

「3匹の子ぶたの家」を科学する

西山 峰広

京都大学大学院 工学研究科 建築学専攻

建築には大別して3つの分野がある：計画、構造、環境である。計画は、住みやすく、使いやすく、美しい建物を設計すること、構造は、地震や台風に対しても損傷したり、さらには、壊れたりしないような建物を築くこと、環境は、快適で、環境負荷のできるだけ小さな建物を造ること、これら3つの分野が協同してひとつの建物を創り上げていく。

建築学科では、3つの分野すべてを学ぶ。一級建築士になるための試験でも、計画、環境・設備、法規、構造、施工および製図とすべての分野から出題される。学生は、4年生最初に行われる研究室配属の際に、研究室が所属する分野によって、上記3つの分野のいずれかに属し、将来どのような仕事に就くかが分岐する。もちろん融合分野もあり、完全に3分野に分かれているわけではない。

本実習は、この中の構造分野に関するものである。構造分野で最初に採り上げなければならないのが、地震である。日本に建つ建物である以上、地震から逃れることはできない。では、「地震に強い」と一口に言うが、どのような建物が地震に強いのか？地震の揺れにさらされても壊れない建物が強いとされる。それはもちろんそうである。では、壊れなければよいのか？壊れるとはどういうことか？横倒しになるような倒壊することか、跡形もなく崩れ去ってしまう崩壊することか？

「3匹の子ぶたが建てたわらの家、木の家、レンガの家、どれが一番地震に強いのか？」

材料特性の観点から運動方程式を用いて考察せよ。」

これが、オープンキャンパスにおいて、工学部で配付されたクリアフォルダーに記載された難問のひとつである。これを2019年度ELCAS個人型「建築構造物の数値解析シミュレーション」の課題のひとつとした。

これだけではELCAS生も途方に暮れるので、以下のよう提示を行った。

解答への道：

1. 課題の把握：何を問われているか？出題者の意図は？
2. 解答に到達する道筋、見通し：何をどのように進めるか？
3. ツールと資源：どのような道具を持っており、どのように利用するか？
4. チームでの協力：構成員それぞれに得手不得手があるだろうからどのように役割分担するか？

考えるヒント：

1. 「地震に強い」とはどういうことか？
2. 家のモデル化：家というがどのようにモデル化するか？1階建てなのか？1階建てであれば、1質点系でモデル化できるか？
3. 材料のモデル化：わら、木、レンガというが、実験ではそのまま利用することは難しい。入手可能などのような材料を利用するか？重量、強度、剛性などの材料特性をどのように実験や数値解析に反映させるか？
4. 運動方程式：1質点系と仮定するとして、運動方程式にいかんにか反映させるか？質量、減衰、剛性、地震波の設定
5. 解析ソフトウェアによるモデル化とパラメトリック解析
6. 振動台実験による実証：どのような試験体にするか？

上記だけでは与えられた課題に対して解答するだけなので、研究とはなり得ない。これに対して自分たちで発展させた、独創的な、関連する何かを付け加えること。例えば、3匹の子ぶたが協力する、つまり、3つの家をつなぐ連結制振を考える、など。ただし、今回ここまで進むことはできなかった。

高校生が何を研究するか？基礎のない高校生がいきなり研究をしようとしても無理であろう。高大連携には、高校と大学の溝を少しでも小さくして、高校生が大学になじみやすくすることが期待される。大学で半期15回×1.5時間＝22.5時間で力学の基礎を学ぶことを思えば、ELCAS実習を1回3時間だとすると、7.5回で何とかなるかもしれない。ただ、高校生も本業で忙しいので、復習や演習課題で時間をとるわけにもいかず、どうしても不確かな知識や理解のままで研究活動が並行して進む。

まずは基礎のお勉強である。高校生が力学を学ばなければならない。まずは、線材の軸力、せん断力、曲げモーメントという断面力を学ぶ。力は見えないが変形は見えるので、軸方向変形、せん断変形、曲げ変形を、実物大の梁を模したスポンジの変形で把握する。しかし、やはり理解は難しいので、軸力だけが作用するトラスを最初に選択した。これなら伸び縮みだけであり、バネとのアナロジーとしても理解しやすい。物理で力学の基礎は学んでいるので、力のつり合いは理解できる。力のつり合いだけで解くことができる静定トラスがもっともわかりやすい。なお、今回受け入れた2チームのうち1チームはコンクリートでデザインされたトイレについて研究した。連続体をトラス構造に置換し、構造解析するという課題に挑戦した。

次に材料学である。建築でよく利用される構造材料として、木、コンクリート、鉄の特性を材料試験と講義によって理解する。弾性特性は、バネとのアナロジーで理解しやすいが、塑性はなかなか難しい。弾性と塑性は、コンクリートと鉄について、圧縮試験や引張試験を行い、得られたデータに基づいて、応力-ひずみ関係を描き、実感する。

最後に振動論である。単振動は学んでいるので、運動方程式と材料や構造との関係について学ぶ。構造物の剛性と振動周期、さらには、入力波特性との関係も必要である。

ELCASでは、研究自体を教えるのではなく、研究の作法を教えるということもある。どのように研究課題を見出し、どのように研究計画を立て、実験変数には何をどのように設定し、実験はどのように行うのか、数値解析のモデル化はどのように行うのか、最終的にどのようにまとめるのか。どのような新しいことがわかったか？

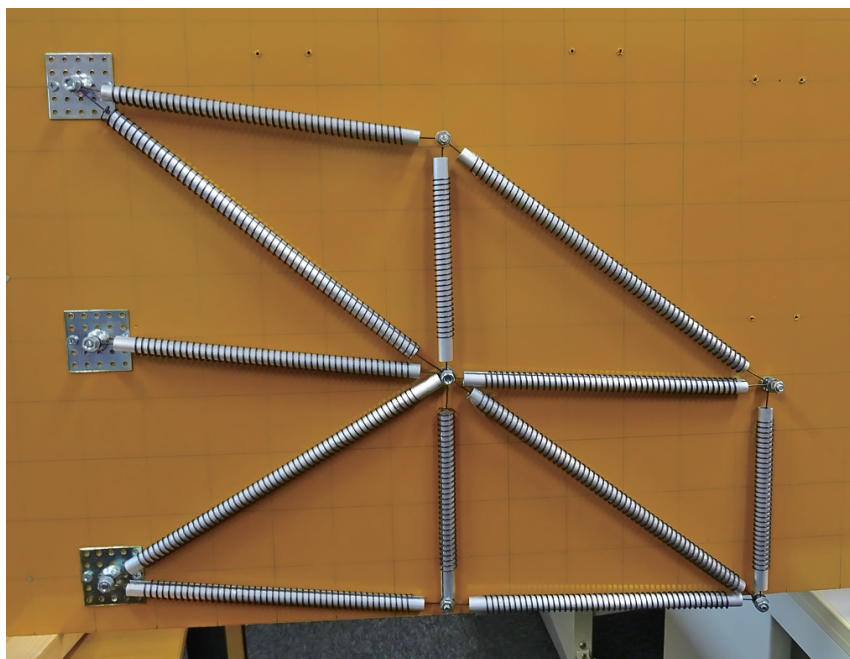
ELCASで実習生を受け入れるのは確かに時間をとられ、労力も必要である。毎月2回くらい土曜日午後の時間を費やすことになる。一方、指導を手伝ってくれた大学院学生、学部学生にとっても、熱心に取り組む高校生から刺激を受け、自分たちも昔はあんなふうだったのだと学び直しの機会となっている。

ELCASは優秀な高校生を青田買いしているわけではない。高校での授業では満足できず、もっと学びたいという学生を受け入れている。高校生も本業があるので、研究もどきのことしかできないが、それでも、大学院生や学部学生たちも一緒にああでもないこうでもないと思いながら、議論し、研究を進めていくことは刺激的である。

発表会の直前までポスターの見直し、プレゼンテーションの練習などドタバタとなったが、何とかまとまり、発表会を迎えることができた。最優秀プレゼンテーション賞を受賞し、喜ぶ実習生を見ると、苦労が報われたと実感する。



西山 峰広
(にしやま みねひろ)
京都大学大学院 大学院工学研究科 建築学専攻
建築学専攻建築構法学講座 教授(博士(工学))
専門は耐震構造工学, コンクリート系構造



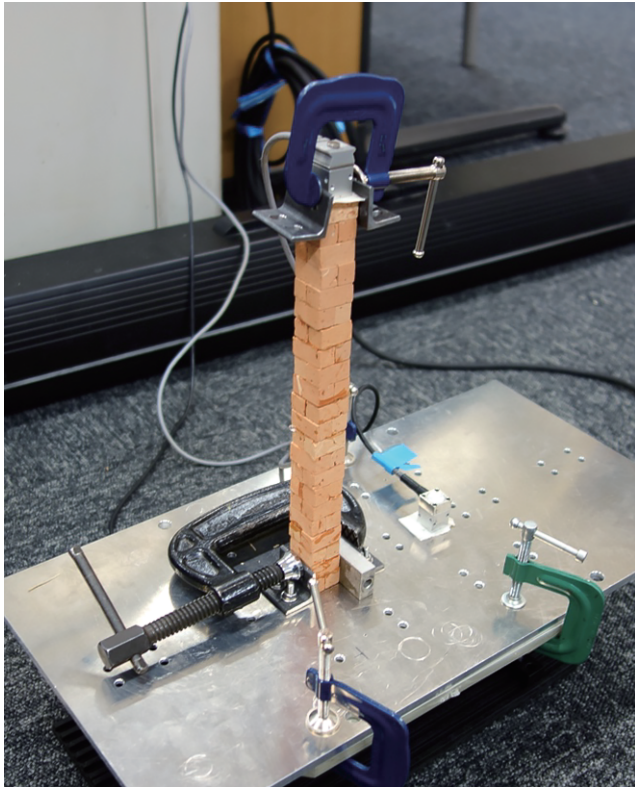
バネで作製したトラス構造



振動台実験に使用したレンガ，木，わらの家の作製



完成したレンガ，木，わらの家



レンガのできた柱の振動台実験



レンガの家の振動台実験