

格子モデル背後の二次流れの可視化

山田 英 巳*・大坂 英 雄*

Visualization of Secondary Flow behind the Square Grid Models

Hidemi YAMADA and Hideo OSAKA

Abstract

The secondary flow behind the square mesh grid submerged in the water channel flow was visualized by the hydrogen bubble method and the dye injection method. The geometry of grid model used in this experiment is three shape, such as the biplane grid, the intersection grid and the woven screen grid. Each grid model has the open area ratios of $\beta=0.51, 0.57$ and 0.64 , respectively. The flow visualization in the cross section behind the grid model mentioned above clarified the following results: The circulation of flow through any mesh of both the biplane grid and the intersection grid becomes zero, but the secondary flow behind the rod element of grid is in the opposite direction each other. The circulation of flow through any mesh of the woven screen grid has the opposite sign with that of neighboring mesh.

1. まえがき

多数の円柱要素が等間隔に直角交差して構成された、正方形メッシュを有する格子（正方格子と呼ぶ）は、その用途に応じて整流金網や乱流格子等と呼ばれ、不均一な流れの整流や等方性乱流の作成に利用されるものである。このような格子としての効果を最大限に生かすためには、格子近傍において格子を通過した流れの特性を明らかにすることが重要である。正方格子を通過する流れに関してはこれまでにいくつかの研究がなされている。Uberoi¹⁾は、等方性乱流を作成するため、二面格子、ハニカム格子および傾斜格子等についてその数十倍下流から各速度変動成分の下流方向変化を調べている。de Bray²⁾は境界層に生じる流れ場の横方向の変動より、金網からの縦渦の発生機構を予想している。古屋ら³⁾もまた金網の開口比がある値以下に達すると、これを通過した噴流の不規則な収束・発散のため下流の乱流境界層が不安定となる場合のあることを指摘している。このような問題は、格子を通過した流れにおける二次流れの構造と関連深いものと考えら

れる。しかしながら、計測の困難さも相まってこれまで格子近傍において格子を過ぎる流れの特性が直接に取り扱われた例はなく、また格子形状や開口比による差異についてもほとんど明かではない。

したがって、本研究では流れの可視化により格子近傍における格子背後の二次流れの構造、およびこれに及ぼす格子形状と開口比の影響を明らかにすることを試みた。なお実験には二面格子、相貫格子および平織金網格子と呼ばれる代表的な格子形状を有する格子モデルを用いた。

2. 実験装置および方法

実験に使用した開水路水槽の試験部水路の概要と記号を Fig. 1 に示す。試験部水路は断面が400mm×400mm、長さが約2mの寸法をもち、実験は水深を約300mmの一定として行った。

供試正方格子モデルは、直径 $d=10\text{mm}$ の円柱要素を組み合わせて作られた二面格子、相貫格子、平織金網格子の3種類であり、その形状をそれぞれ Fig. 2(a)～(c) に示す。それぞれの格子モデルは目開き l により開口比を $\beta=0.51, 0.57, 0.64$ の3種類に変化させた。実験は、それぞれの格子モデルを試験部水路入口よ

*機械工学科

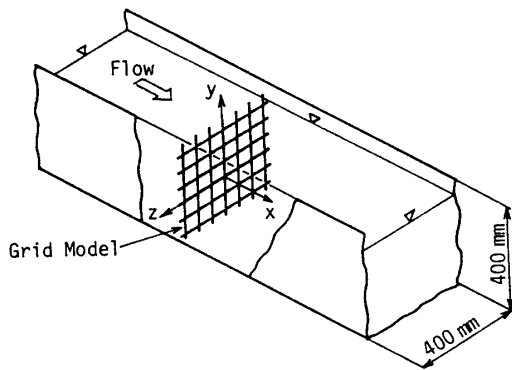


Fig. 1 Experimental setup

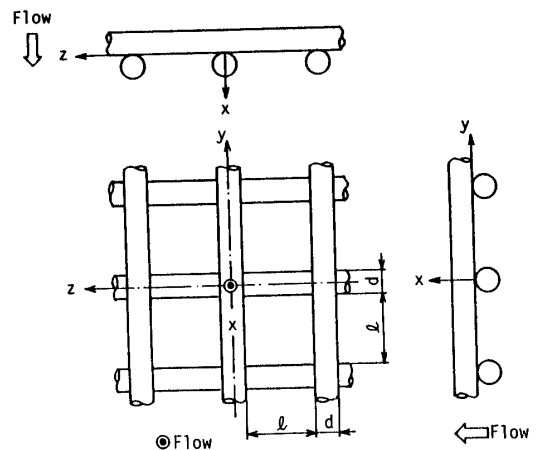
り800mmの位置に設置し、その背後に生じる二次流れの観察を水素気泡法ならびに染料注入法により行った。水素気泡法では、レイノルズ数が約 $Re = U_0 \cdot d / \nu = 160$ のもとで、格子モデル背後の $x/d = 1.2$ の位置に直径50 μm のタングステン線を13本 ($\pm y/d$ or $\pm z/d = 0, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5$) 鉛直方向に張り、同時通電して流出した水素気泡を $x/d = 5$ 断面に照射された約3 mm のハロゲンスリット光を照射して可視化した。染料注入法では、レイノルズ数が約 $Re = 60$ のもとで、格子の上流の1本のトレーサチューブからローダミンBを滑らかに注入し、同様に格子背後にスリット光を照射して二次流れを可視化した。可視化結果は、格子下流の $x/d = 30$ の位置に45°の傾斜をもって置かれた鏡を利用して、水路の側方より写真撮影された。

3. 実験結果および考察

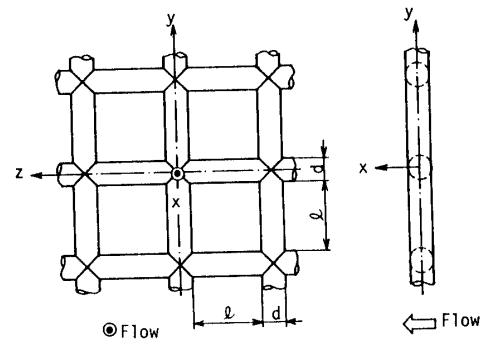
3.1 水素気泡法による二次流れの観察

3.1.1 二面格子

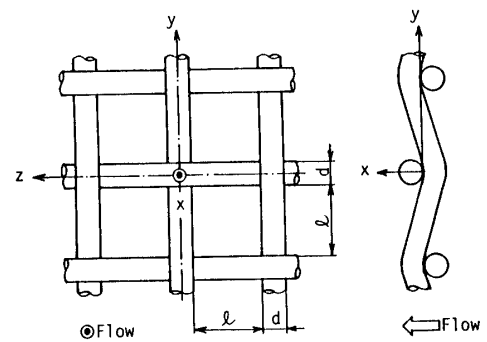
Fig. 3 (a), (b)は、それぞれ開口比 $\beta = 0.64$ の二面格子背後の y 方向および z 方向に張られたタングステン線よりパルス状に発生させた水素気泡の等時線を格子下流で写真撮影したものである。Fig. 3 (a)の等時線より y 方向および z 方向円柱要素の軸の下流で円柱要素の交差部側からの二次流れ成分が生じているのが観察される。Fig. 3 (b)の等時線の変形は、 y 方向円柱要素の軸の下流での交差部中心から離れる向きの二次流れ成分の存在と、逆に軸より若干ずれた y 方向円柱要素側面の下流での y 方向に交差部に向かう二次流れ成分の存在を示している。これらの二次流れ成分の向きと等時線のスケッチを Fig. 4 (a), (b)に示す。



(a) Biplane grid



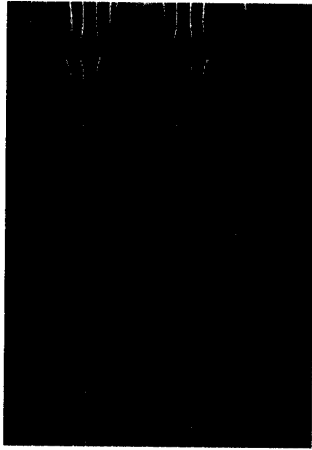
(b) Intersection grid



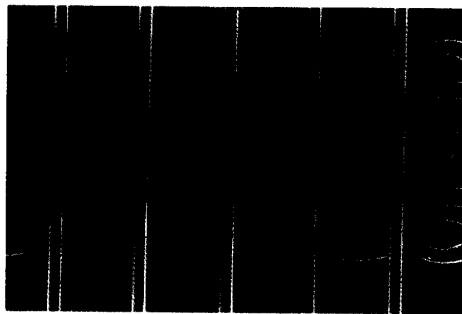
(c) Woven screen grid

l mm	l/d	β
35	3.5	0.51
40	4.0	0.57
50	5.0	0.63

Fig. 2 Grid models



(a) Wire direction ; y



(b) Wire direction ; z

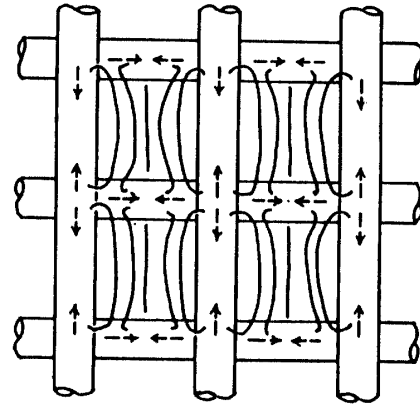
Fig. 3 Visualization behind biplane grid by hydrogen bubble method

3.1.2 相貫格子

Fig. 5 は $\beta=0.64$ の相貫格子背後の y 方向に張られたワイヤからの水素気泡の等時線を示す。交差部近傍では z 方向円柱要素の軸上を交差部中心に向かい、その円柱要素側面の下流では z 方向に交差部より離れる二次流れ成分の存在を示す等時線の変形が見られる。これらの二次流れの向きと等時線のスケッチを Fig. 6 に示す。なお Fig. 6 および後述の Fig. 8 では等時線の変形より判別できる二次流れ成分の向きを破線の矢印で、さらにその結果流れ場の対称性より予測される二次流れ成分の向きを点線の矢印で表している。

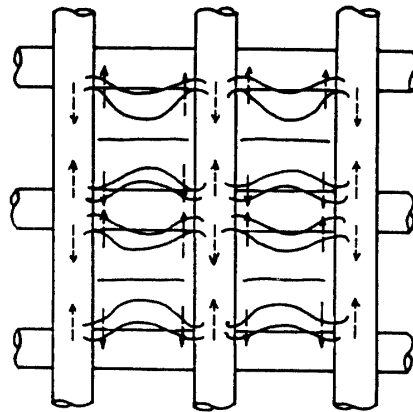
3.1.3 平織金網格子

Fig. 7 は $\beta=0.64$ の金網格子背後の y 方向に張られたワイヤからの水素気泡の等時線を示す。z 方向の円柱要素が上流側に配置される場合の交差部近傍において



◎ Flow

(a) Wire direction ; y



◎Flow

(b) Wire direction ; z

Fig. 4 Sketch of hydrogen bubble behavior behind biplane grid

は気泡がなくその周囲の等時線は交差部より z 方向に離れる向きの二次流れ成分が存在することを示している。逆に y 方向の円柱要素が上流側に配置される場合の交差部近傍においては z 方向円柱要素の軸の下流で交差部に向かう二次流れ成分の存在が観察される。これらの二次流れの向きと等時線のスケッチを Fig. 8 に示す。

なお、本実験の条件下では開口比を $\beta=0.51\sim 0.64$ の範囲に変化させても各格子モデルにおける等時線パターンは上述の場合と同様であった。

3.2 染料注入法による二次流れの観察

3.2.1 二面格子

$\beta=0.57$ の二面格子の上流より $y/d=0, z/d=0$ の位

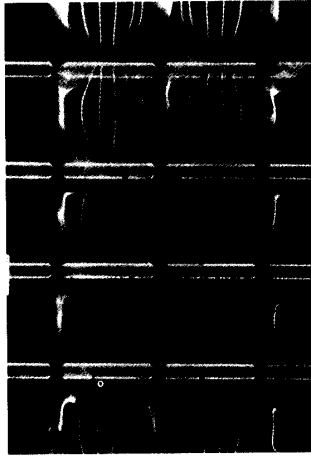


Fig. 5 Visualization behind intersection grid by hydrogen bubble method

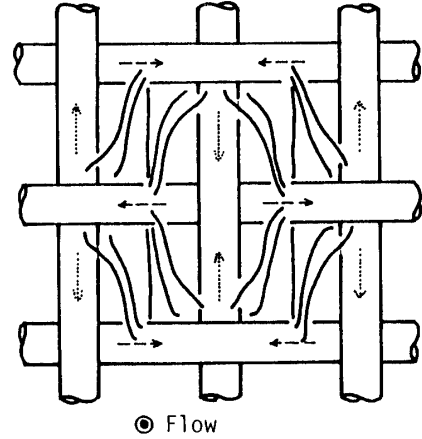


Fig. 8 Sketch of hydrogen bubble behavior behind woven screen grid

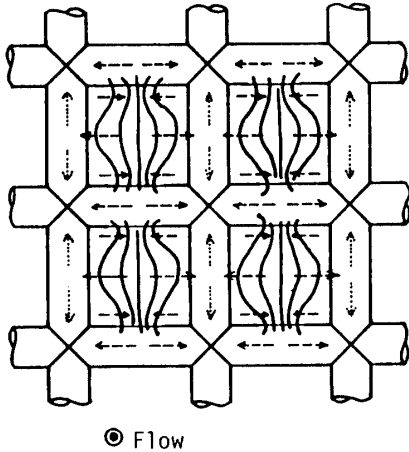


Fig. 6 Sketch of hydrogen bubble behavior behind intersection grid

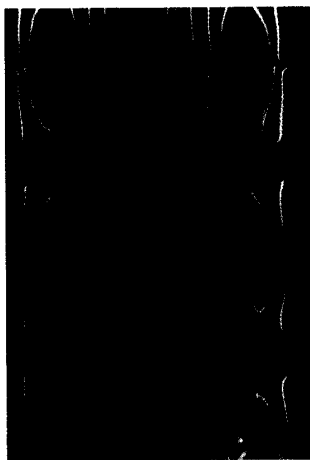


Fig. 7 Visualization behind woven screen grid by hydrogen bubble method

置に染料を注入した場合の格子背後の二次流れの可視化写真を Fig. 9 に、そのスケッチを実線で Fig. 10 に示す。なお Fig. 10 中の破線は染料の注入位置を $y/d=0, z/d=0$ より僅かに y 方向にずらした場合に得られた二次流れの観察結果を示す。したがって、二面格子の場合には y および z 方向の円柱要素の軸の背後では交差部よりそれぞれの軸方向に離れ、それぞれの円柱要素側方の下流では交差部に向かう二次流れが生じていることが分かる。ただ y 方向円柱要素の背後と z 方向円柱要素の背後とでは生成する二次流れの空間的寸法がかなり異なっているようである。

3.2.2 相貫格子

$\beta=0.57$ の相貫格子の上流より $y/d=0, z/d=0$ の位置に染料を注入した場合の格子背後の二次流れの可視化写真を Fig. 11 に、そのスケッチを実線で Fig. 12 に示す。相貫格子の場合、交差部近傍の背後において y および z 方向の二等分線上に沿って交差部中心より離れ、それぞれの円柱要素に沿って交差部に向かう二次流れが生じていることが分かる。二次流れの存在領域が若干異なるもののおおむね交差部近傍における二次流れの回転方向は二面格子の場合と反対になる。

3.2.3 平織金網格子

$\beta=0.57$ の金網格子の上流より $y/d=0, z/d=0$ の位置に染料を注入した場合の格子背後の二次流れの可視化写真を Fig. 13 に、そのスケッチを実線で Fig. 14 に示す。金網格子の場合、 $y/d=0, z/d=0$ の交差部において上流側に配置される円柱要素が隣接する交差部において下流側に至る間に染料は円柱要素の上流面側から下



Fig. 9 Visualization behind biplane grid by dye method

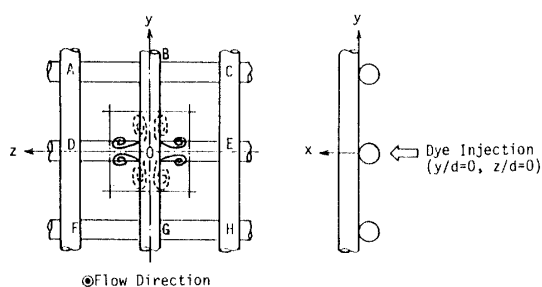


Fig. 10 Sketch of dye behavior behind biplane grid



Fig. 11 Visualization behind intersection grid by dye method

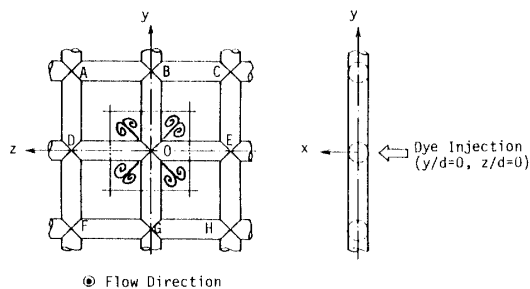


Fig. 12 Sketch of dye behavior behind intersection grid



Fig. 13 Visualization behind woven screen grid by dye method

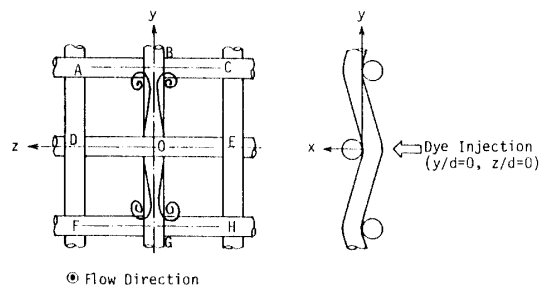


Fig. 14 Sketch of dye behavior behind woven grid

流面側に達し、その隣接する交差部近傍において下流側に位置する円柱要素の背後で y および z 方向に対称な回転方向をもつ二次流れが生成されていることが分かる。したがって、円柱要素間のメッシュ部(透過部)における回転方向はただひとつとなり、さらにそれによるメッシュ内の循環は de Bray²⁾の予想したように隣接するメッシュ間で反対方向、対角するメッシュ間で同一方向となることが分かる。

4. あとがき

円柱要素より構成される3種類の格子形状を有する正方格子モデルの背後に生成する二次流れを水素気泡法および染料注入法を用いて可視化し、格子形状ならびに開孔比による二次流れ構造の相違について若干明らかにすることができた。二面格子および相貫格子の場合、一つのメッシュを通過した流体の二次流れによ

る循環は相殺されるが、円柱要素の交差部近傍における二次流れの方向は両格子モデルについてほぼ反対となる。平織金網格子の場合、一つのメッシュの周囲で円柱要素が上流側から下流側に至る方向に円柱要素の背後で二次流れが生じるため、そのメッシュ内で循環を有するとともに隣接するメッシュでは反対符号の循環を示すこととなる。なお、本実験では定量的計測を行っておらず、また開口比の変化範囲が小さかったためか、どの格子形状の場合にも開口比の影響は認められなかった。

謝 辞

本研究を遂行するに当たり、多大な御援助を賜った

東亜大学工学部影山芳郎教授、ならびに実験装置の製作に御助力を頂いた井上忠義技官に厚く謝意を表します。また本研究に協力された上山顕治・清水律治の両氏に感謝致します。

参 考 文 献

- 1) M. S. Uberoi and S. Wallis : The Physics of Fluids, Vol.10, No.6, pp.1261-1224(1967)
- 2) B. G. de Bray : A.R.C, Reports and Memoranda, No.3578, pp.1-18(1967)
- 3) 古屋・大坂:日本機械学会論文集,40巻,339号, pp.3045-3053(1974)

(平成3年4月15日受理)