

## 技術紹介

## だれでもお手軽 P I V

～最小限の設備と手間で橋梁断面周りの流れ場をとらえる～

## Simple PIV

甲木 里沙 \*1  
Risa KATSUKI畠中 真一\*2  
Shinichi HATAKENAKA松本 孝昭\*3  
Takaaki MATSUMOTO

## 1. はじめに

PIV とは Particle Image Velocimetry (粒子イメージ流速計測法) の略で、連続した 2 枚の可視化画像から変化した部分を検出して、流速を解析する技術です。流れの中にセンサーを置かずに流速が計測できるので、直接センサーを設置する方法に比べて測定ノイズが小さくなります。また、撮影した範囲全体の流速と向きを解析できるので、1 回あたり数秒の測定で流速分布を把握できる利点があります。

流速計の原理上、流速が遅い場合に計測の誤差が大きくなる弱点がありますが、PIV では流速が遅い場合のほうが、より鮮明な画像が取得できるため、測定精度が高まるという特徴があります。私たちは、この特徴に着目し、低風速の条件下に限れば、高価なレーザー照明装置や高速ビデオ装置を使わなくても、PIV を利用できると考え、「お手軽 PIV」の試作と改良を行っています。

## 2. 簡便化の工夫

曲面や複雑な形状に沿った流れは、風速によって流れ方が大きく変化しますので、航空機や機械の分野では、高風速での可視化に対応するため、光量の多いレーザー照明や高感度・高速ビデオが使われます。可視化に使う煙も風速とともに薄くなるので、鮮明な映像を得るにはたくさんの煙が必要になります。

これとは異なり、橋梁断面ではほとんどが平面と角部で構成されていますので、風速の高低に関わらず周囲の流れの様子はあまり変化しないと言われています。風速が低ければ、少量の煙と家電程度の照明とビデオ装置でも比較的鮮明な動画を撮影することができます。

そこで低い風速に限定した、簡易型の撮影装置を製作しましたので紹介します(図1)。

## (1) 照明装置

ショーウインドウや間接照明に使われるハロゲンランプを使用しました。照明のムラを減らし影を作らないために、5 灯ずつ試験体の両面から照らすようにしました。

## (2) カメラ

撮影する幅を 1m 程度と考えると、風速 1m/s の風は 1 秒で通り過ぎます。テレビやパソコンの動画は通常、毎秒 30 フレームですので、1 フレーム毎に 3cm 以上移動することになります。せめて毎秒 60 フレームくらいは欲しいところですが、幸い最近の一般用のデジカメには毎秒 120 フレームくらいまで撮影できるものがいくつもあります。今回は、毎秒 100 フレームで撮影しました。

## (3) 発煙装置

風の流れをカメラで撮影するために、煙を流しますが、カメラから見て奥行き方向に煙が広がってしまうと、ピントがズレたり、煙が重なって写ってしまい、結果に影響します。今回は煙自体をシート状に発生させるスモークワイヤー(電熱線)を使用しました。予めワイヤーに発煙油を塗っておくと、通電から 2~3 秒間、シート状の煙を発生させることができます。

## (4) 配置

当初は、電熱線が縦になるように設置して、撮影を試みましたが、スモークワイヤーで発生させた煙は、周辺の気流より温度が高いため上昇気流となり、試験体を吹き上げるような煙になってしまうことが判りました。そこで、電熱線が水平になるように設置して、温度変化の範囲を分散させるとともに、わずかに残る上昇気流の影響も撮影上キャンセルできるように、橋梁模型を縦にする配置を採用しました。

表 1 機器構成と撮影諸元

品目	機器
カメラ	毎秒 100 フレーム撮影できるデジカメ
照明	ハロゲン電球(60W×5 灯×両面)
発煙装置	スモークワイヤー(ステンレス撚線)
発煙時間	2 秒程度
PIV ソフト	汎用 PIV ソフト『Flow-vec』
風速	1.1m/s
乱れ強度	1%未満(一様流)

\*1 川田テクノロジーズ㈱技術研究所

\*2 川田テクノロジーズ㈱技術研究所 主幹

\*3 川田工業㈱鋼構造事業部生産部四国工場生産開発課

### 3. 橋梁模型の可視化とPIV

PIVを試みた橋梁断面としては、4車線道路と片側歩道で構成される幅員21m級の4主I桁橋(B/d≒4.7)を1/50に縮小した模型を使用しました(図2)。

図3が可視化映像の一部です。スモークワイヤーに塗った発煙油は、熱線の表面に均一に塗布されるのではなく、小さな油滴となって数珠状に留まっているので、通电すると写真のような筋状の煙となって流れます。可視化映像からは、前縁での剥離流の様子や、後流が大きく蛇行する様子がよくとらえられていることが判ります。

この映像をPIV解析して、風速ベクトル図を描いたのが図4です。連続写真を分析することで、1枚の写真からは読み取れなかった風速分布や風向の様子を、このような分布図にすることができます。紙面の都合、静止面でのご紹介となりますが、実際にはベクトル図の動画として結果が得られますので、流れ場が変化の様子を細かく観察することができます。

参考までに、同じ模型を対象に計算した数値風洞(CFD解析)の結果が図5です。図4と比較すると、①では上面に生成される3つの渦配置が、②では下面側の2つの渦配置が見られます。また、③では模型の上下面から交互に放出される渦により後流が大きく蛇行している様子を見ることができ、流れの特徴がよくとらえられています。

さらに、同様の縦横比の模型を使用して風洞風速8m/sで行った圧力分布測定の結果<sup>2)</sup>によると、剥離の再付着位置は幅員を2/3~3/4ほど流下した位置となっていて、②で示されている渦の再付着点にほぼ一致しています。

### 4. まとめ

今回、低風速の条件に限定したI桁橋の周辺の流れ場を可視化して、PIV解析までの一連の作業の流れを確認しました。既存の模型や、簡単な試験体を風洞に持ち込めば、簡易なセッティングと使い慣れたカメラで、流れ場の概略を動画としてとらえることができます。今後、飛来塩分の推定<sup>2)</sup>や、橋梁点検時の強風箇所の事前把握などに活用できるものと考えています。

現段階では、高欄の内側や主桁の間に煙が回らず、細部の流れが見えない箇所が残っていますが、種類の違う発煙装置を組み合わせるなどして可視化の適用範囲を広げてゆきたいと思います。

#### 参考文献

- 1) 畠中,甲木,越後:大型パネルで覆われた4主I桁橋の耐風特性,土木学会第70回年次学術講演会,I-582,2015.9.
- 2) 淵脇,下里,有住,矢吹,瀬名波,石川,松田:プレートガード橋における海塩粒子の飛来塩分特性に関する研究,土木学会第66回年次学術講演会, I-585, 2011.9.

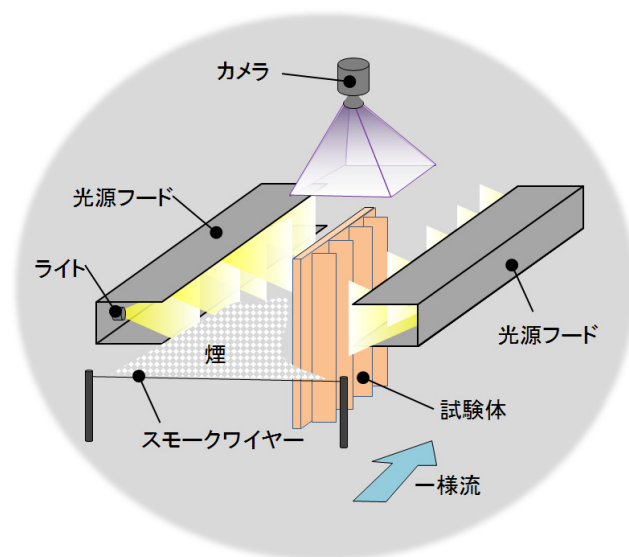


図1 風洞内の撮影用セット

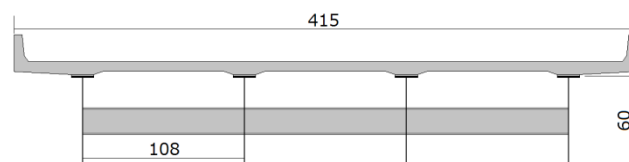


図2 対象とした模型断面

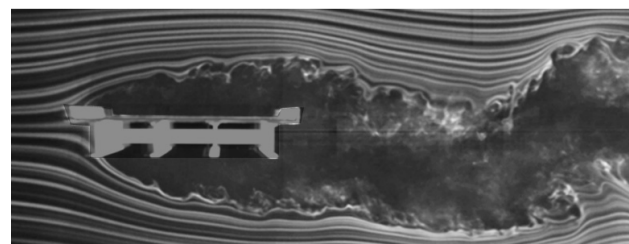


図3 可視化の一例

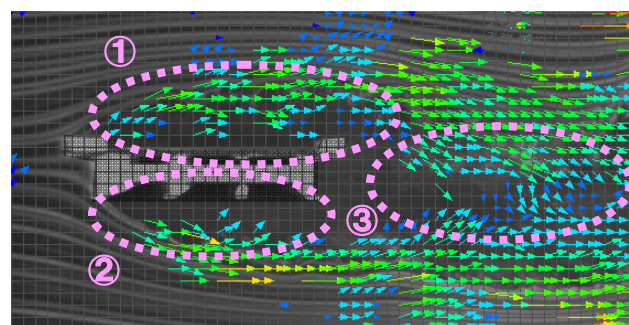


図4 PIV解析結果の一例

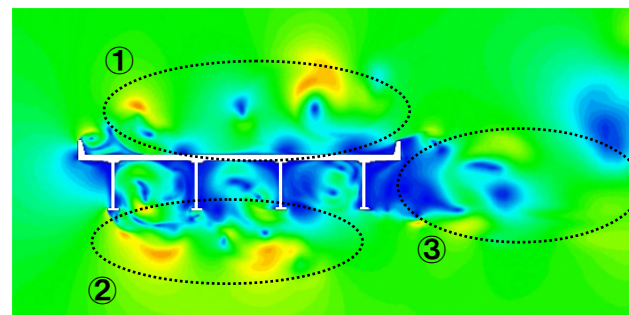


図5 CFD解析で得られた風速分布(JAXA提供)