

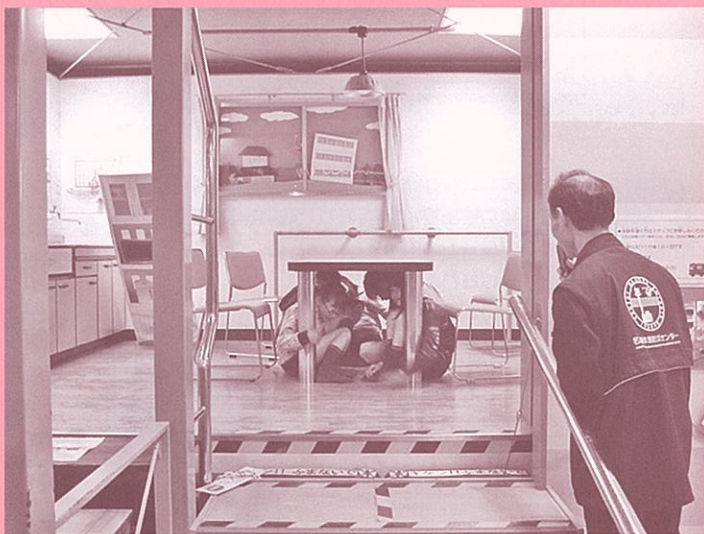
建築防災

2013.6

〈目次〉

- ◆防災随想
 - ◇木の触れる機会 中島修一 1
- ◆特集「防災体験学習施設 その3」
 - ◇名古屋市港防災センター 大場玲子 3
 - ◇長野市防災市民センター 笠井英俊 7
 - ◇浜松市消防局一防災展示ホール 牧田正稔 11
 - ◇京都市市民防災センター 南部雄二 15
 - ◇大阪市立阿倍野防災センター 大阪市消防局予防部予防課 19
 - ◇福岡市民防災センター 公益財団法人 福岡市防災協会 22
- ◆既存建築物耐震改修ネットワーク委員会報告
 - ◇東日本大震災における耐震診断・耐震補強が行われた鉄骨造文教施設の震動被害 山田 哲 26
 - ◇2011年東北地方太平洋沖地震によるRC造建物の被害 前田匡樹 32
- ◆建築防災関連用語一似ているがここが違う― 特集続編②
 - ◇「エレベーター」「非常用エレベーター」 中里眞朗 39
- ◆寄稿
 - ◇エルサルバドルにおける低中所得者向け住宅に関する耐震技術基準 本多直巳 41
 - ◇つるぎ町立半田小学校 耐震改修優秀建築賞受賞を児童たちに伝える「伝達式」の開催 多田善昭 47
- ◆行政ニュース
 - ◇第20期火災予防審議会答申の概要 東京消防庁 予防部予防課 防災部震災対策課 49

特集「防災体験学習施設 その3」



耐震マーク

一般財団法人 日本建築防災協会

The Japan Building Disaster Prevention Association

2011年東北地方太平洋沖地震によるRC造建物の被害

まえだまさき
前田 匡樹

東北大学大学院都市・建築学専攻 教授

1 はじめに

2011年3月11日午後2時46分に東北地方太平洋沖を震源とする地震が発生し、東北地方から関東にかけて太平洋沿岸地域の広い範囲で、地震動、及び、津波による甚大な被害をもたらした。

本稿では、最初に筆者が在住する宮城県のRC造学校建築の被害状況を概観し、地震動による被害の低減に耐震診断・耐震改修の効果が見られたことを示す。次に、それほど多くは無いながらも今回の地震で見られたRC造建物の特徴的な被害、今後の耐震設計などに教訓を与える被害事例について報告する。

2 宮城県の学校建物の被害の概要

(1) 建物の建設年代

筆者は、日本建築学会の学校建築委員会に設けられた耐震性能小委員会（主査：壁谷澤 寿海 東京大学教授）の活動として宮城県を中心として学校施設の被害調査と復旧支援活動を行った。本章では、上記委員会の被害調査結果のうち、筆者が活動した宮城県の調査結果¹⁾を紹介する。

被害調査の対象建物は、基本的に被災地の教育委員会から文科省を通じて調査依頼のあった文教施設であり、公立学校108校243棟、私立学校17校30棟、社会教育施設40施設51棟で、うちRC造建物は公立学校105棟、私立学校10棟、社会教育施設19棟である。宮城県全体に公立小中学校は校舎、体育館等含め、686校2371棟あることから、およそ10%程度の学校建物に被害が生じたことになる。文部科学省の調査では、2010年3月時点の宮城県の校舎、体育館等含めた小中学校施設の耐震化率は93.5%と、全国平均である73.3%を大きく上回っていた¹⁾。このように耐震化率が高かったことは、被害の低減に大きく貢献したと考えられる。

被害調査を行った地域のうち、主として震動被害が見られた地域である仙台市、大崎市、塩釜市、七ヶ浜町、栗原市内の全ての公立小中学校RC造校舎546棟に関して、建設年代や耐震診断・耐震改修

の実施状況と被害率の関係を調べた。この546棟のうち、上記の委員会に調査の依頼があった建物、すなわち、ある程度の構造的被害が生じたと思われるのは63棟（約12%）である。これらの建物の建設年代ごとの被害率を図1に示す。ここで、建設年代は、建築基準法の耐震規定の改正年により以下のように分類した。

第一年代：1971年以前

第二年代：1972～1981年

第三年代：1982年以降

また、調査依頼の無かった483棟については、被災度を「軽微」とした。

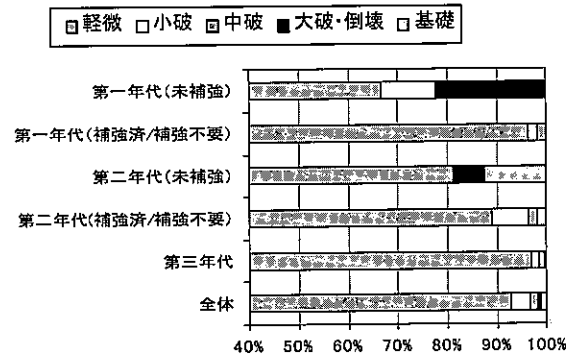


図1 RC造学校校舎の建設年代別被害率 (宮城県の5市町、2011年東日本大震災)

図1より以下の傾向が読みとれる。

- ・「大破」は、第一年代、第二年代で未補強の建物に集中している。
- ・第一年代、第二年代の建物でも、耐震補強済み、あるいは、診断で補強不要と判定された建物の被害率は、未補強のものと比較して大幅に少ない。
- ・補強済み、補強不要の建物では、「中破」の割合が数%程度で、第三年代（1982年以降）と同程度である。

したがって、耐震診断・耐震補強は、1981年以前の既存建物に対して、1982年以降の建物と同等の耐震性を確保し、この地震による建物被害の低減に大きく貢献したと言える。

(2) 1995年兵庫県南部地震による被害との比較

1995年兵庫県南部地震でも同様の被害率の調査が行われている。図2に、全数調査が行われた神戸市灘区・東灘区のRC造学校校舎の統計である。

図1と図2を比較すると、各地震の年代別被災度を比較すると、兵庫県南部地震では1981年以前建設の建物の被災度が大きい。東北地方太平洋沖地震でも同様に第一、二年代の被害が比較的甚大である。第三年代で、中破・小破の被害率は、兵庫県南部地震で10%程度であるのに対して、東北地方太平洋沖地震では%程度であり、地震動が小さかったと考えられる。1981年以前の建物では、特に未補強の建物の被害率が最も高い。耐震補強不要と判定された建物や、耐震補強済の建物は未補強より被害率が低く大破した建物はなかったが、小破・中破は10%弱程度で、新耐震の建物より高い傾向が見られた。

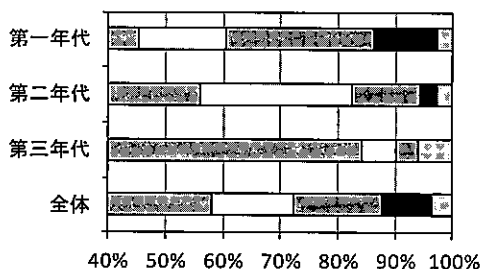


図2 RC造学校校舎の建設年代別被害率
(神戸市東灘区・灘区、1995年兵庫県南部地震)

3 耐震診断により補強不要とされた建物の被害

(1) 強度型建物と靱性型建物の被害

写真1は、仙台市のTH小学校校舎である。RC造3階建の校舎で、Exp. Jにより、東校舎(1973年建設)と西校舎(1974年建設)に区画されている。いずれも耐震診断が行われ、東校舎は $I_s = 0.5$ 程度(強度指標 $C = 0.5$ 、靱性指標 $F = 1$ 程度)で補強が必要、西校舎は $I_s = 0.8$ 程度($C = 0.4$ 、 $F = 2$ 程度)で補強不要と判定された。その結果、比較的強度の高い東校舎に対しては、RC造壁と鉄骨ブレースの増設による耐震改修が行われ実施され、深刻な被害は見られなかった。一方、耐震改修が不要と診断された西校舎では、写真2のように、廊下の北側の構面の短柱がせん断破壊し(被災度は中破)、地震後に継続使用することができなかった。これらの短柱は、耐震診断では“第2種構造要素”には該当しな

いとして I_s 値の集計で無視されたもので、実際、これらがせん断破壊しても建物は倒壊していないことから、診断の結果通りともいえるが、被災後の建物の継続使用の観点からは問題となった例である。



写真1 TH小学校校舎の全景

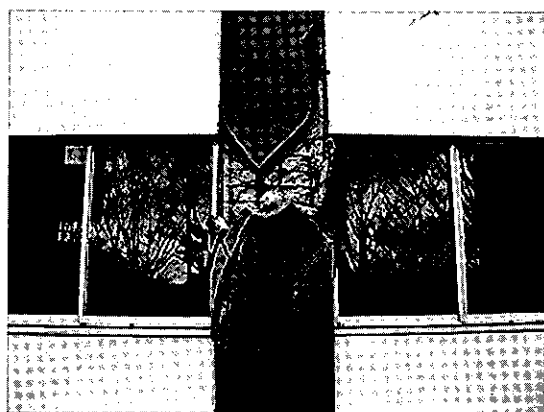


写真2 西校舎1階の短柱のせん断破壊

(2) RC造非構造壁(2次壁)の被害

1982年以降の新耐震設計法による建物も含めて、柱・梁などの構造躯体の損傷が軽微であるにも拘らず、2次壁、方立て壁などの非構造部材に大きな損傷が発生し、建物が使用できなくなった被害事例は、高層集合住宅などで多数みられた。

写真3は、仙台市のS集合住宅である。SRC造11階建で、耐震診断の結果、補強不要と診断された建物である。柱・梁などの構造躯体には、曲げひび割れ以外に大きな損傷がないが、バルコニー側構面の方立て壁に下層階から高層階までせん断ひび割れが発生し、せん断破壊した壁も多数みられた(写真4)。また、廊下側の構面でも、図3及び写真5に示すように入出口ドアや窓周りの非構造RC壁が多くの階でせん断破壊した。



写真3 S集合住宅の全景



写真4 外側構面の2次壁のせん断破壊

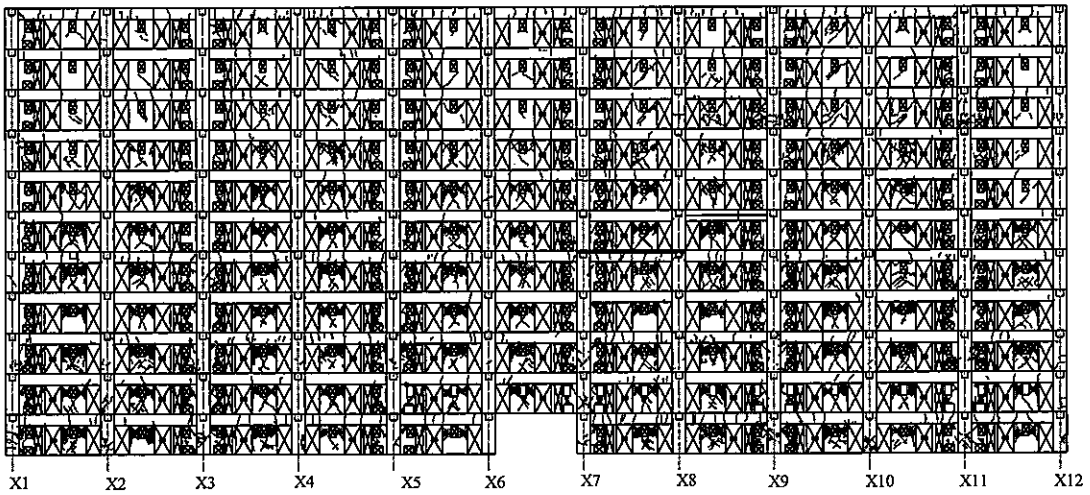


図3 S集合住宅の廊下側構面の2次壁のひび割れ状況

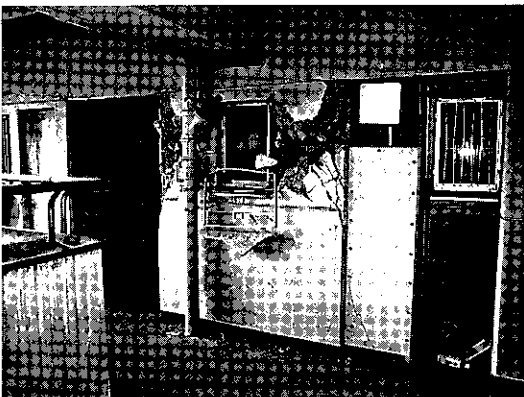


写真5 廊下側構面の2次壁の損傷状況

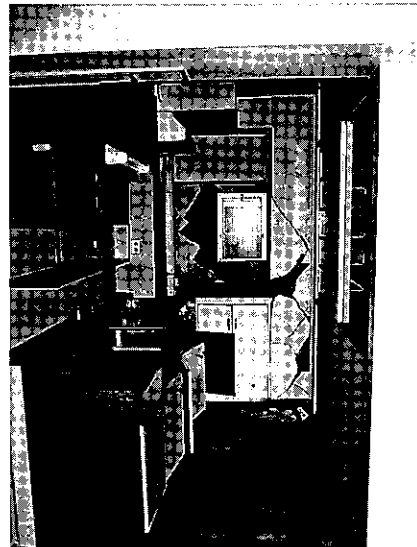


写真6 室内から見た2次壁の損傷

柱・梁などの構造架構の損傷は軽微であることから、被災度としては小破程度に分類されると思われるが、写真5や写真6のように2次壁の損傷が著しいため、居住者の不安が大きく、この建物は地震後に居住者が退去し解体撤去されることとなった。

4 耐震補強した建物の被害

(1) RC 曲げ壁による靱性型補強建物

写真7は、東北大学（仙台市青葉区）の工学部人間・環境系研究棟の全景である。SRC造9階建て、2階建ての低層部分の上に9階まで高層棟がある。

1978年の宮城県沖地震で妻壁のRC耐震壁や梁などのせん断ひび割れなどの被害を受け²⁾、その後、補修して継続使用されていた。その後、2001年に耐震改修が行われ、主に桁行き方向には鉄骨ブレース補強、張間方向には妻構面のRC造壁の新設（既存壁を撤去してコンクリートは打ち直し）が行われた。

この地震では、高層棟脚部にあたる3階の妻壁の脚部にひび割れが生じ（写真8）、側柱（平面4隅の柱）が激しく圧縮破壊（写真9）して大破した。

図4に1978年宮城県沖地震での、図5に2011年の地震での妻壁のひび割れ状況を示す。1978年宮城県沖地震では、妻壁に典型的なせん断ひび割れが発生したのに対して、2011年は3階部分の壁板のひび割れは減少した代わりに、写真10のように3階床レベルの壁脚に損傷が集中していることが分かる³⁾。上述のように妻壁は、既存壁を撤去して交換した耐震補強壁であるが、既存の壁の鉄筋を300mmほど残して切断するとともに、あと施工アンカー（D13@150ダブル）を梁に打設して、新しい壁筋（D13@150ダブル）を配筋して、コンクリートを打設している。図6に示すように、あと施工アンカーの径はD13と細く、SRC梁への埋め込み長さが110mm（8dを確保したと思われる）である。張間方向の耐震補強設計では、妻壁をF=3.5の曲げ壁として補強設計がなされていたが、写真11のようにアンカーの引き抜きが生じて、診断で期待したほどの靱性が発揮されなかったことが大破した原因の一つと思われる³⁾。

(2) RC 耐震壁による強度型補強建物

写真12は、東北大学（仙台市青葉区）の電子情報系研究棟の全景である。RC造8階建ての建物で、人間環境系研究棟と同様に1978年宮城県沖地震で

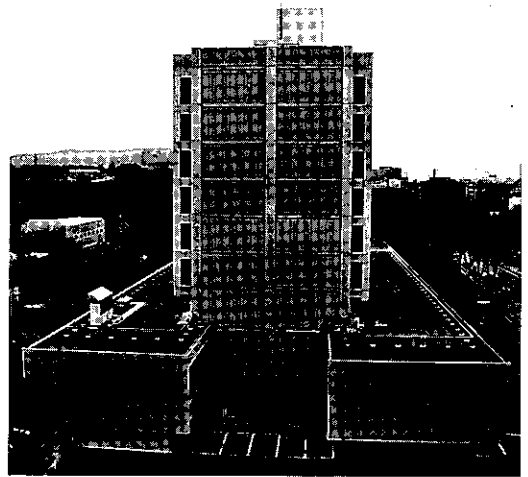


写真7 東北大学人間環境系研究棟の全景

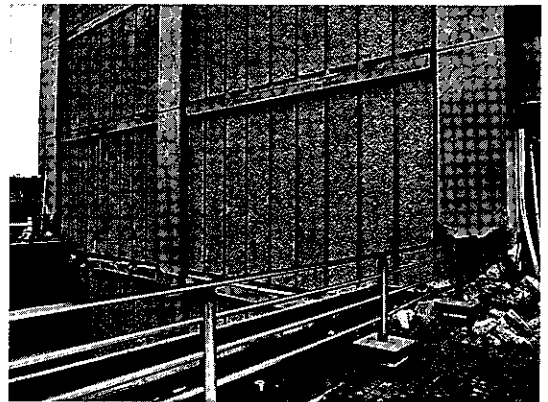


写真8 妻壁3階脚部の損傷状況

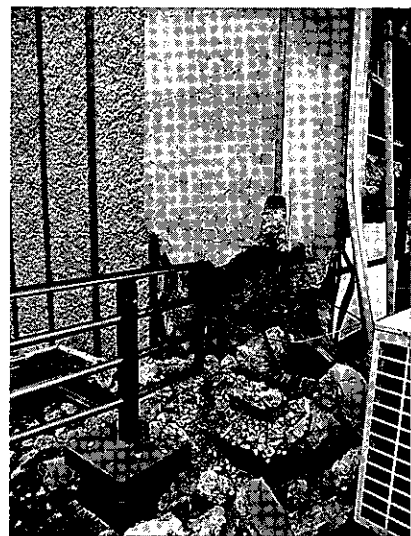


写真9 破壊した柱の損傷部分

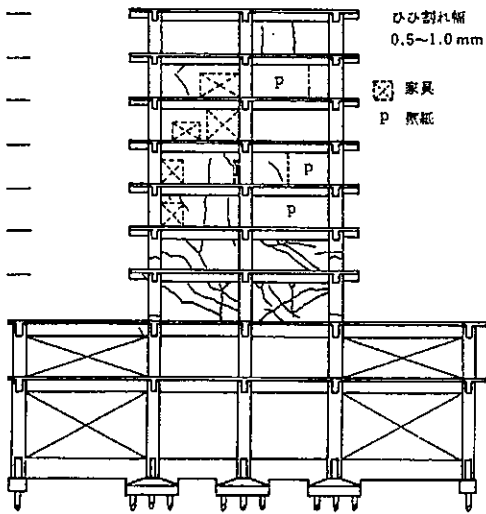


図4 1978年宮城県沖地震での妻壁の損傷状況²⁾

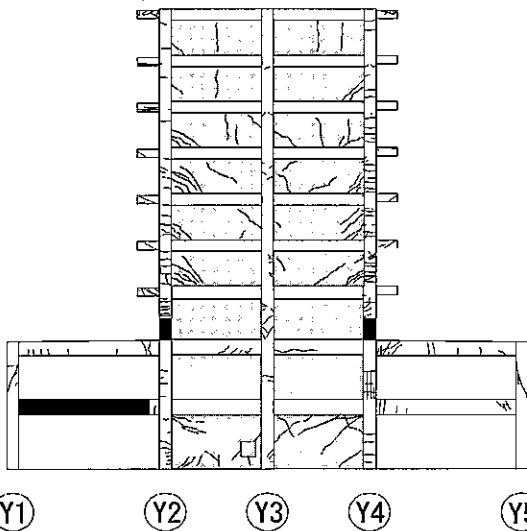


図5 2011年東日本大震災での妻壁の損傷状況³⁾

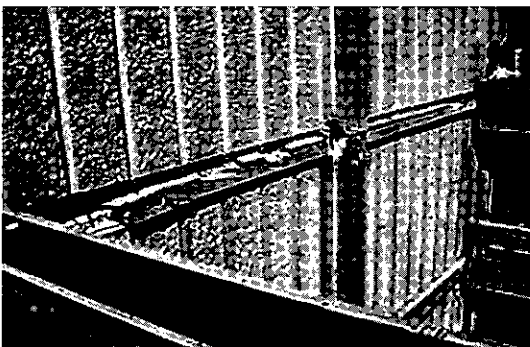


写真10 耐震補強したRC壁の脚部の損傷状況

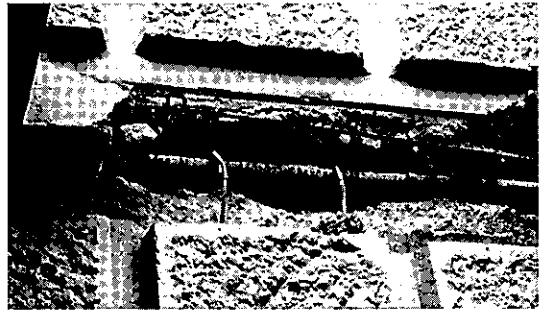


写真11 上の写真の耐震補強壁の接合部のアップ

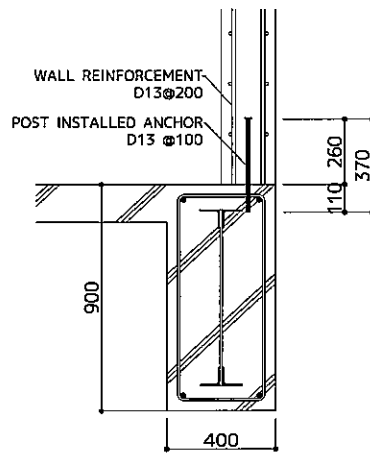


図6 耐震補強壁と梁の接合部のイメージ

被災し、その後（2000年ごろ）、桁行き方向にRC壁増設により耐震改修されている。中廊下式の平面で張間方向は2枚の耐震壁が梁で接続されている。

写真13及び写真14に示すように、多くの階で耐震壁をつなぐ梁がせん断破壊したほか、階段室のRC造壁に大きなせん断ひび割れが生じた。EVの機械室のペントハウスの壁と柱が激しく破壊し崩壊直前となる深刻な被害を受けた（写真15）。

この建物の耐震診断は、梁を剛強と仮定した2次診断に基づいて実施されており、ここで示した建物の梁に大きな損傷が生じる被害状況や崩壊形と一致していない。このことが、耐震改修されたにもかかわらず大きな被害が生じた原因の一つと考えられる⁴⁾。より詳細な破壊モードや被害原因の検討が文献⁵⁾でなされているので、参照されたい。

(3) 制振ブレースによる補強建物

写真16に示す仙台市のT集合住宅は、10階建建物で建物の北側構面の外側にRC造の架構を増設す

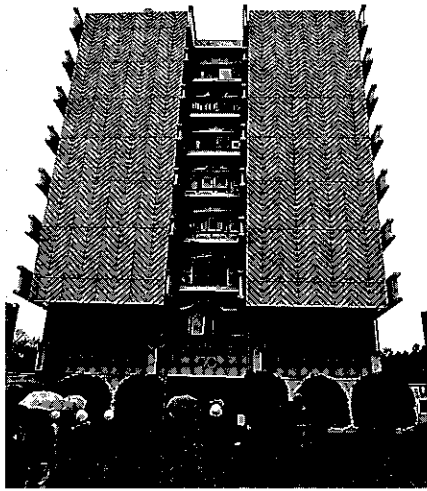


写真 12 東北大学電子情報系研究棟の全景



写真 13 開口付き境界梁のせん断破壊

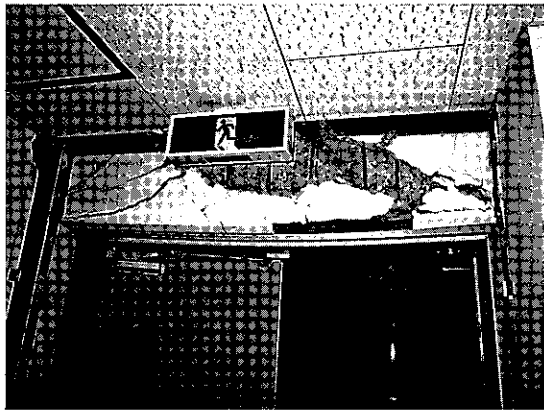


写真 14 境界梁のせん断破壊



写真 15 壁が完全に崩壊したペントハウス

るとともに、上層階に制振式のブレースを増設して耐震改修している。柱・梁などの構造躯体には大きな損傷は生じなかったが、一部の RC 造非構造壁には写真 17 に示すようにせん断ひび割れが発生した。

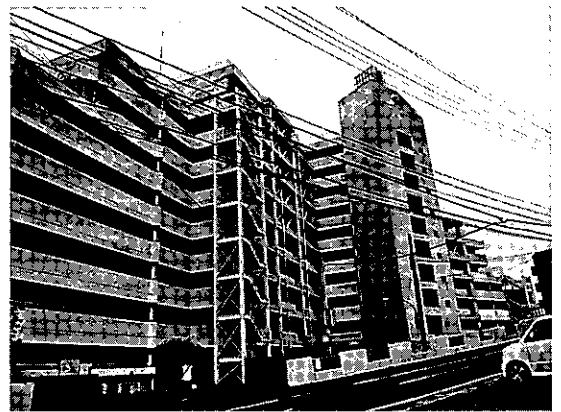


写真 16 S集合住宅の全景



写真 17 2次壁のせん断ひび割れ

4 震災からの教訓

1995年兵庫県南部地震の災害を受けて制定された耐震改修促進法により、公共施設を中心に既存建物の耐震診断・耐震改修が広く実施されたことで、大地震が発生しても、人命に危険を及ぼす建物の倒壊は大幅に減りつつある。一方で、本稿で紹介してきたように、倒壊は免れても一部の構造体や非構造部材に損傷が生じて、継続使用ができなくなる／復旧に多大な費用・時間を要するなどの被害が目立つようになってきた。これは、以前であれば、倒壊する建物が周辺にある中で、(多少の被害はあっても)倒壊を免れれば、建物の所有者や使用者にとって(周辺の建物との比較の中で)、やむを得ないと納得できたものかもしれない。しかしながら、建物の耐震性のレベルが向上した結果、継続使用性や復旧性が、安全性に次ぐ重要な建物の耐震性能として、クローズアップされる時代になってきた、とも思われる。

建築基準法や耐震診断・耐震改修の目標は、あくまでも倒壊防止による人命の安全性確保である。これは我々建築構造技術者には常識であるが、一般の方々との認識ではないことを、本稿で述べた多くの建物の現地被害調査の際に感じた。つまり、一般の方々には、適切に耐震設計をした／耐震診断でOKの判定だった／耐震補強した建物は、大地震でも全く被害が生じない(ひび割れも生じないくらいのイメージ?)とと思っている方が多いようである。我々、建築構造技術者は、このイメージのギャップを埋める努力を続けていく必要があるだろう。

写真18及び写真19は、筆者の研究室の状況である。研究室は築2005年に建設された新しい建物で制振構造であるが、揺れはかなり大きく、本棚など



写真18 筆者の研究室の地震後の様子
(倒れた本棚の下に筆者の椅子がある)



写真19 筆者の研究室の地震後の様子(大学院生室)

の家具の転倒は激しく、怪我人が出ても不思議ではない状況であった。このような家具や、什器、設備機器、仕上げ材などの被害も、建物の継続使用や復旧に大きく影響する要素である。これらの非構造部材の耐震安全性についても、構造技術者が積極的に関わってことも今後重要であると思われる。

参考文献

- 1) 日本建築学会・文教施設委員会・耐震性能等小委員会：文教施設の耐震性能等に関する調査研究報告書、2012年3月。
- 2) 志賀敏男、柴田明德、渋谷純一、高橋純一：東北大学工学部建設系研究棟における強震応答実測とその弾塑性応答解析、日本建築学会論文報告集(301)、119-129、1981.03.30
- 3) Suzuki Kazuki, Hamood Alwashali, Maeda Masaki, Ying Wang, Santiago Pujol, Ichinose Toshikatsu, "Performance of The Building of The Faculty of Engineering at Tohoku University during The Great East Japan Earthquake of 2011", Proceedings of the 10th International Conference on Urban Earthquake Engineering, pp.1967-1976, 2013.3.
- 4) 長屋敦士、高橋之、高橋香菜子、Hamood Alwashali、前田匡樹、市之瀬敏勝、"東日本大震災による東北大学工学部建物の被害 その2 電子・応物系実験研究棟の被害概要と検討"、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.5-8、2012年9月。
- 5) Atsushi Nagaya, Kazuyoshi Hotta, Yuko Kato, Susumu Takahashi, Santiago Pujol, Masaki Maeda and Toshikatsu Ichinose, "Damage of RC Building with Coupled Shear Walls Caused by The 2011 Great East Japan Earthquake", Proceedings of the 10th International Conference on Urban Earthquake Engineering, pp.1949-1958, 2013.3.