

振動流中の各断面物体まわりの流況シミュレーションに関する研究

愛媛大学工学部 正員 中村孝幸
 日立造船(株) 正員 榎本太司
 京都大学大学院 学生員 芝野真次

1. まえがき

既に著者らは、波動場中の柱状物体に作用する渦力を理論的に検討するため、発生渦と多数の渦糸の集合で近似する複数渦糸モデルを用いた流況並びに作用流体力の解析法について究明してきた。そして従来の円柱等の単純な断面形状についてしか適用できなかった等角写像を用いる手法にかわり、任意断面を有する柱状物体に適用できるわき出し分布法を用いた解析手法について明らかにし、それによる算定結果の一部を報告してきた。本報告では、まず最初に円柱物体を対象に従来の等角写像法である鏡像法による流体力の算定結果とわき出し分布法によるそれとの比較を行って解析法の妥当性について検討する。これに引き続き、任意断面物体の代表例として既に著者らや Graham により実験的な検討が行われている正方ひし形柱をとりあげ流況シミュレーションを行うと共に作用流体力の算定を行い、実験結果との対応を検討するものである。

2. 鏡像法とわき出し分布法による算定結果

わき出し分布法に基づく解析法の妥当性を検証するため、従来鏡像法に基づく解析法により流況並びに作用流体力の算定が行われている振動流中の円柱を対象に両解析法による算定結果の比較を行う。この比較の1例を示すのが図-1であり、流況シミュレーションを含む総合的な比較が可能と考えられる流れ方向に作用する流体力 F_x の時間位相 ωt による変動の算定結果について示すものである。なお、図中にはポテンシャル理論による流体力 F_{xp} の算定結果並びにわき出し分布法において重要となる物体断面曲線の縦糸分への分割数 N_s と3種類変化した場合の結果が示してある。計算に用いた条件は、表-1のものである中で、 D : 円柱径、 T : 振動流の周期、 U_m : 最大流速、 $K-C$: Keulegan-Carpenter数、 θ_0 : はく離点の角度座標、 Δt : 差分時間間隔である。そして振動流の流速は、 $U(t) = U_m \sin \omega t$ の表示によっている ($\omega = 2\pi/T$)。表-1に示すようにこの場合の $K-C$ 数は15であり、実際場では円柱の上下面で非対称な渦が形成される。しかしここでは上記の二つの解析法による結果の比較を目的に、非対称渦を発生させるための人工的なじょう乱は導入しておらず、流況は上下面対称条件となっている。図-1において F_x と F_{xp} の差が渦力であり、時間的な経過に伴う渦の発達により渦力の増大が見られる。そして、わき出し分布法による F_x の算定結果は分割数 N_s と36より108と増大させることによりほぼ鏡像法による算定結果に一致することが認められ、わき出し分布法に基づく解析法の妥当性が確認できよう。そして、渦を含む流況シミュレーションを行うに際し、 $N_s = 72$ と108とによる F_x の差異は小さいことから、分割数としては計算時間の少なからず $N_s = 72$ 程度が最適と判断される。

3. 正方ひし形柱まわりの流況シミュレーション
 任意断面物体の代表例として正方ひし形柱を採用し、以下に述べる実際計算のための仮定に基づき、表-2に示す種類の計算条件を用いて流況及び流体力の算定を行う。

i) 実際計算のための仮定: (a) 発生渦糸の初期位置 (x_0, y_0); 初期位置としては図-2に示すように、

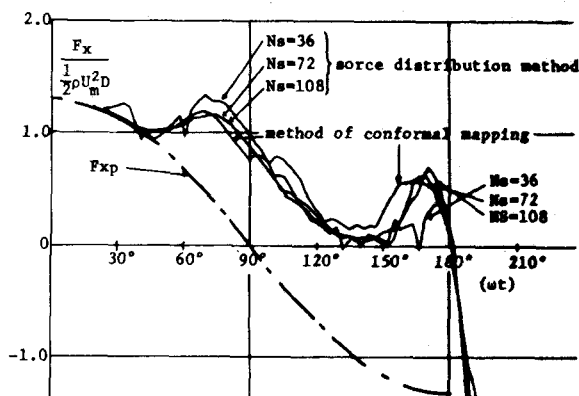


図-1 鏡像法とわき出し分布法による流体力の算定結果

正六边形柱のエッジ部の頂点よりεだけ離れた点において。そしてとして、式(2)による値を用いた。

$$\varepsilon = \begin{cases} 2 \cdot \sqrt{\frac{D\delta}{U_m}} & S \leq D \\ 2 \cdot \sqrt{\frac{D\delta}{U_m}} & S > D \end{cases} \quad (1)$$

D	T	U _m	K-C	θ _s	Δt
5cm	2.5 _{sec}	30 _{cm/sec}	15	90° -90°	0.02sec

ここにSは水粒子の半周期における移動距離であり、S<Dの場合のεは振動流境界層の厚さδの2倍であり、S>Dの場合は、Sのかわりに物体の代表径Dを代入したものである。(b)渦糸の半径r_v；渦糸間の距離Rが小さくなると、渦糸による誘起速度は異常に大きくなるため、R<r_vでは誘起速度を0とした。そして、渦糸が物体表面にr_vより小さな距離の位置に来たとき渦糸は消滅するものとした。r_vの初期値としては、上記のεとし、粘性渦モデルと同様に時間的にr_vは拡大するものとした。(c)渦糸の強さΓ；渦糸の循環Γは、式(2)で与えられるものとした。

$$\Gamma = \frac{1}{2} \Gamma_B(x_s, y_s) \Delta t \quad (2)$$

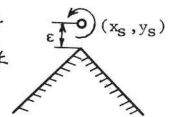
ここにΓ_B(x_s, y_s)は、初期位置(x_s, y_s)における流速ベクトルの絶対値である。

D	T	U _m	K-C	Δt
4.8 _{cm}	0.83 _{sec}	30 _{cm/sec}	5.2	0.01 _{sec}
"	1.67 _{sec}	"	10.4	0.015 _{sec}

(d)差分の時間間隔Δt；渦糸の運動方程式を解くための時間間隔Δtとして、式

(2)及び式(2)を考慮して、f(x_s, y_s)でKutta条件が満たされるように与えた。表-2 計算条件(ひ形柱)

(e)微少じょう丸；非対称渦パターンを誘起するため t_d=D/U_mの時間だけひ形上面のみの渦糸の初期位置を頂点より2εとし、この結果引き起こされる非対称性をじょう丸として採用した。



ii)算定結果：表-2に示す計算条件の各々について渦糸パターンの変化を時間位相ωt=0° 図-2 渦糸の初期位置

～540°にわたって計算してみた。図3、4は各々

K-C数=5.3, 10.6の場合について、上記の初期微少じょう丸の効果が直接的に残存していないと考え

うるωt=330°付近の渦糸パターンの算定結果を示す。

なお、ωt=0°～180°の間に発生した渦糸は、図面の左方遠くに流れ去っていることから図上には描いて

ない。そしてこれらの図から、微少じょう丸の導入

によりK-C数=10.6の図4では顕著な非対称渦パ

ターンを示すのに対し K-C数=5.3の図3では未だ

ほぼ対称な渦パターンになっていることなどがわか

る。また写真1、2は各々図3、4と同一の水理条

件下で時間位相もほぼ対応する

時の流況観測結果を示すものが

図3、4の計算結果はこのころの

流況をよく再現していることな

どが認められる。そしてこれらの

流況の観測結果と計算結果の比

較から、わずかに分布法に基

く解析法を用いて渦糸形成を

含む任意物体まわりの流況の算

定が行えるものと言えよう。

図-4 渦糸パターン

(参考文献)

(K-C数=10.6, ωt=330°)

写真2 ひ形まわりの流況

(K-C数=12, ωt=313°)

1)中村他, "わずかに分布法による渦糸の算定法", 第36回土木学会年講, 1981年

2)中村他, "振動流中の鋭い物体に作用する流体力に関する実験的研究", 第34回土木学会中四国年講, 1982年