

写真でひずみを測ろう

利用部 資源・システムグループ 村上 了

■はじめに

人が様々な道具を使い、ピラミッドや万里の長城を作ったのは遙か昔の話ですが、人が初めて建物を建てる前に、実験によってあらかじめ柱やはりが「いつ壊れるのか」を調べ、その壊れた時の力を記録したのは、ルネッサンス期、かの有名な万能の天才レオナルド・ダ・ヴィンチだと言われています¹⁾。

彼のノートにはぎっしり建物に使われる材料の強さに関する実験のスケッチや実験の記録が書き留められています。しかし、そのノートは歴史に埋もれてしまい、あまり日の目を見なかったという経緯があります。15、16世紀の技術者はローマ時代の技術者と同様、経験に基づいて柱やはりの寸法を決めていました。

地動説で有名なガリレオが17世紀になってようやくその著書「新科学対話」で、柱が壊れる時の重量や、はりの曲げ試験の結果について、数学を用いて論理的に表現しようと考察が繰り返されています。ここから機械や建物に力がかかったときの変形や壊れる時の原理を研究する「材料力学」がスタートしました。今からおよそ400年前の話です。

400年も経過すると研究も進み、大きな建物から顕微鏡を覗かないと分からないヒトの細胞まで、変形や破壊の形態も様々で、その調べ方もいろいろな方法があります。

本稿では肉眼で確認できるレベルで、木材が壊れる時をどうやって観察しているのかということに絞って紹介させていただきます。

■変位量とひずみ

本題に入る前に、本稿で最も重要な言葉になる変位量とひずみについて概説します。図1に示すように、一様な断面で長さLの丸棒が棒の軸方向にPの力で圧

縮されれば、軸方向にδだけ縮みます。

このδを変位量 (Displacement Value) と呼んでいます。そして、この変位量δを元の棒の長さで割って、単位長さ当たりの変位量に換算したものをひずみ (Strain) と呼んでいます。ひずみは通常ギリシャ文字イプシロンεを使って表します。式にすると以下のように表せます。

$$\epsilon = \frac{\delta}{L} \quad (1)$$

ひずみの値は変位量を長さで割っているのです。単位がありません。建物の柱やはり、野球のボールやバットのような様々なものに力が加わった時、この値が変形の度合いの指標として、参考とすることができます²⁾。

■ひずみの測り方

肉眼レベルの実験でひずみを知る方法は大きく分けて3つあります。変位計を使う方法、ひずみゲージを使う方法、写真 (画像) を使う方法の3つです。この項では変位計を使う方法とひずみゲージを使う方法の2つを紹介します。

まず、変位計を使う方法ですが、ペンシル型と巻き取り型の2種類の変位計を写真1に示します。ペン

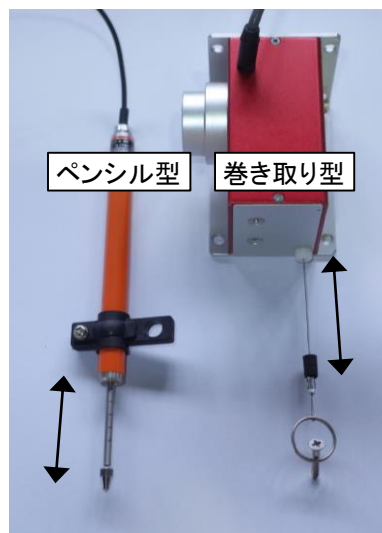


写真1 変位計
(ペンシル型：東京測器社製 CDP-M50、
巻き取り型：東京測器社製 DP-500E)

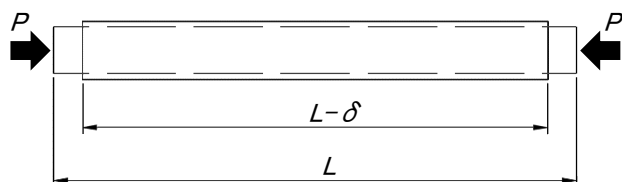


図1 丸棒の圧縮

シル型は先の棒の押し引きで、巻き取り型はメジャーのように鋼製のワイヤーの押し引きでそれぞれ変位量を得ることができます。また最近であれば、レーザーを使った変位計も試験に使うことがあります。

求めた変位量を式(1)に当てはめて、ひずみを求めます。しかし、力を受ける方向に垂直に切った時の断面積が図1の棒の様に何処を切っても同じになるようなものでないと、ひずみが式(1)で計算できません。

ひずみゲージは金属が電気を通すときの電気抵抗を利用したものです。金属が伸びたとき電気抵抗が増加し、金属が縮んだとき電気抵抗が低下します。この性質を利用して、ひずみを計測します。

具体的には写真2のような金属の線を絶縁体のシートで覆ったものを測りたい場所に貼り付けて、その場所のひずみを計測します。残念ながらひずみゲージにも欠点があります。当たり前ですが、ひずみゲージを貼った1箇所しか、ひずみが分からないという点です。

■写真からひずみを測る

二次元、三次元的にひずみを測る方法（全視野的計測法）は、応力塗膜法、光弾性法、モアレ法³⁾などたくさんあるのですが、精度、装置の価格、試験の容易さから写真（以下、画像）を用いた画像相関法という方法が近年、木材にもよく応用されています⁴⁾。

画像相関法は変形前と変形後の2枚の画像を比べて、何処がどれだけ変形しているかを調べる技術です。ひずみが知りたい箇所にランダムドットと呼ばれる黒い斑点を付けて、変形前と変形後の画像を比較します。ランダムドットを付ける方法も様々ありますが、通常ラッカースプレーやエアブラシを用いてインクを吹き付ける方法が一般的です。

図2に示す様に、このランダムドットを手がかりにして、変形前の全体の画像の中の特定の部分（以下、

サブセット）を変形後の画像の中から変形前のサブセットと対応するサブセットを見つけ出し、サブセットがどれだけ移動して、どれだけ変形しているかを計算します。実際のランダムドットの様子とその画像を拡大したサブセットの様子を写真3に示します。

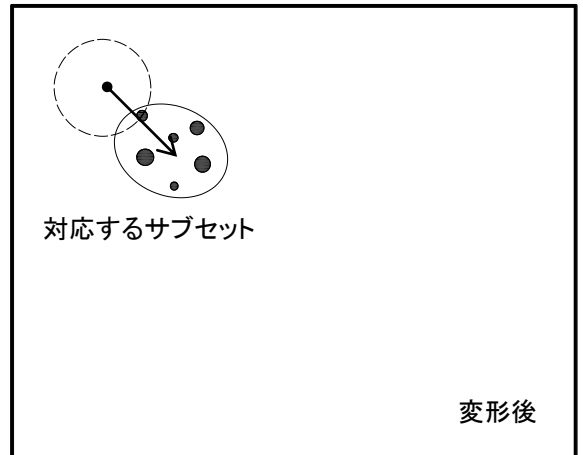
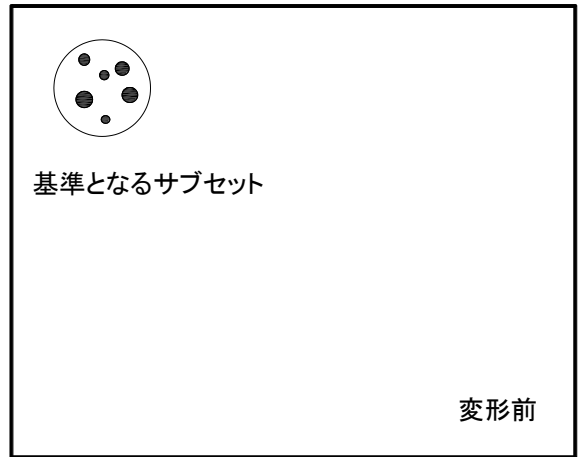


図2 変形前と変形後のサブセットの模式図



写真2 ひずみゲージ
(東京測器社製：PFLW-30-11)

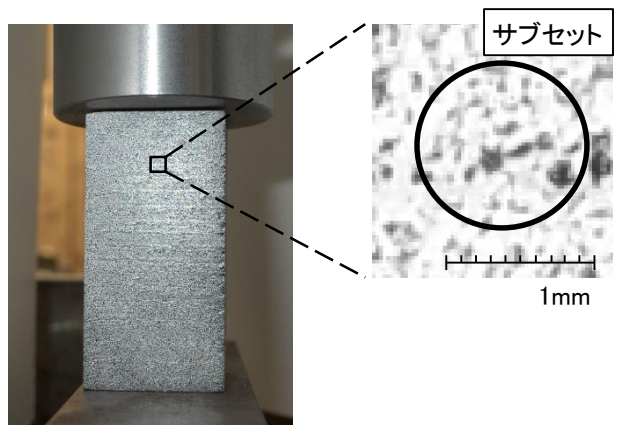


写真3 ランダムドットとサブセットの一例

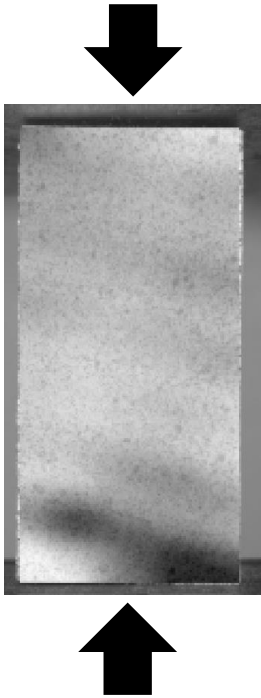


図3 画像解析によるひずみ分布の一例
(木材半径方向の圧縮)⁵⁾

写真3の試験体の上下にゆっくりと力を加えて行くのと同時に、画像を連続的に撮影することによって、試験体がどの様に変形していくのか、どれくらいの力で壊れるのかなど、様々な情報を得ることができます。図3に写真3の試験体を0.1mm圧縮した時のひずみ分布を示します。ひずみは画像相関法によりコンピュータ上で加力前と圧縮した時の画像を比較することによって得たものです。より黒い箇所がより大きくひずんでいることを示しています。

■おわりに

画像相関法は解析にあたり、何枚もの画像を処理したり、サブセットを細かくしてひずみを調べたりするので、コンピュータでの処理に多くの時間がかかることがあります。

しかし近年、パソコンの性能は以前より格段に向

上し、解析をCPUだけでなく、グラフィックボードに分担させるGPUコンピューティングなど、大量の画像データを解析するためのツールが多く開発されています。同時にデジタルカメラも性能の高いものが安価で手に入りやすく、商用、非商用の画像相関法のソフトウェアも整備され、画像相関法を用いたひずみの解析を研究者が行うのにあたり、環境が整いつつあります。

材料が破壊する様子を捕らえるためにはひずみを調べることは不可欠です。画像相関法を用いれば、これまで変位計やひずみゲージで点でしか捕らえることの出来なかったひずみを、面もしくは3次元的に捕らえることができます。例えば、複雑な形状を持つ木材を使った建物の接合部（縦の柱と横の梁や土台が交差する所）や椅子の背もたれ、脚部と座面の継ぎ目などで応力集中する箇所をより詳細に調べ、結果として高いデザイン性、機能性に優れた製品開発に役立てることが可能となります。

今後林産試験場でも、木材の基礎的な性能試験だけでなく、家具、建物の接合部等に様々な木材を使った製品の性能評価試験に画像相関法を生かしていきたいと考えています。

■参考、引用文献

- 1) S. P. チモシェンコ著，川口昌宏（訳），最上武雄（監訳）：「材料力学史」，鹿島出版会，2007
- 2) 小田十八，鶴崎明，木田外明，山崎光悦：「材料力学〈基礎編〉」，森北出版，1988
- 3) 菅野昭，高橋賞，吉野利夫：「応力ひずみ解析」，朝倉書店，1986
- 4) 日本木材学会 木質強度・木質構造研究会 編：「ティンバーメカニクス 木材の力学理論と応用」，4.4 破壊力学とひずみ解析，海青社，2015
- 5) 村上了，大崎久司：「木材半径方向圧縮試験における局部面圧現象の定量的評価」，第66回木材学会大会（名古屋）要旨集，2016