

取水口流れにおける速度勾配テンソルの不変量解析法の応用

神戸大学大学院自然科学研究科 学生会員 ○焦 徳思

神戸大学大学院自然科学研究科 正会員 中山 昭彦

1. はじめに

数値計算や実験で得られた大量の数値データから流体力学的に意味のある情報を抽出するには従来流線やベクトルの表示および圧力の等高線や等値面表示などの可視化的手法が利用されてきたが、流れ場の構造は目で考察する必要があるため、時空間で複雑な流れ場から正確な情報を全て引き出すことは容易ではない。最近流れの構造を調べるのに、瞬時局所の速度勾配テンソルの不変量を用いる方法が用いられている¹⁾。著者らはこういった方法を用いて取水口まわりの3次元流れに適用計算を行い第2不変量及び無次元渦度数の等値面による空間的表示が流れの特性検索に有用であることを確認した²⁾。本報告はこの方法をさらに異なった条件での計算結果に適用し取水口周りの流れの流況の把握に応用した。

2. 速度勾配テンソルの不変量解析法

非圧縮性流れ場の任意一点の速度勾配テンソル $\nabla \mathbf{v}$ の第2不変量 II_L は次の式で定義される

$$II_L = \frac{1}{2}(W_{ij}W_{ij} - S_{ij}S_{ij}) \quad (1)$$

ここで、 S_{ij} は $\nabla \mathbf{v}$ の対称成分であるひずみ速度テンソルの成分、 W_{ij} は逆対称成分である回転テンソルの成分である。

II_W, II_S を S_{ij}, W_{ij} の第2不変量とすると

$$II_W = \frac{1}{2}W_{ij}W_{ij}, \quad II_S = \frac{1}{2}S_{ij}S_{ij}, \quad II_L = II_W - II_S \quad (2)$$

と表せる。従って $II_L > 0$ の領域は渦領域、 $II_L < 0$ の領域はひずみ性の流れを表す。 II_L が大きいほど強い渦になっている。

$$W = II_W / II_S \quad (3)$$

II_W と II_S の比は無次元渦度数と呼ばれ渦度の程度を表す。

以上のように、不変量 II_L 及び $W = II_W / II_S$ の値を調べることによって流れの局所形態と特性を明らかにできる。

3. 不変量の等値面

ここでは速度勾配テンソルの不変量解析を矩形水槽に置かれた円形断面の取水管により吸い込まれる流れ場に適用し、渦の検出を試みる。取水槽へは水路などから左側の面を通して流入する。この流れについて著者ら³⁾はいくつかの場合について流れの予測計算を行っている。今回は条件の異なる場合について計算を行った。ケースAは取水管が鉛直向き、ケースBは水平向き、どちらのケースでも流入面に横流れがあるとしている。まず第2不変量の等値面を図-1に示す。ケースAの場合流線が主水管にづくにつれ細くなっているが等値面が逆に太くなっている。これは取水管入り口付近渦が強くなっていることを示している。また流線図では見られないが取水管の横の隅にも渦が存在することがわかる。ケースBでは取水管両側の水面から

不変量 渦流 3次元

〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学自然科学研究科 TEL&FAX 078-803-6011

弱い渦の生成が確認され、ケース B は底面と水面両方から流線が巻いているが II_L の等値面を調べるとやはり水面からの渦だけが発生することがわかる。

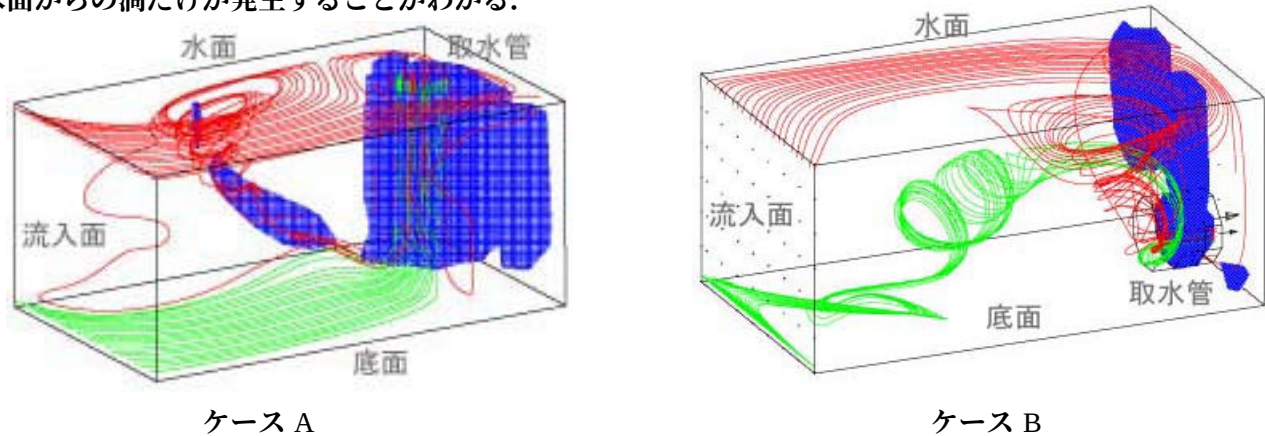


図-1 流線及び第2不変量の等値面 $II_L = 8V_{in}^2/H^2$

次に無次元渦度数 W の等値面が図-2に示される。ケース A では流線が旋回する中心に W の値が大きく水面渦の生成が定量的に確認された。ケース B では図-1と同じ傾向が現れているが下流端の隅に水面から渦が生成することがはっきり分かる。

4. まとめ

従来の流速分布や流線、圧力、渦度などの量を基にした流れ特性の把握に対し、速度勾配テンソルの不変量の分布をグラフィックスを使って調べることにより、流れのトポロジーと局所的特性の関係を明らかにし、せん断流と渦流の要素を含む取水槽内流れの渦構造の抽出と把握に応用した。渦の位置などの検出には第2不変量の等値面表示が有効である。とくに回転テンソルの第2不変量とひずみ速度テンソルの第2不変量の比である無次元渦度数の空間分布による渦の検索が有効である。

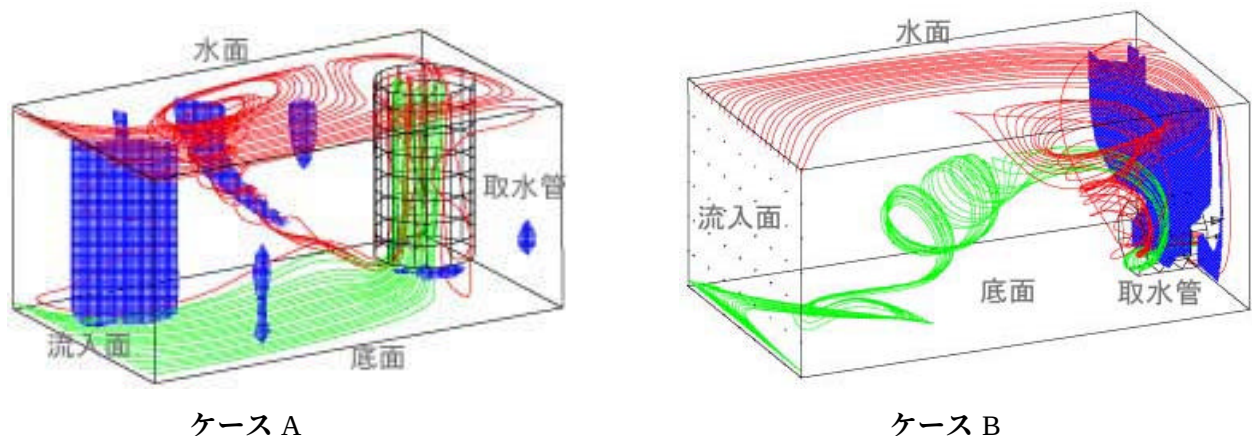


図-2 流線及び無次元渦度数の等値面 $W = 8$

参考文献

- 1) Chong, M.S., Perry, A.E. and Cantwell, B.J.: A general classification of three-dimensional flow fields, *Phys. Fluids A*, Vol.2, pp.765-777, 1990.
- 2) 中山 昭彦, 焦 徳思: 速度勾配テンソル不変量解析を応用した取水槽流れの3次元渦構造特性の検索, 水工学論文集, 第45巻, pp.451-456, 2001.2.
- 3) 中山昭彦, 焦徳思, 市成準一: 取水管回りの渦を伴う3次元流の要因とその予測計算法, 水工学論文集, 第43巻, pp.485-490, 1999.2.