

応力ひずみ測定実験のパソコン処理

— トラスモデルによる構造力学実験 —

岐阜職業訓練短期大学校 伊藤達也・加藤哲夫・原 吾朗
池田 徹・梅田良範

Measurement System of Stress-Strain Relation by Personal Computer Experiments for Truss in Mechanics of Structure

Tatuya Itou · Tetuo Katou · Gorou Hara
Tooru Ikeda · Yosinori Umeda

要 約 機械工学実験の教材として、トラス構造モデルにおける応力とひずみの計測ができる実験装置を開発し、その測定にパソコンを利用して自動計測、データ処理の試行を行なった。

本装置は、トラス本体、ひずみ検出部、制御・データ処理部の3部から構成されている。アルミ棒材を組み立てたトラスに負荷を加え、各部材に生じたひずみをひずみゲージにて検出し、ブリッジ回路、動ひずみ計、A/Dボードを介してパソコン内にデータを取り込む。計測データから各部材に生じた軸力を計算し、グラフとして画面に表示する仕組みとなっている。今回製作した装置は、パソコンのI/O出力を利用して多点のひずみ計測が可能とし、最大16点のひずみ計測を10秒程度で自動的に行なうことができる。

本実験装置を用いて静定トラスのひずみ計測を行なった結果、各トラス部材に作用する軸力と構造力学理論による計算値の定性的な一致が得られ、トラス構造の特色を理解する上で、本装置の有効性が確認できた。

I はじめに

機械工学を学ぶ上で、応力とひずみの関係を理解することは最も重要な事項である。また、このことは材料力学の第一歩であり、機械系の学生が学ばなければならない基礎教科の1つでもある。

当校では、機械工学基礎実験の課題にひずみゲージを用いた応力・ひずみの測定実験を行っており、材料力学演習、計測技術の習得を図っている。その教材として前報⁽¹⁾では、梁における応力・ひずみ実験装置を製作し、その計測にパソコンを用いて、機械工学・制御技術への訓練効果について報告した。本報はその第2報として、鉄橋、鉄塔、大型ロボットのアームなどに利用されているトラス構造におけるモデル実験装置を製作し、その測定にパソコンを利用してひずみの自動計測、データ処理を行い、目で見て理解できる構造力学教材の開発を行

なった。

トラスとは、2つ以上の直線棒材(部材)が、摩擦のない回転自由な結合点(滑節点)によって連結された構造物であり、そのため、トラスを構成する部材には軸方向力(圧縮/引張り)のみが作用する特性を持っている。また、トラスにかかる1つの力は、トラスを構成するすべての部材に作用し、構造全体で強度を負担する特性もある。それゆえ、梁などの単体構造物にくらべ軽量化が可能となり、大型構造物などに多く利用されている。実際のトラスは、複雑かつ立体的に組み立てられているが、ここでは構造物、外力とも平面内に存在する「平面トラス」として扱うものとする。

II トラスモデル実験装置の製作

本実験装置の外観を図1に示す。この装置は、トラスに負荷を加え、トラスに生じたひずみをひずみゲージにて検出し、ブリッジ回路、動ひずみ計、A/Dボードを介してパソコン内にデータを取り込む。計測データから

各部材に生じた軸力を算出し、グラフとして画面に表示する仕組みとなっている。本装置は、トラス本体、ひずみ検出部、制御・データ処理部の3部から構成されている。

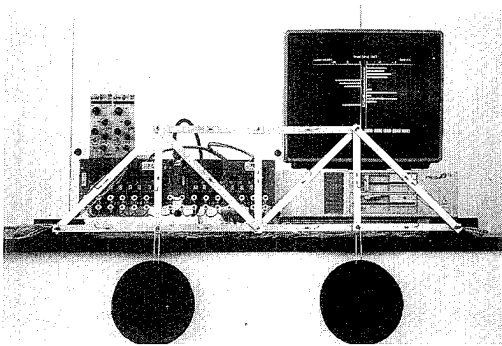


図1 トラスモデル実験装置

1 トラス本体

本実験で使用したトラス形状を図2に示す。トラス部材はアルミ材 (A1100) を使用し、断面寸法 $3 \times 15\text{mm}$ 、部材長さは、トラス部材の交差角が 45° もしくは 90° となるように 200mm の垂直材、 283mm の斜材の2種類を組み合わせた。したがって全長 800mm 、高さ 200mm となり、13部材・8節点で構成されている。今回製作したトラスモデルは、最大 10kgf の荷重が掛けられるように設計されている。

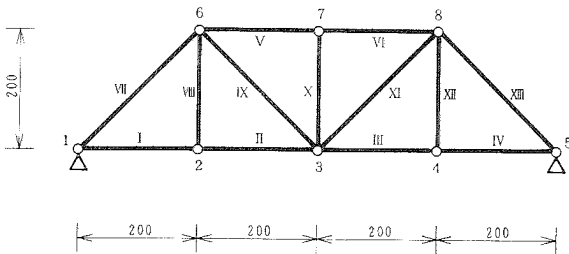


図2 トラス形状

各部材の接合点は $\phi 6\text{mm}$ のリーマ仕上げ穴に平行ピンを打ち込んでヒンジ使用とした。これは、穴とピンのガタを無くすことによって、部材間の力の伝達を確実にするためである。また、各部材の中央部にはひずみゲージを表裏面に1枚ずつ貼付し、トラスに生じたひずみを検出する。これは2倍のひずみゲージ出力が得られるとともに、トラスが左右対称に組めない場合、部材に曲がりやねじれが生じて、(圧縮・引張りひずみ) + (曲げ

ひずみ) を検出してしまうため、2ゲージ法を採用して曲げひずみ成分を消去するようにしたものである。

2 ひずみ検出部

ひずみゲージにより検出されたひずみは、ホイートストン・ブリッジを介して動ひずみ計によって電圧に変換される。しかし、13部材のひずみを1台のひずみ計で同時に計測することは困難であり、各ひずみゲージをブリッジ回路に順次切り換えるスイッチが必要になる。そこで図3のような回路にしたがって、ブリッジ回路を自動的に切り換えるスイッチボックスを製作した。その装置を図4に示す。スイッチの切り換え操作はパソコンからのI/O出力で行ない、32個のICリレーによってスイッチをON-OFFする仕組みになっている。本装置では最大16点のひずみ計測が10秒程度で可能であるが、I/O出力端子を増設することにより、100点以上の自動計測も可能である。また、装置中央部のブリッジ回路端子を組かえることにより、1ゲージ法、2ゲージ法、4ゲージ法のいずれにも対応できるようになっている。

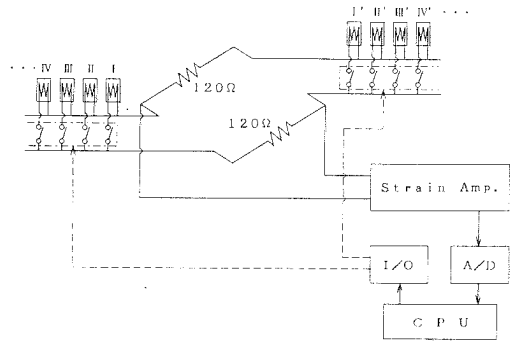


図3 システム構成

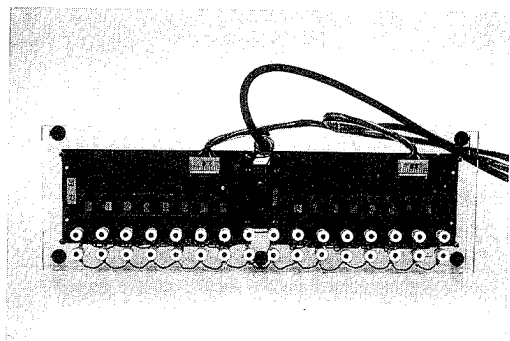


図4 スイッチボックス

3 制御・データ処理部

制御・データ処理部はパソコン、A/D変換ボード、I/O出力ボードで構成されている。測定プログラムのフローチャートを図5に示す。

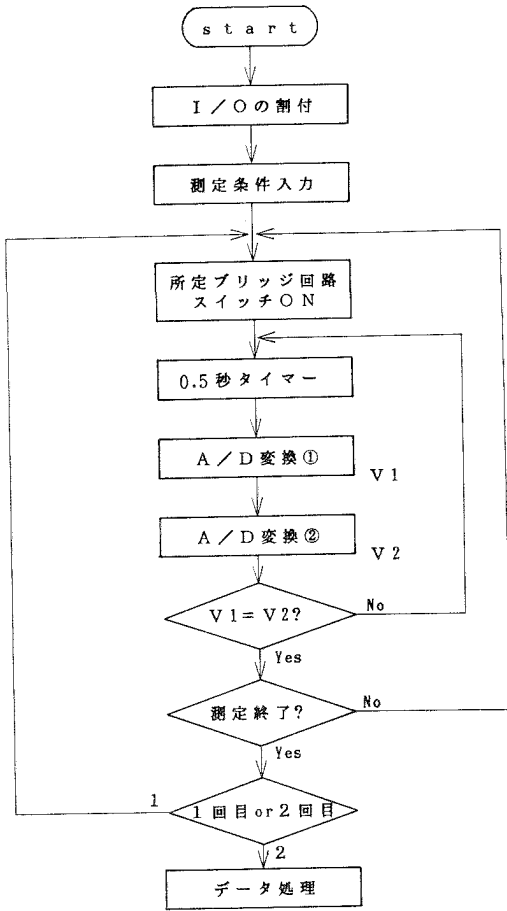


図5 操作フローチャート

まず、I/O出力ボードの割付を行ない、測定条件（測定点数、ゲージ率、アンプ増幅率）をキーボードより入力する。まず、1回目の計測は負荷を掛けない状態で行ない、I/Oボードを通して所定のスイッチをONにし、ブリッジ回路を切り換える。そして、応答の遅れにより電圧が安定する0.5秒後に電圧のサンプリングを実行する。ここで、計測データの信頼性を増すためにA/D変換を2度行ない、同値が得られたならば、値をメモリーへ取り入れる。これらの操作を測定点数回繰り返して1行程が完了する。次に、荷重を負荷した状態にて2回目の計測を同様に行ない、全計測が終了する。その後、得られた電圧データは、負荷によって発生したひずみの変

化量、すなわち2回目の電圧データから1回目の電圧データを差し引いた値を、(1)式のひずみゲージ理論式へ代入し、各部材に生じたひずみを計算する。

$$E_i = \frac{1}{4} n \cdot e_0 \cdot K_s \cdot \epsilon$$

$$\therefore \epsilon = \frac{4 \cdot E_i}{n \cdot e_0 \cdot K_s} \quad (1)$$

ϵ : ひずみ
 E_i : 出力電圧
 n : ゲージ法
 e_0 : 入力電圧
 K_s : ゲージ率

また、部材に生じる応力および軸力はフックの法則から

$$\sigma = \frac{P}{A} = E \epsilon \quad (2)$$

σ : 作用応力
 P : 作用軸力
 A : 部材断面積
 E : ヤング率

より求められる。得られた軸力は図6に示すグラフとしてコンピュータ画面に表示される。

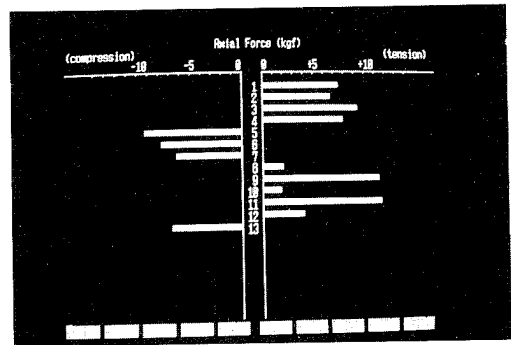
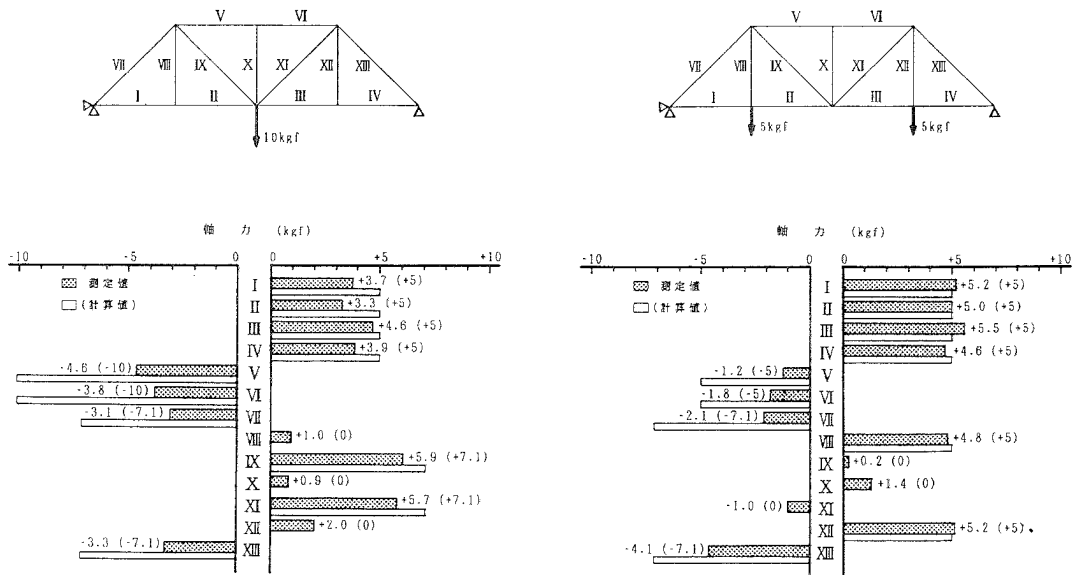


図6 結果表示画面

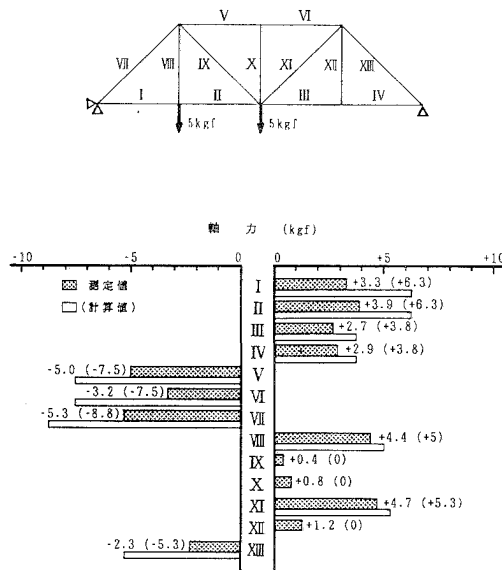
III 実験結果

本実験装置を用いて、3タイプの荷重パターン（集中荷重、対称荷重、非対称荷重）が作用した静定トラスについてひずみの計測を行なった。各部材に生じた軸力の計測結果、および構造力学における各部材作用力の計算値を図7(a)~(c)に示す。



(a) 集中荷重

(b) 対称荷重



(c) 非対称荷重

図7 計測結果

(a) では、集中荷重が負荷されても I ~ VII、XIII 部材と各部材に力が分散しており、構造全体で強度を負担する特性がよく現われている。また、下部材 (I、II、III、IV) は引張り力、上部材 (V、VI) は圧縮力が作用し、垂直材には力が作用しないというトラス構造特有の現象

が現われている。(b) についても (a) 同様に構造全体で強度を負担しており、IX、X、IX 部材には力が作用せず、トラスの中心にてほぼ対称に力が分布している。(c) は非対称荷重の場合であり、力が左側部材に偏って作用しているのがわかる。また、IX、X、IX の部材にはほ

とんど力が作用せず、垂直部材の効果が小さいことが伺われる。

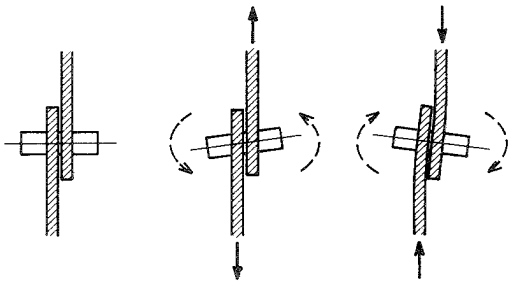
これより、全体的に理論計算値と定性的にはほぼ一致しているが、計算値よりも計測値がやや低く、特に負の軸力（圧縮力）では、理論値の半分程度しか力を検出できていない。これは、今回製作したトラスモデルが平面トラスであるため、図8(a)のようにトラス部材を組んでおり、この部材に力が作用すると部材の軸中心が一致していないために節点で偶力が発生し、特に圧縮力が作用する部材には曲げ変形が生じるとともに、あたかも座屈したかのように本来の圧縮力が部材に伝わらないものと考えられる（図8(b)(c)）。それに加え、スパン長が800mmと大きいために水平方向の強度が弱く、トラス本体が水平方向にねじれる現象も生じ、作用力の低下が起こった可能性がある。また、測定値のバラツキも多少みられ、パソコン出力信号のノイズが影響しているものと考えられる。

で、本装置の有効性が確認できた。

本装置は、トラス構造の特性・力学を学ぶ以外にも、ひずみゲージを用いた計測技術の習得、パソコンのデータ入力信号の流れについて学ぶ教材としても活用できる。

参考文献

- (1) 池田 徹、加藤哲夫、原 吾朗：報文誌, 1-1 (1988), 163



(a) 無負荷 (b) 圧縮力作用 (c) 引張り力作用

図8 節点の変形挙動

このように、部材作用力の定量的な一致は得られなかったものの、トラス構造の特色はこれらの結果より顕著に現れており、本装置の有効性が確認できた。また、今回提示したトラス形状は一例であり、各種寸法の部材を用意すれば、任意のトラス形状の実験もできる。このように、本実験装置は自由度が大きく、他のひずみモデル実験への発展も可能である。

IV まとめ

トラス構造におけるモデル実験装置を製作し、パソコンを用いてひずみの自動計測を行なった。その結果、各トラス部材に作用する軸力と構造力学理論による計算値の定性的一致が得られ、トラス構造の特色を理解する上