

Ductility is Damage

習慣、習わし、教育は多くの人びとが平和に生きてゆくためになくてはならぬものである。しかし一方で、ある恐さを内に持っているともいえる。たとえば、普通ならこうする、他がこの程度だから私もこの程度にするということである。普通ならこうするという大きな川の流れから離れて、新しいことを始めるには大きな力が必要であり、元々の川の流れの方向を変えようとするにはさらに大きな力が必要である。

われわれの関心事でいえば、「大地震は極めて稀にしか来ない、そのために絶対に壊れない建物を作るのはもったいないから、適度に壊れることを認めよう」ということになる。世界中の耐震工学に関係している人びとの大きな最終目標は地震災害をこの世から極力減らすことにある。標準的な設計方法として、外力のレベルを決め、それに対する損傷の程度を決めてしまったら、すべてを決めてしまったのと同じである。日々行なっている研究・開発の活かされる場面がなくなってしまう。開発の目的は単なるコスト低減になってしまい、より良い社会環境、社会基盤を作ろうとすることから離れてしまう。

日本建築構造技術者協会の多くの方々が思っておられるように、免震構造、制振構造を、わが国はもちろん、世界に広めなくてはならない。さらに新しい、もっと素晴らしい考えが提案されるかもしれない。建築基準法は確かに最低基準を示せばよいのであろう。建築構造以外の多くの工業製品、食料品、レストランのメニュー、音楽や絵画などの芸術、ホテルや旅館のサービス、どれをみても国の決めた最低基準に揃えられているものなどない。利用者を含めた建物の持ち主は建築構造に対して国の規則通りの最低を望んではいないはずである。

この議論でいつもいわれることであるが、レストランの食事のおいしさはすぐに分かるが、地震は本当に稀にしか来ない。性能を高めた効果を持ち主が実感できないことに問題がある。寺田寅彦はこのことについて次のように言っている。人間の寿命が100倍に伸びるか、大地震が五風十雨のように1週間に一度の間隔で来れば、地震災害はなくなる。ひとりの人間にとって大地震が日常的になり、地震のたびに壊れるよ

うな家は作らなくなるからである。耐震工学に属しているわれわれは、世界各国で起きる地震災害からの情報を一般の人びとより多く得ている。地震工学に属する研究者は地震そのものを日常的に感じているはずである。耐震構造に関係している人は柱や梁の実験を通して構造物の破壊について日常的になっている。これらを上手に組み合わせることにより、一般の社会へ大地震の恐さ、それへの構造的な対処の方法を提案してゆくべきである。

免震構造、制振構造といえども天変地異のような地震動には耐えられないであろう。天変地異といわれるような地震でも、地動の極端に大きな地区はある範囲にとどまり、そこを中心に周辺に向かい徐々に地動は小さくなるはずである。建築物はこれらの地区全体に分布しているから、より高い耐震性能を目指すことによって、結果としての災害は確実に減らすことができる。地球環境の問題を考えると、ひとつひとつの建築をその持ち主の経済的判断だけによって壊すことは許されなくなるかもしれない。

濃尾地震から110年、サンフランシスコの地震からもうすぐ100年である。100年にわたって研究は進められ、多くのアイデアも出された。繰り返しになるが、今までの習わしは捨てて、地震に対して壊れない建築を作るように、大きな川の流れの方向を変えなくてはならない。

表題に掲げたように構造物の塑性変形 (Ductility) は構造物の損傷 (Damage) そのものである。これは1999年6月にシシリー島カタニア大学で開かれた耐震構造シンポジウムで、カリフォルニア大学名誉教授のV.V.Bertero先生が力説されていた言葉である。

わが国では1981年6月に現行の耐震設計法が施行され、弾性応答1G以上の入力に対して、構造物の塑性変形能力に応じて構造物の必要保有水平耐力を低減する方法を導入した。わが国ではこのために0.25から0.55の構造特性係数が用いられているが、米国ではこの逆数に相当する低減係数が用いられ、もっとも低減率の高い剛接ラーメン構造の場合は1/12となっていた。ノースリッジ地震のあとこの係数は見直され1/8.5



和田 章

Akira Wada
東京工業大学教授 建築物理研究センター長

となった。それでも、Bertero先生は米国の建物は剛性、耐力が小さすぎると嘆いている。

わが国の場合1981年に、50年もの長い間使ってきた静的震度法による許容応力度設計法から、現行の基準への改正が行なわれた。それからもうすぐ20年になろうとしている。平成10年6月12日には建築基準法が大幅に改正された。大きな川の流れは少しずつ向きを変えようとしているように思われる。その間隔は50年から、20年に縮まった。「性能規定の導入等の単体規制の見直し」および「型式適合認定制度等に関する規定の整備」については上記の日から2年以内の政令で定める日から施行されることになっている。

今から振り返ると、1981年の改正は意味があったように感じる。一つ問題点を上げるとすれば、先に述べた構造特性係数そのものである。構造体に塑性変形能力があるかどうかを評価して構造特性係数を決めたと、構造計算は保有水平耐力の計算に進み、構造物に生じるであろう塑性変形の大きさを陽に求めないまま、構造計算は終了してしまう。この20年の間に電子計算機の利用が盛んになり、建物全体に水平荷重を作用させ、これを徐々に大きくしてゆく荷重増分解析によって、自動的に保有水平耐力が求められるようになった。

ここで起きたもっとも大きな勘違いは、この増分解析の過程で、必要保有耐力に相当する水平力が作用している時点の構造物の変形、応力状態が、2次設計で考えている地震力に対する応答であると思われてしまうことである。標準せん断力係数には0.2と1.0の違いがあるから、2次設計では1次設計の5倍の入力を考えているはずである。上記の方法で計算すると構造特性係数が0.25の場合、1.25倍の水平荷重時となり、このレベルの荷重では構造物に塑性化はあまり生じないから、構造物に生じる変形は1次設計時のほぼ1.25倍になってしまう。「これで良いのではないか」と思われてしまうトリックがあることに問題がある。

もう一つの問題は、鉄筋コンクリート構造の建物に耐震壁、鉄骨造の建物に筋違を沢山入れると、構造特性係数が大きくなってしまふことである。これはこれで、原理としては正し

いのであるが、大きな必要保有水平耐力を設定するのは構造設計者として材料を無駄に多く使っているような気持ちにさせる問題がある。地震のたびに、耐震壁や筋違の有効性が叫ばれているにもかかわらず、純ラーメン構造が増えてしまったのは、構造特性係数に原因があるとも言える。

建設省の住宅局、建築研究所の方々が、性能評価のための新しい検証法を作ろうとしている。縦軸を最大応答加速度、横軸を最大応答変位で表わした図に設計用の地震応答スペクトルを描き、先にも述べた荷重増分解析の結果をこのグラフ上に書き込み、塑性化に応じて等価減衰を考慮し、応答スペクトルと荷重変位曲線の交点が、設計で考えるべき構造体の応答であるという考えである。個人的な印象では、なかなか良い方法だと思う。骨組の靱性に期待して骨組を弱く設計した場合には大きな変形が生じるが、このことが図からそのまま読み取れる。大きな変形能力は期待せずに、強度を高めた壁式構造などでは、地震時の変形が小さいことが読み取れる。

法治国家であるから、標準的な方法が必要なのであろう。もともと、基準法は最低の基準を示し、一般の人びとはそれより高いレベルの建物を要求するという考えであろう。最低基準を満たしているかどうかはこの方法で確認するとして、建物の持ち主に高い性能であることを示すのは別の方法でもよいように感じる。審査の手順が設計の手順に一致している必要もないから、さらに良い方法を考えてゆく必要がある。

話を戻すが、性能に重点を置いて建築構造物を耐震設計しようとするなら、今のところ、免震構造または制振構造しかあり得ない。免震構造では上部構造にDuctilityは期待せず、免震層のダンパーが安定的にエネルギー吸収を行なう。制振構造では、構造物の中に分布良く配置したダンパーに地震のエネルギーを吸収させ、これらの材料にはDuctilityを期待するが、柱や梁にはDuctilityを期待しない方法が可能だからである。これに対し、従来から用いられている柱、梁などにDuctilityを期待する方法は地震時に建物本体を壊そうという考えである。免震構造、制振構造、さらに次の新しい考え方が開発され、ますます普及することを期待する。