

○三井造船(株) 正員 平野廣和
中央大学 正員 川原睦人
中央大学 正員 糸田進次郎

1. はじめに

長大橋梁や長大吊橋主塔等の大型構造物の建設に伴い、風洞実験の分野において、部分模型による2次元風洞実験だけでなく、全体模型による3次元風洞実験も広く行なわれるようになって来た。数値解析の面でも、超大型高速コンピュータの出現により、3次元解析がハードの面でも可能となり、3次元解析を検討する必要が生じて来た。ところで著者らは過去3回にわたり、有限要素法を用いた2次元高レイノルズ数の粘性流体解析を提案し、基本断面及び実際の橋梁断面に応用し、良い成果を上げて来た。そこで、本論ではこれらの解析実績を踏まえた上で、3次元問題への拡張を試みることにし、かつ全体模型による3次元風洞実験との比較・検討を行なうことを目的とする。

2. 基礎方程式

基礎方程式は、運動方程式として3次元ナビア・ストークスの式を、連続の方程式としては、質量保存則と状態方程式とから導びかれる式(1)を用いる。

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

運動方程式と連続方程式に有限要素法を適用すると、

$$[M]\{\dot{u}\} + [K(u)]\{u\} + [H]\{P\} = \{F\} \quad (2)$$

$$[M]\{\dot{P}\} + [K(u)]\{P\} + [B(P)]\{u\} = 0 \quad (3)$$

となる。式(3)と式(4)に対して、陽的 Two-Step 法を用いて、3次元解析を進めることとする。

3. 要素形状の選択

3次元計算を実施する場合は、2次元計算の場合と異なり要素形状の選択がたいへん重要な問題となる。特に有限要素法の特徴である任意形状の近似という利点を損なうことなく選択する必要がある。一般に用いられる要素としては、Fig-1 ~ Fig-3 に示す3種類の要素である。Fig-1 の4節点4面体要素は、2次元3節点3角形要素を3次元に拡張した要素である。解析プログラム作成上は、2次元プログラムを3次元にそのまま拡張することが可能である。その反面、任意形状の近似が最も困難な要素である。この要素5つで1組を作り、この組合せで要素分割をしなくてはならないからである。次に Fig-2 に示す6節点角柱要素は、 x - y 平面と x - z 平面について変数を分離させた要素である。この要素の特徴は、 x - y 平面で2次元3角形要素と同様に分割が可能であり、これを用いて z 方向には属として分割して行くことが可能な要素である。しかし、 x - y 平面と x - z 平面で変数が分離されているために、 z 方向に大きな変化がある場合や変位量が大きい場合には、不安定な現象を起こすことが確かめられた。最後に Fig-3 に示す8節点6面体要素は、2次元4節点4角形要素を3次元に拡張した要素である。この要素は、 x ・ y ・ z の各方向に対して充分任意形状の近似が可能であり、また変位量の急激な変化にも充分耐えられる要素形状である。

以上3つの要素について、プログラムをそれぞれ作成し、検討した結果、形状の近似・計算時間等で最も優れていたのが、8節点6面体要素であった。本論では、この要素を用いて計算を進めることとする。

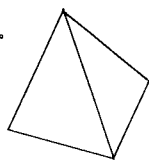


Fig-1

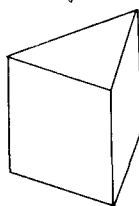


Fig-2

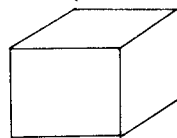


Fig-3

4. 数値計算例

Fig-4に示す流路に、ポアジユ流れを流し、1次元の運動方程式から求まる圧力の理論解と計算結果との比較を行なった。Fig-5に結果を示す。理論解と計算値はたいへん良い一致を示している。次にFig-6に示すモデルを用いて計算を実施した。これは、流路内の床に角柱等が置かれた場合をモデル化したものである。Fig-7にはX-Z平面の流れを、Fig-8にはY-Z平面の流れの結果をそれぞれ示す。床に置かれた角柱が及ぼす影響が、流路上部まで及ぼしていることがわかる。

5. 終わりに

著者が提案した解析手法が、3次元問題へも適用できると考えられる。今後更に本解析手法を吊橋主塔等、2次元化できない形状をした種々の物体回りの流れの問題に適用し、本解析手法の有効性及び適用範囲を確認する予定である。同時に、実験結果との比較検討も充分に行なっていく予定である。

6. 参考文献

- 1) M.Kawahara and H.Hirano "A finite element method for high Reynolds number viscous fluid flow using two-step explicit scheme", Proc. JSCE (1983-1)
- 2) 平野他, 土木学会年次学術講演概要集(1) 第35回, 第36回, 第37回

BOUNDARY CONDITION

$$U = V = 0.0$$

$$A - B - C - D$$

$$A - E - H - D$$

$$C - G - H - D$$

$$B - F - G - C$$

$$A - B - F - E$$

$$W = 0.0$$

$$A - E - H - D$$

$$B - F - G - C$$

$$W = \hat{W} \quad (W_{max}=1.0)$$

$$A - B - C - D$$

$$P : \text{Free}$$

BOUNDARY CONDITION

$$U = 0.0$$

$$A - B - C - D$$

$$D - C - G - H$$

$$C - B - F - G$$

$$A - B - J - I$$

$$M - N - F - E$$

$$D - A - E - H$$

$$I - J - K - L$$

$$M - N - O - P$$

$$L - K - O - P$$

$$V = 0.0$$

$$A - B - C - D$$

$$D - C - G - H$$

$$C - B - F - G$$

$$A - B - J - I$$

$$M - N - F - E$$

$$D - A - E - H$$

$$L - K - O - P$$

$$W = 1.0$$

$$A - B - C - D$$

$$W = 0.0$$

$$I - J - K - L$$

$$M - N - O - P$$

$$P : \text{Free}$$

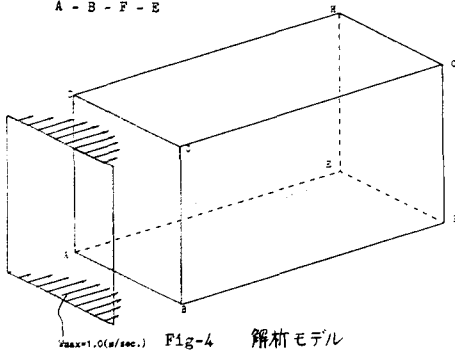


Fig-4 解析モデル

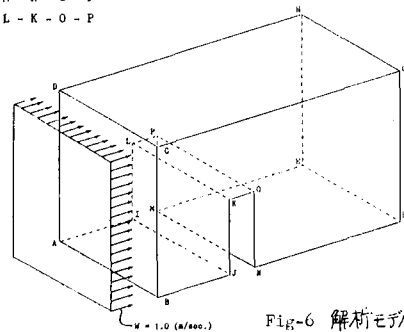


Fig-6 解析モデル

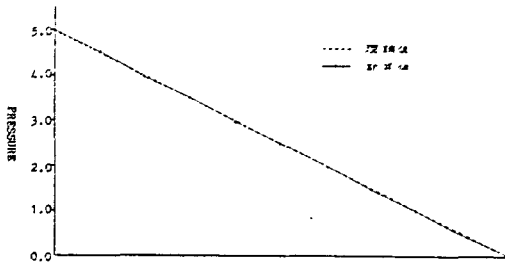


Fig-5 圧力の理論解と計算値の比較

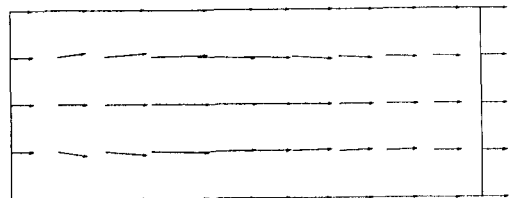


Fig-7 X-Z平面での流れ (断面CDGH)

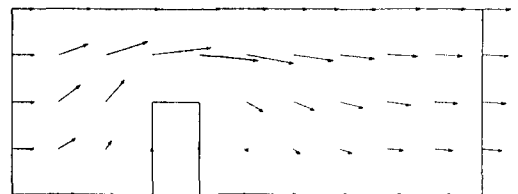
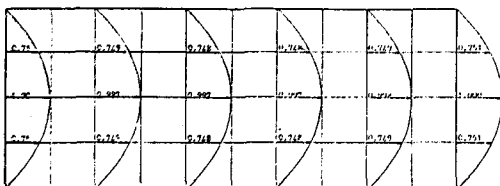


Fig-8 Y-Z平面での流れ (断面はDとCの中間)