

Interview

和田章氏に聞く 構造設計と空間デザイン

- We, structural engineers, exist to make the world a better place to live.

建築を設計していくうえで構造設計のあり方が、外観やインテリアのデザインそして空間構成におけるかなりの部分を支配しているといえます。言い換えると、構造設計の創意工夫によって、新しく自由な空間を創出する可能性があるといえるのではないのでしょうか。2011年3月11日、私たちが体験した東日本大震災では、改めて建築物をつくるということの社会的責任と、「安全安心な都市をつくる」という構造設計者が担っている命題を痛切に感じさせられました。構造設計者の社会的責務そして空間デザインについて、日本建築学会会長に就任された和田章先生のお考えをお聞かせいただき、視察いただいた長楽寺禅堂はじめ竹中作品についてお話をお伺いした。

宇宙原理と建築

和田 宇宙の原理の一つに、「すべてのものは整然から混沌へ変化する」という単純な原理があり、この視点から、建築・構造を考えています。ここに“エントロピー”^{※1}という指標があります。例えば、塩と砂糖がお皿に入っているとしますね。料理をつくるのに甘く味付ける、または塩っ辛い場合、塩と砂糖を使い分けることができます。この両方が混ざってしまった状態では、味付けができず役に立たないですね。つまり、塩と砂糖が分かれている状態のほうが、価値が高くエントロピーが小さいといひ、混ぜてしまうと価値がなくなり、エントロピーが大きいという。この話を鉄にいかえます。酸化鉄というのは地球上にいつぱいあって安定した状態ですけど、酸化鉄のままじゃ鉄として役に立たない。人間は酸素を還元して鋼にして価値を生みだしますが、そのときにはエネルギーが必要。酸化鉄から鉄に還元するには

コークスとかが必要となるのです。川の水は高いほうから低いほうへ流れますね、すこし分りにくいのですが、エントロピーはほおっておくと大きくなってしまいます。これを留め、整然の状態にするためには、エネルギーの投入や人間の努力が必要になります。この原理を建物に置き換えて考えますと、建設会社がクレーンで高いところに鉄骨を積んだり、ボルトで留めたり、それからデザインすることなどは全部、この宇宙原理からすれば逆行して、より整然とした、整ったものをつくりあげてく仕事ですから、宇宙原理と逆のことをやっているわけなのですね。東京タワーでもゴールデンゲートブリッジでもほっとくと錆びたり倒れてしまうから、ペンキを定期的に塗ったりして人は心をこめ手間をかけています。要するに、宇宙の原理はとにかくものを混沌とした状態、別の言葉では物理的かつ化学的に安定した状態にしようとするわけ。だから人間の力で作り上げた400m以上の高さの美しいモダン建築、世界貿易センタービルでも、飛行機が突っ込んで燃えてしまったら最後は崩れて瓦礫になってしまったのです。しかし、私たちの都市や建築をそんな瓦礫にならないように守り続けているのは「人間の知恵と努力」なのではないのでしょうか。すべてのものが崩れかかっている状況を、人間が知恵を絞り、最後の最後で守り続けているといえる。構造設計でもそういった知恵が求められていると思っています。

——デザインもエントロピーの指標で説明できるのでしょうか。

和田 デザインにもあてはまるのではと思います。下手なデザインは誰も見向きもしませんね。エントロピーが大きいほど面白くもなく、興味も湧かない。



洗練されているものほど、エントロピーは小さく価値が高い状況といえます。まあ竹中工務店の作品はエントロピーが小さいのではないのでしょうか。そしてこのような建築には、設計者や施工者の様々な知恵や建築への愛が集積されているはず。――

構造設計者と建築家のコラボレーション

——我々ゼネコン設計部は与えられた条件に対し、意匠・構造・設備そして施工というトータルでの最適解を導くことを目指しています。明確な目標設定に対して、様々な知恵を積み重ねていくと、建築としての強さ、つまりエントロピーを小さくすることができるということでしょうか。

和田 エントロピーを小さくするためには、建築家と構造設計者のコラボレーションが望ましいと考えています。スペインのビルバオにちょっと変わった形で有名なグッゲンハイム美術館があります。建築家はフランク・O・ゲーリーです。H鋼やアングルを組み合わせた構造に、外観として薄いチタン板の仕上げをはっています。構造体はあくまで裏方で、構造計画の取り組みとしてはよく見ると美しくない。行き当たりばったりって感じなのです。それを見たとき日本の古典芸能の文楽と同じだと納得しました。文楽はひとつのお人形さんを何人かの黒子でコントロールするので、そこに黒子が見えています。最初のうちはあの人たちが操っている人形だなんて見ているうちに、目には人形しか入らなくなる。ゲーリーの作品は、構造はどこにあるのだから見て行くと骨がありますが、来場者は誰もH鋼やアングルの裏方を見ないで、空間やチタン造形を認識している。でも、このような建築物が世界中にたくさんあったら、構造設計者は



長楽寺禅堂

写真：彰国社 畑拓

※1 出展：「挑戦する構造」建築画報社（2011年3月）

ただの裏方になってしまうなと思ったのです。本来建築物は力の流れ方とか空間へ入ったときの感じとか、外から見たときの印象とか全部がつながっているものだと考えています。木村俊彦先生も著書の序文で、構造の骨組みが建物の形を決めていると書かれていますね。建物の骨組みと関係なく外装ファサードを張子の虎のように、建築家がおもろい形態が建築で、柱や梁はただ支えるためにあるなんてことは本来ありえないのです。建築家と構造設計者は早い段階から協働すべきで、別々に仕事を進めて頑張ってみたけど、結果的に意味がないということ、あつてはいけないことです。

——建築家と構造設計者の知恵をうまく集積していく体制が必要ということですね。

和田 コラボレーションは重要です。江戸時代前から日本では棟梁がいて、要するにデザインアンドビルドを行ってきた歴史があります。竹中工務店もそうですね。明治になってヨーロッパの建設手法の考え方を導入して、建築家すなわちアーキテクトっていうのは独立して、施工する会社は別で、アーキテクトの言うとおりに作る人は作ればよい、というような考え方を日本に持ってこようとした。しかし、設計と施工を完全に分離するというに絞らざるに無理があったため、日本では設計と施工の分離体制によるやり方だけではなく、設計施工一貫という体制も続いているという背景があります。確かに、作り方や出来上がった後の使い方、トラブルが発生したときの対応とか、最後の取り壊しとか、すべてを同じ人達がやる方が合理的な場合もありますね。意匠設計者と構造設計者の知恵をうまく集積していく体制もつくりやすいといえます。設計と施工を

完全に分離したケースでトラブルが発生した場合、設計した人はもう次の仕事をしているでしょうし、施工者と設計者が一緒に会社に居たほうが合理的なこともあると思います。一方、設計と施工は別れているべきだという人達の主張も強いですが、しかし、両方のやり方が共存してもいいのかもしれない。分離する方がいいって主張している人は、例えばヨーロッパの高級レストランに行ったときに、注文を取りに来るおじさんが居て、それで色々その味だとか、サラダドレッシングとか聞いて戻りますね。それででき上がって持ってきて、お客さんがちょっとこれ塩辛いとか、薦めたような味じゃないとかって文句言くと、そのウェイターは厨房に戻って、大きな声でお客さんに聞こえるように「なんでお前、言ったとおりの味を作らないの。駄目じゃないか」って。そういうときに竹中工務店に対しては失礼な言い方になりますが、厨房で作っているコックさん達がセネコンで、ウェイターがアーキテクトみたいなものだって。つまりウェイターはお客さんの側に立って、より美味しいものを提供するというんですね。これが全部お店側だと、お客さんの味方がその店には全然ないっていうことになってしまう。だから分離するべきだって主張しています。ただし、日本のように地震や災害の対策、夏は暑く冬は雪が降ったりする風土においては、ヨーロッパの仕組みをそのまま持つてくるだけではうまくいかないのかもしれない。

三次元で構造を考える

——東日本大震災における地震そして津波は、基準という過去の現象から導いた数値・想定を超えてしまいました。今後建築構造設計における社会的責務も増大が予想されます。建築界において

今後取り組むべきこと、そして、被災地を訪問されて考えてらっしゃることなど、聞かせてください。

和田 この本の読者の中には、まだ $K^{※2} \geq 0.2$ という概念しかなかった1981年より前に仕事を始めた人もおられますよね。「>」が付いているのを忘れ、 $K=0.2$ が地震だと思って、それで必要な鉄筋の本数決めたり、自分の決めた断面で足りるか足んないかって悩んだりします。0.99ならよくて1.01だと、明日地震が来たら壊れる。ほんとに来る地震のことを考えているのではなく、「0.2という係数によって求まる地震力に耐えることが地震に耐えること」だと、私自身が思い込んでいましたから。1981年に法律が変わってから、一挙に5倍の地震を考える事になりました。そのかわり傾くが倒壊を防ぐ、二度と使えなくなっても仕方ないんじゃないかって、皆がイメージーションを働かすようになりまして。それでも今度は $C_0^{※3}=1.0$ というのが極めてまれに来る地震だと皆思い込んでいます。実は佐野利器先生は、1924年に震度を決めるときから $K \geq 0.1$ とされていて、今話題にしている性能設計は初めからあったわけです。より丈夫な建物を作りたいという気持ちは、法律の上で今にも引き継がれています。地震学者はマグニチュード8.4のときの津波は予想できて、9のときの予測はしていなかった。多くの研究や過去の被害経験などから、法律や仕様書や設計法などのルールが生まれていきます。人間の作った世界が段々出来てくると思うんですね。構造解析をこうやってやろうとか、塑性率をどこまで認めるとか。「最後にこの図面で良い」って決めるのは、全部人間の作った世界の中で、始まって終わるってことですね。今回みたいな大きな地震があると、「紙に書かれた人間の作った世界で、ほんとに自然に対して



グッゲンハイム美術館 (ビルバオ)



東日本大震災被災地の様子

※2 K：設計用地震力の算定に用いる係数。1981年より前の旧基準で用いられた水平震度。（現在も地下・塔屋などには用いられる。また地震の震度階とは異なる。）

※3 C_0 ：設計用地震力の算定に用いる係数。1981年以降の新耐震基準で用いられる標準せん断力係数。

打ち勝っていけるのか」と不安を感じる人が多いと思います。大きな災害がなく平穏な時代が何年も続くと、またこの紙に書かれた人間の世界を守ってさえいれば自分の仕事が終わったつもりになってきますよね。自然っていうのはすごいパワーがあるから人間の作った世界よりはほんとはやっぱり大きくて、色々抜けている部分をクールにアタックしてきます。それで人間の方としては「そうか、やっぱりちょっと楽観的すぎたかなあ」って、「自然って言うのは僕たちが考えているよりでかいなあ」って考えます。これで何年か何十年かして、また別の弱点を自然はアタックしてくる。残念ながら、こうして我々の技術をキャリブレーションしていくことの繰り返しです。地震の度に、「何々震災から学ぶ教訓」という本が必ずでます。こうして足りない所を補っていくことになりませんが、それだけでは寂しいですね。

先ほど1981年に地震の5倍の力を考えるってことになったというお話、戦前は $K \geq 0.2$ が $K \geq 0.1$ だった訳ですよ。その頃に構造設計をした経験があり、戦後にルールが変わったことも全部御存知の80歳過ぎの著名な構造設計者がおられます。鉛直荷重時の曲げモーメント図を描きますと、6m~7mという当時のロングスパンのRC梁ですと、端部には上端筋、中央は下端筋が必要です。これに $K=0.1$ 相当の地震力をかけても、この水平力による材端モーメントは小さいから、材端は上端テンションのままになってしまふ。要するに下端には引っ張りが出ない。端部には下端筋が要らない梁が出来てしまふ。耐震設計の教科書の歴史の部分には「0.1が0.2に増えたが、許容応力度も2倍にしたから、戦前の建物が危ない訳じゃない」と書かれていますが、ほんととは違って、地震の力を小さくすると色々な所におかしなところが

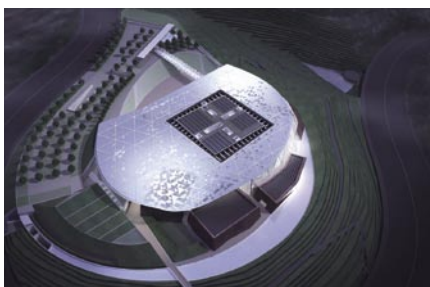
現れてしまいます。大学にしても工業高校でも、教科書に書いてあるのは平面骨組みの絵ばかりですね。普通的设计をやっている人は、東西方向がAフレーム、Bフレーム、Cフレームで、南北方向が1通り、2通り、3通りという。そして、考えをいつも平面骨組みの曲げモーメント図やせん断力やヒンジがどうも出来るってね。でも実際の人が使うのは、空間だから、絶対三次元なのです。ときには、壁の面外方向をどれだけ期待するかなど、やはり全体として考えてできる答えが大切だと思うのです。竹中工務店みたいな会社に入った人たちだけが、構造物を立体として、全体として考えるっていうのはもったいないと感じています。もっと学生時代から、建物を三次元で考える訓練が必要であると思います。ところで、竹中では構造模型は作りますか。

——設計に3次元CADを駆使したプロジェクトでも、構造検討用の模型を製作し、設計に役立てています。

和田 アーキテクト側がつくる模型だけでなく、構造設計者が自分達で作製し検証することは非常に大切なことですね。模型を作ると、考えることは絶対三次元になります。20年ぐらい前にマサチューセッツ工科大学(MIT)で研究する機会がありました。MITは当時から日本の大学にあるような大きな試験機とかほとんどないのです。解析や理論を専門とする先生が多いです。そこで学生が必ず一回受ける講義で、構造模型を自分たちで作って、それを壊すという面白い授業がありました。天井が少し高い講義室にある荷重装置は、何十年も前の古びた単純な木製の機械なのですが、素晴らしいです。この機械は長さ3.5m

幅50cmぐらいの木の板で作ったシーソーで出来ています。シーソーの支点は中央より右の方に偏っていて、その右端には鉄の錘を置き、何もしないとちょうどシーソーの中立が保たれるようになっています。支点より左50cmぐらいの位置に、バルサや針金を材料にして学生が作った橋のような構造物模型を、シーソーを跨ぐように置き、模型のスパン中央とシーソーの板を鉛直方向に細い鋼棒で繋ぎます。シーソーの試験体のそばに学生が乗ります。80kgの学生が乗ると試験体に80kgの荷重がかかり、50cm左に歩くと、試験体には160kgの力がかかります。テコの原理で、離れていくと最大5倍ぐらいの力がかかります。それでも壊れないと友達が試験体のそばに乗ってまた左に向かって歩く。そうすると試験体がさらにたわみます。ミシミシと自分の立つシーソーが下がる訳です。最後、壊れるときはガシャーンってなるのです。自分で作った試験体を自分の体重で壊して、なおかつ壊れてゆく感覚を実際に体で感じる、すごく大切なあつて思ったのです。同じようなことはアメリカでは他の大学でもやっています。例えば、試験体にはぶら下げた籠に鉄の錘を入れていき、もう一つもう一つと、これも大丈夫かと思って、錘を入れて最後は壊れましたとなる。皆で見ている拍手するのです。どこの大学でも、使った材料の種類と量によって計算した数値を分母に、構造物の抵抗力を分子にして点数を付け、一等賞を選びます。自由の国ですから、この式は大学によってそれぞれ異なります。

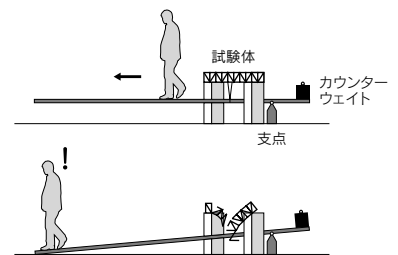
——「少なくとも模型で持てば、実現の可能性がある」「模型で壊れそうなのは始めから駄目だ」と。力学的に成立するのを読み解くバランス感覚、模型を作るとはそういうことなのですね。



台湾客家文化中心 鳥瞰



台湾客家文化中心 構造軸組模型



MIT構造模型実験器具イメージ

和田 バランス感覚が必要なのです。別な問題として最悪なことです、「設計にはフローチャートがある」と考えている人がいることです。教科書やガイドブックに構造設計のフローチャートが載っていますが、構造設計者だけがコンピュータの前でフローチャート通りに進めて、はい出来ました、なんてやって設計が出来るわけがありません。意匠設計も環境・設備設計とも互いに独立ではありません。だからみんなで議論をしていて、難問が沢山あり混沌とした状況から、瞬間的にこれらが解けて設計の答えが出るものです。フローチャートに従って答えが出るなんて有り得ない。ただ今の若い人が有利なのは、この解析の道具が役立ったりすることもあるのでしょうか。

デザインアンドビルドの可能性

——本号では構造に特徴のある作品を特集しました。視察いただいた長楽寺禅堂、そしてコンピュータ解析を駆使して設計を展開している高雄客船ターミナル国際コンペ入選案について、感想をお聞かせください。

和田 長楽寺禅堂はすごく洗練されたきれいな建物だなと思いました。新しい技術を採用しつつ日本的な建物をつくってほしいという住職の要望を実現しています。日本古来のお寺とモダンな現代建築との組み合わせが非常に上手くいっている。無垢鉄骨丸柱の採用など説明を聞いて構造的にも理にかなっている建築と納得しました。デザインアンドビルドにおける、コラボレーションの成果と感じました。客船ターミナルコンペ案は、三次元CADによる気流解析や構造計算を実施しながら自然の卓越風を活かした形を活かす

形を導いているというのが楽しいですね。新しい構造計画ありかた、可能性を感じます。

——最近の傾向のひとつなのですが、コンピュータと構造設計というのが非常に成熟してきたと同時にデリケートな関係にあります。かつて構造設計の先輩達は、コンピュータじゃなくてカンピュータって言いました。確かにある直感で出て来たディメンションの問題というのがあって、コンピュータに頼ってくると、建築の空間ディメンションを人間が決めるという行為が鈍くなっていく。だから、実はコンピュータが決めたからここにブレースがいっぱい入ってくるとか、どうしても壁厚が必要になってくるなど、簡単に言うと我々デザイナーが鵜呑みにし始めるというところがあるのです。本来、空間とかディメンションをコントロールするのがデザイナーであり構造設計者とのコラボレーションであると思います。

和田 そうですね。チームでもいいし一人でもいいけれど、意図というか、こうしたいという心がありますよね。コンピュータには意図がないから、もつとかもたないとか、応力が出てきてそれを満たすように、鉄筋の本数を計算したり、形鋼のリストから鉄骨を選んできたりする。コンピュータがこうしろと言うから、またそうする。またコンピュータがこうしろと言うからって、悲しいですね。こんなことを続けていると、ほんとに大事な部分がどんどん細くなって、いらぬところばかりがゴツくなったり。もし設計する人が、この水平力は壁に持たせて、この柱には鉛直荷重だけというような、こうしたいんだという意思を持って進めないと、ディメンションを決めるあたりで、コンピュータにめっちゃくちゃにされちゃうことが

あります。竹中工務店の皆さんは、問題意識をもってコンピュータを使っているから心配はしませんけれど、コンピュータが「うん」と言ってくれることが自分の目的みたいになっちゃってね。もともと、構造物の設計ということ自身がアクティブな行為ですよ。人間がこうしたいというもの。柱にしても筋違にしてもダンパーにしても。出来上がったものは確かにじっとして受け身、パッシブなんだけれど、設計という行為そのものはアクティブなのだと思います。設計したものがちゃんと思通りにいけばそれでいいと思います。我々構造設計者は世界を住むのにより良いところにするためにいる。（“We, structural engineers, exist to make the world a better place to live.”）地震や風にちゃんと耐えられ、暑い寒いもコストの問題も、住んでいてみんなが元気に生活し活躍している。これらを全部含めて、世界をみんなにとって良いところにするってことなのです。エンジニアも研究者も、目的はこの一言に尽きると思います。人の決めたルールに乗ってそれ以外のことを考えずに仕事をするのは一番楽なんですよ。[「言われる以上に良いことをやろう」とみんなが思うかどうか]が大切です。

——最後に竹中工務店に期待することがありましたらお願いします。

和田 それはやはり、デザインアンドビルドは勝ちだという作品をぜひ見せて欲しいですね。——本日はありがとうございました。

（聞き手：田村 彰男・森田 昌宏・関谷 和則
米正 太郎）

和田 章（ワダ アキラ）／建築構造の研究教育

- 1970年 東京工業大学大学院理工学研究科建築学専攻修士課程修了
- 1970年 株式会社日建設計入社
- 1981年 株式会社日建設計退職
- 1982年 東京工業大学助教授（工学部建築学科）
- 1984年 米国シアトルワシントン大学外国人講師（建築学科）
- 1989年 東京工業大学教授（工業材料研究所）
- 1991年 米国ケンブリッジマサチューセッツ工科大学客員教授（土木工学科）
- 1996年 東京工業大学教授（建築物理研究センター）
- 2011年 東京工業大学名誉教授、日本建築学会会長現在に至る



台湾高雄港クルーズターミナル国際コンペ 3位入賞案