

# 構造設計上想定すべき地震動はどこまで？



神戸大学教授

多賀 謙蔵

## 1 はじめに

昨年4月に起こった熊本地震は震源地に近い益城町において震度7の強震動を立て続けに起こし、木造住宅を中心に多くの被害をもたらした。RC造や鋼構造の建物にも過去の地震被害でも観察された被害が見られており、新耐震以降あるいは耐震補強が施された建物にも大きな被害が生じている<sup>1)</sup>。局地的とはいえ法の規定を上回るレベルの地震動が観測されたことも事実で、地震活動期に入っているとされる我国において、構造設計上想定すべき地震力の大きさはどうあるべきか、ということを改めて考えさせられる。永遠の課題とも言えるこの問題は1924年の市街地建築物法改正時に震度法が取り入れられて以降大きな震災を経験する毎に諸先輩方の研究と決断の成果として進化しているが、構造設計に関わる諸氏のこれからの取り組みの一助になればと、筆者が実務設計者時代に関西地域で関わってきたことを回想してみる。

## 2 メキシコ地震～兵庫県南部地震

メキシコで大地震が発生し、震源から300km以上離れたメキシコシティで甚大な被害が発生したとの報が入ったのは、日航ジャンボ機墜落の衝撃がさめやらない（ちなみに筆者は同日に123便の直後の便で帰阪）1985年9月19日であった。入社7年目の私に建築学会とJSCAの前身である構造家懇談会の合同調査団に加わる機会が与えられ11月初旬メキシコシティに入った。初めて自分の目で見る震災現場に自然の脅威を感じながら、調査団の先生方、構造設計の大先輩達のこんな言葉にも同調していた。「日本ではこんなことにはならない」と。今流に言えば長周期長時間地震動が大都市を襲った先例で

あったのだが、当時は多くの研究者・構造技術者が我が国に置き換えて考えることは少なかったように思われる。しかしながら、1995年1月17日の兵庫県南部地震でメキシコと同様の被害が目の前でも起こり、10年前の未熟な思いを恥じ入るとともに自然の力の恐ろしさを人一倍痛感することになった。

被害が大きかったのは主に旧基準による古い建物であり、新耐震に適合した建物では構造的な被害は少なかったことから、建築物の耐震基準に大きな見直しはなかった一方で、「地震後に建物が使えないのは困る」という一般の人の感覚と、「人的被害が出るような壊れ方をしなければ良い」というエンジニアの感覚との違いを強く認識したのがこの時であった。

## 3 大阪市震災対策技術指針

兵庫県南部地震の被害を踏まえ、隣接する大阪府は、「発生頻度は低くても地域に大きな被害を与える地震動に対して、建物の用途や災害時の役割に応じて耐震安全性を確保すべき」との考えから震災直後に技術検討委員会を立ち上げ、平成9年（1997年）に独自の震災対策技術指針を策定している。この中で建築物に対しては従来のレベル2地震動に付加する形で、設計地震動レベルのかさ上げを行っている。

当時の知見のもとで上町断層帯地震の強震動予測計算が行われ、兵庫県南部地震の観測記録を上回る予測地震動も得られた中で、設計用地震荷重のレベル設定について様々な立場から議論が行われた結果、「兵庫県南部地震の観測記録の中にも大きな振幅の入力はあったが、建物への実効入力是不明。」「兵庫県南部地震の被害分析から現行耐震設計法

(新耐震)が一定の評価を得ている。」といった理由から、建築基準法に対して最大1.25倍程度の割増しに落ち着いた。

このとき筆者は指針策定委員会の事務局メンバーとして関わっていて、大きな予測地震動を前にして設計レベルをどのあたりに設定するか、という一番の悩みを抱えた大阪市のご担当の方から「どこまでやったら設計できる?」と問われ、「1.5倍でも2倍でもやるしかないとなったら設計はなんとかやります。但し使いにくい建物になることもあるでしょう。」と、なんとも期待外れなお答えをした。

指針としてほぼ纏まったころ、大阪市として建設省(当時)に説明に行かれる際に、「国の基準があるのに余計なことをするな、とお叱りを受けないだろうか。」とのご心配に、「褒められることはあっても怒られることは絶対にありませんよ。」と根拠なく励ましたことがなつかしく思い出される。

この技術指針は大阪市の公共建築物の整備目標として策定されたものだが、特に動的解析用の地震動波形については、告示波が定められた2000年以降も、民間建築物においても「極めて稀に発生する地震(レベル2地震)」の設計用地震動として、告示波に加える形で高層建築物等の設計に広く活用され、大阪市域の高層建物等の耐震性確保に一定の役割は果たしたと言える。レベル設定の難しさは、(私がお願いして入れていただいた)「入力レベルは今後の研究の進捗により見直すべきものである。」という記述に滲み出ている、次の動きにつながっていくことになる。

#### 4 大震研

その後、約10年を経る間に活断層調査や地震動観測が充実し、大阪府・市でも、新たな調査・研究成果を取り入れた内陸直下地震や海溝型地震の地震動予測による地震被害想定の見直しが行われた。

想定された多くの断層破壊シナリオに基づいて予測された地震動には、法で規定するレベル2の地震動を大きく上回る強さのものが含まれており、建築物の設計に大きな影響を及ぼす可能性があることが明らかとなってきた。建築学会近畿支部耐震構造部会の主査でもあった林康裕先生はこの課題に早くから着目し、2008年以降連続的にシンポジウムで採り上げて実務設計者等に向けた啓蒙を行われ

た。平成9年の大阪市指針の生い立ちに関わった私に対して特に熱く(厳しく?)語っていただいたことを受けて、まずは大阪府に掛け合ったのだが、諸般の事情で当時のように委員会組織を設けていただくには至らず、それならば、ということで(社)日本建築構造技術者協会(JSCA)関西支部を中心とする設計実務者が、研究会組織を立ち上げることになった。

設計の現場では個々の構造設計者が建築主あるいは設計チームを説き伏せるだけの力関係にないとの認識から「官の力」に頼ろうとしたことがうまく行かず、構造設計者が力を合わせる方向にシフトしたのだが、これは結果として大変よかったと思う。前年度までJSCA関西の支部長を務められていた角彰さんのリーダーシップのもと2009年11月に、59社(最終65社)を会員とする「大阪府域内陸直下型地震に対する建築設計用地震動および設計法に関する研究会(大震研)」が発足し、設計用地震動、解析法、RC造、S造、免震の5つのWGが、関西の大学研究者の指導・助言をいただきながら設計用入力地震動ならびに設計法に関する自主的な指針を取り纏めることになった。

筆者は、設計用入力地震動と大入力地震動を対象とするときの設計の基本方針を検討するWGを担当することになった。ちなみに大震研では、新たに地震動の予測計算はせず(できず)、大阪府・市による「大阪府自然災害総合防災検討委員会(平成18年)」の予測波を活用させていただくこととした。これには耐震設計と被害想定ベースが同じもののできる、という意図もあった。

速度応答スペクトルが800cm/sにも達するような予測波もあるなかで、設計用地震動のレベルを如何に設定するかについて熟議を重ねた結果、[レベル3A(告示波の約1.2倍)、レベル3B(同約1.5倍)、レベル3C(同約1.8倍)]の3段階のレベルを設定するとともに、現状のレベル2クライテリアを超えて倒壊に至るまでに新たに2段階の設計クライテリアを定義することとなった。

研究会としては、当面新築建物について「地震動3Bレベルに対し、限界状態Ⅰ(耐力低下点)以下とする」ことを推奨し、この方針は構造設計者間で共有して、どこが設計を受けても建築主に対して同じ提案をすることを目指している。このように「み

んなで一步ずつ階段を上がって行く」体制となったことも大きな成果の一つと考えている。

### 5 終わりに

建築基準法は、国民の生命・健康・財産の保護のために最低基準を定めたものであり、耐震基準に関してもこれを上回る性能を付与することが望ましいことは明らかである。南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動への対策が具体化されはじめたが、内陸直下地震対策も放ってはおけない。昨年の熊本地震では、100cmを超える変位応答スペクトル ( $h=5\%$ ) を示すパルス性地震動が複数観測され

ていて<sup>2)</sup>、これはとりわけ免震建物にあっては看過できないことである。大阪発の取り組みが、全国の活断層近傍の地域に展開されていくことを望むとともに、それに対応するための技術開発に積極的に取り組んでいきたい。

#### 参考文献

- 1) 日本建築学会災害委員会:2016年度日本建築学会大会(九州)災害部門緊急報告会資料,2016.9
- 2) 杉野未奈,岡沢理映,村瀬詩織,林康裕:2016年熊本地震の観測地震動特性と大阪地域の超高層建物被害予測,熊本地震の被害経験を関西の被害軽減促進に如何に繋げるか?,日本建築学会近畿支部耐震構造研究部会シンポジウム資料,pp.15-24,2016.11