

構造計算と構造設計



和田 章
東京工業大学助教授

Structural Design and Structural Calculation / WADA, Akira / 1946年岡山県生まれ / 東京工業大学工学部建築学科卒業 / 建築構造 / 工学博士

先進諸国のGNPに対する建設投資の割合は約10%であると言われ、わが国の昭和58年度におけるこの数字は18%弱であった。先進国となりつつある現在、いずれ10%にまでこの数値が落ち着くとすると、国内の仕事が減ることになり、我々建築技術者は海外の仕事は今以上に行わなくてはならなくなる。国内のビル建築の構造設計では、耐震設計によって部材断面が決まることが多く、常時荷重状態で主体構造に被害の出ることは少ない。

しかし、海外では地震のように不確定で大きな外乱が少ないため、常時の設計が重要になり、たとえば高層ビルでは風による振動を防ぐことが最重要課題になるなど、様子が異なってくる。構造設計法の動向という意味では、いつまでも耐震設計だけにこだわってよいとは言えないであろう。しかし、国内に目をもどすと依然として耐震設計が最も議論の余地のある課題であることは変わっていない。

大学において構造力学を習い、巣立っていく卒業生に極端な言い方になるが事務計算の帳簿をつけているような計算を行う計算屋にはなってもらいたくなく、設計者になってもらいたい。構造設計が夢と誇りのある仕事であってほしいと思う。構造計算が構造設計なのではなく、構造設計を行うために必要だから構造計算を行うのである。数えられないほど出版されている規準、指針に決められている式の使い方を知っているだけが構造設計者でないことを明確にしたい。

しかし、これらの規準、指針類を作ってこられた先達の考え方の基本には、究極の目標とする設計法としては、これに従って計算してゆけば最も理想的な構造設計がだれにでもできるものにしたという思いがあったのではないかと感じることもある。

もし、このような設計法を完成することができたとすると、事実、構造設計者は不要となり、計算屋だけがいればよいことになる。建築は芸術であり、人間が考える形には

無限の可能性があるので、将来に建てられるであろう形のすべてを規準・指針の守備範囲にしようとするのは無理である。基本となる物理、化学、力学等は普遍的に使えるものであろうが、必要以上に基準、規準、指針を作りすぎることに問題があると考えられる。この問題点の1つを以下に述べる。

規準類の各所に、何々の値は何々以上とすべきであるという最低値が多く示されている。わが国の構造設計では耐震設計によって部材断面が決まることが多く、設計者としては、すぐ次の日に大地震が来るとは思っていないから、この最低値をそのまま用いることに大きな抵抗はない。むしろ必要以上に安全にすることによってコスト高になることを嫌う設計者が多い。結果として、これらの値は最低値として提案され、これ以上の値をとってほしいと決められたはずであるのに、現実にはこの値が最大値になってしまう。

このような場面が増えるに従って、本物の構造設計者は仕事がやりにくくなり、決められた最低値をまもり、手際よく仕事をこなす計算屋的な設計者が活躍できることになってしまう。

それでも、新耐震設計法が施行される以前は良かったように思う。旧法の施行令には構造計算の始めと終りの部分である「荷重、外力」と「許容応力度」が定められており、その間の「応力計算部分」は設計者に任せられ、建築学会の規準の役割は「材料の許容応力度と部材の許容耐力を関係付ける」ことにあったからである。特に設計者に任されていた応力計算部分については、設計者の能力に応じて色々な考え方を採用することができた。たとえば、2枚の連層耐震壁の間の境界梁の応力計算において、十分にダクティルなはり設計することを前提に、そのはりの耐力を先に計算しておき、その値がその部材の弾性設計用の応力であるとしてしまうというような方法が自由に用いられていた。

地震時の動的な挙動と壊れ方を深く考え、構造設計を行い、弾性計算という手続きの中でどのようにでもすることができた。いずれにしても、計算の始まりとしての外力が決められており、最終段階としての許容応力度が決められていたから、途中の応力計算をどのように行ったとしても、どこかの部材がそれぞれいくらかの外力を負担していることになり、その集計値としての全体的な建物の安全性という意味では問題はなかったと言える。このような計算法を用いる場合には早期に降伏する部材が十分な変形能力を持っていないことはこれらの構造設計者には良く知られていたことと考える。

このような設計者は次のような設計法を用いることもあった。全体としては曲げ変形を生じ、十分なせん断耐力を持った連層耐震壁を有している10階建程度のビル建築の構造設計法として、耐震壁が上層に比べ下層ほど層せん断力を多く負担し、その壁が建物の芯棒として働くため各層の層間変位がほぼ同様になることから、ラーメンの応力は各層ともあまり変わらない。つまり、基本的には全層の柱と梁をそれぞれ同一断面にしてもよいという設計法であ

る。

柱の設計法については次のように考え、計算で必要となる以上の太い柱を用いていた。建物をジャングルジムのようになると、梁はX軸とY軸、柱はZ軸であり、本数としては柱は梁の半数となる。一般に階高は3~4m、梁のスパンは8m前後なので、柱の総長は梁の総長に比べかなり短いことが分かる。このほかに小梁、スラブ、壁等も構造体であるから、全構造の中で柱の占る割合はあまり大きくなく、柱の太さを小さくすることはコスト的にはほとんど効果がないことになる。それにもかかわらず、実際には柱に余裕のない建物が多く建てられ、地震の度に柱が壊されてきた。

特に壁の少ない建物で問題となるが、柱と梁の強さのバランスをX、Y方向に分けた平面ラーメンにおいて決めた建物の柱の強さについて考察してみる。実際の地震時には作用するであろう45°方向の外力をこのような建物に作用させると、柱と梁のバランスはくずれ、柱の弾性限耐力が $1/\sqrt{2}$ になり、梁の終局耐力はX、Y方向の耐力の $1/\sqrt{2}$ ずつが加算され、1構面で考えている場合の $\sqrt{2}$ 倍になるため、柱ははりの耐力の $1/\sqrt{2} \sim 1/2$ であることになってしまう。このほかにも柱が壊れやすくなる要因は動的な現象を考察することによっても表れ、スラブの効果も梁を強くすることが分かってきている。

SRC構造の場合には柱の中に十字型に組み立てたH形鋼を用いることが多いためX方向の梁とY方向の梁それぞれに対してバランスを保った柱を作ることができる。この点では純RC造に比べるとSRC造の柱は計算外の余力を有していることになると言える。

以上、いくつか示したように基準、規準、指針で義務づけられていること以上に深く考え、設計するのが構造設計者の楽しみであり役割であると考え。実際の建物は複雑であるのに、一般的な設計法を考えようとする場合には対象をできる限り単純にモデル化してしまうところにギャップが生じてしまう。このようにして作られた規準類ですべての建物を縛り付けることはできないと考える。

新耐震設計法施行後はどうであろうか。特にSRC造では2次設計の段階で保有耐力の計算が必要になることが多く、RC造との関連においてもよく問題となるのは D_s 値の取り方である。 D_s について現在の使われ方を分かりやすく見直すと、「建物を構成している部材の変形能力の多少によって外力レベルを変更する」と考えることができる。先にも述べたように従来は、荷重・外力と許容応力度は基準法施行令、応力計算は設計者、部材耐力は学会規準というように分業が成り立っていた。これに対し、「 D_s という外力に相当するものが部材の設計法によって変化することになった」ことが現在の混乱の原因であろう。考え方によっては、外力なのだから基準法施行令、告示で決めることであると言えようし、部材の性質を表しているのであるから、従来学会で決めてきたことに含まれるという考え方もあり得る。

耐震設計という面だけに限って考えると、外力レベルを

高め、部材断面を大きくし、鋼材を多く用いた建物の方が外力レベルを低く考えて設計したものより弱くなるはずはない。 D_s を外力レベルであると考えれば、これは学問で決めるものではなく、日本に建つ建物をどのくらいの丈夫さにするかという哲学、経済または政治の問題になると考える。

部材の性質によって決まるはずの値であると考えた立場に立つと、すでに、あまりにも細かく規定が出来上がってしまったため、なにかから考えてよいか分からず設計者の新しい発想までとめてしまいそうな気がする。

現状の方法では、ラーメン部材と耐震壁に分けて変形性能を調べ、耐震壁のせん断力分担比によって最終的に D_s 値が求められる方式になっている。しかし実際の建物をイメージし、2方向の地震動が同時に作用している状態を深く考察すると、色々な不備な点を思いうかべることができる。2方向とも純ラーメンである構造と他の方向には壁の分担が多いがその方向は純ラーメンによっている構造について、純ラーメン方向の性質は同等であるのか。曲げ降伏型の連層壁を有し、この連層壁が十分なせん断耐力を持っている場合、その構面内のラーメン部材の設計法は、たとえば柱と梁の強さの比の点で、純ラーメン構造の場合とは異なってくるのではないかと等である。いずれにせよ、単純化したモデルによって作った基準、規準、指針によって実際の複雑な建物の設計法を限定することは難しい。あまりにも規則が多くなってしまうと真の挙動を見極めようとする気持まで無くしてしまう恐れがある。

以上述べてきたように、 D_s は外力レベルであるのか、部材の性質を表しているものなのかという現在の混乱を考えると「2次設計の外力レベルを応答スペクトル値として85 cm/secであると決め、このときに各部材に生じる塑性変形量を求め、これがその部材について許容し得る変形量であるかどうかを検討する方式」であった第1案の方が、従来から行われていた分業を続けることができたという意味で良かったように思える。

今後の設計法の動向としては、建物にもたせようとする耐力の概数をもとに、建物のどこの部分を降伏させるかを全体的に考えて決め、このメカニズムが保障できるように降伏すると考えた部分は十分に变形能力を持つように設計し、壊したくないと考える部材にはある程度以上の弾性耐力を与えるという積極的な構造設計法にして行くべきと考える。

従来のように骨組を設定し、そこに発生する応力に見合った断面形と配筋と鉄骨を決め、その後に保有耐力の計算を行い、不足している部分を補強し、結果として部材ごとの性質が定まり、 D_s が求められるというような一方通行的な受動的な設計法でなく、初めから全体を見て構造の壊し方、バランスを考えつつ構造設計を行っていく能動的な設計法にして行くことを望む。