

管路湾曲部流れの可視化に関する基礎的研究

愛媛大学大学院 学生員 ○小島英司
愛媛大学大学院 学生員 新家研蔵
愛媛大学大学院 正会員 門田章宏
愛媛大学大学院 フェロー 鈴木幸一

1. はじめに

管路内の流れの可視化計測では撮影時の歪み校正や撮影断面位置の設定、スリット光の照射法、さらに管路を対象とした模型実験では通常毎秒数 10cm～数 m 程度の広範囲な流速を対象とするため、開水路の可視化計測と比較して撮影が難しく、かつ湾曲部の管路の研究は非常に乏しいといえる。本研究では、キャビテーションも再現できる湾曲管路を作成し、高速デジタルカメラおよびスリット光発生装置からなる可視化実験装置や画像を精度良く解析する方法等を駆使することで、これらの問題点を解決し、管路の湾曲部断面内の流れを粒子画像流速測定法(Particle Image Velocimetry, 以下 PIV)を用いて鉛直二次元断面内の瞬間流速を測定・解析を行った。

2. 実験方法

本実験で使用した装置は、素材が透明の塩ビの管路および湾曲部の 90° 大曲エルボ(VUULL) (外径 60mm, 内径 51mm, 厚み 4mm), 高速 CCD カメラ(IMPERX IPX-VGA210), 画像取得, 解析用 PC および画像キャプチャードから構成されており, 水中ポンプ(流量約 35~245L/min)により循環式管路となっている。圧力計, 流量計で管路内の断面平均流速を見ることができ, 開閉弁, 流量調節弁で管路内の断面平均流速を変えることができる。本研究では, 遅い流速である Low (最大流速 8cm/sec) および速い流速の High(最大流速 70cm/sec) の二つのパターンを計測した。撮影の際に用いた光源はメタルハライドファイバー照明装置(MORITEX MME-250)であり, 約 5mm のスリット光を発生させることができる。さらに, カメラで撮影した後解析する際, 管路内の微粒子の変化を見ることが可能であるが, より確実に変化を見やすくするためトレーサ粒子(DIAION, MITSUBISHI Chemical Co., diameter=250-600 μ m, density=1.02g/cm³)を使用した。

3. 解析方法

本研究では, 二枚の粒子画像から任意の探查領域を第一画像に定義し, 直接相互相関法によって第二画像から相似な粒子パターンを検索し, 流速を求める PIV(Particle Image Velocimetry)法を採用した。この二枚の画像のずれから流速を求める方法は, 個々の粒子を追跡する方法(PTV 法)とは異なり, 相関計算を行う検査領域を比較的大きめにとることで, より速い流速にも対応できると考えられる。本解析では, まず比較的大きな検査領域サイズからベクトルの計算を開始し, 大まかな参照ベクトルを評価する。さらに小さな検査領域に縮小させ, 参照ベクトルを基準に補正しながら, 精度の良い計算を行う手順を試みた。

4. 解析結果および考察

管路の湾曲部断面内における流れの全体像あるいは基本的特性を把握するために平均流特性を以下に考察する。上述した Low および High の条件下における流れの相違について, 図-1 には Reynolds 応力($-\overline{uv}$), また図-2 および図-3 には, それぞれ乱れ強度の水平方向(u_{rms})・鉛直方向成分(v_{rms})といった基本的乱流統計量の分布を示している。図-1 の Reynolds 応力の分布図では Low の流速の正負の応力に規則性が見られなかった。High の流速では湾曲の出口となる部分で大きな負の応力が発生していることが分かった。さらに速い流速の状況下では同箇所でも大きな応力が発生して管路内で問題となるキャビテーション等が発生すると考え

られる。図-2 の乱れ強度の水平成分の分布では Low は乱れが起きていない箇所があり、湾曲の入り口で乱れがあることが分かった。一方 High は Reynolds 応力の時と同じく湾曲の出口付近で大きな乱れがあることが分かる。図-3 の乱れ強度の鉛直成分の分布では水平成分の時ほどではないが High に湾曲の出口付近で大きな乱れができた。今後、さらに速い流速での解析や計測をキャビテーションが発生状況などでの可視化実験を行うことで、実際の配水管等の管渠に発生している事故の原因となる現象解明に繋げて行く予定である。

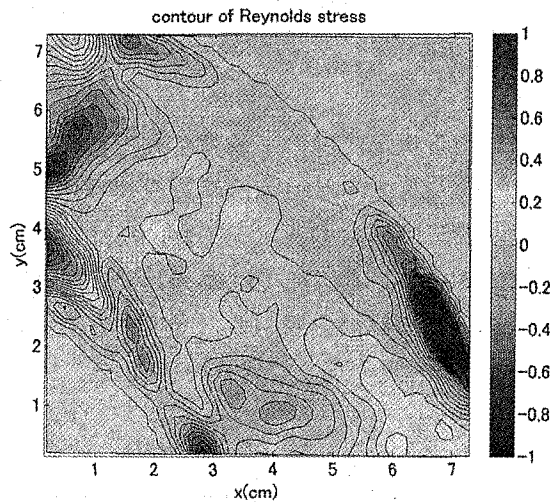


図1(a) Low の Reynolds 応力(cm^2/sec^2)

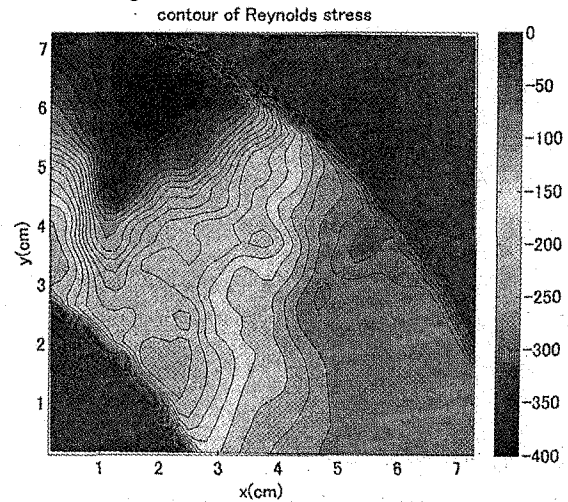


図 1(b) High の Reynolds 応力(cm^2/sec^2)

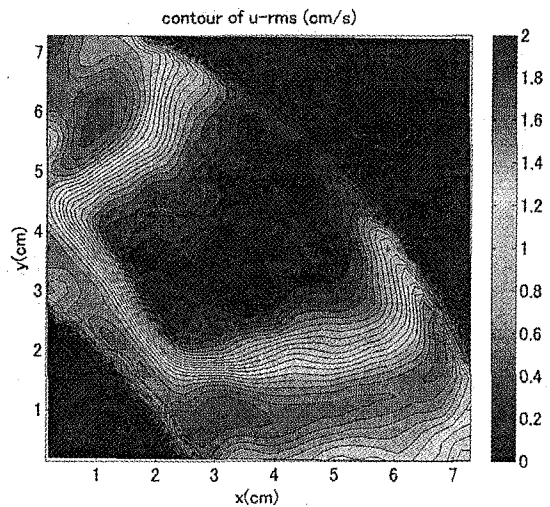


図 2(a) Low の乱れ強度の水平成分(cm/sec)

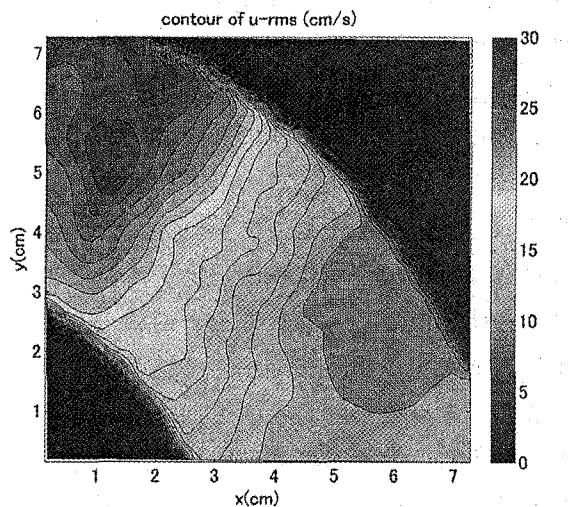


図 2(b) High の乱れ強度の水平成分(cm/sec)

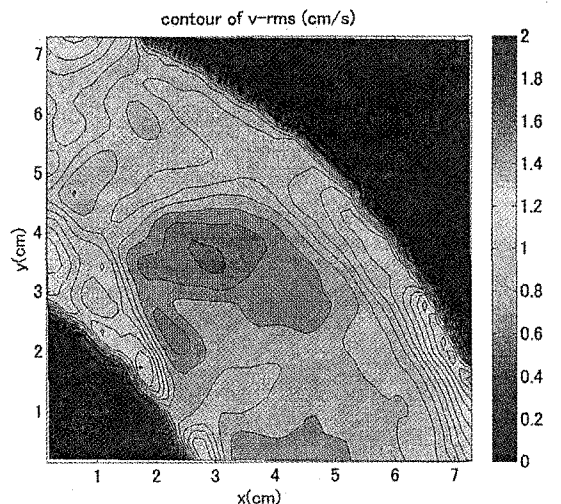


図 3(a) Low の乱れ強度の鉛直成分(cm/sec)

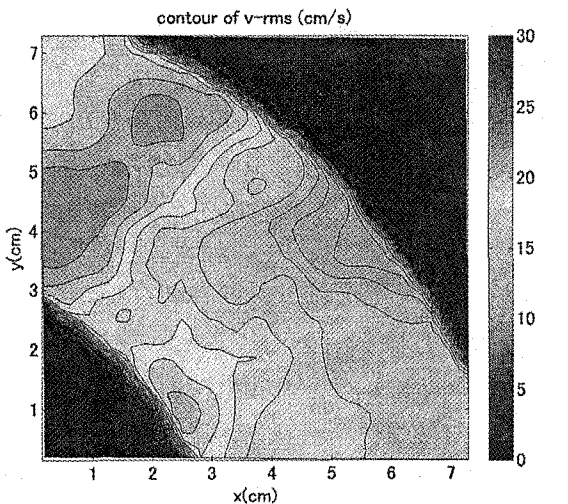


図 3(b) High の乱れ強度の鉛直成分