

浜田漁港内の海水流動について

山本正昭*・上北征男*・伊藤勝一*・影山智将**

1. 緒 言

漁港の外郭施設が近年急速に充実してきており、泊地は静穏となる反面、港内の水替りが悪化するという問題が発生している。漁港内の海水は水揚げされた魚や市場のフロアを洗滌するため、また活魚や生餌を蓄養するために利用されている。従って美観上からだけでなく、衛生上、蓄養上からも清浄で新鮮な海水が要求される。特に、潮位差が小さく、夏季はほとんど波が無い日本海側において問題が大きい。これを改善するための第一歩として漁港泊地の海水交換機構を調査した島根県浜田漁港の現地調査結果について述べる。この調査は島根県漁港課の依頼により行なったもので、水質分析については同県水産試験場の協力を得た。

浜田漁港は、島根県西部の石見地区に位置し、県内最大の陸揚量を誇る特定第3種漁港である。本漁港の漁業はあぐり網、沖合底びき、沖合イカ釣などの沖合漁業が主体であるが、沿岸漁業も盛んで陸揚げされる魚種も多岐にわたっている。一方、陸上ではこれらを利用した水産加工が盛んで特にカン詰類が多い。

漁港施設の整備は宮々続けられており、現在、その原井地区の突堤式埠頭の建設が進められている。その際、現在有る透過堤部を潰すことになるので元浜地区の港内水の滞留が心配されるため、海水流動調査を行ない、代替施設の必要性を検討した。55年9月、突堤の基部に潮通し水路が完成したが、その機能と効果についても事後調査を実施した。なお、この調査は島根県の依頼により県と共同で行なったものである。

2. 調査内容与方法

(1) 調査の概要

浜田漁港についての調査としては、流れに関しては、
 ・S53年10月27～28日：CM-2 による潮流 25 時間測定、-2 m
 ・S54年1月9日：染料による潮流観測 2 回が島根県水産試験場により¹⁾行なわれている。また、水

質については、県漁港課および港湾課によってS46, 51, 52年に調査されている。

本調査は港内海水の流動状況とその原因を握むため、流れ、水質、潮位、波浪等の調査を行なった。その時期は港内の汚濁が目立つ夏から秋にかけて2回と潮通し水路完成後の計3回行なった。

(2) 本 調 査

本調査の時期、調査内容および方法は表-1の通り。調査地点は図-1に示す。また、風資料は浜田測候所より、外海の波浪は浜田港観測所および小伊津漁港波浪観

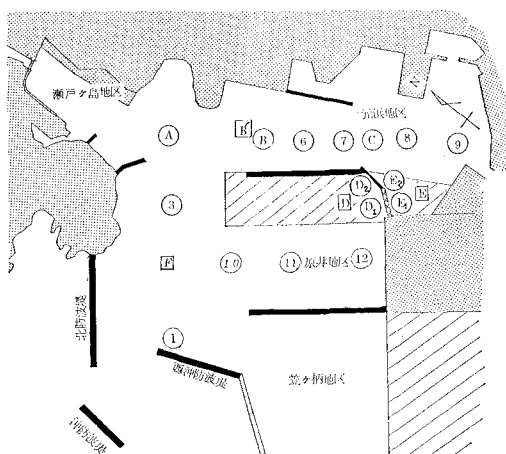


図-1 調査測点位置図

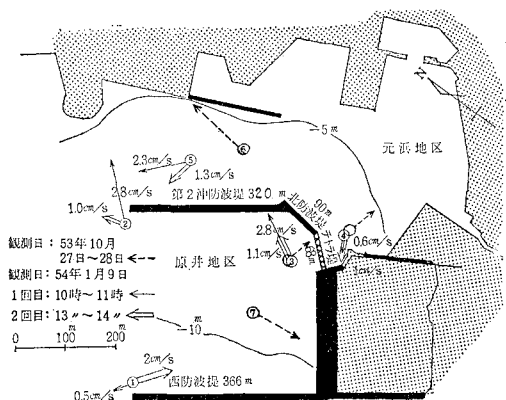


図-2 予備潮流調査結果

* 正会員 水産庁水産工学研究所水産土木工学部

** 正会員 水産庁漁港部計画課

測所より、潮位は外ノ浦検潮所より得た。

3. 調査結果

(1) 流 れ

図-2 は S53 年 10 月および 54 年 1 月に行なわれたもので、両調査とも元浜地区では港口へ向かう流れ（上層）が存在している。透過堤付近では一定でなく、染料の拡散により詳しく調べると 図-3 の様に両側へ拡がっており、堤を通過して流入流出が繰返されていることが窺える。さらに元浜地区より原井地区への拡がりが多いことからこの時は流出が優勢を示していることがわかる。

第 1 回調査による定点連続観測からは次の事が判る。

① ST. F では流速は 5~10 cm/s を示した。また、上下層の流れが反転している期間が観測期間の大半を占めている。

② ST. B' では、N-S 方向が主流を示し、時刻により反転して流れている。その流速は 0~5 cm/s と ST. F より小さい。また、上下層の流れは負の相関を持つ。

流れの長期的な傾向を Progressive Diagram により検討した結果、次の事がわかった。

③ ST. F の -1 m では、半日周期の往復流が存在するが恒流成分として NE 方向への流れが残り、2.2 cm/s の流速を示す。

一方、ST. F -9 m では、半日周期の往復流が卓越し、恒流は小さい。

④ ST. B' -1 m では、NW（港口）方向へ 1.7 cm/s

の恒流が存在し、同 -3.5 m では上層と逆の S 方向へ 1.2 cm/s の恒流が判別された。

第 2 回調査では元浜地区に焦点を絞り、ST. A, B, C で観測を行ない、第 1 回調査と同様なことが確認された。すなわち、

⑤ 流れには盛衰と流向の変動があり、港軸方向の流速成分を抽出すると、図-4 に示すように、ST. A の上層で -4~+6 cm/s、-5 m 層で -6~+4 cm/s、ST. B の上層で -5~+9 cm/s、下層（-4 m）で -8~+3 cm/s、ST. C の上層で -4~+7 cm/s を示している。特に ST. B では上下層の流速の強弱は負の相関が強い。

⑥ 各点とも上層では NW（流出：+）方向の流れが卓越し、下層では逆となる。その平均流速は ST. A の上層で +0.9 cm/s、下層で -0.4 cm/s、ST. B の上層で

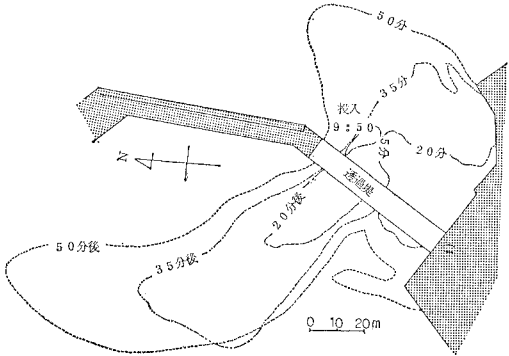


図-3 透過堤部拡散図

表-1 観測の内容および方法

		第 1 回 調 査 S54 年 6 月 23 日~7 月 12 日		第 2 回 調 査 S54 年 8 月 20 日~8 月 24 日		第 3 回 調 査 S55 年 10 月 6 日~10 月 8 日	
流 れ	連 続 測 定	場 所	ST. F, B' の 上 下 2 層	ST. A, B, C 上 下 2 層		ST. A, B の 上 下 層	
		時 間	23 日 11 時~24 日 18 時	21 日 15 時~24 日 13 時		6 日 12 時~8 日 9 時	
		方 法	小野式流速計 4 台	同左 6 台		同左 4 台	
	鉛 直 測 定	場 所	瀬戸ヶ島水道入口	ST. 1, 2, 3, 9, 10, 11, 深さ 1 m 毎		ST. 3, A, B, C, 9 の 深 さ 1 m 毎	
		時 間	3 日 16 時, 5 日 10~11 時	23 日 午前 1 回, 午後 1 回		7 日 7~17 時 11 回	
		方 法	電気流速計 (CM-2)	CM-2 と DCM		微流速計 (CM-2S)	
潮 通 部	潮 通 部	場 所	透過堤前後の表層	ST. E ₁ , E ₂ の 上 下 層		水路元浜口 -2 m	
		時 間	3 日 9 時ごろ 15 分間	23 日 14~15 時		6 日 17 時~8 日 6 時	
		方 法	目 視	DCM		デジタル記録式流速計	
水 位	長 周 期 波	場 所	ST. D, E	ST. D, E		ST. E	
		時 間	2~12 日	20~24 日		7 日 7:14~14:42	
		方 法	直記型水圧式波高計 (DW)	水圧式潮位計		水圧式水位計 (水槽用)	
水 質	塩 分・水 温	場 所	ST. F, B'	ST. A, B, C, 9 の 深 さ 1 m 毎		ST. 3, A, B, C, 9 の 深 さ 1 m 毎	
		時 間	24 日 7 時~19 時 25 回	23 日 7~19 時 13 回		7 日 7~17 時 11 回	
		方 法	電気伝導式塩分計 (ECT-5)	同左 (ECT-5EIL) 2 台		同左 (ECT-5)	
	DO・COD	場 所		ST. F, A, 9, 12 の 表 層・底 層		ST. F, A, 9, 12 の 表 層・底 層	
		時 間		24 日 午前		8 日 午前 1 回, 午後 1 回	
		方 法		採水器		バンドン型採水器	

+2.0 cm/s, 下層で -2.3 cm/s, ST. C の上層で +2.0 cm/s, 下層は欠測となっている。これらのことから, 上下層の流れは潮汐等により喚起された内部波と密度流とが重なった流れと解釈した。

流向流速の鉛直分布測定では鉛直方向に流向流速の変化が大きく, 流れの性状を判別することができなかった。午前中の流速の大きさは, ST. 1~3 では 5~15 cm/s, ST. 9~12 では 5~10 cm/s, その他の点ではこれより小さかった。また, 午後の測定でも流向はみだれており, 流速は午前より約3割程度小さかった。流向がみだれた原因としては, 港口に近い部分では波や航跡波, 長周期波の影響など考えられるが, 最大の理由は計測器の測定限界付近で用いたためのバラツキと考えた。

透過堤付近の流れについては, 7月3日の9時30分前後の目視観測によるとピーク流速 20 cm/s, 周期 12 分の交番流があり, 流出 (NW) 方向がやや卓越していた。第2回調査の8月23日の観測では, 前回より流速は弱く, ST. E₁, E₂ の -2 m 層で流入速度は最盛時 10 cm/s, 平均約 6 cm/s であった。一方, 透過堤へ向う流れは微弱であった。また, -4 m 層の元浜側では透過堤に沿う流れが優勢を示した。

瀬戸ヶ島水道の港口部は幅 11 m, 深さ -1.7 m 程度に狭くされており, 急潮流が観測された。すなわち, 7月3日上潮時の測定では 16 分と 5.5 分周期が重なった交番流が現われ, ピーク流速は, 流入時 80 cm/s, 流出時 70 cm/s を示した。7月5日の下潮時の測定では 16~19 分周期でピーク流速 50 cm/s の交番流が生じ, 流出方向が優勢を示していた。

第3回調査では微流速計を持込み小さい流速まで測定できた。その結果, ST. 3 では上層と下層とではっきり分かれ, 上層はE方向・下層はS方向が卓越しており, 平均流速は 7 cm/s 位である。ST. A でも流れは2~3層

に分かれ, 下層にも流れが存在し, 平均流速は 7 cm/s 位である。ST. B および C でも同様に時間毎の変化が大きく, 平均流速は 5 cm/s 位である。ST. 9 では平均流速 5 cm/s 位であるが 10~13 時にかけて 10 cm/s を越す流れが発生している。連続流速測定の結果, ST. A -1 m では 3~8 cm/s の方向が変る流れが観測され, その下層は測得不可である。ST. B -1 m も ST. A の上層と同様であり, -4 m ではE方向への弱い流れがある。このデータから恒流成分を求めると, ST. A の上層は NWN 方向へ 1.9 cm/s, ST. B の上層は NWN 方向へ 1.2 cm/s, 同下層はE方向へ 0.8 cm/s で流れており, 上下層が逆に近い方向へ流れていることがわかる。

(2) 水位変動

この付近の潮位については浜田漁港外ノ浦地区で継続観測が行なわれている。ここでの大潮差は 24 cm, 小潮差は 8 cm となっているが日潮不等が大きい。

外海の波浪は浜田港沖および小伊津漁港で定時観測されている。観測期間中の波高は第1回調査では7月11日を除き 100 cm 以下であった。また, 第2回調査ではほとんど 50 cm 以下であった。したがって, 港内の波高は小さすぎて読取不能であった。

長周期水位変動(以下, 長周期波と呼ぶ)について調査した結果, 第1回調査では20分記録中1波程度しか判別できなかったが, 周期は 10~20 分, 波高は 3~15 cm, 平均約 5 cm, 波浪の大きさとの相関は小さいことがわかった。第2回調査では潮位記録に長周期波が現われており, これを解析し, ST. D で $H_{1/3}=6.2$ cm, $T_{1/3}=17.0$ min, ST. E では $H_{1/3}=4.6$ cm, $T_{1/3}=17.4$ min と計算された。またスペクトル解析により, 元浜地区泊地の卓越周期としては 17.9 分の他に 13.4 分と 23.5 分, 原井地区では 17.4 分の最大ピークと 14.3 分のピークが現われた。透過堤内外の波形はほぼ似かよっており, 透過堤内外の水位差は約 2 cm 程度と読取れた。両波形の位相差は測定器の精度から言及できない。

第3回調査結果を図-5に示す。この時の周期は約 15 分, $H_{1/3}=7.5$ cm, スペクトルのピーク値は 16.7 分を示した。

(3) 水温, 塩素濃度および水質

第2回調査結果について述べると, 水温は朝には各測点とも上層から下層まで 27.5°C 付近であるが, 上層は昼温められ, 午後3時すぎには約 1°C 上昇する。下層は変らない。塩素量については, 時間的に変動があり, ST. A では 33.0~33.5‰, ST. 9 では 32.0~33.4‰ の範囲にあり, その変動幅は一般に 0.5‰ 以下である。水深方向の塩素濃度分布は, 上下ほぼ一様な

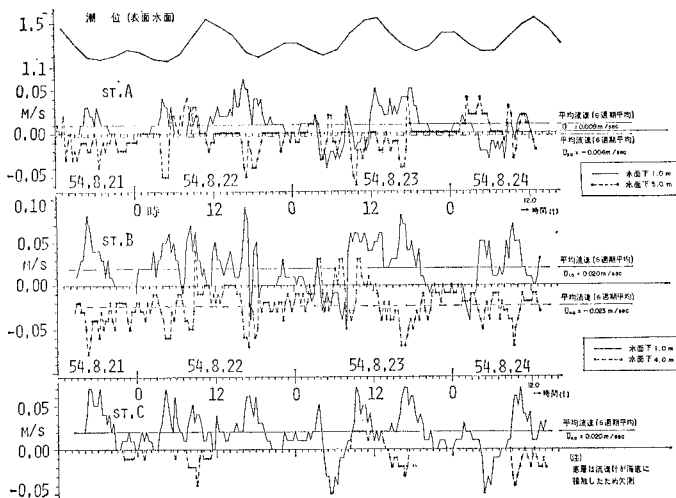


図-4 表層・底層流れの時間変化(湾軸成分)

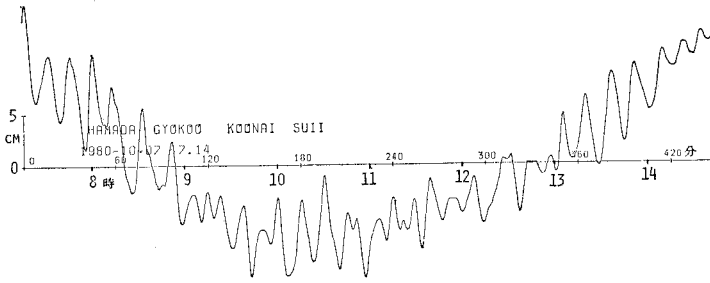


図-5 水位の時間変化 (第3回調査堤内)

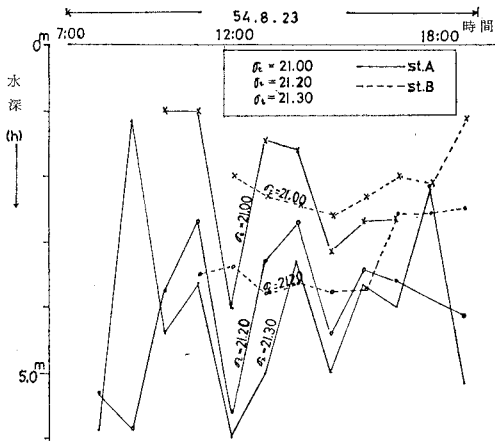


図-6 海水密度の時間変化 (第2回調査)

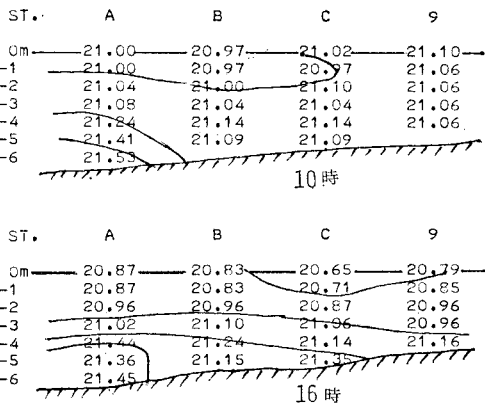


図-7 縦断密度分布図 (S54.8.23)

場合と上下2層に分かれている場合とが見られ、後者は午後に濃度差が大きくなる。たとえば、ST. B では上下層の差は塩素濃度で 0.35‰、密度差を計算すると 0.0006 gr/cm^3 位となる。また、等密度線の時間変動から周期 3.5 hr と 12 hr の波動が認められ、その波高は 5 m にも達する。

第3回調査時は時化後であり、陸水の影響が強かったため、ST. B では表層と底層間で約 1‰ の塩素濃度の差が現われたものの跳層は明らかでない。また、青川に近い ST. 9 では出水の影響を最も強く受け、表層 1 m

以上に下層より 1~3.5‰ 程度塩素濃度の小さい水脈が存在する。しかし、ST. C では上下層差が 1‰ 以下になっていることから、ST. 9 から ST. C に到る間に充分混合されていることがうかがえる。

DO については、第2回調査平均 6 ppm、第3回調査平均 8 ppm と2回とも全般に海域環境基準を満している。

COD については、表-2 に示す通り、第2回調査では ST. 9 の底層を除き2以下である。第3回調査では全測点とも値が高くなっている。

(4) 潮通し水路の流速

水路完成後の S55 年 10 月 6~8 日までの平均流量は、流入 6.6 m^3/s 、流出 6.0 m^3/s と積算され、ほとんど恒流は存在しない。しかし、水位を計測した 10 月 7 日 15 分から 14 時 45 分までの流れの状況は以下の通りである。

	流出	流入	恒流
時間	180 分	270 分	450 分
平均流速	0.10 m/s	0.10 m/s	0.02 m/s

したがって、短期間では流入方向の恒流が卓越していた。水路の平均通水断面積は 47.3 m^2 である。

4. 考 察

(1) 元浜地区の海水交流量

以上の調査結果より海水交流の発生要因としては、潮汐、長周期波、密度流、内部波などが考えられる。交流口としては、瀬戸ヶ島水道を含めた元浜地区港口部及び潮通し部が挙げられる。潮汐による交流量は 1 潮当り潮位差 (平均 0.2 m) と元浜地区面積 (190 000 m^2) の積により求められ約 38 000 m^3 と推定される。ちなみに、この平均流速は 0.1 cm/s となる。

長周期波による透過堤部の交流量を算定すると、透過堤長さ 68 m、平均水面下縦断面積 $A=320 \text{ m}^2$ 、空隙率 $p=0.5$ と見積り、もぐりセキの公式を適用すると

$$u = pc\sqrt{2g\Delta\eta} = pc\sqrt{2g\alpha H_D} = c'\sqrt{gH}$$

c は流量係数。堤両側の水位差 $\Delta\eta$ が測定できなかったため長周期波高 H_D の α 倍とした。その結果 $c' = pc\sqrt{2\alpha} \approx 0.19$ と観測された。観測平均波高 $\bar{H}_D = 0.05 \text{ m}$ を代入すると、ピーク流速 u_p は、 $u_p = 0.19 \times \sqrt{9.8 \times 0.05} = 0.133 \text{ (m/s)}$ 。平均流速は u_p の 74% となるので、半日当り流入量 Q_D は、

$$\begin{aligned} Q_D &= t/2 \times u_p \times 0.74 \times A \\ &= 12 \times 3600 / 2 \times 0.133 \times 0.74 \times 320 \\ &\approx 680000 \text{ (m}^3\text{)} \end{aligned}$$

瀬戸ヶ島水道よりの交流量は半日当り約 140 000 m³ と推定されるが、これは港口部に寄与するものであり、元浜地区には直接影響しないものとして取扱う。

航路の上層と下層で流れ方向が反対となる恒流分は密度差による成層流と考えられ、その平均流速は $\bar{u}_{up}=2.0$ cm/s, $\bar{u}_{low}=2.3$ cm/s であった。深さ -3.5 m を境にして上下層に分けると上層通水断面積は $A_{up}=623$ m²、下層は $A_{low}=519$ m² となる。したがって、半日当り流量は、

$$Q_{in} = u_{low} \times A_{low} \times t = 0.023 \times 519 \times 43\ 200 \\ \approx 520\ 000 \text{ m}^3/\text{半日}$$

$$Q_{out} = u_{up} \times A_{up} \times t = 0.020 \times 623 \times 43\ 200 \\ \approx 540\ 000 \text{ m}^3/\text{半日}$$

$Q_{in} \approx Q_{out}$ となり、透過堤からの恒流は微小であろう。

(2) 海水交換量

交番流による水の実質交換率に関してはいろいろ議論があるが、周期、流速、湾や泊地の広さ・形状等により交換率は変り 1~3 割程度とみるのが妥当であろう。透過堤部における染料の拡散面積より求めた値も 1 点を除いてほぼ 20% となった。ただし、流速の測定値が無かったため、ピーク流速を 0.15 m/s と仮定した。したがって交換量は $680\ 000 \times 0.2 = 136\ 000$ m³ と算定される。

港口部については下層から流入し、上層から流出する一方向流であることを考慮し交換率 1.0 とすると、半日当り交換量は $530\ 000$ m³ と算出される。したがって半日当り交換量は合計 67 万 m³ となり元浜地区泊地水量

の約 7 割となり、その 80% が密度流に依存している。

(3) 潮通し水路の水理

潮通し部の流速 v は、 $v < \sqrt{2g\Delta\eta}$ の場合、その動水勾配 i により決定されると仮定すれば、次の様に計算できる。ただし、水位差 $\Delta\eta$ は長周期波高 H の $\alpha/2$ 倍の振幅、周期 T 秒で振動する。

$$i = \Delta\eta/l = \frac{\alpha H}{2l} \cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right) \\ v = \int i g dt = \frac{g\alpha H}{2l} \int \cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right) dt \\ = \frac{g\alpha H}{2l} \frac{T}{2\pi} \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right) + c$$

調査結果に基づき、 $H=0.05$ m, $l=95$ m, $\alpha=0.4$, $c=0$, $T=1\ 000$ 秒とすると

$$v = 0.16 \sin\left(\frac{2\pi}{1\ 000}t\right)$$

となる。平均流速 $\bar{v}$ 、半日当り流入量 Q_D' は

$$\bar{v} = 0.16 \times \frac{2}{\pi} \approx 0.10 \text{ (m/s)}$$

$$Q_D' = \bar{v} \times A \times t/2 = 0.10 \times 47.3 \times 3\ 600 \times 12/2 \\ \approx 102\ 000 \text{ m}^3$$

元浜地区の海水交換量は、上下層の通水断面積を等分した場合、下層よりの流入量は $197\ 000$ m³/半日、上層よりの流出は $296\ 000$ m³/半日となり、アンバランスとなるが、潮通し水路よりの流入量 ($26\ 000$ m³) と交番流による交換量 ($20\ 000$ m³) および青川からの流入を算入すると 29 万 m³ 程度と考えられる。したがって、交換量は第 2 回調査時の約 43% となっている。

5. 結 言

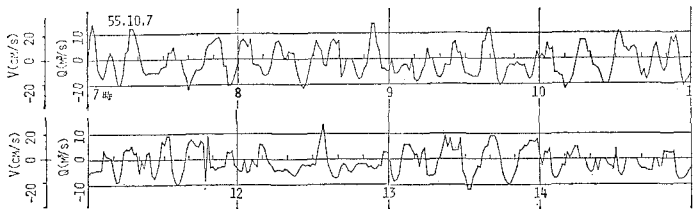
浜田漁港泊地内の海水流動現地調査の結果を要約すると ① 泊地内の海水交換機構としては下層より港内に侵入し、上層より流出する密度流が主体を占める。また ② 約 17 分周期の長周期波も海水交流に寄与している。③ 長周期波に対する潮通し水路の流速を計算する場合、その動水勾配と周期が判明すれば良い。したがって、同様な調査を行なう場合は平面的な流れの分布のみでなく鉛直分布も調査する必要がある。潮通し工を計画する場合はその内外の長周期波による水位差を計測する必要がある。

参 考 文 献

- 1) 島根県水産試験場：浜田漁港内流動調査(染料拡散追跡調査)，1979。
- 2) 山本正昭・上北征男・影山智将：浜田漁港内の海水交流について，水産工学研究所技報——水産土木 2, 1981。

表—2 水質分析結果(第2回及び第3回調査)

(COD ppm)			
ST.	水 深	第1回 54.8.24	第2回 55.10.7
F	-1 m	1.00	1.80
	-8	0.93	2.15
A	-1	1.04	2.10
	-5	0.99	2.00
9	-1	0.98	1.85
	-3	2.58	2.00
12	-1	1.20	1.80
	-8	1.02	1.80



図—8 潮通し水路の流速・流量変化(第3回調査)