

○三井造船(株) 正員 平野廣和

中央大学 正員 川原睦人

1. はじめに

風工学の分野では、数値的に流れを解析して、それより情報を得ようとする試みは、さほど活発には行なわれて来なかった。この背景には、次の2点が起因すると考えられる。

(1). 解析を実行するための充分な能力・演算速度を持つ電子計算機が存在しなかった。

(2). 解析を実行するための技術・解析手法の検討が充分に行なわれていなかった。

すなわち、風工学上の問題が、たいへん複雑な現象であり、流速のたいへん速い流れを取り扱わなければならないからである。しかし、(1)の問題点は、超高速の科学技術計算専用電子計算機の出現で、ほぼ解決されつつある。残る問題点は、技術・解析手法の充分な検討と発展である。そこで著者らは、有限要素法を用いた高レイノルズ数の粘性流体解析手法を提案して来た。この手法を、円柱断面・橋梁断面等に適用し、空力3分力係数(C_D, C_L, C_M)・圧力係数(C_p)・ストロハル数(St)等及び流れの状態を解析し、各々の実験結果と比較・検討を実施して、妥当な結果を得て来た。さらに、本手法の妥当性を確認するために、構造物の代表例として豊富な実験データがある正方形角柱断面に適用し、迎角を変化させた場合の表面の圧力分布・3分力係数・ストロハル数を計算し、実験結果との比較・検討を実施した。

2. 本解析手法の特徴

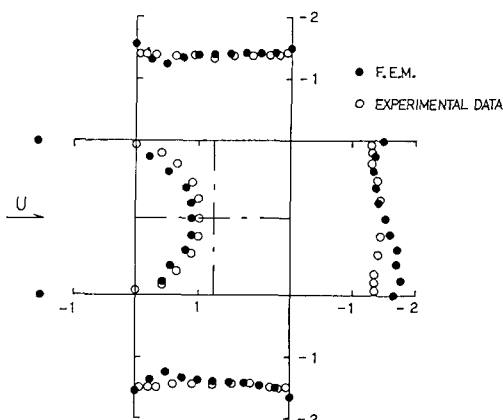
従来より発表されて来た数値解析手法のほとんどは、差分法等も含め、毎微小時間増分ごとに連立方程式を解きながら解析を進める陰的解析手法が中心であった。しかし、この解析手法は連立方程式を解くために、電子計算機の記憶容量及び演算時間を多大に必要とした。これに対して、本解析手法では毎微小時間増分ごとに連立方程式を解かず、解析が進められる陽的解析手法を用いている。このため、多大な記憶容量を必要としない。この点は、科学技術専用電子計算機の並行演算処理・アレープロセッサ機能等にたいへん適している。さらに、陽的解析手法を用いるときには、流速と圧力に形状関数と同じものを用いることができる。このためには、流速と圧力に同じ形状関数を用いることができるように、連続の方程式を変形する必要がある。温度が一定であると、圧縮性が存在する流体の状態方程式と、質量保存則から次の連続方程式を導くことができる。

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + u \frac{\partial \rho}{\partial x} + v \frac{\partial \rho}{\partial y} + \rho C^2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) = 0 \quad (1)$$

ここに、 $C = \sqrt{\partial P / \partial \rho}$ は、音速に対応している。 C^2 も無限大にすることにより、 $\nabla u = 0$ を満足する方程式である。

3. 正方形角柱回りの流れの解析

正方形角柱回りの流れの解析を行ない、大策¹⁾らの実験との比較を実施した。迎角は $\alpha = 0^\circ$ ・ $\alpha = 45^\circ$ の2ケースである。この時のレイノルズ数は、 $Re = 1000$ である。Fig-1には、迎角 $\alpha = 0^\circ$ の時の計算された圧力係数の時間的平均値と実験値との比較を示す。前面及び側面の圧力係数は、実験値とほぼ一致していることがわかる。しかし、背面下方では、解析の結果の方が負圧が若干大きくなっている。Fig-2~3には、角柱後方の流れの状態を示した図である。角柱から離れて行く渦の動き及び、角柱表面での渦の剥離が表現されている。

Fig-1 $\alpha = 0^\circ$

TIME= 4.30000 STEP= 10750.0

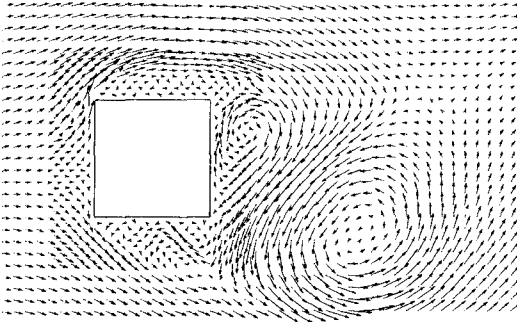


Fig-2 $\alpha = 0^\circ$

TIME= 4.40000 STEP= 11000.0

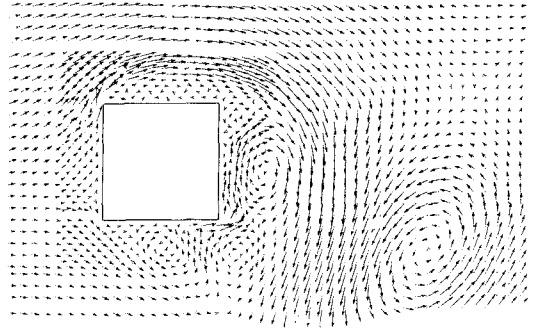


Fig-3 $\alpha = 0^\circ$

Fig-4には、迎角 $\alpha = 45^\circ$ の時の計算された圧力係数の時間的平均値と実験値との比較を示す。前面での圧力係数の分布は、実験値とほぼ良い一致を示している。しかし背面での圧力係数は、計算の方が若干負圧が大きくなっている。この要因として考えられることは、角柱後方での乱流の影響によるものと考えられる。この計算では、有限要素の分割よりも小さな渦は表現することができないからである。どの程度の渦まで計算上表現するのが、問題となる。理論上では、分子の大きさまで有限要素を分割し、それに見合う時間間隔で計算を実施すれば、乱流にも本手法が適用できると考えられる。Fig-5~6は、流れの状態を示した図である。 $\alpha = 0^\circ$ と同様に、渦の動きと剥離が表現されている。

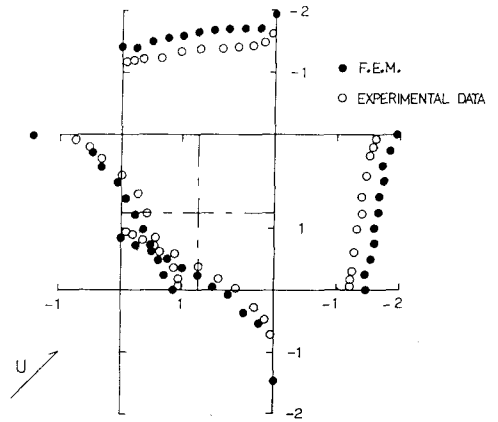


Fig-4 $\alpha = 45^\circ$

表-1には、解析により求めた3分力係数とストロハル数の時間的平均値と、実験値との比較を示したものである。迎角 $\alpha = 0^\circ$ 、 $\alpha = 45^\circ$ の両者とも、実験値とほぼ良い一致を示している。

TIME= 3.30000 STEP= 8250.0

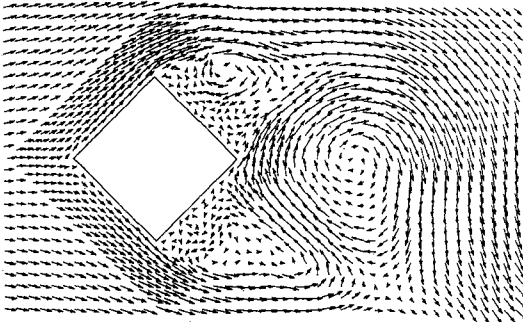


Fig-5 $\alpha = 45^\circ$

TIME= 3.40000 STEP= 8500.0

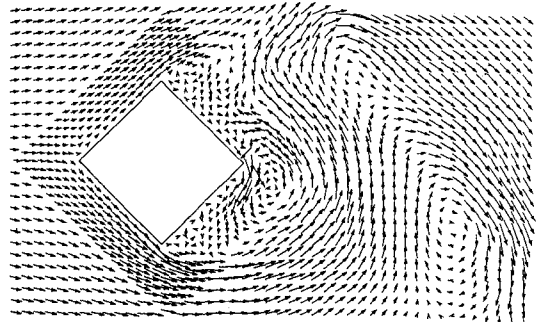


Fig-6 $\alpha = 45^\circ$

4. 終わりに

ここで提案した手法が、静止した物体に対する風工学上の問題の検討に有効な解析手段であると考えられる。今後の課題は、物体が動く、動的問題への拡張である。

<参考文献> 1) 大策 藤井 豊津・大屋, "一様流中に置かれた2次元静止矩形柱の空力3分力特性と圧力分布について" 構造物の耐風性に関するシンポジウム 1978

2) 平野・川原; 土木学会年次学術講演会概要集(1) 第35回, 36回, 37回, 38回

	$\alpha = 0^\circ$		$\alpha = 45^\circ$	
	解析値	実験値	解析値	実験値
C_D	2.242	2.293	2.516	2.479
C_L	0.003	0.0	0.023	0.027
C_M	-0.029	0.004	0.004	0.012
St	0.140	0.138	0.132	0.130

表-1