

I-315

2段階陽的有限要素法による立方体表面の圧力分布の解析

○正員 三井造船株式会社 平野 廣和
正員 中央大学 川原 陸人

1. はじめに

本来、土木構造物は3次元形状を持つものであり、これらに作用する流れを2次元流れとして扱うことのできる問題は限られてくる。これらの問題を実験的に解明しようとする、模型の製作や実験設備の大きさの制限から、2次元流れの場合より一層多くの困難を伴う。これにたいして、最近では超大型高速コンピュータの出現により、今まで困難とされてきた膨大な数値解析が、ハードウェアの面から解析することが既に可能となって来ている。この様なことから、本報告では2次元流れの問題で実績のある2段階陽的有限要素法を3次元流れの問題に拡張し、この手法を一様流中で詳細な圧力分布の測定結果がある実験結果と比較することにより、計算精度の検討を実施した。ここで扱ったのは、3次元立方体回りの流れの解析である。

2. 基礎方程式

基礎方程式は、3次元流れのNavier-Stokesの運動方程式及び連続方程式に、音速法の考え方を導入し、代表長さらびに代表流速を用いて無次元化を施すと、次式に示す運動・連続方程式を導くことができる。

$$\dot{U}_i + U_j U_{i,j} + C P_{,i} - \nu (U_{i,j} + U_{j,i}),_{,j} - f_i = 0 \quad (1)$$

$$\dot{P} + U_i P_{,i} + C U_{i,i} = 0 \quad (2)$$

ここで、 $U \cdot P \cdot C \cdot \nu \cdot f$ は無次元の流速・圧力・音速・摩擦を、添字 i, j は1, 2, 3をとる。式(1), (2)に対してガレルキン法を適用し、圧力項と粘性項に部分積分をほどこした上で、有限要素方程式に定式化する。解析領域は従来要素に比べ自由な要素分割ができ、かつプログラムのベクトル化が容易である変数分離型要素で離散化し、1次の形状関数で内挿補関する。また時間方向の離散化には2段階陽的解法を用いた。これが3次元流れにおける2段階陽的有限要素法である。

3. 解析モデル

解析領域は、一様流中で詳細な圧力分布の測定結果がある研究①と、またこれを確認実験した研究②との比較・検討を考慮の上に決定した。すなわち、図-1に示すように、横140.0・幅50.0・高さ10.0の領域の中に一辺が5.0の立方体が床の上に置かれている場合を想定して分割を実施し、ここでの総節点数を8302・総要素数を13930とした。立方体回りのX-Y平面における分割図を図-2に示す。なお、立方体表面での圧力解析点は251点である。ここに、研究①と同様な流速 $U_0 = 12.5$ の一様な流れを発生させ、この時の立方体回りの流れの状態ならびに圧力分布の解析を実施した。レイノルズ数は、研究①と同一とするために、 $Re = 44,000$ とした。境界条件は図-1より次のように定め、境界面ABCDより一様の流速 $U_0 = 12.5$ を与え、境界面ADHF, ABFE, DCGH, ACGHでは法線方向の流速を零、立方体表面では U, V, W の全成分の流速を零とした。解析に用いる無次元の諸係数は空気の流れということで音速を $C = 337.0$ 密度を $\rho = 0.139$ 、微小時間増分を $\Delta T = 0.00075$ とした。初期条件は、全領域において $U=V=W=P=0.0$ である。

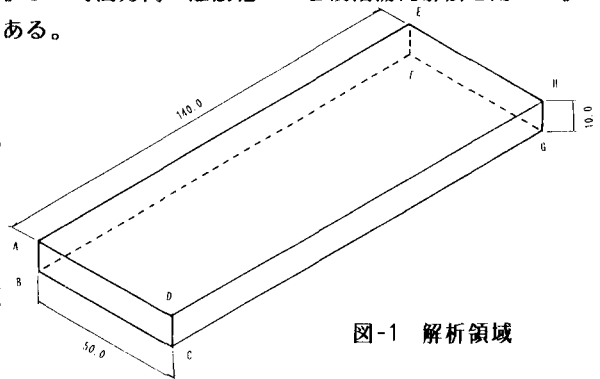


図-1 解析領域

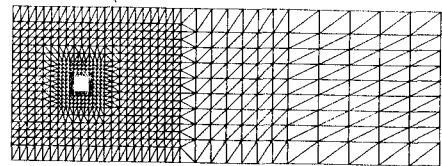
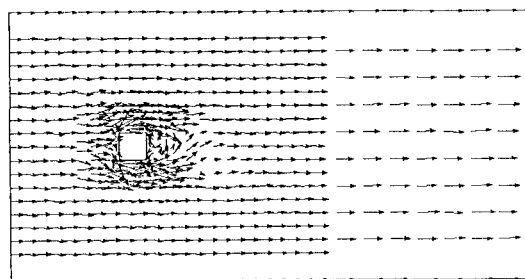
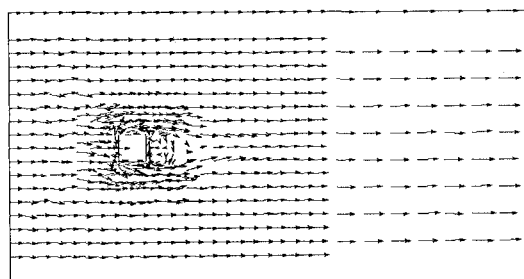
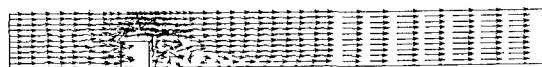


図-2 X-Y平面の有限要素分割図

Horizontal Section $Z=2.0$ 図-3Horizontal Section $Z=4.0$ 図-4longitudinal Section $Y=27.5$ 図-5

4. 解析結果

図-3～図-4には、無次元時間 $T=4.2$ の横断面 $Z=0.2, 0.4$ での流れの結果を、図-5には横断面 $Y=27.5$ の流れの結果を示す。立方体後方への流れ込みならびに渦の形成を見ることができる。横断面では高さの違いにより、流れの状態が異なっているのが、これは縦断面の流れと綿密な関係にあることを意味している。

図-6には研究①の立方体表面での圧力係数分布の風洞実験結果と解析結果との比較図である。

(a)が立方体に風が当たる面・両側面・上面、

(b)が背面である。両者を比較すると、圧力係数の分布にはわずかの違いはあるものの、ほぼ同様な分布形状を示している。ところで、この分布形状の差は、実験気流の乱れや風洞の境界層の度合などによるものと推定される。また、上面での圧力係数の分布実験同様に風向方向に負圧が強くなっていが、これは剥離流内に立方体上面が入り、再付着現象が生じているためと考えられる。これは図-5よりも見ることができる。なお、解析での最大負圧は風下隅角部に生じ、 $C_p \max = -0.69$ であり、研究②の測定によれば生じる場所もほぼおなじで、 $C_p \max = -0.65$ となっている。

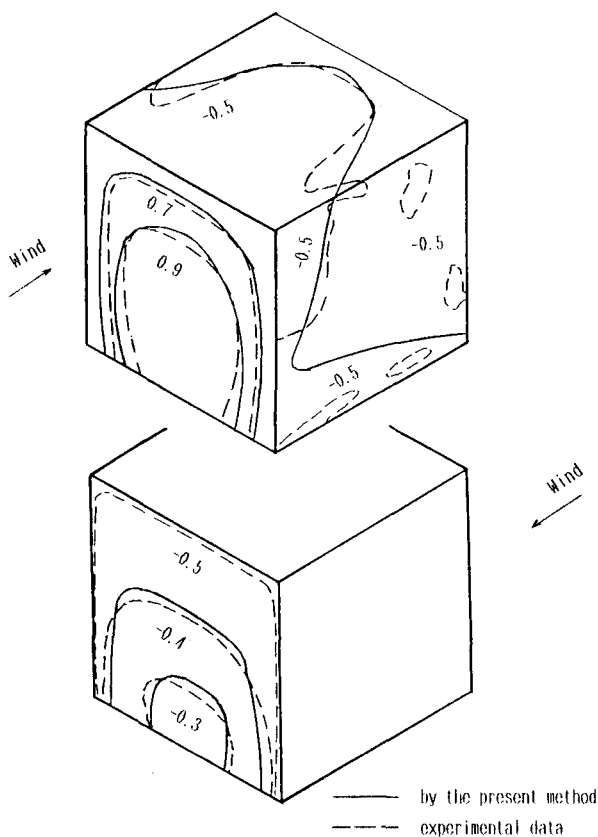
5. 終わりに

2段階陽的有限要素法による3次元流れの解析手法を一樣流中で詳細な圧力分布の測定結果がある実験結果と比較することにより、計算精度を確認することができた。従来、風洞実験に

においても圧力測定機器の精度などの問題により、不確定要因の多かったこの種の問題が解析可能となったことにより、今後は実験及び数値解析の両面からこの現象を解明することができると考える。

参考文献 ①石崎・柱“直方体建物における風圧分布について”京都大学防災研年報14号A (1971)

②吉田・本郷“大スパン陸屋根に作用する風圧力に関する風洞実験”鹿島建設技報第29号(1981)



— by the present method
 --- experimental data
 Distribution of pressure coefficient on
 a cubic model, angle of attack θ

図-6