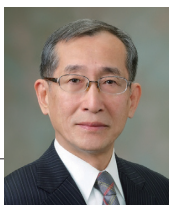


30年前の記憶



日本建築総合試験所 理事長

上谷 宏二

免震構造といえば、私には忘れられない思い出がある。約30年前、私は日本建築学会・建築雑誌の編集委員を務めていた。構造担当の委員は私一人であったと記憶している。その時の編集委員長は学校建築の設計者として知られていた船越先生であった。その船越委員長から免震構造の多田英之先生と制震構造の小堀鐸二先生を座談会に招いて討論を企画して欲しいと依頼されたのである。船越委員長の編集方針は、様々な分野の重要課題を取り上げ、それらの論点や争点を描き出すことであった。とりわけ、座談会や対談でのディベートを通して浮き彫りにしたいと熱く語っておられた。

この依頼を聞いて、これは大変な難題を仰せつかったと困惑したものである。というのも多田先生と小堀先生が、将来有望な地震対応技術は免震か制震かで激しく火花を散らしていることは構造のみならず建築界で広く知れ渡っていたからである。ところが船越委員長は、だからこそディベートにふさわしいテーマで是非とも実現して欲しいと譲られなかった。このような経緯で座談会「制震・免震の哲学」を企画／実施することになった。座談会参加者は、多田英之（福岡大学教授）、小堀鐸二（小堀鐸二研究所所長）、加藤勉（東京大学教授）、司会は岸田英明（東京工業大学教授）にお願いした。この座談会記事は、建築雑誌 Vol.108, No.1338, 1993年2月号に掲載されている。

本稿の依頼を受けて先ずは上記の30年前の建築雑誌の記事を読み返してみたくなり、PDFを送ってもらった。一気に目を通し、この座談会を紹介することが私の使命であると思った次第である。本稿以下では、この座談会の要旨や空気感が出来るだけ失われないように抜粋して紹介する。

<制震構造研究の経緯>

小堀 私は1950年代に京都大学に赴任しました。研究を指導していただいた棚橋先生曰く、「要するに地震動というのは分かりませんよ。だから建物の側で考えなければいけない。建物にとって最も不利な波を採用して、設計すればいいのだから。」そういう考え方の影響を強く受けました。そういうこともあって、設計モデルを考えて、地震動による応答を求め、その応答をもとに建物の適正な構造を考える。その場合に、やはりコントロールがどうしても必要だろうと思ったんです。しかし当時の周辺技術では到底そういうことは不可能だったんですが、1980年代になって、当時考えていたことができる時代になったのではないかと考えました。

それから1986年5月でしたが、内藤多伸生誕100周年の特別講演を頼まれまして、義父であった内藤多伸の業績をただ称えるだけでは面白くない。むしろ、それを超えるものを発表することで、内藤の親爺さんも喜ぶだろう。そういうことが一つの動機になって、制震構造ということを出したわけです。またその前年にメキシコ地震が起きました。震源から400キロぐらい離れたところで、つまり東京を震源とする地震で、大阪、名古屋以西に大被害が起こるような、日本のスケールではちょっと考えられないようなできごとでした。その原因は共振現象が主体で、現在の耐震構造だけではどうも安全が保たれない。そういうことも絡んで始めたわけです。もう一つ言わせていただくと、耐震構造は最終的に大地震に遭遇したときに崩壊しなければ、人命が保たれるからいいんだということになっています。しかし、それでは一般的な社会通念に応えたことにならないのではないかと。普通は関東大地震級の地震がきても大丈夫ですよという表現をしてい

るわけです。この大丈夫という意味は、クラックが入ったり、はげ落ちたりという状況があっても、つぶれないということなのですが、ところがその程度の被害でも実際に起きれば、社会はおそらくそれを許容しないのではないかと。そういうことをどう考えるか。そういうことも私の動機の一つになっています。

<免震構造研究の経緯>

多田 私は昭和51年から福岡大学に来ましたが、いまだに設計者気質で、研究も設計という立場でずっと考えています。免震構造との出会いは、昭和30年代に元いた設計会社が火力発電所の設計を頼まれたときです。ちょうど川崎に国鉄の火力発電所を武藤先生が指導しておやりになるとのことで、これは絶好のサンプルだと見に行きました。資料をいただいて、あれはつり鐘だと思いました。それじゃあと本格的に震動学を勉強して設計し、これは免震構造であるぞとやったんですが、設計部長から「ちょっと待て。お前は柔剛論争を知ってるのか。免震なんていうことを言ったら、飯が食えなくなるぞ、やめとけ」と言われました。それで泣く泣く立体トラススタイルの発電所にするわけです。

それから、昭和53年まで来るわけです。日本工業新聞だったと思いますが、フランスでCNRS（日本の建築研究所のようなところ）の震動研究部長であるデルフォースさんという人が実用的免震ばねを開発したという記事が載った。私はすぐにやられたと思いました。半信半疑で手紙を出して聞いたら、資料を送ってくれたのですが、その絵が下手くそで「これはいんちき臭いぞ」と思ったんです。じゃあ、もう見に行くしかないと連絡をとったら、先方はえらく喜んでくれてデルフォースさんの奥さんが空港まで迎えに来てくれました。実際に見てみて、本物だという感じがしました。

建物は非常に巨大なマスを持っていますから、じっとしていようとする。だから、地盤と上部の建物とを緩い結合にしてやると、地震動が来ても地盤の動きがそのまま上部構造には伝わらない。原理は分かりやすいのですが、アイソレーションの仕方が技術的に信頼できなかった。それが、デルフォースの積層ゴムを見て信頼できるという感じに変わったわけです。それからは、どう性能を上げるか、日本の地震の特性であるやや長周期の卓越周期をもつ地震動をどうクリアするかが研究の中心でした。

設計法も解析もスタティックに扱われ、時間軸が入ったらどう変わるかという根本は意外と研究されて

いない。大先生のお陰で何らかの設計手法ができて、それが法律になると、その規制力が強くて、法に認められたもの以外はやれないという状況になる。私は免震を始めたとき最初に相談にいった地震研究所の大沢さんから「振動台なんか買うな、実験したって分からないよ」と言われたのだけれども「いや、やる」と言って、振動台を買って、いろいろといじくってみたら、「ああ、なるほどこうか」というのがよく分かりました。自分で扱ってみると「やっぱりダイナミックではないか」という感じを拭えない。動的影響を強く示す非常に重要なパラメーターがいろいろあり、これらのことがよく分かっていない。そうすると、今までスタティックにやっていたやり方が問題ではないかと。その点、免震構造は非常に単純明快で、モデルに従ってものをつくるのがやさしい。「よし、これはライフワークとしてやる値打ちがある」ということで来ているわけです。

<後世に残る建物をわが国にも>

加藤 地震に対する安全哲学の観点から見た場合、限界設計での使用限界と終局限界、地震動の大きさでのレベル1、レベル2、あるいは1次設計、2次設計というのがあります。レベル2とか2次設計のときは、小堀先生もご指摘になったように建物はかなりの塑性変形を起こして、場合によっては再使用できなくても、人命に損傷を与えなければいい。そういう一種のクライテリアになっているわけです。損傷を受けたとき修理できないかも知れないから壊して建て直すということになったのでは、私の理想としては、だめだという気がします。実務的に見ても、仮にそういう大地震が来たとして、これだけたくさん建っている建物がみな傾いてしまい、建て直さねばならなくなったら、これはもうたいへんな社会混乱を引き起こします。そういう意味でも是非とも、制震・免震のターゲットはいまの建築基準法、あるいはセンターの内規で言っているデザイン・クライテリアのレベルを超えて、想定される大地震が来ても、全然壊れない。そういうところにレベルを置いて設計をしていただけると、大変ありがたいと思っています。言い換えますと、それぐらい高く理想を掲げないと、同じクライテリアレベルでどっちが安いかといった非常に矮小な判断では値うちが出ないのではないかと、素人的に思っています。

小堀 加藤先生は永久に残る建物を希望するとのことですが、そう言ったことに関する法規制は多田先

生の話にもありましたように大変なんです。法律というのは過去のものを集大成しているわけですから、新しいことをやろうとすると、それに対応するようなものとしてはできていない。できていないけれども、規制しようとして持ち出すわけです。ですから非常に矛盾したことになるんです。それともう一つ、現行の規制はミニマム・リクワイヤメントなんだということです。ところが多田先生の免震もそうですが、制震の目指すところはもっと高いレベルの建物をつくらうとしているわけです。安全性を超えて、快適性が確保できるようなもの、そういうものを求めているのに対して、現状の最低レベルで規制するような法体系は全く適用不能だと私は思うんです。

<ミニマム・リクワイヤメントと安全性>

小堀 そもそも、最低レベルを満足すればいいという考えで、高品質のものをつくらうなんてことは矛盾しているわけです。それに、すべてのものが高品質である必要もないので、そういうレベルに応じたリクワイヤメントがあってよい。

加藤 ある理想を掲げたとき、それを如何に実現するかという方策の話だろうと思います。私も小堀先生のおっしゃることと全く同じ考えで、たとえばオーディオ機器みたいなものを取り上げても、非常に音質のいいのから悪いのまで、ピンからキリまであります。建物でも同じで、内部の仕上げの良しあしは誰でも見てすぐ分かりますが、骨組の質の良しあしは今のところ多く問われない。骨組の質がいいということを、ユーザー、買う人が認識してくれる必要があると思うんです。

多田 ぼくは昔から、設計者が設計責任を免れることはないと思っています。免罪符は社会的に損害を追及されないというだけであって、学会の指針に従って法律どおりやったにしても、どんな構造形式を選んだかということや解法にどんな設計式を使ったかということで、設計者に責任がある。法規制に関しぼくはよく「建設省は建築士法を守ってくれ」と言う。厚生省は医師法をよく守って、医者や診療書とか治療内容にクレームを付けません。国家免許を受けた医師がやったものについて、とやかく言いません。建築士法も免許なんです。設計図・仕様書は診断書と同じだと思っています。

加藤 私はそういうつもりで発言したのではありませんで、法規制は不備もありましようけれども、いらないと言っているのではありません。問題は設計

者のほうにあるんだろうという発言をしたつもりです。つまり設計者は、あれはあくまでもミニマム・リクワイヤメントであるということをよく認識して、もっとよく勉強して、自分の責任でものををつくる。ただクリアすればいいんだという意識がよくないと聞いたかったです。

多田 これは重要な問題ですが、加藤先生は誤解しておられる。あれはミニマム・リクワイヤメントであり、建築センターの評定を通しさえすればいいと認識している設計者は非常に多い。ただ、医者でもやぶ医者から名医までするように設計者もおそまつなのがこの頃多いんです。そして、おそまつなのが結構、非常に効率的に仕事ができる。その源をつくっているのが行政なんです。

小堀 自由な立場でやれる状況がないと、何事についても新しいことはやりにくいでしょう。私は、1989年に京橋成和ビルというアクティブ・コントロールの建物をつくったんですが、あれはとにかく耐震構造になっているんです。そうでないと、いまの規制をクリアしないから許可がおりない。私はそういうことを実感しているので、一朝一夕に状況が変わるとは到底考えられない。

<学問的・技術的チャレンジを>

小堀 やはり地震に対する構造を学問的に一生懸命考えていかなければならない。その一つとして制震と免震があるし、それはまだ完成されたものではないと私は思うんです。予測できない地震というものに対して、どう安全を保証するかを考えると、ここに行きつく以外にないのではないかと。これは一つのチャレンジだと思うんです。コンピューターとか、現在われわれが手にすることのできる発達した手段を駆使し技術を磨いていくことによって、建物をもっともっと安全なものにしていく。学会なんかでこういう問題を取り上げ、将来の方向性を示し、希望を持たせるべきではないかと思うんです。そして、もっと揺れない建物、そして大地震になっても重要な内部機能は維持できる安全な建物、さらにそういった個々の建物を基本にして、都市全体の機能が守られるようにすることです。これは非常に大事なことだと思うんです。

多田 学問というのは非常に難しい。技術の言葉では分かっていることを、科学の言葉できちっと説明するのは非常に難しい。しかし、技術的にそういう現象をうまく逃げるとか、真っ向からはね返す方法はいろいろあるわけで、それを確かめるために実大

実験をやっているんです。

私が研究室をつくる時視察に行った長崎の造船所では、船首部分の実大模型をつくり、これを高い塔の上から水槽に落下させて局所の衝突現象を調べていました。このように実大実験の重要性を認識し免震構造をやるについて、私は一貫して実大をやっているんです。ですから小さい地震ではもう実大実験はたくさん済んでいるわけです。しかしまだ大地震が来ていないから、本当に大地震が来たときにどうなるかは科学の言葉で科学者が満足できるようにはうまく話せない。ものをつくるという立場でアンノウンの要素はいっぱいある。それを科学的に解き明かす必要がある。しかし、そういう研究は一向に進まない。

岸田 学問というのはブレイクスルーをして、新しい分野に入っていくときが一番大事ではないかと思うんです。そういう意味で、今までの耐震設計をブレイクスルーして、制震であり免震の方に踏み出していると思うんです。

<国際間の研究協力>

小堀 4年前の第9回世界地震工学会議でサイスミック・コントロールの特別テーマ・セッションを主催しました。それがもともと、国際的な注目を浴びようになりました。現在、アメリカと日本が主になって第1回の国際会議を1994年夏にやろうという段階まで到達してきているわけです。

多田 ほくは免震で、いま一番いらしていることは、研究してほしいことを誰も研究してくれないことで、それで自分でやっています。そうすると、入れば入るほど解かなければならない問題がたくさん増えていくわけです。実用に供し得るレベルの科学的研究という意味でですがね。

小堀 ストラクチュアル・コントロールという意味での国際組織はもうできつつあるわけです。そのなかに、ベース・アイソレーションも入りませんか。お話を聞いていれば目的は一緒だと思うんです。

多田 それはちょっと逆です。技術的にはるかに現実可能性と実用性とコスト・パフォーマンスと、相当、完成の域に近付いた。これで法規制がもっと正常であれば、もっともっとできて・・・。

<アクティブとパッシブ>

小堀 制震も免震も目的は一緒なのですが、耐震設計というのは剛構造から動的設計になって超高層ビルになった。超高層ビルは建物全体にわたって変形をしなやかにさせるのに対し、ベースのところに変

形を集中させて地震の入力エネルギーを吸収するのがベース・アイソレーションだと私は理解しています。それはパッシブ・コントロールになります。パッシブではいろいろなパラメーターから特解としての一つのシステムが決められてしまうわけです。そうすると先ほど多田先生がおっしゃった選択共振により長周期で増幅する恐れがある。そのときにどうするかという問題が出てくるわけです。

それに対して、アクティブの制震構造は自分の性能を変えんとか制御力で振動を抑制します。言わば一つの理想形態ですが、先ほどお話しした京橋成和ビルでは今まで地震観測を続けています。それから台風に対する観測もやっています。こういうことを経ていけば、将来大地震を受けても都市機能が喪失したりしてパニックを起こすこともない社会を構造的な意味で構成することが可能になるのではないかと私は夢見ているわけです。

多田 私は日本のデザイナーを地震力から解放してあげたい。これが夢でスタートしました。現在、免震構造の国際ワークショップのファイナル・レポートを今作っていますが、そのなかで免震構造の可能性を書いているんです。完全絶縁はあり得ませんから、入力地震動によるエネルギーは少しは上に入ってくるんですが、結局のところ全部床下で吸収するわけです。共振現象はあり得るけれども、それは構造安全性と居住空間の快適さを損なわないように設計できます。

小堀 私は大学生活33年間、耐震構造の研究をしてきたんですから、耐震構造学者のつもりでもいるわけです。入力のはっきりすればパッシブなものとして対処の道が確実にあると思うんです。ところがそれが分からないから万が一ということがあり得るのではないか。そういうことで、こういうことを考えたわけです。

それと同時に、最近の建物では高い快適性や機能が求められるようになってきて、私はダイナミック・インテリジェント・ビルディングと言っているのですが、そのような重要な建物で情報の発信受信機能が壊れてしまったら、情報のパニックがおり、ひいては国の経済にも影響を与えてしまいかねない。それが、耐震設計だと大地震のときに機能は犠牲にしてもやむを得ないということになっています。それを壊れないようにするにはどうしたらいいか。そういうことから来ているわけなんです。

多田 研究上の一助として、どのくらい軟らかくすれば免震効果が出るかということで、ずっとだんだ

ん軟らかくしていったんです。結局、20分の1以下にすれば初めて免震効果が出る。柱とか1階の剛性を20分の1以下に下げるということは、今度は揺れ過ぎて家にならない。そこで一つ誤解があると思うのは、悪い地盤では地震動が引き起こした不同沈下、あるいは土自身の崩壊のほうが問題であることが多いのですが、それをいっしょくたに周期の問題とすることです。私は地盤改良を含む地形と基礎構造の関係をどううまく創りあげられるかが、耐震設計上残された最重要問題と考えています。免震は建築と地盤との相関関係を明快にする指標の一つであろうと考えているのです。

建築は特解で、一般解はほとんどないんです。特解のレベルで地盤を決めれば、どんな地震がきそう。あるいは不同沈下が起こりそう。ということで、対策が変わるんです。そうすると、意外にパラメーターが少なくなって答えがでる。学問が難しいというのは、抽象化した法則性をみつけようとするため、そのへんにちょっと認識のずれがあるのではないかと、ぼくは思っているんです。

<制震・免震構造の限界状態設計法>

加藤 限界状態設計法とは何かについて少し説明します。要はどのくらいのレベルの外乱に対して構造物がどの程度の抵抗挙動を示すべきであるかをレベルに分けて考える。もう一つは、地震とか風といった外乱も構造物の抵抗力もかなりばらつきがある。これらを良く意識したうえでデザイン・クライテリアをつくらうという二点に立脚した設計法です。せっかく免震・制震をやるのであれば、極めて稀にくる外乱に対する設定を今やっている耐震設計より高いところに置いてほしい。そう思うだけです。

多田 地震は地球が揺れるのだから、地球だけ勝手に動かせというのが私の考えであって、柱もはりも目方を支えるだけの任務に専念せい。それで、その安全性とか耐久性はそれぞれの要求に従えばいいだけの話です。

小堀 少なくとも制震には終局限界状態設計法の考え方はすぐわない。むしろ不用な概念です。巨大地震のように元々確率統計的な取り扱いをするほどのデータもないのに、終局限界状態を仮りに設定してみたところで、それは要らざる衣です。そうしたもやもやをかなぐり捨てることができる場所に制震の哲学があるとご理解いただきたい。

以上が、1992年12月に行われた座談会の紹介です。歴史を学ぶことは、全てのことに於いて深い意味がある。「子曰、温故而知新、可以為師矣」（「古きを訪ねて、新しきを知る。」「故きを温めて、新しきを知る。」）。論語に記された含蓄ある教えである。30年という年月が経過した現在、免震構造は極めて一般化した技術として定着している。これに反し、アクティブ制震が地震対策として実用化された事例は皆無と言ってよいだろう。

我が国にとって地震は宿命である。地震災害に対して如何に備えるかの研究や技術開発に終わりは無いであろう。また、建物は多種多様であり、サイトの与条件もさまざまである。設計にあたっては、地震に対して何をどのように守るのかを明確にしながら、その時代の技術をうまく使って行うしかない。

上谷宏二 (Koji Uetani)

- 1970年 | 京都大学工学部建築第2学科卒業
- 1972年 | 京都大学大学院工学研究科建築学専攻 修士課程修了
- 1972年 | テルフト工科大学理論力学科客員研究員
- 1973年 | 京都大学工学部助手
- 1985年 | 京都大学工学部助教授
- 1993年 | 京都大学工学部建築学科教授 (建築学教室建築構造学講座)
- 1996年 | 京都大学大学院工学研究科教授 (建築学専攻建築構造学講座)
- 2012年 | 京都大学名誉教授
- 2012年 | 摂南大学工学部建築学科教授
- 2020年 | 日本建築総合試験所理事長、現在に至る。

その他 :

- 1985年 | 京都大学博士 (工学) : 「繰り返し両振り曲げを受ける弾塑性梁-柱についての対称限界理論と定常状態限界理論」
- 1990年 | 日本建築学会賞 (論文)
- 1999年 | 日本建築学会副会長
- 2001年 | 最高裁判所 建築関係訴訟委員会委員
- 2003年 | 日本学術会議 理論応用力学分科会委員長
- 2004年 | IUTAM (国際理論応用力学連合) Member of General Assembly
- 2004年 | 文部科学省 大学設置・学校法人審議会専門委員 (大学設置分科会)