2・2

新建築構造体系と設計品質

新建築構造体系に求められる設計品質

和田　章
（わだ　あきら）
東京工業大学工業材料研究所教授

はじめに

わが国の建築構造の設計に関して、その品質を議論しようとすれば耐震設計を中心に考えることになろう。しかし、自分自身の住む住宅の床に生じているたわみを感じると基本は常時荷重であるのではないか、春先に降る大雪で壊れた幾つかの建物の調査に行ったことを思いだすと雪荷重に対する設計も重要であり、台風で飛ばされた屋根や、長時間続く大風で軋むような音をたててゆっくり揺れていた新宿の高層ホテルを思い起こすと耐風設計も重要に感じる。

兵庫県南部地震で多くの命を奪った木造建築の倒壊、これについてはどうしたらよいのであろうか。設計だけの問題ではなく常日頃の維持、整備の問題ともいわれている。同じような木造住宅に住んでいる人は日本中に沢山いるから大きな問題であるが、徐々に対策が進められるに違いない。中間層が完全破壊の建物が10棟以上あった。このような破壊を起こす建物も日本中に沢山あるに違いない。昨年の年末に耐震補強を推進するための法律が施行された。この効果によって少なくとも人命だけは救えるようになればと思う。天災のうち９割は人災であるといわれるがそのとおりである。人間の造る構造物や都市が人間の命まで脅かすことがあってはならない、とつくづく感じる。

兵庫県南部地震からちょうど１年後の神戸で日本建築構造技術者協会の主催で耐震設計に関する日米会議が開かれ、３日ほど神戸に滞在した。壊れた建物は、その後に取り壊され片付けられてしまっているから、地震直後の街を歩いたときの印象とは異なるが、思っていたより多くの建物が残っていると感じた。戦前戦後から現在に至るまでの数十年のあいだには、基準法の改正や建築学会の計算規準の改定は何度も行なわれた。多くの報告書は、地震被害をその基準・規準の変遷と比較している。どの時代をとってみても100%の倒壊率ではないわけだから、この倒壊の原因は設計規準の違いや施工の良否だけではなく、設計の品質の違いも含まれるのであろう。しかし、建築はただ強いだけが高い品質とはいえない。美的要素も重要であるし、建築としての機能性、耐久性の問題もある。当然、経済性を考えて全体のバランスを取らなければならない。これらの総合として設計の品質を考えることになろう。しかし、建築としての評価そのものも時代とともに変化する、構造の評価について絶対的な尺度を考えることは難しいように思う。

仕様設計から性能設計へ

新建築構造体系の研究は、仕様規定型から性能規定型へ基準法の体系を変革しようとして進められている。戦後の復興期から作られてきた仕様規定型の設計体系は、多くの建築を次々と建設していかなければならなかった時代に必要であったし、機能してきたといえる。これらの構造種別ごとに作られた各種の規準類は合本すると数mの厚さになる。各種の建築構造に対応させて構造形式、構造種別を分類し、それぞれについて仕様規定型の構造設計法を作ってきたため、現段階でこれらを見直すと、それぞれの仕様規定とそれが目指している目標性能の関係が不明確になっている。その結果、これらの規準によって設計された建物の構造性能が明示できないだけでなく、各種の荷重や外力に対する構造物の安全性も不明確な状態である。

設計段階で最も重要なことは、自然現象である地震や風などの外力に対して挙動する建物の性質・性能をよく考察することであるにもかかわらず、基準・規準に書かれていることを順々に満たしていくことが構造設計であると誤解されてしまうことが問題である。現在の学術ではまだ解明できないことが沢山あるにもかかわらず、基準・規準を守って設計する

ことで安全な建物ができると思われ、一般の人びとには建築構造は安全で、壊れることはないと思わせてきた。兵庫県南部地震を受け、われわれは構造物のもっている安全性、性能を一般社会に正しく伝える必要がある。建築構造の設計に際し、構造物には各種のグレードをつけることは可能であり、或る最低の条件はあるとしても、中水準、高水準など要求に応じて色々なグレードの構造を造ることができる技術を持っていることを社会に示すべきである。

過去数十年の間に築き上げられたこれらの各種の仕様規定は、それぞれその時代の構造材料のもつ力学的性質、耐久性などをもとに、その時代の設計技術、計算法、施工技術を反映し、経験を積み上げながら造られてきたといえる。21世紀に向け、新しい材料が開発され、従来からの材料も強度や靱性が大きく変化している。構造技術、施工技術についても大きな変化が起きている。これらの新しい設計を支配する基準体系を、従来からの仕様規定の積み上げのままにしていては、新しい構造への開発が阻害されてしまう。進んだ設計者による新しい技術への取組みの意欲をなくさせてしまうこともありうる。

最も基本的に存在する仕様規定は構造物を鉄筋コンクリート構造、鉄骨構造などと分類することにある。現在の審査体系では、壁式構造と鉄骨のラーメン構造を一体化するような構造は特殊な構造として取り扱われ、手続きが非常に煩雑になる。本格的な性能設計が可能になればどんな構造でも安全性に問題がなければ自由に受け入れられるようになるはずである。

画一的な設計法からの脱皮を目指し、構造設計を責任感のある魅力的な仕事にするためにも、21世紀の構造設計の体系は「設計のプロセスを規定しない」、「設計された建物が持つべき性能を規定する」形に変革していくべきと考える。

構造力学の知識

すべて与えられた条件が同じであるとして行なわれたいくつかの構造設計があったとき、その品質は設計する人と、それにかけた熱意、時間によって決まるといえる。設計する人の能力は、計ろうと思えば計れないことはない。超一流に属する構造設計者は、他の分野においても超一流と呼ばれる人が少ないのと同様、そんなに多くはいらっしゃらないと思う。或るレベルを越えた設計者は大勢いらっしゃると思う。個人で考えなくても組織の持つ能力で考えることもできる。この方々が熱意をもって時間をかけて設計すれば、或るレベルの設計品質が達成できると考えてよいであろう。組織の場合はその能力を次の世代に伝承し強化することができれば最高である。これが一つの組織に留まらず多くの設計者へ広まればわが国全体の構造設計のレベルが高まることになる。

それでも、すぐれた構造設計者になるには基本的な能力が必要に思う。三次元の空間に建築を構成するわけだから、幾何学、数学の能力は必須であろう。当然美的な感覚も必要である。経済観念も必要である。これら以上に建築を作ることに心底、一生懸命になれることが重要であろう。この機関誌を読まれている方にいうことではないが、構造力学を分かっていることが何といっても重要である。耐震設計を考えるならば動的現象の理解がさらに必要である。材料のことも知らなくてはならない。やはり、すぐれた構造設計者は簡単になれるものではない。

工業製品には必ず製品検査がある。構造設計についても、その内容を検査することは必要であろう。ケアレスミスもありうるし、違った目で見ると新しい発見もありうる。この場合、始めの設計者の創造的考えを尊重すべきと思う。力学の原則にたって、設計者の考え方と設計との整合性を確認すればよいように思う。

本当の耐震設計

上で進めた議論は、これが正しい設計といえるものがあるならば終結する。しかし、現状では構造設計、耐震設計にはまだ分からないことが沢山あり、これが正解といえるものがないところに難しさがある。実際の設計の場面では、地震の発生機構、伝播、構造物が揺すられるまでの仕組み、減衰性状などはっきりしないことが沢山あり、相場合わせのようにしていることがまだ多い。設計用地震動の性質・大きさは学問の積み上げで説明できると考えている人もおられると思う。しかし、長い年月のあいだに、いろいろな強さや変形能力を持った建物が多く造られているところに、大きな地震が襲い、その結果として起きた被害状況から、学問的に積み上げた理論のキャリブレーションを行なっていると考えるのが常識的であろう。

現在の耐震設計では非常に希にくるかも知れない大地震動に対しては、構造本体の柱や梁に損傷を与えることを当然のようにして、設計を成り立たせている。耐震設計といいながら構造物が壊れることを始めから考えに取り込んでいるわけである。この方法が最終的に目指している耐震設計法ではないはずである。壁式構造のように構造体を強く作り塑性変形

に期待せず強度で抵抗する方式もある。しかし、この場合は建物内部に生じる加速度は１Ｇをはるかに越えてしまうことがはっきりしている。この建物の内部は耐震的な空間とは成りえず、ただ充分に強く造るだけでは目指す耐震設計を手にしたとはいえない。

新しい材料の開発研究、構造部材の開発、新しい架構法の開発が必要である。89年のロマプリエタ地震、94年のノースリッジ地震そして昨年の兵庫県南部地震のあと、耐震性能が認められてきた免震構造は一つの解決といえる。このほかにも建物内部に地震のエネルギーを吸収する部材や装置を組み込み、柱や梁を壊さないようにする設計が多く行なわれるようになっている。

このように考えていくと、現在使われている新耐震設計法についても、問題があることに気がつく。この方法は国が定めた法律である。わが国で構造設計を進めるうえでの土俵のようなものである。この中で競って設計活動を進めていれば建築が許され、その建物が大地震動を受けて損傷しても咎められることはない。国の法律で、めったに襲われることのない大地震動に対して構造物が塑性変形することをはっきり許容していることになる。

本当の耐震設計はいかにあるべきかと考え、決められた土俵から外へでるには勇気が必要である。このたびの地震でも、新耐震設計法によって設計された建物で、倒壊することは防げたものの、再利用のための修復費用が再建築費と変わらないため取り壊された建物もある。

本当の耐震設計を考える必要がある。決められた土俵の中で競うとしたときの優秀な設計者を、真の意味で優秀とはいえなくなる。この意味でも、仕様規定型の規準には限界があることが分かる。

建築構造のグレードとその評価

兵庫県南部地震を受けて多くの人びとの考えは変わったと思うが、建築基準法を満たしていれば安全な建物が作られ、その中で極力建設費を低減させることが構造設計者の使命であり、そうすることが発注者の要求であるかのように思われてきた。たとえば地震力の設定の項で、C_0の値として0.2以上と書かれているように、最低基準であってこれで充分とはどこにも書いていないが、これ以上のものを造ろうという気持ちにならなかったことも仕方のないことであろう。しかしよくいわれるように、車を買うときなどには実際には必要のない性能までを調べて、高級で高価な車を購入する人は多い。建築構造に関しても、想定される外力に対する被害のレベルを分かりやすく表し、その性能を明示することになれば、発注者やユーザーは選択の大きな参考にするに違いない。昨年の地震後によくいわれたことであるが、大地震を受けたときに建物がどのようになるかを前もって説明してこなかったことは問題であろう。説明しようとしても、相手が興味を持たなかったことも確かであろうが、これからは違ってくると思う。

ただ問題は、現状の学問や技術を用いて、発生するであろう地震動から建物の地震時の挙動までを説明しきれないことである。最大加速度、最大速度などで地震動の強さをレベル分けしておくとしても、設計で考えている地震動の性質と、実際に起きてしまう地震動の性質が一致するわけもないので、厳密に考えると、起きてしまう現象の程度を保障することはできない。設計に用いた地震動の性質や強さに対して、設計した建物のもつ性能を明示することしかできない。

或る地点で構造設計を進めようとしたとき、その地点に生じる可能性のある地震動について、過去の地震動の大きさと発生頻度の統計に基づいて、設計用地震動の大きさを設定する方法がある。その地区全体に多くの建物が建設される場合、これらの建物を群として捉え、地震動の強さを統計的に考え、破壊確率で沢山ある建物全体の耐震安全性の議論を進めるのに矛盾はないように思う。しかし、或る一つの建物を設計する段階になって、この問題を考えると、過去に起きた地震の統計分布に基づくのではなく、そこで起きるであろう最大級の地震動に対して考えるのが本筋ではないかと思う。

プロの仕事に何もいえない

建築を建てることは発注者、利用者にとっては一生に何度もあることではない。平屋の建物でも住んでいる人の上に何十トン、大きな構造物では何百トン何万トンの重量のものを造り上げる。壊れて鉛直荷重の支持能力を失えば人の命を奪ってしまうことは当然である。構造設計者の仕事は命をかけて取り組まれているプロの仕事である。

大学にいて、実際の建設と直接に関わらない者が、建築構造の設計品質について軽弾みなことは書けない。実際の構造設計は、計算で決まることと計算では決まらないことがあり、ましてや、われわれの行なっている研究が役に立つ場面は多くないと思う。研究室を巣立っていく学生に構造力学をできるかぎり正しく習わせるのがわれわれの第一の仕事であると考える。