

地震と建築（11・10・15）

山 田

稔（昭24・理一修）

プロローグ

火の見櫓の様な鉄塔に吊された自由の鐘の音を聞きながら、京都吉田に育った私は、京一中から一九四八（昭23）年、三高理科に入れていただいたのも束の間、一年で廃校にされ、翌年七月、新制京大一期生として建築学科に入学。（因みに京大建築学科は三高本科を、一八九四（明27）年卒業された武田五一先生によって、一九二〇（大9）年創設されました）私はデザイン好きだったので、卒業設計コンペに京大代表で入選したのを最後に、建築構造学に専攻を変え、戦後再開されたドイツ大学学術交換局（DAAD）により、まだベルリンの壁の築かれる前、爆撃の瓦礫の残る西ドイツ、ダルムシュタット工科大学（TH Darmstadt）鋼構造研究室に客員研究員として招かれて年余、一九五八（昭33）年第二次

中東戦争勃発にすわ第三次大戦かと急遽帰国。以後国立岡山病院の設計を担当した後熊本大学を経て神戸大学に着任、退官後関西大学でも教育研究にたずさわっていました。

本日は、私の専攻して居ります建築構造学のうち、特に「地震と建築」についてお話しをさせていただきますが、此のタイトル、全く同じタイトルの名著をまずご紹介させていただきます。それは一九四一（昭16）年三高理科ご卒業、東大航空、戦後建設省建築研究所を経て東大教授を歴任され、退官後清水建設副社長を御勤めになった大崎順彦先生の名著で岩波新書（黄版）240、一九八三（昭58）年刊です。京都にお生まれの先生は三高には特にご愛着をお持ちで「三高と言っただけで、もうそこらに居ないんですよ」と奥様が申して居られました。

地震工学技術の黎明

本題に戻りまして、地震は我々日本人にとって宿命とも申すべき天災です。そして地震に対して安全な建物や住居を提供することは、日本の建築家にとって何よりも大切な義務であり責任です。十六年前、六千四百三十四人の方々を亡くした一九九五（平7）年一月十七日の阪神、淡路大震災の記憶も未だ生々しい今年、また三月十一日十四時四十六

分東日本大震災に見舞われ、地震に伴う大津波によつて、一万五千六百八十人の死者と七千二百二十一人の行方不明者計二万二千八百一人に上る犠牲者がでてしまいました。その殆どは津波によつて攫われた方々とは言え、地震に対する対策について、今一度明確にする必要があるのではないでしょうか。ここでは、地震に対する建築耐震工学技術の発展と現況の一端と、身近なお住まいの地震対策について、述べさせていただきます。

我が国は、世界における地震防災の最先進国です。今から丁度百二十年前の一八九二（明治24）年十月二十八日岐阜県下を、濃尾地震（ $M \parallel 8 \cdot 4$ ）が襲い、死者七千二百七十三人をだしたのでした。この惨禍は震災の本格的な学術調査をうながし、東大地震学の初代教授であつた、大森房吉教授が調査され、震災予防調査会が発足しました。

一九〇六（明治39）年四月十八日、米国サンフランシスコに大地震（ $M \parallel 8 \cdot 3$ ）が起り地震学の大森教授とともに、建築学の中村達太郎先生と、三年前に東大を卒業されたばかりの新進気鋭の佐野利器先生が震害調査を行われ、（アメリカでは当時充分な調査も無く死者の数すら不明です）当時我が国に輸入されたばかりの、鉄骨構造や鉄筋コンクリート構造といった新しい構法が、耐震的に極めて有効であることがわかり、土木構造学者が担当する欧米諸国と異なり、我が国では建築構造学者がこれらの建物の構法の研究に取り組む端緒となつたのです。此のサンフランシスコ大地震の震害調査をもとに、東大建築学

の佐野利器先生が一九一五（大4）年震災予防調査会報告八三号甲、乙に「家屋耐震構造論」を公刊され、その中で、地震の強さの尺度として、地震動の最大加速度を重力の加速度で除した値を「震度」と名付けて耐震評価基準とすることを初めて提案されました。（気象庁の「震度」とは異なります）これが学問としての耐震工学の始まりです。

次いで、一九一〇（明43）年東大を卒業して早大へ赴任された内藤多仲先生が、一九二二（大11）年「架構建築耐震構造論」を公刊され、その中で、内藤先生が米国留学中、トランク内の仕切りの存在により破壊をまぬがれた補剛効果にヒントを得て、建物の補剛に耐震壁を創案され、その実構造設計への応用として、日本興業銀行本店の設計に適用されました。其の建物の躯体がほぼ出来上がりかけた翌一九二三（大正12）年九月一日、関東大震災（M $\parallel$ 7・9）が起り、死者九万九千三百三十一人、不明四万三千四百七十六人をだしました。このとき、日本興業銀行本店は殆ど被害を被らず、耐震壁は、見事にその効果を実証してみせたのです。誠に劇的なできごとでした。

世界初の耐震設計法律は日本で生まれた

この関東大震災の体験をもとに、既の後藤新平によって一九一七（大8）年四月五日公

布、同九年十二月一日より六大都市（東京、京都、大阪、横浜、神戸、名古屋）に適用されていた（現行建築基準法の前身）「市街地建築物法（略称…物法）」の中に、大震災の翌一九二四（大13）年、その百一条の二として「強度計算に於ける地震の水平震度は之を0・1以上となすべし」と規定しています。これは将に世界で初めての法律による耐震規定であり、しかも此の当時既に、この震度の値は、東京の本所、深川等では0・25、大阪のような軟弱な地盤では0・3以上が至当と論ぜられていたことを忘れてはなりません。この規定は第二次世界大戦末期に資源節約の目的で、許容応力度を倍増するとともに震度の値も0・1から0・2にアップし、そのままの形で、一九五〇（昭25）年五月二十四日、法律第二百一号で制定公布さらに技術基準となる建築基準法施行令が同年十一月十六日公布されて、二十三日建築基準法施行となりました。ここで此の法律が初めて全国を対象とすることになったのです。

耐震設計に関する基本思想の対立論争

この様に、関東大震災の経験をもとに「市街地建築物法」に基づき「震度法」によつて、建築物の耐震設計がようやく始められた昭和の初頭、この「震度法」による建築耐震設計

思想に対して、札幌農学校でクラーク博士に学び米国に渡って土木構造学を修めて帰国され、当時海軍省建築局長を務めて居られた土木工学の重鎮、真島健三郎博士より真向から強烈な批判があげられたのです。真島健三郎博士は、建築技術者は、地震に対して建築物をあくまで剛強に設計しようとしているが、これはおかしい。建物をも剛につくればつくほど建物に加わる地震力は、大きくなる。建物を出来るだけ柔らかくするのが、耐震設計の要諦であり、剛に剛という、建築技術者のやり方は間違っている旨を、一九二四（大正十三年）年から土木学会誌や建築学会誌である建築雑誌に、「耐震構造問題に就いて」と題し一九三五（昭和十）年にわたり発表されました。所謂「柔構造論」の誕生です。この批判に対し、東大建築の教授であった佐野利器博士は、さっそく建築雑誌に「耐震構造上の諸説」と題して反駁、さらに佐野教授の後継の武藤清博士も一九三一（昭和六）年「真島博士の柔構造論への疑い」と題して、建物の固有周期を大きく、柔にすることは決して安全とはならない、と反論されたのです。これが「剛構造論」と呼ばれるものです。

この論争は「剛、柔構造論争」と呼ばれるもので、昭和初頭を飾る建築構造耐震思想の根幹を問う初めての華々しい本格的学術論争だったのです。

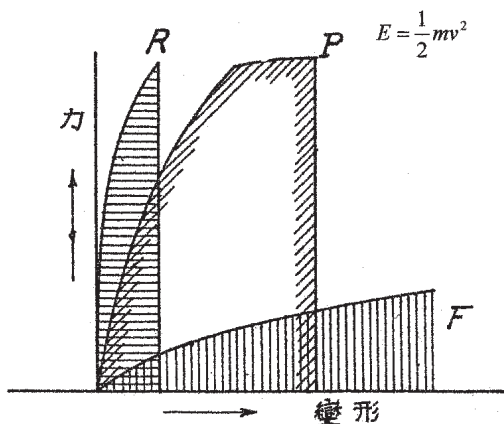


図1 地震の破壊力と建築物の耐震力に関する私見——棚橋 諒

建築構造の耐震理念をめぐる、東大建築佐野、武藤両博士の「剛構造論」と土木真島博士の「柔構造論」の華々しい論争に対し、第三の説とも言うべき、「速度・ポテンシャルエネルギー説」が、京大建築、棚橋諒博士によって「地震の破壊力と建築物の耐震力に関する私見」と題して建築雑誌に提示されたのは、一九三五（昭和10）年、さらに引続き翌一九三六（昭和11）年にわたって、剛構造論、柔構造論とは全く異なった新しい耐震思想が展開されました。これは、棚橋博士が、関東大震災の震害分布と地震動記録から帰納された仮説で、「地震の破壊力は地動最大速度Vの2乗に比例し、構

造物の耐震力は、破壊までにその構造物が貯えうるポテンシャル・エネルギーに比例する」と言うものです。この立場から、剛構造論、柔構造論をみれば、図1の様に、「地震の破壊力は地動の最大加速度 a に比例し、構造物の耐震力は安全に加える水平力の大きさに比例する」とした「剛構造は」図中Rで示され、一方「柔構造」は図中Fで示されます。これらは、いずれも、破壊までに貯えうるエネルギーが小さく、いずれも耐震的とは言い難く、図中Pで示される様な破壊までに貯えうるエネルギーの大きなものの程耐震性が優れていると言うものでした。剛構造論が「力」の尺度で、柔構造論が「変形」の尺度で各々その耐震性を捉えたのに対し、これは力と変形の積、即ち「エネルギー」の尺度で耐震性を捉えたものでした。

この考えが、地震国日本で超高層建築を可能にしたのです。この、棚橋先生の第三の仮説は、残念ながら、このお話の最初にご紹介した、大崎順彦先生の名著、岩波新書「地震と建築」には入っていません。先生ご存命なら、ぜひ入れてほしかった項目です。

米国における耐震構造の研究

日本と並び地震に見舞われる事の多い米国、特にその西海岸の太平洋岸は、我が国と並

ぶ激震多発地帯です。従って、その耐震理論の研究は、我が国と並び盛んで、耐震工学技術や耐震設計規定にも独特のものがああります。

米国における史上初めての、かつ最大の激震は先に述べました一九〇六（明39）年四月十八日のサンフランシスコ大地震（M_{8.3}）でしたが、米国における耐震理論の研究は、一九二五（大14）年のサンタ・バーバラ地震から、と言われております。さらに一九三三（昭和8）年、ロングビーチ地震で学校校舎の被災による学童の死亡を契機によりやく建築耐震規定の必要性が認識され、一九三三（昭和8）年ロサンゼルス市耐震規定（Los Angeles City Seismic Code 1933）が公布されました。これが米国で初めての建築耐震規定です。この規定では、震度を一般建築に対して0・08、学校校舎に対して0・10としています。日本に遅れること十年、これらは、その前年一九三二（昭和7）年、米国土木学会（ASCE）に招かれた東大地震研究所の初代所長末広恭二博士が講演で紹介された、日本の建築耐震規定を学んで作られたものと明記されています。

末広先生は其の際もう一つ、建築設計のための地震動を記録するための強震計を各地に沢山配置するようにアドバイスされたのでした。米国ではこの末広先生のアドバイスを直ぐ取り入れ地震の多いカリフォルニア州の各地に配置したのです。一九四〇（昭和15）年五月十八日カリフォルニア州の南の端、メキシコとの国境に近いインペリアル・バレイに（M

117・1)の地震が起こり、エル・セントロの町の変電所の地下室に設置されていた強震計が最大加速度326ガル ($\text{gal}=\text{cm}/\text{sec}^2$)を記録したのです。これが其の当時キャッチされた最大の地震動と言われ、其の後多くの建物の耐震設計に広く利用されてきました。翌一九四一(昭16)年コロンビア大学の振動学者ビオ教授は、此のデータを使つて振じり振子によつて実験を行い、その結果を解析により検証することによつて地震動による建物の振動の解析を試みています。これが今日、建築物が地震を受けた時の揺れ方を求める方法として、振動応答解析と呼ばれ、超高層建築の設計の際に利用されているものなのです。

第二次世界大戦後の地震工学の展開 — 第一回世界地震工学会議

第二次世界大戦後十年経つた一九五六(昭31)年六月、一九〇六年のサンフランシスコ大地震五十周年を記念して、初めての世界地震工学会議(WCEE)がサンフランシスコの対岸のバークレイで開催されました。此の時、米国カリフォルニア工科大学のハウスナー教授は、「構造物の極限耐震設計」と題して地震で建物に加わる歪エネルギーが建物の耐震性の決め手になる旨を発表しました。これは細部はともかく、基本的思想においては、先にご紹介しました一九三六(昭11)年の棚橋教授の「速度・ポテンシャルエネルギー説」

と同じものです。これはハウスナー教授自身も認めてこれ以後同教授の論文には棚橋教授の論文が必ず引用されています。

続いて、四年後の一九六〇（昭35）年七月には日本の東京と京都で第二回世界地震工学会義が開催され、米国イリノイ大学の、ニューマーク、ベレッツオス両教授が「地震動を受ける単純系の非弾性挙動の影響」と題して、棚橋、ハウスナー両教授の論文を基に、地震の際に建物に生ずる弾塑性変形を弾性変形と塑性変形とに分け、全変形が弾性変形の何倍に当たるかの倍率を塑性率（ダクティリティ・ファクター）と名付け、地震によつて建物に生じた弾塑性エネルギーを等価な弾性エネルギーに置き換え、弾性振動として近似的に計算出来ることを示し、さらに、これによつてエル・セントロ地震によつて建物の揺れがどの様になるかを、周期と速度を両対数にとつた、地震による建物の揺れかた（これを、エル・セントロ地震に対する応答スペクトルと言います）で巧みに表示しました。

超高層建築の出現とその耐震設計 — 揺れ方の研究を足掛かりに

一九五六（昭31）年米国イリノイ大学のニューマーク教授は、メキシコ市に四十三階建ての超高層建築ラチノ・アメリカーナ・タワーを設計、此のビルは当時起こつたメキシコ

地震に耐えたことにより、ニューマーク教授の名声をさらに高めたと言われています。これが超高層建築の動的設計の始まりです。

続いて、日本でも一九五九（昭34）年先ず東京駅の二十四階建超高層化計画に伴って本格的な超高層建築の耐震設計の検討が始められました。この東京駅は実現しませんでした。が、その技術的蓄積をもとに、丁度その頃日本にもようやく電子計算機が導入されて、地震の震動による建物の揺れ方の計算（これを、専門家は振動応答計算と言います）が出来るようになり、さらに又、一九六一（昭36）年より、H型鋼が新日本製鉄の前身、八幡製鉄堺製鉄所で国産され始めることによって、日本にも超高層建築を可能にする技術的基盤がようやく成熟したのです。

建物には、それぞれ揺れ易い周期があり、これを其の建物の固有周期と言います。此の値は建物の高さに依って異なり、大凡其の建物の階数の一桁下の数より少し少なめ、つまり五階建てなら0.5秒弱、十階建てなら1.0秒弱といった具合、低い建物なら短く、高い建物なら長いのです。地震で建物の建っている地盤が揺れると上の建物が揺さぶられますが、其の地震の揺れ方と上の建物の揺さぶられ方が、建物が低い、つまり固有周期の短い（低層の）建物ですと建物は二倍、三倍に揺さぶられ、逆に建物が高く、固有周期が長く1秒以上の（高層の）建物ですと建物は二分の一、三分の一しか揺さぶられないのです。

地盤もまた固い地盤は固有周期が短く、柔らかい地盤では固有周期が長いのです。此の關係を表したのが、一九六四（昭39）年東京大学に寄付された、電子計算機による、セラック・レポートに報告され（図2）、一九四〇（昭15）年の米国エル・セントロ地震と、一九六三（昭38）年、日本、大阪205地震の、揺さぶられ倍率と固有周期の關係です。此れを加速度応答スペクトルと申します。建物が超高層になれば固有周期は長く、一秒以上、二〜三秒にもなり、その揺さぶられ倍率（これを応答倍率と言います）が、一以下二分の一、三分の一になることがわかります。此れが地震国で、超高層建築を可能にしている理由です。こうして、一九六五（昭40）年、我が国初の超高層建築、三井霞ヶ関ビルの工事が始まり、一九六八（昭43）年、武藤清先生の指導のもと、鹿島建設によつて竣工しました。地震国日本に初めての超高層として、文部省特選映画「超高層の曙」の美男、美女扮する建築家の格好いい姿に、観客の羨望のためいきが聞かれたのも此の頃です。

中低層鉄筋コンクリートの弱点警告

日本の様な地震国で超高層建築を可能にした先ほどの議論、つまり、高層ビルでは其の建物の固有周期が長くなって、地震による建物の揺れにより加わる力が、二分の一、三分

の二になる、と言う地震による建物の加速度応答倍率のデータは、逆に固有周期が短く、1秒以下の中、低層の建物では地震によって地震の震動が二倍、三倍に増幅される、と言う事を示しています。一秒以下の短周期領域（中、低層建築物）では、応答加速度が、二（三倍に増幅されること、従って地動加速度が二百〜三百ガルになると（佐野）震度が1・0近くなる事を意味するので、（当時の）建築基準法施行令で定められている、震度0・2では低すぎるのではないか、という私どもの疑問に対して、行政から「震度0・2で従来何等支障がなかった故変更の要なし」という回答が繰り返されておりました。

超高層建築の耐震理論、わけでも、振動応答解析の手法に関する技術開発が華々しく展開される一方、市中にある建築物の九割九分を占める中低層建築物や、鉄筋コンクリート構造、鉄骨構造といった、建築構造体のものの力学性状、特に弾性域を超えて塑性域、さらには破壊にまでいたる研究もまた、この時期、着実にすすめられていました。

一九六〇（昭35）年代に入り、鉄筋コンクリート構造物の主要耐震要素である柱について、ようやく実験が出来るようになり、昔から米国のコンクリート工学界をリードしてきたイリノイ大学のグループや我が国の横浜国大、都立大、神戸大では、鉄筋コンクリート柱の曲げ実験が行われました。そして、一九六四（昭39）年には、その弾塑性変形解析がイリノイ大学のプラング、ソーゼン、シース等、神戸大学の山田、河村等によって相次い

で発表されました。

一方、鉄筋コンクリート柱のせん断についても、神戸大学では山田、降井が曲げと同じ時期に研究にとりかかり、柱の幅と高さの比（これを、せん断スパン比と呼びます）が約1・4以下の短い柱では、曲げのような靱性は全く存在せず、激烈な爆裂を起こし、極めて危険である、という驚くべき事実を発見、日本建築学会に発表、鉄筋コンクリート耐震設計上由々しき問題であると警告したのは一九六六（昭41）年でした。

丁度その頃、四年に一度開催される土木、建築構造工学の唯一最古最大の国際学会、国際構造工学会（IABSE）の第八回大会がニューヨークで開催されることになり、そのテーマの一つとして、鉄筋コンクリート構造物の耐震性がとり上げられ、その総括報告者として、この分野で、世界の第一人者と言われた米国イリノイ大学ニューマーク教授が選ばれたのです。ニューマーク、ホール両教授の鉄筋コンクリート柱の曲げ理論を軸とした鉄筋コンクリート構造物の耐震論が、イリノイ大学の研究の総括をベースにイントロダクトリー・レポートとして、会員に配布され、大会における討論が募集されたのは一九六七（昭42）年でした。これに対し、曲げ理論もさることながら、せん断の方こそはるかに危険であり、既に、関東大震災や一九六四（昭39）年の新潟地震でも、この例をみることができる。とした私の反対討論が採択されることになり、大会原稿が印刷配布されました。

十勝沖地震から宮城県沖地震へ

日本で初めての超高層建築、三井霞ヶ関ビルが華々しく竣工し、それを題材とした「超高層の曙」と題する映画が文部省特選として上映され、市井を賑していた、同じ年一九六八（昭43）年の五月十六日、十勝沖地震（M_{7.9}）が起こり、青森を中心に北海道南部、東北地方に被害が生じ、殊に、先にお話ししました、震度法にもとづいて耐震設計された、文部省推奨型の鉄筋コンクリート標準校舎に大きな被害をもたらしました。

翌日配達されるのもどかしく新聞にとびつくと、かねてから私が危ない危ないと警告していた通り、鉄筋コンクリート短柱が、将に私の警告通り、せん断爆裂を起こして校舎が無残に崩壊してしまっている。カメラと野帳と、そしてコンクリート強度判定のためのシュミットハンマーを肩に、現地へ走りました。東京までは開業四年目の新幹線、上野からの東北本線は幸い特急「はつかり」に乗ったものの盛岡でストップ、致し方なく駅前のボロボロの木賃宿にころがり込み、翌早朝空の白みかけた頃ようやく動き出した列車に飛び乗り三沢へ、駅前で現地のタクシーを借り上げ、まず新聞で見た三沢商業高校へ。三階建て校舎の西二スパンは、柱が上から下へ見事なせん断爆裂を起こして斜めに真つ二つに割れている。三階二階一階と重量が増えるに従って、実験通り爆裂は烈しさを増し、一階

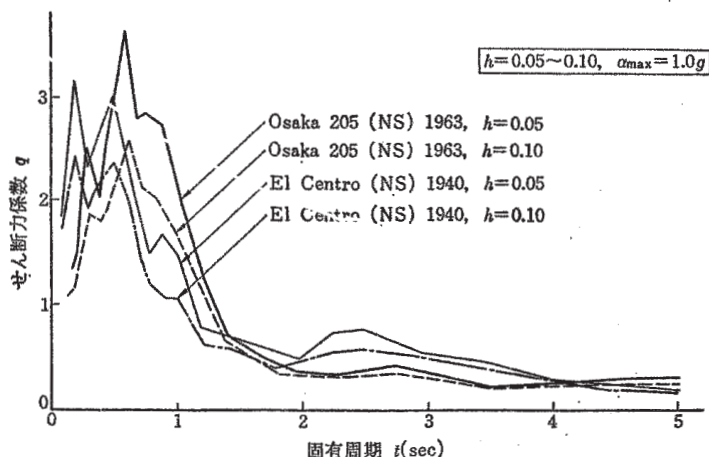


図-2 加速度応答スペクトル (SERAC Reports <東京大学>¹⁰¹⁾)

は柱が斜め割れ目でくい違って外れ、大きく湾曲した軸鉄筋にぶら下がっている。帯筋もきちつと二十センチ間隔に入っているのが確認でき、シュミットハンマーでのコンクリート強度も三十二ニュートン近くを示していて、全く問題はない。地震の時、女生徒は腰をぬかして立てなくなり、体育教師が体育をしていた男子生徒を指揮して外へかつぎ出したという。階段を走り降りていたら柱から煙が出た由。せん断爆裂の際のコンクリート片の飛散が推定される。岡三沢小学校では、避難階段が外れて倒壊、平屋の市立図書館はねじれて壊れ、八戸高専の短柱はすべてせん断爆裂を起こし、これ等の校舎は無残にも崩壊、前前年、前年と私が繰り返していた警告が現実の震

害例として、実験室での現象と寸分違わぬ形で現れる結果となったのです。同時に被災校舎の保有耐力より逆算して、これらの鉄筋コンクリート校舎には、少なくとも $0.5 \sim 0.7G$ という応答が生じていたと推算され、超高層建築を可能にした資料の、加速度応答スペクトルの低固有周期領域、つまり中低層の建物では法定震度 $0.2G$ より大きな加速度が加わるのではないかと心配した私どもの疑問が、杞憂でなかったことも判明したのです。

設計震度 $1G$ 説の提案

こうして、私どもは、中低層鉄筋コンクリート造の耐震設計には、設計用（応答）震度として $1.0G$ （ G は重力の加速度九百八十ガル）を使うべしという説をたてて、一九七一年（昭和四十六）年十二月日本建築学会に発表、提案いたしました。そして、その解析結果から、鉄筋コンクリート三階建てに対して必要壁率が 0.5 パーセントと計算され、十勝沖地震で東北大学の志賀教授、柴田助教授、仙台市の高橋氏が作成された鉄筋コンクリート三階建て校舎の壁率と震害との関係を調査された結果は、私どもが提案した、 $1.0G$ 説によって計算した、理論所要壁率が、実震害例にたいして、きわめて妥当なものである事を示しています。

中低層鉄筋コンクリート建築物に対する設計用震度を壁を主とした構造に対して1・0 G、柱、梁だけの架構構造に対して0・6 G位という、私どもの提案は、然しながら、当時の法規の五倍、三倍というべらぼうな値という事で、陰に陽にきわめて大きな反発を喰らうことになり、戦後四半世紀もたつて、非国民、国賊呼ばわりされる始末。短柱や帯筋はあくまで止むをえない場合のみ一パーセント以上で、むしろ、はじめの構造計画の際にそのような事にならぬようにする事が大切、という私どもの主張とは逆に、一九七一（昭和46）年「建築基準法施行令」が改正されたのですが、せん断補強の為の帯筋を従来より少しばかり多く巻く程度の部分的な改正で、「基準法施行令」の最も大切な問題である「震度0・2」はそのまま、ふれられずじまいの、枝葉末葉の改正に終わりました。

この年一九七一（昭和46）年二月九日米国ロサンゼルス北郊でサンフェルナンド地震が起こり、新築一年の真新しい鉄筋コンクリート五階建てオリーブ・ブュー病院が崩壊——ライフライン問題が初めて提起され——次いで一九七五（昭和50）年四月二十一日、大分県中部地震で鉄筋コンクリート四階建の九重レークサイド・ホテルが崩壊。

一九六八（昭和43）年の十勝沖地震から丁度十年経った一九七八（昭和53）年六月十二日、東北地方は再び宮城県沖地震（M_{7.4}）に襲われ東北工業大学をはじめ基準法改正後設計施工された真新しい県立泉高校等の鉄筋コンクリート校舎も亦私の警告通りせん断破

壊を起こし甚大な被害を被ったのでした。この地震で、仙台市の西郊青葉山に約十年前新築されていた東北大学工学部の鉄骨鉄筋コンクリート九階建て、建設系棟の一階と九階に設置されていた、建設省建築研究所の最新型強震計がこの加速度を記録、九階の応答加速度が千ガルつまり1Gに達したことを、見事に示しておりました。

建築基準法の現行法への改正

こうして一九八〇（昭55）年七月、建築基準法施行令が政令第一九六号として公布され、翌一九八一（昭56）年六月一日から施行される事になったのです。

十勝沖地震から三カ月ニューヨークで開催予定の第八回国際構造工学会議（IABSE）で鉄筋コンクリート構造の耐震設計をテーマに、国際地震工学会会長米国イリノイ大学ニューマーク教授が展開された曲げ靱性設計理論に対し、曲げ靱性設計思想は結構、しかし、通常の鉄筋コンクリート柱は柱の幅対高さの比（せん断スパン比）が一对四以下の短柱で、曲げ靱性どころか、曲げ降伏以前に強烈なせん断爆裂を起こす危険性がある故充分な配慮が必要という私の討論が採択され、映画は原則禁止だったのに私の手製の十六ミリ実験映画だけは例外として許可されました。一九六七（昭42）年に採択された私の反対討

論原稿では、関東大震災や新潟地震の僅かばかりの実例しか示せず、困っていた私には三ヶ月前に起こった一九六八（昭43）年十勝沖地震は、思いもかけない実例の出現でした。九月十二日ニューヨーク・ヒルトンホテルでの大会講演の直前、ニューマーク教授の招きで、九月五日イリノイ大学で講演。ニューマーク教授から「山田教授、あなたは学説を六十六年に発表し、二年後に実際の震害で実証されるとは、アンラッキーな地震に、何とラッキーな人だ」としみじみ言われた事を、思い出します。学問を知る本当の学者でした。

米国ではその頃、鉄筋コンクリート部材のせん断強度について、米国土木学会（ASCE）と米国コンクリート工学協会（ACI）の連合委員会が、それまでの世界の研究200余をまとめた報告約百頁を一九七三（昭48）年六月に発表したのですが、その殆ど全てが梁で、柱を論じたのは、未だ私ども山田、降井のだけという有様でした。

こうして一九七一（昭46）年のサンフェルナンド地震、一九八九（昭64）年のロマ・プリエタ地震を経て、一九九四（平6）年にはノースリッジ地震が二十三年前のサンフェルナンド地震と同じロサンゼルス北郊で、神戸地震の丁度一年前の同じ一月十七日に起こりました。ロマ・プリエタ地震では、嘗て私が一九六八（昭43）年九月三日カリフォルニア大学・バークレイで、ポポフ、ペンツェン、ベルテロ三教授の招きで、丁度学生運動最中全学閉鎖中でしたが、鉄筋コンクリート短柱の爆裂について講演、聴講生には、後にスタ

ンフォード大学教授として多くの日本人留学生を指導された、クラビンクラー教授もおられた由。此の地震でサンフランシスコから対岸のオークランドに渡る二階建てのベイブリッジの柱脚が旧基準の短柱で私が講演で指摘した通り、せん断爆裂を起こしておりました。

兵庫県防災会議の設置と阪神・淡路大震災

こうして、米国ノースリッジ地震から丁度一年経った同月同日、一九九五（平7）年一月十七日午前五時四十六分阪神・淡路大震災が起きました。この様な地震が起こった場合の対策を立てる為、私はその二十二年前の一九七三（昭48）年六月二十五日兵庫県の坂井時忠知事に、兵庫県防災会議地震対策部会編成の願いをし、七月九日付けのご回答（私信）にはじまり、地震対策部会運営要綱が一九七八（昭53）年六月十五日付けで定められました。

地震対策部会発足の一九七八（昭53）年当時、建築基準法は、私の主張を一部取り入れた現行法への一九八〇（昭55）年の改正以前であり、私は建築構造学の立場から、地震災害発生時に必須の防災拠点となる消防署、病院、警察署、学校等の設計用地震荷重が、地震時に実際に加わる荷重のわずか五分の一という低さで、とうてい耐えられるものではな

いので、せめてこれらの防災拠点だけでも緊急補強されるようにと、一九七一年（昭46）年二月九日に米国サン・フェルナンド地震によって崩落したオリブ・ビュー病院の下敷きになって出動出来なくなった救急車のスライドを見せて、強く要請したのですが、容れていただけませんでした。

年毎の防災会議で要請を続けましたが、「それは営繕の仕事ですよ」と容れられぬまま、これらの拠点は被災したのです。地震後一ヶ月半、三月四日はじめて招集された県防災会議にご出席の方々の中には「あつ、あの救急車が屋根の下敷きになっていたスライドは、先生のですか」と思い出された方も何人か居りました。

地震後旬日、NHKで初めて神戸市に一九八五（昭60）年防災会議が組織されていた事を知ったのです。そこには、建築構造の専門家は、一人も入っておられませんでした。そして、そこではあるうことか、神戸市消防局では想定地震震度をVとしていた、ということを知るに及んで全く開いた口がふさがらない思いとともに、言い知れぬ憤懣を覚えしました。県防災会議であれだけ消防署はだめだから一刻も早く補強を、と繰り返し、繰り返し説き、ポートアイランドに渡る橋がただ一つでは、市民病院がいざというとき役にたたなくなる恐れがある、と言ったら目の前は狭い水路、船はいくらでもある、という答えが返ってくる始末、兵庫警察署は倒壊して警官が圧死。残念ながら余りにも当たりすぎていました。

此の兵庫県南部地震では六千四百三十四人の方が亡くなられましたが、その殆ど六千人の方々は、お住まいが、改正されて厳しくなった建築基準法によって、一九八一（昭五五）年六月一日以後法律上不適格になった「既存不適格」住宅に、そんなこととは、つゆ知らず安眠して居られたのです。

一九五〇（昭二五）年の制定から三十年を経て一九八〇（昭五五）年に新耐震と呼ばれる現行法に改正された際、私が指摘していた今一つの問題、それは法第三条（適用の除外）の第二項でした。これは学問技術の進歩によって法令が改善されても、それ以前に建てられて、新法令に不適格になった「既存不適格」建築には適用されないという、とんでもない規定です。「これでは古い危険な建物がそのまま残って危ない。何らかの対策を」と言ったら、「国に金があればともかくも、とんでもない」と峻拒される始末。「法の遡及は憲法違反だ」ということなのですが（今も建築界ではそう信じている方もありますが）、遡及が問題になるのは刑法のみのはずです。

こうしてこの現行法、つまり一九八一（昭五五）年五月三十一日以前に、家を新築した際、法第六条に則って建築主事に新築建物が法令に適合していることの確認を申請し、建築主事から適合している旨の通知を受け取り、工事完了届を出して検査済証を受け取ったにもかかわらず、何の通知もないまま、知らないうちに、一九八一年六月一日以降は法的には

危険かもしれない「既存不適格建築」になってしまっているのです。

こうして十五年後、自宅が危険かもしれないことは、何一つ知らされることもなく、安全は法で保証されていると信じて安眠中の一九九五（平7）年一月十七日早朝、突然、阪神・淡路大震災に襲われ六千四百三十四人もの方々が亡くなられてしまったのです。住宅はもとより公共建築物でも全く同じでした。

驚いた建設省は十一か月後の一九九五（平7）年十二月二十五日、急遽「建築物の耐震促進に関する法律」（耐震改修促進法）を施行。阪神・淡路大震災の惨状を見て、ようやく巷にあふれる「既存不適格」建築対策を講じることになったのです。しかし、此の法律は対象が、「特定建築物」と称する多数の者が利用する建築物に限られ、六千余人もの死者を出した肝心の住宅は適用外。法第一条の「地震による建築物の倒壊の被害から国民の生命、身体及び財産を保護するため」とされた目的と、これほど乖離した法律は見たことがありません。

この法律は第二条に学校、体育館、病院など住宅以外の不特定多数の人々が集まる、「特定建築物」の所有者にその建築物の耐震診断と耐震改修の努力義務を課しているのです。建物所有者が、その所有される建物に対して、この様な義務を課されていることを御存知の方は少ないのではないのでしょうか。ぜひご注意くださいと思います。

お住まいの耐震安全性の簡易診断

お住まいが一九八一（昭五）年六月一日以降に新築されて、建築主事から「確認済証」の交付を受けて居られる場合には、現行法で定められた最低限の耐震安全性は確保されているものと考えてよろしいでしょう。それ以前に建てられたものでは、たとえば建築主事による「確認済証」があつても、現行法に定められた最低限の耐震安全性すら確保されているとは限りません。もはや「既存不適格」なのです。

では、木造住宅では何が耐震性の決め手になるのかと言うと、木造住宅の中の壁です。壁の中に斜め対角線に筋違（すじか）いを入れるか、板を入れたものを、耐震壁として使います。この筋違いか板の入った耐震壁が、東西、南北ともバランスよく入っていて、はじめて地震に抵抗してくれるのです。南側に明るく大きな開口をとって、北側に壁を偏在させたのでは、たとえ壁の量は足りても、建物が振じられて、駄目になります。

では、この木造建築の耐震性の決め手となる壁の必要量はどれ位かというところ、ある方向についての壁の水平長さの総和をセンチメートルで、その階の床面積を平方メートルで表し、壁長さ（センチメートル）を床面積（平方メートル）で割った値を「壁率」と称し、この最低必要壁率が、建築基準法施行令第四十六条で、表1のように定められておりま

す。この値を御自宅について、間口方向と奥行方向につき、例図にならってチェックして下さい。もしこの値が、一方でも満足されていなければ、専門家による診断をお勧め致します。診断の結果、安全と判定されればよいのですが、もし、耐震性に問題があると判定された場合には耐震補強が必要となります。これには、種々の方法がありますが、補強については専門家に依頼なさる事をお薦めいたします。(診断等については建築指導課が、対応してくれる筈です。) 住宅は自己責任ということですので、くれぐれもご用心を。

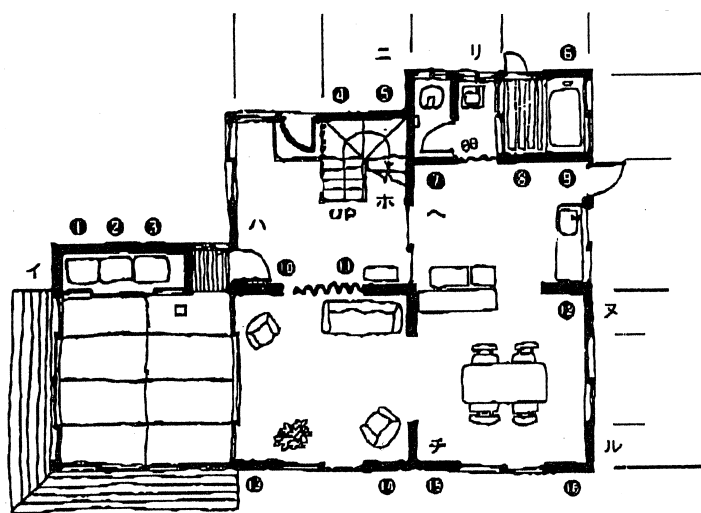


表1 木造家屋の最低必要壁率（壁長さ [cm] 階の床面積 [m²] 建築基準法施行令）

階 屋根	平屋	2 階建		3 階建		
		1 階	2 階	1 階	2 階	3 階
重い屋根（瓦等）	15	33	21	50	39	24
軽い屋根（鉄板・スレート等）	11	29	15	46	34	18

計算例（日本建築学会・パンフレットより）

2 階建、かわらぶきの 1 階部分。黒くつぶしたのが耐力壁。
長さ 90 cm で 1 枚とかぞえています。

a 間口方向

耐力壁①～⑯の合計長さは

$$91\text{cm} \times 16 = 1.456\text{cm}$$

壁倍率*1を 2.0 とすると

$$1.456\text{cm} \times 2.0 = 2.912\text{cm}$$

これを床面積で割ると、

$$2.912 \div 72.87 = 39.96 \text{ (cm/m}^2\text{)}$$

これは、表の 33 cm/m² より大きいので OK。

b 奥行方向

耐力壁イ～ルについて同様の計算を行うと、

$$91 \times 11 \times 2 \div 72.87 = 27.47 \text{ (cm/m}^2\text{)}$$

これは、33cm/m² より小さいので耐力壁を増してください。

*1 壁倍率とは壁の強さを表すもので、筋かいが入っていると 1.5、合板を打ちつけたものは 2.5 程度です。壁の構造がわかる場合は、その構造に対する倍率を使うことができますが、わからない場合は 2.0 程度にしてください。

超高層から免震、制震へ

地震による地盤の振動を、縁の下で絶縁して建物に伝えない様にする構法―これを「免震」と呼びますが、本格的に建物の免震化が始まったのは一九八〇（昭五）年代に入った頃からです。一九八五（昭六〇）年フランスが南アフリカで原子炉の下に積層型免震装置を、組み込んで居りました。

免震装置として多く使われているのは、直径数十センチメートルから、1メートル程のゴムと鉄板の円盤を何重にも重ね三十センチメートル程にし、これを建物の下に挟んでおく、地震で地盤が揺れても積層ゴムだけが横にずれ、上の建物はあまりずれずに耐えてくれます。平素は上から大きな重力がかかっているので建物の自重にも耐えてくれます。建物は二十年、三十年ともってくれないと困るので積層ゴムで支えておくと三十年経つてもいいようになっていきますし、取り替えもきくというわけです。こうすると下から大きな地震の加速度が入っても、上の加速度は減らせますが、それだけでは揺れは止まらないので、粘性体や油圧のジャッキのようなダンパーを建物の縁の下に取り付け、揺れをとめます。

先述の一九九四（平六）年の米国ノースリッジ地震の際、ロサンゼルス以南カリフォ

ルニア大学（USC）病院、八階建免震病棟で、エマーゼンシーの脳外科手術の直前、午前四時三十一分、地震の揺れが始まり、揺れがおさまるのを待つて、手術が始まり、無事終了できた由。これ等の地震による経験以後米国でも日本でも免震建物が急速に普及を始めたのです。病院は地震をうけても、患者さんが安心してベッドに寝ていられてこそで、地震のときに患者さんを避難させるなど、本末転倒、わずかの看護婦さんの手で避難など、とんでもない話、たとえ激震といえども患者さんが安心してベッドに寝ていられてはじめて病院の機能は發揮されましょう。これを、はじめて可能にしたのが免震構法なのです。病院建築に免震構造の適用を法的に義務づける位の事も、地震国日本には、十分にあっていいのではないでしょうか。

免震工法のジャッキをコンピューター制御して地震による建物の揺れを、さらに少なくする制震工法もまたおおいに開発されております。これ等の免震、制震工法は、新築建物だけでなく、古い建物の耐震性の改善のための改修（レトロフィット）も活用されています。

エピローグ

地震から国民の生命を守るため、世界に魁けて一九二四（大13）年建築耐震基準を法制

化し（十年後米国がこれを学んだ）我が国の建築耐震構造学術・技術の、進展の今日に至る跡をたどり、未だに残る幾つかの問題を指摘いたしました。

それにしても、今回の東日本大震災に、静岡県川勝知事によれば、中部電力浜岡原発では許容値を八百ガルとしている由（朝日、平成十一年三月二十四日）。原発というものに一体何故こんな低い値をとっているのか、私には、到底理解できません。

私は、自らの実験、解析結果を、一九六八（昭43）年十勝沖地震の被災校舎を調査された東北大学志賀教授、柴田助教授、仙台市高橋氏による、鉄筋コンクリート三階建校舎の被災調査の統計結果に適用し、九百八十ガル（ $\parallel 1G$ ）を中、低層鉄筋コンクリート建物の耐震設計用地震力として、既に一九七六（昭51）年、実務設計者むけに「鉄筋コンクリート構造物の耐震安全性」（技報堂出版）で推奨致しました。当時の法定耐震設計震度は0・2G、その五倍とはとんでもない奴、一戦後といふのに、国賊、非国民と呼ばれました。此の理論条件を充たして、全く無傷の校舎が沢山あったというのにです。

建築耐震設計は地震から国民の生命を守る為のものであるはず、そのため未だ残された幾つかの問題点、特に未だに危険をはらんだままの、一九八一（昭56）年五月三十一日以前の「既存不適格」にお住まいの方々にご参考までに本稿をおとどけ致したいと存じます。