

阪神・淡路大震災、東日本大震災、熊本地震の 教訓を活かし、来る大地震に備える

名古屋大学減災連携研究センター
センター長・教授 福和 伸夫

1. はじめに

令和が明けて半年強が経つ。筆者は、昭和を32年過ごし、その間に様々なことを学び、平成元年の春に学位を取得した。初めての地震被害調査は平成元年10月に発生したロマプリエタ地震である。そして、平成3年に名古屋大学に異動し、以後29年にわたって大学で教育・研究に携わってきた。まさに平成の30年間は私にとって人生で最も充実した期間である。

平成には、1995年兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）や2011年東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）、2016年熊本地震など数多くの被害地震を経験し、建築耐震工学にとっては多難な時代だった。しかし、様々な教訓も得、新たな技術も世に出した。強震動の理解が進み、免震や制振などの新たな技術も普及して、耐震工学の研究成果が大きく花開いた時代でもあった。その間には、建築基準法の改正や耐震基準の性能規定化、構造設計一級建築士制度の創設、耐震改修促進法による耐震化の進展、長周期地震動対策などが進んだ。一方で、耐震強度偽装事件、免震装置や杭打ちのデータ不正などの負の事件も発生した。

こういった中、南海トラフ地震や首都直下地震の切迫性が叫ばれている。令和の時代にこれらの地震と遭遇する可能性は高い。世界の人口が増加する中、日本は、人口減少と高齢化に伴う2030年問題や2050年問題を抱え、苦難な時代を迎える。その上に大きな地震被害を受ければ、国として将来は危うい。

そこで、本稿では平成の30年間の被害地震を、3つの地震を中心に振り返りつつ、そこで得られた教訓、耐震に関わる新たな技術や施策、その後の地震防災対策の動向についてまとめてみる。

2. 地震の活動期だった平成の30年

1995年兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）以降、西日本の地震活動が活発になったように感じる。災害対策基本法制定の契機になった1959年伊勢湾台風後の昭和後半の30年間と、平成の30年間を比較すると、平成の被害地震の多さに驚く。

昭和後半には無かった震度7の地震が、平成には、兵庫県南部地震、2004年新潟県中越地震、東北地方太平洋沖地震、熊本地震の前震と本震、2018年北海道胆振東部地震と、6つあった。昭和後半に最大の死者を出したのは104人の日本海中部地震だが、平成には、200人以上の犠牲者を出した地震は、2万人を超える東北地方太平洋沖地震、6千人を超える兵庫県南部地震、熊本地震、北海道南西沖地震と4つもある。

中部日本以西では、兵庫県南部地震、2000年鳥取県西部地震、新潟県中越地震、2005年福岡県西方沖地震、2007年能登半島地震、新潟県中越沖地震、2011年長野県北部の地震、静岡県東部の地震、2014年長野県北部の地震、熊本地震、2016年鳥取県中部の地震、2018年島根県西部の地震、大阪府北部の地震など、多くの地震が発生している。

南海トラフ地震が発生する数十年前から、西日本内陸での地震活動が活発になると言われる。すでに、前回の南海トラフ地震から75年が経つ。政府・地震調査研究推進本部は、今後30年間の地震発生確率を70～80%と評価している。中央防災会議の作業部会は、この地震による最悪の被害を死者（直接死）約32万3千人、経済被害214兆円、全壊・焼失家屋240万棟と予測している。さらに、2018年に土木学会は地震後20年間で1,410兆円を失って日本は世界の最貧国になると懸念を表明した。

3. 阪神・淡路大震災

平成の初期は、1990～91年に雲仙普賢岳の噴火があったものの、大きな地震は1993年釧路沖地震や、奥尻島を津波が襲った北海道南西沖地震、北方領土を襲った1994年北海道東方沖地震、三陸はるか沖地震など、北海道周辺での地震に限られていた。

突然、震度7の強烈な揺れが襲った1995年兵庫県南部地震では、建築物や土木構造物が甚大な被害を受け、6千人を越す犠牲者を出した。そして、その後の約十年間、鳥取県西部地震、芸予地震、新潟県中越地震、福岡県西方沖地震、能登半島地震、新潟県中越沖地震など、西日本での地震活動が活発になった。

(1) 被害の概要

1995年1月17日5時46分に六甲・淡路島断層帯の活断層が動き、M7.3の兵庫県南部地震が発生した。1948年福井地震の後に設定された震度7が初めて適用された。犠牲者は、死者6,434名、行方不明者3名であり、戦後最大だった1959年伊勢湾台風の死者・行方不明者5,098名を上回った。住家被害は全壊104,906棟、半壊144,274棟である。震災直後に死亡した人の約9割は、家の中で亡くなり、その大多数は家屋倒壊によるものだった。

ライフラインが長期間途絶し、ピーク時には、水道の断水が約130万戸、ガスの供給停止が約86万戸、停電が約260万戸にも上った。発電所が大きく被災しなかったため電気は早期に復旧したが、地中に埋設された水道管やガス管の復旧に数カ月を要した。家屋倒壊による道路閉塞に加え、高架の道路や鉄道の被害が甚大だったため、交通機関が長期間にわたって途絶した。このため、被災地の住民の生活は困難を極めた。また、東西を結ぶ大動脈の寸断により、全国各地の工場が操業停止に追い込まれた。

(2) 防災面での教訓

政府や自治体の初動対応が遅滞したため、危機管理能力を強化するため、政府に、内閣危機管理監や危機管理専門チーム、24時間体制の内閣情報集約センター、官邸危機管理センター、緊急参集体制などが整備された。合わせて、被害情報の早期把握のため、中央防災無線網の充実・強化や、ヘリコプターからの映像伝達システ

ム、地震被害早期評価システムなども整備された。気象庁も1996年に震度観測点を600ヶ所に増強し、体感震度を廃止して計測震度に移行した。また、自治体の初動対応の改善のために、消防庁が全国3千の自治体に計測震度計を整備した。

災害後の対応では、当時普及し始めていた携帯電話、電子メール、インターネットが有効に働いた。固定電話とファックスによる伝達と比べ、情報交換・入手が容易だった。このため、震災後、早期被害予測など、さまざまな災害情報システムが開発された。こういった流れの延長線上で、緊急地震速報が開発され、2007年より気象庁による本運用が始まった。また、都市ガスを中心にライフラインの防災対策や、自治体や民間企業の業務継続計画（BCP）も始まった。さらに、災害教訓を後世に残すため、人と防災未来センターが開設された。

発災後は延べ130万人以上のボランティアが被災者支援に当たり、ボランティア元年とも言われた。また、自衛隊が災害救援に大きく貢献し、災害時の自衛隊の役割の重要性を多くの国民が認識した。1998年には、ボランティア活動などの市民の社会貢献活動を支援するため、特定非営利活動促進法が制定された。また、同年には、被災者の自立再建を支援するために、被災者生活再建支援法が議員立法で制定され、個人の生活再建に国費を投じる道が開かれた。

(3) 地震調査研究面での教訓

震災以前は、社会の主たる関心は想定東海地震などのプレート境界地震で、活断層による地震は余り注目されていなかった。このため、震災後、直前予測を前提にした対策から、耐震化などの被害軽減対策へと地震対策のあり方が変わり、1995年に地震防災対策特別措置法が制定された。これに伴い、地震予知推進本部が廃止され、地震調査研究推進本部（地震本部）が設置された。

この地震では、淡路島から神戸市にかけて「震災の帯」と呼ばれる震度7の帯状地域ができた。当時は、現地調査によって家屋が3割以上倒壊している場所を震度7としていたため、発表に3日間を要した。地震観測体制も不十分だったため、震災の帯の中での地震観測記録は十分に得られなかった。

直下の活断層の破壊によるパルス状の強烈な揺れはキラパルスと呼ばれ、それまで観測されていた地震動とは大きく異なるものだった。震災後の調査研究により、

活断層が近接していることに加え、断層の破壊の仕方や地下の地盤構造による局所的な揺れの干渉・増幅が、特徴的な揺れの生成に関わっていることが分かった。

このため、地震本部が中心になって、活断層調査、堆積平野地下構造調査、強震観測網整備、地震の長期評価などが精力的に行われ、これらの調査結果を活用した強震動予測研究も進展し、2005年以降、地震動予測地図が策定され、毎年公表されるようになった。

(4) 建築面での教訓

甚大な被害の主たる原因は、旧耐震基準による既存不適格建物の存在だった。古い木造家屋が多く倒壊し、重要建築物に偏りがちだった耐震研究のあり方が問われた。

強震観測記録は少なかったものの、記録された揺れの強さは耐震基準で想定する揺れを上回るものであった。周期1秒前後のパルス的な揺れは、10階建て程度の建物や古い木造住宅にとって厳しいものだった。

RC造建物は、旧耐震基準の建物を中心に、ピロティ建築の1階層崩壊や中層建物の中間層崩壊が目立った。また、鉄骨造では、接合部の破断が多く見られ、高層住宅のメガ柱の脆性破断も話題になった。これに対し、1981年以降の新耐震基準による中低層建物の被害は軽微だった。ただし、RC造建物の被害率は、建物階数が増えるに従って高くなっており、建物高さによる耐震の実力の差が認められた。また、当時普及が始まった免震建物で、地震の揺れを大きく減じた観測記録が得られた。このため、地震後、免震建物が急増した。

震災後、12月に既存不適格建物の改修を促進するための耐震改修促進法が制定され、既存不適格建物の耐震診断や耐震補強が精力的に進められるようになった。また、応急危険度判定士制度も確立した。さらに、この地震を受けて、耐震化の実証研究のため、2005年に世界最大の振動台Eーディフェンスが兵庫県三木市に建設された。

建築行政に関連しては、1998年に建築基準法が改正され、建築確認・検査の民間開放、中間検査制度などの導入、建築基準の性能規定化などが行われた。これに伴って2000年より、構造計算の新たな検証法として限界耐力計算法が導入され、また、木造家屋の金物規定やバランス計算が強化された。

こういった中、2005年には耐震強度偽装事件が発覚

し、再発防止のため、2006年に建築基準法や建築士法が改正され、構造計算適合性判定制度や構造設計一級建築士制度が創設された。

兵庫県南部地震の発生で、西日本が地震の活動期に入ったとの見解もあり、震災後、南海トラフ沿いの地震に関する議論も活発化した。2001年の中央省庁の改編で新設された内閣府に、中央防災会議が移管されて以降、様々な防災施策が展開された。とくに、東海地震の震源域の見直しや、それに伴う東南海地震や南海地震に関する検討が精力的に実施された。その結果、1978年に制定された東海地震を念頭においた大規模地震対策特別措置法に加え、2003年に東南海・南海地震に係る地震防災対策の推進に関する特別措置法が制定され、その後、地震対策大綱も策定された。また、これらの検討の中で、巨大地震での長周期地震動の問題への懸念が示された。

まさにこのタイミングで2003年十勝沖地震が発生した。苫小牧の石油タンクが、長周期地震動によるスロッシングで炎上したことで、長周期地震動への関心が高まった。報道でも大きく取り上げられ、その後は、高層ビルに制振装置を設置することが一般的になった。

これ以降、内閣府や文部科学省によって様々な検討や研究プロジェクトが行われた。建築学会では、2007年度から構造委員会高機能社会耐震工学WG、2009年度から長周期建物地震対応WGにおいて検討が行われ、複合災害シンポジウムと題したシンポジウムを毎年開催した。そして、東北地方太平洋沖地震のちょうど1週間前に、検討結果の記者発表が建築会館で行われていた。

4. 東日本大震災

21世紀になって、東北地方で地震が続発した。2005年宮城県沖地震、2008年岩手・宮城内陸地震、2011年3月9日三陸沖の地震に続き、3月11日に東北地方太平洋沖地震が発生した。地震後には、多くの余震に加え、長野県北部地震、静岡県東部地震、福島県浜通り地震などの誘発地震が発生した。

(1) 被害の概要

2011年3月11日午後2時46分、日本では起きないと思われていたM_w9.0の超巨大地震が発生し、東北地方

太平洋岸を大津波が襲った。甚大な津波被害に加え、福島第一原発事故を招いた。消防庁によると、2019年3月1日時点での死者と行方不明者は、19,689人と2,563人で、多くは津波による犠牲者である。住家被害は全壊121,995棟、半壊282,939棟に上る。計画停電、液状化、帰宅困難、サプライチェーンの途絶、長周期地震動、天井落下など、多くの課題が発生した。

震源域が陸からある程度離れていたため、震度が概ね6強以下で、津波到達迄に30分程度の猶予があった。過去何度も津波に襲われてきた岩手県三陸海岸の死亡率は、明治三陸地震津波と比べ大きく減少した。特に、子供たちの死亡率は大人に比べ遙かに低く、防災教育の大切さが改めて認識された。

福島第一原子力発電所では、土砂崩れによる敷地内の鉄塔の倒壊、津波による非常用ディーゼル発電機の停止や受電設備の受電不能、冷却用ポンプの損壊などによって原子炉の冷却ができなくなり、水素爆発や炉心溶融が起きた。福島原発は、35m程度の標高があった場所を削って10mの敷地にしていた。869年貞観地震の津波痕跡を調べて標高を確保した女川原発とは対照的である。

原発に加え沿岸部の火力発電所も多数損壊した。このため、電力が大きく不足し、2週間にわたって計画停電が行われた。携帯電話の基地局も燃料不足により非常用電源が使えなくなり、通信も障害が生じた。このため、多くの工場が操業停止し、経済活動が停滞した。また、旧河道や、東京湾岸の埋立地を中心に、大規模な液状化被害が発生し、家屋の傾斜・沈下、地中埋設物の破損によるライフライン途絶などが起きた。さらに、仙台市郊外の丘陵地では谷を埋めた盛土造成地で地盤の変状による被害が発生した。

道路の途絶、津波で運ばれたガレキによる航路閉塞、仙台空港の津波被害、燃料不足による携帯基地局の電源不足などで、物流と通信が長期間途絶した。道路はくしの鹵作戦により短期に啓開されたが、燃料不足と車両不足が問題となった。物流の途絶と部品工場の損壊、計画停電などで、サプライチェーンに頼る製造業は、長期間にわたって事業再開が困難になった。

東京や大阪などの大規模堆積平野では、長周期地震動が増幅・伸長し、高層ビルを中心に強い揺れとなった。エレベーターが多数停止し、企業活動も影響を受けた。とくに、震源から700km以上も離れた大阪市咲洲では、高

さ256mの庁舎が、共振現象により3m弱もの揺れ幅を記録した。

また、首都圏を中心に、鉄道の運行停止による大量の帰宅困難者が発生した。深刻な道路渋滞も含め、遠距離通勤の都市社会の危うさが露わになった。

なお、東日本大震災の被災地域は広域に及んだが、被災者人口は阪神・淡路大震災と同程度だったため、地震規模は大きく異なるが、被害量は同じオーダーだった。

(2) 防災面での教訓

未曾有の被害を受け、地震後、中央防災会議に、「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会」が設置され、震災の教訓と今後の課題がまとめられた。その中で、想定外を繰り返さないため、最大クラスの地震を考えることの必要性が指摘され、ハードとソフトを組み合わせ、少しでも被害を減らす「減災」の考え方が提示された。

被災地復興に関しては、2011年に制定した東日本大震災復興基本法に基づき、2012年に復興庁を創設し、体制が整えられた。さらに、2013年に大規模災害からの復興に関する法律が制定された。また、津波対策に関しては、2011年に、津波対策の推進に関する法律、津波防災地域づくりに関する法律が制定され、各地での津波対策が推進されることになった。さらに、レジリエンスという概念が注目され、2013年に防災・減災等に資する国土強靱化基本法が制定され、2014年にはこの法案に基づき国土強靱化基本計画が策定された。

震災後、切迫する南海トラフ地震の対策検討も本格化した。内閣府は、南海トラフの巨大地震モデル検討会を設置して、想定すべき地震のモデルを検討した上で地震動や津波を予測し、2012年3月に「南海トラフの巨大地震による震度分布・津波高について(第一次報告)」を公表した。さらに、中央防災会議に南海トラフ巨大地震対策検討ワーキンググループを設置し、被害想定を行うと共に、2013年5月に「南海トラフ巨大地震対策について(最終報告)」をまとめた。

また、気象庁は、2011年に長周期地震動に関する情報のあり方検討会、2012年以降は長周期地震動に関する情報検討会を設置し、長周期地震動に関する情報提供のあり方を検討し、2013年11月から試行的に「長周期地震動に関する観測情報(試行)」を発表するようになった。2019年3月からは、本運用が始まっている。

(3) 建築面での教訓

津波被災地では、津波の波力によって多くの軽量の木造家屋や鉄骨造建築物が流され、重い鉄筋コンクリート造建物の杭が引き抜けて転倒する事例も認められた。このため2011年に、国土交通省告示で「津波浸水想定を設定する際に想定した津波に対して安全な構造方法等を定める件」が定められた。震災では官庁建物の津波被害が大きかったため、2013年に官庁施設の総合耐震・対津波計画基準と官庁施設の津波防災診断指針が制定され、2017年には国土技術政策総合研究所から「災害拠点建築物の設計ガイドライン(案)」が公表された。

茨城空港や、九段会館、ミュゼ川崎シンフォニーホールなどでは、大規模な天井落下があり、多くの工場やビルで天井や2次部材が落下・脱落した。建物内外の什器や機器の転倒も多かった。このため、国土交通省は2013年に建築基準法施行令を改正し、天井脱落防止に関する規定を定め、脱落によって重大な危害を生ずるおそれがある天井を「特定天井」とし、規制を強化した。

長周期地震動に関しては、前述の南海トラフの巨大地震モデル検討会で、長周期地震動の検討が行われ、2015年12月17日に「南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動に関する報告」がまとめられた。

国土交通省は、内閣府の発表の翌日12月18日に、「超高層建築物等におけ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案について」を公表し、意見募集を行った。これは、2010年12月に出された「超高層建築物等における長周期地震動への対策試案」の改訂版とも言えるものである。地域ごとに長周期地震動が卓越する周期帯域を定め、告示スペクトルを増幅させたものであり、これまでの倍程度の揺れになる場所もできた。

その後、2016年6月に「超高層建築物等におけ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について」が示され、「2017年4月1日以降に申請する性能評価に基づき超高層建築物等を新築する際の大臣認定の運用を強化する」との方針が示された。

5. 熊本地震

東日本大震災が発生した後は、誘発地震が各地で発生していたが、西日本での地震活動は一息ついていた。そんな中、2016年に熊本地震が発生した。

(1) 被害の概要

2016年4月14日21時26分頃に日奈久断層東部でM6.5の地震が起き、さらに25時間後の4月16日1時25分頃に隣接する布田川断層でM7.3の地震が発生した。観測史上初めて最大震度7を2回記録し、さらに最大震度6強の地震が2回、6弱の地震が3回も発生した。活発な余震活動に続き、10月8日には阿蘇山が36年ぶりに爆発的な噴火をした。

この地震による犠牲者は、直接死50名に加え震災関連死などを含め273名、住家被害は全壊8,667棟、半壊34,719である(消防庁、2019年4月12日)。直接死の数は同じ地震規模の阪神・淡路大震災の1/110、住家の全壊数は1/12、全壊数に対する直接死者の比は1/10程度である。関連死が直接死の4倍以上にもなった理由の一つは、前震の強い揺れによる事前避難にある。本震で倒壊した家屋に滞在していた住民が少なく、直接死が減じられたためと考えられる。

九州は南北に引っ張られている。この力によりできた溝状の地形が別府-島原地溝帯であり、ひび割れが地溝帯の南縁に位置する横ずれ断層の布田川断層や日奈久断層である。地溝帯の東には別府-万年山断層帯が、さらに東には中央構造線がある。また、引張力による亀裂を通してマグマが上昇し、阿蘇山、九重山、雲仙岳などの火山ができる。さらに、マグマが地下水を熱し、湯布院や別府の温泉を生み出す。火山の山々は、季節風を受け止め雨の恵みをもたらす。一方で、火山活動によって堆積した地盤は土砂災害を起こしやすい。2017年7月の九州北部豪雨での甚大な土砂災害は記憶に新しい。

(2) 防災面の教訓

日本の災害時の対応は、被災自治体からの要請に応じて、県や国が支援をするプル型対応が基本だが、熊本地震では、はじめてプッシュ型の支援が行われた。これにより、早期の支援活動が実現できた。熊本地震の課題については、地震後、中央防災会議に熊本地震を踏まえた応急対策・生活支援策検討ワーキンググループが設置され、2016年12月に報告がまとめられている。

(3) 建築面の教訓

活断層による地震は同じ場所では稀にしか起きないので、最低基準である建築耐震基準では活断層近傍の強い揺れは余り想定していない。このためか、熊本地震で

は、宇土市役所をはじめ業務継続ができなかった防災拠点点が散見された。地震地域係数も含め、重要施設の耐震設計のあり方が問われた。また、西原村役場の観測波形は、フリングステップとよぶ大きな残留変位を伴うものだった。断層ずれによる大変位長周期パルスが長周期構造物に与える影響は、新たな研究課題である。

6. 大阪府北部の地震と 北海道胆振東部地震

2018年には、4月9日に島根県西部の地震、6月18日に大阪府北部の地震、9月6日に北海道胆振東部地震が発生した。その教訓について簡潔に記す。

(1) 大阪府北部の地震

2018年6月18日7時58分、M6.1の地震が発生し、最大震度6弱の揺れが大阪都市圏を襲った。地震規模は大きくはなかったが、人口が集中し家屋が密集する大都市ゆえ、6人の犠牲者と400人を超える負傷者、全壊21、半壊483、一部損壊6万以上に上る住家被害となった。同じ地震規模の島根県西部の地震と比べ遥かに多くの被害であり、大都市の脆弱さを露わにした。

1995年兵庫県南部地震のときの大阪府の震度は4、死者は31人、全壊家屋数895棟だった。大阪府北部の地震では、最大震度6弱なのに死者6、全壊21である。強い震度なのに被害が減じられたのは、耐震化の成果のように見える。実は、大阪府内の震度観測点が1点から88点に増えたことで最大震度が大きくなった。大阪管区気象台の揺れを比較すると、家屋被害に関わる周期1秒前後の揺れは兵庫県南部地震の方が数倍大きい。

この地震の犠牲者は塀の倒壊や本棚の転倒などによる。ブロック塀の問題は、1978年宮城県沖地震の後、大きな社会問題となり、耐震基準が改訂されてきたが、不遑及の原理のため未だ危険な古い塀が多く残っている。いずれも、古くて新しい課題である。

地震が発生した7時58分は、通勤・通学時間帯に重なる。鉄道各社の相互乗り入れのため、運行停止の影響が広域に波及し、多くの人が出勤困難になった。大都市ゆえ、エレベータに頼る中高層の建物も多い。地震によって6万3千基のエレベータが緊急停止し、346台で閉じ込めが発生した。大都市ならではの課題である。

(2) 北海道胆振東部地震

2018年9月6日午前3時7分に、北海道胆振地方東部で深さ37kmを震源としたM6.7の地震が発生し、震源に近い厚真町で震度7の揺れを記録した。消防庁によれば、2019年4月1日現在の死者は厚真町の36人を中心に43人である。この地震で顕著だったのは、厚真町などの大規模土砂崩れである。強い揺れと前日の台風21号が関係し、4万年前の支笏カルデラ噴火などで噴出した火山堆積物が崩れた。また、札幌市清田区では火山灰で埋め土した住宅地が激しく液状化が発生した。

この地震で特筆される被害は、北海道の孤立とブラックアウトである。新千歳空港が閉鎖され北海道新幹線が止まり、550万人の道民が住む北海道が孤立した。北海道の消費電力の半分以上は新鋭の苫東厚真火力発電所が担っていたが、強い揺れで停止し、需要と供給のバランスが崩れ、北海道全域でブラックアウトが発生した。2019年9月の台風15号による千葉県の大規模の停電も含め、電気に頼る現代社会の弱さが明らかとなった。

7. おわりに

令和の時代になり、南海トラフ地震や首都直下地震などの発生が危惧される。少子高齢化で国力が衰える中、何としても地震被害を軽減しなければ、日本の存立が危ぶまれる。最も重要なことが建築物や土木構造物の耐震化などの事前の被害軽減対策であり、建築・土木技術者の役割は極めて大きい。「彼を知り己を知れば百戦殆うからず」で、「災い転じて福となす」社会を実現したい。