

渦減衰モデルを導入した渦点法による 流体数値シミュレーション

6B-3

上野山英樹, 青木宏之, 田中康博

NTTデータ通信(株) 社会システム開発センター

1. まえがき 物体周りの高レイノルズ数流れを数値的に解析する方法として、最近、渦点法と呼ばれる非常に効率のよい手法が注目されている。しかし、現在の渦点法は物理的なモデル化が不十分であるため、物体に作用する流体力や、その周りの流れを十分にシミュレートできない。本報では、この問題点を解決するために、流体の粘性を考慮した渦減衰モデルを新しく提案した。また、このモデルの妥当性を検討するために角柱周りの流れに対して解析を行った。

2. 渦点法

鈍い物体周りの流れは、一般に流れが物体表面から剥がれ、剥離せん断層が後流中に放出される。渦点法は、物体表面の境界層(A-B-C-D)と剥離せん断層(A-A', B-B')を渦点の配列によって近似し、他の領域は、粘性のないポテンシャル流とすることにより、剥離流をモデル化する。(図1)境界層を近似する渦点(Γ_j)はcontrol-point(x印)にて境界条件を満足ように決定し、 Γ_a, Γ_b は剥離点(A, B)にある渦点を Δt 毎に放出させ、 δt 毎に移動計算を行う。(図2)

3. 渦減衰モデル

上述したように、一般に渦点法では、境界層及び剥離せん断層以外の領域の粘性を無視するため、物体に作用する流体力などについて現実的な結果が得られない。つまり、流体の粘性を考慮し、放出した渦点を減衰させる必要がある。現在、円柱断面に対して幾つかの減衰モデルが提案されているが、物体形状が変化した場合、適用が不可能であると考えられる。そこで、任意の物体形状に適用可能と思われる減衰モデルを以下に提案する。まず、後流に放出された渦点の運動エネルギーは、その渦点の持つ渦動粘性によって減衰すると仮定すると、次のような減衰法則が得られる。

$$d\Gamma/dt = -C \cdot |\Gamma| \cdot \Gamma \quad (3.1)$$

ここに、 C は後流の乱れの影響を表すが、そ

の値が不明確であるため、 C は流れに平行な断面幅(H)に比例すると考え、次式のように置くことにする。(図3)

$$C = 0.05 \cdot \log(H/D) \quad (3.2)$$

3. 解析結果

解析モデルを図4に示す。 B, D, α, C_D, C_L はそれぞれ断面幅、断面高さ、迎角、抗力係数、揚力係数である。図5, 図6に $B/D = 2.0$, $\alpha = 40.0^\circ$ における流れの様子(渦点分布, $T = 40.0$)と非定常抗力係数(C_D)、非定常揚力係数(C_L)の解析結果を示す。一般に、物体の空力特性は、これらの係数の時間平均値によって評価を行う。図7, 図8は、 $B/D = 1.0$ と $B/D = 2.0$ の断面に対して、迎角 α (風向)を変化させて、図6と同様の解析を行い、その時間平均値をプロットしたものである。解析は、各断面、 $\alpha = 5, 10, 15, 20, 30, 40^\circ$ の5ケースについて行った。図において、実線は風洞実験結果、●は減衰モデルを導入しない渦点法による解析結果、△は今回提案した渦減衰モデル(式3.1)を導入した解析結果である。図7, 図8から、渦減衰モデルを導入することにより、抗力係数($\alpha = 20^\circ \sim 40^\circ$)において、解析結果と風洞実験結果の対応が非常に良くなることが判る。また、 $\alpha = 0^\circ$ 付近の揚力係数の負勾配も解析によって再現されている。

5. あとがき

以上のような結果から、本解析で導入した渦

Numerical Simulation of the Flow around a Bluff Body by the Discrete-Vortex Method

using the Vortex-Decay Model

Hideki UENOYAMA, Hiroyuki AOKI, Yasuhiro TANAKA

NTT DATA COMMUNICATIONS SYSTEMS CORPORATION

減衰モデルは数値シミュレーションの精度を大幅に改善するもの
と考える。今後、他の断面に適用することにより、この
モデルの妥当性を検討していきたい。本シミュレーションは、
Alliant FX/4にて実行し、解析結果は、sun 3にて
可視化を行った。Alliant FX/4によるシミュレーションのCPU
タイムは、1ケースあたり、約4分30秒であった。なお、
本論文作成にあたり、徳島大学 宇都宮英彦教授の
多大な御指導があったことを付記する。

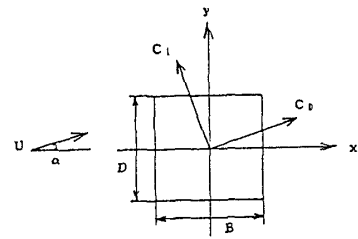


図4 解析モデル

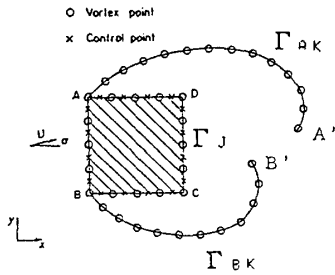


図1 渦点法 (特異点分布法)

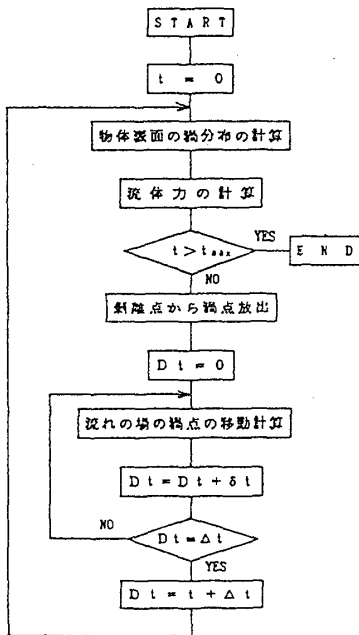


図2 フローチャート

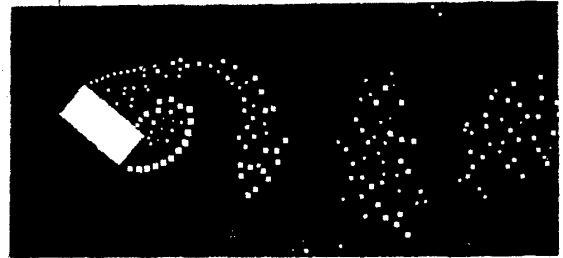


図5 流れの様子 (B/D=2.0, alpha=40°)

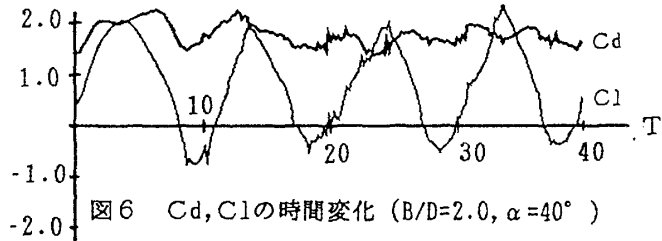


図6 Cd, Clの時間変化 (B/D=2.0, alpha=40°)

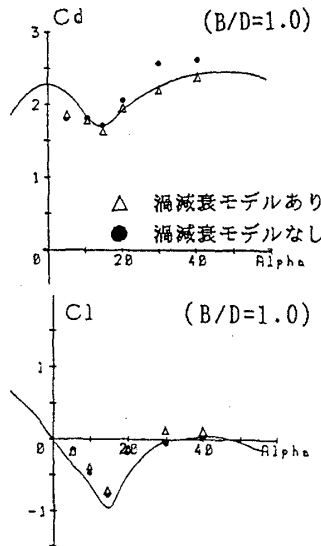


図7 Cd, Clとalphaの関係

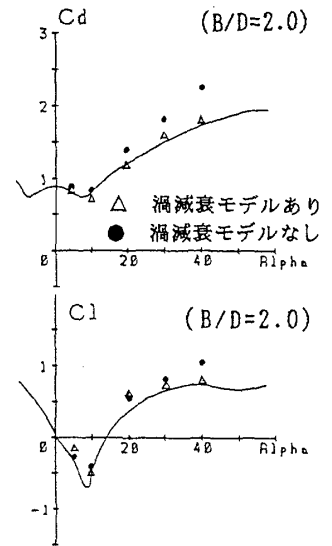


図8 Cd, Clとalphaの関係

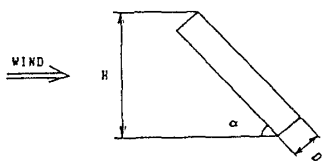


図3 渦減衰モデル

【参考文献】

1) 稲室ら; 風工学における流れの数値シミュレーション, 日本風工学会誌, 1986 2) 中村ら; 矩形およびH型断面柱の空力三分力特性について, 九州大学応用力学研究所所報 第40号, 1973