



## 1 木橋

わたしたちの研究室では、橋梁などの構造物を対象とした研究を行っていますが、木橋や木製治山ダムなど木材を利用した構造物の研究に力を入れているのが一つの特徴です。

日本では古来から木橋が広く利用されてきていますが、戦後 コンクリート橋や鋼橋に取って代われ、標準化設計からは完全に残り残されてしまいました。1980年代から木橋が見直され、集成材等を利用した近代木橋が、建設されるようになり、車道橋等も架けられました。木材の有効利用という意味では、様々な課題があり、なかなか普及が進みません。例えば、秋田の杉林など、日本の人工林は、間伐を行わないと森林全体がだめになってしまうので、大量の間伐材が発生します。こうした間伐材を木材として利用すれば、その間、(大気中から取り入れられた)炭素が木材に固定され続けるので、二酸化炭素削減の観点からも間伐材の有効利用が叫ばれています。しかし、間伐材を山から製材所まで運び出すことに余分な二酸化炭素を排出したり、余分なエネルギーを使ってしまうので、必ずしも環境負荷低減にならないばかりか、コストが高くなってしまいます。結局、間伐材はそのまま山に放置されて腐ってしまいます(つまりせっかく固定された炭素が二酸化炭素として大気に放出される)。そこで、森林に近い山間部や農地で現地製材した間伐材を利用しながら、木製土木施設をオンサイトで生産できるようなシステムを構築しようという研究を、農水省の資金援助のもと、秋田県立大学を中心として2009年度から3年間共同研究しました。その中でわたしたちの研究室では、現地製材を利用しながら現場で簡単に組み立てられるオンサイト木橋を、秋田県立大学や日本機械工業株式会社とともに共同開発しました。

これは、角材を並べて横から棒を通して締め付けた板を上下に配置して箱状に組み立てるプレストレス木箱桁橋(通称オンサイト木橋)と呼ばれる橋で、部材の揃った状態から現地ですぐに1日程度で組み立てることができます。2010年と2011年に秋田県三種町の町道に1橋ずつ異なるモデルを試験施工して、経過観察しています。試験施工の際には、学生たちも参加して組立作業を手伝いました。後述するようにわたしたちの研究室では、数値シミュレーションにも力を入れています。そのようなコンピューターの前に座りっぱなしの作業だけではなく、研究の対象物を実際に制作して試験したり、現地に施工したりといった、肉体作業やフィールドワークもバランスよく体験できるので、とても楽しくやりがいを感じます。

## 2 応急橋

さて、当初は間伐材の有効利用から着想したオンサイト木橋ですが、これは簡単に組み立てられ、廃材や瓦礫なども利用で



図1 オンサイト木橋の施工を手伝う学生たち



図2 大槌町架設住宅前へのオンサイト木橋の架設

きなくはないため、災害時の応急橋としても適しているのではないかということになりました。そこで、2012年7月に、岩手県大槌町の仮設住宅前に歩道橋としてオンサイト木橋を試験架設しました。木橋の弱点の1つは、屋根のある木造建築とは違い、雨水や湿気により腐りやすいということですが、短期間の使用を前提とした応急橋の場合、その木橋の弱点を気にせず、木材の利点(比強度が高く、軽い割に丈夫)を最大限に活かした構造も採用できます。そこで現在は、オンサイト木橋を更に応急橋の用途に特化させ、手で持ち運べる材料(合板や角材)だけで組み立てられる新たな橋梁形式を秋田県立大学や業者の方たちとともに開発しています。

このように、木橋の研究は、実際に現地で橋の架設に関わったりできてとても楽しいのですが、着想段階の新形式の橋梁モデル等をすべて実際に制作して現場施工したり実寸大の破壊試験をしたりということは、経済的制約や時間的制約により現実的には無理です。

## 3 数値シミュレーション

そこでわたしたちの研究室では、実物を制作して実験することが困難な対象物を、コンピューターの仮想世界の中で数値シ



図3 応急橋の組立を行う学生たち



図4 Salome-Meca の実習中の学生たち

シミュレーションによって解析する手法にも力を入れています。数値シミュレーションには、フリーのツールだけで汎用ツール並みの高度な構造解析(有限要素解析)を行えることも模索していて、Salome-Meca, CalculiX など(プログラムが公開されている)オープンソースのツール群を活用しています。こうしたCAE(computer aided engineering)ツールは様々な意味で、Windows よりも Linux という OS(Android の元になっている OS)の方が相性がよく(OSのライセンス料を節約したいという意味もありますが)、わたしたちの研究室では、Windows に限らず、Ubuntu などの Linux OS も活用しています。

#### 4 折り紙構造

このようにわたしたちの研究室では数値シミュレーションのできる環境を整えているので、必ずしも土木構造物にこだわらずに、様々な対象を解析してみようと考え、折り紙構造なども研究しています。折り紙構造は、1枚の板状の材料を折り紙のように折り曲げて作られる構造です。最も身近な例は、キリンの耐ハイなどに見られるダイヤカット缶があります。これは缶に円管の座屈形状のようなダイヤ型の折り目を予めつけておくことで、缶の外圧・内圧に対する剛性を高くすることができます。つまり、同じ剛性で缶を薄くすることができるわけです。折り紙構造によって付加される性能は、必ずしも剛性や強度を高めることだけではなくて、蛇腹折りによってバネ性能

を付加したり、螺旋折りによって折り畳みや展開の性能を付加したり、その可能性は多岐に渡るため、航空機・自動車や医療など様々な領域での応用が期待されています。

わたしたちは、折り紙構造を土木構造物にも利用できないかと、例えば、蛇腹折り円筒や螺旋折り円筒を橋梁の振動を吸収するクッションとして利用できないだろうかとか、ダイヤカット缶の半円筒なり扇型円筒を橋梁の箱桁構造の一部として利用できないだろうかとか、新しい構造を模索しています。

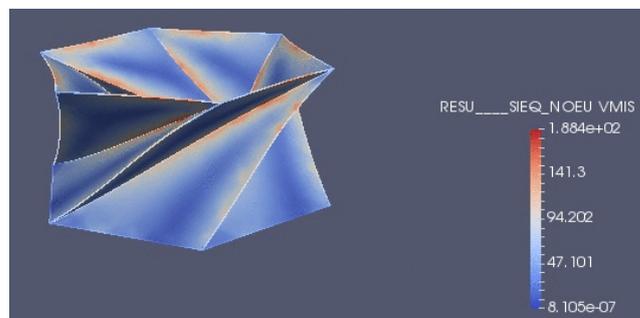


図5 螺旋折り円筒の折りたたみシミュレーション

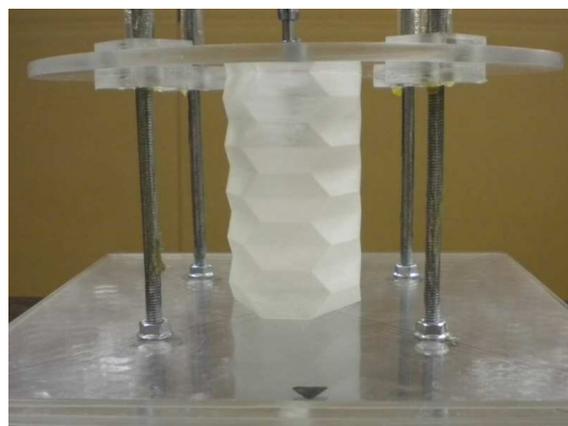


図6 3Dプリンターで製作した模型

#### 5 3Dプリンター

ただし、数値シミュレーションというのはなんでも完璧にわかるわけではなくて、ちょっと条件を変えるとぜんぜん違う結果が出てきたりします。だから、数値シミュレーションの精度がもっともらしいかどうかを確認するために、3Dプリンターで解析モデルの模型を作って実際に実験してみるということもやっています。3Dプリンターは、複雑な構造物でも、一旦、構造解析用の3Dモデルをコンピューター内で作ってしまえば、それをそのまま実物に造形できるので、コンピューター内のバーチャルな解析結果を造形された実物の実験と比較して、解析精度を確かめるのです。現在は、3Dプリンターの材料が、こうした実験用途向けの安定した材料特性のものではないのですが、いずれ、安定した特性の材料が開発されてくれば、3Dプリンターは、数値シミュレーションの精度検証の目的にも利用されるようになるのではないかと考えています。