

耐震設計とコスト

一 瀬川輝夫 竹中工務店大阪本店設計部構造担当副部長
 ◆TERUO SEGAWA
 一 長尾直治 日本設計構造設計部
 ◆TADAHARU NAGAO
 一 John Batchelor オーヴ・アラップ・ジャパン取締役東京支店長
 ◆ジョン・バチエラ
 一 井上一朗 大阪大学助教授 ◆KAZUO INOUE
 一 司会: 和田 章 東京工業大学教授 ◆AKIRA WADA

和田 新しい編集委員になって、本のスタイルが変わってから最初の1月号ということです。今回は、耐震設計とコストという問題をとりあげました。今日は関東、関西の構造設計で活躍されているお二人の方と、イギリスの設計事務所で有名な OVE ARUP からバチエラさんに来ていただいて、井上先生を含めて4人の座談会ということで進めさせていただきたいと思います。それではまず井上先生、テーマについて簡単に説明していただけますか。

井上 別に深い意図があったわけでも何でもないんですが、耐震コストというのはそんなにかかっているんだろうかという疑問は前から若干ありました。建物の建設コストに対して、ほんのちょっとしか占めてないのであれば、あまり塑性変形性能とか何とか言わずに、大地震が来たとしても、ちゃんとしたものを作ったという疑問を前から持っていたわけです。そのへんが発端で本当はどの程度なのか少し分析していただければと思います。

それともう一つ、いったい世の中の人々は地震に対して、どういう感覚を持っているのかというのがよく分からないんです。地震のときに建物に対してどういう期待をしているのか。あるいは何も考えてないのかどうか。またデザイナーの方々は本当はどうなのかすらよく分からない。まずそのへんの議論からお願いできればと思います。

耐震設計と社会の認識

和田 今日はこの3人の実際設計されている方に、特に日本で耐震設計するときに二次設計とかレベル2とか言われているときの壊れ方について、オーナーやデザイナーにどれぐらい説明しているかというあたりからいきましょか。まず関西の瀬川さんから、よろしいですか。

瀬川 オーナーの方に耐震の性能について、構造設計者からレビューすることはまずありません。なぜかという、これは死ぬ話ですから思ひ嫌うんです。デザイナーはもちろんオーナーに対していろいろ説得するわけですが、それ以外だとむしろ設備関係です。奥様のこの居間はこういう空調や明るさでいかがですかとか、お宅にはベンツもよく似合うとか、そういう感じでやっています。それで構造はというと、オーナーの立場はそれは任せたいという感覚で、もって当たり前なんです。どういう地震が来て、そのときにどうなりますなんて言っても、向こうも実感としては持っていないこともありますし、それと自分の建物が壊れるときの話はあまりおもしろがらない。

和田 関西に比べると、関東のほうは時々地震が来ますから、ちょっと違うと思うんですが、いかがですか。

長尾 関東ではマグニチュード7の直下型地震とか、マグニチュード8クラスの南関東大地震というのが来そうだと

言われています。広島型原爆の1発あたりのエネルギーが確かマグニチュード6ちょっとに相当するそうですから、そういうのが来ると、原爆が数個分破裂したエネルギーが投入されるわけです。だから、全く大丈夫だというわけではないだろうと思います。特に東京のほうでは関東大地震の記憶が鮮明ですから、やはり地震に強い建物にしようというのはコンセンサスであるようです。

ただ、いまの耐震レベルがどうかというのは問題もあるかと思うんです。つまり、いまインドのような開発途上国で、組積造の建物が壊れて人が死ぬという壊れ方が日本で起こり得るかという、最近北海道で起こった地震を見てもないだろうと思います。また、1980年に新耐震設計法が施行される以前、1978年に仙台で地震があったときに建物が壊れましたが、それでも建物の下敷きになった死者がでることはなかったんです。ですから、新耐震以降、普通にやっていたら、建物が壊れて人が死ぬということはないような状態になってきているのではないのでしょうか。

コストのことですが、新耐震設計法が1980年に施行されたときに、どれくらいコストが上がるのかいろいろな試算をしたことがあります。躯体費が1割から2割上がるという結果になりましたが、結局あときは設計震度が0.2から0.3になったような上がり方だったと思うんです。あれ以降、日本の建物はとても強くなったのではないかなと思います。

和田 バチエラさんは外国から来られて日本でもだいぶ長いですが、オーナーやデザイナーの人と耐震設計について、どんな説明をしていますか。

バチエラ まず技術を知らないし、専門家でもない一般住民、あるいは発注者側に話す場合、先ほどおっしゃったように、安全性などを定量的に説明するのは無意味です。これは日本だけではなく世界中で共通です。ですから、どういうふうに一般国民に説明するかという問題と、どういうふうに専門家レベルで定量的に安全率を設定するかという問題は全く切り離れたほうがいいと思います。一般国民には、たとえば先ほど長尾さんが説明されたように、原爆になぞらえて、そんなエネルギーがあるという説明のしかたが一番分かりやすいでしょう。

逆に保険会社、あるいは定量的に地震のダメージを見ている機関、あるいは行政側の対応になると、それと全く別レベルの話になると思います。まず一般発注者レベルで話をしますと、日本は世界中で一番厳しい耐震設計法を持っているという誇りを主張できると思います。逆に定量的な話に入ると、まず地震荷重をより定量的に設定すべきだと思います。その点で、私は特に最近出版された学会の新しい荷重指針は大歓迎です。

和田 地震だけではなくて、風とかを含めてですか。

バチエラ そうです、それも非常に歓迎します。そうすると、外力について定量的な話ができるようになります。

もう少し言わせていただければ、積載荷重の話も同じほどややこしいんです。事務所の場合、地震時に1m²当たり80キロとして建物に働く耐震荷重を計算しますが、床の設計では300キロです。ところで、床にかかる荷重のうちの荷重が安全な荷重かを、オーナー側にあるいはユーザー側に説明するのは本当に困難です。

和田 具体的にどんなエネルギーとかどんな地震とかは別として、大きな地震が来たらひび割れが入ったり、崩壊は防ぐけれども、再利用ができなくなってしまうかも知れないというようなことも言わないのですか。

瀬川 そういう話は本当にしにくいんです。ただ、われわれにお任せください、そうすればあなたの建物が存命中の50年とかある期間はおそらく大丈夫ですとしか言えない。実は、関東大震災クラスのもの came ときには、壁にこの程度の亀裂が入りますと言って、1回怒られたことがあるんです(笑)。そんなことを言うべきではないと。ですから、人に説明するよりも、自分でどの程度のものを想定しながら設計するかというのが頭にあるわけです。

むしろ私が思うのは、そのとき袖壁とか腰壁に亀裂が入るだろうか、どのぐらいのレベルの地震のときにこの窓が壊れるのだろうかとか、そういったほうに注意をする。そういう情報のほうが一般の方々に対してもいろいろと利用価値がある。そんな気がしています。

和田 とんでもない大きい地震よりは、来そうな地震でどうかということですね。

瀬川 意外とそのへんは落ちているんです。特に新耐震になってから、雑壁はスリットで10cm残してでも切ったつもりでいるから、本当はあのへんにダメージが来るはずなんです。

和田 そうなるとなかなか難しいんですが、もう少し構造にお金を使わせてくれれば、これだけ丈夫になりますけどという場面は、オーナーとの間には一応ないということですか。

瀬川 たとえば付加価値の高いもの、コンピューターセンターとか精密機械を作る工場とか、そういったオーナーとやり取りするときにはだいたい事情は違ってきます。それは向こうの命ともなるところですから、関東大震災クラスのもの came としても、そのまま業務を継続して行うことができるようにします。免震構造などはそういった種類のもので。そうした尖鋭化した部分で非常に高度な話が出る場合はあります。しかし、これはあくまでもレアケースです。

それと超々高層という話題に関しては、あれをインフラの巨大なものとしてみなして、塑性域に入れるべきかどうかという問題については当初からわれわれも議論しています。レベル2が来たとしても弾性内に収めるべきだろうという議論です。そのかわり二次部材的なもの、それが超々高層の場合は結構な部材になると思うんですが、これを一般の建物における主要部材と解釈して、ある程度塑性域に入れましょうという考えです。耐震設計も今まで主体構造だけで考えてきたものを各々のレベルに合わせて、制震とか二次部材のエネルギー吸収とかを含めて、耐震要素を層別する。それで全体のシステムを組み立てていこうという考え方も出てきたようには思うんです。

バチエラ 耐震設計の主流に免震のような新しい考え方を認めなければ、今後の技術発展の妨げになるかも知れません。新しい考え方の一つに、ダメージコントロールという発想があります。未来向きにお話すれば、たとえば超々高層であっても、もし特定の部材だけにダメージを集中させることが可能になれば、それを後で取り替えることはあり得るかも知れません。

井上 ダンパーというか、エネルギー吸収のデバイスというのはいろいろ工夫があるところだと思うんです。日本の柱や梁は大変ですよ。鉛直荷重だけでなく、地震や風も負担させられる。もっと役割分担を考えてもいいんじゃないでしょうか。

瀬川 そうなってくると部材と要素というものがある程度、コスト面でもきれいに分離されてきますので、今回のお宅の建物は耐震コストとしてはこのぐらい見込んでおきます。つまりダンパーは普通ですと2個なんですけど、お宅の場合は4個付けさせていただきますので(笑)、このダンパーの単価分だけお高くなりますがとか、割合商業・ベースで話ができそうになるかも知れません。

長尾 私たちの事務所で設計した例が一つありまして、ある生命保険会社の約4万m²のコンピューターセンターなんです。東京郊外に建てたのですが、それを免震構造にしたんです。建物を耐震構造としてコンピュータールームだけに免震床を設置するよりも、建物全体を免震にしてしまう方がコストが低いという試算をして、建物全体を免震構造にしたんです。そのときに、建物が水平力を全く持たないようにはできるかということ、これは当時の日本の規定で地震荷重を75%までしか下げることができませんでした。

それでコストなんですけど、そのデバイスのコストを入れて、トータルで5%上がったぐらいです。これで、コンピューターのための耐震性能が上がったということだけではなくて、たとえば層間変形角が通常の建物の半分以下で済んだことによって、サッシとか設備のためのパイプなどの

変形も小さくすることができたことなど、いろいろな意味でグレードが上がったように思います。そのグレードが上がったのに要したコストは建設費の5%ぐらいだったんです。だから、そんなにもすごいコストでもなさそうな気がしました。

バチエラ でも逆に地震荷重が本来の値の75%以下にはならないというのが常識的な限界と思われるんですが、技術発展と実績を蓄積すると、おそらくそれを下回ってもよいという判断が自信をもってできるでしょう。

和田 ということは、免震構造にしたから、上部構造をもっと弱く造ってみようということですね。

長尾 当時、法律的な取り扱いでどうも75%という数値が決まったようです。法律の話は別にたくさんあるかと思いますが。

バチエラ でも、最終的にそうしたコスト、耐震設計コストなどは、間接的であっても法律で決断されたものに左右されます。そして、その決断もたいへんな決断ですから、すぐ変わるようなものでもないです。たまたまそれを施主側に説明しなければならないかも知れません。

長尾 ある建物にかかるコストをいろいろなところに配分するわけですが、適正に配分しないといけなだろうと思います。法律の目が本体ほど及びにくいもの、たとえばブロックの塀ですが、これを耐震的にするのはそんなに難しいことではないんです。バランスを取らないといけません。

和田 さっきの壊れる部分をどこかに集中させるという話で、井上先生は前に日本の建物で梁降伏型の設計というのは梁全体の長さのうち両端の部分だけにエネルギー吸収をさせている。それで取り換えにくい場所だということ、必ずしもいい設計法ではないんじゃないかというお話をされていたと思いますが、そのへん、少し説明をお願いします。

井上 常時荷重を支持しているものを塑性化させる設計というのは、本当に妥当なのかなという疑問は前から持っているんです。それ以上のことはよく分かりません(笑)。

長尾 壁などは、特にブレースは単位重量あたりのエネルギー吸収能力はラーメンに比べるとはるかに大きいというのは、井上先生がおっしゃっていたと思います。耐震要素をうまく使うというのは、良いことですね。

井上 なかなか場所が取れないんですね。

瀬川 そういうところはあります。それと実態として、本当に地震の大被害が起こったときの修復の状態がまだよく分からないんです。古い建物を耐震補強する場合と似たようなところもあると思うんです。いまのところ補強は結構高くつくこともあって、場合によっては新築したほうが安いこともあるんです。

バチエラ いまの話では、その市場がどれほどあるかという要素もあるでしょう。たとえば現在、カリフォルニアでは耐震的に不十分な建物の数が非常に多いから、耐震補強プログラムなどはさかに行われています。ある建設会社がそれを専門として、割と能率的に取り扱うようになっていきます。そういう大きな市場があれば、ある程度コストが下がるのが期待できます。

長尾 津波だとか、山崩れのほうが被害が大きいですね。被害総額は、これは人的な被害と経済的な被害とがあるんですが、両方とも建物以外、つまりわれわれが関与する以外の部門のほうが大きいような気がします。

瀬川 話が本題からずれると思うんですが、いわゆる災害というものに対処するという全体的なエンジニアリングから見たら、耐震のみが突出していて、他のところが置き去りにされているような傾向はあると思います。ただ、この間の津波はどうしようもないです。島の周りに全部、擁壁を建てるわけにもいかないから、あれはもう逃げるしかないという対処のしかたになるでしょうけれども。

バチエラ 私もテレビを見ましたが、30分以内にNHKは放送しています。それほど早い反応もすばらしいと思ったのに、次の日にあんな悲惨なことを聞きました。30分でも間に合わなかった。

和田 どうしてもエンジニアは与えられた条件で最善を尽くそうとします。たとえば隣に崖があっても、この敷地に何かを建ててくださいという要望に対しては、崖が崩れてくるかどうかということは、一応、考えなくていいことになっています。しかし、総合的に見て、建物をたとえ耐震設計しても、上から土砂崩れがあったら何もならないんです。だけど、また法律で隣に山がありますか、谷がありますかとやるのがいいとは思わないですけども。

耐震設計とエコロジー

和田 ところで、耐震について初期の投資と被害との関係についてはいかがでしょうか。

長尾 東京周辺では、言われている地震が起こると、どのような被害が起こるかという被害予測がいくつか出ています。一番ショックなのは国土庁が1988年に出したものですが、100万単位の建物が消失し、10万人単位の死者が出るというすごいものです。最近ではもう少し減っているようですが、いずれにしても一説では東京では26兆円ぐらい被害が出るんだという。これもずいぶんいろいろな予測があると思いますが、やっぱり火事だとか、石油コンビナートの火災などが多いというんです。

ですから、建築の耐震コストを多少かけて、地震の時にも外に逃げ出さずに家の中にいなさいという教育がなされ

るくらい安全な部分がいくつかあるというのは、全体から見てとても安心なのかも知れません。

井上 ただ、和田先生もこの前の雑誌に書いておられましたが、強くすればいいというものでもないですよ。強くすれば、加速度が大きくなるのだから、また別の被害が発生する可能性もあるわけです。加速度をコントロールしながら、耐震性能を上げるという工夫をこれからいろいろやっていく必要があるんじゃないかと思うんです。免震とか制震などはその一つの手段でしょうけれども。

長尾 構造設計をやっていると、柱が太くなったり床が厚くなったりすることがあります。これは地震のせいにするわけですが、一方、剛性も高くなって住みやすいし、耐久性も上がっていると思うんです。特にライフサイクル・コストのようなものから考えると、構造のように壊すにも壊せないようなものについては、かなり長いサイクルで持つように造っておきますと、それは全体のエネルギー消費を下げることにはなると思います。つまり地球にやさしいことにはなるんだろうと思います。防災のためにお金を投資することは、トータルで見ると悪くないのではないかなという気がしています。

和田 一方で、60年持たすつもり建物を20年ぐらいで壊したりすると意味ないですね。

長尾 そうです。でも、特に今日本は割と豊かですから、そういうところに投資しておくのは悪くないと思います。

バチェラ 言い換えれば、技術発展と同時に建物が安くなるべきかどうかについては、私は疑問に思っています。性能が上がって、前にできなかったことができるような進歩があれば、同時に建設費用が必ず下がるとは限らなくてよいでしょう。

瀬川 そういったものは必ずしも耐震とは限らないのかも知れませんが、あのバブルの時期にむしろわれわれ構造技術者が求められていたのは、いまバチェラさんがおっしゃったようなことなんです。今までできなかったことができるようになるという。つまりより大きな空間ができるようになるとか、そういったことについての技術は結構こっちもやりがいがあります。

バチェラ あとは耐久性を重んじるようになるべきでしょう。たとえばロンドンを例にとれば、30年ほど前には外装の取付け部分をメッキでやっていましたが、今では必ずステンレスを使うようになってきました。それはコストアップなんですけど、逆に耐久性の面ではよりよいことだと行政側も判断しました。

瀬川 たとえば都市に対してのスクラップ・アンド・ビルドはやめて、それこそ1世紀でも持つような都市はヨーロッパにもアメリカにもあるわけです。それが本当は正しいと

は思うんですが、当面のこの問題に関連して言うと、やはりスクラップ・アンド・ビルドはどんどん続けていったほうが経済発展の基盤にもなるという(笑)。そのへんの矛盾したところの状況は考えられますけれども。

井上 発展しているというか、何か地球を食いつぶしているところがあるかも知れない(笑)。

瀬川 それはわれわれも最近、かなり肌で感じてきています。すべてのプロジェクトに対して、エコロジーをどうするかというのがテーマになるくらいです。今のところはほとんどが廃棄物をいかにして少なくするかということであって、まさか作るなどということではないんですが、それだけ社会的価値も高いものをつくっていかなければいけない。

だいたい日本の場合、年間で2億5000万^m建設しているんです。住宅でいうと、150万戸つくっていて、それで28万戸ぐらい毎年壊している。いまそういうバランスですから、どんどん増え続けてはいるわけです。それをどういう具合にフォローしていくべきかというのは、10年先、20年先の問題としてとらえなければいけないものとして考えています。

バチェラ ご存じだと思いますが、イギリスの産業革命の時代に技術発展が人の暮らしを妨げるような恐れがあって、いろいろな機械を壊したりする運動もありました。でも成功しなかった。時代の流れにそれほど反対に行くことはできないと思います。

瀬川 むしろそれにどう対応していくかということを考えるべきなんでしょうね。

バチェラ ですからまさしく私たちの子どものためにエコロジーを重視しなければならないと思います。

地震荷重と耐震コスト

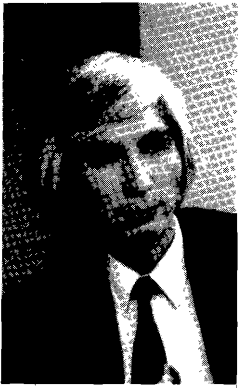
和田 最近の話題で消費をもっと盛りたてなければいけないとか、新しい製品を開発してもっと売らなければいけないというのがありますが、カラーテレビも自動車もビデオもカメラも皆あって、そんなに二つも三つもいらぬ。やっぱり欧米と比較して一番貧しいのは住宅とかオフィスの面積なんです。建物をもっと長持ちするように、また一人当たりの面積を広げるというほうに持っていけば一番いいんじゃないかなと思っているんです。

ちょっと耐震設計とは話がずれましたが、バチェラさん



和田 章

1943年岩手県生まれ／東京工業大学卒業／同大学院修士課程修了／建築構造／工学博士



瀬川輝夫

は世界的ないろいろなことをご存じだと思います。国によって地震荷重のレベルがいろいろ違いますが、日本のこの数値というのを経験されて、だいたい妥当な感じだと思いますか。

バチェラ 本来、これは私たちのような実務設計者よりも、地震工学者の統計的な確

率論に基づいた検討によって決めるべきものだと思います。私の理解としては、100年の再現期間というレベルで設定しておけば、日本の法規の地震荷重としては妥当だろうと思います。

逆に議論すべきことは、人命を救うだけではなくて、どれほど被害を制限すべきかということでしょう。それはおそらく国の発展段階によって国ごとに違ってよいのではないかと思います。たとえば極端な例で言うと、割と貧しい開発途上国のインドとしては、人命を救うことが目的になるでしょうし、それ以上手が届かないでしょう。逆に日本の場合、それだけではなくて、世界の大きな一つの金融センターである東京の機能が失われないように投資しても妥当だと思います。私はぜひ日本人の設計者側からそうした定量的な設定について、逆に教えていただきたいのです。

和田 全く同感ですけれども、最初に地震学者が統計的なデータから決めるべきだと話をされました。でも結論から言うと、結局、地震学からだけでは地震荷重は決められないのではないと思うんです。長尾さんと瀬川さん、東京と大阪では高層ビルなどを設計するときの入力レベルがちょっと違いますが、そのあたりの違いはどうか。

長尾 大阪、あるいは福岡では、東京に比べると、少し構造的に面白い建物があるような気がします。それが地震荷重のせいなのかどうかは分かりませんが、やはり一つの要因ではないかという気がします。東京にはいかにも日本は地震国であるという、新宿にある超高層ビルを例にとってもいいのですが、地震国のプロポジションを持った建物があるような気がします。

和田 大阪や福岡だといろいろやられていると、やっぱり東京でやるより楽と言ったら変ですが……。

瀬川 私は東京での経験はないのですが、確かに建物の固有周期の実測値を見ても、東京と大阪で有意な差が出てきています。明らかに大阪のほうが周期が長めです。大阪の場合はちょっと不見識な言い方かも知れませんが、地震が来たら、そのときあきらめたらええやないか。それよりも

いかに楽しくいいものを作っていくか。つまり常時荷重のほうを大切にしたい、それから使い勝手を大切にしたいという意識は強いと思います。

住宅の場合で言えば、外部の開放性はなるべく取りたい。具体的に私の場合でも、外周の空間はできるだけ飛ばしてやる。しょうがないから、耐震性はある程度内側に持って行ってやる。そうすると、当然、ねじれの性能は悪くなるのは分かっているんですが、やはりそちらのほうを大切にしたいなという意識がある。もちろん関東の方もそういう意識はお持ちだとは思いますが。

バチェラ 私は先月カリフォルニアで社内の耐震設計の議論のセミナーに参加しました。そこでカリフォルニアの実務設計者の意見を聞いて、いろいろ学ぶことができました。ご存じだと思いますが、特にカリフォルニアの場合には習慣として大規模な建物であれば、そのために必ずサイトスペシフィック・スペクトル、その敷地にあたる何らかの魔術で(笑)、自由にエンジニアが決めたスペクトルが出て、それを真っ白に信じて設計します。

日本の場合、皆さんはどういうふうにお考えですか。一定の敷地のために地震の入力荷重を定義する必要はありませんか。あるいはそんなことはいらないと。

瀬川 日本の99%以上の建物はそういったことはなくて、いわば法律の決めた荷重のみを信じている。それで設計しているだけです。ただし、個人的には、この間の釧路の地震、例の700ガルとか900ガルが出たというのは、気象庁ともう一つ建設省か何かのものがほんの300m ぐらい離れたところであって、そこで200ガル違ってしまっている。それでそのすぐそばに建っている数十年前の地震のときからあった木造家屋が、厳然として無事に残っているというこの実態を見ると、悩む分だけ時間のロスで、決めてしまったほうがいい(笑)。日本はこんなに狭いんですから、せいぜい3種類ぐらいあればいいじゃないか。

長尾 私も同感です。いま高層建物は、動的応答解析をやって、応答がある範囲に収まったかどうかで判断しているんです。エルセントロやタフトの地震波を使っているんですが、やはり静的な方法でカバーできる部分がずいぶんあるのではないかという気がします。もちろんスペクトルは大事ですが、等価静的設計法のようなものをもう少し活用したほうがより合理的になるのではないかという感じはしています。

井上 ぼくはその方面はよく知りませんが、地震が近いかわいいかでもスペクトルは当然変わってくるんですよね。

バチェラ 大事な建物なら、だいたいその二つの場合に応じて、二種類のスペクトルを取るケースもあります。

瀬川 日本でも原子力発電所なんかはそうです。

和田 バチェラさん、カリフォルニアではスペクトルの設定はどうするのですか。

バチェラ 普通のスペクトルはだいたいUBCの基準化した形状をとっています。ただ、その形状を個別に定義します。また、入力レベルの絶対値も個別に定義します。

瀬川 先ほどの話と逆な言い方になるかも知れませんが、たとえば日本の建築センターで高層建物の評定がなされているわけですが、スタンダード波としてエルセントロ、タフト、これは昔からの継続ですから、一つの標準としてしようがないだろうと思うんです。

それにたとえば十勝沖が起ると、八戸を長周期波として入れよと来るわけです。あれは明らかなローカルエフェクトだというのが、地震屋さんから言えば常識みたいな話ですが、なぜあれを日本全国に使わなければいけないのかというのは逆に疑問です。むしろ、それをやるのであれば、もちろんセンターでもそれは指導なさっているわけですが、立地するところのローカルなエフェクトをもっと大切に、そこを強調して設計するとしたほうがいいんじゃないか。われわれ実務をやっていると、何か地震が起こるたびに不安なわけです。今度はすごいのが取れたぞ。またやれと言われるんじゃないか(笑)。

バチェラ もちろん1000 m²程度の建物のためにこんな話はいらないけれども、20万 m²ぐらいの大規模な施設、あるいは大事な公共施設としては、その建設費のわずかな比率できちんとこれを検討すべきだろうと思います。それと特に軟弱地盤、あるいはウォーターフロント開発は非常にその面で価値があると思います。ある程度、自然に免震効果も得られるからです。

長尾 東京ではウォーターフロントのことに限らず、特別なスペクトルを地震学者が提案して、それを実務者も使うような習慣になっているようです。それは岩盤のレベルで入れて、地表面と基礎までの伝達過程についても解析するようになっています。

瀬川 ただ、これは悩みというか、最後に出てきた地表面での加速度、あるいはスペクトルを具体的な波形でどう決めていくか。これは設定のしかた、判断がかなり入るわけです。最後は表層地盤での係数をちょっと変えると、おそらく5割ぐらい違うのがいくらでも出るわけです(笑)。2、3割と言ってもいいかも知れませんが。

バチェラ 横浜のほうの例では、5割ほどひどくはない。2割、3割ぐらいでしょう。

瀬川 そのぐらいの違いが、設計がわれわれのところに来たときに、どういうことになるかという、躯体コスト上でたとえば10%ぐらいが違ってくるということにはなりません。そのときに、総建設コストが100だとして、そのなか

の躯体が30%で、そのなかの10%が増える減るというのは、全体にしてみれば3%ぐらいになるわけです。だから、どうということはないと思うけれども、実は利益というか、最後に出てくるところというのは10%のところになる。10%にとって、もともとの3%は30%に当たるわけです。これだけ動くと、こっちも悩みが深くなる場所はあるんです。

社会的な価値の大きいものを作るときは確かに慎重にやります。大阪の場合も3秒から5秒ぐらいの長周期波というのは無視できないというのが分かってきました。そういうところを注意しながら、いろいろと考えては行く。しかし、じゃあ、スペクトル値をいくらにしようかということになると、これはエイヤの世界じゃないかなと。

バチェラ もちろん最終的にその判断も必要ですが、ハザード・アナリシスとか、地震学者の領域に入りますが、そうした専門家から適切な指導を受けて、定量的な判断まで至ることはできるでしょう。ただ、先ほどおっしゃったような建設費から見たコストの割合という見方もありますが、設計費から見れば、逆現象になるでしょう。たとえば動的解析を重要視して、また岩盤に地震の入力をして、地表面でのデータを求めるような作業では、設計の実務の仕事が倍に増えます。

でも、その倍に増えた設計作業の努力によって、もし入力地震を10%ぐらい減らして、躯体が1割減ったとすれば、そのセービングは設計費用の倍以上にもなります。ですから、法規の制度がこうした設計プロセスのなかで努力しても無駄というような制度であれば、なかなか設計者の作業内容は発展できないでしょう。

長尾 地震学者とわれわれのような設計者でかなり異なる点があると思うんです。地震学者があるところで地震を予測する場合、たぶんちょっと条件を変えると倍になったりするようなオーダーで簡単に動いてしまうような気がします。ところがわれわれがコントロールできる範囲というのはせいぜい数10%ぐらいだと思うんです。その間のギャップはある種の社会的な判断がないとだめなような気がします。

バチェラ 非常に不確定な荷重であっても、そうした判断をすべきなのは、先生たちに失礼ながら、結局、学者側ではなくて、実務の責任を負っている設計者ではないかと思っています。そして、それをもちろん行政側との対話のうえ



長尾直治

1955年イギリス生まれ／
ブリストル大学卒業／構
造土木設計



ジョン・パチェラ

で、何が社会的に望ましい安全率かというのは、最終的に行政側が定めなければならないでしょう。でも、その議論のなかで総括的にそうしたバランスを判断すべきなのは、われわれ設計者でしょう。

長尾 設計者だと思います。

学者の出してくれたスペクトルを解釈するのは私たちであって、真っ白な状態で受け取ることにはたぶんないと思うんです。

パチェラ この点で技術開発のレベルでわれわれは努力しなければならない時代で、これを改善するために投資しなければならないでしょう。

瀬川 割合そこで似たこととして出てきているのが、先ほどちょっと出ていた免震だという気もしているんです。これ以上詰めたって、地盤からの入力はいろいろなものがあるはずで、幅もあるだろう。スペクトル上の幅もあるだろうし、強度上の幅もあるだろう。それなら、とにかくアイソレートしてしまおうじゃないか。たとえば700ガル入れても、まだ塑性域に入らない。そういう技術で、あるあいまいなところは切ってしまうというの、おっしゃっているエンジニアリングの一つのやり方であるという気もします。

長尾 先ほど申し上げた免震の建物、あれはコンピューターセンターだから成立したんだと思います。普通の建物、特に住宅とかオフィスのようなものは場合によっては免震構造、あるいは制震構造というよりも、耐震構造のほうが安心できる部分があるかも知れません。そのへんの使い分けは適切にやらないといけないかなと思います。

井上 そういう意味では、選択肢をたくさん持っていることがやっぱり技術力なんでしょうね。

パチェラ しかし思い出すのは、私が若いエンジニアとして、最初にロンドンの建設現場で施工管理にあたったときに、鉄筋のチェックをしていると、施主の重役の方が現場に入ってきて文句を言いました。「何でこんなに鉄筋量が多いのか。お前の会社は設計が下手だな。私のお金を無駄遣いする」。私は「いや、それは安全率を守るための大事な鉄筋ですよ」と説明しようとした。すると施主さんは、「安全率を決めるのは私じゃないか。その安全率を1割下げなさい。下げても大丈夫ではないか」。その時点で、ぼくは若くて反論はできなかったの、上司にその問題を渡しました。そして、ぼく先輩がその施主に説明したのは、「これはあなたが決めるべきものではなくて、結局、

社会的なコンセンサスを得た法律に間接的であっても含まれている安全率の定義なんですから、変えることはできません。拒否します」と言ったんです。そのことは本当に勉強になりました。

瀬川 確かに建築の持っている社会性をどう考えるかということなんですね。それが社会的にも国民が大人になっているかなっていないかで、そのオーナーの言い方も変わってくるでしょう。一步大人を行っているということですね(笑)。

井上 さっきからお話を伺っていると、だいたい耐震コストの相場というのは数%のオーダーらしいのだけれども、さっきの瀬川さんのお話を聞いていると、その数%が上下するだけで何か効いてくるんですね。

瀬川 それはそうだと思います。ただ、今日、皆さんのお話をお聞きして本当に感じたんですが、結局、その数%という耐震コストをどのように使うか、社会的資産としての建築を高めていくかがわれわれの考えていく問題だなという気はします。たかだか数%ではあっても、見方によってはもちろん大きいし、見方によっては小さい。だけど重要なのはそれこそ建築が社会的資産としてあるために、いかにエンジニアリングをうまく使って行って、再利用可能の度合いを高めるとか、これは非常に価値のある数%だという感じはします。

パチェラ その意味では設計の重要性を強調すべきですね。そういうふうに見ています(笑)。

和田 耐震設計とコストという話を超えてしまったみたいな感じですね。

瀬川 もともとコストと結びつけるというのは難しいんです。

耐震設計と補修コスト

和田 最近の、特に日本の地震被害を見ていると、構造物の耐震性能ではないところで被害が起きている。そのへんはいかがですか。

長尾 耐震と言ったとたん柱の太さとか梁の太さばかり思い浮かべるのではなくて、もう少しほかの、たとえばエレベーターとか家具のようなこともやらなければいけないのかな、という気はします。津波はだめですけども、コントロールできる範囲が少しでも広くなればと思います。これは反省もこめてですが。

瀬川 宮城県沖地震のときに、二次部材とか非構造部材が目立って、一応、規準化が進んではいるんです。一番、ぼくがいま個人的に怖いのは、やはりガラスのカーテンウォールです。あれが落ちることによる被害が結構あるんじゃないか。理屈では少なくとも超高層建物は層間変形角を

十分に取れるような設計になっているけれども、どこかの落ちがもしあった場合、あるいは中低層の建物では必ずしもそれが全部、評価されているかという、それほどのこともない。

こういった部分は耐震コスト的に言ったら、ちょっと金をかければかなりうまくいけるという部分です。そういう目を向けるところのバランスをちゃんと取ってやらないで躯体だけをどうこうと言っていたのでは、トータルの耐震コストの配分を間違えてしまうのではないかという気がします。

和田 東京都の重要度係数にしても、地震荷重のほうにかけるといえる考え方です。だけど、建造物の耐震性は強くつくれば、本当に耐震的か。居間のなかに入っている什器とか机やイスとかコンピューターという意味では、ほどほどで上手に降伏してくれたほうがいいのかもありません。耐震設計というのは単なる力ではなくて、変形とか応答という話なので、そこを含めて、変位だとか加速度だとかというもので、この建物はこういうレベルにありますという表現にしていけないと。ただ外力を2割増しにしましたから、こんなに丈夫ですというのはちょっと古いという感じがするんです。

瀬川 そういう意味では和田先生、何か考えてください、耐震というあの名前がよくない。耐えると書くから。それをもうちょっといい名前が付けられると、考えの中身についても皆、注目するようになってくるでしょうね。だけど、いい名前がないんです。耐震研究会は面白くないと言って、ほくも1回考えたことがあるんです(笑)。

長尾 一次設計、二次設計というのがいまとられている方法で、二次設計では、建物は傾いたままで残ることを想定しています。その後、補修をどうするかということについては、あまり考えていないような状態です。いわゆる三次設計と言っていいのかどうか。補修コストまで含めないと、完全にならないと思うんです。補修コストというところに注目しているような研究は、まだあまり多くないような気がします。

瀬川 学の世界からちょっと出たところがあって、工学よりももっと経済学、そういった領域になってくると思うんです。

長尾 耐震性能とコストの関係を書くと、イニシャルコストは耐震性能が上がるほど上がっていく。逆に補修コストはずっと下がるからトータルコストは極小値を持つような形になる。神田先生の研究で、補修コストがこれぐらいかかるから、安全率をどうしなさいということがやられているようですが、ああいう研究は大事なかなという気がします。

井上 仮にレベル2の地震が来て、かなり補修しなければいけない建物がたくさん出たとして、それは対応できるんですか。ちょっと話が変わるんですが、2年前に九州のほうにすごい台風が立て続けに来たでしょう。あのとき、ずいぶんあちこちの屋根の瓦が飛びまして、あちこちの家が雨漏りしているんです。ところが瓦職人がそんなにいるわけがないから、なかなか自分のところに順番が回ってこないという状況がずいぶんあったらしいです。

瀬川 それはあり得るでしょうね。それと、倉庫業とか百貨店、物流を考える人は何で考えるかという、そのピークをはずして考えているんです。ピークで倉庫を考えて、それで自分で持とうとするとすごい非効率なんです。ピークじゃないところでやっておいて、ピーク時はほかのやつで当てるんだという考え方をすると、非常にローコストで済むわけです。

いまのようなお話しも、常にそれが動けるような社会体制を取っておこうと思ったら、その人たちを養うだけでも大変な話です。50年か100年に1回ぐらい、もし起こったとしてもわれわれもまだ経験はないわけだし、そのときはそのときでその対策を考えざるを得ないでしょう。

井上 そうすると、補償コストまで考えたデザインというのはどうなのかなあ。

瀬川 理屈としてはあり得るけれども。

和田 一般の建物には適用しにくいということですね。

瀬川 鉄骨造の年間着工床面積に対する12階建て以上の比率が、確か1%ぐらいなんです。そこでの耐震という話と、それ以外の90%がどうなっているかというのは、この特集でもある工業化住宅だとか木造住宅といったところの世界が、本当は重要なのかも知れないです。

和田 さっきの事情を知らないエンジニアがほとんどその1%のところ集中しているというのも問題ですね。もっと一般的な物をどうするかということをやらないといけない。

長尾 それは日本の耐震レベルをどうするかというような広い目で見ても必要なんじゃないかな。

和田 今日はいろいろな話がありました。どうもありがとうございました。

●建築会館/10月8日



井上一朗