

10年の歩みとこれからの建築物

前田 匡樹*

耐震構造や地震工学は、経験工学であるといわれる。これまでの幾多の地震災害から学び、その教訓に基づいて、建築物の耐震設計法や構造技術は少しずつ進歩・発展してきた。1995年阪神淡路大震災の被害を契機に、建築物の耐震改修促進法が制定され、既存建築物の耐震診断や耐震改修は全国的に広く普及した。その結果として、2011年東日本大震災では地震動による鉄筋コンクリート造建築物の被害は、過去の大震災と比較すると減少した。東日本大震災から10年間にも、地震災害が発生し、また、地球温暖化による豪雨災害なども頻発するようになってきた。大規模化、複合化する災害が発生しても、高度な機能を有する社会活動を維持し、速やかに回復させるためには、建築物の倒壊や大破などの人命に危害を及ぼす被害を防止するのみならず、建築物の機能を維持し継続使用を可能にする、また、被害を最小限にとどめて容易に復旧できるようにする技術の重要性が高まっている。また、政府が掲げる2050年カーボンニュートラルに貢献する低炭素型の建築材料、建設技術、工法の開発・普及もこれからの建築物に望まれる。

キーワード：建築物、鉄筋コンクリート構造、継続使用・機能維持、カーボンニュートラル

1. はじめに

本稿では、筆者の専門である鉄筋コンクリート（以下、RC）造建築物を中心に2011年東日本大震災による建築物の被害、その後の歩み、そして、これからの建築物に必要な課題について概説する。

2. 東日本大震災による建築物の被害

2.1 地震動による被害

2011年東日本大震災は、地震動による建築物の被害に加えて、津波、さらには、福島第一原子力発電所の事故により、未曾有の大災害を引き起こした。建築物の地震動による被害は、広範囲で大きな震度が観測された割には、1995年阪神淡路大震災や2004年新潟県中越地震など過去の大地震と比較すると、比較的少なく限定されたものであった。

図-1は、1995年阪神淡路大震災のあとに筆者らが行ったRC造学校校舎の被害率（神戸市灘区・東灘区全151棟）の調査結果である¹⁾。1971年以前の建物では、倒壊・大破（復旧は困難で改築が必要）の建物が約1割で、4割程度の建物が中破（復旧は可能であるが大規模な工事が必要）以上の被害を受けている。これに対して、1982

年以降の建物は倒壊・大破は無く、中破が数%、小破を合せても10%程度と、被害率にはきわめて大きな差がある。これは、1971年、および、1982年の建築基準法の耐震設計規定の改正・強化により耐震性能要求レベルが向上したからである。この建築年代による耐震性に関する結果に基づき、1995年12月に耐震改修促進法が制定され、全国的に耐震診断・耐震改修が実施され普及した。

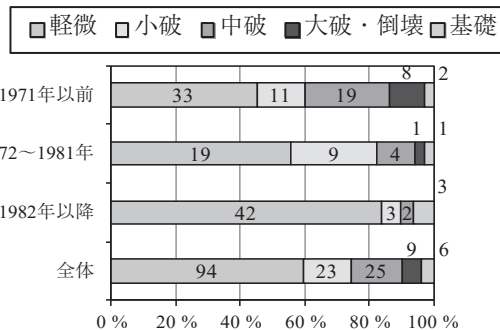


図-1 1995年阪神淡路大震災によるRC造学校校舎の建設年代別被害率¹⁾

図-2は、2011年東日本大震災における同様の被害率の調査である^{2,3)}。対象は宮城県の5市町（仙台市・大崎市・塩釜市・七ヶ浜町・栗原市）の公立小中学校546棟である。1971年以前の建物、1972年～1981年の建物は、診断や補強により所要の耐震性が確保されているもの（診断／補強済）と、耐震補強が必要であるが未対策のもの（未補強）に分類して示した。1981年以前で未補強の建物の被害率を1995年阪神淡路大震災と比較すると、中破以上の大きな被害の割合は、2011年東日本大震災の方が小さい。これより、地震の揺れそのものも、阪神淡路大震災のような直下型地震よりやや小さかったことが分かる。“診断／補強済”と“未補強”の被害率を比較すると、“診断／補強済”



*1 Masaki MAEDA

東北大学大学院
工学研究科 教授

の被害率が顕著に減っており、1982年以降の現行の耐震基準による建物と同程度であり、耐震診断や耐震補強により、既存建物の耐震性能が新しい建物と同等なレベルまで大きく向上していることが明らかとなった。

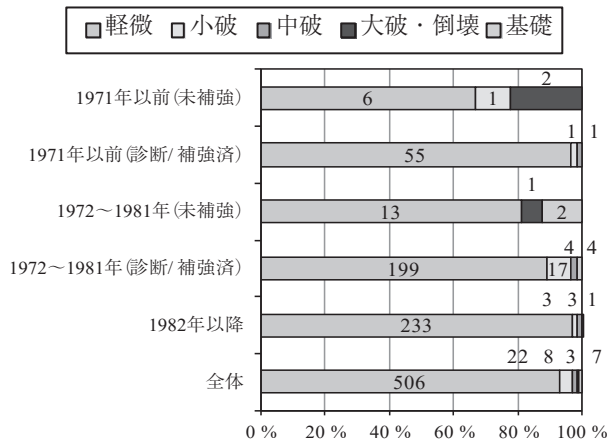


図 - 2 2011年東日本大震災によるRC造学校校舎の建設年代別被害率(文献2)に一部加筆

建築物の構造躯体の耐震性が耐震設計法の改正や、耐震補強の普及により向上した結果、倒壊や大破といった被害が減少した一方で、写真 - 1 に示すようなRC造2次壁のせん断破壊や、写真 - 2 に示すような天井の落下など、非構造部材の被害は多く見られた。耐震設計や耐震診断・改修では、構造躯体の耐震性能を確保するが、非構造部材の対策は、必ずしも十分ではないことを示している。RC造2次壁の被害は、建物全体の耐震性そのものには大きな影響はないものの、使用者にとっては問題であり、補修・補強などの復旧工事に時間と費用を要することとなる。



写真 - 1 RC造集合住宅の非構造壁のせん断破壊

天井の落下は、特に体育館やホールなどの天井が高い建築物で多く見られる。人命に危害を及ぼすだけでなく、災害後の避難所として使用ができなくなる問題となる。

2.2 津波による被害

2011年東日本大震災では、地震動による被害よりも、地震後に発生した大津波による多数の人的被害、建物・住家などの流出などの甚大な被害が発生し、振動被害を大きく上回った。RC造建築物では、多くの場合は、写真 - 3



写真 - 2 落下した体育館の天井

のように、津波そのものや漂流物により、窓・建具、設備機器などが流失する壊滅的な被害を受けたが、RC躯体そのものが倒壊するような被害は見られなかった。なかには写真 - 4 のように、倒壊したRC造構造物も見られたが、全体としては、RC造建築物は、木造、鉄骨造と比較して被害は限定的であった。



写真 - 3 津波で被災したRC造学校校舎



写真 - 4 津波で倒壊したRC構造物

3. 震災後の歩み

東日本大震災後の10年間には、2016年熊本地震などのいくつかの地震災害が発生し、RC造建築物にも被害が生

じた⁴⁾。日本建築学会・文教施設小委員会・熊本地震学校建築被災度判定WGの報告書⁴⁾によると、RC造建築物の被害の傾向は以下のようにまとめられている。

- 1) 大破などの深刻な被害は、新耐震設計法(1982年)以前に設計された建築物、とくに、1階が駐車場などのピロティ構造の建築物(写真-5)がほとんどであった。
- 2) 耐震診断・耐震改修などの対策済みの建築物の被害は少なく、対策が有効に被害防止に機能した。
- 3) RC造2次壁や外壁仕上げ材、天井などの非構造部材の被害(写真-6)は多くの建物で見られ、修復のために費用が発生する／継続使用が不能となるなどの事例が発生した。

これらの被害傾向は、2011年東日本大震災と同様である。国土交通省の資料⁵⁾によると、多数の者が利用する建築物の耐震化率は、平成15年(2003年)に75%であったものが、平成20年(2008年)に80%、平成25年(2013年)に85%、平成30年(2018年)に89%と着実に進んでいる。今後もこれらの対策を着実に進めていくことが、地震動による建築物の倒壊を防ぐ基本となる対策と思われる。

建築物の地震防災対策として、①耐震診断や耐震改修などの震前対策と、②応急危険度判定・被災度判定から復旧に至る震後対策がある。ここまで述べてきたように、震前対策としての建築物の耐震化は(非構造部材を除いて)かなり成果をあげつつある。もうひとつの対策である震後対策では、地震発生直後に実施し余震に対する危険性を判



写真-5 層崩壊したピロティを有するRC造集合住宅



写真-6 集合住宅のRC造2次壁の被害

定し2次災害を防止するための応急危険度判定⁶⁾、および、被害を復旧して建築物を使用するための被災度区分判定⁷⁾がある。その一般的な適用フローを図-3に示す。

応急危険度判定については、全国の自治体ごとに判定士組織が整備され、地震被害のたびに、速やかな判定開始から終了にいたるまで課題はあるものの、判定活動が実施されるようになり、2次災害の防止に貢献している。

被災度区分判定については、2011年東日本大震災の経験を踏まえて、新しい架構の崩壊形式に対応する判定法や、RC造2次壁の被害や津波被害の判定法が検討され⁸⁾、2015年改訂版⁷⁾に追加されている。

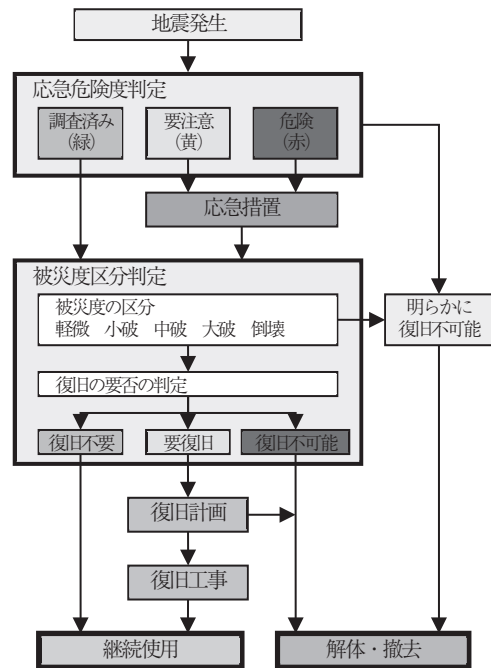


図-3 建築物の震災復旧の一般的な流れ

4. これからの建築物

4.1 多発し複合化する災害に対する対応

1995年阪神淡路大震災以降、日本列島は地震の活動期に入ったといわれており、最近も繰り返し地震が発生しており、今後も巨大地震や、地球温暖化による豪雨などの災害の発生が懸念されている。一方で、社会活動、経済など都市の機能は高度化がより進んでおり、災害発生時にも機能を維持できるレジリエントな社会を実現することが重要な課題となっている。

ここまで述べてきたように、建築物の構造躯体の耐震化対策は成功している一方で、設備機器や天井・間仕切り壁(非構造壁)など被害が目立つようになりつつある。東日本大震災の際に、首都圏の高層オフィスビル、高層マンションなど大規模高層建築でも非構造部材に損傷が発生して、多くの避難者が発生した。

建築物に対しては、これまでの想定(設計基準のレベル)を上回る極大地震に対しても、倒壊を防止するだけでなく、機能を維持する(継続使用可能)、あるいは、容易に修復し復旧できる状態に留めるレジリエントな建築を実現

する技術がより重要になると思われる。

このような取組の例として、東京工業大学を中心とする JST・OPERA プロジェクト「大規模都市建築における日常から想定外の災害時まで安心して社会活動が継続できる技術の創出」(研究代表・吉敷祥一教授)⁹⁾の研究目標を図-4に示す。社会・経済機能の中枢機能が集約される大規模都市建築を対象に、極大地震をはじめとする自然災害に対しても、安心して社会活動が維持できる技術を開発するために、構造物としての耐震性だけでなく、平常時から非日常まで建物の機能・人の社会活動を継続させる高層建築システムを実現するための研究が行われている。

この例のように、今後の建築物に対して、

- 1) 非構造部材を含めた構造設計・耐震性能評価。とくに、継続使用、修復可能限界の評価法
- 2) センサーなどを用いた構造ヘルスマニタリングとそれに基づく応急危険度・被災度判定法の開発などの技術が今後必要になると考えられる。

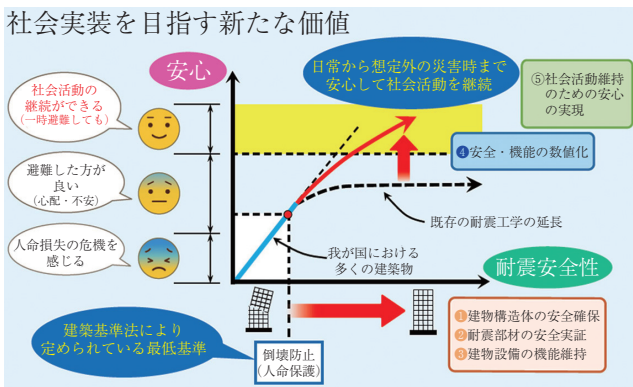


図-4 東京工業大学 SOFTech の研究概要⁹⁾

4.2 地球環境問題に対する対応

日本政府は、「2050年カーボンニュートラルの実現」を重要な政策課題のひとつとして位置付けており、建築の分野でも、カーボンニュートラルに対する取組が必要になってくるものと考えられる。近年では、温暖化による豪雨災害の発生や、地球温暖化を防止するためのCO₂削減などの取組は、持続可能な社会の構築に加えて、豪雨災害を防止するためにも、今後重要な課題になると考えられる。

RC造の分野では、使用材料であるコンクリートや鉄筋の製造や運搬・建設の過程で排出されるCO₂を削減する方策を考えていくことが求められる。コンクリートに関しては、セメント使用量を減らし、コンクリート製造時にCO₂を吸収・固定する環境配慮型のコンクリート¹⁰⁾も開発されている。

また、再生可能資源である木材を建築分野に積極的に活

用することが求められており、平成22年10月に施行された「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」が、令和3年10月に「脱炭素社会の実現に資する等のための建築物等における木材の利用の促進に関する法律」¹¹⁾と改正される予定で、公共建築にかぎらず、建築物への木材利用が今後拡大していくものと考えられる。

5. おわりに

1995年阪神淡路大震災以降の20余年で、公共建築物を中心に耐震診断・耐震改修が進み、RC造建築物が倒壊し、多くの人的被害が発生することは減ってきた。その点では、建築物の耐震化対策は成功している。一方で、設備機器や天井・間仕切り壁(非構造壁)など被害が目立つようになりつつある。地震防災対策として、建物の倒壊を防止して人命や財産を守ることが最優先事項であるが、それが達成されつつあるとすると、災害後に建物が速やかに復旧できる状態にすることが次の課題となる。

参考文献

- 1) 日本建築学会：阪神・淡路大震災調査報告 建築編-1 鉄筋コンクリート造建築物, 1997.
- 2) 高橋香菜子, Hamood AL-WASHALI, 前田匡樹：2011年東北地方太平洋沖地震における宮城県内のRC造校舎の耐震性能と被害傾向の検討と被害事例, コンクリート工学年次論文集, 第34巻第2号, pp.1099-1104, 2012.7.
- 3) 日本建築学会：2011年東北地方太平洋沖地震災害調査速報, 2011.
- 4) 日本建築学会・文教施設小委員会・熊本地震学校建築被災度判定WG：文教施設の耐震性能等に関する調査研究(平成28年度)報告書, 2017.3.
- 5) 国土交通省・住宅・建築物の耐震化について, https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/jutakukentiku_house_fr_000043.html, (閲覧日 2021.9.1)
- 6) 日本建築防災協会：被災建築物応急危険度判定マニュアル, p.97, 1998.6.
- 7) 日本建築防災協会：2015年改訂版 震災建築物の被災度区分判定基準及び復旧技術指針, 2015.
- 8) 前田匡樹：2016年熊本地震における被災度区分判定の適用事例と今後の展開(鉄筋コンクリート造・鉄骨鉄筋コンクリート造), 建築防災 2018年5月号, pp.1-11, 2018.5.
- 9) 東京工業大学 OERA 社会活動継続コンソーシアム：<http://www.softech.titech.ac.jp/overview.html>, (閲覧日 2021.9.1)
- 10) ランデス(株) 環境配慮型コンクリートCO₂-SUICOM(スイコム), <https://www.landes.co.jp/product/113>, (閲覧日 2021.9.1)
- 11) 林野庁, 公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律(改正後：脱炭素社会の実現に資する等のための建築物等における木材の利用の促進に関する法律), <https://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/koukyou/>, (閲覧日 2021.9.1)

【2021年9月2日受付】