

研究室紹介

張景耀 研究室



張 景耀 Zhang Jingyao

2001年 中国工科大学
2005年 京都大学工学部
2007年 京都大学工学部
2007年 京都大学工学部
2009年 京都大学工学部
2011年 京都大学工学部

当研究室では、建築構造の基礎学力を養い、理論と解析手法について学びます。現在、主に柱のない大きな空間をつくる「空間構造」の設計に関する研究に取り組んでいます。

かと実感しています。なぜ構造科目が必要なのか、なぜこんなに多岐にわたる科目の設定が必要なのかという疑問ですが、とりあえずは将来国家資格である一級・二級建築士の受験資格にも関わってきます。さらに、最も根本的な理由としては、建築は総合的な学問なので、実際に専門知識以外に人文や社会等の一般素養も必要です。意匠設計・構造設計・設備設計を含めた建築の設計は図面上と模型上の遊びではなく、最終的には人々の生活または活動に役に立つ空間を（仮でも）実現しないと無意味な労働になるのではないのでしょうか。

建築学科の皆さんは建築（家）に憧れ、いつか自ら素晴らしい建築を手掛けるという夢をかなうために、建築都市デザイン学科を選択したのではないのでしょうか。実際に建築学科に入っただけでいいか。一年生のときにはわずかの製図以外の教養科目ばかりで、ようやく二年生になって建築に関する専門科目が始まりましたが、計画や意匠設計意外にもたくさん構造系や環境系の科目が設けられています。実習で作品の設計図を描いたり、模型をつくったりするのは楽しいですが、他の科目の必要性に対しては疑問を持っています。

分業化がどんどん進んでいる時代の中では建築分野も免れません。現代的分業化はアメリカの車メーカ・フォード社が導入した生産ラインから始まったと言われていますが、我々現代人の魂に入っただけでなく、消費の魂にもなっています。そもそも昔の建築巨匠達は建築家と呼ばれながら、同時にエンジニアでもありました。例えば、有名な例として、アントニ・ガウディがサグラダ・ファミリアを設計する際に、逆さ吊り模型でその形状を研究していました。現代になって物理等に関する知識が膨大になりつつ、すべての分野を精通できなくても、メイン専門以外に、ほかの分野に対しても一定以上のレベルの専門知識がないと良い設計者にはなりません。日本では、丹下健三（意匠・坪井善勝（構造））や伊東豊雄（意匠）・佐々木睦

朗（構造）等たくさんの方がいます。また、コンピュータ計算技術が急速に発展している今、いくつ複雑な建物でも短時間で構造解析ができるようになりまし。計算モデル入力と計算結果出力さえ分かれば、誰でも構造設計ができる時代にもなっています。意匠でも同じような傾向が見られます。異なる専門分野の間にギャップが存在しますが、ある意味ではどんどん埋められています。複雑な構造計算や製図から解放された設計者が、もっと余裕をもって意匠設計を行うときに構造まで考える、または構造設計を行う際に意匠も考える時代が来たのではないかと考えています。

空間構造は大規模な構造形式であるゆえ、色々課題を抱えています。たとえば、その形状が少し変わっても、安全性が大きく変わることが少なくありません。いかに望ましい形に近い、かつ構造的に合理的な形状を決定するという（最適化）設計問題が自然に生まれてきます。これは特にアーチやシェル等純粋な圧縮系の構造物にとって重要な課題となります。

また、テンセグリティや膜構造やケーブルネット等の張力（空間）構造に関する研究も長年続いてきました。張力構造に予め張力を導入することによって、構造物全体の剛性向上を図り、より少ない材料で大きなスパンを飛ばすことが可能です。外力が作用しなくても、内部に張力が存在するため、その形状は任意にデザインすることができませ。更に、連続な引張材（ケーブル）と不連続な圧縮

四年間建築を学んで、その集大成となるはずだった卒業設計の発表では、敷地の選択及び設計コンセプトに関する説明は一生懸命されたのに、それを実現するための材料と構造、またはその居心地を体験させるための環境については一言も触れないのはほとんどです。また、私自身の経験から言いますと、名市大にきてから今年4年目になります。2年生後期後半の構造に関する演習課題「架構と空間」以外に、構造について私の研究室に聞きに来た学生はただ1人か2人しかいなかったのです。これほど構造に無関心なの

空間をもつ構造です。空間構造は、ナゴヤドームや中部国際空港ターミナル等大勢の人が集まる公共活動のために、よく使われる構造形式です。少ない材料で大きな空間を構築できる空間構造には材料・構造的に2つのメリットがあります。1つは材料の能力を最大限に活かせることです。これは経済性を高めることだけではなく、新たに開発された超高強度材料の適応にも適しています。もう1つは構造物が軽いこと、構造物に作用する加速度に比例する地震力が小さくて済むことです。これは特に地震大国である日本においては大きな意味を持っています。

空間構造は、大規模な構造形式であるゆえ、色々課題を抱えています。たとえば、その形状が少し変わっても、安全性が大きく変わることが少なくありません。いかに望ましい形に近い、かつ構造的に合理的な形状を決定するという（最適化）設計問題が自然に生まれてきます。これは特にアーチやシェル等純粋な圧縮系の構造物にとって重要な課題となります。

また、テンセグリティや膜構造やケーブルネット等の張力（空間）構造に関する研究も長年続いてきました。張力構造に予め張力を導入することによって、構造物全体の剛性向上を図り、より少ない材料で大きなスパンを飛ばすことが可能です。外力が作用しなくても、内部に張力が存在するため、その形状は任意にデザインすることができませ。更に、連続な引張材（ケーブル）と不連続な圧縮

材（棒材）で構成されるテンセグリティ構造等の張力（空間）構造には、圧縮力も存在するため、その安定性は自明ではありません。したがって張力空間構造の設計問題には2つ重要な課題があります。それは自己釣合い状態にある形状の設計とその時の安定性条件です。さらに、空間構造は軽い分、地震による影響が小さいですが、比較的に変形しやすいので、台風等の強風による被害が世界中にあります。柔らかい構造と風の連成問題は強い非線形問題ですので、難しいです。今まで主に実験的研究がなされてきましたが、理論的にその強風時の性状を説明するまでには至っていないのが現状です。当研究室では、これらの風関係の研究が前から少しずつ準備してきましたが、これから正式にスタートします。

研究室ポリシー
・研究を楽しめること・興味がないこと・モチベーションが上がらないと思ってしまう。自分が好きなテーマをもって研究室に入ってくるのは理想的ですが、こちらが用意したテーマリストから選んでもらっても構いません。

・自主的に努力すること・研究というの今更な事ではありません。最初から決めて研究目標に到達するのは決して平たんな道ではありません。できる限りの範囲内での指導はもちろんです。が、やはり自分で積極的に資料を調べたり、勉強したりしないに進まないケースが多いです。

・自主的に努力すること・研究というの今更な事ではありません。最初から決めて研究目標に到達するのは決して平たんな道ではありません。できる限りの範囲内での指導はもちろんです。が、やはり自分で積極的に資料を調べたり、勉強したりしないに進まないケースが多いです。

・自主的に努力すること・研究というの今更な事ではありません。最初から決めて研究目標に到達するのは決して平たんな道ではありません。できる限りの範囲内での指導はもちろんです。が、やはり自分で積極的に資料を調べたり、勉強したりしないに進まないケースが多いです。

・自主的に努力すること・研究というの今更な事ではありません。最初から決めて研究目標に到達するのは決して平たんな道ではありません。できる限りの範囲内での指導はもちろんです。が、やはり自分で積極的に資料を調べたり、勉強したりしないに進まないケースが多いです。

空間構造とは大きな柱のない

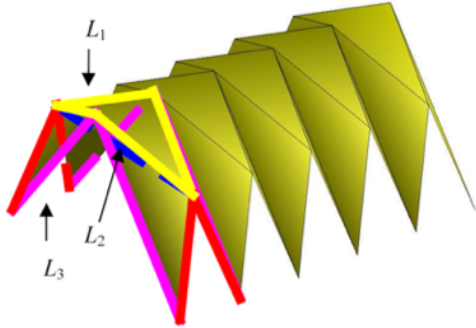
空間構造とは大きな柱のない

空間構造とは大きな柱のない

空間構造とは大きな柱のない

空間構造とは大きな柱のない

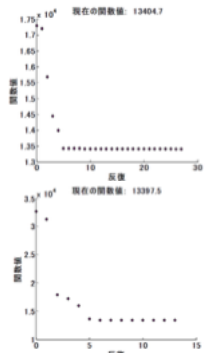
対象構造



ユニットセルの形状最適化



最適化の途中経過



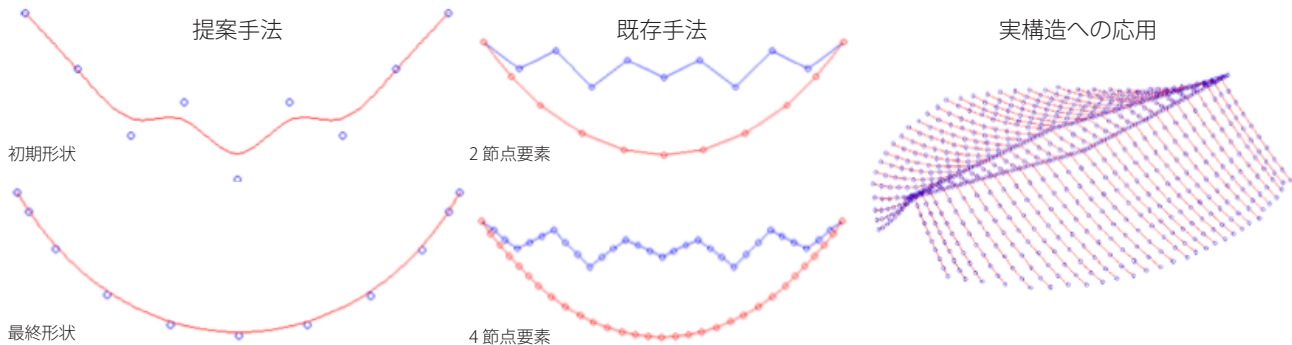
折板構造の形状最適化

折板構造はシェル構造と同じ形態抵抗構造に属しますが、平面な板で構成されているため、施工面では優れています。この研究では、ユニットセルのアセンブリで大規模な折板構造を作ることを想定し、ユニットセルの形状最適化を行っていました。

提案手法

既存手法

実構造への応用



ケーブルの自重解析

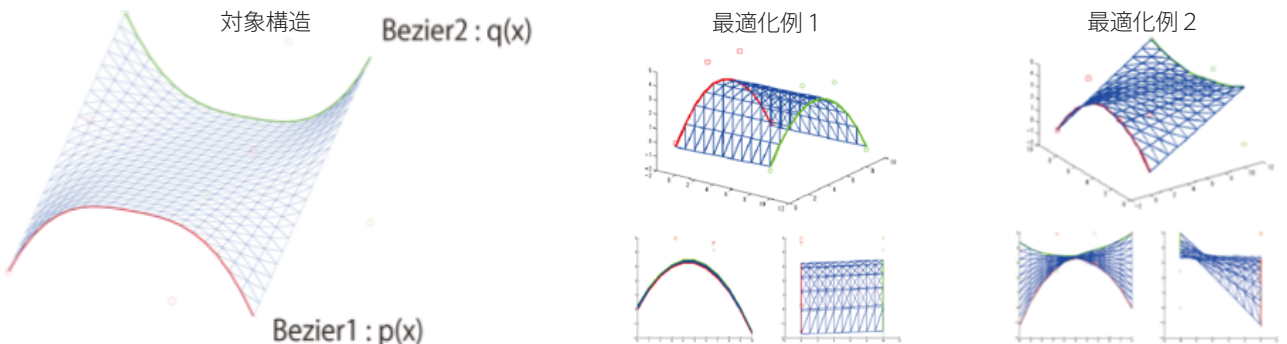
曲線・曲面構造の構造解析に対して、従来の手法では構造解析モデルと設計図の融合がありません。本研究では、近年注目されている NURBS 曲線を形状関数とした Isogeometric Analysis を用いて、ケーブル構造の自重解析に応用しました。さらに、それを逆さ吊りモデルとしてアーチやラチスシェルの形態創生に活かします。

対象構造

Bezier2 : q(x)

最適化例 1

最適化例 2



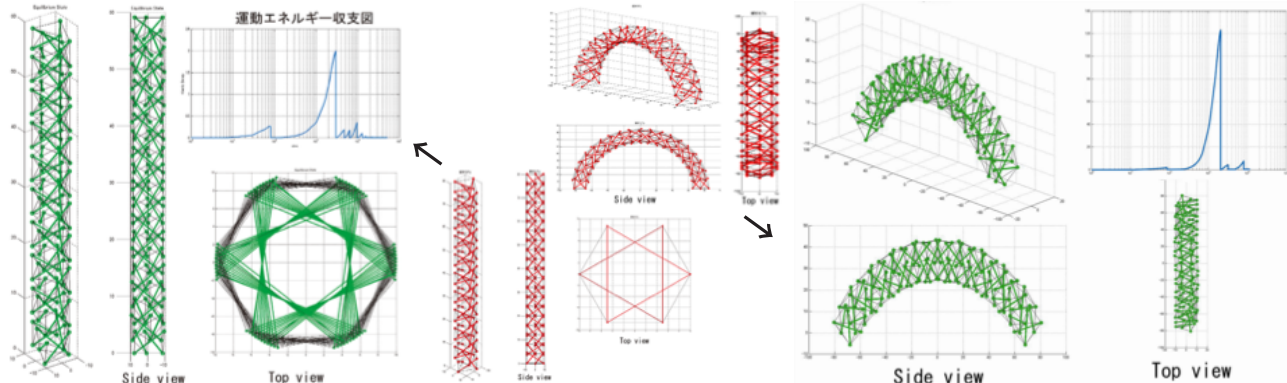
シェルの形状最適化

シェル構造は鉄筋コンクリートで作られています。しかし、曲面構造ですので、コンクリートを打設するための型枠を作るのは大変苦労します。本研究では、両端部を Bezier 曲線で表現し、その間を直線で構成する曲面を有するシェル構造を対象とし、望ましい形状に近い力学的合理的な形状を探索する方法を提案しました。

テンセグリティ・タワー

初期形状

テンセグリティ・アーチ



テンセグリティ構造の形状決定

テンセグリティ構造は連続な引張材と不連続な圧縮材で構成されています。最低限の数の部材で安定な構造物を作るという意味で最適な構造形式と呼ばれています。本研究では、テンセグリティ構造の自己釣合い形状を自由に設計できるように、動的緩和法を適用しました。

聞き手

西村達矢（久野紀光研究室）

劉郎（久野紀光研究室）

西村 はじめに、構造の専門分野に進まれたきっかけを教えてください。

張 実は、大学に入った時点で最初から決まっていた。建築構造という分野は、中国では土木系になります。私はもともと土木系の橋梁を専門にしている、そこで建築構造とか土木構造とかを色々学んでいました。ただ、仕事上、大学を卒業して一年間設計事務所働いていたんですけど、そのときに建築構造をやっていました。構造と言っても、差がないというか、根本的なところは一緒なので、そういうところは日本と少し違うと思います。なので、私の場合は建築を選ぶ選択肢がなかったわけですね。

西村 一年間実務されていたというのは、普通の設計事務所のようなところ構造の設計をやられていたということですか。

張 そうですね。中国では、基本的には大きな組織設計事務所が多いです。私がいた設計事務所でも500人ほどが働いていました。分野も色々あって、意匠系ももちろんありますし、設備系とか、あと工場をつくるのに、そういうプロセスをわからないとつくれないこともありますよね、そういったプロセスを管理する方もいました。その中で、3つのグループに分けて、そのグループの中でまた組織があつて仕事をすると、そういった感じですね。

西村 では学生の頃は、最初

から構造の分野に進みたいと思っていたんですか。

張 実は建築工學院というところに入学したのですが、これは第二志望だったんです。第一志望はコンピュータの方でした。でも結果的に良かったと思っています。最初、大学に入る前は建築のことは何も知らなかったんですね。どういう専門が良いのかとか、相談する相手もいなかったんですけど、そのときは建築をやりたいなくなりましたね。専門の話ではなくて、責任がそこそこありますよね。そのへんが一番気になっていて、建築は第二志望にしてみました。

西村 それで第一志望はコンピュータにしたいんですか。

張 そうですね。でも、結局コンピュータといつても、別にそういう学科に入らなくても、自分で勉強できてしまうので、その部分は逆に良かったと思います。

西村 コンピューターというのはプログラムをつくったりするということですか。

張 コンピューターサイエンスですね。ハードウェアとか、ソフトウェアとか色々ありますけど、昔から興味がありました。

西村 そういうコンピュータに対する興味というのは、今も自身で構造をつくる時に役立っているんですか。

張 はい、構造の解析のときに役立っていますね。例えば、研究室では学生にプログラミングをつくらせてもらって解析

しています。その部分ではまだ

プログラミングと建築構造が繋がっていると思います。ただ、研究室に配属される学生はあまりプログラミングができないところがありませんか。

西村 そうですね、この大学の建築学科では、なかなか学部

のときにはプログラミングを勉強しないですね。では、研究室に所属してから、プログラミングを

一から勉強するという感じなんですか。

張 ほとんどがそうですね。

西村 今では構造の解析というのとプログラムを組んだりするというのが、かなり密接に

関係しているんですか。

張 そうですね。私は一応物理と数学が好きだという部分

もありですけど、プログラミングも嫌いではないので、基本的にはこの辺で研究をしています。あとは実験が苦手なので、あまり実験はしていません。

基本的には頭を使ったりとか、そういう研究ばかりですね。良くないかもしれません(笑)。

西村 原稿の最後の方にも風に対する抵抗について書いています。実験でやられていたということですか。

張 今までの研究はほとんど実験でやられていて、理由としては理論と解析が難しいんですね。難しい部分というのは、シミュレーションした結果が本

西村 つまりこういう構造の解析とかもコンピュータ上でできるような手法を色々探っているということですね。

張 基本的にはそうですね。

西村 ではコンピュータで解析するメリットというのはどう

いうことが挙げられますか。

張 実験というのは限界があるんですけど、例えば規模が30層で1000mを超える建物に対してどうやって実験するか

となったときに、簡単にできないわけです。それは基本的に建

てみないとわからないということが多いんですけど、ただ解析上は、そういう制限がないです。1000mでも問題ないです。ただ時間をかけるだけです。もちろんコンピュータ上の解析がどれくらい正しいのかという部分も関わってくるんですけど、その辺は今まで実験で

わかったものと、解析でそれに合わせて開発された手法の有効性が確認されたら、あとは大規模の構造物で応用すれば良いということになります。実験では

そういう限界の部分があるということと、あとはコストですね。実験するには実験施設も必要になります。昔はコンピュータが非常に高かったんですけど、今はほとんど安く

なっています。それに比べて実験というのは変わらな

ないですね、コストというのが、もちろん実験というのは必要です。まずコンピュータで解析のツールを提供して、大規模な構造物の安全性とか、新しい構造形式の開発とか、新しい

デバイスの開発とか、最初に

コストが少ないもので確認してから、それから実験をして、というふうにお互いに確認して、その先に進むということが大事だと思っています。ただ、今の現状としては実は必要ですね。

西村 つまりプログラミングと実験は相互に深く関わっているということですか。

張 そうです。

劉 張先生はもともと中国の土木学科で構造を学んで、それから日本でも構造を学んだ

と思うんですけど、この2つの国では建築の構造に用いる材料が違うと思うんですが、先生はどうお考えですか。

張 どちらかというと、私

がなんらかの材料を使って構造を設計するよりも、もっと基礎な部分、力学の方の勉強や研究をやっているの、そういう手法で色々な建物で使えるようにするのを目標としています。そういう面では、構造とい

うのは世界中では大きな差がないと思います。イギリスにも一年間行っていました。理論の部分では一緒なので、そんなに違いはなかったですね。

西村 例えば日本では、結構地震があるということはかなり設計に影響してくると思うんですけど、それはあまり構造解析の分野では影響してこないということですか。

張 それは影響してきませんが、中国では全く地震がないとは言えないのですが、特に西南部とか、この前も大きな地震があったんですけど、地震は日本よりは少ないので、そんなに一生懸命やられていなかったんで

すね。ただ、2008年の地震で中国でもだいぶ認識が変わっています。その地震で10数万人が亡くなりました。理由は色々あるんですけど、もともと耐震を考えたいなかった建物が多いし、あとは自分で家を建てる人が多かったんですね。設計とかは全然関係なく、経験上でこれを建てれば良いかという感じですね。そういう建物の被害が多かったです。

西村 中国では木造は多いんですか。

張 少ないです。地方ではレンガ造が多く、都市ではコンクリート造がメインですね。

西村 そのときの地震では、レンガでセルフでつくった建物にかなりの被害があったということですか。

張 そうですね。

西村 土木構造物によりダイレクトに構造の力学が表れて来ると思うんですけど、日本でも東日本大震災を経て、堤防とか、巨大な土木構築物が今つくられたりしているんですけど、そういうものに対してはどういうふうにお考えですか。

張 311の後は津波の被害が大きかったですよね。それで、巨大な堤防を何キロもつくるといふ計画があったと思うんですけど、それは大反対です。景観の面ももちろんありますけど、それ以外にも良い方法があると思います。コストもそうですし、相手は水なので、全て囲まないと意味がないんです。それよりも10層や15層とかの避難ビルを建てた方が良いのではないかと私は考えています。

西村 先ほど、張先生は一年間の実務を経験したと言っていました。大学に在籍して研究をすることのメリットとかはどういうものがあるとお考えですか。例えば研究は他の研究機関でもできますよね。

張 それは良い質問だと思います。もともと中国で一年間働いていて、それ以上はやりたくないの、日本の大学院に来たわけですけど。理由としては、もちろん最初大学から出て、一年間は色々勉強になった点は評価しますが、上司とかの状況を見ると、将来像がわかってしまふんですね。もう少し自分の好きなものを自由にできればと思っています。それで留学を決めたんですね。先ほどの質問に関連しますけど、ゼネコンとか研究所がありますけど、やはり企業なので、経営とか利益というのが考えなければいけないですね。博士課程に在籍していたときも、実際には企業の研究所でアルバイトしていました。もちろんアルバイトなのでたかさんの仕事が入るんですけど、そこで働いているスタッフも同じ状況だったんですね。それは自分に合わないなと思ったわけですね。そういう面ではやはり大学が一番、基本的には利益を考える必要がなく、自由に研究ができます。今の学生の研究テーマもそうですけど、やりたいことをやれば良いというふうになっています。

張 そうですね。ただ、昔は非常にやりたいテーマがあったんですけど、最近になって何にでも興味を持つようになりました。なんでもできるというわけではないですが、もう少し深く追求すると色々おもしろい問題が出て来るんですね。実は日本に来て最初は半年間学部研究生として東北大学に行っていたんですけど、それからまた色々調べて、やはり大空間がおもしろいと思ったので、京都大学行きま

した。最初はコンクリートはあまり好きではなかったのですが、最近ではコンクリートもおもしろいと思っています。
西村 京都大学では大空間を専門としている研究室があったのですか。
張 はい、それを専門にしている先生がいました。最適化とか、空間構造とか、それも基本的には構力学の基礎の部分をやられていた先生です。
西村 研究テーマとして空間構造を主にやられていると思うんですけど、どうして空間構造に興味を持ったのかということと、構造の中にも色々な分野があると思いますが、その空間構造のおもしろさというのはどこにあるのかについて教えてください。
張 もともとなぜ橋梁を選択したのかという、スパンが他の建造物と違ってとても長いんですね。そういうところに興味があって、もちろん格好良いですし、色々な可能性があると思います。なぜ格好良いのかという、やはり力学的な合理性があそこにあるわけです。力学

の方を追求していったら、到達できた形状とかが結果的にも格好良く見られると思います。それから、空間構造は日本に来てから初めて知りました。当時の中国では数が少なかったんです。
西村 日本に来て空間構造を知ったきっかけになった建物とか、影響を受けた建築家等がいれば教えてください。
張 きっかけは「世界の膜構造デザイン」という本です。この本は横浜国立大学の石井一夫先生が編集したのですが、当時はすでに退職されていて、これは面白いと思って日本中で膜構造をやっている先生を捜しました。たまたま京都大学でそれを専門にしている先生がいたので、そこを受験しました。最初はすごく膜構造をやっていたんですけど、ただ実績としてはあまり膜構造はやっていませんが、これをきっかけに空間構造の研究を始めました。もともと修士論文では膜構造を書く予定でしたが、調べているうちにテンセグリティとかに興味を持ったので、そっちに移行しました。

西村 研究の資料を見ますと、シエルとかにも興味があるとお見受けできますけど。
張 私自身はあまりシエルはやったことがないですね。この資料はほとんど学生がやったものです。
西村 では研究室の研究としては、学生が興味のある構造形式というのを自由に選択するといった感じですか。
張 そうですね。私が知らないものでも良いですし、私に

とつても勉強になります。
西村 むしろ学生に色々なテーマを持ってきてもらって、刺激をもらうんですね。
張 それはありますね。
西村 張先生がお書きになった研究室の紹介文を読みますと、この大学の学生はなかなか構造に興味を示さないと書いてありますが、他の大学と比べてどうなんでしょうか。
張 実はこれはこの大学に限ったことではないです。他の大学も同様です。
西村 日本ではそうなんでしょうか。

張 やはり中国と違って、これは日本だけのことだと思っんですけど、建築の中に建築構造の分野があるんですね。先ほどもお話したと思います。普通は構造という分野は土木系に属します。その意味で、皆さんは建築をやりたいと思って大学に入学すると思うんですが、そのときは意匠をやりたいて考えていますよね。
西村 そうですね、そういうイメージはありませんか。
張 それでいざ入ってみると、構造もあるし、環境もありますよね。色々勉強しなければいけないのですが、最初から構造とか考えていなかったんで、どうしても興味が出ないんですね。これは他の大学でも言えることです。でもそれはそれで良いんです。ただ、構造物はやはり実現しないと意味がないんですね、図だけでは。本当に自分で住みたい、住んで安心するところまで考えてほしいです。別に構造に来てくださいと

いうわけではありません。
西村 確かに、学校の設計課題では「架構と空間」を張先生が担当されていると思うんですけど、それが終わったらまた皆さん構造のことを忘れていきますね。そういう気がします。
張 そうですね。原稿にも書きましたが、卒業設計では全く構造を考えていないですね。材料を聞いても曖昧な答えしか帰ってこないの、質問しても意味がないんです。少なくともそういうところを覚えてほしい、口頭で説明しなくても、どこかに一言書いてほしいですね。それを表現したいというのが最終の目標ははずすから。ただ見せて、これは素晴らしいと言っているだけではないと思うんですね。

西村 学生の頃から意匠とか、構造、環境のことも含めて、総合的に建物を見るようにしてほしいとお考えですか。
張 そうですね。一番明らかなのは橋梁だと思います。それ自体が構造なので、見た目が格好良いとか、素晴らしいとか、その中に必ず構造自体が見えて来るんですね。普通の建築は内装材や外装材もあって、それほど構造が見えないんですけど、建築を見るのに、意匠とか、計画とかはもちろん重要ですけど、それを実現するための他の色々な立場から見て、どうなるのかというのを覚えてほしいです。原稿にも書きましたが、昔は意匠と構造は学問として分けられていなかったんですね。ただどん知識が増えているので、全てに精通した人が減少し

ているのが現状です。でも、この先コンピューターが発展していくので、それが融合して両方できるような、そういう設計者が増えていくと思います。
劉 学部ときは確かにあまり考えていなかったのですが、大学院になると構造とかを考慮しないといけないというのは特に実感します。学部設計課題ではそこまで構造に触れる機会がないと思うんですが、構造に関する課題を増やすべきだとお考えですか。

張 課題を増やすと言っても結局学生は選択しないんですよ。先ほどの理由もありますが、実際にやっていて構造が自分に合わないと感じる学生もかなりいると思います。今3年生の実習でも構造の課題を出しているんですけど、選択したのは2人しかいないんですね。それはそれで良いんですけど、これは課題が足りないという問題だけではないと思います。皆さんは建築を見に行くときに、素晴らしい空間とか、気持ち良い空間とかを感じていると思うんですけど、やはり意匠をやる上でも、そういう素材や構造でこういう空間ができるのだからというところを考えてほしいです。その意味でも2年生の授業内容を少し変えたんですね。まだ去年始めたばかりなので、どのくらい効果があるのかはわからないですけど。一応こちらからも色々発進していて、建築を見るのにも色々な立ち位置で見られることを知ってほしいです。構造というのは計算だけではないというのがも伝えたいですね。