

浅海養殖施設に関する研究

女木島養魚場の海水交流について

田中啓陽, 井上裕雄, 福田 清, 前川忠夫

(1) ま え が き

沿岸各地の増養殖施設による魚類生産は年々増加の傾向をたどり、中でもハマチ養殖はここ数年来著しい生産増加をみせている。しかし殆どどの養魚施設は台風・季節風防災の見地より、また一部には施工法の問題から、内湾・入江などを利用して築造されているため養魚環境条件として早急に解決されるべき多くの問題点を露呈している。養魚場の環境条件の良否を決定する主要点は水中溶存酸素収支と熱収支であり、これら収支において支配的役割を演ずるのが海水交流である。したがってハマチ養魚場における水産土木学的ならびに環境学的問題を解明する第一歩として、立地条件・規模・構造の異なるいくつかの養魚場について海水交流の機構を詳しく研究する必要がある。

(2) 施設の概況

調査対象養魚場は、Fig. 1 に示めすごとく、高松市北方約4kmの沖合にある女木島の南海岸中央部に位置する。

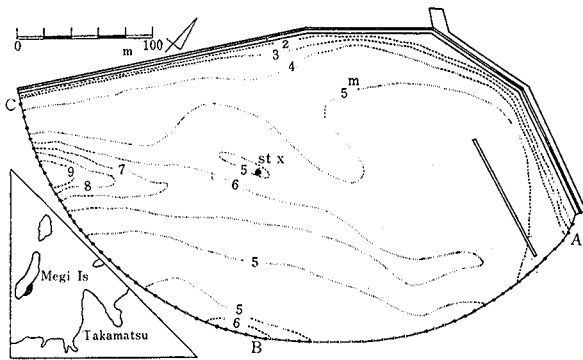


Fig. 1 Bathymetric map of the fish farm investigated

パイルには高さ間隔2m毎に丸鋼バンドを使用して鉄丸棒(28mm)を固定し、これによって各パイル間を連結している。この鉄丸棒に仕切り金網を懸垂固定する。また、パイルの頂部に長さ140cmのL型鉄板(75×75×9mm)を養魚場の内側にむけて固定し、その先端に鋼索をはって化繊網を懸垂させている。これは稚魚期の逃亡防止及び防災のためである。網仕切り線の外側に67ケの大型コンクリートブロックをはずめ、これとパイルをそれぞれ鉄丸棒(28mm)で直結してパイルを支えている。鉄丸棒とパイルとの接続には丸鋼バンドを用いている。

高潮時の水面積は約7×10⁴m²で、中央に西より南東に向う深いみお筋があり、潮流流通のよい海岸線を利用した張り出し網仕切りの典型的養魚場である。

女木島南岸から養魚場の前縁(距離200m)までは、水深約10m以内であるが、距岸450m附近に水深16mの第1の深所がある。

女木島南部海岸に沿って築かれた長さ約300mの堤防の西端から東側の魚港防波堤(長さ約110m)の突端にかけて、約520mにわたり鉄筋コンクリート・パイル(直径40cm)67本を孤状にはり出して打ち、これに金網を張ってかこっている。その施工法をFig. 2に表示した。

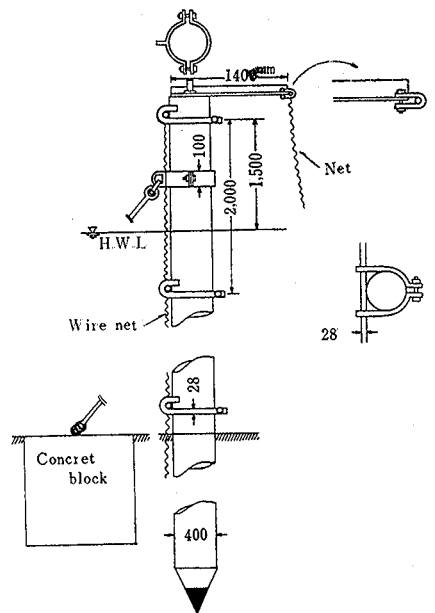


Fig. 2 Structure of the facility.

さらに距岸 750m 附近には顕著な砂洲（背部は水深 3~4m）があり、島岸にほぼ平行に横たわっている。そしてこれらの沖側が第 2 の深所となっている（水深 15~20m）。沖合い第 2 の深所では高・低潮時に転流するが、岸寄りではそれより早目に転流するような傾向があり、養魚場内にはこれらの潮流に強く影響を受けている局地流が流通していると考えられる¹⁾。

〔3〕 調査方法

1) 測量 海岸線に沿った堤防および漁港防波堤を平板測量し、次いで堤防上の 2 点から個々のパイルの位置を測角確定して平面図を作製した。深淺測量は約 30~50m 間隔で実施し、測深位置はその都度測角決定した。流入・流出量算定のために必要な網仕切線に沿った通水断面図は、各パイル位置毎に測深して作製した。深淺測量の結果はすべて昭和 39 年 11 月 21 日の高々潮時（13 時）の水位を zero-level として換算表示した。

2) 流動 養魚場内の代表的な点として中央部でかつみお筋の上に St. X を撰定し、この点に船を固定して流速・流向を潮汐変化との関係において調査した。このためにエクマン・メルツ弱流流速計を使用し 1 時間間隔で、表・中・下層の流向流速を測った。期間は 39 年 8 月 21・22 日にかけての 24 時間（大潮期）である。第 2 には養魚場全体としてどのような表層海水流動が行なわれているかを調べる必要がある。これは場内の海水混合状態を知る手掛かりとなる。このためポリエチレン製瓶に十字布を重錘にて下げた簡易漂流瓶⁴⁾を養魚場内に浮遊させ、潮流に乗って流動する有様を数分間隔でトランシットにて追跡した。観測は昭和 39 年 11 月 22 日の大潮期に行なった。

3) 海水流出・流入量 約 520m にわたる養魚場網仕切り線上を 10 区分し、各区分の中央点にて、1 時間間隔で、観測時の各点の水深の 20, 40, 80% の深さ（3 点法）で流速を測定し、これから毎時の各区分の平均流速を算出した。流向は深さによってほとんど変わらなかった为上層についてのみ観測した。各観測時における水位から区分毎の通水断面積を求め、これに通水面に対する直角流速成分を乗じて毎時の区分流出・流入量を計算した。用いた流速計は東邦電探 KK 製 CM-IB 型電気流速計 2 台である。なお観測時間は昭和 39 年 8 月 21 日から 22 日にかけての大潮期である。

〔4〕 結果および考察

1. 水面積・水容積

養魚場の規模・形状はそれ自体収容尾数に直接関係するのみならず場内における海水混合や残餌・排泄物の堆積とも深く関連する。くぼみのある養魚場では残餌排泄物の集中的堆積があって夏季水温が成層状態をなすとき、その部分が著しく無酸素状態になり 9 月頃成層消滅時に底部有害物質と共に飼育魚に害を及ぼすことはよく知られている。夏季干潮時に水容積が非常に小さいと極度の酸素欠乏をみる。したがってまず第 1 に潮汐変化に伴って水面積・水容積がどのように変わるかをしらべることから出発するのが妥当であろう。

女木島養魚場の深淺測量図は Fig. 1 のごとくで、これを基にして相対水位 (H) と水面積 (A)・水容積 (V) の関係を示したのが Fig. 3 である。（こゝで相対水位とは前記のように 39 年 11 月 21 日 13 時の高々潮時を zero-level としての水位表示である）

Fig. 1 でわかるように 海岸 堤防にほぼ平行にみお筋が走り、網仕切り線に沿ってやゝ浅くなっている。後述のごとくこのみお筋にそい場内を横切って早い流れがあり積極的に潮流を利用していることがうかがえる。これはくぼみとしての水の停滞をひきおこすものではない。

Fig. 3 に示すごとく高々潮位より水位が約 2.1m すなわち低々潮位まで下降しても水面積は 7.0 ×

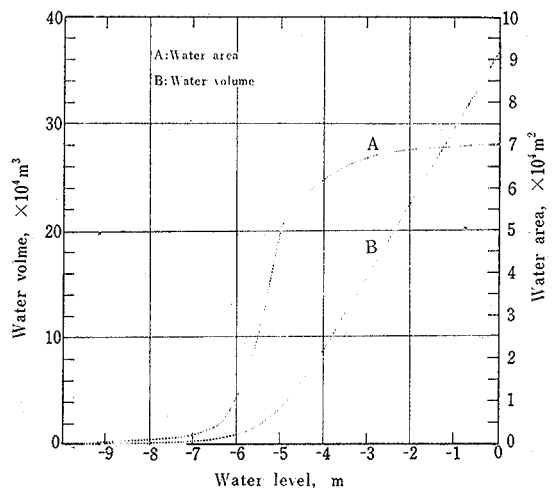


Fig. 3 Changes of water volume and area in the fish farm

104m²から6.9×104m²に減少するにすぎず、わずか1.5%の減である。しかるに相対水位が-5m以下に下降すると水面積は急激に減少する傾向がある。水容積についてみると、高々潮時には36.2×104m³、低々潮時には21.8×104m³と著しい減少(約40%)を示している。結局、潮間帯における水位の変動は、水面積に対しては小さく、水容積に対してはかなりの変化となってあらわれる。これは当養魚場の形状が潮間帯においては柱状、底の形状は皿状であり、養魚場としては良好な形状と考えられる。高潮時の平均水深は約5.2m、みお筋の最深部で約9.5m、低潮時平均水深は約3.1m、みお筋の最深部で約7.4mである。低潮時水容積は高潮時の約60%となるが後述の様に潮流を充分有効に利用しているので、海水交流がよく、水容積の減少はほとんど障害とはならないようである。

2. 海水流動状況

養魚場中央部St. Xに船を固定して大潮期における潮汐変化と流向・流速との相関状況を調査した結果はFig. 4である。なお本養魚場は潮流流通型であって上・中・下層の流向・流速は殆んど変わらないのでその平均値をもって表示した。

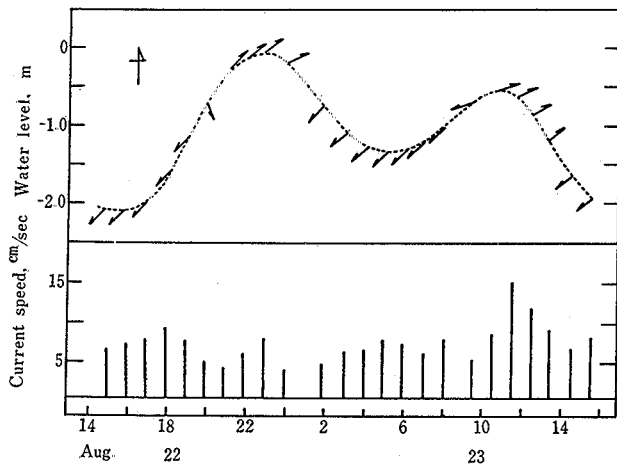


Fig. 4 Diurnal variation of current speed and direction at St. X

高々潮時前後の約4時間と低高潮時前後の約3時間だけは北東流であり、潮汐日週期のうち約17時間は南西流が卓越する。いずれの場合も流向変動範囲は約±10°とほとんど一定している。

流速と潮汐の変化をFig. 4からみると潮位上昇と共に流速が増加し、高潮前約2~3時間より減少し始め、潮流反転時前後には微弱流を示めた。以後増大して高潮時には流速10~15cm/secと極大を与える。高潮後2時間の潮流反転時(1時頃)には流速は殆んどなくなり急激に反転が行なわれる。低潮時流速は6~7cm/secとやや弱まっている。この図では流向反転時に流速の減少が明確に見られないが、これは測定時間の間隔が1時間であるのに流向反転がごく短時間の内に行

なわれたためである。

養魚場中央定点における測定結果から養魚場内の海水流動の概略はわかるが、ときには養魚場内に停滞水域を生ずる場合もあるので、フロートを用い a) 高潮前1~2.5時間、b) 高潮後0~1時間、c) 高潮後1~2時間、d) 高低潮の中間時の4回にわたって表層海水流動の模様を観測した。そのうち代表的な a) 及び b) についての結果をFig. 5-A, Bに示めた、すなわちFig. 5-AはX点における南西流から北東流への転流時を含み、Fig. 5-BはX点で北東流を典型的に示めず時である。Fig. 5-Aからわかるように、頭初、網仕切り線東側(A~B)より流入し西側(C~B)から流出しているが、後半11:30時頃より流向反転のきざしがみえ、流れが海岸堤防に向い流速は微弱となる。その後完全に流向の反転したものがFig. 5-Bである。すなわち網仕切り線C~Bより流入A~Bより流出し養魚場内は全体的に平均5~13cm/secで流動している。同様にX点において南西流のみられる時には、網仕切りA~Bより流入、平均5~13cm/secで養魚場内を通過してC~Bより流出する。

以上の結果から流向が反転する前後に流れが一時的に停滞するのを除けば、潮汐日週期内約17時間は網仕切り線A~Bから流入し、Bを中心として孤状に場内を流れ、網仕切り線C~Bから流出する。残りの約7時間は全く逆方向である。反転するごく短時間を除いては常に5~15cm/sec程度のかかなり速い流れが場内全体にみられ、混合状況の良好な典型的潮流流通型養魚場といえる。この様な特異な局所的な潮流流通の現象は女木島沖を流れている速い潮流と周辺の地形による影響の結果であって、養魚場造成上沿岸微海象を充分確かめておかないと誤った判断を下すことになるという1つの例と考えられる。

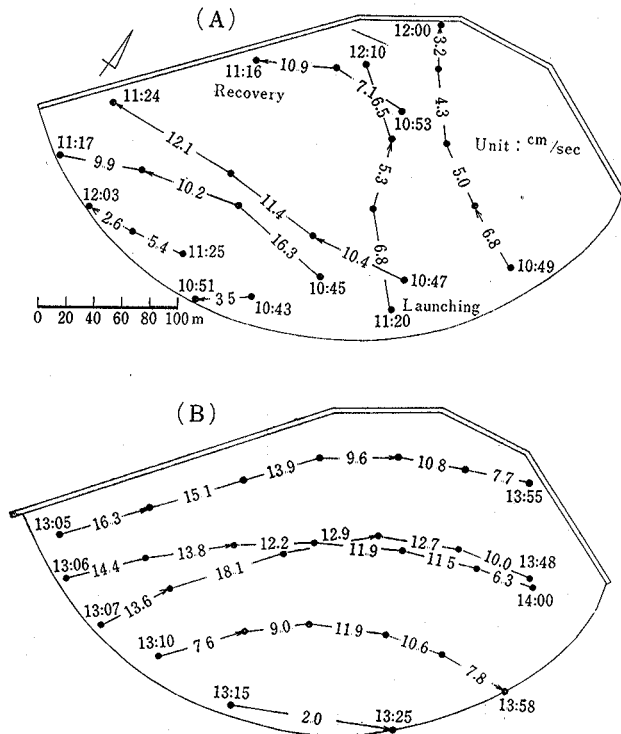


Fig. 5 Features of current in the fish farm : (A) 1.0~2.5 hrs. before the tide is at high level (B) at high level. High level; 13:30

3 海水交流

養魚場内における流動状況の概観を前述したが、さらに養魚場の収容尾数との関係を定量的に把握するには、(1) 流出入量 (2) 流出入量の潮汐変化との関連性 (3) 流出入量の場内水容積との比を分析しなければならない、海水交流量は養魚場における溶存酸素収支を支配し、この収支から適正収容量が第1義的に決定されるのであるから、重要かつ基本的事項である。

網仕切り線は全長520mでしかも弧状をなし、前節でみられたように一般的には網仕切り線上Bを分岐点として網仕切りの一方から流入し他方半分から流出するので、Bを境として網仕切り線を2分し、(1) 網仕切り線上A~Bの間、(2) 網仕切り線上 B~C の間を通しての単位時間当りの流入量 (+)、流出量 (-) を経時変化の形で図示したのが Fig. 6 である。

結局本養魚場の海水交流は次のように要約されよう。流出・入量は潮が上げはじめると急激に増加し極大に達する。このとき流出・入量はほぼ等しく約 $20 \sim 24 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{hr}$ で網仕切り線A~Bより流入しC~Bから流出している。しかし高潮前約3時間になると急激に減少し高潮前約2時間の頃場内流出・入の様子は全く逆転する。高潮後0.5~1.0時間に流出・入量は極大を示す。この時の流出・入量は前回よりやや低いが大體 $20 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{hr}$ である。高潮後約2時間経過すると再び急激して流出・入量は一時的に僅少となり、潮流の再度の反転が行なわれる。以後低潮時を経て高潮前2.5~3.5時間まで漸次流出・入量共に増加する。高潮前約2.5~3.5時間と高潮後約0.5~1.0時間に単位時間流入量、流出量は極大を示し、高潮前2時間および高潮後2時間の頃に流向がごく短時間に逆転するといった特徴がある。

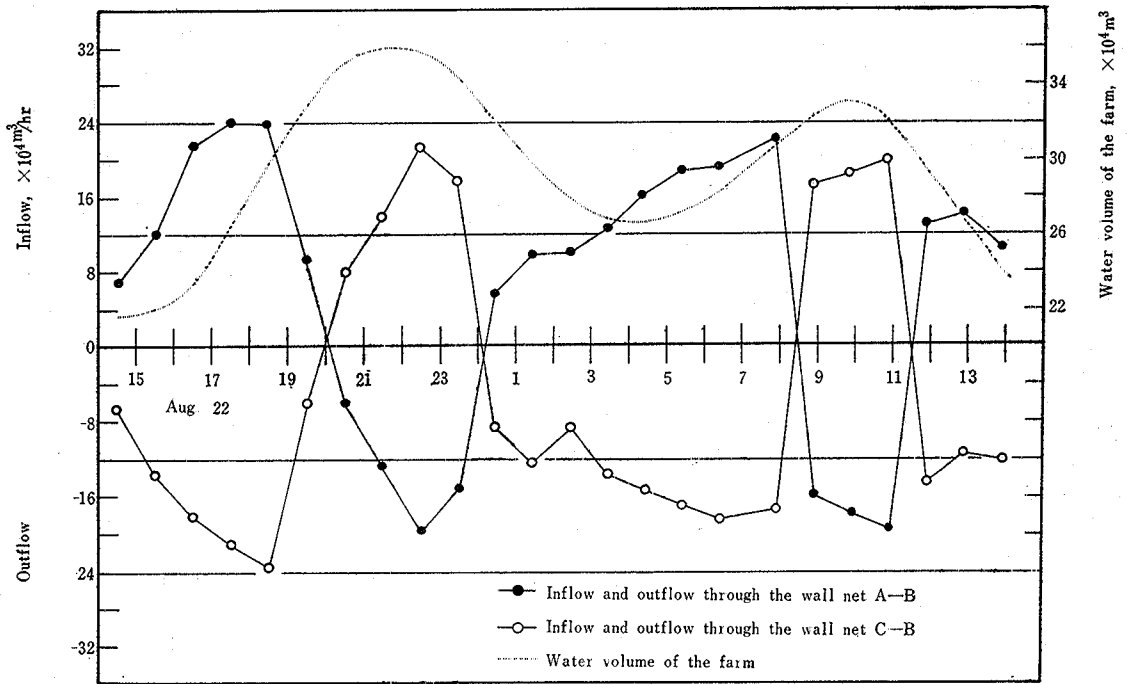


Fig. 6 Diurnal variation of water volume flowing into and out from the fish farm

Table 1 Hydraulic characteristics

Tide	Maximum water volume (m ³)	Maximum water area (m ²)	Volume of flowing-in water (m ³)	Volume of flowing-out water (m ³)	Rate of water exchange
M ₁	36.2×10 ⁴	7.0×10 ⁴	193×10 ⁴	191×10 ⁴	7.9
M ₂	33.0×10 ⁴	7.0×10 ⁴	169×10 ⁴	160×10 ⁴	6.8

Table 1 に海水交換量を一括表示した。M₁は高々潮を含む約12時間、M₂は低高潮を含む12時間として、それぞれの期間の全流出・入量を与える。便宜的に各潮における全流入量と全流出量の平均をその潮における海水交換量と呼ぶことにし、この海水交換量を前後の低潮時平均貯水量で割った値を海水交換率としよう。Table 1のごとくM₁潮で海水交換率7.9、M₂潮6.8と非常に大なる値を与えている。つまり大潮期には、潮汐半周期（約12時間）の間に約6～8回見かけ上海水が入り替ったことになる。

(5) ま と め

本養魚場は例年約25×10⁴尾程度放養しているが、海水交流の見地より収容尾数の一つの目安を井上²⁾の方法によって推定してみる。

低高潮をはさむ約12時間 (M₁, M₂, 潮の内M₂, 潮の交流量の方が小さいので安全側を見積る意味において) について検討するのがよからう。無次元海水交換率 W₀=6.8, 高一低潮容積比α=1.7であるから、井上の図²⁾ (文献2, 71頁第5図) から無次元みかけ放養静密度D_f=1.3 (最低溶存酸素量4.3mg/lとして) ~2.3 (最低溶存酸素量2.8mg/lとして) となる。無次元みかけ放養静密度は次のようにかける。

$$D_f = \frac{(kN + pV_0 + sA_b) T_0}{V_L R_8}$$

したがって $N = (V_L R_s D_f / T_o - p V_o - s A_b) / k$ の関係から収容可能総魚体重 N を求めることができる。低潮時容積 $V_L = 21.8 \times 10^4 m^3$, 平均容積 $V_o = 29.0 \times 10^4 m^3$, 放養魚の単位体重当り単位時間の酸素消費量 $k = 860 mg/kg \cdot hr$, 飽和溶存酸素量 $R_s = 6.6 mg/l$ (8月下旬を対象), 単位容積の海水の単位時間当り酸素消費量 $p = 0.02 \sim 0.03 mg/l \cdot hr$, $T_o = 12$ 時間, 単位時間当り池底の総酸素消費量 $s A_b$ は無視することにして計算すれば $N = 17 \times 10^4 kg$ (最低溶存酸素量 $4.3 mg/l$ として) $\sim 31 \times 10^4 kg$ (最低溶存酸素量 $2.8 mg/l$ として) を得る。本養魚場の成長結果³⁾ より8月下旬の魚体重を約 500g とすれば溶存酸素収支の観点から充分安全側に見積って 34×10^4 尾, ぎりぎりの限度として 62×10^4 尾という結果になる。しかし本算定に用いた海水交流量は大潮期における測定結果のため, 実際はこの収容尾数よりかなり下回ることは当然である。そこで他の養魚場における海水交流測定結果より推定して, 小潮期の海水交流率が大潮期の約45%とした場合について改めて N を算出すると $N = 8 \times 10^4$ ($D_f = 0.65$ に対応して) $\sim 16 \times 10^4$ ($D_f = 1.3$ に対応して) kg , したがって充分安全を考慮して約 $16 \times 10^4 kg$, ぎりぎりの上限 (この場合慢性的酸素不足によるかなりの成長抑制がある) として 32×10^4 尾の収容尾数となる。ところで, 実際, 収容可能量以上に飼養していると8月上旬から9月上旬にかけて慢性的な酸素不足などの環境条件の悪化をひきおこし成長が抑制されるので, 成長を詳細にしらべれば収容密度が適当か否かある程度の検討が可能である。本養魚場昭和37年度における成長曲線の解析の結果³⁾ によれば10月下旬に既に平均1尾1.10kg, 11月下旬1.15kgと正常な成長を示めし, また酸素量の慢性的不足が認められないから, この年の生産尾数 24×10^4 尾は過度収容ではなかったと判断され得る。したがって小潮期に外挿して推算した8月下旬の収容尾数の値は本養魚場の能力をほぼ満足に説明したものと見える。

Table 2 に女木島養魚場および香川県下の代表的養魚場^{4) 5)} における単位水面積(平均低潮水面積を基準)および単位水容積(平均低潮水容積を基準)当りの収容尾数を示めた。これからわかるように女木島・喜平島両養魚場の単位水面積当りの収容尾数が他の養魚場に比してかなり大きく表われている。これは両養魚場とも典型的な潮流々通型, 安戸池養魚場は干満差型, 櫃石島養魚場

Table 2 Number of fish cultured in fish farms

Fish farm	Megijima	Hitsuishi-jima	Adoike	Kiheijima
Number of fish cultured	24×10^4	10×10^4	15×10^4	8×10^4
Number of fish per m^2 ※	3.4	1.6	0.6	2.7
Number of fish per m^3 ※	1.1	1.1	0.13	1.1

※ At mean low level

はその中間型であって養魚場の海水交流の良否に非常に影響されている結果である。浅海養魚の場合, 収容密度を表示するこれら従来の簡単な方法は, それ自体では非常に曖昧であるからこの点配慮されなければ誤った結論に導くことがある。さらに厳密な生産尾数算定には小潮期における海水交流量の日変化および溶存酸素収支の見地より詳細に, そしてまた他の要因についても総合的に研究されることが望まれる。

〔6〕 謝 辞

本研究は香川県水産試験場からの委託によって行なわれたものである。試験場の許可を得てここに発表する。御力をたまわりました香川県高田経済労働部長, 矢部水産課長, ならびに直接御援助をいただきました水産試験場長伊藤卯七郎氏, 増殖部長篠岡久夫氏に対し心から御礼申し上げます。また調査に際し種々御世話になりました女木島養魚株式会社社長山本一夫氏に感謝いたします。

〔7〕 文 献

- (1) 松平康雄・小山治行: 文部省研究報告集録 農 1, (1965)
- (2) 井上裕雄: 水産増殖 臨時 4, 61—77 (1965)
- (3) 井上裕雄, 田中啓陽: 日水誌 32 (7) 384—392 (1966)
- (4) 井上裕雄, 田中啓陽, 齊藤 実: 日水誌 32 (5) 558—564 (1966)
- (5) 福田 清, 前川忠夫, 齊藤 実, 河野義広: 本誌 17 (1) 36—41 (1965)

Studies on the shallow-marine facilities
for pisciculture

Water-exchange in the Megijima fish farm

Yoshiaki TANAKA, Hiroo INOUE, Kiyoshi FUKUDA
and Tadao MAEKAWA

It is well known that the water exchange plays the principal role in the dissolved oxygen budget controlling the productivity of the fish farm. So far as we know, however, little work has been done in order to clarify the actual circumstances of water exchange in the shallow-marine fish farm. The Megijima fish farm was fixed upon as the subject of investigation.

Tidal current runs strongly through this fish farm enclosed with a wall net. The water area and volume are $7.0 \times 10^4 \text{m}^2$ and $36.2 \times 10^4 \text{m}^3$ at high high level and $6.0 \times 10^4 \text{m}^2$ and $21.8 \times 10^4 \text{m}^3$ at low low level, respectively. This shows that the farm is pillar-shaped in the tidal zone and similar to a shallow dish in the bottom.

For about 4 hours at high high level and for 3 hours at low high level, the current flows into the farm through the wall net A-B and then goes out through the wall net C-B. For the rest of the day (about 17 hours), the current runs in the opposite direction.

The quantities of sea water exchanged for each about 12 hours of M_1 and M_2 tide are $192 \times 10^4 \text{m}^3$ and $164 \times 10^4 \text{m}^3$, and consequently the water exchange rates come to 7.9 and 6.8 times per about 12 hours, respectively, in the spring tide.

It is commonly experienced that the water exchange in the shallow marine fish farm is so small during the neap tide as to cause the deficit of the dissolved oxygen. Accordingly, the optimum number of fish to be cultured must be estimated on the basis of the water exchange rate in the neap tide. Assuming about one-half of the quantity of sea water exchanged in the spring tide, it may be concluded from the figure given in Ref. 2 by Inoue that the optimum number of fish to be cultured in the Megijima fish farm amounts to 16×10^4 for extra safety and 32×10^4 for possible limit, late in August, when Hamachi weighs about 500g.

(1966年5月31日受理)