

居住系学生のための基礎工学実験の提案

—より実践的で効果的な実験のために—

住居環境科 諸石 賢一

Proposal of basic engineering experiments for residential students

—For more practical and effective experiments—

Kenichi Moroishi

概要 現在、全国の大学校や短期大学校の専門課程の標準カリキュラムには、シラバスで実施内容が示されている。シラバスを定めることによって授業の品質の担保が可能となるため、それ自体は有効な手段であるといえる。ただし、機構が実施する学卒者訓練は、2年間という短期間において様々なカリキュラムを実施しているため、こと実験においては、基礎工学実験と居住系の専門科目との関連性はあまり体系的ではなく、一体的な取り組みが構築できているとは言えない。そこで、本報では、居住系の専門学科や専門実技への移行がスムーズに行えるように、居住系学生に対し修正した基礎工学実験の各種実験方法とシラバスを提案する。

1. はじめに

全国に設置されている大学校や短期大学校の専門課程は、標準カリキュラムと選択カリキュラムで構成されている。居住システム系の標準カリキュラムに設定されている基礎工学実験の内容は、「建築物に要求される、居住空間の温熱環境性能や建築物の安全性能のために、物理現象を数値に表す測定の原理・方法を説明し、実験を行い、報告書にまとめること。また、建設工学に関する基礎的な実験方法と計測方法を習得する(一部抜粋)」と定められている。

具体的な内容については、有効数値の概念、数値誤差の取り扱い、各種測定値の取り扱いや温度測定とその解析、木材や鉄筋の強度試験による応力算定の基礎となっている。

しかし、2年次に受講する建築材料実験では、主にコンクリート系の骨材試験や調査設計、強度試験となっており、各種強度試験に対して、基礎工学実験の内容から体系的にイメージできることは限定的である。

また、環境工学実験においては、外界気候要素測定や各種室内環境測定実験(熱・光・音・空気)を

行うことを目的と定めているが、基礎工学実験で使用した機器の活用はほぼ無く、実験の体系としてはそれぞれが分断されたイメージを持っている。

そこで、2年間という限られた期間の中で、効率かつ効果的に建築的思考を養うために、実践的な取り組みとなるような居住系の基礎工学実験のカリキュラムについて実験方法やシラバスを提案する。

2. 基礎工学実験の現状について

基礎工学実験では、測定器具の取り扱い、温度の測定、鋼材の熱線膨張率、木材の物性、鋼材の物性を、実験器具を使用しデータを取得し報告書にまとめることが求められている。物体の寸法測定や取得したデータの整理の方法について学び、報告書としてまとめる技術を習得する点においては、基礎工学実験の担う範囲は適切であると考えている。

しかし、カリキュラムの前半に行われる測定器具の取り扱いや温度測定とその解析とカリキュラムの後半に行われる木材や鋼材の物性試験は全体を通して体系的な流れはなく、それぞれが独立した実験で

あるように感じる。

また、他のカリキュラムとの関連で言えば、標準カリキュラムには、三つの実験が設定されているが、高学年時において行う実験では、より専門的な実験器具になることが多く、現在の基礎工学実験で使用している機器との関連性は低いのが現状である。

更には、他の専門的な実験を行う場合に、再度実験方法や公式の意味について説明をすることに時間を費やすことが多く、基礎学科で学んだ知識を実際に活用できる機会が少ない。そのため、学生の多くが講義で用いた公式や用語の理解に乏しく、応用的な活用に不慣れであることも問題となっている。

建築材料実験や環境工学実験については、日本建築学会より多くの図書が発行されているが、基礎工学実験においては、居住系に沿った実験書が存在しないことも、これら実験の関係性が体系的でないと感じる部分でもある。

以上のことにより、実験を通して、基礎知識の確認を行う機会を設けると共に、専門科目や専門実技にスムーズに移行が出来ること、建築の専門的知識の定着につながるような実験となることを目的として基礎工学実験の進め方について提案する。

3. カリキュラムの基本的な方針について

カリキュラムの基本的な方針については、基礎工学実験を通して、効果的に建築的思考を定着させることが出来るように考慮したい。また、専門学科や専門実技にスムーズに移行できるように、実験方法についてもなるべく建築的な内容となるように考慮したい。ただし、基礎的な実験の理解という本質から外れないように、高度な機器は使用せずに比較的簡単な実験道具で実施できることを条件とする。

そこで、基礎工学実験を建築材料実験や環境工学実験の基礎的な実験を行う場と設定し、カリキュラム内容を以下のように提案する。

- ① ノギスによる長さの測定と計測値の取り扱い (JIS B 7507 2022)
- ② 周期や重力加速度の測定
- ③ 木材の含水率試験 (JIS Z 2101)
- ④ 木材の圧縮試験

- ⑤ 木材の曲げ試験
- ⑥ 木材の引張試験
- ⑦ 鉄筋の引張試験による応力とひずみ (JIS Z 2241)

4. 各実験の狙いとその効果について

上記の7つの実験の組み合わせで、実験からレポート作成を行いながら、効率的な展開とすることができると考えている。現状のシラバスとの相違点は温度測定や熱線膨張に関する実験を周期や重力加速度の測定、木材の含水率試験に変更した点にある。

専門学科や専門実技の実験等では、実験方法がJISにより規定されており、基礎工学実験においても、JISの基準に準拠することとしているが、学習した内容を効果的に活用できるように、実験方法の一部を変更しているものもある。

次に上記に挙げる実験の中から狙いとその効果について特徴のある物を一部記載する。

4.1 ノギスによる長さの測定と計測値の取り扱い

ノギスの使用方法を学ぶことにより、建築材料の正しい測定方法と測定値のまとめ方を学習して、有効数字や誤差の取り扱いの基礎を学ぶ。

初めて建築を学ぶ学生の多くは木材の材種を判別できないことが多く漠然と使用している事が分かっている。そこで実験の中において、様々な木材の寸法や重量を計測させ、一般的な建築で使用される木材との比重と比較させることで、材種の違いを理解させることを効果の一つとしてとらえている。

また、応用的な課題として、ノギスによる長さの測定(図1)により、厚紙を製品に見立てた測定を通して、製品の標準偏差(製品の加工精度)を計算する能力を習得させることができる。

実験の基本的な流れを次に記す。

- ① ノギスの基本的な使用方法と計測方法
- ② 測定値のまとめ方(有効数字、誤差)
- ③ 厚紙を製品に見立てて、規定の大きさに切りそろえる。(30mm×50mm 10個)
- ④ ノギスによる製品の縦・横の長さの測定

- ⑤ 手計算による測定値のまとめ（標準偏差）
- ⑥ 表計算ソフトを使用したデータ整理と確認

実験の効果としては、ノギスの正確な使用方法に加え、建築模型製作で必要となる加工技術を確認することが出来る。

基本的な作業では、班内に①切断者②測定者③記録者といった役割を与え、協力体制をとらせることで、個人が責任を持って作業を行うようになる。測定値については、計算による標準偏差の計算が必要となるが、班内で協力させることで、計算を苦手とする学生を、班全員でサポートするようになり、実験に対する苦手意識を払拭できる効果もある。

実験中の計算は、手計算によって一度答えを導き出すことで、表計算ソフトに依存せず、公式の意味や測定値のまとめ方を、学生自身が考えるようになる効果がある。



図1 ノギスによる長さの測定

4.2 周期や重力加速度の測定

身近な道具を用いて、基本的な物理量（重力加速度や周期）を測定する実験を通して、物理量と単位、測定方法と測定値の精度、測定値の表現方法などの導入実験としている。重力加速度測定の外に「自由落下やばね計りを用いた重力加速度」の測定もあるが、ここではより簡単に実験が可能な「単振り子」を用いた実験としている。

実験の基本的な流れを以下に記す。

- ① 単振り子の設置と周期の測定（長さ 40 c m）
- ② 長さを変更して周期の測定（長さ 1m）
- ③ 重りを変更して周期の測定（2 倍程度に変更）
- ④ 手計算による測定値のまとめ（周期と長さ）
- ⑤ 表計算ソフトを使用したデータ整理と確認

基本的な実験方法は、振り子に小さな振幅を与え、10 往復の経過時間をスローモーション撮影が可能な機器で記録する方法を取り、実験結果から周期や重力加速度を求める。

実験の効果としては、高学年時で実施が可能な振動実験などにおいて、建築物が持つ固有周期の解析や制振、免振といった耐震設計の入り口としての実験として活用できる。また、表計算で取得した実験結果から、長さや周期の関係のグラフなど（図 2）を作成することでレポート作成力の向上を図ることが出来る。

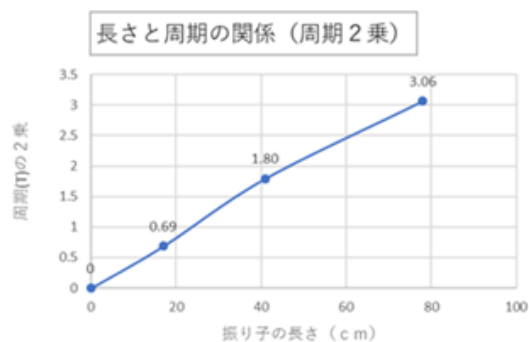


図2 長さや周期の2乗の関係 (例)

4.3 木材の含水率試験

木材の含水率実験では気乾状態、及び飽和状態、全乾状態の重量及び質量を測定し、含水率を求めることとしている。また、木材は内部の水分量の変化で収縮膨張するため、それぞれの状態における方向別の膨張率を併せて計測する。

様々な材種を用意し、半径方向、垂直方向、接線方向をノギスで大きさを測定する。また、木材含水率計を用いて、木材の含水率を計測する。（図 3）。

実験の基本的な流れを次に記す

- ① 気乾状態の材料を必要数準備する。
- ② 材料の寸法・重量・含水率を測定する。

- ③ 計測後、試験体をバットに張った水に沈める。
- ④ 湿潤状態で、同様に基本計測を行う。
- ⑤ 計測後、試験体を恒温乾燥機に入れる。
- ⑥ 全乾状態で、同様に基本計測を行う。
- ⑦ 計算により含水率や伸縮率を求める。



図3 木材の含水率測定

実験の効果としては、湿潤状態と気乾状態からそれぞれの含水率を計算することが可能で、デジタル機器で計測した含水率と計算により導き出した含水率を比較することで、簡易測定の曖昧さを、本実験で体感することが可能となる。また、材種ごとの伸縮率を求めることで、木材のねじれや反りが起こりやすい方向性などを理解することが可能となる。

また、表計算で取得した実験結果から含水率の変化(図4)や伸縮率の変化をグラフによって表すことでレポート作成力の向上を図ることができる。

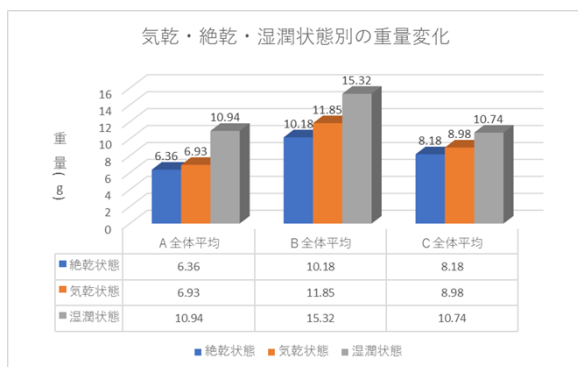


図4 木材の含水率のまとめ(例)

4.4 材料の基本物性試験について

木材の圧縮試験、曲げ試験、引張試験、鉄筋の引張試験については、JIS に示される実験方法を用いることで正確な方法で実施することが可能である。

近年の実験機器に関しては、コンピューターが発達し、試験機と端末が連動し瞬時に強度や応力を求めることができるため、実験を繰り返し行うには非常に便利に進化している。

しかし、基礎工学実験において行われる強度試験では、繰り返し行われる試験の中で、学生が試験機の操作や破壊強度のみに目を奪われがちになりやすい。特に、圧縮試験や引張試験では応力を求めることは比較的簡単であるがゆえに、その部分が顕著に表れやすい。

また、試験によっては、自動的に計算やグラフが作成されることに慣れてしまうと、そのプロセスに関心を示さない傾向が現れていた。特に、曲げ試験においては応力計算やヤング係数の計算の過程で実験の本質を見失い、報告書の中で「一番強かった。成功した。失敗した。計算が難しかった。」といった的外な考察を散見することが増えている。

学卒者訓練においては、実験結果を素早く得ることが目的ではなく、実験の過程を理解し、「なぜ試験が行われているのか、実験の中でどの部分が重要であるのか、試験結果はどのように導き出されたのか」などを、順序だてて理解し報告書にまとめることが必要と考える。

木材の曲げ試験においては次項に記載する方法により、上記の問題点を解消できると考えている。

4.5 木材の曲げ試験とヤング係数の測定について

木材の曲げ試験においては、試験機以外の方法で曲げ強度やヤング係数を導き出す手法を提案する。効果としては、簡易実験から得られる荷重とたわみの値を用いて、公式を使った計算方法を復習させることや木材の各種強度に対する興味付けが向上することを期待している。

ここで提案する木材の曲げ試験は、試料棒の荷重によるたわみを光学的に測定するユーイングの装置を使用したヤング率の測定を準用している。

試料棒を木材に置き換え、材料のたわみをオプチカルレバーではなくマイクロメーターによって直接的に変位を読み取る方法とし、木材の曲げ強度を推測しヤング係数を求める方法としている。(図5)

以下に基本的な実験方法を記す。

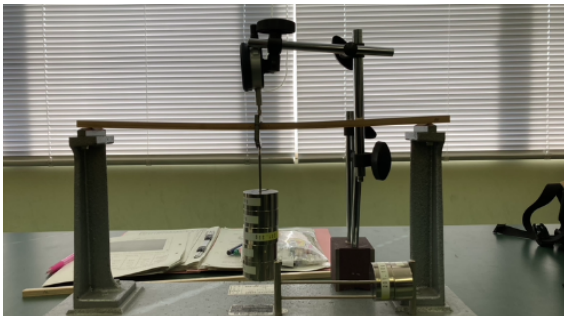


図5 木材のヤング率測定

- ① 10mm角程度の木材を用意する。
- ② ヤング率測定器に木材を設置する。
- ③ 中央部分にマイクロメーターを設置する。
- ④ 200gずつ重りを載せその時の変位を読み取る。
- ⑤ 荷重と変位のグラフを作成する。(図6)
- ⑥ データをまとめ公式(1)、(2)によりヤング係数を計算する。
- ⑦ 推測した強度を確認するために、試験機を用いて、木材の曲げ試験を行う。

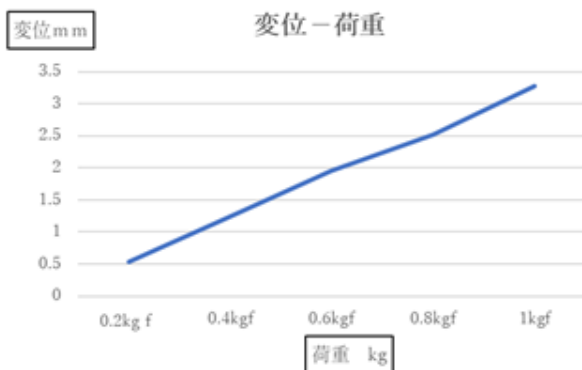


図6 荷重と変位のグラフ

$$E = \frac{\Delta p \cdot \ell^3}{48 \cdot \Delta y \cdot I} \quad (1)$$

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (2)$$

上記におけるヤング係数の公式(1)や断面2次モーメントの公式(2)の理解をすすめて、実験によって求められた数値から、ヤング係数を求めていくことになる。試験結果の例を表1に示す。

表1 試験結果(例)

		数値	単位
ΔP	荷重差	4.00	N
L	試験台スパン	400.00	mm
Δy	たわみ差	2.12	mm
b	供試体幅	8.98	mm
h	供試体成	8.50	mm
I	断面2次モーメント	459.06	mm ⁴
E	曲げヤング係数	5480.16	N/mm ²

曲げヤング係数からおおよその曲げ強度を推定することも可能で、ここでは実際に破壊試験を行い曲げ応力を確認したり推定したりすることで知識の定着を狙うことができる。(図7)

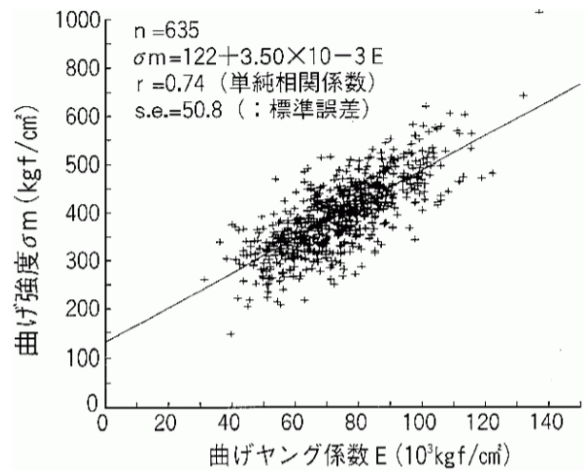


図7 曲げ強度とヤング係数のグラフ 1)

ただし、上記の試験には注意が必要である。マイクロメーターによって直接変位を読み取る方法を取っているため、器具の自重によって供試体に余分な荷重がかかっている状態となっており、正確な数値を読み取ることはできない。また、荷重増加時と荷重減少時で多少の誤差が発生することがあるため、往復で荷重実験を行う中で、荷重と変位の結果が、直線的となる部分を、拾い出す作業が必要となる。

よって、この実験方法は、あくまでも木材のおおよそのヤング係数や曲げ強度を推定するための実験であり、木材の正確な物性を知るためには、やはり試験機における破壊試験で得られるデータによって、本来の曲げ強度やヤング係数等は求められるべきであると考えている。

5. 実験の運用方法

ここでは実際の基礎工学実験のカリキュラムに沿った実験の運用について一例を示すこととする。

基礎工学実験は4単位となっており、多くの施設では2期にわたって実施していることが想定される。

そこで、全18週を実験の期間として居住系の基礎工学実験を運用した場合のシラバスを表2に示す。

表2 基礎工学実験のシラバス (例)

第1週	ガイダンス、計測機器、数値のまとめ方
第2週	ノギスを使用した建築材料の計測 (比重)
第3週	厚紙を使った製品作成とその評価
第4週	標準偏差と報告書作成
第5週	周期や重力加速度の測定 (単振り子)
第6週	重力加速度と報告書とまとめ方
第7週	気乾状態の木材測定 (含水率と伸縮率)
第8週	湿潤状態の木材測定
第9週	絶乾状態の木材測定
第10週	含水率の計算と伸縮率の報告書作成
第11週	木材の圧縮試験
第12週	木材の圧縮応力と報告書のまとめ方
第13週	木材の曲げ試験
第14週	木材の曲げ応力とヤング係数の報告書
第15週	木材の引張試験
第16週	木材の引張応力と報告書のまとめ方
第17週	鉄筋の引張試験
第18週	鉄筋の引張応力とヤング係数の報告書

上記の予定で実験を行うことで、居住系の学生がより効果的に基礎実験を学びながらも、専門科目との連携が可能となると考えている。ただし、実際に運用するには多く課題も残されており、各校における実験機器の設置状況や所有台数の問題、学生数の問題、実験時間と履修時間の問題、機器調整の問題など解決すべき課題も数多く存在する。

また、本誌には記載をしていないが、居住系の基礎実験として熱電対を用いた温度測定 (環境工学実験⇒熱貫流率の測定) や折板構造を用いた荷重試験 (図8) (建築構造⇒構造設計)、1質点系モデルを用いた振動実験 (図9) (建築構造⇒耐震設計) などの基礎的な実験を展開することで、専門科目との連携

を考慮した授業展開を行うことも可能である。

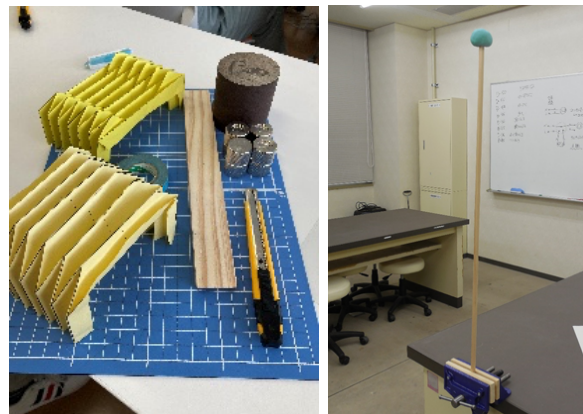


図8 折板構造の荷重試験 図9 一質点系の振動実験

6. おわりに

今回の提案は、現行の基礎工学実験のシラバスを居住系の学生向けに修正したものとしている。

専門学科や専門実技との連携は、直接的な部分では多くはないが、アナログで建築的な実験を実施することにより、演算部分や繊細な操作など、高性能な機器では得ることの難しい部分を、興味を持って取り組ませることが可能となると考えている。それにより、学生の実験に対する取り組み姿勢も改善され、単に数値を機械的に入力する「作業」から原理を理解した「実験」へと一歩前進すると思っている。

また、基礎工学実験の実験的な物の考え方や報告書のまとめ方を通して、グループワークや得られたデータを疑う力から論理的な思考を養うことができれば幸いである。

この紀要が、基礎工学実験の実施に対して悩みを持つ居住系指導員に対して参考の一端になることを期待している。

最後に、これまで基礎工学実験の情報や実験方法の相談、共有にお手伝いをいただいた全国の居住系指導員の方々に感謝申し上げます。

文献

- 1) 一般財団法人 日本ツーバイフォー建築協会, スギ正角の曲げヤング係数と曲げ強さ

著者 E-mail Moroishi.Kenichi@jeed.go.jp