

中央大学大学院	学生員	○三好 修一郎
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

近年,ますます長大化,軽量化,多様化する傾向にある土木構造物は,規模が大きいことや複雑な形状により自然界からもたらされる外力作用に悩まされることが多い。その中で強風は,地震と並んで構造物に被害を及ぼす最も厳しい自然現象の一つである。従来,風の流れの状態を明確に知る手段として風洞実験による方法が用いられてきた。しかしながら,構造物を合理的,経済的に設計・施工するためには,風洞実験のみでなく,数値的解析を用いる方法も強く望まれてきていた。ここ数年の電子計算機の発展により,風工学の分野でも数値的に流れを解析する試みが行われるようになってきた。しかし,風工学上の問題が極めて複雑な現象であるために今日では,全体模型による3次元風洞実験も広く行われるようになってきた。このようなことから,数値解析の分野でも3次元解析の必要性が問われつつあり,その重要性も大きい。最近では,演算の目的を科学技術計算のみに限定し,超高速演算を可能としたスーパーコンピュータも次々に発表され,3次元解析を行うに当たり良い状況に成りつつある。本論では,平面(x,y)と鉛直方向(z)について変数を分離させた要素を用いることにより,3次元を容易に表現することが可能である変数分離型有限要素法で,粘性流れの解析を行った。

2. 基礎方程式

本解析で用いる基礎方程式は,ナビエ・ストークスの運動方程式(1),(2),(3),及び,音速を導入し,変形させた連続の方程式(4)で次式のように表わされる。

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) + \frac{\partial P}{\partial x} - \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) = 0 \quad (1)$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) + \frac{\partial P}{\partial y} - \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) = 0 \quad (2)$$

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) + \frac{\partial P}{\partial z} - \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + u \frac{\partial P}{\partial x} + v \frac{\partial P}{\partial y} + w \frac{\partial P}{\partial z} + \rho c^2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) = 0 \quad (4)$$

ここで, u, v, w : 流速, P : 圧力, ρ : 密度, μ : 粘性係数, c : 流体中の音速
式(1),(2),(3),(4)に有限要素法を適用するに次式のように表わされる。

$$[M]\{\dot{u}\} + [K(u)]\{u\} + [H]\{P\} = \{F\} \quad (5)$$

$$[M]\{\dot{P}\} + [A(u)]\{P\} + [B(P)]\{u\} = \{O\} \quad (6)$$

時間方向への離散化には,式(5),(6)に対して2段階陽的解法を適用し,3次元解析を進める。

3. 変数分離型有限要素法

変数分離型有限要素法は,平面(x,y)に2次元問題で広く用いられている2次元3節点3角形要素,鉛直方向(z)に1次の補間関数を用いて変数分離型の形状関数で内挿する解析手法である。Fig-1の(1)のような要素のz方向の長さを

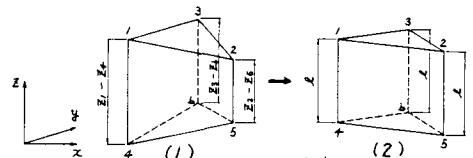


Fig-1 要素形状

(2)のように平均化してその長さを l とする。この処理により,平面要素が長さ l で層をなすことになり,各層が同一でメッシュ化され,3次元を容易に表現することが可能である。

4. 数値解析例

Fig-2に示す解析モデルを用いて計算を行った。これは、流路内に構造物が置かれた場合をモデル化したものである。諸係数、境界条件は、Fig-3、Table-1、2に示す通りである。Fig-4、5は、Fig-2で示した横断面(7)、縦断面(4)の流況図である。構造物まわりの流れがある程度、表現できたと思う。Fig-7、8、9、11は、風圧分布図である。Fig-6、10に示す風圧分布図とは断面形状が多少異なるが、風圧分布は、ほぼ一致していると考えられる。

5. おわりに

本解析手法でも3次元問題を、ある程度、表現できると考えられる。今後、本解析手法をさらに発展させ、適用できる範囲を確認して、空力特性などの問題を検討する予定である。

6. 参考文献

平野,川原,糸田:第38回年次学術講演会講演概要集,1983
平野,川原:第4回流れの有限要素解析シンポジウム,1983
岡内,伊藤,宮田:耐風構造,丸善,1977

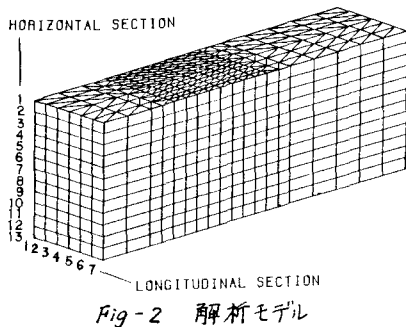


Fig-2 解析モデル

総節点数	$NX = 2514$
総要素数	$MX = 3968$
微小増分時間	$\Delta t = 0.002$
音速	$C = 337.0$
密度	$\rho = 0.13$
動粘性係数	$\nu = 0.1$
ラビノビッチ	$e = 0.8$

Table-1 諸係数

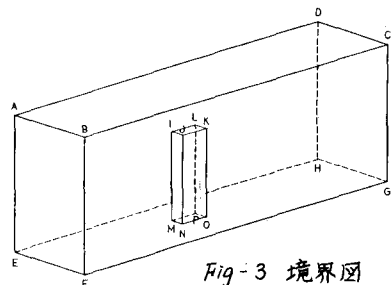


Fig-3 境界図

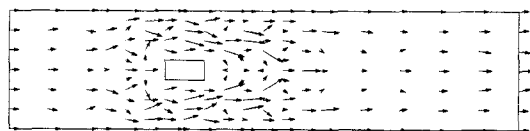


Fig-4 横断面(7) 流況図

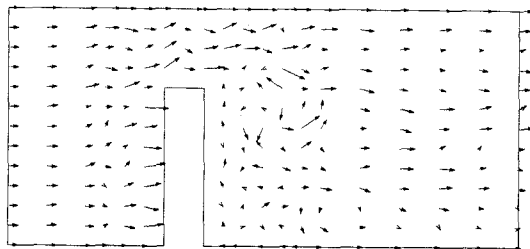


Fig-5 縦断面(4) 流況図

BOUNDARY CONDITION	
$U=0.0$	I-M-P-L J-N-O-K I-M-N-K L-P-O-K
$U=50.0$	A-E-F-B
$V=W=0.0$	A-B-C-D E-F-G-H A-E-F-B B-F-G-C A-E-F-B I-J-K-L M-N-O-P I-M-P-L J-N-O-K I-M-N-J L-P-O-K
P	Free

Table-2 境界条件

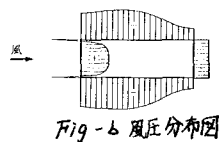


Fig-6 風圧分布図

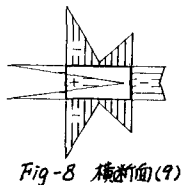


Fig-8 横断面(9)

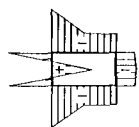


Fig-7 横断面(6)

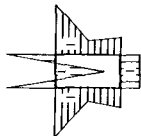


Fig-9 横断面(12)

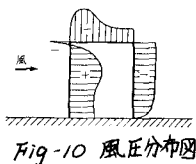


Fig-10 風圧分布図

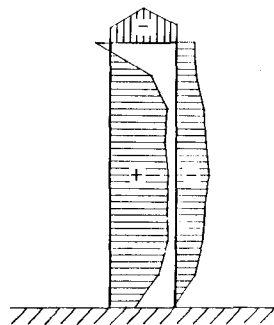


Fig-11 縦断面(4)