

千鳥配列の円管群内の流路抵抗特性

福山大学工学部

正会員 梅田眞三郎

西部技術コンサルタント

正会員〇花澤 潤

1. まえがき

直列及び千鳥配列の円管群内の流れについては、数多くの研究成果が得られている。それらのほとんどは、単一円柱を基本として流れの把握を試みている。しかしながら千鳥配列の場合には、円管背後に形成される渦と主流が複雑に関係した流れとなっている。本研究では、円管径に比べて管路水深の小さい千鳥配列の円管群流路内の流れ¹⁾における交差流れに着目して、圧力及び流速測定から流路抵抗特性の解析を試みた。

2. 実験方法

千鳥配列の円管群内での流れの変化を調べるために、Table 1 に示すような配列の異なる6種類の円管群を製作した。それぞれのタイプ名にみられる 30、45及び 60の数字は、円管の中心（円管の隙間の中心）を結ぶ交差線の角度を表している。

それぞれの円管群に対して管路水深を 8mmとし、上流側の水位 H_u や下流側の条件を種々に変化させて実験を行った。下流側条件としては、円管群下流端に逆L型の補助管路を取り付け、その末端部分の流出口の数を変化させた場合とその補助管路を取り外した開放の場合を試みた。その実験装置の概要を Fig.1に示す。図中の×印の測定点にてピエゾ水頭による圧力測定及び二次元レーザ流速計（LDV）による流速測定を行った。

3. 実験結果と考察

千鳥配列の円管まわりの流れは、円管の隙間を流れる主流と円管背後の後流とが関係した複雑なものとなっている。その主流は、円管の横方向の隙間においてX字型の交差流れを形成し、単一円柱及び直列配列の円管群などとは違った流れになっていると思われる。従って、円管群内の流路における抵抗特性などを検討する場合には、縦、横及び対角方向の円管間隔などの流路形態と流れとの関係に着目すべきであると思われる。

そこで、区間長Lの千鳥配列の円管群流路内において圧力水頭と速度水頭の和である比エネルギーEの変化、すなわち損失水頭 ΔE から円管群内の流路抵抗に関する考察を試みる。Fig.

2 に示すような円管まわりの二次元流れを考え、損失水頭を区間長で無次元化した $\Delta E/L$ に対する流れと流路形態に関係するパラメータを次元解析的に求める。

千鳥配列の円管群内では、交差流れにより遠心力の影響を受けていると思われる。そこで、Fig.2 に示すような菱形ABCDにおいて、左右の交差流れの流線の一部は、円管の対角方向のそれぞれの中心を通過するものとする。図中に示すように、対角方向のそれぞれの中心を通り、その点で図中の破線に接する曲線を考え、その曲率半径をRとする。円管半径rに対する曲率半径Rの比をCrとすると、 $Cr = r/R = 0.5$ ・

Table 1 Types of cylinder bundles

(Unit:mm)						
Type	30-1	30-2	30-3	45-1	60-1	60-2
Diameter:D	18	25	32	18	18	25
Length:L	426	436	447	276	266	266
Test section	Width:w	200	200	200	200	200
	Number of tube banks:n	25	20	25	33	25
Aspect ratio:Y/X	0.54	0.54	0.54	0.81	1.16	1.16

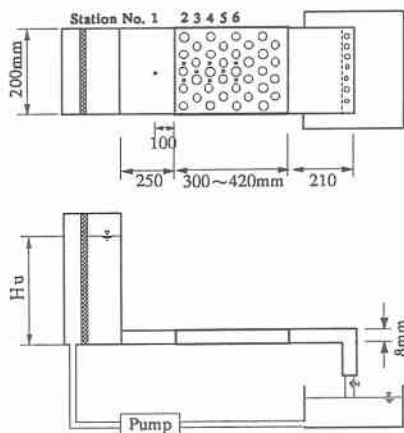


Fig.1 Schematic of experimental setup

D/R であらわされる。

さらに、交差流れの場合・分流角度が異なることからの係数 C_r を補足すること及び流路抵抗は円管の配列形状に関係する流路形態によって変化するものと考え、以下に示す流路形態に関係するパラメータを選んだ。なお、それぞれの最後のカッコ【】内に形状比の形で係数を示している。

(1) 菱形の断面積 $Ad = X \cdot Y$ と菱形内の円管の面積 $Ac = \pi D^2 / 4$

$$[C_f = (Ad - Ac) / Ad]$$

(2) 全水路幅 W と横一列上に並ぶ m 個の円管の横方向隙間の全長 $Tl =$

$$m \cdot S_y [Cl = Tl / W]$$

(3) 円管の横方向隙間長さ $S_y = Y - D$ と対角方向隙間長さ $S_g = X /$

$$\cos(\theta/2) - D [C_g = S_y / S_g]$$

(4) 円管の中心での縦間隔長さ X と横間隔長さ Y [$Ca = X / Y$]

これらの(1)から(4)での形状に関係するパラメータは、 X 、 Y 及び D によって決まり、一部重複する形で考慮したものとなっているが、流路抵抗にはそれぞれの諸量が独立な形で関係するものと考え、損失水頭比 $\Delta E / L$ は、

$$\Delta E / L = f(\rho U_{\max} \cdot h_D / \mu, R / (0.5 \cdot D), Ad / (Ad - Ac), W / Tl, S_y / S_g, X / Y)$$

と表される。なお、 Re 数に関しては、円管群内の最小隙間での流速 $U_{\max}$

を代表流速とし、円管の対角方向隙間での水力直径 h_D を代表長さとした。その隙間の長さ S_g と円管群流路厚さ d から $h_D = 2 \cdot S_g \cdot d / (S_g + d)$ となる。

以上の解析を基にして、実験計測で得られた圧力や流速データから Re 数に対する $\Delta E / L$ に係数を乗じたものの変化を Fig.3 に示す。いずれの場合も Re 数の増加に対して K_i が増大している。特に、配列交差角が大きい Type 45-1、60-1 及び 60-2 では $\Delta E / L$ が急激に増大している。また、同じ配列交差角の場合の K_i の変化は、ほとんど同じとなっている点に注目すべきである。また K_b は、いずれの配列交差角のものも Re 数の変化に対してほとんど重なる形で増大している。前者の K_i には配列交差角による違いが現れ、後者の K_b は流れ及び流路などの配列条件をほとんど考慮した形での円管群内の流路抵抗を示しているものと思われる。

4. 結論

円管群内でピエゾ水頭の測定及びLDVによる流速測定による流動解析を行った。その結果、円管の対角方向での水力直径を代表長さとした Re 数に対する配列交差角の違いによる損失水頭の変化から円管群内の流路抵抗特性を明らかにすることができた。

なお、本研究を進めるにあたって「財団法人中国電力技術研究財団」及び「ウエスコ土木技術振興基金」による研究助成を得た。ここに記して謝意を表する。

<参考文献>

- 1) 梅田眞三郎、Wen-Jei Yang、花澤潤：千鳥配列の円管群流路内の流れの可視化、可視化情報、Vol. 16、Suppl. No.2(1996)、pp.155-160

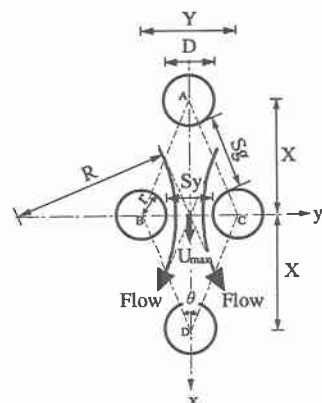


Fig.2 A schematic diagram of flow in cylinder bundles

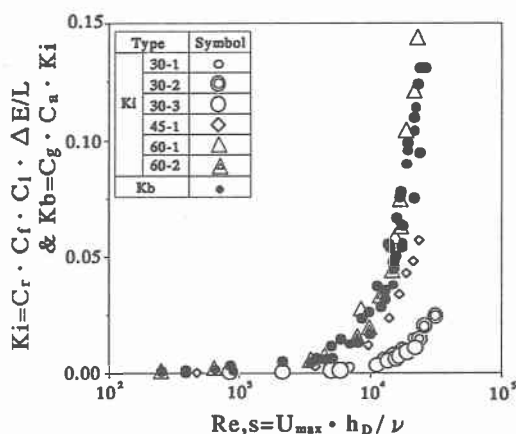


Fig.3 Change of K_i and K_b versus Re,s