

特集 耐震改修の必要性と多様な技術

東日本大震災による鉄筋コンクリート系建物の被害

東北大学大学院工学研究科都市・建築学専攻
教授 前田 匡樹

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。

筆者は、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た学校施設の被害調査と復旧支援活動を行うとともに、その他、RC造建物の被害調査を行ってきた。本稿では、筆者が行った被害調査に基づき、RC造（SRC造も含む）建物の典型的、特徴的な被害について報告する。地震動による上部構造の被害では、（1）大破した建物、（2）耐震診断・耐震改修された建物、（3）新耐震設計法による建物の被害、（4）非構造部材の被害について、個別の被害事例を紹介した。さらに、基礎構造の被害事例、及び、津波による被害についても紹介する。

なお、ここで報告する調査結果は、筆者が行ったものに限定しており、被害の全体像を把握したものではないことには留意されたい。

2. 上部構造の被害

（1）大破した建物

地震動により上部構造が大破するなどの深刻な被害は、過去の大地震と比較すると数は多くはなかったと思われる。以下に、大破した建物の事例を示す。

写真-1は、宮城県七ヶ浜町のS中学校校舎の全景である。1966年に建設されたRC造3階建て、L型の平面

がExp. Jにより東棟・西棟に区画されている。耐震診断により補強が必要とされていたが、地震時には補強は実施されていなかった。

写真-2に示すような柱のせん断破壊や、耐力壁の側柱の曲げ圧壊、及び、RC造壁のせん断破壊（写真-3）などが多数生じた。

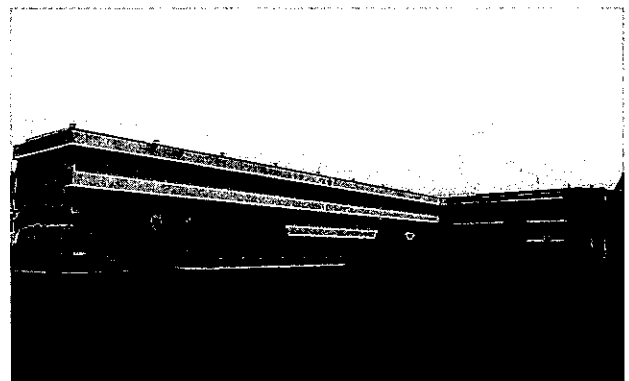


写真-1 S中学校校舎の全景

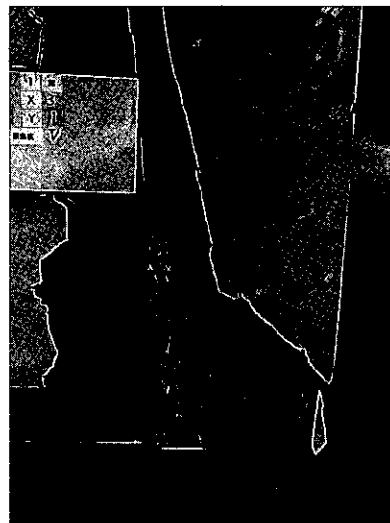


写真-2 S中学校校舎・西棟1階柱脚部の破壊状況



写真-3 S中学校校舎・東棟1階のRC壁のせん断破壊



写真-4 T大学N研究棟の全景

写真-4は、T大学（仙台市青葉区）のN研究棟の全景である。SRC造9階建てで、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、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、張間方向は妻構面のRC造壁の増厚（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-5）、側柱（平面4隅の柱）が激しく圧縮破壊（写真-6）して大破した。張間方向の耐震補強設計では、妻壁を靱性の高い曲げ壁として補強設計がなされていたようで、建設地は仙台市の中でも大きな地震動が観測されたことに加えて、張間方向の保有水平耐力（耐震診断の強度指標C）が比較的低かったことが大破した原因の一つと思われる。桁行き方向の鉄骨ブレースには大きな損傷は見られず、耐震補強の効果を発揮したと考えられる。

写真-7は、T大学（仙台市青葉区）のD研究棟の全景である。SRC造8階建ての建物で、N研究棟と同様に1978年宮城県沖地震で被災し、その後、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。

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-8）。

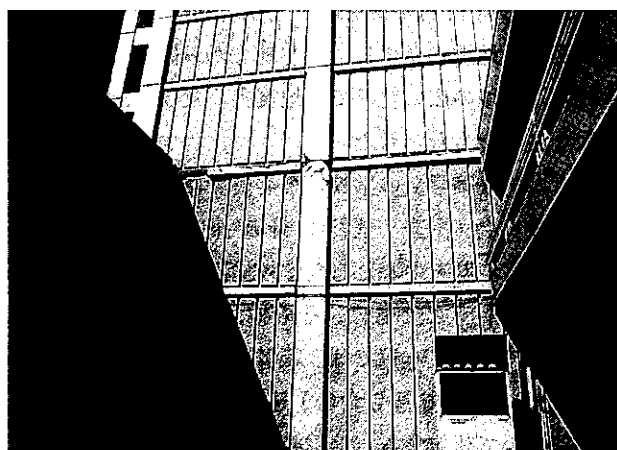


写真-5 妻壁3階脚部（T大学N研究棟）

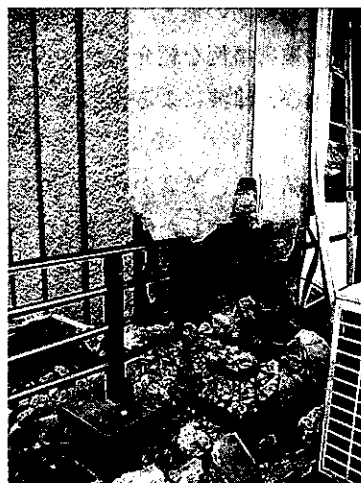


写真-6
圧縮破壊した柱
（T大学N研究棟）

(2) 耐震診断・耐震改修された建物の被害

被災地域の中で宮城県は、旧基準による既存建物の耐震診断・耐震改修が比較的進んでいた地域であり、耐震

改修された建物では、(前述のT大学N、D研究棟のような例もあるが)大きな被害を受けた建物はきわめて少なく、全体としては、耐震改修の効果がみられた。

写真-9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。いずれも耐震新診断が行われ、東校舎は $I_s=0.5$ 程度(強度指標 $C=0.5$ 、靱性指標 $F=1$)で補強が必要、西校舎は $I_s=0.8$ 程度($C=0.4$ 、 $F=2$)で補強不要と判定されたとのことである。その結果、東校舎にはRC造壁と鉄骨ブレースの増設による耐震改修が実施され、この度の地震でも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-10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と思われ、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。

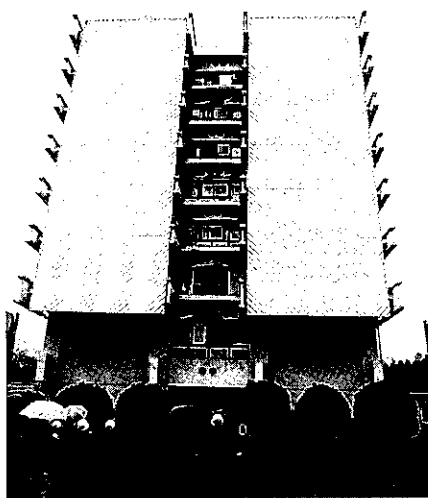


写真-7 T大学D研究棟の全景



写真-9 TH小学校校舎の全景

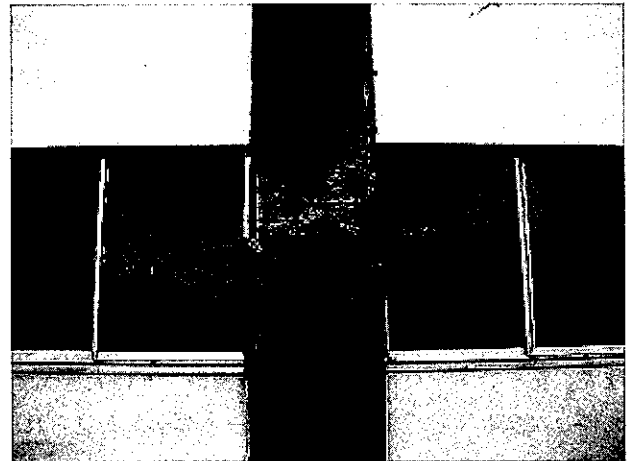


写真-10 西校舎1階の短柱のせん断破壊 (TH小学校)



写真-8 大破したペントハウス (T大学D研究棟)

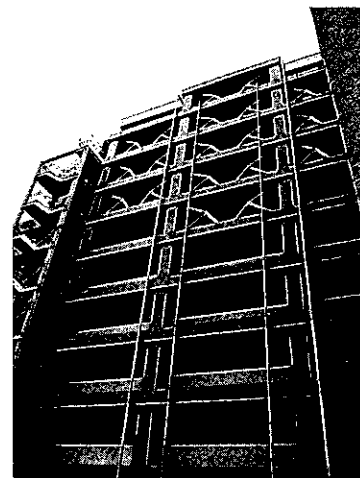


写真-11
A集合住宅の
耐震補強した構面

写真-11に示す仙台市のA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造非構造壁にはせん断ひび割れが発生した。

(3) 新耐震設計法（1982年以降）の建物の被害

筆者の調査した範囲では、RC造建物で、大破・倒壊など人命の安全性に重大な影響を及ぼす被害は見られなかった。

宮城県仙台市では、学校施設の耐震化率（1982年以降の新耐震設計法の建物と耐震診断・改修済みの建物の割合）が100%とされており、この地震でも地震動による上部構造の深刻な被害は生じておらず、(2)でも述べた通り、診断・改修の効果が明瞭に発揮されたと考えられる。一方で、新耐震設計法初期の建物のいくつかでは、中破程度の被害が発生して建物が使用禁止になるなど、地震後の継続使用という点では、問題が生じた事例があった。以下に、典型的な事例を示す。

写真-12に示す仙台市NT小学校校舎は、1985年建設のRC造4階建校舎である。基本的には腰壁に構造スリットを設けており、柱は長柱となっており、大きな損傷がないが、トイレ部分の柱のみ袖壁付き柱となっており、写真-13のようにその柱1本がせん断破壊した。また、桁行き方向に配置されたRC造壁には大きなせん断ひび割れや部分的なコンクリートの崩落が見られ、天井点検口からせん断破壊した梁も確認された。

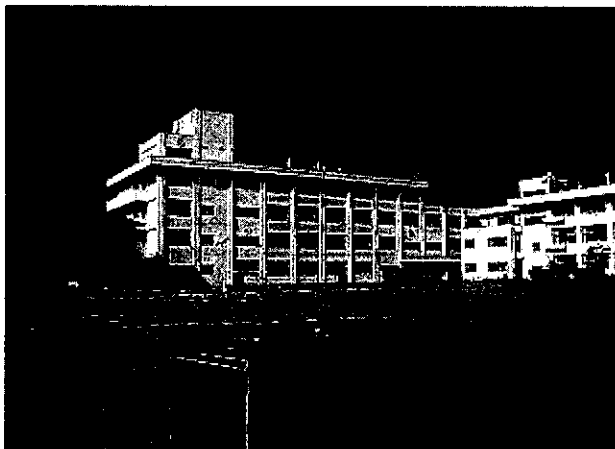


写真-12 NT小学校校舎の全景

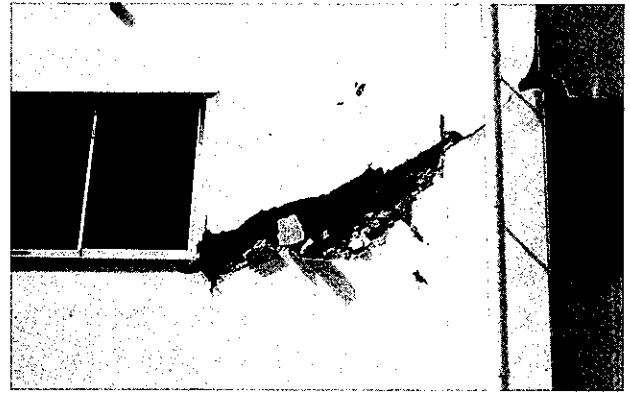


写真-13 せん断破壊した袖壁付き柱（NT小学校校舎）

(4) 非構造部材の被害

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る事例は、高層集合住宅などで多数みられた。

写真-14は、仙台市のB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。構造躯体には、ほとんど損傷がないが、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（写真-15）、せん断破壊した壁も多数みられた。また、廊下側の構面でも、出入り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-16）。

柱・梁などの骨組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、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、使用していない状態である。

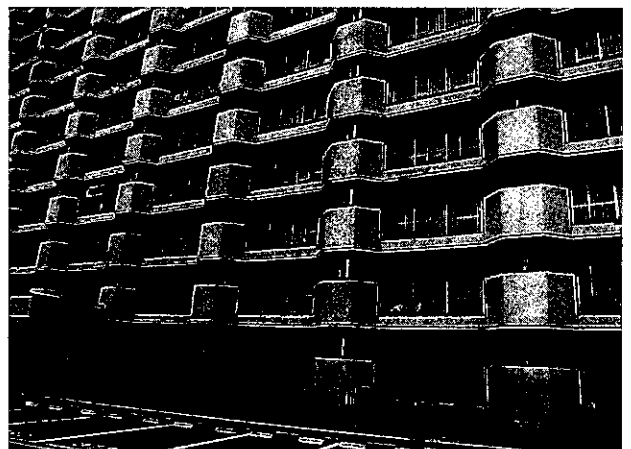


写真-14 B集合住宅の外側構面

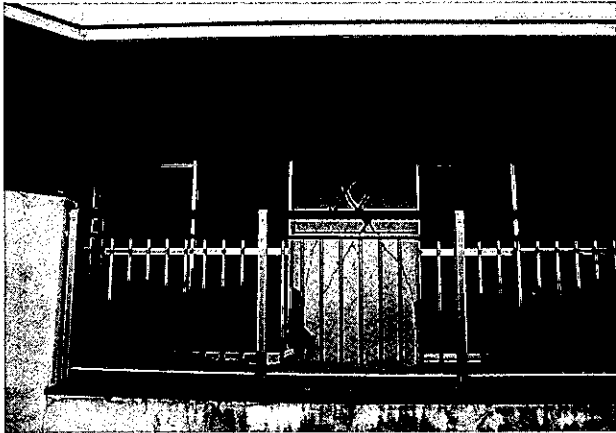


写真-15 外構面の非構造壁のせん断破壊 (B集合住宅)



写真-16 外構面の非構造壁のせん断破壊 (B集合住宅)



写真-17 F中学校校舎 (左:管理普通教室、右:新校舎)



写真-18 校舎周辺の地盤の液状化 (F中学校)



写真-19 校舎間に生じた段差 (F中学校)

3. 基礎構造の被害

液状化などの地盤変状に伴って建物全体に沈下や傾斜などが生じた被害事例は、宮城県内の各地でみられた。

写真-17は、宮城県大崎市のF中学校校舎である。写真左は1978年建設の管理普通教室棟で、右側は1991年建設の新校舎である。軟弱地盤に建設されており、支持地盤まで50m程度の杭基礎となっている。校舎周辺では液状化の痕跡が見られ、写真-18に示すように建物全体が60～70cm程度沈下して、南側に1/25rad.程度傾斜した。新校舎の沈下・傾斜は比較的軽微で、建物全体が10cm程度沈下したものの傾斜はほとんど見られなかったこの結果、管理普通教室棟と新校舎の間には、50～60cm程度の大きな段差が生じた(写真-19)。原稿執筆時点では、杭基礎の損傷については不明であるが、建物解体工事に伴い詳細調査を実施する予定とのことである。

4. 津波による被害

東北の沿岸部で、大津波を受けた地域では、木造住宅には流失などの甚大な被害が見られた、RC造建物については、窓・ドア等の建具や内外装や床・天井仕上げ材などの流失が生じたものの、梁・柱・壁などのRC造躯体には大きな被害がほとんど見られなかった。

石巻市のO小学校では、写真-20に示すように片持ち柱RC造の渡り廊下が津波により転倒した。円形柱の

柱脚部では、全主筋が破断していた。また、教室棟の一部では、床スラブが上方に湾曲し、小梁との接合部が破壊していた(写真-21)。この学校では、津波で2階建て校舎が完全に水没し、また、津波の水勢も激しかったとのことで、RC躯体にも大きな損傷を生じさせるほどの力が作用したと思われる。

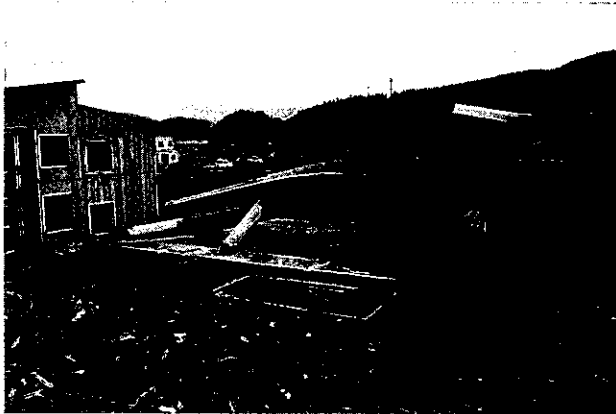


写真-20 0小学校の倒壊した渡り廊下



写真-21 上方に湾曲し破壊した床スラブ(0小学校)



写真-22 女川町海岸地区の状況



写真-23 転倒した杭基礎のRC造建物

また、津波により壊滅的な被害を受けた女川町(写真-22)では、基礎から転倒した建物がいくつか見られた。写真-23は、杭基礎の建物であるが、杭が途中で破断して転倒していた。これらの建物の設計の詳細や、津波でどのような外力を受け、その様な挙動をしたかは不明であり、今後の検討を要すると思われる。

5. まとめ

本稿では、筆者が被害調査を行った宮城県のRC造建物を中心に、特徴的、典型的な被害事例とその傾向について報告した。全体の傾向をまとめると、以下となる。

- 1) 大破などの深刻な被害を受けた建物は、比較的少なく、1981年以前の旧耐震基準による建物であった。
- 2) 耐震改修した建物で人命を危険にさらすような深刻な被害は少なく、耐震改修による被害低減の効果が見られた。
- 3) 1982年以降の新耐震設計法による建物や、耐震診断で補強不要と判定された建物でも、耐力壁や非構造部材に損傷が生じ(被災度:小破~中破)、地震後の継続使用に問題が生じた事例が見られた。
- 4) 地盤の悪い地域では、杭の破損など基礎構造に大きな被害が生じた事例が見られた。
- 5) 津波により、RC造の構造躯体には損傷が生じた建物は少なかったが、数は少ないが、片持ち柱の脚部や床スラブが破壊された事例や、建物全体が転倒した事例が見られた。