

# 技術革新の促進のために

## 和田 章

東京工業大学教授・建築物理研究センター長

### 技術革新の原動力

京都に行き、地下鉄を乗り継いで蹴上駅で地上に上がると、山裾に沿って車が沢山走る三条通にでる。この道を少し歩くと、レンガを螺旋状に組んで作られた小さなトンネルの入り口がある。建設は琵琶湖疎水と同時期だから、100年以上前であるが、今でもとても美しい。気持ちの落ち着くこのトンネルを抜けると金地院の前を通って南禅寺に行ける。この辺りに建っている木造建築はどれも素晴らしい。この一角に鉄筋コンクリート造の3階程の普通の事務所建築が建っている。構造物の規模は周囲の木造建築とはほぼ同じであるが、何百年も前に建てられた美しい木造建築に比べて、非常に見劣りする。明治時代に作られたレンガのトンネルの美しさも含めて振り返ると、この100年の技術の進歩はどこにあるのかと考えさせられる。

ひとつの答えとして、今でも京都に残っている素晴らしい木造建築は、建設された時代には特別な建築であり最高の技術が使われていたのに対し、見劣りすると感じた事務所建築は特別なものではなく、どこにでもある普通の建築だからといえる。民主主義の時代になり、すべての国民が健康で文化的な生活を営むことを目指し、日本中に数多くの普通の建築が建てられてきた。これらすべての建築に美しさや感動を求めようとすることに無理があるのかも知れない。

わが国では、この100年間、とくに後半の50年には非常に多くの建築が建てられた。気付くのが遅かったといえるが、建てることだけに邁進するのではなく、美しい建築、美しい街を作ることに力を注ぐ必要があったように思う。われわれも、電子計算機の進歩などに支えられ、構造計算、構造解析の精度を高め、計算速度を速めることに努力してきた。施工の分野でも、間違いなく速い施工を目指して力が注がれてきた。振り返ると、これらの努力は経済原理におされ、次々に建てることに使われてしまったように感じる。

この流れのなかで、構造解析技術の進歩だけでなく、構造技術そのものには大きな革新があった。高性能鋼材の開発および高強度コンクリートの開発を基本に進んだ大規模構造物の建設、溶接技術／ボルト接合などの鋼構造物の接合法の発展、鉄筋コンクリート構造物の靱性を高めるための配筋法の開発、合理的な基礎工法の開発、屋根工法の開発、カーテンウォールの技術、ガラスを用いたファサードの開発、プレストレストコンクリート構造、プレキャストコンクリート構造、テンション構造、膜構造など多くの

### わだあきら

1946年岡山県生まれ／東京工業大学卒業／同大学院修士課程修了／耐震工学、構造設計、空間構造／工学博士／共著に『Innovative Approaches to Earthquake Engineering』ほか／1995年学会賞(論文)、2003年学会賞(技術)受賞

技術革新があった。耐震の分野では、制振構造、免震構造などの開発にも力を入れてきた。耐風に関する技術も大きく進んだ。最近では耐震補強技術にも大きな進展がある。これらの技術革新の原動力は経済原理を基本とする競争であろうが、より美しい建築、より安全な建築を目指して進められてきたことはもちろんである。

### 建築構造物の強さ

建築には「強さ」が必要である。この「強さ」の言葉のなかには、がたがたなくしっかり作られること、常時の使用にあたって撓みや振動が問題にならないように適度の剛性を持たせることが含まれ、自重はもちろん、雪が積もっても壊れないこと、地震や風を受けても不快な揺れが無いこと、壊れない強さを持つことが必要である。建築構造にかかわる技術者・設計者・研究者はこのことに責任を持っている。ただし、構造物の強さと同時に、経済性、美的問題、使用勝手を同時に満足させなくてはならないから、何があっても絶対に壊れない過剰に強い建築が求められているわけではない。

わが国の場合、この最低限の基準を決めているのが建築基準法である。荷重および外力の条件を定め、材料の許容応力度および強度を定め、これらの条件のもとで設計している建築構造物の挙動を調べ、部材に働く応力状態、変形などの状況が許容できる範囲にあることを示して、基準法で示されているレベルの安全性があることを証明する。

建築基準法は昭和25年に制定されているが、この法律は昭和22年5月3日に施行された日本国憲法の考えに添って作られ、国つまり行政は建築物を建てようとする人に最低限の条件をつけることおよび、国または行政は建築物の所有者に対し基準以上を強要してはならないとされている。国民の生存権と国の社会的使命が前者に関係し、国民の財産権が後者に関係する。これに関係する日本国憲法第二五条および第二九条を附録1に示す。基準法の制定時期に、日本建築学会から出版された建築基準法令解説の「目的」に関する解説文を附録2に示し、「建築物の建築等に関する申請及び確認」に関する解説文を附録3に示す。

主権が国民にあり、国は国民に対し権力を振るうのではなく、社会のため、公共の福祉のためにはたらくべきこと、基本的に国民に自由はあるが、公共の福祉のために、制限を受けることなど

が丁寧にかかっている。建築士の制度も同時期に作られたから、実質的なことは建築士に任せ、申請と確認において条文すべてに対応させて細かく調べるのではなく、概要を確認すれば良いとも書かれている。ただ、何度も読み直していると、国民より行政の方が上位にあり、行政が国民を指導して行かなければ、国民が間違えた方向に行ってしまうという気持ちが潜んでいるように感じられる。

#### 建築物の強さの決定者

建築基準法は、自然界の法則、神のみが知る自然現象に対し、人間の側が満たすべき最低限を決め、これを満足していれば、建築物を建てても良いと決めた法律である。

建築構造物の各階の重量に0.2以上の係数を乗じて算出した水平力を骨組の各床位置に与えて構造部材に生じる力を求め、この力と鉛直荷重時に生じる力との和が短期許容応力度を用いて求めた部材強度を越えないことを説明することにより、耐震設計を進める方法もこの時に決められた方法である。構造物に与えるべき強さは、物理学で決められるものではなく、国の経済力、個人の経済力によって変化しうるものである。前後の復興期に作られた基準として、最低限の耐震性を保証しようとした成果は絶大と思う。

1960年代から超高層建築の耐震設計で使われていた地震入力と応答解析法を用いて、一般の中低層建築構造物を解析すると、上記の建築基準法の方法では不足することは早くから分かっていた。1968年の十勝沖地震で多くの学校建築等に被害がでたことがあり、鉄筋コンクリート構造物のせん断補強筋に関する改正は迅速に行われ、1978年の宮城県沖地震をきっかけに、弾性応答1.0以上の大地震を考えた設計が新耐震設計法に組み込まれた。昭和30年代に建設された建物を対象に行われた耐震診断の結果からも明らかのように、基準法制定時の耐震設計のレベルは中小地震には対応できているが、大地震に対しては大きな問題を残していたといえる。

自然界の法則、物理学、力学、振動学などに支配されるべき構造設計に関し、法律の方が前面に出て、われわれの建築の作り方をコントロールしていることになる。これらの法律は、貧しかった日本に次々に建築を建てるため、全国津々浦々のレベルの底上げには役立ってきたように思うが、素晴らしい建築を作るために

直接役立ってきたとはいえない。

このようにして作られた仕組みのなかに長くいるので、国によって建築構造物の強さが決められていることに疑問を感じるのには難しい。法律を守って作られた建築構造物が地震等で崩壊したとき、その所有者、利用者、設計者、施工者はどのように守られ、守られないかについて考え直してみる必要がある。国は最低限度を決めているだけで、法律を守っていれば安全な建築が出来るとはいっていない。設計者、施工者は法律を守って作ったのだから責任はないことになる。国の基準は最低であり心配だったら、所有者や利用者は、もっと丈夫な構造を作るように設計者・施工者に依頼すれば良かったのではないかといわれ、誰からも保証を得られない。

重力、強風、大地震等の外力は自然現象として建築物に作用するが、建築構造に関する国の法律は、これに関係する人や組織の活動の場としての土俵の大きさやルールを決めていることになる。国ではなく、設計者の組織、施工会社の組織などで独自にルールを決める方法もあり得るし、設計の条件を明示し、所有者、利用者には選ばせる方法もあり得る。

#### 新しい技術の認知

昭和25年に制定された建築基準法には、(特殊の材料又は構法)の項として、第三八条があった。1998年の建築基準法の改正により、法体系が性能規定化され、特殊の材料又は構法は例外ではないことになり、その度に対応できるという理由で、この条文は削除された。以下に旧法にあった第三八条を引用する。

#### 建築基準法第三八条(1998年改正以前の条文、現在は欠番)

この章の規定又はこれに基づく命令若しくは条例の規定は、その予想しない特殊の建築材料または構造方法を用いる建築物については、建設大臣がその建築材料または構造方法がこれらの規定によるものと同等以上の効力があると認める場合においては、適用しない。

何ごとについても、時とともに状況は変化していき、決めたときが最高ということはない。予想しないことを考慮し、この条文のように将来の変化に対応できる形をとることは必要である。高さ45m(1981年以降60mに変更)を超える高層ビルの設計を可能にした

のもこの条文であり、高強度コンクリート、大スパン構造、免震構造など多くの材料、構造に関する技術がここを突破口として発展していった。建築に関する技術の良否を国が決めるという観点に立てば、第三八条のような制度は新しい基準法にも、形を変えてでも構わないので、是非必要と思う。

技術者、所有者、利用者がしっかりすれば、国に頼らない別の方法もあるように思う。特定の建築物の設計・材料・施工にかかわることで、一回限りの使用で、その技術をそのまま一般化する必要がない場合には、英国や米国で行われているピアチェックの方法が使える。本来の設計者・技術者と同レベルの別の設計者・技術者に責任を持って内容の検査を依頼する方法である。新しい技術を一般化し、設計者や技術者の手から離れてその技術が使われる場合には、業界標準のようなものを作る方法もある。

#### 性能設計

改正以前の建築基準法による設計においても、地震力を計算する際に用いる層せん断力係数は0.2以上というように、設計者の判断で外力を割りますことができるようになっていた。もちろん材料の許容応力度についても実際に作用する応力が許容応力度を下回っていても何も問題ない。このような体系のなかで設計は行われていたから、建主の要求に応じて建築物の性能を高めることは十分にできた。性能設計は以前から可能であったといえる。当時の設計法では、荷重条件と材料の許容応力度、強度の構造設計にとって重要な部分が共通条件として定められ、応力計算法等の構造計算法は設計者の自由に任せられていた。

設計には上手な設計と下手な設計がある。多くの人が認める上手な設計者には良い仕事が集まり、良い建築が作られる。このような循環が建築を良くし、街を美しくする。構造計算の方法を1から10まですべて法律に定め、設計者はそれに数値を当てはめて行く、このような姿から素晴らしい建築は生まれない。性能設計を可能にするため、構造設計者の自由度が広がると多くの関係者は期待していた。それにもかかわらず、性能をはっきり明示するために、同じ規模の建物については誰が計算しても同じ結果になることが求められた。構造設計、構造計算を帳簿のように誰が行っても同じにすることは無意味である。

これに関係して地震時の応答を簡単な計算式で求められるようにすること、および確認申請の場面で建築主事が確認可能な

方法にすべきであるという大方針が決められた。それほど高度な計算法とは思えない時刻歴応答計算は特別扱いされ、適用性にも色々限界のある略算法が法律の一部に示されたことも問題である。このように細かく法律化する動きが建築構造に関する技術革新の方向を歪めたり、開発意欲をなくさせたりしないことを望む。

#### 真剣な取組み

イタリア・アッシジの丘の上にあるサン・フランチェスコ聖堂はドーム天井に描かれたジョットのフレスコ画で有名であるが、1997年の地震で天井の一部が壊れ、十数人の方が亡くなった。ドームが力学的に成立するためにはスラストに抵抗する下部構造が必要である。このときは、同じ日に2度の地震があり、一度目の地震でドームを支える下部構造が開き、緩んだドーム天井が2度目の地震で壊れ落ちた。1253年の建設時にはこのドームの上には雨風を防ぐための木造の三角屋根が架かっていた。近年になり、耐久性を増すために木造の屋根は鉄筋コンクリート造の屋根に作り替えられていた。木造の屋根は軽量であるし、自重に対して自己釣合い型になっており、下部構造へスラストを与えることはなかった。しかし、作り替えた屋根は、鉄筋は入っているものの、変形を起こしたため下部構造にスラストを与えてしまった。下部構造は2重の屋根からスラストを受け、大きく開いたためドームの天井が崩れたことになる。

新しい技術は一般的には過去の技術より進んでいる。しかし、この例のように適用を間違えると必ずしも改良にならないこともあり得る。新築の建築構造の設計・施工についても同じである。いうまでもなく、法律が絶対に正しいということもない。守っていれば訴えられないというだけである。より良い建築を作るためには、技術への驕りのないように、物理学、力学に忠実に深く考察し、実験、数値解析等を通して、真剣に取組むことしかないように思う。

#### 附録1 日本国憲法第二五条及び第二九条

##### 第25条【生存権、国の社会的使命】

- (1) すべて国民は、健康で文化的な最低限度の生活を営む権利を有する。
- (2) 国は、すべての生活部面について、社会福祉、社会保障及び公衆衛生の向上及び増進に努めなければならない。

## 第29条【財産権】

- (1) 財産権は、これを侵してはならない。
- (2) 財産権の内容は、公共の福祉に適合するやうに、法律でこれを定める。
- (3) 私有財産は、正当な補償の下に、これを公共のために用ひることができる。

## 附録2 建築基準法令解説

### (第一章 総則 法第一条「目的」の部分抜粋)

旧法では、法律の目的は規定されていないが、本法においては、最近の立法にならって、目的が規定されている。

この条において、「最低の基準を定め」と規定されているが、これは全国を平均しての最低の基準であって、法第四〇条の規定によって、地方公共団体が条例で制限を附加することを認め、法第四一条の規定によって、町村が条例によって一部の制限を緩和することを認めている。その他にも、法第三九条第二項、第四三条第二項、第五二条第三項、第六八条第三及び令第三〇条の規定によって、地方公共団体の条例の付加を認め、更に法第八章建築協定に関する規定を設けている。

この法にいう基準は最低の基準である。従って法律上は建築主、設計者、施工者にとっては、この最低の基準に適合すれば差支えなく、建築主事その他法を施工する者にとっては、この最低の基準を確保することに努めなければならない理のものである。

然しながら建築基準法の名称の示すように、あくまでも基準である。従って建築主、設計者、施工者によってはこの基準が確保されることは勿論、可能の範囲において基準以上に建築物の質の向上が図られることが望ましいし、また、建築主事その他法を施行する者によっては、一分一厘の枝葉末節にこだわることなく法が運用されることが望まれるのである。

この条に規定されているように、最低の基準を定めることは目的のための手段である。

目的は、建築物の使用者、利用者にとっては、その生命、健康及び財産を保護(憲法第二五条第二項参照)するにあるが、同時に、建築主にとっては、本来は自由であるべき財産権

としての建築物に対する、公共の福祉の増進の見地からする制限(憲法第二九条第二項参照)でもある。

## 附録3 建築基準法令解説

### (第一章 総則 法第六条「建築物の建築等に関する申請及び確認」の部分抜粋)

第一項 旧法令では、通常の建築手続は、旧規則第一四三条及び第一四四条に規定されている通り、知事の許可又は知事への届出を要件としている。

この条では、これを建築主事の確認と規定している。即ち、建築工事の計画が建築物の敷地、構造及び建築設備に関する法律並びにこれに基く命令及び条例の規定に適合するものであることについて、建築主事の確認を受けることを要件としている。

ここにいう計画とは、必ずしも建築物の設計の内容の全部を意味するものではない。むしろ建築工事の概要を意味するために使用された言葉である。

ここにいう法律とは建築基準法以外の建築関係法令を含むものである。

確認とは、計画の内容と法令を照合して、法令の規定に適合していることを公式に認定することである。従来の許可、認可が裁量的且つ主観的な行政処分であるのに対し、確認は準則的且つ客観的な行政処分ということもできる。確認の範囲は、計画の内容が示されている申請書について可能な範囲であって、法令の全関係条文に適合していることの確認ではない。申請書の様式は第七項の規定に基いて、規則第一条及び第三条に規定されているが、工事の概要を知ることのできる程度の図書である。

申請書に示されていない部分については、設計者の責任に委ねて事前の確認はこれを省略し、現場における検査に譲られている。

要するに、建築士法に基く建築士の制度もあり、事前の確認は重要な事項に限定して、できる限り手続の簡易化を図ったものである。