

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 3 日現在

機関番号：14303

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22760076

研究課題名（和文） 粒子分散透明樹脂で作成した RP モデルの高精度 3 次元応力場計測の実用化

研究課題名（英文） Development on high precise measurement of three-dimensional stress filed by means of RP model

研究代表者

田中 洋介 (TANAKA YOUSUKE)

京都工芸繊維大学・工芸科学研究科・助教

研究者番号：80509521

研究成果の概要（和文）：

本測定方法で 4 つの成果が得られた。1) 静荷重を受ける単純支持ばりの 3 次元たわみ場と応力場、2) 動荷重を受ける片持ちばりの 3 次元応力場、3) 攪拌棒と攪拌タンク内流れの同可視化、4) 2 波長再生法を用いたデジタルホログラフィ法による水素気泡法の 3 次元可視化。よって、得られた結果が実際の製品の設計・開発に適用できることを期待できる。

研究成果の概要（英文）：

This proposed measurement method presents four results as followings: 1) Three-dimensional deflection and stress field of a simply supported beam with static load, 2) Three-dimensional deflection and stress field of a cantilever beam with dynamic load, 3) Simultaneous visualization of stirring rods and stirred tank flow, 4) Three-dimensional visualization of hydrogen bubble method by means of digital holography using two-wavelength reconstruction. Therefore, it can be expected that obtained results applies in practical use to designing and development of products.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2011年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	2,900,000	870,000	3,770,000

研究分野：光計測・流体力学

科研費の分科・細目：機械工学・機械材料・材料力学

キーワード：(1) デジタルホログラフィ法 (2) RP モデル (3) 3 次元応力場計測 (4) 仮想設計環境 (5) 動荷重

1. 研究開始当初の背景

(1) RP (Rapid Prototyping) モデルの 3 次元応力場計測の実用化が求められる背景

仮想設計環境 (CAD/CAE/CAM) は、概念設計から製造までの時間を短縮する迅速生産 (RM: Rapid Manufacturing) に用いられている。

その中で工業解析 (流体, 熱, 材料) は主に、CAE (Computer Aided Engineering) により、

有限要素法が用いられる。しかし、複雑な形状や境界を持つ製品の場合、計算格子形成や実行時間が膨大になるため、マシニングセンタで作成された樹脂製の RP (Rapid Prototyping) モデル実験による工業解析が有効である。3 次元応力場を、3 次元光弾性を用いて実験計測することにより、有限要素法の計算時間よりも短時間で結果が得られる場合がある。

(2) 従来の3次元光弾性による3次元応力場計測の問題点

3次元光弾性による3次元応力場計測の問題点は、計測結果を得るのに時間がかかることである。また、切断してしまうため、樹脂製のRPモデルは再利用できない。3次元光弾性の計測手順は、荷重をかけた状態で樹脂モデルをある温度履歴で半日放置し、試作モデルを任意の断面を板状に切り出し、干渉縞から2次元応力場を観察する。最後に、3次元応力場は、これら断面から得られる2次元応力場を支配方程式に代入して求める。実際の工業解析では、複数の条件を計測することが必要になる。複数回3次元光弾性を行うことは、非常に膨大な時間と労力が必要となり現実的でない。さらに、工業的に要望が多い動荷重を計測することは困難である。また、荷重を加えたまま加熱することができる炉や、板状に切断する装置は高価であり、操作には熟練を要する。

2. 研究の目的

本研究の目的は、RP (Rapid Prototyping) モデルの3次元応力場計測法の実用化である。従来の静荷重に限定される3次元光弾性に対して、現在までに開発を進めている動荷重の計測が可能な「粒子分散透明樹脂を用いたRPモデルの3次元応力場計測法」の

- 1. 計測精度向上
- 2. 複雑形状モデル計測

を実施する。開発した計測法を迅速生産における工業解析に適用することで実用化する。

3. 研究の方法

微粒子が分散した透明アクリル製のPRモデルをインラインホログラフィ法により3次元計測を行った。加えて、インラインホログラフィ法の欠点である再生像の奥行き方向伸びの抑制を行い、流体計測にも手法を応用した。

4. 研究成果

(1) 静荷重を受ける単純支持ばりの3次元応力計測

単純支持ばりのPRモデルを作成して、静荷重を加えた。3次元応力分布が得られ、変位は理論値と良く一致した。代表的な応力場が解析できることが明らかになり、実用に向けて重要な成果が得られている。

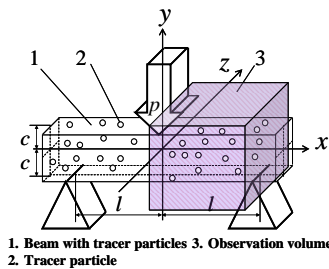


図1：静荷重を受ける単純支持ばり

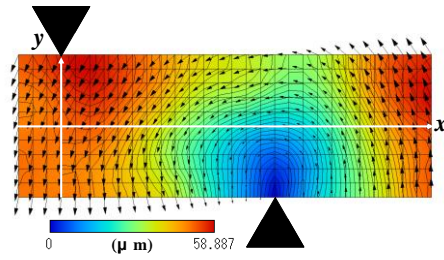


図2：単純支持ばりの断面応力と変位分布

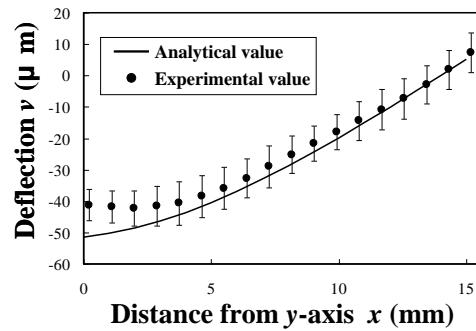


図3：変位分布の実験値と理論値の比較

(2) 動荷重を受ける片持ちばりの3次元応力計測

光弾性法では不可能であった、光弾性では測定不可能な動荷重を受ける片持ちばりの3次元応力計測が可能となった。(1)と(2)の成果から、実用化の目処が得られた。

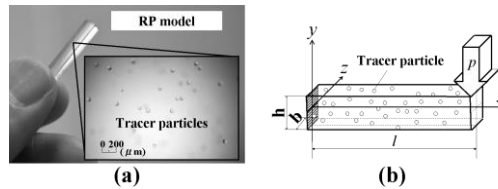


図4：片持ちばりのPRモデル

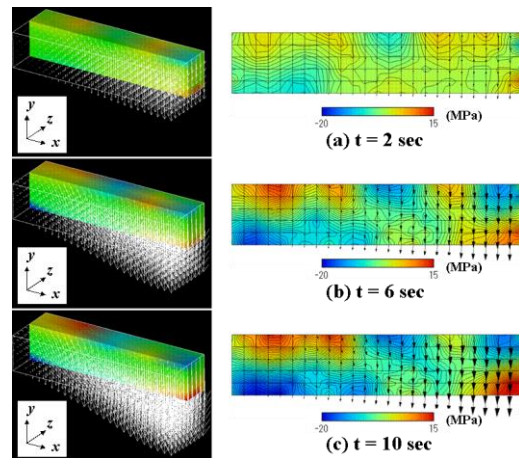


図5：動荷重を受ける片持ちばり

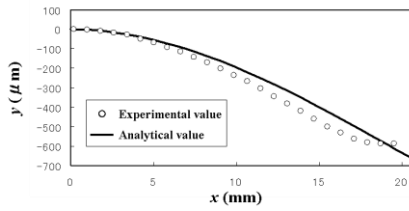
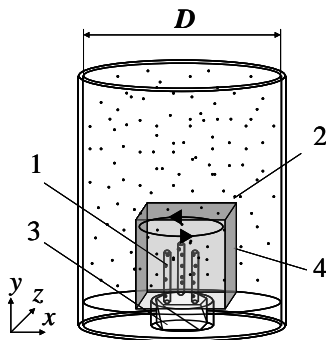


図 6：変位分布の実験値と理論値の比較

(3) タンク内の流体と攪拌棒の 3 次元計測
 本研究の応用として、タンク内の流体と攪拌棒の同時計測を行った。攪拌棒内と流体内に分散する粒子の大きさを変えることで、それぞれを個別に識別することが可能となり、3 次元流速場と攪拌棒の位置を同時計測できることを示した。



1. Tracer particles within stirring rods
2. Tracer particles within stirred tank flow
3. Cross-head magnetic stirrer
4. Observation volume

図 7：攪拌棒とタンク

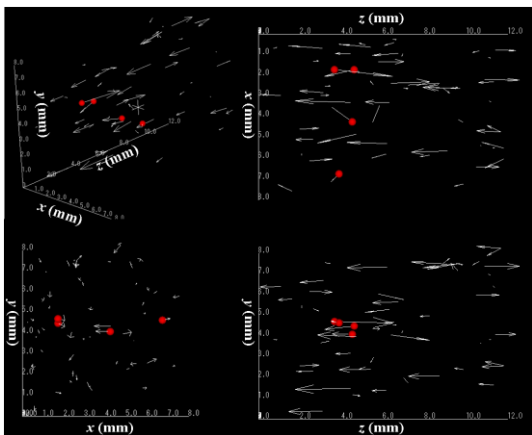


図 8：攪拌棒とタンクの 3 次元測定

(4) インラインホログラフィ法を適用した水素気泡法の再生粒子像の伸び抑制

本研究の実用化に対して、再生像の奥行き方向への伸び抑制は重要な課題であった。そこで、2 波長再生法を用いた伸び抑制を考案し、さらに流体可視化方法の 1 種である水素気泡

法に適用してその効果を検証した。得られた結果より、2 波長再生法による抑制方法が一定の効果を上げることを示せた。

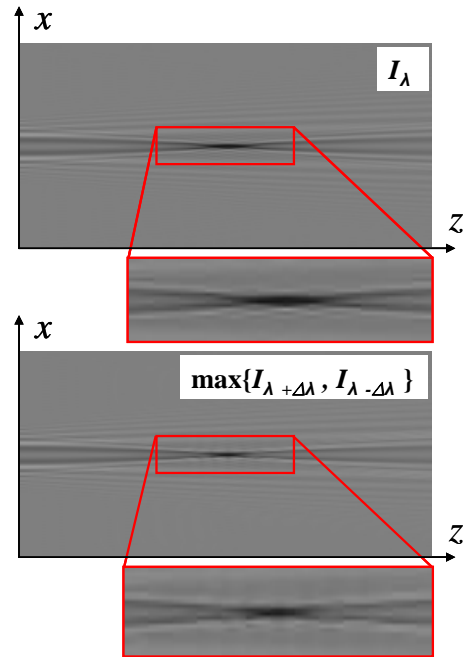


図 9：2 波長再生法による伸び抑制

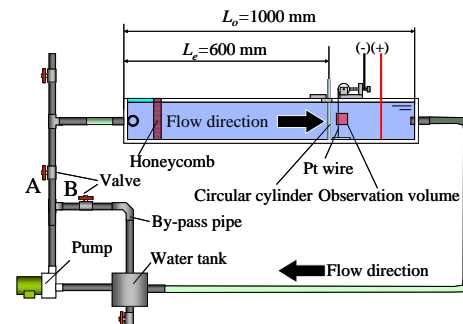


図 10：円柱後流可視化装置

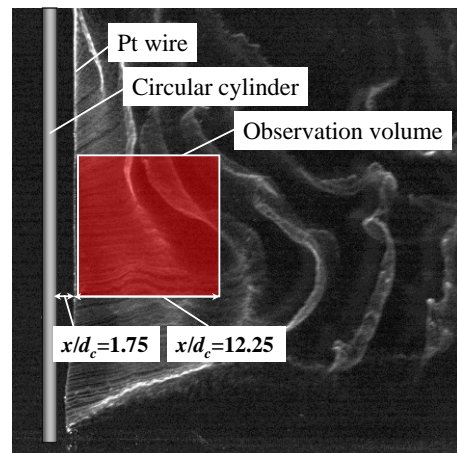
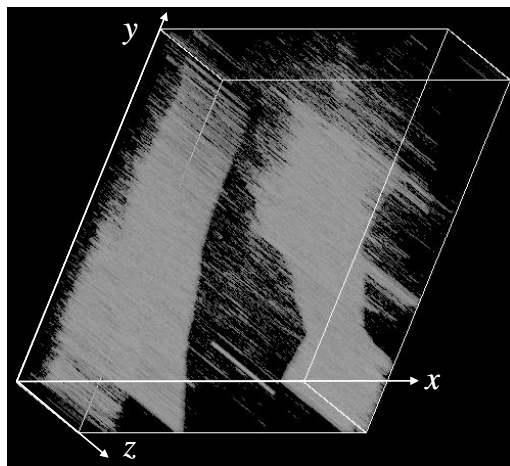
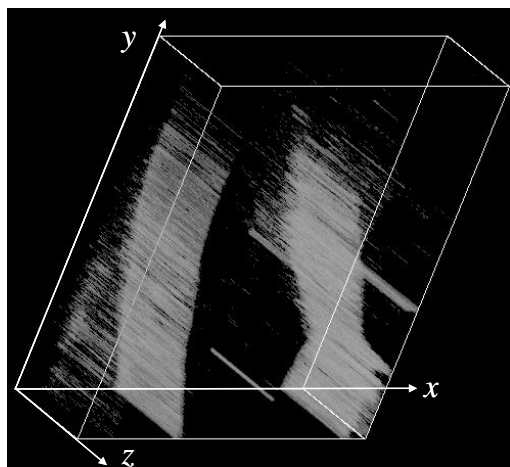


図 11：水素気泡法による可視化結果



(a) Conventional reconstruction



(b) Two-wave length reconstruction

図 12 : 2 波長法による水素気泡再生像の伸び抑制

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① Yohsuke Tanaka and Shigeru Murata, Three-dimensional Visualization of Hydrogen Bubble Method by means of Digital Holography Using Two-wavelength Reconstruction, Journal of JSEM, 査読有, Vol.12, 2012, Special Issue pp. s121-s125.
- ② Yohsuke Tanaka, Yosuke Hirano and Shigeru Murata, Visualization of Stirring Rods and Stirred Tank Flow by Digital In-line Holography, Journal of JSEM, 査読有, Vol.11, 2011, Special Issue pp. ss122-ss126.

- ③ Yohsuke Tanaka and Shigeru Murata, Three-dimensional Stress Analysis of a Simply Supported Beam using Digital Holography and Refractive Index Matching, Journal of JSEM, 査読有, Vol.10, 2010, Special Issue pp. ss163-ss167.

- ④ Yohsuke Tanaka and Shigeru Murata, Stress Measurement of Cantilever Beam under Dynamic Load by Holographic Particle-Tracking Velocimetry, Applied Mechanics and Materials, 査読有, Vol.36, pp.317-322, 2010.

[学会発表] (計 7 件)

- ① Yohsuke Tanaka and Shigeru Murata, Suppression of Elongation of Reconstructed Tracer Particles Dispersed in Rapid Prototype Model by means of Digital In-line Holography USING Two-wavelength Reconstruction, 15th International Conference on Experimental Mechanics, 2012年7月27日, Porto, Portugal.

- ② Yohsuke Tanaka, Yousuke Hirano and Shigeru Murata, Observation of Three-dimensional Internal Flow of Centrifugal Pump by using Holographic Particle Tracking Velocimetry, 11th International Conference on Fluid Control, Measurements, and Visualization, 2011年12月7日, Keelung, Taiwan.

- ③ Yohsuke Tanaka, Yousuke Hirano and Shigeru Murata, Three-dimensional Visualization of Hydrogen Bubble Method by Using Digital Holography, 6th International Symposium on Advanced Fluid/Solid Science and Technology in Experimental Mechanics, 2011年11月3日, Osaka, Japan.

- ④ Yohsuke Tanaka and Shigeru Murata, Three-dimensional measurement of interaction between a circular cylinder and surrounding flow by Digital Holographic Particle Tracking Velocimetry, The ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference 2011, 2011年7月26日, Hamamatsu, Japan.

- ⑤ Yohsuke Tanaka, Yosuke Hirano and Shigeru Murata, Calibration Flow for Three-dimensional Velocity Field, The 11th Asian Symposium on Visualization, 2011年6月7日, Niigata, Japan.

- ⑥ Yohsuke Tanaka and Shigeru Murata, Recognition between a Fluid Motion and a Structure by Digital In-line Holography, 5th International

Symposium on Advanced Fluid/Solid Science and Technology in Experimental Mechanics, 2010年11月5日, Kyoto, Japan.

- ⑦ Yohsuke Tanaka and Shigeru Murata, Measurement of three-dimensional stress field of RP model having a notch by using digital holography, 14th International Conference on Experimental Mechanics, 2010年7月7日, Poitiers, France.

[産業財産権]

○出願状況 (計1件)

名称：応力計測装置及び応力計測法

発明者：田中洋介

権利者：田中洋介、国立大学法人 京都工芸繊維大学

種類：特許

番号：PCT/JP2010/069043

出願年月日：2010年10月27日

国内外の別：国外

[その他]

<http://www.measlab.kit.ac.jp/y-tanaka.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 洋介 (TANAKA YOUSUKE)

京都工芸繊維大学・工芸科学研究科・助教

研究者番号：80509521

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：