

# 平成から令和へ —建築構造が受け継ぐものは—



大阪大学

宮本 裕司

## 1 はじめに

平成から「令和」へ、元号が改まった。改元の日となった5月1日が祝日となり、今年のGWはこれまで最長の10連休となった。この原稿を書いている今も、多くのメディアが特集を組み、識者が平成を振り返り、令和の時代を予測する提言を行っている。新元号に変わり、時代の一区切りとなるが、地球の営みである地震には時間の区切りは無い。地震発生のその時が着実に近づいていることだけは確かです。この原稿が出版される頃は、改元の盛り上がりも冷めていると思われるが、令和の大地震に備えるため、建築構造が平成の経験と教訓を顧みて、令和の智恵とすることは必須です。この拙文でも、著者なりに平成の被害地震と令和の対震技術について考えてみたい。

## 2 平成の地震と教訓

平成の30年間に、日本は数多くの大地震に見舞われた。とりわけ平成7年（1995）阪神淡路大震災と、その16年後に発生した平成23年（2011）東日本大震災では、活断層型と海溝型の異なるタイプの地震の揺れで、日本は人的、社会的、経済的に甚大な被害を受けた。二つの大震災で目の当たりにした地震現象や建物被害は、構造設計者の頭の中にはあったが日本では起こらないと考えた（い）事象や、考えが及ばなかった事象でした。そのため、二つの大震災はそれぞれの時代において、地震工学と耐震工学に多くの教訓と課題を与えた。

平成7年阪神淡路大震災では、大都市直下の活断層地震の激しい揺れで、多くの住宅や建築物が倒壊し、社会インフラとライフラインも壊滅的な被害を受けた。そして、それらの被害が狭い範囲に集中した震災の帯が形成された。湾岸地域では大規模に発

生した液状化で杭基礎が大破し、多くの建物は機能を失い取り壊された。これらの被害は、これまでの設計用地震動の考え方を見直す機会を与え、そして、震源特性と地盤特性を取り入れて建設地点の強震動を予測し、それを設計用地震動の一つにしようとする考えが進んだ。その中で震源断層から発したパルス性地震動を評価して、深部地盤の伝播特性と表層地盤の非線形性による増幅を考慮した入力地震動の研究が行われるようになった。さらに、建物の応答低減技術の開発や構造性能に基づく設計クライテリアの必要性を知らしめた。また、既存建物の耐震改修を促進させ、地域・都市の地震防災を住民自らで考える土壌を養成した。

特に、1980年代から開発が始まり実用化し始めていた免制震技術は、それぞれ紆余曲折はあったが、阪神淡路大震災を契機として一段と研究が進むことになった。そして耐震性能を向上させる新技術として多くの建築物に実装された。平成のこの頃を振り返ると、阪神淡路大震災の前年の1994年に米国カリフォルニア州ノースリッジで活断層地震が発生し、都市に大被害が起こっていたが、日本では起こりえないとした。また、日本では、建物被害が原因で多くの人命を失うような大地震が発生していなかったことや、1981年に改正された新耐震設計法が定着し、耐震技術がある程度のレベルまで達したとして、構造技術の開発にある種の閉塞感が漂っていた時期でもあった。そのような折に神戸市の直下で大地震が発生し、建築構造にかかわる我々は言葉を失った。そして設計用地震動を超える入力動に対する耐震性能評価が急務となった。それと並行し、建物の耐震性能を高める新しい構造技術を開発しようとする機運も高まり、その目標が明確になることで、自ずと開発に携わる人と開発費も増えた。また

応答制御理論の進歩も相俟って、免制震構造は急速に発展していった。その技術は耐震を上回り安全、安心を与える売り物として、大規模建築物や超高層ビルから戸建て住宅までに普及し、一般の人々にも広く認知されるようになった。

平成23年東日本大震災は、このような免制震構造の成熟感が漂う中で発生した。巨大津波を受けた東北地方の災害は、8年が経過した今も大きな痕跡を残し、その復興は令和の時代に引き継がれる。この巨大津波についても、先のノースリッジ地震と同じように、2004年に発生したスマトラ沖地震での大津波の教訓を生かせなかった。一方、建築物の被害は広範囲にわたったが、地震規模のわりに致命的となった建物の数はそれほど多くなかった。急速に数を増やしていた免制震構造は、一部に不具合があったものの応答低減の効果を発揮し、一応の機能を果たした。しかし、首都圏の建物が経験した揺れは、レベル2と同等か、それよりも小さいレベルでした。それでも、海溝型地震の震源域から発した地震波が、東京、名古屋、大阪の深くて軟らかい沖積地盤内で増幅し、超高層ビルを繰り返し揺する長周期地震動の恐怖を見せつけた。このような経験から長時間長周期地震動への対策として、既存超高層ビルの制震改修や、免制震装置の多数回繰り返し特性を考慮した設計解析が実施されるようになった。さらに、太平洋沿岸の都市圏に建てる長周期建物の設計用地震動として、南海トラフ巨大地震の地震波が国より提示されることとなった。

平成28年熊本地震では、震源となった活断層近傍の益城町や西原村で多数の木造住宅が壊滅した。この両地区で震度7を計測した強震記録は、これまでの想定を遥かに超える長周期パルスの揺れが、現実には発生することを改めて認識させた。また、震度7の地震が立て続けに起こったために、1度目の揺れで耐震性が大幅に低下し、2度目の揺れで倒壊した家屋も多くあった。免震構造においては、阿蘇市内に建つ医療施設の免震層変形が、両振幅で90cm（片振幅46cm）に達し、擁壁とのクリアランスに近づく大きな変形を示した。

### 3 令和への引き継ぎ

南海トラフ巨大地震の切迫度が増し、大都市直下地震の発生が危惧されている現在、平成に引き続き令和でも免制震構造が被害軽減の主要な技術として期待されている。しかし、平成の被害地震で機能した免制震構造であっても、南海トラフの連動地震

による長周期地震動と共振して、大振幅の揺れが長時間継続することで建物の機能が喪失する可能性もある。また、直下地震による長周期パルス地震動に対して、制震建物では各種ダンパーの減衰性能の限界から、応答低減の効果をあまり期待できず、損傷を免れないこともありうる。免震建物では免震クリアランスを超える免震層の変形によって擁壁と衝突し、上部構造ならびに設備やIT機器が損傷することも起こりうる。

このような設計用地震動を遥かに超える地震動に対して、現状では耐震部材の断面性能を高めることや、ダンパーの設置数を増やすことで対応することとなる。しかし、免制震建物といえども損傷レベルを小さく抑えることができないのが現実であり、その限界を社会に情報発信しておくことは構造設計者としての責務となる。一方で都市の被害軽減策を早急に実行に移していくうえで、やはり一つ一つの建物の耐震性を高めることが得策で、免制震技術を高性能化して社会の期待に応えることが重要となる。さらに進んで、現在の免制震技術の開発期にあったような技術革新の機運を建築構造界で高めて、地震入力そのものを絶震して現状の免制震技術を超える次世代型の対震技術の開発を目指すことも必要と考える。このことは同時に、若い学生や、優秀なエンジニアと研究者を建築構造に引き込むことにもなる。

最後になるが、令和に引き継ぐ教訓として、平成の被害地震で残された貴重な記録がもつ重みは、何ごとにも代え難い。その記録の幾つかを次に記す。これらは一般の人々に地震への警鐘を鳴らすとともに、研究者の探求心を深めるものとなった。建築構造を専門とする者にとっても、平成に起こった被害地震の実際であることを忘れず、令和ではこれらの事象を超える大きな地震が発生することを念頭に、事前の備えを早急に進めることが肝要である。

阪神淡路大震災：

- ・震災の帯で観測された数少ない地表の強震動記録
- ・ポートアイランド鉛直アレーで観測された液化化地盤の記録

東日本大震災：

- ・巨大震源域内の複数の強震動生成域から発せられた長時間の強震動記録
- ・長周期地震動に共振する新宿超高層ビル群の長時間の揺れの動画
- ・震源から700km離れた大阪に建つ55階超高層ビルの長周期地震動による片振幅130cmの波形

#### 熊本地震：

- ・震度7を記録した益城町と西原村で観測された大振幅の長周期パルス波
- ・益城町庁舎1階で観測された強非線形の地盤-杭-建物連成系の有効入力動
- ・両振幅90cmとなる免震層の軌跡を残した罫書き記録

#### 4 まとめ

阪神淡路大震災後に棟数を着実に増やした免制震建物は、引き続き起こった平成の被害地震で、建

物の被害軽減や機能維持に効果を発揮した。しかし、平成の地震で観測された実記録の事実からも想定できるように、免制震建物といえども切迫度が高い南海トラフ巨大地震や都市直下地震の最大級地震に対しては万全とは言えず、上部構造に大きな損傷が生じることが懸念される。それ故、「平成に学び令和に生かす」ためにも、免制震の新技術の開発に向けた機運を建築構造界に高め、最大級地震の発生時にその効果を生かせるよう、事前の開発を速める必要がある。