

# 格子型ブロック構造をもつ人工魚礁周りの 流況に関する研究 (第1報)

大坂 英雄\*・山田 英巳\*・平野 孝典\*\*・八幡 森作\*\*

Experimental Study on Variations of Flow Fields around Artificial Fish  
Reefs Model Constituted with the Lattice Block (1st Report)

Hideo OSAKA, Hidemi YAMADA, Takanori HIRANO & Shinsaku YAHATA

## Abstract

Variations of flow field around the Great-Reef type artificial fish reefs model constituted with the lattice block were examined in detail by wind tunnel testing. Mean velocity and turbulent intensity distributions were measured about the flow field where the artificial fish reefs model was set on the flat plate installed in the uniform flow. Based on this result, vortex flow, spreading of hydraulic shadow and streamline were determined. Flow visualization of flow fields was also attempted by the tuft method. From these experiments, it was confirmed that present artificial fish reefs model had a sufficient biological function.

## 1. ま え が き

水産資源問題に関する現今の情勢の中で、近海漁場の再開発の重要性が問われつつある。近海の大規模に設置される人工魚礁の問題がその一つとしてあげられ、より集魚効果の高い人工魚礁の開発が望まれてきている。

人工魚礁の機能は適当な地形的環境および生物環境を造成することによって、魚類の増殖、培養、育成および増殖効果を高めることである。またいわゆる漁場環境としては、地形および水深、水質、海底床の性質、波および流れおよび天然礁との相互関係等が問題となる。したがって人工魚礁の形状・規模あるいは配置条件を検討する場合、魚礁あるいは魚礁群の高さ、平面的な広がり、単体間あるいは群間の空間的な効果、規模と設置水深との関係等が知られることが必要である。

一方、魚礁によって与えられた地形的変化が魚礁周りの海域の流れ場に及ぼす影響は、たとえば湧昇流、淀み点流れあるいはカルマン渦による振動等きわめて

複雑で予想し難く、個々の例について実験あるいは実地観測に頼らざるを得ないのが実状である。流体力学的側面からの解明が待たれている現状でありながら、これまでに人工魚礁の問題を流体力学的な立場から取り扱った研究は少なく、黒木・佐藤・尾崎によるもの<sup>1)</sup>、高田・大野によるもの<sup>2)</sup>、吉良・石谷によるもの<sup>3)</sup>があげられる程度である。しかしながら、いずれの場合とも流れ場の速度分布の簡単な実測、あるいは魚礁ブロックモデルの沈降速度に関する測定のみであり、乱さ強さ分布とか流れ場の可視化といった観点からの総合的な調査はなされていない。

本実験では基礎的資料を得るために、一様流に近い流れ場に魚礁モデルを設置し、その周りの渦流、陰影の広がり、流線が求められた。これらは平均速度分布および乱さ強さ分布の結果と照合され、流況変化が詳細に検討された。さらに流れ場の様子の把握を容易にするため、タフト法(ミン糸の単繊維およびタンポポ風向計)により流れ場を可視化し検討が加えられた。

記号

$x$ : モデルの中心位置からの流れ方向距離

$y$ : 測定壁面からの垂直距離

\* 機械工学科

\*\* 大学院機械工学専攻

- $z$  :  $x, y$  軸に垂直な方向の距離
- $U$  :  $x$  方向の時間平均速度
- $V$  :  $y$  方向の時間平均速度
- $U_m, U_1$  : 魚礁モデル周りの一様速度
- $U_r$  : 実物の魚礁周りの一様速度
- $(\overline{u'^2})^{1/2}$  :  $x$  方向の時間変動速度の rms 値
- $H_m$  : モデルの高さ
- $H_r$  : 実物の魚礁の高さ
- $R_s$  : 実物の魚礁あるいは魚礁モデルの高さを代表寸法とするレイノルズ数

2. 実験装置および条件

2.1 風 洞

本実験に使用した風洞は鋼板製のゲッチンゲン型(回流型)風洞であり、絞り部(絞り比1/4)出口が直径500mmである。出口断面特性は、速度分布が3%程度の変動以内で一様であり、乱れ強さが約0.3%である。

測定部は、幅400mm、長さ2000mmで、天井部分は大気圧と同じにするためおよび測定都合上取り除かれている。測定部の側壁および下面とも可視化の観

察が可能となるように、透明なアクリル樹脂板で製作されている。

2.2 モデルおよびモデル設置位置

実験に用いた魚礁モデルは、Fig.1に示すようなグレートリーフ型魚礁モデルであり、木製のものの表面に白ペンキにより塗装が施こされている。模型の縮尺は実験の都合上1/50としてある。

本モデルの特徴を簡単に述べる。全体の構造は格子型ブロック2段積みと版状箱型ブロック2段積みの計4段積み構造をなしている。上部1・2段目に用いる格子型ブロックは複雑な骨組構造となっており、いわゆる渦流が発生し易い構造である。下部3・4段目に用いる版状箱型ブロックは流れに直角方向断面の遮蔽面積が大きく、流れの阻止効果による上昇流・加速流を生成し易い構造となっている。したがって両者を組み合わせた構造においては、上昇流および加速流の発生ならびに大きな渦流領域の生成により、大きな流体力学的陰影をもたらすことが予想される。また、大規模および小規模渦流の発生による音響・振動の適正な値を期待できる。さらに、方向性にあまり依存しない

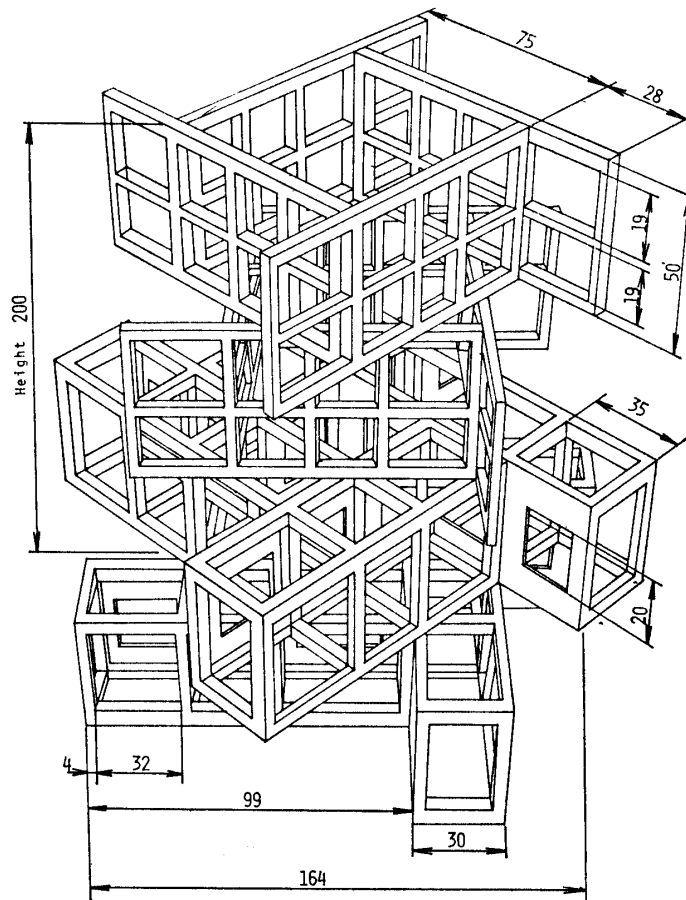


Fig. 1 An Artificial fish reefs model

形状をしており、異なった流れの方向に対しても同程度の流体力学的効果をあげることが可能であろう。

次に、モデルの設置位置について述べると、モデルは各測定において適当な場所に移動された。速度分布、乱れ強さ分布の測定においては、測定部前縁から約1300mm下流位置にモデルの中心位置がくるように設置された。流体力学的陰影を調べる際には、側壁の影響を除くため流れと直角方向 ( $x$  方向) にずらして測定された。また、タフト法による流れの可視化においては、流れ場を広く観察するためモデルは測定部前縁から約500mm程度の所に設置された。

### 2.3 レイノルズ数

本風洞の安定した定常運転の限度は、 $U_m=20\text{m/s}$ であるので、この値が実際の海域における魚礁周りでどれほどの流速を想定できるものかを調べてみる。モデルの高さは  $H_m=0.2\text{m}$  であり、常温における空気動粘性係数を  $\nu_a=1.4\times 10^{-5}\text{m}^2/\text{s}$  とおくと、モデルの高さを代表寸法とするレイノルズ数は

$$R_e=(U_m \times H_m)/\nu_a=2.86 \times 10^5$$

となる。したがって、実際の魚礁まわりの流速  $U_r$  は、魚礁の高さが  $H_r=10\text{m}$ 、海水の温度を  $10^\circ\text{C}$  と見積ってやった場合の動粘性係数が  $\nu_w=1.3 \times 10^{-6}\text{m}^2/\text{s}$  であるので

$$U_r=(R_e \times \nu_w)/H_r=3.74\text{cm/s}$$

となり、比較的遅い流速を想定しているようである。しかしながら、取り扱っているレイノルズ数の値は乱流の場合の流れ場に相当するものであり、レイノルズ数のオーダーが高々1桁異なったとしても実際の流れ場との相違は大きくないことが予想される。したがって本実験は主に  $R_e=2.6 \times 10^5$  の一定に保って行なわれた。事実、約1/2のレイノルズ数にした場合の確認実験では流況変化に大きな差異は見られなかった。

二次元物体背後に生成するカルマン渦を調べる場合、上述の流れ場全体を考慮する場合と同様に、局所のレイノルズ数を考慮する必要がある。代表長さにブロックの骨組みの矩形断面部材の一辺の長さ  $l=20\text{cm}$  をとると、代表速度が  $U_r=3.74\text{cm/s}$  であるので、局所のレイノルズ数  $Re_l$  は

$$Re_l=(U_r \times l)/\nu_w=5.75 \times 10^3$$

となる。当然カルマン渦を生成するはずで、Roshkoの二次元円柱の実験結果<sup>4)</sup>を本実験の場合にも適用すると、ストロハル数  $S_r$  は0.21程度である。したがって

$$S_r=(n \times l)/U_r=0.21$$

より、カルマン渦の放出による振動数は  $n=0.04\text{s}^{-1}$  となる。また、モデル実験の場合にも  $S_r=0.21$  とおけると考えられるので、モデル部材の振動数は

$$n=(S_r \times U_m)/l_m=1.05 \times 10^3\text{s}^{-1}$$

となり、海中の実際の魚礁部材より発生する振動数よりも非常に高い値となる。ここで、 $l_m$  はモデル部材の一辺の寸法を表わす。

### 2.4 流れの方向

グレートリーフ型人工魚礁は方向性にあまり依存しない形であるので、本実験では一種類の流れ方向についてのみ行なっている。すなわち、Fig.1に示した魚礁に対して流れは紙面に直角方向に対して存在する場合である。

### 2.5 表層波の影響

本実験では、実際の設置水深がかなり大きいことを考慮して、深水波とみなせる場合について実験を行なった。水深に対し表層波の波長がそれほど大きくない場合、波高による非定常成分の影響は下層に向かって指数関数的に減衰していき、その効果は無視することができる。流体力学的無次元数としてはフルード数を考慮しなくてよい。

### 2.6 その他

実際の流れ場はいわゆる一様流ではなく、速度勾配をもつ剪断流となっている。したがって、魚礁の周りの流れ場は一様流の場合と異なり、乱れエネルギーの生成、輸送の大きい流れ場となっていると予想される。しかし本実験では速度勾配の評価は考慮せず、一様流に近い流れ場にモデルを設置している。

さらに、実際の海底床の表面は、砂層・岩床あるいは砂礫層であり、表面粗度が粗い場合から滑らかな場合の種々存在するが、本実験は幾何学的形状による流れ場の条件を考慮せず、滑面板上にモデルを設置して行なった。

## 3. 実験方法

### 3.1 平均速度分布

ピトー管および熱線流速計を並用して速度分布を測定した。まず  $x$  の3断面、すなわち  $x=50, 0, -50\text{mm}$  の各スライス面を、 $x=-233\sim 967\text{mm}$  の9箇所位置について、 $y=5\sim 300\text{mm}$  の範囲にわたり測定した。次に、 $x-z$  面内の等速分布を描くために、 $y=40, 140\text{mm}$  の2断面で  $z=-250\sim 250\text{mm}$  の範囲を、

$x = -233 \sim 967 \text{mm}$  の13箇所の位置について測定した。

### 3.2 乱れ強さ分布

代表として  $z=0 \text{mm}$  のスライス面の  $x=100, 500 \text{mm}$  の2箇所の位置で、 $y=5 \sim 300 \text{mm}$  の範囲にわたり測定した。モデルの背後の領域は大きな渦流領域を形成しているが、1型プローブを用いて乱れの流れ方向成分  $(\overline{u'^2})^{1/2}/U_1$  のみを測定した。

### 3.3 流れ場の可視化

$z=0 \text{mm}$  のスライス面において、 $x = -215 \sim 978 \text{mm}$  の14箇所の位置についてテグス糸1号(線径0.1mm)を  $y$  方向に張り、それに20mm間隔にミンシ糸

をほぐした長さ40mmのタフトを接着し、そのタフトのふれ具合を観察した。また、流れと直角方向の断面 ( $y-z$  面内) のモデルの影響範囲を調べるため、20mm間隔で格子状に張られたテグス糸の交差位置にタンポポの穂を取り付けた枠を挿入し、そのふれ具合を観察した。なお、写真に示されている可視化観察の結果は、主流速度がおよそ6.74m/s、すなわちレイノルズ数が  $Re = 0.90 \times 10^5$  の場合である。

## 4. 実験結果および考察

### 4.1 平均速度分布

$z=50, 0, -50 \text{mm}$  の3スライス面における無次元平均速度分布の流れ方向への変化を Fig. 2 (a), (b),

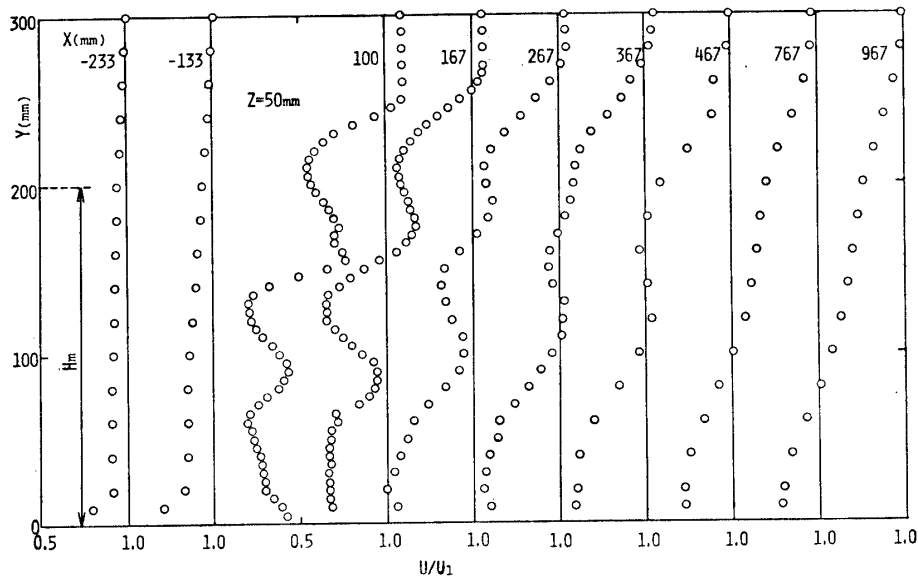


Fig. 2 (a) Variation of velocity distribution in the streamwise direction

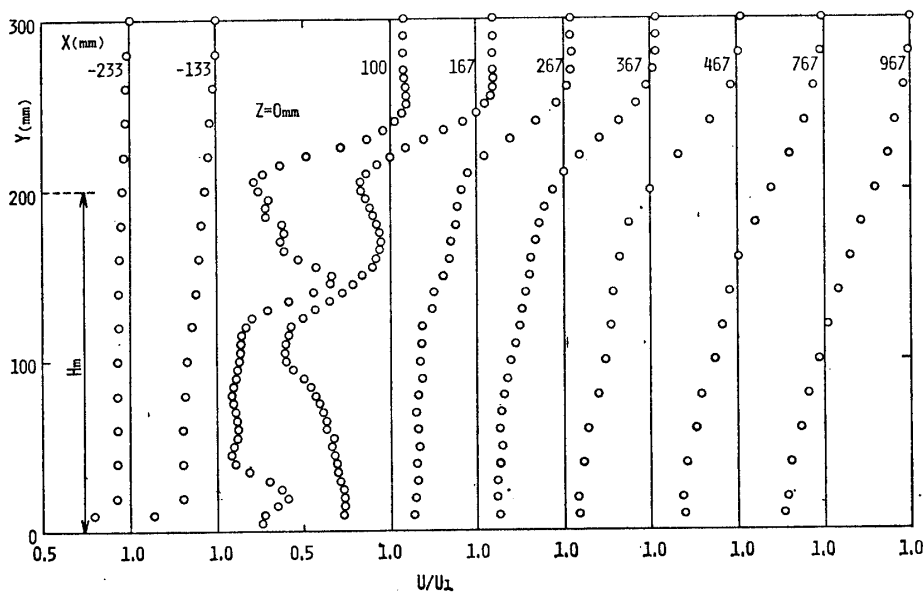


Fig. 2 (b)

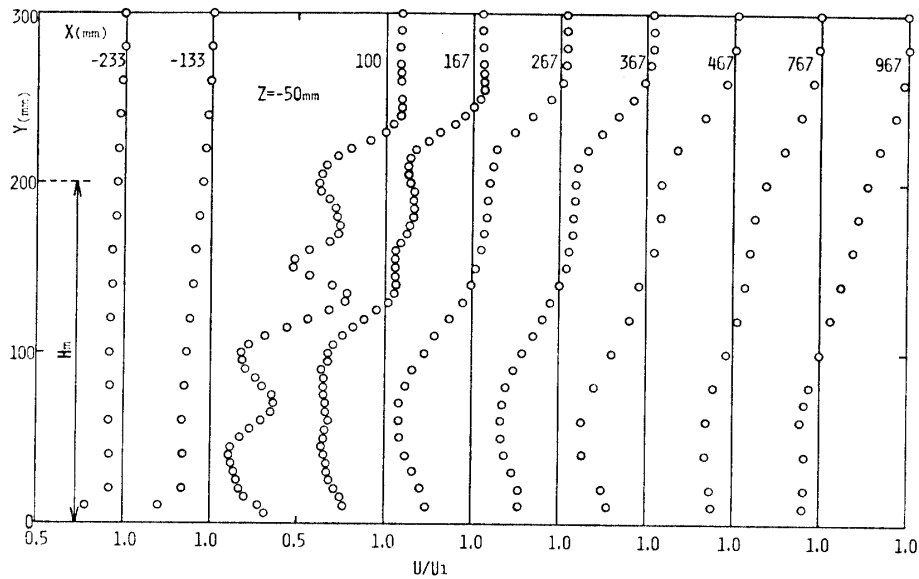


Fig. 2 (c)

(c) に示す。まず、 $z=0\text{mm}$  のスライス面を考察する。 $x=-233\text{mm}$  のモデル高さとはほぼ同程度上流の位置において、すでに流れに影響が現われている。一様流の速度  $U_1$  より小さい  $y$  の範囲は  $280\text{mm}$  まで及んでおり、モデルが完全な阻止板形状ではないけれども、せき止める効果が大きいことが分る。また、 $x=-133\text{mm}$  のモデル直前位置では、モデルによる  $y$  方向への影響範囲はほぼ同程度であるが、速度欠損がかなり大きくなっている。ちなみに  $y=100\text{mm}$ 、すなわちモデルの  $1/2$  の高さ位置では  $17\%$  の速度欠損が見られ、 $y=10\text{mm}$ 、すなわちモデルの  $1/20$  の高さでは  $36\%$  の速度欠損となっている。次に、モデル直後の  $x=100\text{mm}$  位置では、骨組構造物といっても遮蔽面積の大きいモデルであるため通り抜け流れは小さくなっている。分布は底面近くで一様流の  $30\sim 40\%$  程度であったものが、 $y=40\sim 120\text{mm}$  付近 (モデル高さの  $1/5\sim 3/5$ ) で  $10\%$  程度となり、 $y=150\text{mm}$  位置で極大値  $66\%$  を示す。その後一度減少した後モデル高さの位置から急激に増大し、一様流の値よりも加速された領域 ( $10\%$  の加速) を形成する。全体の分布をみると複雑な形状をしており、大きな渦流領域にあることを示唆する。 $x=167\text{mm}$  位置では全体として上流の  $x=100\text{mm}$  位置の分布と傾向は似ているが、 $y=90\sim 125\text{mm}$  の範囲で  $10\%$  程度の大きさの逆流を示している。またモデルの上方の加速流領域は  $10\%$  程度の増速を示している。 $x=267\text{mm}$  位置ではモデル高さの範囲内で見られた速度分布の凹凸がほとんど消失し、いわゆる後流領域に見られる速度分布形状をなしており、ほぼモデル

高さ位置で変曲点をもっている。またモデルの上方位置における加速領域はいぜんとして存在している。この傾向は  $x=467\text{mm}$  位置まで続いているが、徐々に回復している様子がうかがえる。ただこの下流位置ではモデルによる欠損の範囲はモデルの上流領域における場合と同程度の範囲までであり、加速している流れ領域はほとんど小さくなっている。さらに下流に行くにつれて  $y=0\sim 200\text{mm}$  の範囲における速度が回復して増加しているが、モデル高さの約  $5$  倍下流位置の  $x=967\text{mm}$  位置においてさえモデル上流側と比較して速度欠損はかなり大きい。

以上まとめてみると、モデルによる流れ場の変形はすでにモデル高さと同程度上流の位置で生じており、モデルの上方には約  $1.5$  倍の高さに及んでいる。モデル直後の位置でモデル内の通り抜け流れ、首飾り渦の生成の促す二次流れおよび後流渦の生成により速度分布は大きく変動している。さらに下流位置で徐々に回復し、下に凸の安定した速度分布へと漸近していく。本実験の場合弛緩距離はかなり必要であり、モデル高さの  $10$  倍程度以上要するであろう。

次に、Fig.2(a),(c) の  $z=50, -50\text{mm}$  断面について簡単にふれておこう。モデルの上流位置の  $x=-233\text{mm}$  においてすでにモデルの影響を受けていること、およびその範囲は  $z=0\text{mm}$  断面と同様である。モデル直後の下流では  $z=0\text{mm}$  断面と同様、速度分布は複雑に変化しているが速度欠損は  $z=0\text{mm}$  断面と比較して小さく、渦流領域への流体のまわり込み (二次流れによる流体の横方向輸送) が存在することを示し

ている。さらに下流に行くにつれ、同様の分布の傾向を示しながら通常の安定した速度分布形へと回復していく。 $x=967\text{mm}$  断面で速度欠損を比較してみると、 $y=100\text{mm}$  位置では  $z=0\text{mm}$  断面で 53% あったものが  $z=50, -50\text{mm}$  断面ではそれぞれ 42%, 50% と小さくなっており、一様流からの巻き込みが大きいことを示している。流れ場全領域を比較してみると、 $z=50\text{mm}$  と  $-50\text{mm}$  断面で速度分布は同様の傾向を示しているが、必ずしも相似でなく  $z=0\text{mm}$  断面を中心として偏った分布をしていることが分る。

### 3.2 乱れ強さ分布

大きな渦流領域を形成する流れ場において、その渦流領域では乱れ強さが大きいことが予想される。特に人工魚礁においては、むしろこの乱れ強さが大きい方が望まれるようである。Fig. 3 は  $z=0\text{mm}$  のスライス面における  $x=100\text{mm}$  と  $500\text{mm}$  位置での乱れ強さ分布  $(\overline{u'^2})^{1/2}/U_1$  を表わす。モデル直後の  $x=100\text{mm}$  位置では底面近傍で 10~15% 程度の乱れ強さとかなり大きな値を示している。その後、Fig. 2 (b) で示した平均速度の減少に伴い乱れ強さも小さくなるが、平均速度の極大値を示す  $y=140\sim 150\text{mm}$  付近で極大値 20% を示すに至る。モデル高さより高い位置では平均速度の急増大とは反対に乱れ強さは急減少していき、モデル高さの 1.5 倍の位置で 2% の値におちつくようである。モデル高さの 2.5 倍下流の  $x=500\text{mm}$

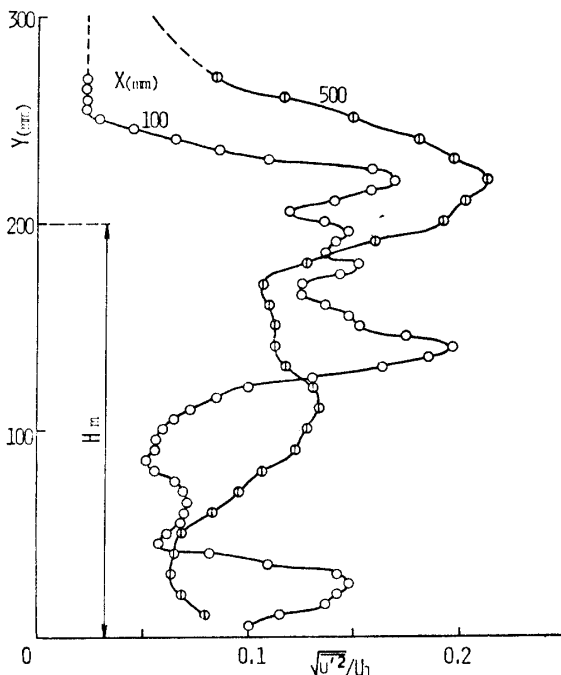


Fig. 3 Turbulent intensity distribution

位置では、平均速度分布が比較的なめらかであるにもかかわらず乱れ強さはかなり変動している分布を呈している。 $x=100\text{mm}$  位置の分布と比較して極大値をとる  $y$  の位置が大きくなっており、流れ場の発達に伴って流体塊が外側領域へ輸送されていくことを示している。乱れ強さの極大値はほぼモデル高さの位置で 22% の値を示す。その後  $y$  が大きくなるにつれ急激に減少していくが、モデル高さの 1.5 倍の位置で依然として大きい値を示し、モデルによる影響がかなり大きいことを示唆している。

以上まとめると、本モデルの背後では大きな乱れ強さの渦流領域が形成されており、 $x=500\text{mm}$  位置におけるモデル高さの 1.5 倍位置の所でさえかなり大きい乱れ強さを示している。これは本モデルの人工魚礁としての条件が満足いくものであることを示している。

### 3.3 流線図および等速線図

流れ場全体の概要を知る上には、平均速度分布に基づいて計算できる流線図によって観察する方がより直観的に判断できる。Fig. 4 (a), (b), (c) はそれぞれ  $z=50, 0, -50\text{mm}$  のスライス面における流線図である。流れ関数  $\psi$  は、 $\psi = \int u' dy$  により計算し、 $\psi$  の等しい値を結んで描いてある。

まず、Fig. 4 (b) の  $z=0\text{mm}$  断面について考える。はるかに上流で一様流である流れは、ほぼ底面に平行な流れとなっているが、モデルの影響が現われはじめる  $x=-200\text{mm}$  断面で少し傾きを持っている。その後モデルにより流れが阻止および攪乱を受けるため、上昇流が生じ流線はたとえば  $x=0\text{mm}$  位置でかなり大きな傾き角をなしている。ちなみにその値は 30 度程度であり、平均速度の  $U$  成分に対し垂直方向成分の  $V$  は  $U$  の 50% 程度の値を持つことが予想される。このモデルによる上昇流の影響範囲は、測定結果が  $y=300\text{mm}$  までの領域でのみ信頼性があるため計算をしていなく、明確ではないがモデル高さの 2~3 倍程度と推定されるようである。次に、モデル下流の  $x=200\text{mm}$  程度の位置で流線が閉じた形をしているが、これは大きな渦流領域内における循環流の存在を意味するものである。この位置を境にして流線の傾きが反転し、上昇流から下降流に転じている様子が見ええる。さらに下流に行くにしたがって流線の傾きが一律に減少していつているが、 $x=1000\text{mm}$  位置、すなわちモデル高さの 5 倍下流の位置においても流線が傾いており、モデルによる影響がみられる。

次に、Fig. 4 (a), (c) の場合の  $z=50, -50\text{mm}$  断

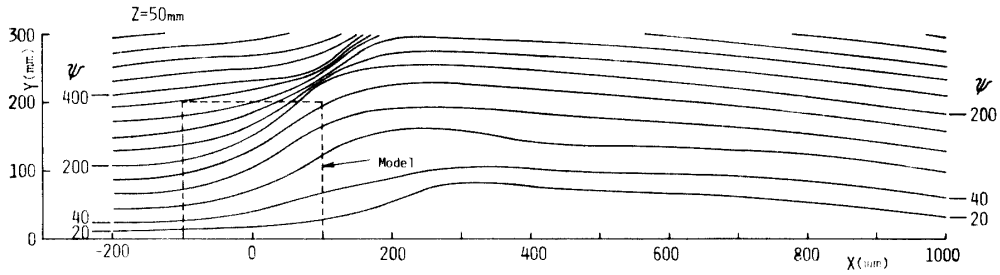


Fig. 4 (a) Streamline profile

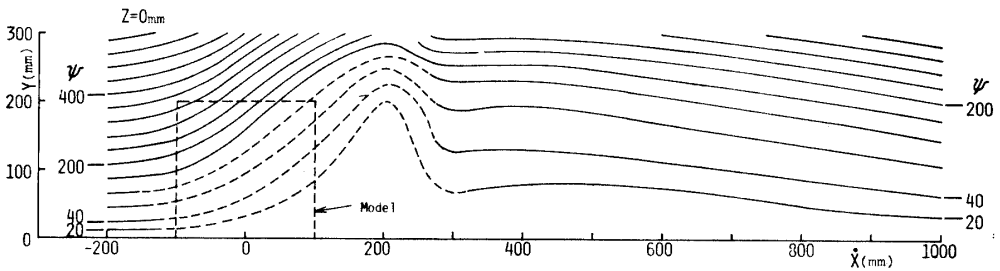


Fig. 4 (b)

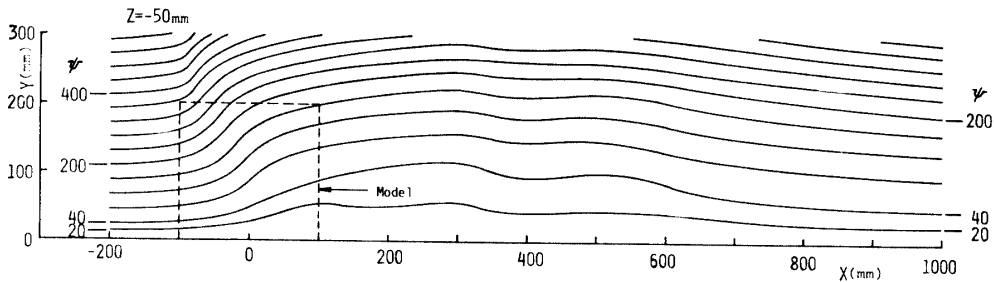


Fig. 4 (c)

面について簡単にふれておく。モデルの上流位置における影響範囲および流線の傾きは  $z=0\text{mm}$  断面の結果と似ており、また程度もほぼ同じであるとみなして良い。ところがモデル下流直後の  $x=200\text{mm}$  位置で  $z=0\text{mm}$  断面の分布は閉じた形をしていたが、この場合には閉じておらず下流への順流が存在することを示している。したがって循環流領域はかなり狭い三次元領域であることが分る。この循環流領域が  $z=50, -50\text{mm}$  断面の場合には存在していないため、流線がすぐには下降流とはならず  $x=300\sim 400\text{mm}$  の位置でその傾きが反転し下降流となっている。その後の下降流の程度は  $z=0\text{mm}$  断面の場合と同程度であるものと思われる。これらの結果より全体の概要を推測すると、モデルを囲むような紡垂形の流線図が描けるようである。

次に、モデルの影響範囲をみる場合、 $y$ —一定の面 ( $x$ — $z$  面) 内における等速分布図を描いてみると詳細

に把握できる。Fig. 5 (a), (b) はそれぞれモデルの最下段のブロックと下から三段目のブロックの位置に対応した  $y=40, 140\text{mm}$  位置の水平断面内の等速分布図を示す。 $y=40\text{mm}$  位置の場合についてみると、 $U/U_1=0.9$  の等速線、すなわち 10% の速度欠損を生じる範囲はモデル前方の  $x=-233\text{mm}$  付近から生じはじめ、測定範囲の最下流位置でモデル高さの 2 倍程度の幅までゆっくりと広がっている。一方、 $U/U_1=0$ 、すなわち速度零の領域が  $x=167\sim 467\text{mm}$  の範囲内で  $z=0\text{mm}$  の中心線を境として偏った形で双方の領域に存在しており、その領域がかなり広いことが分る。また、 $U/U_1=0.5$  の領域はモデル高さの 5 倍程度下流の  $x=967\text{mm}$  位置でモデル高さ程度の幅をもっており、大きな渦流領域がモデル下流にずっと長く続くことを示している。もちろん魚礁が何らかの影響を与えるであろう  $U/U_1=1.0$  の範囲は、あまり明確ではないがさらに広いであろうことは容易に想像できる。次

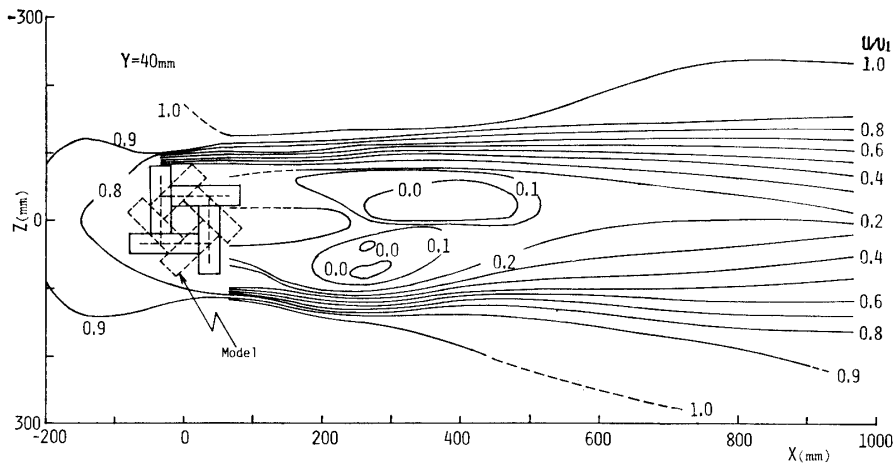


Fig. 5 (a) Plan views of velocity contour

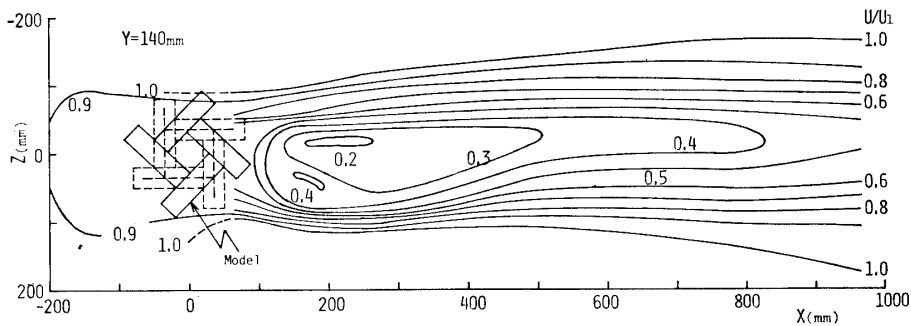


Fig. 5 (b)

に  $y=140\text{mm}$  位置の場合には、 $U/U_1=0.9$  の等速線の範囲はモデル前方の  $x=-233\text{mm}$  付近から現われはじめ、測定位置の最下流においても依然として続いている。ただその範囲は  $y=40\text{mm}$  と比較して狭くなっており、 $x=967\text{mm}$  位置でモデル高さ程度の幅にすぎない。一方、 $U/U_1=0$  の循環流領域は消失しており、最大速度欠損で70%の領域が  $x=167\text{mm}$  から  $x=467\text{mm}$  の範囲にわたり存在している。 $U/U_1=1$  の範囲をみるとかなり広いけれども、最下流位置でモデル高さの1.5倍程度の幅にすぎない。

### 3.4 タフト法による流れ場の可視化

Photo. 1 は  $z=0\text{mm}$  のスライス面の流れ場の様子を示す。モデルの前方約  $100\text{mm}$  位置ですでに影響が現われ、流線が傾いていることが認められる。この流線の傾きはモデル中央付近で最大となり、その傾斜角が20度程度であるようである。この値は平均速度分布から求めた流線の傾きよりも小さいようであるが、タフトに働く重力あるいは接着剤によってタフトの運動が少し制限されていること、およびタフトのくせ等によ

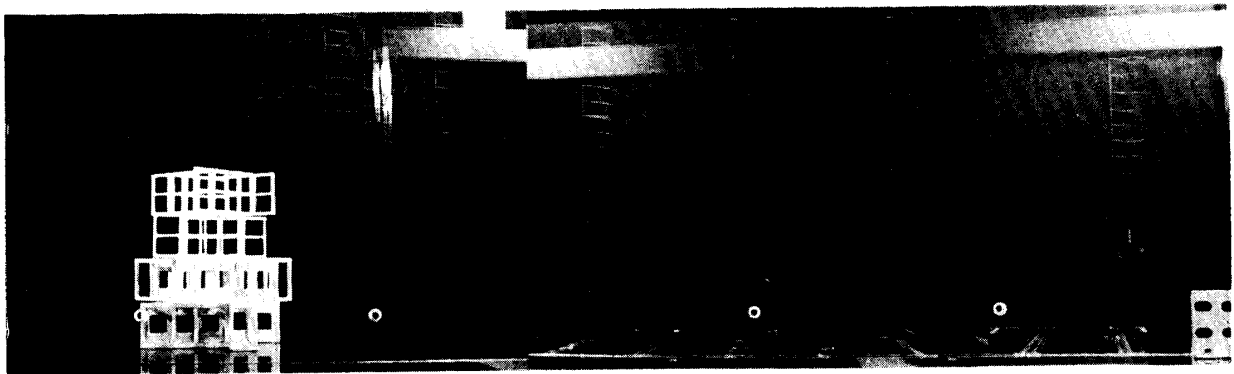


Photo. 1 Flow visualization around the artificial fish reefs model (Flow; Left to Right)



り差が生じたものであろう。モデル下流領域をみると、タフトが上下にふれている様子、あるいは逆向きになっている様子が観察でき、大きな渦流領域を形成していることが分る。これは流線図で見られた循環流を生じている平均速度が零の領域とよく一致している。この領域を境にしてタフト糸は下向きに反転しており、下降流が生じているのが分る。この傾向も流線図とよく一致しており、タフトによる可視化がおおよその流れ場の様子を表わしていると解釈できる。全体として速度が零に近い循環流領域が大きく現われているように見ることができ、また一度モデルにより速度欠損領域を生じると長く下流に維持されることが分る。すなわち、Photo. 1中の最後の位置におけるタフトが下向きとなっていることから、この程度のレイノルズ数では渦流領域はかなり下流まで到達することを意味する。また、モデル設置位置近くでのモデルの上方への影響範囲は、タフトの傾きから推察してモデルの2倍程度の高さに及んでいることが分った。

Photo. 2は流れと直角断面( $x$ の一定断面)における断面内のタンポポ風向計の様子を表わしている。 $x=300\text{mm}$ 下流の場合、モデル後方領域でタンポポが大きく乱れ自由な方向を向いており、大きな渦流領域内の位置であることが分る。また、流線図における流線の下向き位置に対応して渦領域内でタンポポが下向きになり、流線と同様の傾向を示している。さらに、モデルによる影響範囲がかなり広く、 $y$ の小さな位置で幅が広く、 $y$ が大きくなるにつれ小さくなっていく

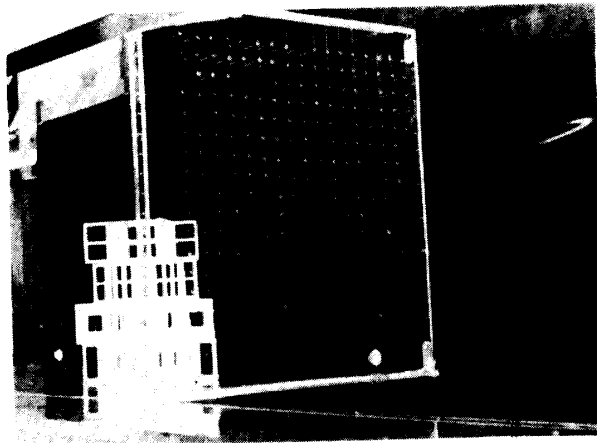


Photo. 2 Flow visualization by a piece of dandelion fuzz (Flow; Left to Right)

上方に凸の放物線形状をしているのが知られる。なお、この傾向は下流の断面でも維持されていた。

## 5. 結 論

複雑な格子型ブロック構造を有するグレートリーフ型人工魚礁の周りの流れ場に関する風洞実験( $R_e=2.6 \times 10^5$ )を行なうことにより、流れ場に及ぼす影響を調べた結果、次のような事項が明らかとなった。

- (1) モデル上方への影響範囲は、モデル位置の所でモデル高さのおよそ2倍程度である。横方向への拡がりにはモデル高さの5倍程度下流位置で、 $y=40\text{mm}$ の高さでおおよそ3倍程度、 $y=140\text{mm}$ 位置でおおよそ1.5倍程度である。また、下流への影響範囲は長く続き、粘性による散逸を考慮しても20倍程度は続くであろう。
- (2) モデル前方における流線の傾きは、約30度程度と大きく、したがって平均速度の垂直方向成分は流れ方向成分の50%程度にもなる。
- (3) モデル後方に大きな渦流領域を生じ、特に $x=100 \sim 300\text{mm}$ の範囲で循環領域を形成する。したがって、この領域を境にして流線の傾きが反転する。
- (4) 渦領域内の乱れ強さは最大で $(\overline{u'^2})^{1/2}/U_1$ が20%程度とかなり大きく、また局所の平均流速に対しては約30%程度にも達する。
- (5)  $R_e$ 数が低くとられた可視化の実験において、全体的な結果は他の $R_e$ 数の測定結果と良く一致していた。

謝辞 本実験を遂行するにあたり全般的に御指導を頂いた名古屋大学工学部中村育雄助教授に深謝致します。モデルの製作・実験遂行に際し、御便宜をはかって頂いた徳山曹達嵐課長、野村主任技師、大川係官に対し感謝を致します。また実験に協力を頂いた本学大学院学生・戒本君に対して謝意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 黒木・佐藤・尾崎, 北海道水産部 (1964).
- 2) 高田・大野, 土木学会中部支部講演概要集 (1977).
- 3) 吉良・石谷, 水産土木, 5, 2 (1969).
- 4) Roshko, A., 例えば Schlichting, H., Boundary Layer Theory, 6th ed., McGRAW-HILL (1968).

(昭和53年10月9日 受理)