

II-326

定常流中に置かれた円柱後流域の流速について

防衛大学校 正員○林建二郎

防衛施設庁 亀川芳三

防衛大学校 正員 重村利幸

1. はじめに

円柱周辺の流れ場を正しく評価することは、海洋構造物や河川構造物の橋脚等に作用する流体力¹⁾や、その周辺に生じる局所洗掘の解明において重要である。剥離を伴う円柱後方流れの数値解析法の一つとして渦糸モデルが提案されている。これは、非粘性ポテンシャル渦で示される渦糸を用いて剥離点からの放出渦を表現し、円柱後方に形成される渦列の挙動を評価するものである。この渦糸モデルにより、円柱後方渦列の生成過程等はかなり評価可能であるが、円柱に作用する流体力の評価はまだ不十分なようである。その理由としては、渦の発生機構（剥離点、発生渦強度）や減衰機構等の渦の力学機構に関する十分な定式化が困難なためと考えられる。

本報告は、これら問題点に対する考察を目的として、従来あまり行われていない円柱後流域流速の実測値と渦糸モデルによる計算値との比較・検討を行ったものである。

2. 実験装置及び方法

図-1に実験装置の概略を示す。実験には、長さ4m、幅10cm、高さ10cmのアクリル製開水路を用いた。供試円柱（アクリルパイプ製、直径 $D=1.25$ cm）は、3次元移動架台に片持梁型で取り付けられている。円柱後流域の水路方向流速成分 u の測定をレーザードップラー流速計を用いて行った。流速測定点は、水路幅中央の低面より2.5cmの点に固定した。円柱がない場合の u の時間平均値を主流速度 U とした。円柱を流れの中に入らし、水路上流方向 X 、水路直角方向 Y に移動することにより円柱後流域の流速 u の場所的変化を調べた ($X=1.5, 2.0, 3.0, 5.0, 7.0, 9.0, 18$ cm、 2.5 cm $<Y<2.5$ cmの間2mmピッチ)。主流速度 U は10cm/s (Re数=1250)、水深は6cmである。

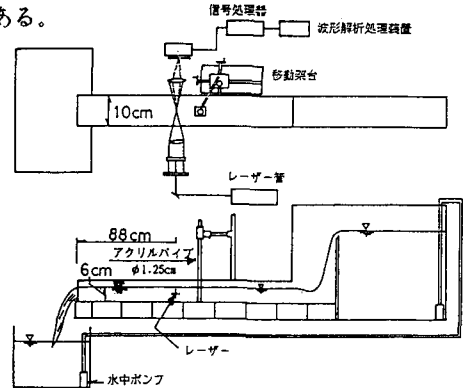


図-1 実験装置

3. 渦糸モデル計算法

主流速度 U を有する一様定常流中に置かれた円柱周辺に N 個の任意強さを有する渦糸が存在する場合の複素ポテンシャル W は、(1)式のように表せる。式中、 Φ :速度ポテンシャル、 Ψ :流れ関数、 a :円柱半径= $D/2$ 、 Γ_k : k 番目の渦糸の循環、 $Z=X+iY$ 、 $Z_k=X_k+iY_k$: k 番目の渦糸の位置、 $Z_k=X_k+iY_k$ 。(1)式で示される複素ポテンシャルを用いると、円柱周辺の任意点 $Z=X+iY$ における流れの方向流速 u は dW/dZ の実数部で示される。Stansby²⁾により提案された計算法を基に(1)式の数値計算を行った。

計算に用いた主な仮定条件を以下に示す。

- 1) 境界層剥離位置は、 $X=0$ 、 $Y=\pm a$ に固定した。
- 2) 渦糸の循環の大きさは、剥離点より各計算時間ステップ内に発生した循環 ($\Gamma=1/2 \cdot U_s^2 \cdot \Delta t$, U_s :剥離点での流速) に等しく、与えられた循環は、減衰することなく時間的に一定である。
- 3) 各々の渦糸の間隔と循環の方向により、渦糸の打ち

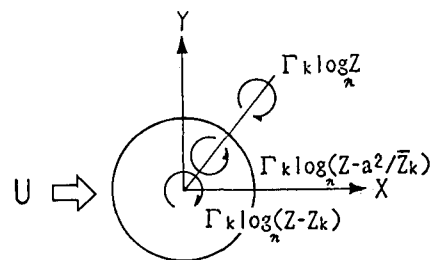


図-2 渦糸モデルの記号と座標系

$$W = \phi + i\psi$$

$$= U(Z + a^2/Z) \quad (\text{第1項})$$

$$+ i/2\pi \cdot \sum_{k=1}^N \Gamma_k \log(Z - Z_k) \quad (\text{第2項})$$

$$- i/2\pi \cdot \sum_{k=1}^N \Gamma_k \log(Z - a^2/\bar{Z}_k) \quad (\text{第3項})$$

$$+ i/2\pi \cdot \sum_{k=1}^N \Gamma_k \log Z_k \quad (\text{第4項})$$

----- (1)

消し、合体を考慮した。

4. 結果及び考察

主流速度 $U=10\text{cm/s}$ 、円柱半径 $a=0.625\text{cm}$ 、計算時間ステップ $\Delta t=0.02\text{sec}$ の計算条件で得られた、渦糸配置の無次元時間（ $U \cdot T/a$, T =時間）変化の一例を図-1に示す。図中丸印は循環方向が時計回りの渦糸を、三角印は反時計回りの渦糸を示す。渦糸モデル計算結果によるこのカルマン渦列は、両列間隔 $=1.6D$ 、同じ列の渦間隔 $=4D$ で配置されているようである。この配置は、円柱からのカルマン渦列配置の通常実測値（両列間隔 $=1.3D$ 、同列の渦間隔 $=4.3D$ ）と若干異なっている。

図-4は、水路方向速度成分 u の時間平均値 $\bar{u}$ の空間分布の実測値と計算値を比較したものである。また、図中には、円柱回りに渦が存在しない場合の、ポテンシャル理論による流速値を点線で示している。この図より、

- 1) 円柱後流渦の影響は $-2\text{cm}<Y<2\text{cm}$ の範囲である。
- 2) 実測値 u の速度欠損の水路方向変化は、 $1.5\text{cm}<X<7\text{cm}$ の範囲で渦糸モデルによる計算値と良く一致している。
- 3) $X=1.5\text{cm}$ での実測値 $\bar{u}$ は X 軸を中心とした矩型分布を示し、 $-0.75\text{cm}<Y<0.75\text{cm}$ の範囲でほぼ一定な値を示している。

図-5は、 u の実測値と計算値の時間変動幅（ u の最大値と最小値の差）を、 $\bar{u}$ の空間分布と一緒にそれぞれ示した一例である。この図より、

- 1) 速度欠損域では、 u の変動幅は大である。
- 2) 計算値 u の変動幅は、実測値 u の変動幅の約 $1/2$ ~ $2/3$ である。これは、渦糸の発生・合体・消滅、並びに減衰機構等に対するモデル化が不十分なためと思われる。

5. おわりに

今後は、渦の発生・減衰機構や境界層剥離点等に関するより詳細な検討と考察を行うと同時に、振動流中や波動場中に置かれた円柱回りの流れに対しても、本研究と同様な測定・計算を行っていきたい。

<参考文献>

- 1) Hayashi K., Takenouchi T.: Characteristics of flow around a vertical circular cylinder in a wave, Coastal Engineering in Japan, Vol. 28, pp. 207-222, 1985.
- 2) Stansby, P. K.: An inviscid model of vortex shedding from a circular cylinder in steady and oscillatory far flows, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, pp. 865-880, 1977.

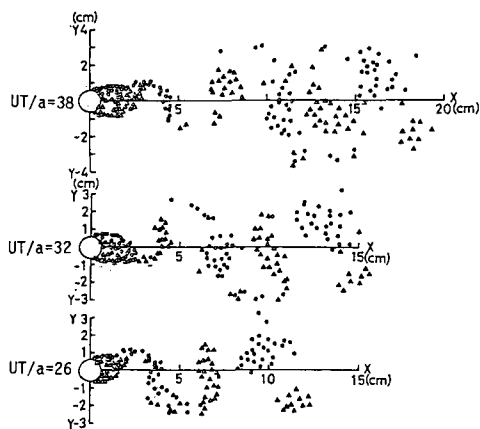


図-3 渦糸配置の時間変化

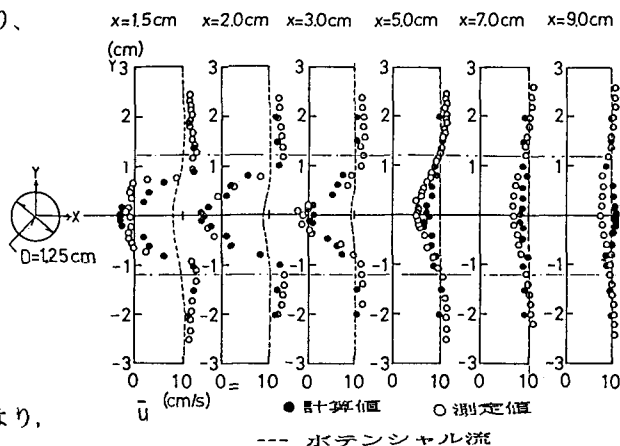


図-4 時間平均流速の空間分布

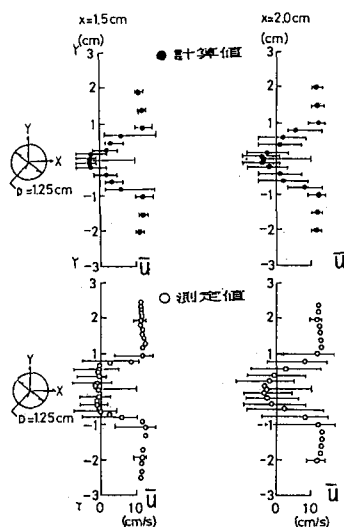


図-5 流速の時間平均値と変動幅