

コンプライアントメカニズムを用いた 歪ゲージとその測定方法

東京工業大学大学 工学院
教授 天谷 賢治

2023年11月28日

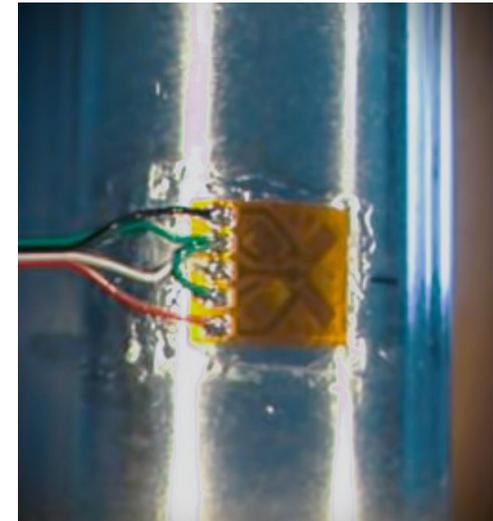
従来技術とその問題点

構造物に生じるひずみを測定することは材料の特性や構造物の状態を知るために重要であり、高精度かつ高効率な測定方法が求められている。

ひずみ計測法の代表例としてひずみゲージがあり、高精度の測定ができるが、課題も多い。

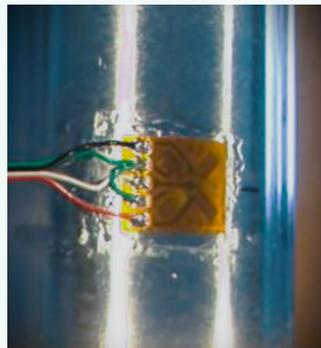
その課題を解決する方法として、DIC (Digital Image Correlation, デジタル画像相関) ひずみ計測法も存在。

ひずみゲージ



従来技術とその問題点

ひずみゲージ



計測方法

電圧測定

計測対象

電気抵抗の変化

メリット

高精度 $10 \mu\text{ST}$

デメリット

- ・配線が必要
- ・一点のみの計測
- ・連続通電が必要

DICひずみ計測



カメラ撮影と画像処理

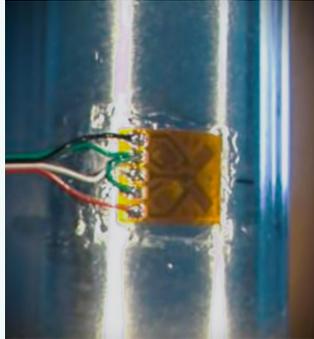
模様の変位距離(変位)

- ・非接触計測
- ・多点, 多方向計測

低精度 数 $100 \mu\text{ST}$

新技術の特徴・従来技術との比較

ひずみゲージ



電圧測定

電気抵抗の変化

高精度 10 μ ST

- ・配線が必要
- ・一点のみの計測
- ・連続通電が必要

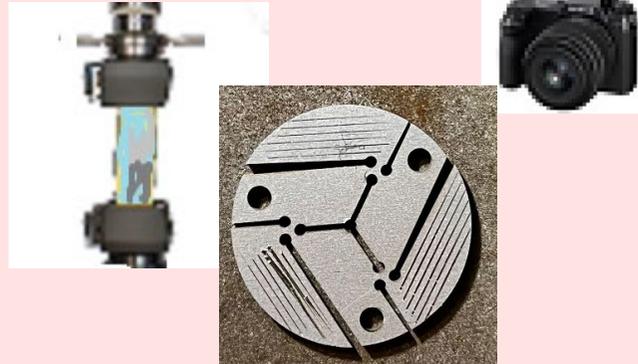
計測方法

計測対象

メリット

デメリット

提案手法
コンプライアントメカニズム
ひずみ計測



ターゲットとカメラ撮影
画像処理

増幅されたターゲットの変形
(角度変化)

- ・準非接触計測
 - ・多点, 多方向計測
 - 非給電、ワイヤレス
- < 高精度 数10 μ ST <

DICひずみ計測



カメラ撮影と
画像処理

模様の変位距離
(変位)

- ・非接触計測
- ・多点, 多方向計測

低精度 100 μ ST

開発した技術

➤ ひずみゲージの**高精度**という長所とDICの**非接触**、
複数点計測という長所をあわせ持つひずみ計測手法の
開発

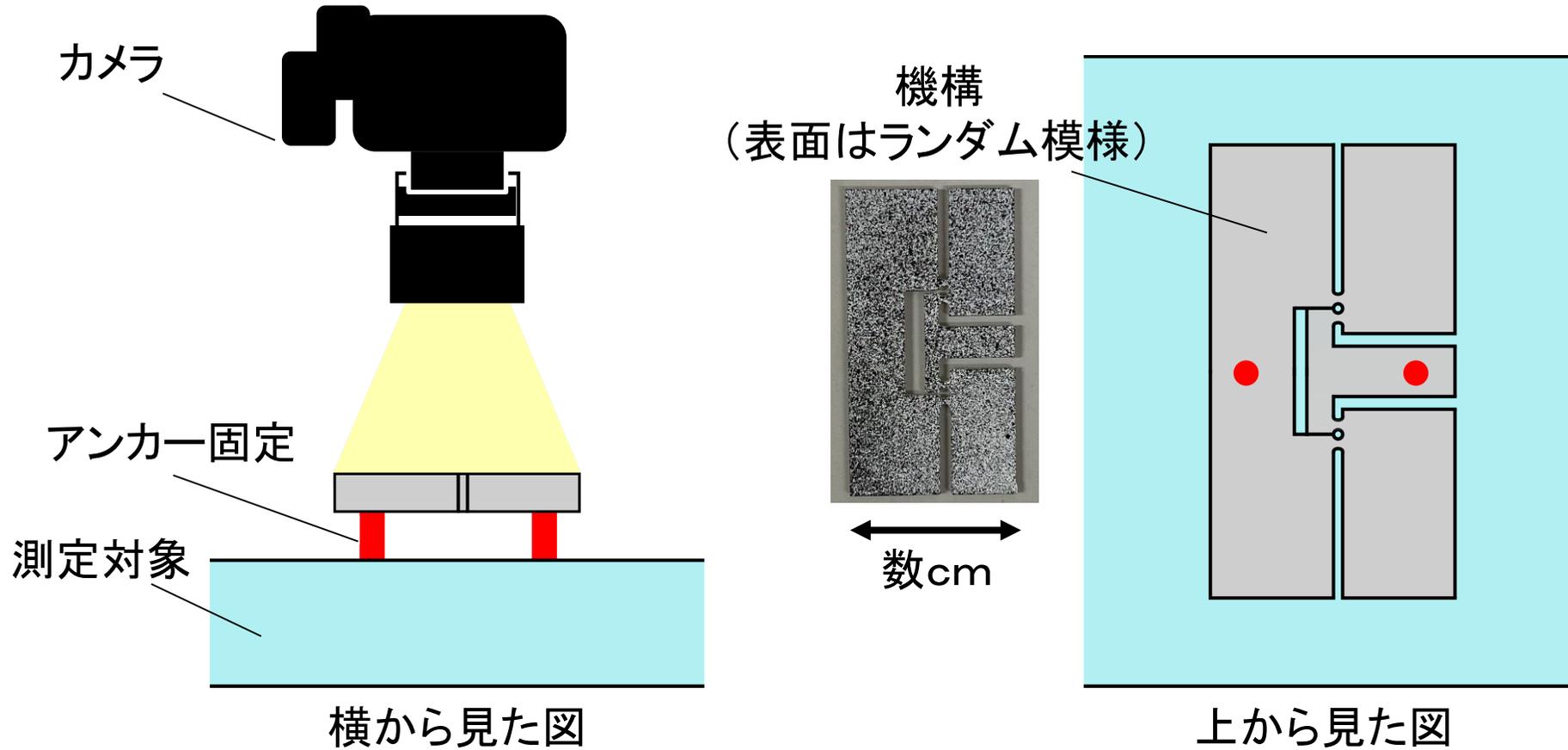
アプローチ

- **コンプライアントメカニズム**を用いて変位を**増幅**し、
回転へと変換する機構を提案
- 回転量を**デジタル画像計測**で**効率的**に観測

想定される用途

- 高温かつ水環境における鋳造金型のひずみ測定
 - 単一材料で作成可能、給電不要
- 手軽に低コストでひずみ測定が実施できる
 - メカニズムを張り付けてスマホで撮影するだけで。。
 - 高価なひずみアンプが不要
- インフラの劣化診断（剛性低下のモニタリング）
 - 橋梁、ビル、高架橋
 - 遠隔から望遠で撮影できる
 - 給電不要

ひずみ計測の流れ(準備)

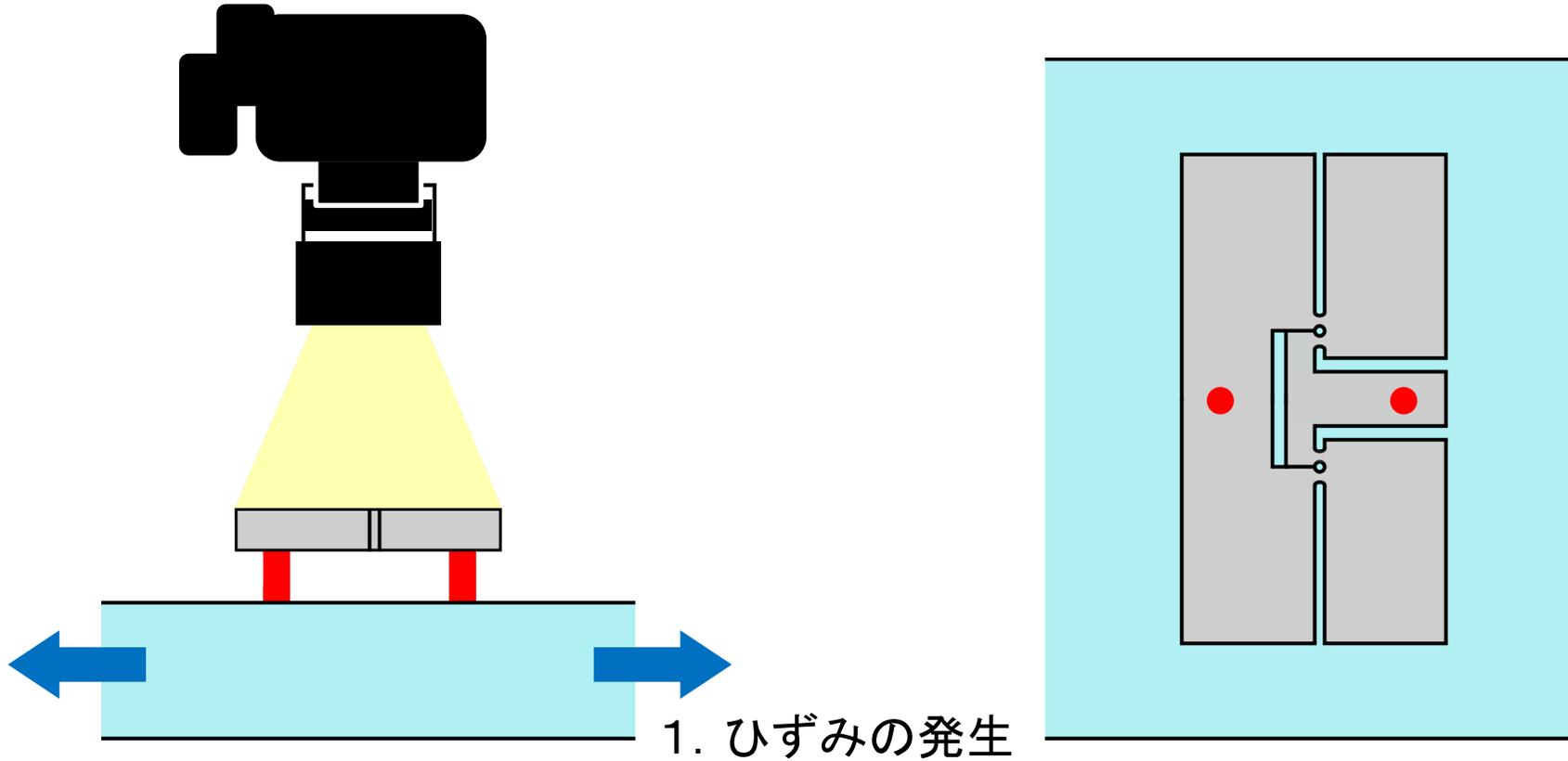


ひずみ測定対象部材の上に機構をアンカー固定で設置する。
機構の表面にはランダム模様がつけられている。
機構を上からカメラで撮影し計測を行う。

ひずみ計測の流れ

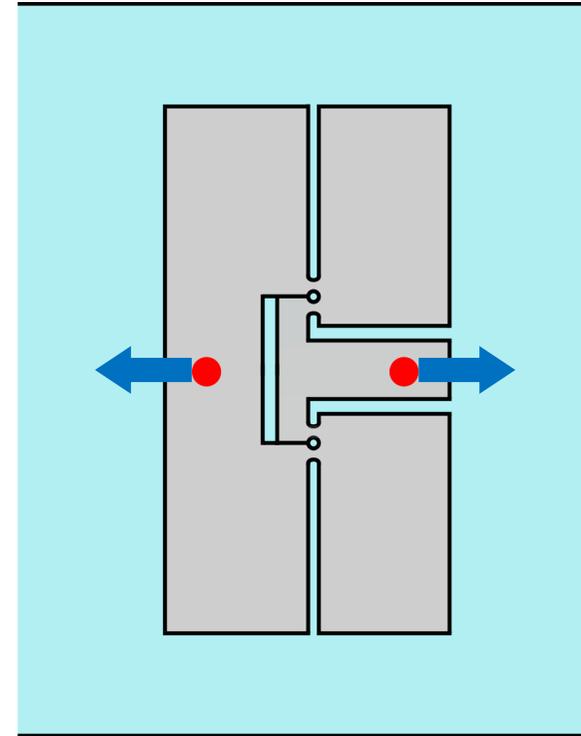
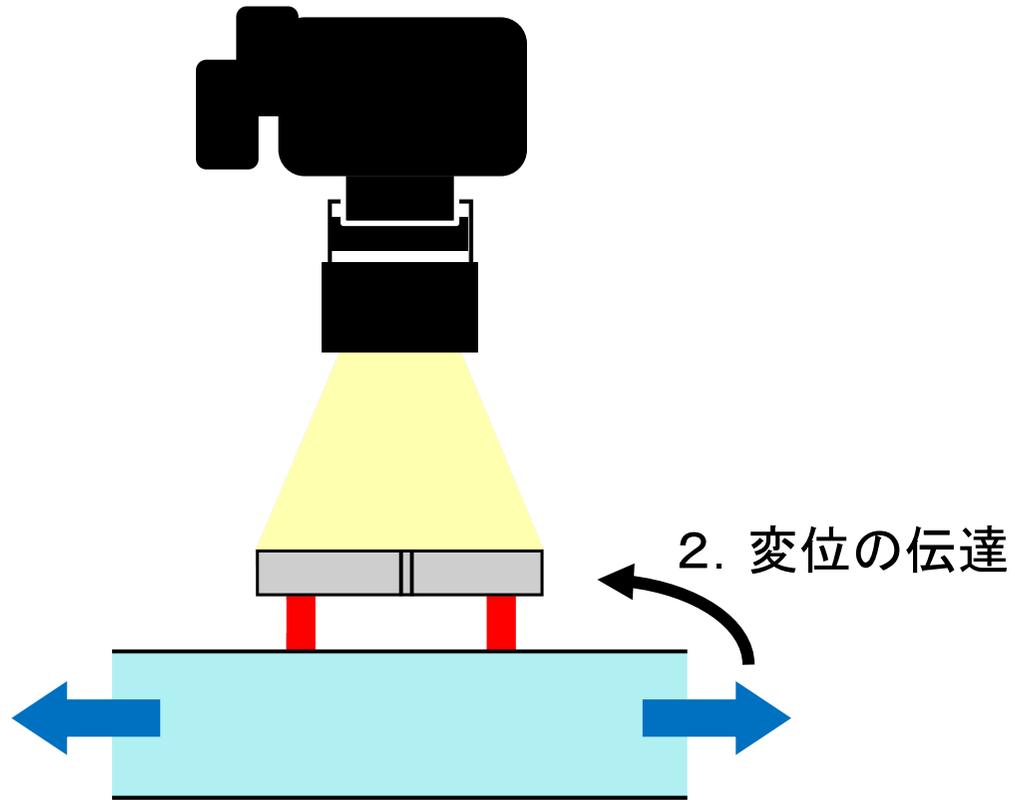
1. 測定対象の変形でひずみが発生
2. 機構への変位の伝達
3. 変位の増幅と回転への変換
4. DICによる変位測定と回転の計算
5. 回転からひずみの算出

ひずみ計測の流れ①



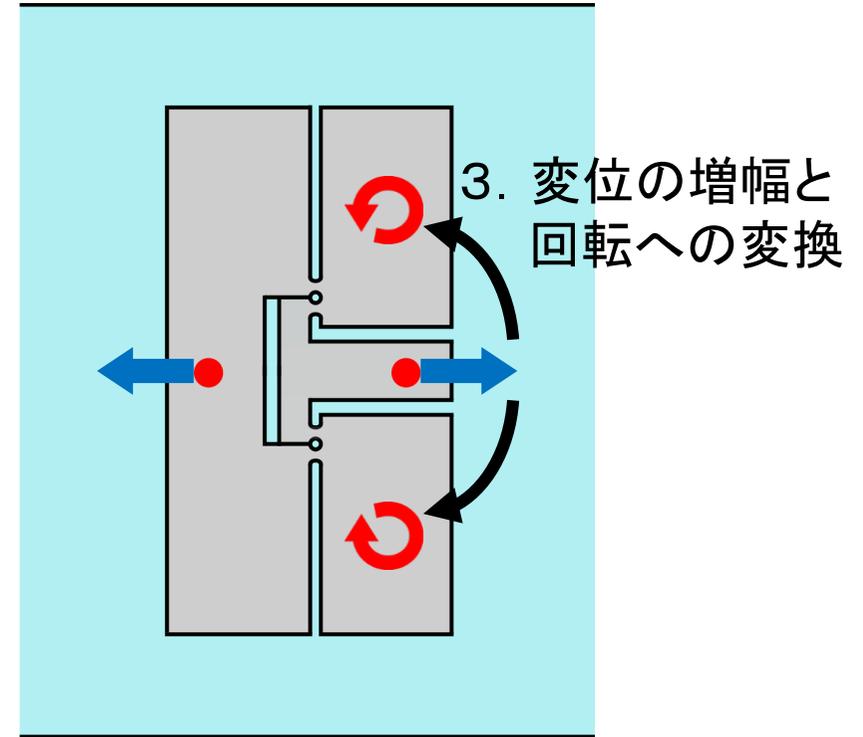
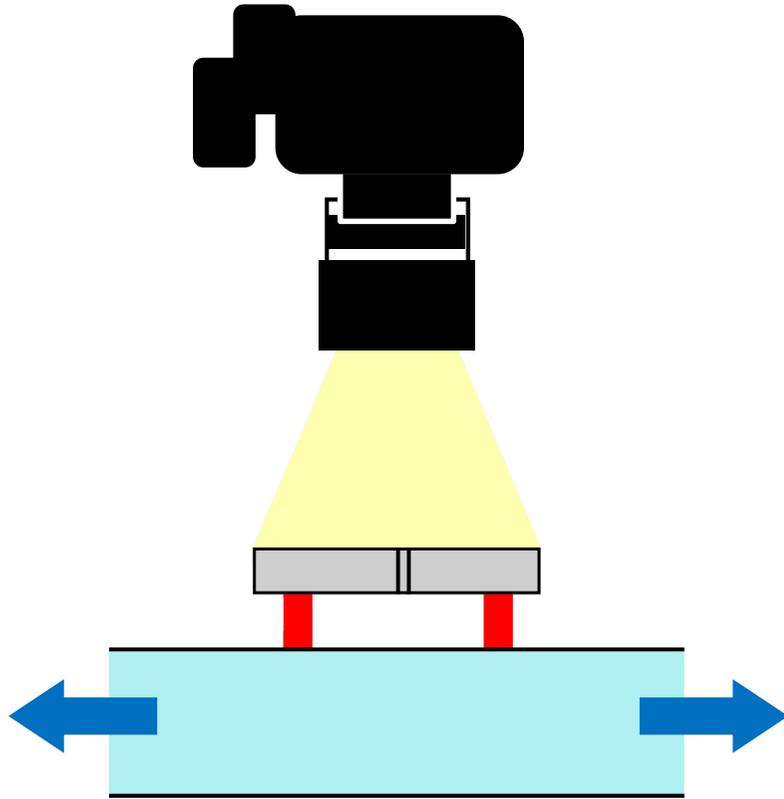
1. 測定対象が変形し，ひずみが発生する.

ひずみ計測の流れ②



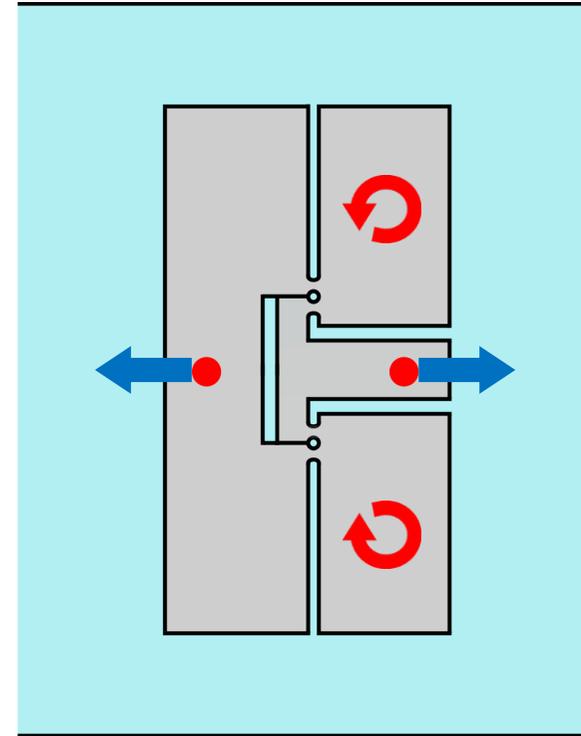
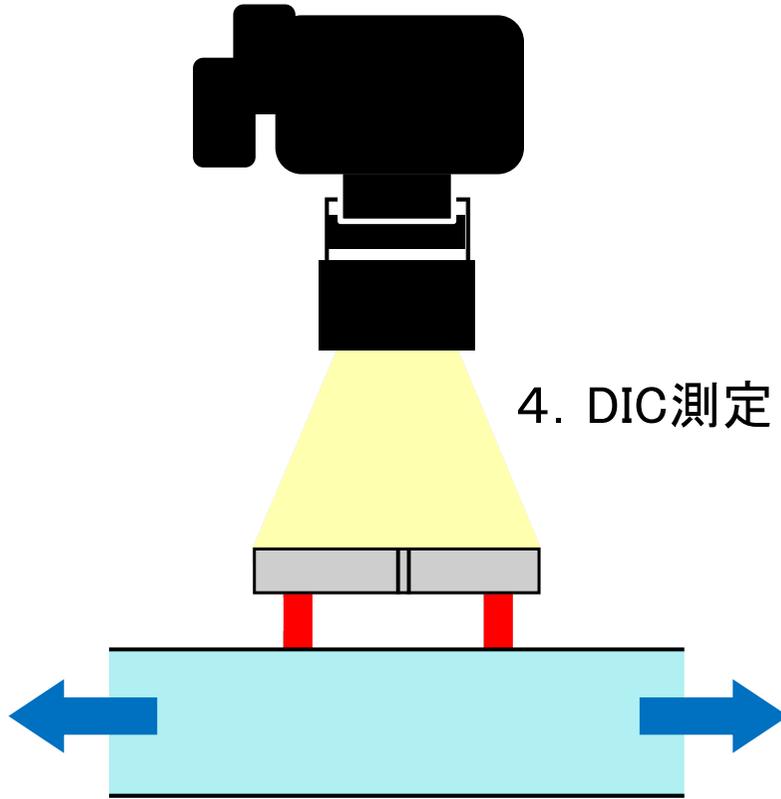
2. 測定対象の変位が機構に伝達される。

ひずみ計測の流れ③



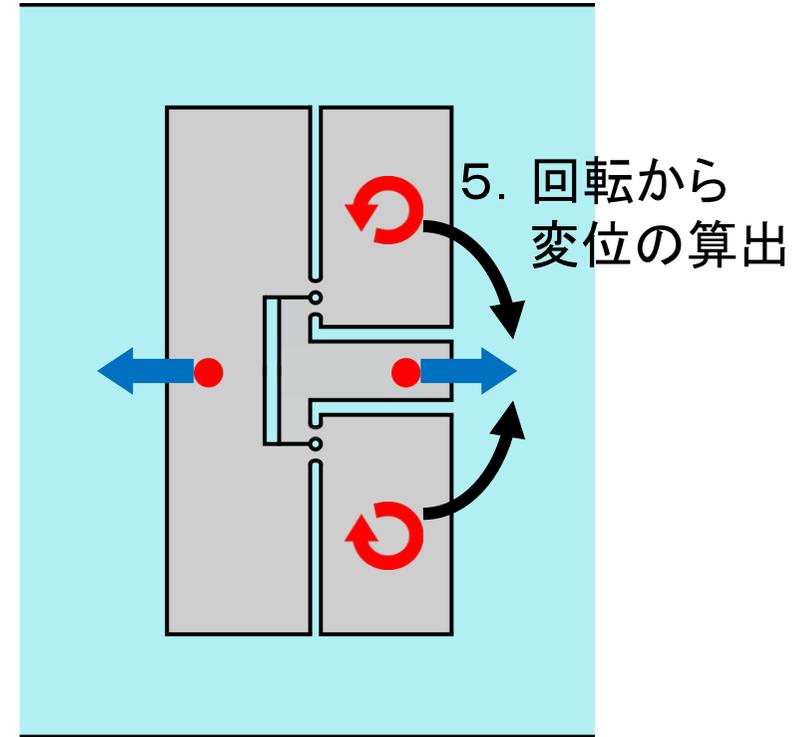
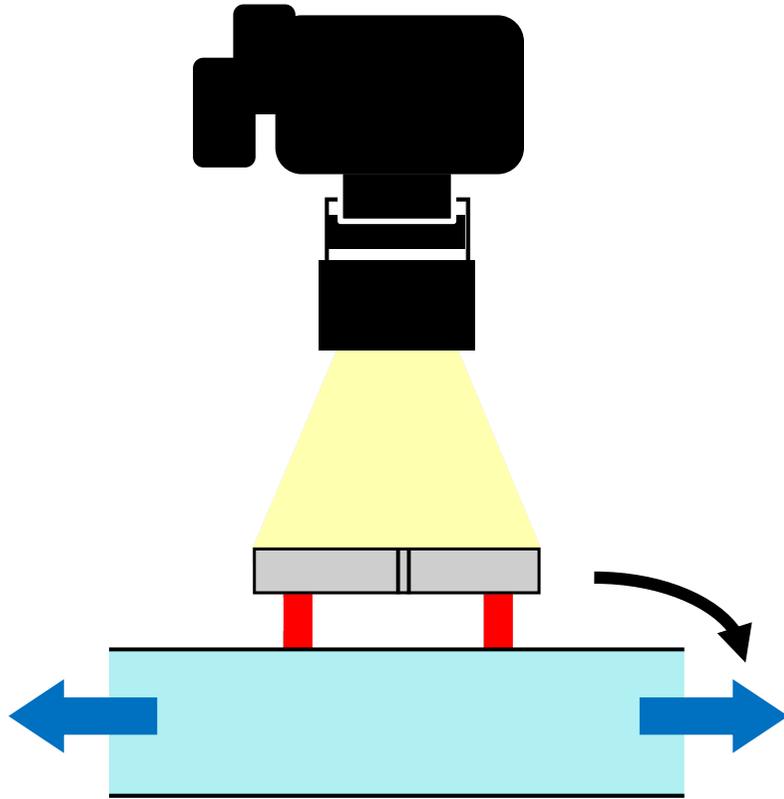
3. てこの原理とコンプライアントメカニズムによって変位が増幅され、回転へと変換される。

ひずみ計測の流れ④



4. 機構に発生する変位をDICで測定し，回転量を計算する.

ひずみ計測の流れ⑤



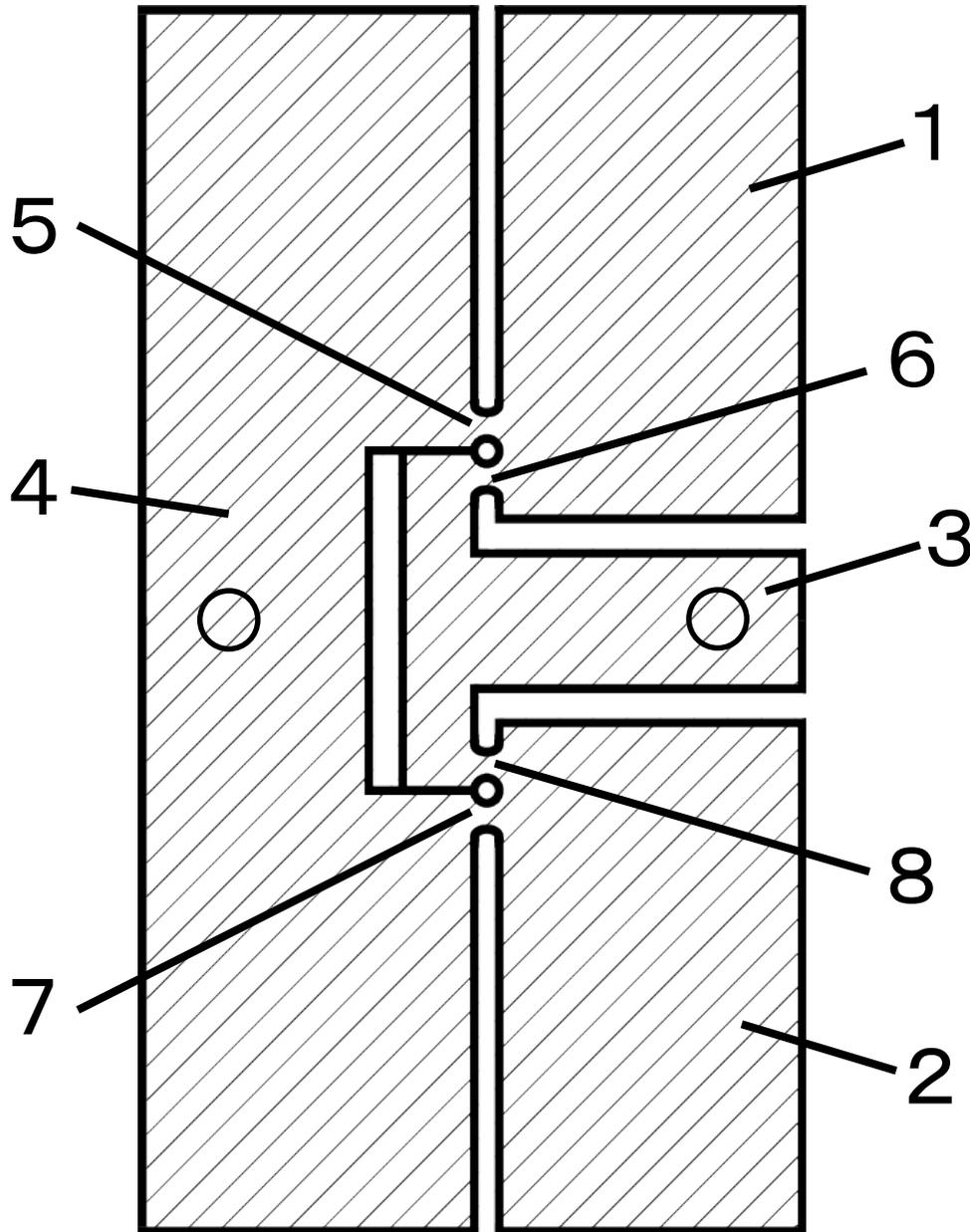
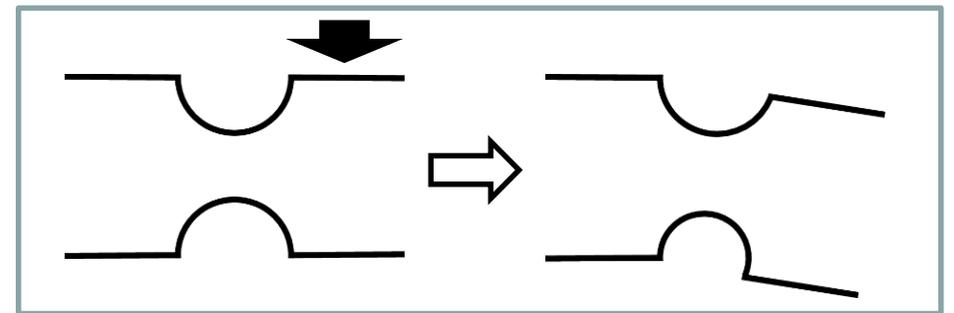
5. 計算した回転から機構に伝達された変位を算出し、測定対象に発生したひずみを求める。

機構の説明

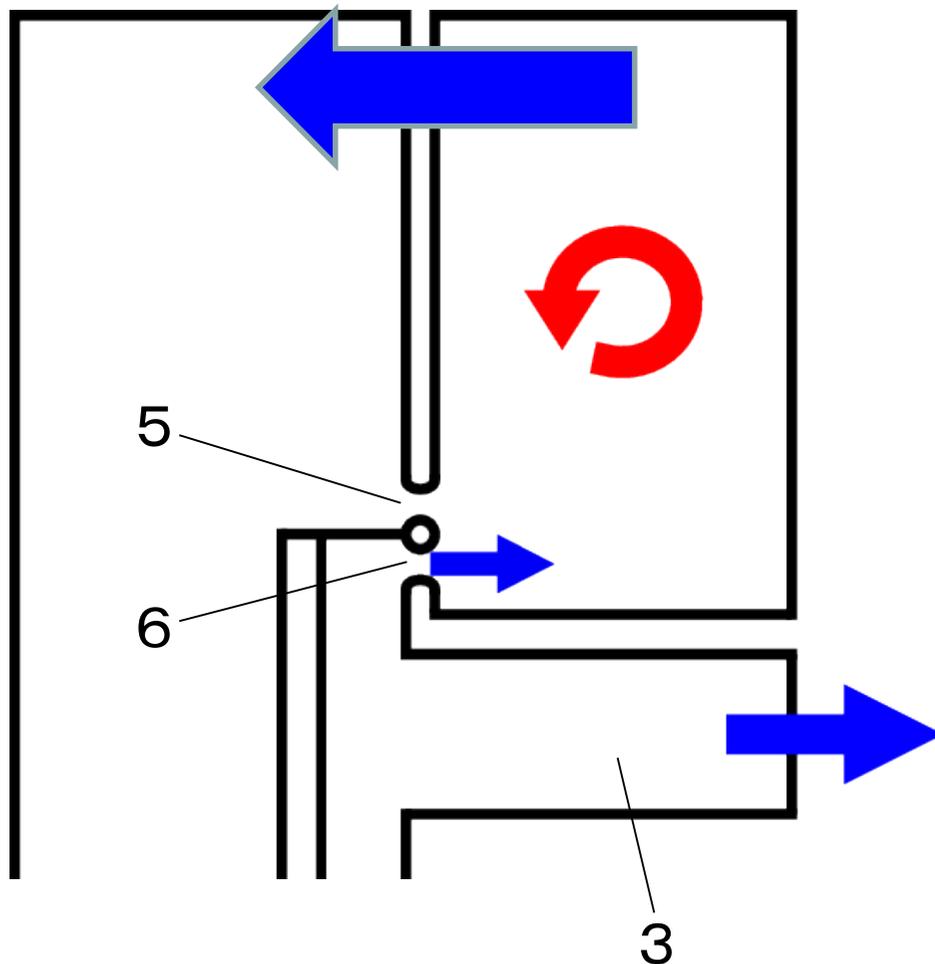
以下の部位で形成される.

- ・上側回転部1
- ・下側回転部2
- ・アンカー部3
- ・アンカー部4
- ・連結部5~8

連結部は弾性ヒンジ形状となっており, 機構の変形は連結部に集中する.



変位の増幅と回転への変換



アンカー部3の変位は連結部6に
伝達される。
伝達された変位は連結部の
弾性ヒンジ形状によって
連結部5を支点とする回転へと変
換される。

てこの原理で変位が**増幅**される

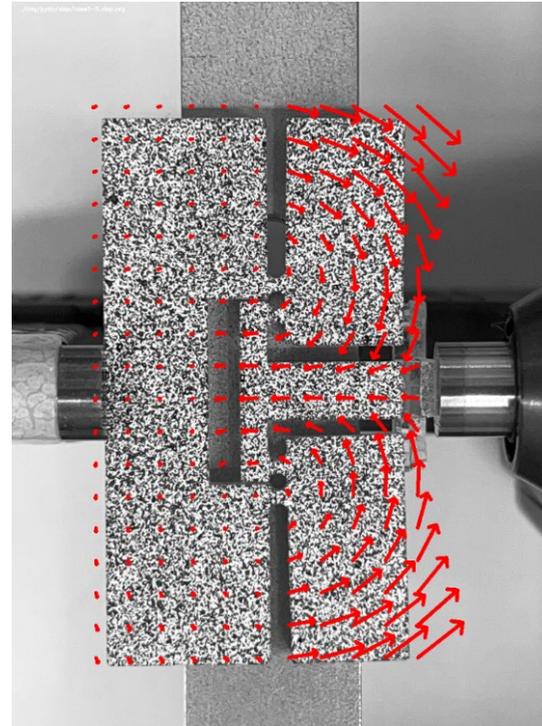
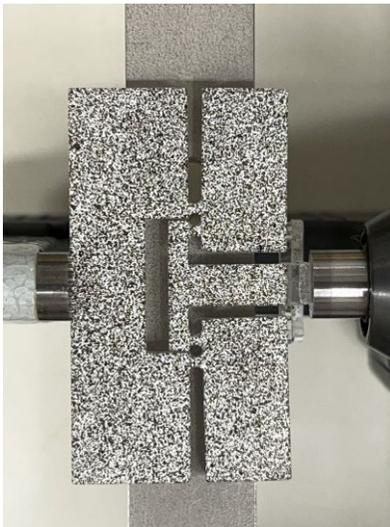
DICによる変位場の観測と算出

変形前と変形後の本メカニズムを撮影して
デジタル画像相関法(DIC)により変位ベクトル場を求める

変形前

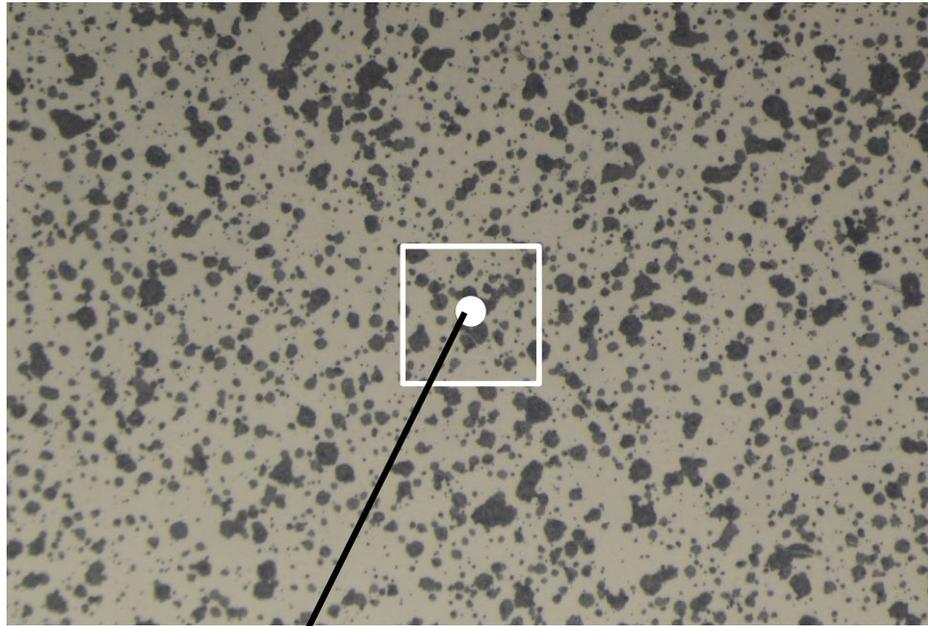


変形後



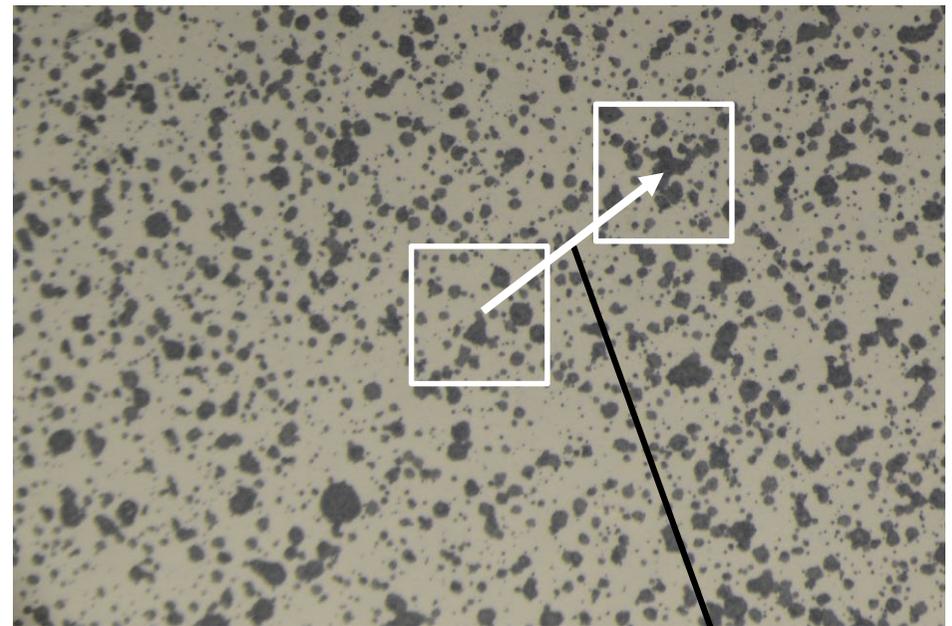
DIC測定の実理

変形前



測定点

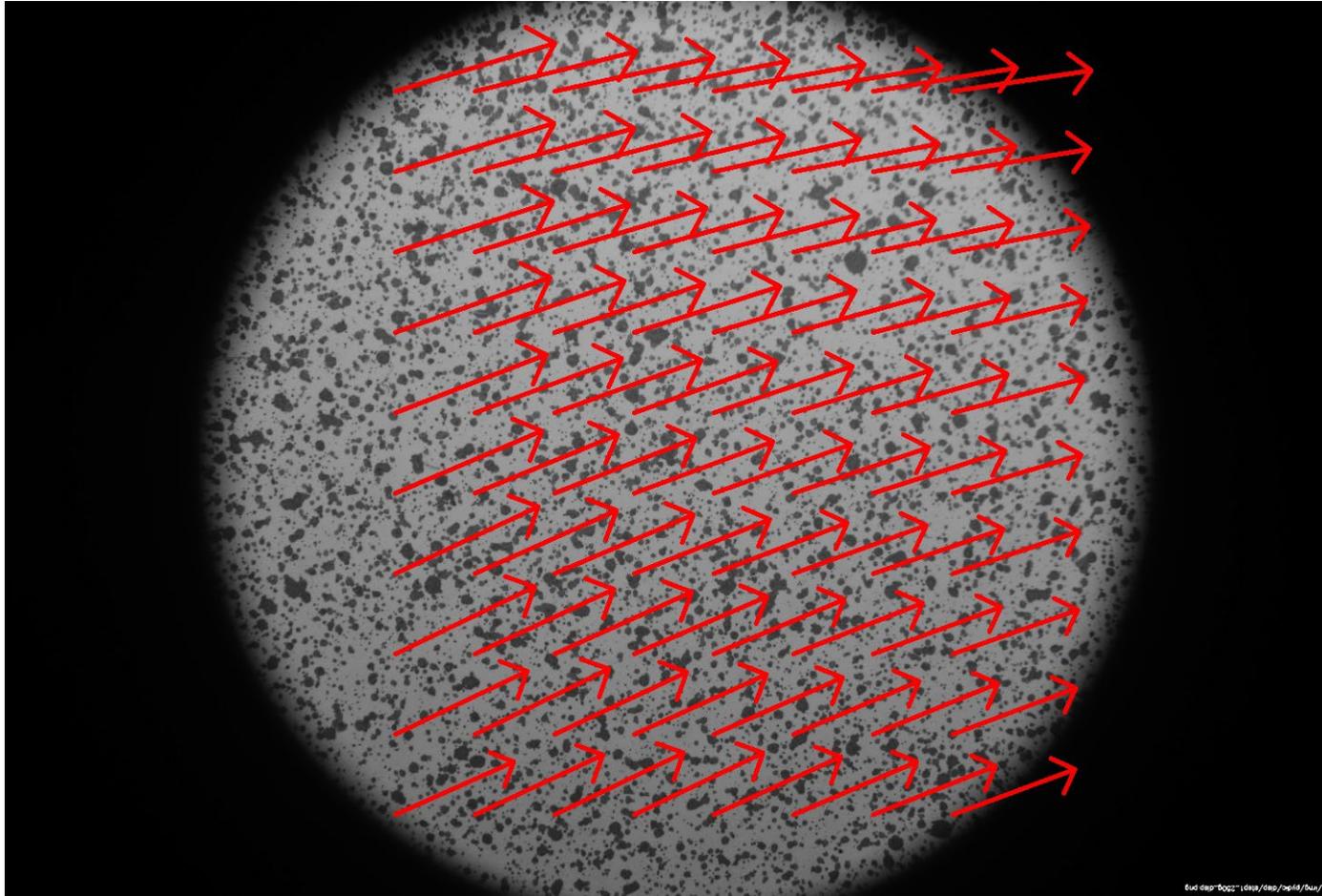
変形後



測定点の変位

画像テンプレートマッチングで画像の変位を解析する。

DIC測定結果

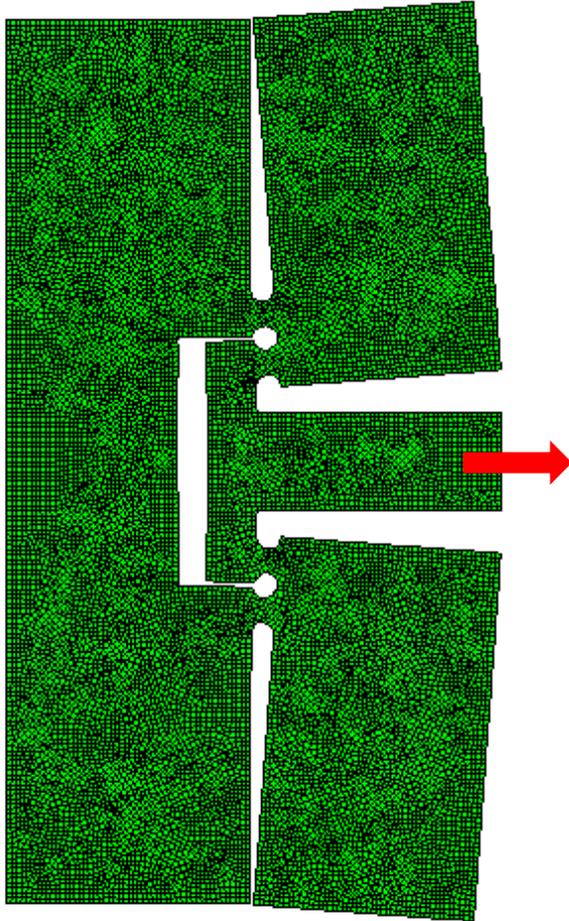


- DIC測定の結果，変位ベクトル場が求められる。
- 変位ベクトル場のローテーションを算出して回転量が得られる
- コンプライアントメカニズムのウイング回転量とアンカー部のひずみの関係はあらかじめキャリブレーションが可能である

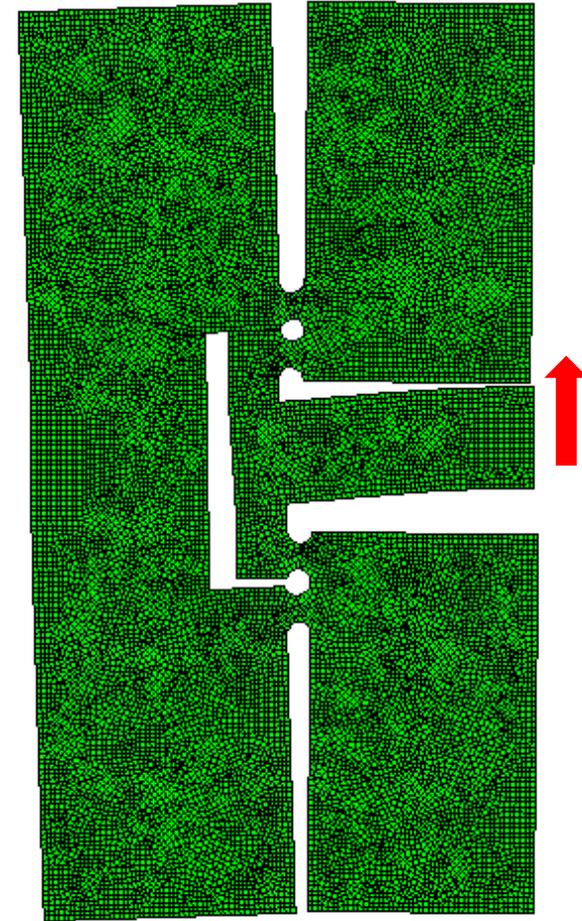
数値解析による検証

変形結果

引張変形

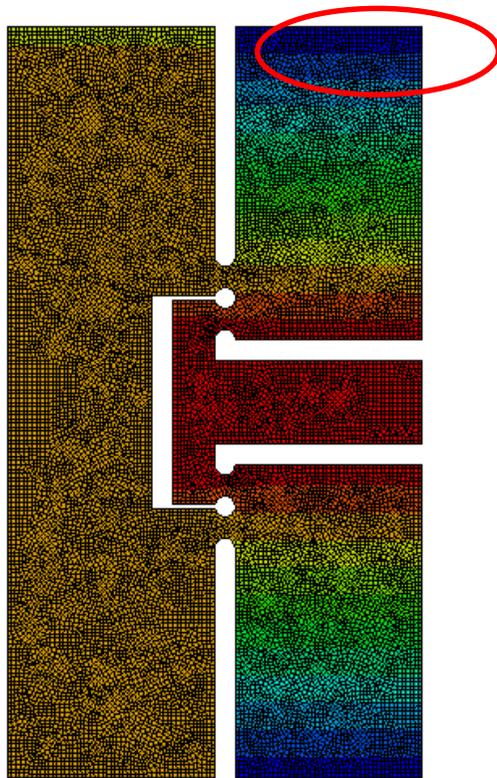


せん断変形



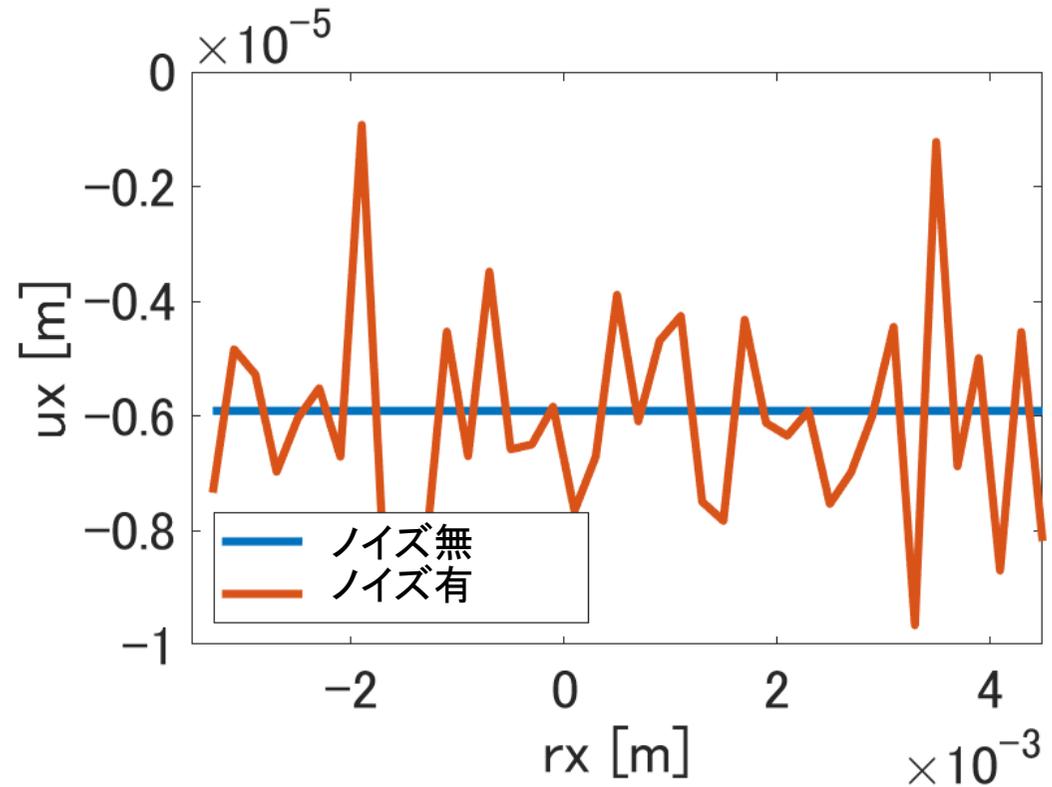
引張変形の時とせん断変形の時で上下の回転方向が変化する.

模擬測定データ



引張変形時のx変位

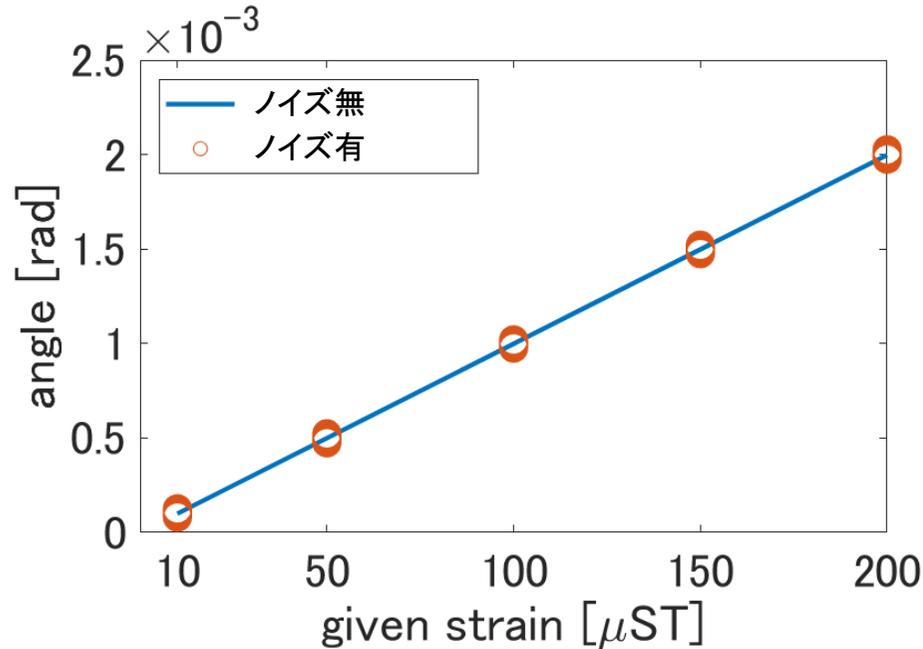
模擬ノイズを加える前後の比較



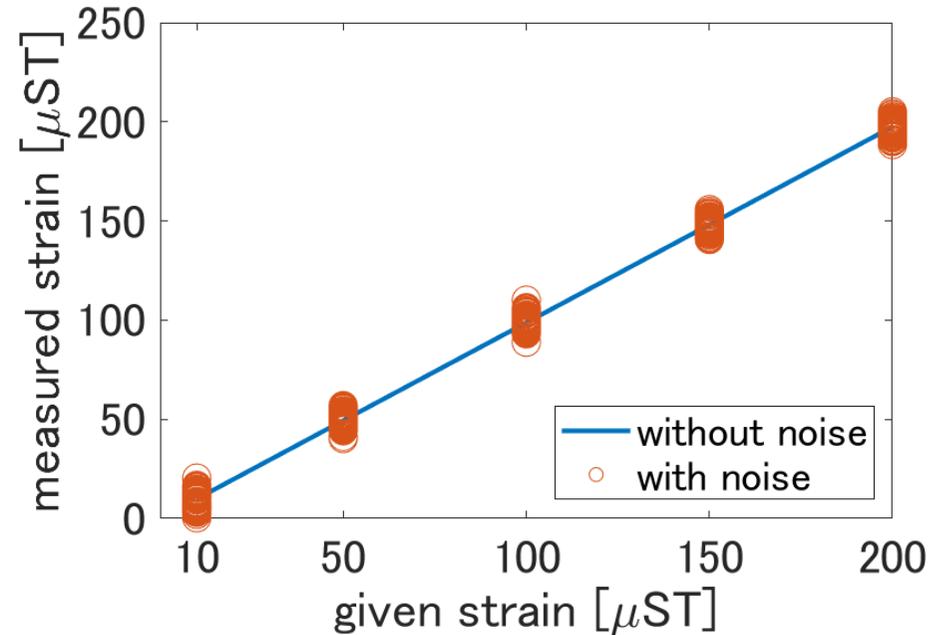
変位分布に対して平均0，標準偏差 1.8×10^{-6} の正規分布に従う乱数を，**模擬ノイズ**として加え，
様々な誤差の**100個の模擬測定データ**を作成し，
測定結果を検証する。

従来法と提案手法の比較(数値解析)

提案手法の測定結果 $\theta_1 - \theta_2$



従来法のひずみ測定結果 $\frac{\overline{u_x^3} - \overline{u_x^4}}{l}$

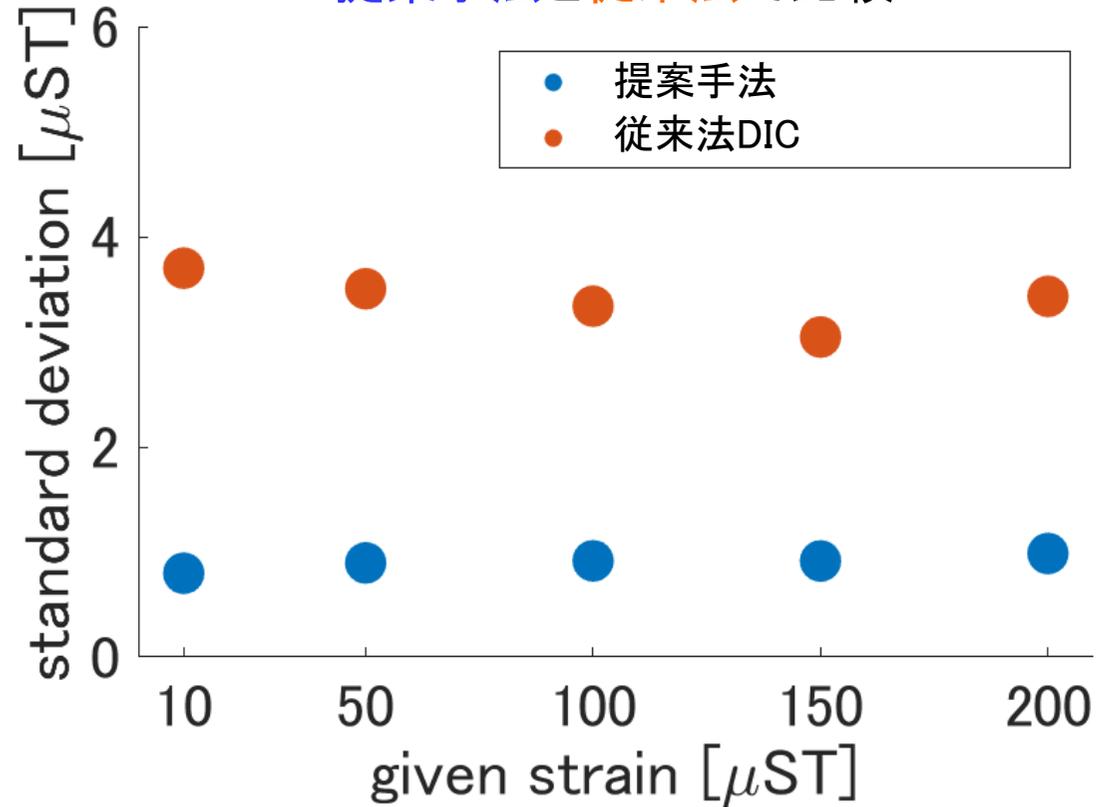


測定結果の散らばりは提案手法の方が抑えられている。

→与えたひずみごとに結果の標準偏差を求め、直線に当てはめ
横軸のひずみ値に直し、精度を比較する

精度結果(引張と従来法)

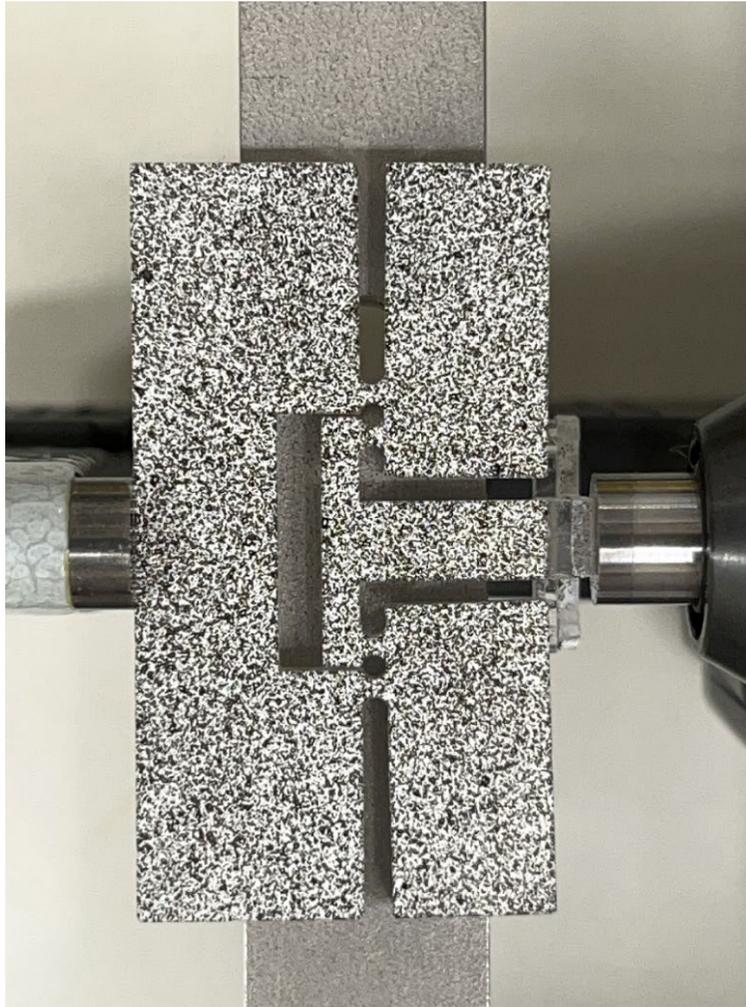
与えたひずみごとの測定結果の標準偏差を
提案手法と従来法で比較



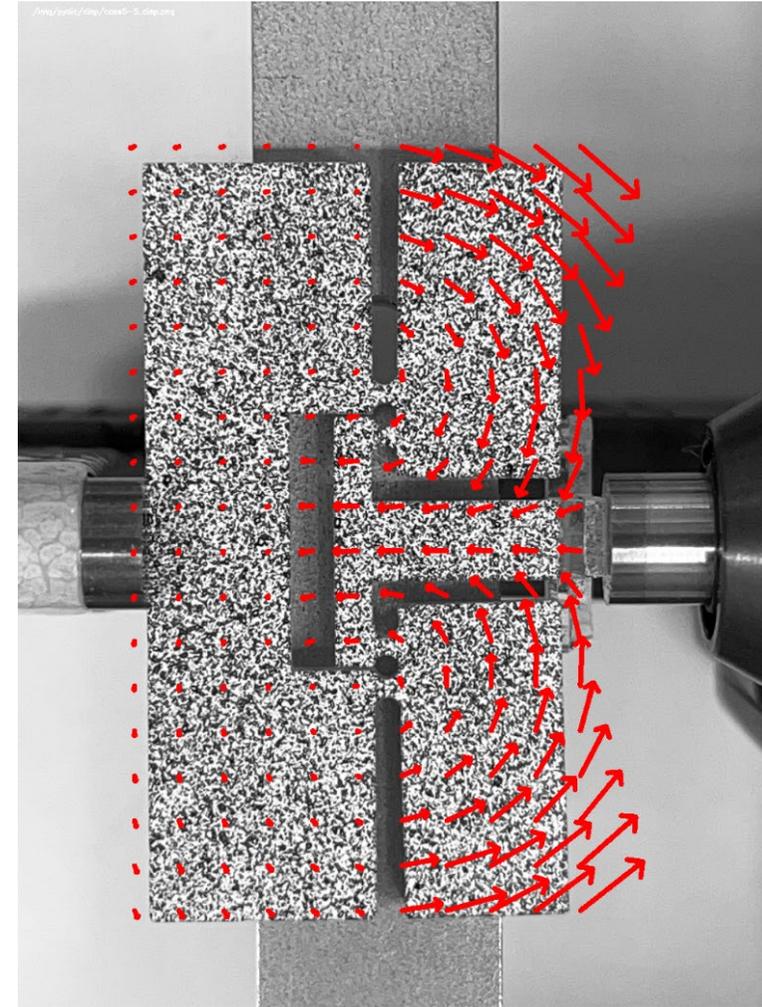
提案手法の精度の優位性が確認された。

実験による検証

撮影結果



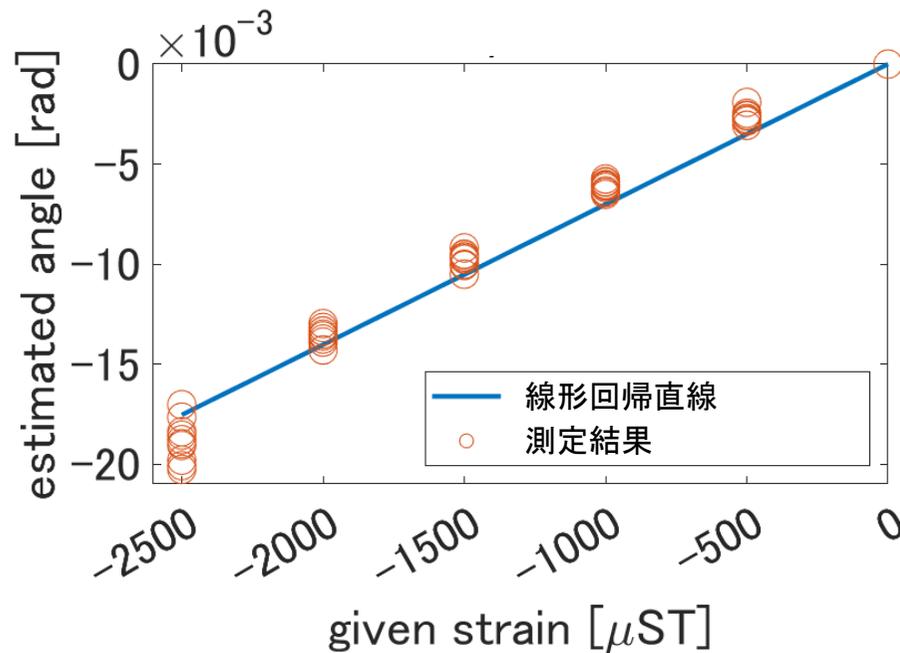
変位分布の測定結果



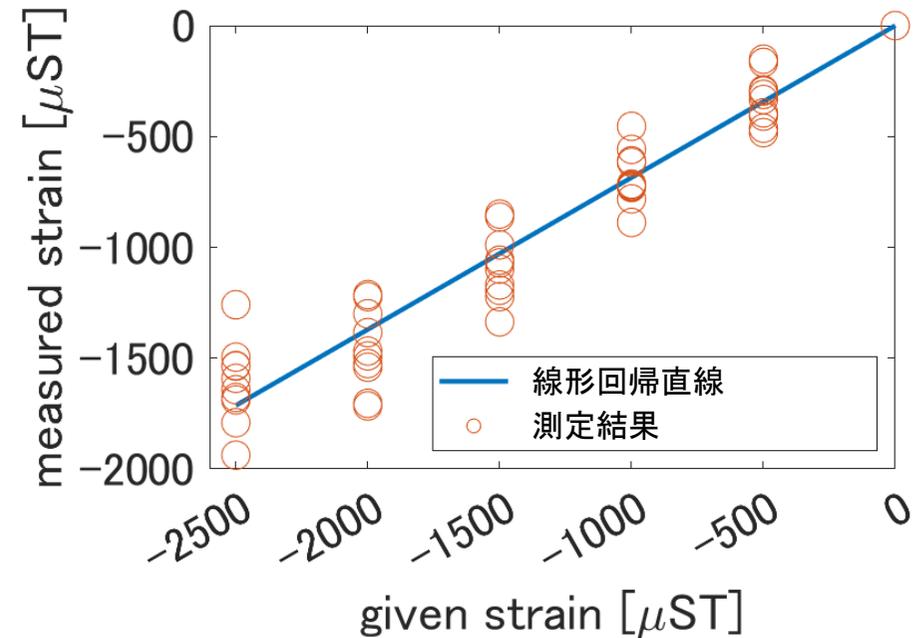
上下の回転部が回転している様子が測定できている。

測定結果（提案手法と従来法）

提案手法の測定結果 $\theta_1 - \theta_2$

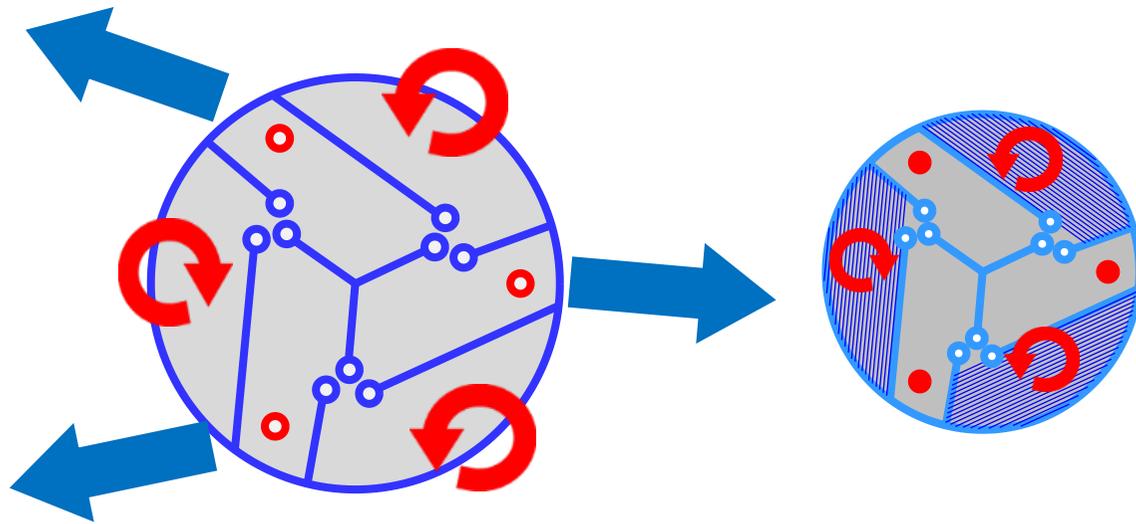


従来法のひずみ測定結果 $\frac{\overline{u_x^3} - \overline{u_x^4}}{l}$

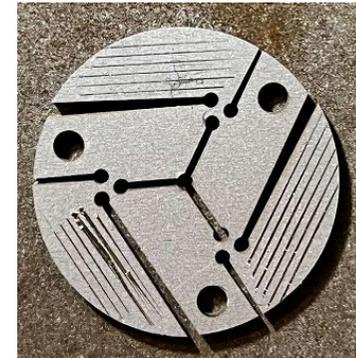


提案手法は従来法DICに比較して精度の良い測定がみとめられた

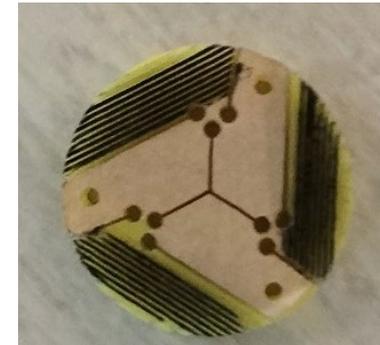
多方向ひずみを計測できる コンプライアントメカニズムのデザイン



金属製



アクリル



てこの原理とコンプライアントメカニズムによって変位が
増幅され、**回転検出部の回転**へと変換される。

回転検出部には**しま模様**がつけられている。

機構に発生する変形を画像計測し、**しま模様の向きの変化**から
回転量を算出し、発生した多方向ひずみを求める。

- **コンプライアントメカニズムとデジタル画像相関法を融合したひずみ計測手法を新たに開発した。**
- **コンプライアントメカニズムを用いて変位の増幅し計測精度を向上した。**
- **数値解析と実験によって提案手法の有用性を示した。**

想定される用途

- 高温かつ水環境における鋳造金型のひずみ測定
 - 単一材料で作成可能、給電不要
- 手軽に低コストでひずみ測定が実施できる
 - メカニズムを張り付けてスマホで撮影するだけで。。
 - 高価なひずみアンプが不要
- インフラの劣化診断（剛性低下のモニタリング）
 - 橋梁、ビル、高架橋
 - 遠隔から望遠で撮影できる
 - 給電不要

実用化に向けたみちのり

- 現在、多様な状況で実証実験を積み重ねている。実用化が可能と判断できている
- 今後は画像解析アプリケーションをスマートフォンに搭載
- より増幅度がたかくなるデザインの模索、最適化

企業への期待

- 産業現場において本手法のメリットが生きるような適用例を探索したい。
- DIC画像ひずみ計測サービスを展開している企業にも利用していただきたい。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : ひずみゲージ及びひずみ計測方法
- 出願番号 : 特願2022-146699
- 出願人 : 東京工業大学
- 発明者 : 天谷賢治、三田村和志

お問い合わせ先

東京工業大学
研究・産学連携本部

TEL 03-5734-2445

FAX 03-5734-2482

e-mail sangaku@sangaku.ac.jp