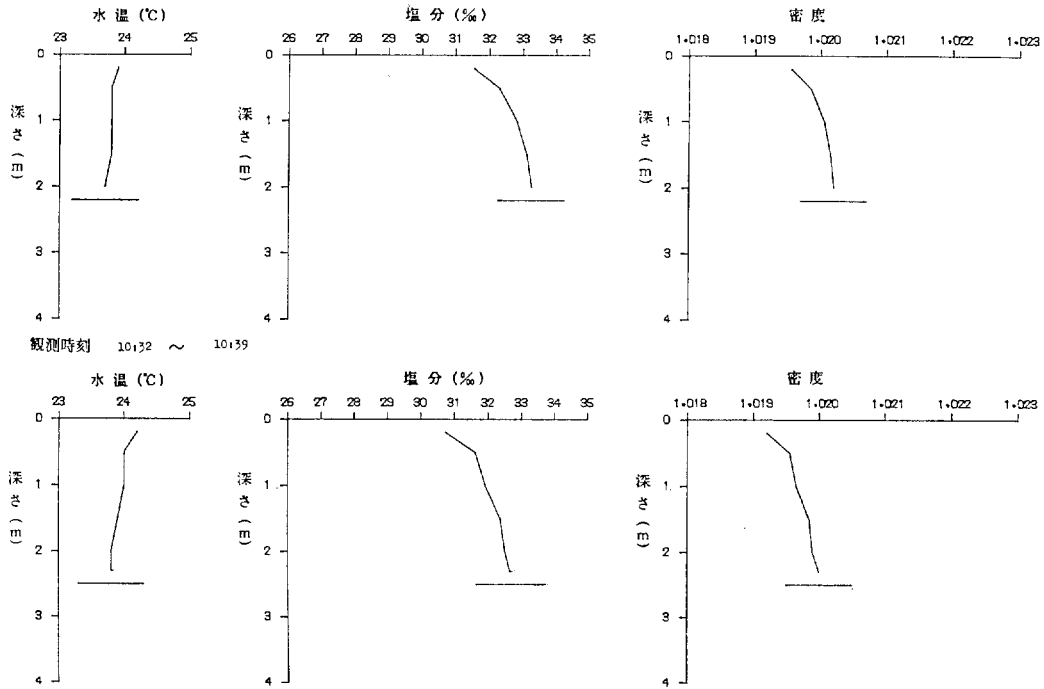


図 17 水温・塩分・密度の鉛直分布図 (測点B 1980. 9.17)

(4) 測点D

塩分濃度は、表層で28.0~31.7‰、底層で32.9~33.8‰を示し、測点Cよりやや高い。密度も測点Cと同様である。

(5) まとめ

水門を閉じると塩分は全体的に高くなり、水温は上下層の差が小さい。しかし、表層付近の塩分濃度の変化は海水の交換を表わしている。一方、底層については塩分、水温とも時間変化がなく、交換が行なわれているかどうか不明である。

3.4 水質分析結果

- (1) Cl⁻: 河川部測点Eの上層のCl⁻は極めて小さいが下層は10‰を越えている。
- (2) DO: 全般に海域環境基準を満たしている。
- (3) COD: 全般に海域環境基準をオーバーし不合格である。特に河川水の濃度が大きいことと干潮時に上昇することが特徴である。
- (4) SS: 水産環境基準を大幅にオーバーしており、特に測点B下層, E, H下層が大きい。この原因は河川水と海水が混合するためと考えられる。

3.5 底質分析結果

- (1) COD: 水産環境基準値を全般に満たしている。
- (2) 硫化物: 測点BおよびCでやや多い。
- (3) 粒度: 測点Cで粘土の堆積が42%と多く流れが微弱であることが窺える。
- (4) 色: 港内の測点B, C, Gは黒色、ヘドロ状を呈す。全点とも臭気はない。

4. 考 察

4.1 調査結果の要約

調査結果を要約すると

- ① 泊地内の水は上庄川の影響を強く受けている。淡水が泊地の海水の表面に流入し、汚濁物質も主に河川水と伴に泊地内へ流入する。
- ② ー3m泊地の海水交換は沖側防波堤に設けられた潮通しに負うところが大きい。すなわち、ここで約17分周期のピーク流速 30cm/secの交番流が観測されたが、このエネルギーは富山湾の静振周期に共振して卓越したと推定される。

表3 水質分析結果表

潮位	地点名	採水時刻	水深(m)	透明度(m)	採水層	採水深度(m)	水温(°C)	pH*	Cl(%)	DO(mg/l)	COD(mg/l)	SS(mg/l)	T-N(mg/l)	T-P(mg/l)
満	H	6:15	4.0	1.2	上	0.2	22.8	8.0(24°C)	15.98	8.9	2.1	7.7	0.12	0.18
					下	3.5	22.5	8.2(24°C)	17.12	7.5	2.0	11	0.08	0.20
	B	7:00	2.5	1.3	上	0.2	22.9	8.1(24°C)	13.55	8.2	2.2	9.3	0.26	0.56
					下	2.0	22.9	8.1(24°C)	17.35	7.7	2.6	35	0.15	0.039
潮	C	7:45	2.8	1.5	上	0.2	22.3	8.0(24°C)	11.90	11.1	2.5	4.7	0.40	0.34
					下	2.3	23.5	8.2(24°C)	16.20	8.0	3.5	7.5	0.20	0.26
時	E	8:30	2.2	0.8	上	0.2	21.6	7.1(24°C)	2.80	8.9	3.9	7.1	0.61	0.36
					下	2.0	23.5	7.9(24°C)	16.57	7.0	3.2	13	0.40	0.32
	G	9:05	1.3	1.3以上	上	0.2	22.3	8.1(24°C)	12.17	8.7	2.4	20	0.35	0.34
					下	1.0	23.0	8.1(24°C)	13.45	8.0	2.9	20	0.25	0.18
干	H	15:50	2.4	0.8	上	0.2	23.0	8.3(24°C)	14.21	8.7	2.5	10	0.47	0.31
					下	2.0	23.2	8.3(24°C)	14.28	8.6	2.8	20	0.26	0.19
潮	B	14:10	2.7	1.3	上	0.2	23.6	8.1(24°C)	12.97	9.3	3.2	7.9	0.21	0.28
					下	2.5	23.0	8.2(24°C)	15.77	8.7	3.8	35	0.29	0.094
時	C	13:55	2.2	1.3	上	0.2	24.0	8.0(24°C)	9.52	9.6	3.9	6.9	0.29	0.23
					下	2.0	24.6	8.3(24°C)	15.47	9.6	3.1	8.5	0.20	0.20
	E	14:40	2.3	0.8	上	0.2	23.8	7.2(24°C)	0.95	7.7	3.8	8.0	0.83	0.40
					下	2.0	23.9	8.0(24°C)	10.71	8.5	3.5	6.8	0.69	0.23
	G	15:10	1.2	1.2以上	上	0.2	23.8	8.1(24°C)	10.68	9.2	3.3	5.6	0.44	0.20
					下	1.0	23.8	8.1(24.0)	12.72	9.1	3.5	12	0.24	0.20

* pHにおける()の値は測定時の温度である。

表4 底質分析結果表

地点名	外観	臭気	含水比(%)	COD(O ₂ mg/g乾土)	強熱減量(%)	硫化物(5mg/g乾土)	粒度組成*(%)			
							粘土	シルト	細砂	粗砂
H	淡褐色・砂状	無臭	8.3	0.82	3.0	0.01以下	7.0	17.5	69.1	6.4
B	黒色・ヘドロ状	無臭	36.7	8.2	6.1	0.22	26.5	32.9	37.5	3.1
C	黒色・ヘドロ状	無臭	54.9	16.0	7.9	0.39	41.8	37.6	20.1	0.5
E	黒色・ヘドロ状	無臭	47.1	15.0	7.6	0.15	7.0	43.5	42.0	7.5
G	灰黒色・塊状	無臭	25.6	1.8	3.7	0.01以下	14.7	14.2	59.8	11.3

* 粘土：径0.002mm以下 シルト：径0.002~0.02mm 細砂：径0.02~0.2mm 粗砂：径0.2~2mm

③ 上記の長周期波の波高は3~4cm程度であり、新らしく考えられる海水交流手法として有効である。

4.2 潮通しを塞いだ場合の海水交流量および交換量

-3m泊地の海水交流は潮汐よりも長周期波に負う量が大きい。したがって、この量を次式により算定する。

$$\text{振幅比 } \lambda = (x^4 + 1)^{-1/4}$$

$$\text{ただし } x = \frac{2\pi}{\sqrt{2g}} \cdot \frac{F}{CA} \cdot \frac{\sqrt{H}}{T}$$

ここに

$$\text{水域面積 } F = 28,000\text{m}^2$$

$$\text{泊地入口部断面積と係数 (0.8) } CA = 120\text{m}^2$$

$$\text{長周期波振幅 } H = 0.02\text{m}$$

$$\text{長周期波周期 } T = 1,000\text{sec}$$

を代入すると、振幅比は1となる。1日86回を流入出により $28,000\text{m}^2 \times 0.04\text{m} \times 86 = 95,200\text{m}^3$ すなわち1日1回の交流量となるが、これによる外海水の交換量は、港口部での交換率を0.2と仮定すると、-3m泊地の泊地入口でもさらに狭くされているため、大約外海との交換率は0.04と見積り、24日に1回の交換量に低下する。しかし、現在は河川と通じる水門があるため、下層に港口→水門への恒流が発生しており、その流量は $0.03\text{m}^3/\text{sec} \times 60\text{m} \times 30\text{m} = 54\text{m}^3/\text{sec}$ 程度となり、-3m泊地入口部では0.5程度の交換率となっているものと思われる。

4.3 外海との潮通しを設けた場合の海水交流

4.3.1 港内外の水位差

港内外の交流は港内外の水位差により発生する。いま港内外の水位差は長周期波の位相差 Δt のみに起因するものと仮定すると水位差 $\Delta \eta$ は次のように計算できる。

$$\begin{aligned} \Delta t &= l_1/C_1 - l_2/C_2 \\ &= 700/\sqrt{9.8 \times 3.5} - 250/\sqrt{9.8 \times 4.0} = 80\text{sec} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta \eta &= \eta_1 - \eta_2 = \frac{H}{2} \sin \frac{2\pi}{T} (t + \Delta t) \\ &\quad - \frac{H}{2} \sin \frac{2\pi}{T} t \\ &= H \sin \left(\pi \frac{\Delta t}{T} \right) \cos \frac{2\pi}{T} \left(t + \frac{\Delta t}{2} \right) \\ &= 0.01 \cos \frac{2\pi}{T} \left(t + \frac{\Delta t}{2} \right) \end{aligned}$$

ここに、

T : 長周期波周期1,000sec, H : 長周期波の波高0.04m, l_1, l_2 : 港内, 港外の長周期波の径路長, C_1, C_2 : 港内, 港外の波速, η_1, η_2 : 港内外の水位を示す。

この Δt の値は実験によっても実証された。

4.3.2 新潮通し部の流速および交流量

一般に一樣断面水路中の不定流の運動方程式は次式で表わされる。

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} = -\frac{gv^2}{C^2R}$$

ここに C は粗度係数, R は径深を表わす。

この潮通し部の条件では $v < \sqrt{2g \Delta \eta}$ となり, $v \frac{\partial v}{\partial x}$ および $gv^2/(C^2R)$ は $g \frac{\partial \eta}{\partial x}$ に比べて非常に小さく, 無視できる。また, $\frac{\partial \eta}{\partial x}$ は, 波長に比べ水路長が短かいので, 一樣勾配 i と置くと流速の式は以下のように表わせる。

$$\begin{aligned} v &= - \int gi dt \\ &= -i_0 \cdot g \left\{ \cos \frac{2\pi}{T} t dt \right\} \\ &= -i_0 \cdot g \cdot \frac{T}{2\pi} \sin \frac{2\pi}{T} t + C \end{aligned}$$

ここに, i_0 : 最大動水勾配, 管路長を100mとすると, $i_0 = 0.01/100 = 1/10000$, $C = 0$, g : 重力の加速度 $9.8\text{m}/\text{sec}^2$

$$\begin{aligned} v &= \frac{1}{10000} \times 9.8 \times \frac{1000}{2 \times 3.14} \sin \left(\frac{2\pi}{T} t \right) \\ &= 0.156 \sin \left(\frac{2\pi}{T} t \right) (\text{m}/\text{sec}) \end{aligned}$$

この流速の式がほぼ成立することは実験により確かだが, この流速式は損失水頭を考慮していないため実際にはこれよりやや小さくなる。通水断面積 1m^2 あたり平均流入出量 \bar{Q} は, 最大流速 v_{max} とすると, 次式のように計算できる。

$$\bar{Q} = 0.32 v_{max} \text{ m}^3/\text{sec}$$

したがって, 1日あたり交流量 Q_{DAY} は

$$\begin{aligned} Q_{DAY} &= \bar{Q} \times 3600 \times 24 \\ &= 0.32 \times 0.156 \times 3600 \times 24 \\ &= 4313 (\text{m}^3) \cdots \cdots 1\text{m}^2 \text{ の管路の場合} \end{aligned}$$

泊地の容積 $28,000\text{m}^2 \times 3.2\text{m} = 89,600\text{m}^3$ の約5%である。交換量は交換率を20%と仮定すると, 1m^2 あたり約 $860\text{m}^3/\text{日}$ となる。

4.3.3 流入汚濁負荷量

河川と泊地とを切離した場合の泊地の汚濁負荷量は推定するしかない。-3m泊地について

(1) 岸壁における荷捌きに伴う汚水量

① 荷捌所の床の洗浄水

$$\text{床面積} \times 0.02 (\text{t}/\text{日} \cdot \text{m}^2) = 3,000 \times 0.02 = 60 (\text{t})$$

② 漁獲物の洗浄

$$\text{漁獲量 (1日当)} \times 0.5 = 33 \times 0.5 = 16.5 (\text{t})$$

③ 漁船からの汚水 (将来)

$$\begin{aligned} \text{漁船トン数} \times \text{利用率} \times 0.2 &= 941 \times \frac{497\text{m}}{1,285\text{m}} \times 0.2 \\ &= 73(\text{t}) \end{aligned}$$

④ 合計

$$\text{①} + \text{②} + \text{③} = 60\text{t} + 17\text{t} + 73\text{t} = 150\text{t}$$

(2) 加工場よりの汚水

直接流入なし

(3) 家庭排水の汚水

直接流入なし

(4) 流入汚濁負荷量

— 3 m泊地へ流入する汚水の汚濁負荷量を COD で代表すると、平均濃度 200ppm として

$$150\text{t} \times 0.0002 = 0.03\text{t}$$

となる。

4.4 泊地内の汚濁濃度の推定

4.4.1 基本式

一日で E の海水交換量があり、港内へ Q トンの汚濁負荷流入がある場合、泊地の汚濁濃度 S_1 は、

$$S_1 = S_0 + \frac{Q}{E}$$

で表わされる。ただし、 S_0 は交換水の汚濁物濃度。

4.4.2 現有の潮通しを締切った場合

泊地入口部の年平均 COD 濃度 5ppm、交換量 19,000 t/日、流入負荷量 0.03 t/日とすると

$$S_1 = 5 \times 10^{-6} + 0.03/19,000 = 6.6 \times 10^{-6} \approx 7\text{ppm}$$

4.4.3 外海水を導入した場合の汚濁濃度

9m³/分の外海水を導入すると仮定すると、この場合 COD は 4.1ppm 程度に改善される。

$$\begin{aligned} S_1 &= 2 \times 10^{-6} + (0.03 + 0.005)/(3,800 + 12,900) \\ &= 4.1 \times 10^{-6} \end{aligned}$$

この給水に必要なポンプの口径は 300mm、管路のみで自然エネルギーに頼る場合は 15m² の管路となる。

5. 結 言

前節で述べたように氷見漁港の場合は、利用できる自然エネルギーが小さいため、これに頼る場合、比較的大きい交流水路を設ける必要があり、動力を用いる場合との比較、すなわち建設費、維持管理費等を含めた比較が必要である。また、4.3 の計算には仮定や概算的な数値が含まれている。設計を行なう場合はこれらの数値の詰めが必要である。特に、海水交換必要量を決める場合の港内の濃度は汚濁負荷量により左右されるので、港内発生汚濁負荷量を決定するための調査が必要と思われる。