

居住システム系の学生向けに改善した 基礎工学実験の実験内容とシラバスの提案

島根職業能力開発短期大学校 諸石 賢一

Proposal for improved content and syllabus of basic engineering experiments for residential students

MOROISHI Kenichi

要約

現在、機構が行っている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例示されている。シラバスを定めることによって授業の品質を確保することができるが、居住システム系（以下、居住系）の基礎工学実験においては、専攻学科や専攻実技と関係性が体系的になっておらず、住居系の履修科目全体を通して、一体的な取り組みになっているとは言えない。また、2年間という短期間で習得できる技能や技術には限りがあるため、現在の基礎工学実験のシラバスでは、居住系の学生にとって効率的なカリキュラムであるとは言えず、内容の見直しが必要であると考えている。そこで、本報では、基礎工学実験を通じて、建築工学の基礎知識の定着を促し、居住系の専攻学科や専攻実技と効率的に連携できるように、居住系の学生向けに改善した基礎工学実験のシラバスとそれに対応する各種実験方法を以下に提案する。

I はじめに

機構が行っている専門課程は、標準科目と標準外科目で構成されている。居住系の標準科目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）」と記載されている。

具体的な内容については、有効数字の概念、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合設計、強度試験となっており、各種強度試験に対して、実験方法や機器、理論式などが異なってくることから、基礎工学実験のカリキュラムを体系的に連携させることは限定的となっている。

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、効率的かつ効果的に建築工学の基礎的な能力を養うために、居住系の学生向けに改善した基礎工学実験の実験内容とシラバスを提案する。

II 基礎工学実験の現状について

基礎工学実験では、測定機器の取り扱いや温度の測定、鋼材の熱線膨張率、木材の物性、鋼材の物性等について、実験機具を使用しデータを取得し、これらを報告書にまとめることが求められている。これらの物理量および物性値の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としては適切であると考えている。

しかし、シラバスの原型が機械系の基礎工学実験を元に作成されているため、内容の一部に居住系とは関係性の低い実験が編成されている。また、実験の前半に行われる測定器具の取り扱いや温度測定に対して、後半に行われる木材や鋼材の物性試験という構成ではシラバス全体を通して、一体的な流れとはなっておらず、それぞれが独立した実験であるように感じられる。更には、居住系の標準カリキュラムには、3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、より専門的な実験機具を使用することが多く、現在の基礎工学実験で使用している機器との関連性も低いのが現状である。

他方で、他の専門的な実験を行う場合に、再度実験方法や理論式の意味について説明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学んだ理論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。

また、建築材料実験や環境工学実験については、日本建築学会よりいくつかの関係書籍が発行されており実験方法が確立されているが、こと基礎工学実験においては、居住系の実験に沿った書籍が存在しないことにより、現在は、機械系の基礎工学実験を準用しているため、実験そのものが居住系の専門知識と体系的となっていないことも問題点であると考えている。

以上述べたように、現在、実施されている居住系の基礎工学実験は関連科目との関係性に欠けており、専門課程という限られた期間の中で、建築工学の基礎的な知識を習得するにはカリキュラムの見直しが必要であると考えている。

III 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、効果的に建築工学の基礎的な知識を定着させることが出来るように考慮したい。また、基礎工学実験で学んだ内容が、専門学科や専門実技と連携できるように、実験方法についてもなるべく建築工学に関する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器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の実施に向けた基礎的な実験を行う場と設定し、シラバスを以下の

①～⑦のように構成する。

- ① ノギスによる長さの測定と計測値の取り扱い
- ② 単振り子の周期に基づく重力加速度の測定
- ③ 木材の含水率と収縮率の測定
- 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

IV 各実験の狙いとその効果について

上記の7つの実験の内容について、実験を実施した上でレポートの作成を行うことにより、建築材料実験とのつながりを強め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削除し、単振り子の周期に基づく重力加速度の測定、木材の含水率と収縮率の測定を盛り込んだことが変更点である。

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、各実験は、JISの規定に準拠することとしている。

上記に挙げる実験の中から実験の狙いとその効果について特徴のある実験内容の一部を以下に紹介する。

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。

取り組み課題として、製品に見立てた厚紙の寸法をノギスにより測定し(図1)、厚紙の長さや厚さの平均値や標準偏差の計算を通して、製品のばらつきの評価方法について習得させることができる。

実験の基本的な流れを次の①～⑥に示す。

- ① ノギスの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 測定対象物の作成として、厚紙を製品に見立てて、規定の大きさに切りそろえる。(厚紙の寸法: 30mm×50mm 10個)
- ④ ノギスによる厚紙の縦・横の長さの測定
- ⑤ 電卓による測定値のまとめ(平均値と標準偏差)
- ⑥ 表計算ソフトを使用したデータ整理と確認

学生にもたらす実験の効果としては、ノギスの正しい使用方法とデータ整理の習得が期待できる。実験は3~4名の班編成で行い、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、学生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、平均値と標準偏差の計算が必要となるが、班で取り組むことで、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。

また、実験における計算は、一度、電卓を使用し平均値や標準偏差を導き出すことで、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

2 単振り子の周期に基づく重力加速度の測定

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などの物理量を理解する実験としている。重力加速度の測定の他に「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の①~⑤に示す。

- ① 単振り子の設置と周期の測定 (長さ400mm)
- ② 長さを変更して周期の測定 (長さ200~800mmの範囲)
- ③ 重りを変更して周期の測定 (2倍程度に変更)
- ④ 電卓による測定値のまとめ
- 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器械で測定し、測定結果から周期と重力加速度を求める。

学生にもたらす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、建築物の固有周期や制振、免振構造に必要な基本的な振動の知識の向上が期待できる。また、実験結果をもとに表計算ソフトを用いて、単振り子の長さと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期待することが出来る。

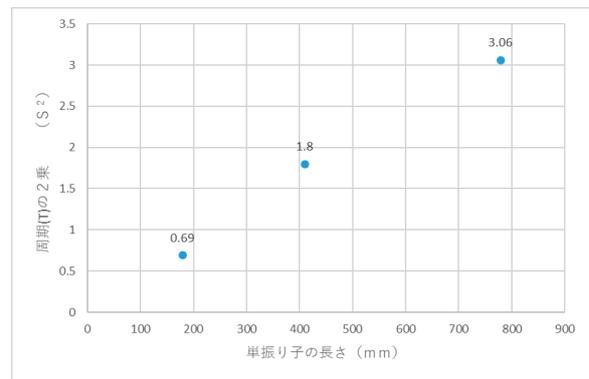


図2 単振り子の長さとの関係 (例)

3 木材の含水率と収縮率の測定

木材の含水率の測定では気乾状態、生木状態、全乾状態の質量を測定し、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。なお、状態変化をより明確に計測するために、あえて木材を水中に沈めて含水率が高い状態を作り、生木に近い状態を作り出すこととし、これを生木状態としている。

様々な樹種の木材を用意し、気乾状態及び生木状態において、半径方向、繊維方向、接線方向の寸法をノギスで測定する。その後、乾燥炉を用いて、木材を全乾状態とし、木材の寸法を測定する。併せて、3種類の乾燥状態において木材の質量を測定し、質量の変化に基づき木材の含水率を算出する。(図3)。

実験の基本的な流れを次の①~⑦に示す。

- ① 気乾状態の木材 (20×20×50mm) を必要数準備する。
- ② 気乾状態の寸法および質量を測定する。
- ③ 計測後、試験体をバットに張った水に、一定期

間沈める。

- ④ 生木状態で、同様に寸法及び質量の測定を行う。
- ⑤ 寸法および質量の計測後、試験体を恒湿乾燥機に入れ全乾状態にする。
- ⑥ 全乾状態で、同様に寸法および質量の計測を行う。
- ⑦ 計算により含水率や伸縮率を求める。



図3 木材の質量と寸法の測定

実験の効果としては、実験により求めた生木状態と気乾状態の含水率と、書籍等に示される一般的な含水率の数値との比較を行うことで、木材に関する知識の定着を期待することができる。また、含水率計を使用し計算した含水率と比較することで、計測誤差を確認することも可能である。更には、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、実験を通して理解することが可能となる。

また、表計算ソフトで質量の変化(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。

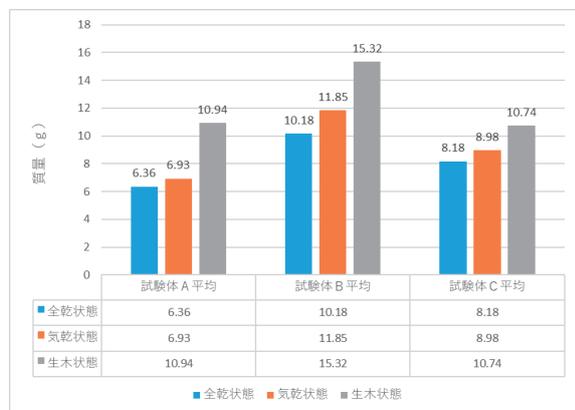


図4 木材の質量のまとめ(例)

4 木材の強度試験

木材の圧縮試験、曲げ試験および引張試験、鉄筋の引張試験については、JISに規定される実験方法に準ずるのが一般的である。近年の実験機器に関しては、PCが発達したことにより、材料試験機とPCが連動し実験終了と共に各種強度やヤング係数等を求めることができるため、実験を繰り返す行うには非常に便利である。

しかし、基礎工学実験において行われる強度試験では、このような材料試験機を用いると、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く、実験が繰り返しの単純作業化してしまう恐れがある。

また、試験機によっては、自動的に強度等の実験結果表や試験結果のグラフが作成されるため、これに慣れてしまうと、実験により結果を抽出する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強度やヤング係数の計算の過程で、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。」といった的外れな考察内容が散見された。

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、これを報告書にまとめることが必要であると考えます。

そこで、上記の問題点を改善する実験手法として、以下に、一般的な木材試験機を用いずに実施する木材の曲げ試験を記載する。

木材の曲げ試験において、一般的な材料試験機を用いず、簡易な試験装置を用いる方法で、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に基づき、力学の基本式を用いて強度やヤング係数を求めることにより、木材の強度に対する興味付けが向上でき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、図5に示すように、材料のたわみをダイヤルゲージによって直接的に変位を読み取る方法とし、木材の曲げ強度とヤング係数を求める方法としている。

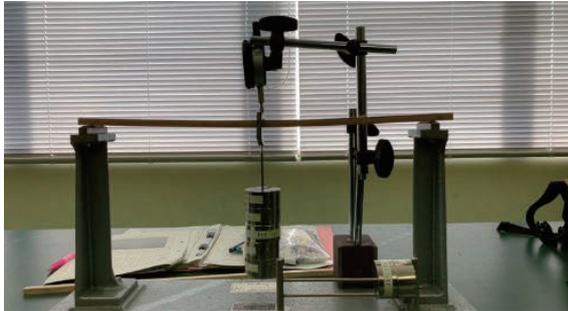


図5 木材の曲げ強度試験

以下の①～⑦に、基本的な実験方法を記す。

- ① 断面10mm角程度の木材を用意する。
- ② 木材の曲げ試験装置の支点上に木材を設置する。
- ③ スパン中央部分に変位を測定するためのダイヤルゲージを設置する。
- ④ スパン中央部に、200 g 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 データをまとめ式 (1) および (2) によりヤング係数を計算する。
- ⑦ 実験により導き出したヤング係数を確認するために、万能試験機を用いて、JISに基づき木材の曲げ試験を行う。

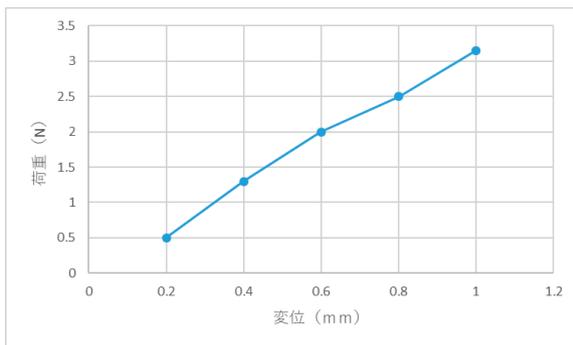


図6 荷重と変位の関係

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

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

E : 曲げヤング係数 (N/mm²)

ΔP : 比例域における上限荷重と下限荷重との差 (N, kgf)

ℓ : スパン (mm)

Δy : ΔP に対応するスパンの中央部のたわみ (mm)

I : 断面2次モーメント (mm⁴)

b : 試験体の幅 (mm)、h 試験体の成 (mm)

上記におけるヤング係数を求める式 (1) や断面2次モーメントを求める式 (2) を理解させた上で、実験によって求められた数値から、ヤング係数を求める。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	4.0	N
L	試験台スパン	400.0	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	N/mm ²

実験結果より得られる曲げヤング係数から曲げ強度を推定することも可能で、実験に使用する木材で、実際に破壊試験を行い曲げ強度を確認することで、木材の強度に関する知識の定着を狙うことができる。

V 提案する基礎工学実験のシラバス

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ものと想定される。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 (案) を表2に示す。

表2 基礎工学実験のシラバス (案)

第1週	ガイダンス、計測器機、数値のまとめ方
第2週	ノギスを使用した計測と秤を用いた比重の測定
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	単振り子の周期に基づく重力加速度の測定
第6週	周期と重力加速度の報告書作成
第7週	気乾状態の木材測定 (含水率と伸縮率)
第8週	生木状態の木材測定 (含水率と伸縮率)
第9週	全乾状態の木材測定 (含水率と伸縮率)
第10週	木材の含水率と伸縮率の報告書作成
第11週	木材の圧縮試験
第12週	木材の圧縮強度と報告書作成
第13週	木材の曲げ試験
第14週	木材の曲げ強度とヤング係数の報告書作成
第15週	木材の引張試験
第16週	木材の引張強度と報告書作成
第17週	鉄筋の引張試験
第18週	鉄筋の引張強度とヤング係数の報告書作成

このシラバスに沿って実験を行うことにより、居住系の学生がより基礎実験を学びながら建築の基礎知識の定着を狙えることから、専門科目との連携が可能となると考えている。

ただし、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、実際に運用するには多くの解決すべき課題もある。

VI おわりに

今回の提案は、居住系の学生には関係性の低い、温度測定や鋼材の熱線膨張率の実験は削除し、計測機具の使用方法和木材と鋼材の物性に絞った内容とし、居住系の学生向けに修正したものとしている。

居住系に焦点を当てた実験を展開することにより、2年間という限られた期間の中で、基礎工学実験を通して、

建築工学の基礎的な知識の定着を補いつつ、2年次に受講する建築材料実験等にスムーズに移行できると考える。

寸法測定や含水率の試験においては、木材寸法や質量を計測するだけではなく実験を通して、様々な木材の知識を深めることができる。また、強度試験においては、万能試験機を使用しない実験方法を行うことにより、構造力学で学ぶ公式の定着を、実験を通して養うことができる。更には、アナログな実験方法を実施することで、機械内部で行われている演算処理の理解や繊細な機器操作など、高性能な機器では得ることの難しい部分を、学生に興味を持って取り組ませることが可能となる。

これらにより、学生の実験に対する取り組み姿勢も改善され、満足度の高い授業展開を進めることが可能になると考えている。

この居住系の学生向けに改善した基礎工学実験の実験内容とシラバスの提案が、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。

なお、今回の提案はあくまでも私案であり、「基礎工学実験」は標準カリキュラムであるとともに、建築士受験試験科目となっているため、実際に授業内容を変更するには、「能開則別表、教科の細目及び技能照査の基準の細目」が改正されることが前提であり、その上で当該改正を受け、「履修科目及び単位表」、「授業科目カリキュラム表」、「シラバス」等をカリキュラム等検討委員会で検討する必要があることを追記しておく。

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。