

京都大学 工学部 正員 中川 博次
 京都大学 工学部 正員 鈴木 幸一
 広島県 〇河村 康

1. ま え が き

開水路せん断流中におかれた円柱周辺部の流れは、円柱底部近くの糸巻渦流および円柱からやや離れたところのゆるやかにわん曲する流れとでその特性が異なるため別々に考えられてきた。先の報告¹⁾では円柱よりの断面内の糸巻渦の特性について述べたが、本報告では流れがゆるやかにわん曲する場合の二次流について、Hawthorneの考え方に基づき鉛直方向流速成分 U_z を無視した場合の解析結果を補うために、 U_z の近似計算について考察し、5孔球形ピトー管によって三次元的に流速を測定した結果を説明しようとしたものである。

2. 理論的考察

Hawthorneによると、せん断流がゆるやかにわん曲する場合には、主流をポテンシャル流としそれからの擾乱流を考慮し、渦度保存則を用いると、ポテンシャル流向量、それに垂直方向および鉛直上向き方向の渦度成分、 ζ_1, η_1, ζ_2 はそれぞれ、

$$\zeta_1 = z \cdot f \cdot \int_0^\theta \frac{d\theta}{f^2}, \quad \eta_1 = \frac{1}{f}, \quad \zeta_2 = 0 \quad (1)$$

となる²⁾。ここで、 θ は水路方向とポテンシャル流向量とをなす角で、 f はポテンシャル流の合速度である。もし、円柱の影響のない位置での量に0、水面における値に1を付けると、上流側基準断面での流速が対数分布

$$\frac{\partial U_0}{\partial z} = \frac{U_0}{K} \cdot \frac{1}{z} \quad (2)$$

を示すとすれば、適当な境界条件を用いることによって(1)、(2)式から二次流成分 U_1, U_2 が求まることに783が解析解が求まらないので直ちに計算をすることはできない。そこで、まず境界条件として水面では、(5, n) 面上におけるポテンシャル流を仮定し、これと Bernoulli 式を用いると、

$$U_{s1} = U_{01} \cdot f \cdot \cos \theta, \quad U_{n1} = 0, \quad U_{z1} = U_{01} \cdot f \cdot \sin \theta \quad (3)$$

を得る。ここで、 θ は

$$\tan \theta = \frac{U_{z1}}{U_{s1}} = \frac{dh}{ds} = - \frac{f \cdot U_{01}^2}{g} \cdot \frac{df}{ds} \quad (4)$$

で与えられる。第一次近似として、 $U_z = 0$ を用いると、 U_s および U_n が計算でき、この U_s および U_n を用いて U_z を計算する。もし、直交曲線座標系の連立式を各流線に沿う微小区間での円筒座標系の連続式、

$$\frac{\partial U_r}{\partial r} + \frac{U_r}{r} + \frac{\partial U_\theta}{r \partial \theta} + \frac{\partial U_z}{\partial z} = 0 \quad \text{で近似させ、} z \text{ 方向に2回積分すると、}$$

$$[U_z(z)]_0^z = - \int_0^z \left(\frac{\partial U_r}{\partial r} + \frac{U_r}{r} + \frac{\partial U_\theta}{r \partial \theta} \right) dz \quad (5)$$

となるが、ここで $\frac{\partial U_r}{\partial r} \doteq \frac{\partial U_n}{\partial n}$, $\frac{U_r}{r} \doteq \frac{U_n}{nK}$, $\frac{\partial U_\theta}{r \partial \theta} \doteq \frac{\partial U_s}{\partial s}$ と近似すると、上で求めた U_s および U_n を用い、 $U_z(0) = 0$, $U_z(h) = U_{01} \cdot f \cdot \sin \theta$ という境界条件で2回積分した $\frac{\partial U_{z1}}{\partial n} + K_1 U_{z1}$ を計算し、(5)式を数値計算して U_z を求める。

3. 実験的考察

三次元的流速は、直径 8 mm の5孔球形ピトー管に差圧計を接続し、動圧計を用いて図-1に示す測点について

と測定されたが、その一部が図-2~図-6に示されている。
 実験条件は、円柱径 D が 10 cm、水深 h_0 が 9.84 cm、平均流速 U_{0m} が 47.6 cm/sec である。図中、破線、実線および点線はそれぞれ、 U_s 、 U_n および U_z に関する計算曲線である。 $\psi/U_{0l} = 0.0$ すなわちよどみ面内では、図-2 (測点 0-5) および図-3 (測点 0-6) に示されるように、実測値は計算値とよく一致しているが、測点 (0-5) で水深中央付近で下向きの流速成分が顕著なのは円柱前面底部への渦の集中の影響を示しており、ここで取り扱った二次元渦流保存則の適用限界を示している。

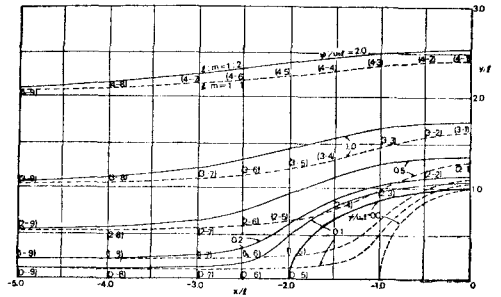


図-1 測定点

$\psi/U_{0l} = 0.5$ の流線に沿った各表点の流速分布が図-4 (測点 2-1) 図-5 (測点 2-4), および図-6 (測点 2-7) に示されている。測点 2-4 では U_z が理論曲線とは異なる特性を示しているが、これは円柱底面近傍での利離渦の影響を受け底面近くで上向きの流れが生じていることを示しており、また測点 2-1 では明らかに円柱側面での流れの利離のため U_n が水面で非常に大きくなっているが、 $U_n \neq 0$ の仮定は成り立たないため理論式は実測値を十分説明し得ない。利離渦の影響を受けやすい領域 ($\psi/U_{0l} > 1.0$) においては、計算式を導く際の仮定が十分妥当性があり、計算式と実測値とはよく一致を示したため、ここに挙げたように、円柱の近く近傍では円柱底面近傍での三次元的利離渦が発生など、流れが本質的に異なってくるので、Hawthorne の考え方を拡張していても限界があると考えられる。

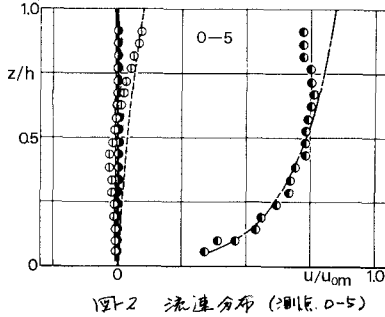


図-2 流速分布 (測点 0-5)

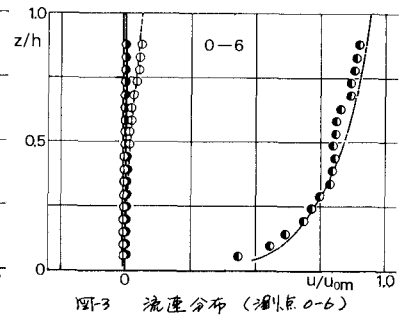


図-3 流速分布 (測点 0-6)

生じていることを示しており、また測点 2-1 では明らかに円柱側面での流れの利離のため U_n が水面で非常に大きくなっているが、 $U_n \neq 0$ の仮定は成り立たないため理論式は実測値を十分説明し得ない。利離渦の影響を受けやすい領域 ($\psi/U_{0l} > 1.0$) においては、計算式を導く際の仮定が十分妥当性があり、計算式と実測値とはよく一致を示したため、ここに挙げたように、円柱の近く近傍では円柱底面近傍での三次元的利離渦が発生など、流れが本質的に異なってくるので、Hawthorne の考え方を拡張していても限界があると考えられる。

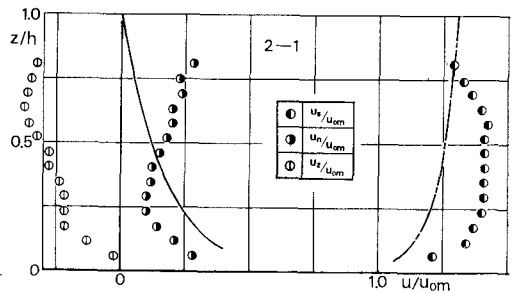


図-4 流速分布 (測点 2-1)

と考える。Hawthorne の考え方を拡張していても限界があると考えられる。

4. 仮定と仮定

利離渦域と利離渦外域とは連続しているにもかかわらず、別々に境界条件を仮定して解析しているが、利離渦の影響を強く受ける場では擾動流の仮定は認められなくなり、 U_z 成分を考慮してもこの解析方法には限界があり、利離渦の影響を重ね合わせた考察が今後必要であろう。

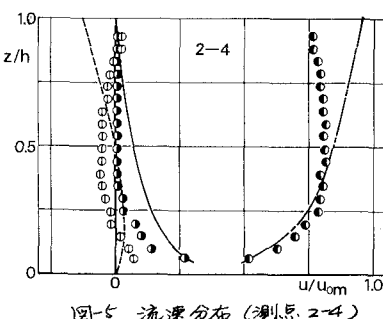


図-5 流速分布 (測点 2-4)

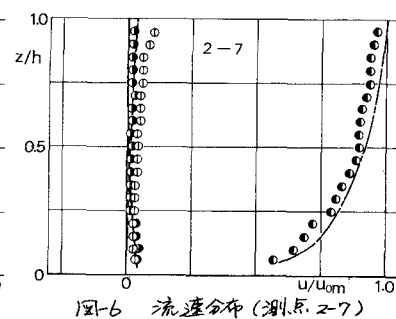


図-6 流速分布 (測点 2-7)

< 参考文献 >

- 1) 鈴木、河村：橋脚底部に発生する馬蹄形渦について 第27回年講 1972.10
- 2) 中川、鈴木：円柱周回の流れと局所洗掘について 第16回水理講演会 1972.2
- 3) Hawthorne, W.R.: The Secondary Flow About Struts and Airfoils, *Trans. of Aeronautical Sciences* 1954.9