

構造エンジニアの創造性と建築教育におけるマインド

和田 章 東京工業大学助教授

1. はじめに

構造家懇談会発行の雑誌で、坪井善勝先生が「構造家の坪井です」と言われてお話しをされた記事を読んだことがある。日本の大学に属していて堂々とこのような挨拶のできる先生は多くないと思う。過去に実際の設計に関与されていて現在では教壇に立っている先生方もいらっしゃるが、構造設計という仕事は、時々思い出したようにできるほど簡単なものではないと考える。

大学に籍を置き、構造力学を専門としても必ずしも構造設計ができるわけではないという第1の理由は、構造設計は力学だけの知識ではできないからであると思う。第2の理由としては、実務を行っている構造設計者であれば自然と身に付け離れなくなる数値や事項、例えば鉄筋の断面面積表、高力ボルトの強さ表、たとえばスラブ厚さと自重の関係等の建物各部の重量のイメージ、鉄筋や鉄骨の単価、良く使う鉄筋コンクリート断面、鉄骨断面の耐力等を憶えていなかったり、基準法、同施行令、告示、指針、規準などに記され、頻繁に変更される最新情報を追跡し、記憶を更新できないことが挙げられる。このほか、鉄筋のおさまり、鉄骨のディテールについての数多い設計経験、過去の成功例、失敗例をもとに組み立てられた個人個人の判断規準の積み上げ、構造計算では決まらない主架構部分以外の設計経験等がどうしても不足しているので、良いことかどうかは別として、“普通ならこうする”“こうしておけばうまく行く”“概算で済むことと精算を行わなければならないことの区別”等がすぐに判断できないため、非常に効率が悪くなってしまい設計スピードの面で実務設計者に適わないことも一つの理由であると思う。

このように考えるとほとんどの場合、教えている側の大学には構造設計者としてのプロフェッショナルはいないことになり、そこから構造設計者、それも創造力のある構造設計者が育っていくのであろうかという疑問が生じないわけでもない。しかし、講義を受ける学生の立場から考えると、2年生の前期または後期から建築を習い始め、3年生の段階で1年間程度構造設計を習ったとしても、構造設計

が本当に分かるはずもないという考え方もできる。2年間で理解できてしまうほど構造設計は浅い学問、技術ではないからである。このことは、設計事務所または施工会社の設計部門に入社し初めの10年間は一人前として扱われないことから分かる。現在の大学では、以上に述べたような構造設計の場面で必要となる力学以外の内容および日々変化して行く最新情報、効率のよい設計法等を教えることは目的としていないと考える。

最も重要なことは、時代が変化しても常にその基本となりうる学問を教えることであり、数学、物理学、力学、材料力学、振動学、弾塑性力学、地震学、地震工学、風工学、鉄筋コンクリート構造学、鉄骨構造学、座屈論、土質力学、地盤工学、基礎構造学、材料実験学、構造実験学、数値解析学など真面目に勉強して身に付けなくてはならない学問は非常に多いと考える。

ところが、難しいことはこれらの学問を理解し身に付けただけからといって、創造性の豊かな構造設計者になれるとは限らないことである。分野は異なるが、元来人が生まれながらに持っている能力、例えば歌がうまい、走るのが早い、絵心がある等と同様に、創造性を発揮するためには、天性に支配されるなにかが学問を修得した上に必要と感じる。以上は前置であるが次に、構造エンジニアといってもその仕事の範囲は非常に広いこと、建築の構造設計は他の工業製品の設計とは異なる点が多いこと、構造エンジニアのために大学で教えるべきこと、習慣、慣例にこだわらずに自由に発想することが重要であること、さらに構造エンジニアにとって必要と考える素養について順に述べる。

2. 構造エンジニアの役割

最近の内需拡大の効果で数字は変化していると思うが、我が国の年間建設費は国民総生産の15%前後であろう。このうち半分以上が建築工事費であるから国民総生産の約10%が建築に使われていることになる。このようにして日本中に建てられている一つ一つの建築は、建設される地盤の条件、敷地の形が異なり、建物の形も当然異なる。こ

これらの設計に際しては一本一本のはり、柱についてはもちろん、床、壁、基礎、階段、ベランダ、庇に至るまで建物全体について構造設計が行われなくてはならない。建築設計だけでなく構造設計においても、個々の建物はその地方の風土に合わせる事が重要であり、さらにその地方の産業、経済力、技術力を考慮して設計しなくてはならないから、これらの設計については標準設計をコピーして使うわけにはいかない。このような意味で、建築設計、構造設計は汎用性があるようでない、非常に個別的で、地道に行わなければならない仕事であると言える。これは、米国で開発されたジェット旅客機が日本の空を飛び、日本で作られたVTR、テレビ、自動車が米国で盛んに使われているというような工業製品の設計とは大きく異なる。

我が国全体を見渡したとき、以上に述べたように、社会の基盤の建設を維持するため日々構造計算、構造設計を行っているエンジニアが重要なことは当然であるが、世界に負けぬように最先端の研究成果に基づき新しい構造に取り組むエンジニアも必要である。建築構造のエンジニアリングに関して、例えば超高層建築の基本技術、大スパンドーム、空気膜構造の技術および制振構造技術等のように欧米で先に開発された技術を探することはやさしいが、日本が先行している技術を探することは難しい。このように、目を世界に向けると、欧米には進んだ技術が多いと感じる。逆に日本の技術を必要としている発展途上国もあり、これらの国への技術協力も必要である。

我が国の構造エンジニアの役割は、以上のように非常に範囲が広いことが分かる。

3. 建築構造設計の特殊性

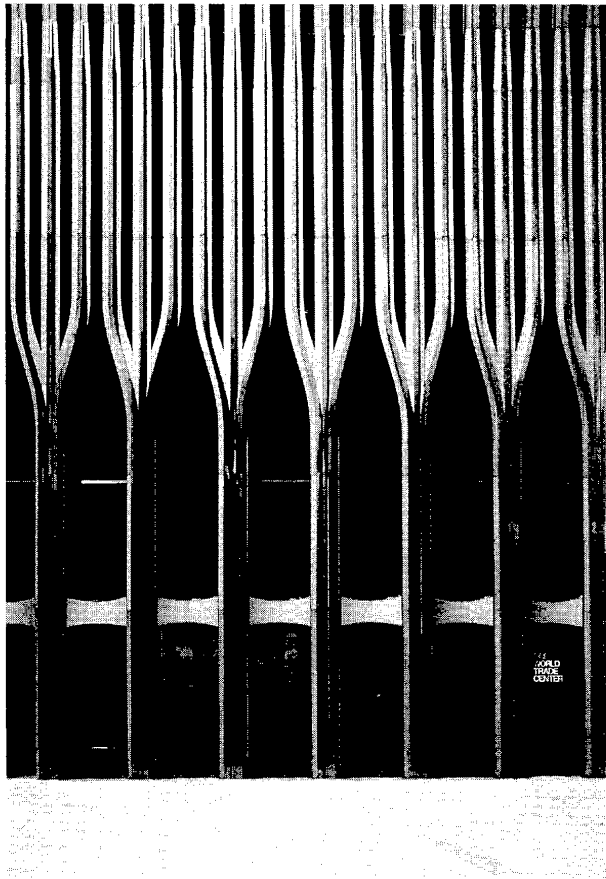
建築構造は常時に作用している鉛直荷重に耐えなければならないことは当然であるが、我が国の場合地震、風に対する安全性、居住性の確保等が大きな問題である。これらの外力に対して日本の建物の設計では厳しい外力条件を設定しているため、逆に考えると設計荷重で考えているレベルの外力はほとんどの場合作用しないとも言える。そのため、個々のエンジニアは鉛直荷重時の挙動、風に対する振動等の問題を別とすれば、構造設計した建物が考えていた通りの挙動を起こすかどうかを確認できないまま、次の設計に取り組まなければならないことになる。先に述べたような他の工業製品では、強度だけでなく飛行機が飛ぶ、自動車が走る、ラジオが鳴る等の機能までも設計通りであるかどうか確認される点で建築の構造設計とは大きく異なる。

る。

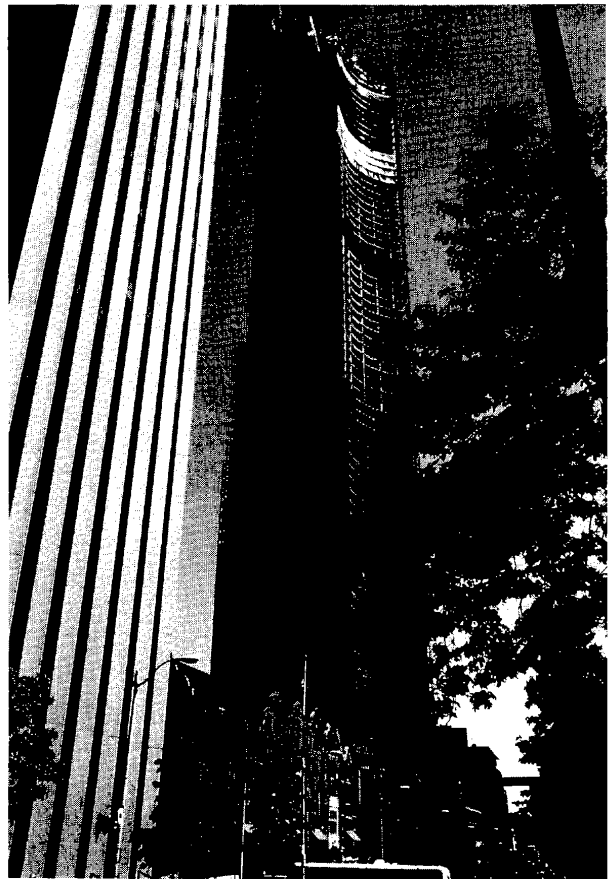
耐震設計について考えると、建設地に将来起こり得る地震動はLOGスケールでしか限定できないという曖昧さの中で、構造設計者は鉄筋の1本、2本、鉄骨の板厚の3mm、4mmを競わなければならない虚しさをもっている。これについては設計者自身の心の中に神棚を作って祈る気持ちで設計を決心している人、自分自身が大地震を受ける建物の中に居ることを強く想像して、それでもそこへ居られると判断できたとき設計が決まるという話もある。最も安易な考えとしては、建築基準法に従い仕事を次々に処理していく方法もある。このような場合には構造計算はパソコンにまかせ、第1の目標は役所の手続を通すことになってしまい、ここから新しい創造を期待することは難しい。

4. 大学で教えるべき事項

仲威雄先生は構造計画の講義でエネルギー理論を教えられるそうである。構造計画という講義名から一般的に想像されることは、実際に建設された建物を例にとり、ラーメン構造、トラス構造、シェル構造等のしくみを説明し、使用されている材料、力の流れ方等を述べることに思う。しかし、構造物が外力を受けて変形し、力を伝え、各部分に歪を生じ応力が発生する状況を最も総括的に表す原理がエネルギー理論である。もしその真髓が理解できたならば構造物が外力を受けたときの動きを自分のものとして体で理解できるようになるはずである。この意味で構造計画の講義でエネルギー理論を教える意義が理解できるように思う。直接に先生の講義を受けていないので内容は分からないが、仮想仕事の原理、カスティリアーノの第1定理、第2定理、Unit Load Methodによる変形の算出法、変分原理等について詳細に述べられたのではないかと思う。大学において基準法の数値、学会規準の使い方一つずつ教えることはそれほど重要でなく、その基本原理、挙動を理解する知識を教えることの方が重要であると考え。ただし、例えば楽器の演奏法を習うとき、生徒は基本となる音階の練習、メロディにならないような指使いの練習が重要なことを理解できず、すぐに有名な曲を弾きたがることもある。建築構造についても同様のことが言え、基本原理、式展開ばかりを連続的に講義すると実際の建物の設計との関係を理解できないため、学生が興味をなくしてしまうという問題がある。若干のトピックスを含め学生の興味をひきながら、できる限り基本を教えることが重要であり、将来への期待が大きくなると考える。楽器の演奏の



写真一 ニューヨーク世界貿易センタービルの低層階柱。スキリング・ヘレ・クリスチャン・ロバートソンの構造設計
(撮影：藤岡洋保)



写真二 工事中のコロンビアセンタービル
1984年7月撮影

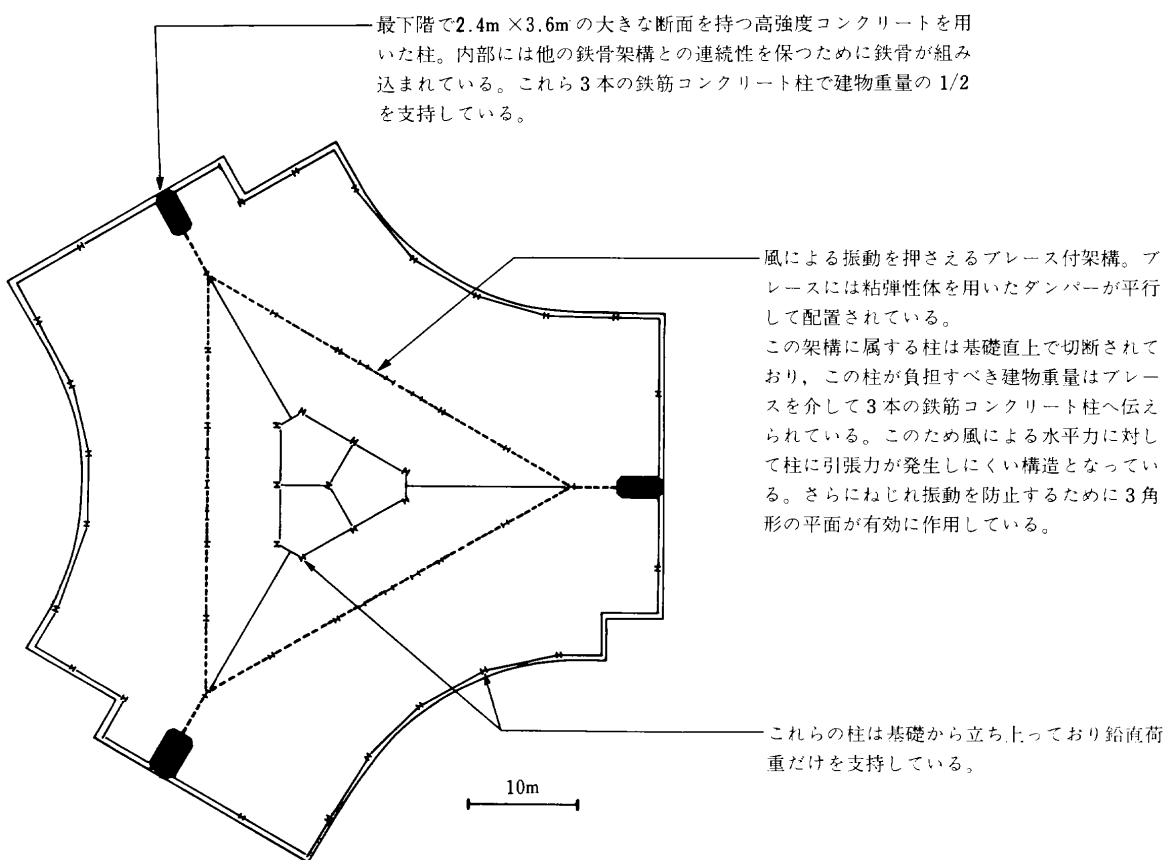


図 1986年米国シアトルに建設されたコロンビアセンター。スキリング・ワード・ロジャース・パークシャ構造事務所の構造設計による地上76階建の混合構造 (ARCADE: The Northwest Calendar for Architecture and Design, 1984. 2, 3月号を参考にした)

話に戻るが、基本練習を積んだ奏者であれば五線紙に書かれ#やbのたくさんついた曲であっても、歌手の声の調子によって全体を半音下げて演奏する等ということは簡単に行えるようだ。同じように建築構造においても基本を理解していれば、特殊な設計を行わなければならない場合においても、その構造、部材の置かれた場合に即して力学原理に基づき判断することができ、設計の自由度を増すことができることになると思う。

5. 自由な発想の重要性

特に米国の構造設計者から新しい超高層建築の構造設計の新しいアイデアが紹介されるごとに感じることであるが、日本では建築学科の中で構造力学を学ぶため、はり、柱を習い、これらを組み立てて骨組ができ上るという流れで構造力学を習う。そのため建物全体の挙動を遠くから見るマクロ的な考察能力を高める機会が少ないのではないと思う。さらに、鉄筋コンクリートのはりの大きさは幅×成が約30 cm×70 cm、柱の太さは60 cm×60 cmから80 cm×80 cmぐらいであり、H形鋼には細幅、中幅、広幅のシリーズがありその成は100 mmから900 mmまでそろっている、また鉄骨のはり成はスパンの10分の1から20分の1というようにいわゆる常識を教えすぎているのではないかとも思う。先に述べた米国の例を挙げると、ニューヨークのワールドトレードセンターでは建物全体を一つの箱状の片持梁のように考え建物の周辺にボックス柱を1 m間隔に配置したこと、これらをつなぐスパンドレルはり短スパンでありせん断力に比べ曲げモーメントによる応力は問題ないためフランジ板の代わりに小さなリブをつけたウェブプレートだけでできていること等が常識はずれであり、驚きであった。スパン方向のはりの端部に減衰効果を高めるためにビスコエラスティック材が用いられていることも有名である。さらに低層部外周の柱において3本の柱を1本に美しくまとめていることも外見からすぐ分かるが、その水平剛性、耐力不足を中央のコアへ移し、全体曲げによる軸力のみを周辺の柱にそのまま負担させる方法を用いている。これは今でも有効な方法であると思う。最近の話題としてはシアトルのコロンビア・センター、ホンコンのバンク・オブ・チャイナで実行されているように建物の隅角部に高強度コンクリートによって作られた数m²の断面積を持つ大柱を立て、建物全体をトラス状の傘立てのように組み立てる方式がある。建物の自重はこの大きなトラス部材を介して大柱へ伝達されるため、建物の重量は建物

の中心から最も離れた数点で支持されることになる。このため、風等の水平力が作用したときに全体が大きく変形することを防ぐことができ、元来引張力に対して弱いコンクリートに対して大柱へは自重による大きな圧縮力を常時に作用させてあるため水平力が作用しても引張力が生じにくい等の効果がある。このように自由な発想が行える原点を簡単に突き止めることはできないが、米国の構造エンジニアが土木工学の出身であり、学生時代に大スパンの橋梁、釣橋の高層橋脚等の力学を習い構造物を全体から見る習慣を持っていること、使用部材の大きさに関して特に限定した考えを持っていないことが原点にあるのではないかと思う。

6. 構造エンジニアになるための素養

諸外国においては構造エンジニアは土木工学の出身者であり、我が国においては建築学科の出身であるが建築学科は工学部に属していることが多いことを考えると、構造エンジニアになるために最も基本的に必要な素養は数学と物理であると言える。この上に、力学、材料力学、構造力学、動力学等、各種の学問の理解が必要なることも当然である。これらと同等に重要なことが次に述べるようにいくつかあると思う。

「建築そのもの、建築設計が好きであること」、「建築の隅々までに注意深く心を込めて考えられる頭の良さを持っていること」、「立体的認識が得意なこと」、「美的センスを持っていること」、「経済観念が発達しており損得勘定が素早いこと」、「新しいことへの挑戦の気持ちを強く持つこと」、「こだわりが無く、人の意見を素直に聞ける気持ちを持っていること」等が思い浮かぶ。

7. おわりに

日本においては行政、学会が親切すぎ、基準および規準を整備しすぎたためか、構造設計者が忙しすぎて、自分で考えるよりだれでも使えるルール作りを期待しているのか分からないが、日本の構造設計者が基準、指針、規準、マニュアルの洪水で溺れそうになっていることも確かである。これらの書物を超越できるような基礎知識を身につけて自由な発想で構造設計が行えるようにすることが必要であると思う。さらに将来には自動車産業や電気産業が行ってきたように日本の構造エンジニアが世界から恐れられるような技術を持たなければならないと思う。