

東北地方太平洋沖地震による耐震補強済み RC 建物の地震被害 Damage to Retrofitted Reinforced Concrete Buildings after The 2011 East Japan Earthquake

北山和宏¹⁾
KITAYAMA Kazuhiro

1)首都大学東京, 教授, 工学博士 (東京都八王子市南大沢 1-1, kitak@tmu.ac.jp)
Tokyo Metropolitan University, Professor, Dr. Eng.

要約 耐震補強を施したにもかかわらず、東北地方太平洋沖地震 (2011 年) によって小破以上の被害を受けた鉄筋コンクリート建物が 29 棟存在したが、庁舎 1 棟を除くと全て学校建物であった。このうち 9 棟では基礎構造に被害が見られた。上部構造の被災度区分は大破が 2 棟、中破が 9 棟、小破が 12 棟であった。基礎構造の被害を除き、鉛直荷重を支持できなくなる軸崩壊は防止された。耐震補強を施した部位から離れた RC 柱や耐震壁において、せん断破壊を生じた事例があった。耐震補強を施していない方向あるいは階における鉛直部材のせん断破壊も見られた。地震被害の要因として、耐震補強要素 (主に鉄骨ブレース) の平面内あるいは鉛直方向のアンバランスな配置を指摘した。

鉄筋コンクリート建物, 損傷, 耐震補強, せん断破壊, 鉄骨ブレース, 柱, 杭
Reinforced concrete building, Damage, Seismic retrofit, Shear failure, Steel brace, Column, Pile

1. はじめに

耐震補強を施したが東北地方太平洋沖地震 (2011 年) によって、上部構造あるいは基礎構造が小破以上の被害を受けた鉄筋コンクリート建物のリストを表 1 に示す。地方自治体の庁舎 1 棟を除いて、全て学校 (小学校から大学まで) の校舎である。なお同表には屋内体育館は含まない。耐震性能残存率は「震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針」¹⁾の略算法による。耐震補強の工法種別は、鉄骨ブレース、RC 耐震壁の増設あるいは増し打ち、外付け RC ブレース、柱のコンクリート増し打ち、炭素繊維巻き立てなどであった。

この調査の範囲では、宮城県、福島県、栃木県および茨城県に所在する 29 棟に、耐震補強を施したにもかかわらず損傷が見られた。これらの建物のほとんどは気象庁震度階で 6 弱あるいは 6 強の地点に位置した。この 29 棟のなかには後述するように基礎構造に被害が見られた 9 棟を含む。建物階数は 2 階建てが 1 棟、3 階建てが 14 棟、4 階建てが 12 棟、6 階建ておよび 8 階建てが各 1 棟であった。なお 29 棟のうち 22 棟は宮城県内の学校建物であったことは、宮城県内の学校建物の耐震化率が他の自治体と比較して高いことと無関係ではないであろう。

上部構造が被害を受けた 27 棟の被災度区分は、大破が 2 棟、中破が 9 棟、小破が 12 棟および軽微が 4 棟であった。

2. 上部構造の被害

(1) 大破の建物

大破を蒙った 2 棟のうち No. 29 は 1969 年建設の 2 階建て庁舎²⁾であり、1979 年に RC 造平屋と鉄骨造部分が増設された (写真 1²⁾)。桁行方向に鉄骨ブレースを設置し、増設した RC 躯体と既存部とを一体化する等の耐



写真 1 鉄骨ブレースで補強した 2 階建て庁舎²⁾
(No.29)



写真 2 鉄骨ブレース脇の RC 境界柱のせん断破壊²⁾
(No.29)

震補強を 2003 年に実施した。今回の地震によって、1 階の鉄骨ブレース脇の RC 境界柱一本がせん断破壊し (写真 2²⁾)、そのほかの RC 柱にも損傷度 2 から 3 程度のせ



写真3 大破したRC 8階建て校舎³⁾ (No.15)



写真4 RC 有孔梁のせん断破壊³⁾ (No.15)

ん断ひび割れや曲げひび割れ、あるいはコンクリート圧壊が発生した。建物の被災度は、鉄骨ブレースを両側柱付き壁と見なすと大破であったが、鉄骨ブレースを無視すると中破と判定された。このことから、実際の被災度区分はこのあいだにあると思われる²⁾。

当該建物の被害調査報告²⁾によると、建物西側の張り間方向には耐震壁が多く配置されたのに対して、建物東側の張り間方向には耐震壁が存在せず、その部分のRC柱の桁行方向に損傷が集中した。このことから同報告²⁾は、張り間方向の偏心に起因するねじれ挙動が被害発生に影響を与えた可能性を指摘した。

大破したもう一棟 (No. 15) は1969年建設の8階建て校舎であり、RC耐震壁の増設やRC梁に炭素繊維を巻き立てることによって耐震補強された。この地震では、並列する連層耐震壁を結ぶ境界梁 (梁中央に開孔あり) がせん断破壊する (写真3³⁾ および4³⁾) とともに、ペントハウスが激しく破壊した。なおこの建物の被災度は、調査者の目視による判断に基づいた⁴⁾。

(2) 中破の建物

中破を蒙った9棟のうち4棟 (No.12、13、25 および26) は、十分な耐震性能を保有すると判断されて耐震補強されなかった張り間方向での被災であり、RC耐震壁に損傷度2から4程度のせん断ひび割れが多数発生したことによる。さらに他の3棟では、2棟は耐震補強途中 (No.23 および28、写真5から8)、1棟は耐震補強を施さなかった3階での被災 (No.24、写真9、文献5参照) であり、耐震補強を施さなかった部位・方向での被災がほとんどであった。他の1棟 (No.22) は、RC増設壁と鉄骨ブレースによって耐震補強された。ただし鉄骨ブレースは、斜材の接合詳細が不適切だったために有効に機能しなかった可能性がある。そのため地震動による水平力がRC増設壁に集中して、これらの増設壁に損傷度3のせん断ひび割れが発生した (写真10)。



写真5 鉄骨ブレースで一部補強した3階建て校舎 (No.23の南面/北面は地下あり)



写真6 同上建物の2期部分地下1階柱のせん断破壊 (No.23)



写真7 鉄骨ブレースで一部補強した3階建て校舎 (No.28)



写真8 同上建物の1階柱のせん断破壊 (No.28)

(3) 小破の建物

上部構造が小破と判定された 12 棟の大部分は、RC 耐震壁に損傷度 2 から 3 程度のせん断ひび割れが生じたことによるものであった。RC 耐震壁の負担せん断力は一般には RC 柱より非常に大きい。そのため損傷度 2 程度のひび割れでも、文献 1 の評価手法によれば建物全体の被災度が小破あるいは中破と判定されることがある。ただし調査者の目視による感覚では、それほどの被害とは認識されないこともある点を付言する。

(4) 被害例の分析

このように耐震補強自体は有効に機能して、建物の被害の軽減に役立ったと判断できるが、耐震補強を施した階においても RC 柱がせん断破壊した例 (No.12、24 および 28) があつた。このうち 4 階建てで南面は 1 階から 3 階までの三連層鉄骨ブレース、北面は 1 階から 4 階まで連層 RC 増設壁によって耐震補強された校舎 (No.12) では、南面の 4 階柱一本がせん断破壊した (写真 11)。ただしこの柱のコンクリートは一部で粗骨材とモルタルとが分離するなど、品質はきわめて悪かつた。また 3 階建てで 1 階および 2 階を連層鉄骨ブレースで耐震補強した校舎 (No.24) では、鉄骨ブレースに隣接する 1 階柱一本がせん断破壊した (写真 12)。

これらの例のほとんどはせん断スパン比の小さい RC 柱に大きな水平力が作用したためであり、せん断破壊したのは自然の理である。しかし建物の使用者としては、耐震補強を施した建物におけるこのような被害は看過し難い。補強部位以外の部材 (非構造部材を含む) の破壊を防止することは、今後の RC 建物の耐震補強設計において強く要請されると思われる。

耐震性能残存率が 80%程度以下であつた 2 棟 (No.9 および 24) は、1 階および 2 階を鉄骨ブレースで耐震補強したが 3 階は無補強だつた建物であり、無補強の 3 階において小破あるいは中破の被害を生じた (例えば写真 9)。これらの建物では 1、2 階に耐震補強を施すことによって 3 階の水平剛性が相対的に低下して、3 階が大きく変形した可能性がある。

特に No. 24 の 3 階建て校舎では、鉄骨ブレースを既存骨組内の垂れ壁および腰壁を撤去して設置したが、左右に隣接する垂れ壁および腰壁は残した (写真 12) ことから、鉄骨ブレースを含む RC 部分骨組の剛性が増大し、無補強の 3 階の水平剛性が相対的に低下したと考えられる。耐震補強のためのデバイス (鉄骨ブレースや RC 開口壁など) を組み込んだ骨組の剛性評価について、今後検討する必要がある。

連層鉄骨ブレースに接続する境界梁や直交梁に、曲げひび割れやせん断ひび割れが発生した建物があつた (No.12、24 および 28)。これらは、境界梁および直交梁が連層鉄骨ブレースの浮き上がり回転あるいは全体曲げ挙動を拘束することによって生じたと考えられる。



写真 9 耐震補強された 3 階建て建物の 3 階柱のせん断破壊 (No.24)



写真 10 耐震補強された 3 階建て建物の RC 増設壁のせん断ひび割れ (No.22)



写真 11 耐震補強された 4 階建て建物の 4 階柱のせん断破壊 (No.12)



写真 12 耐震補強された 3 階建て建物の 1 階柱のせん断破壊 (No.24)

下階壁抜け対策として、1階の既存RC柱(600mm×500mm)に600mm×400mmの柱形を増し打ち補強した柱には、地震時の軸引張りによる輪切り状のひび割れが数本見られた(No.12)。これは下階壁抜けのための補強が有効に機能したためと考えてよい。

さらに注目すべきは、耐震補強途中で中破の被害を生じた3階建て(一部地下1階)校舎(No.23)と3階建て校舎(No.28)である。No.23の建物はL形平面を有しており、1期部分の地下1階から3階まで連層鉄骨ブレースで耐震補強された(写真5)が、それに隣接する2期部分および3期部分は未補強のまま被災した。補強を施した1期部分の被害は軽微であったが、隣接する2期部分の半地下のRC柱多数がせん断破壊(損傷度5)した(写真6)。また3期部分では柱多数がせん断破壊(損傷度4および5)したため、この部分のみのゾーニングでは大破と認定された。なお建物全体では耐震性能残存率Rは73%であり、中破と判定された。

No.28の建物は桁行方向に108mと長い一文字形校舎であり、耐震補強の一期工事は完了したが、二期工事は未実施のまま被災した(写真7)。被害はこの二期工事予定部分に集中し、北側構面1階の鉄骨ブレース脇から二本めのRC柱から数えて3本がせん断破壊(損傷度4)し(写真8)、他の4本に損傷度3のせん断ひび割れが発生した。建物全体での耐震性能残存率Rは77.1%で中破と判定されたが、耐震補強を施していない二期工事予定部分だけで判定すると大破に近くなった。

以上の二例では、鉄骨ブレースによって耐震補強を施した部位から離れたところでRC柱のせん断破壊が生じた。耐震補強途中の被災ではあるが、耐震補強を実施する際には鉄骨ブレースのような水平力抵抗要素を平面内に偏って配置するのではなく、ある程度分散して配置すべきであることを強く示唆する現象であると考えられる。

3. 基礎構造の被害

地盤の変状あるいは液状化によって、建物が沈下あるいは傾斜して基礎構造が損傷を受けたと判断されたのは9棟で、内訳は大破が7棟、中破が1棟および小破が1棟であった。なおこれらの被災度区分は、建物の沈下量や傾斜量の実測、あるいは杭の掘削調査による目視によって判断した。

このうち栃木県にある3棟(No.24から26)は所有自治体の掘削調査によって、杭頭がせん断破壊し、杭主筋が座屈する等の激しい損傷を受けたことが明らかとなったため、大破と判定された。杭頭部の被災状況を写真13および14に示す。この3棟では上部構造も中破の被害を受けたことから、上部構造の耐震補強による水平耐力の増大が杭体へ過度な応力を作用させた可能性も考えられる。耐震補強設計において、杭の鉛直支持能力の検討はなされることが多いが、水平方向の耐力は杭頭の配筋詳細等の不明なことが多いために検討されることはほとん



写真13 耐震補強された3階建て建物のRC杭頭部のせん断破壊(No.24)



写真14 耐震補強された3階建て建物のRC杭頭部のせん断破壊(No.26)

どない。この点についても何らかの対処が望まれる。

4. 耐震補強設計法についての考察

上述の補強建物の被災事例より、既存RC建物の耐震補強設計において注意すべき、あるいは今後検討を要すると思われる事項を以下に列記する。

(1) 耐震補強を施した階における被害の防止

鉄骨ブレースやRC耐震壁(開口壁や袖壁を含む)によって耐震補強を施した階においてRC柱がせん断破壊した例があった(No.24、写真15)。そのほとんどは、腰壁や垂れ壁が取り付け、せん断スパン比の小さいRC短柱に大きな水平力が作用したためである。従来の耐震補強設計⁶⁾においては、靱性指標 $F=1.0$ において補強後の耐震性能を評価する、いわゆる強度型補強を行うことが多い。その場合には耐震診断基準⁷⁾における靱性指標 $F=1.0$ のせん断柱はそのままにしたほうが、構造耐震指標 I_s の評価では一般に有利になる。すなわち耐震補強設

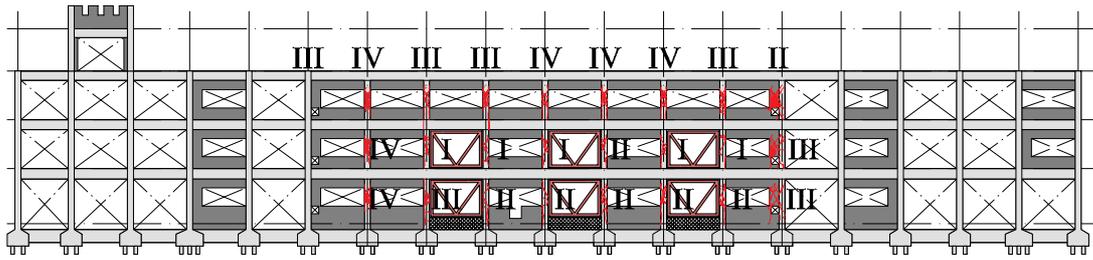


図1 鉄骨ブレースによって耐震補強された軸組の3階柱の被害例（ローマ数字は各柱の損傷度を示す）⁵⁾

計者のあいだでは、ある程度の地震動が作用したときにせん断柱が想定通りにせん断破壊することは、暗黙裏に許容されている、とも言える。

しかし建物の使用者としては、耐震補強を施した建物におけるこのような被害は許容し難い。補強部位以外の部材の破壊を防止することは、今後のRC建物の耐震補強設計において強く要請されると思われる。この際、補強設計で想定する地震動レベルを一般的な使用者に対して分かり易く説明し、理解を求めるための努力が、耐震補強設計者には必要になる。

上述の短柱のせん断破壊を防止するためには、腰壁や垂れ壁とのあいだに耐震スリットを設置して長柱化して、曲げ破壊を先行させるように補強するのが最も簡便である。しかしそれによって当該階の剛性や強度が変わるため、建物全体の地震時挙動に大きな影響を及ぼす可能性がある。そのため耐震スリットの設置については慎重な検討を要する。なお、スリット設置が建物の地震応答に与える影響を解析によって検討した研究として文献8があり、参考になる。

(2) 鉄骨ブレースを含むRC部分架構の剛性評価

1階および2階を鉄骨ブレースによって耐震補強したRC3階建て校舎では、耐震補強を施さなかった3階において4本の柱がせん断破壊して中破の被害を生じた(No.24、図1、文献5参照)。この校舎の3階の I_s 値は0.73であり、1階および2階を耐震補強したあとの各階の I_s 値分布(0.73から0.78)からは、3階にせん断破壊が集中したことを説明できない。

このような被害を生じた原因は今後詳細に検討されるべきであるが、そのひとつとして高さ方向の水平剛性分布が1階および2階の耐震補強によって不均一になったことが想定される。

図1に示すように1階および2階の鉄骨ブレースは腰壁および垂れ壁を除去して設置された。しかし、鉄骨ブレース架構に隣接する腰壁および垂れ壁は耐震スリットを設けることなく、そのままに残された。この腰壁および垂れ壁が鉄骨ブレースの面内水平変形を拘束した結果、1階および2階の水平剛性が耐震補強設計で想定した以



写真15 鉄骨ブレース脇のRC柱のせん断破壊(No.24)



写真16 鉄骨ブレースで一部補強したRC校舎の柱のせん断破壊(No.28)

上に増大したと思われる。この結果、耐震補強しなかった3階の水平剛性は相対的に低下し、層間変形が増大して当該軸組の短柱がせん断破壊したのである。

すなわち、鉄骨ブレースに隣接する腰壁および垂れ壁を残したまま耐震補強を実施する際には、鉄骨ブレースの水平剛性の評価に注意が必要である。具体的には、耐震診断基準⁷⁾における形状指標 S_D のなかの評価項目である剛重比の算定に、十分に注意すべきである。

(3) 水平力抵抗要素の平面内の配置

耐震補強を数期に分けて実施する計画だったため、校舎の一部の耐震補強が完了したのみの状態で 2011 年 3 月 11 日の本震を迎え、中破の被害を生じた校舎が 2 棟あった（例えば No. 28、写真 16 および 8）。これらの例では鉄骨ブレースによって耐震補強を施しており、補強済み工期の部分ではほとんど被害はなかったものの、未補強工期の部分で RC 柱のせん断破壊が生じた。

耐震補強設計において、RC 耐震壁や鉄骨ブレースを平面内に配置するにあたっては、偏心によるねじれ振動を生じないように剛性分布に配慮する。しかし建物の使用性等の観点から、水平耐力の平面内での分布については重視されない傾向にある。

しかしながら、本事例は耐震補強途中の被災ではあるものの、耐震補強を実施するには鉄骨ブレースのような水平力抵抗要素を平面内に偏って配置するのではなく、ある程度分散してバランス良く配置するべきであることを示唆する現象であろう。

(4) 基礎構造の検討

いずれも RC 3 階建て校舎である 3 棟では所有自治体による基礎構造の掘削調査によって、杭頭がせん断破壊し杭主筋が座屈する等の激しい損傷を受けたことが明らかとなったため、大破と判定された。この 3 棟では上部構造も中破の被害を受けたことから、上部構造の耐震補強による水平耐力の増大が杭体へ過度な応力を作用させた可能性も考えられる。耐震補強設計において、杭の鉛直支持能力の検討はなされることが多いが、水平方向の耐力は杭頭の配筋詳細等の不明なことが多いために検討されることはほとんどない。

しかし上部構造の耐震補強が基礎構造の破壊を誘発するとしたら、これは看過できない問題を提起する。このような問題の発生の可能性は、地盤状況などによってある程度は想起されると思われるので、そのような場合には、より慎重な耐震補強設計を行うことが求められる。

(5) 耐震スリット

耐震補強の事例ではないが、RC 4 階建て校舎の腰壁スリットの隙間幅が数 mm から 15mm と小さかったため、衝突によってかぶりコンクリートが剥落し、一部では袖壁の主筋が露出した例が見られた（写真 17）。耐震スリットの幅あるいは見付け面の高さなどを十分に検討して、施工することが肝要であろう。

(6) 耐震補強しなかった方向の被害の防止

耐震補強したものの上部構造が中破と判定された RC 校舎の 4 棟は、十分な耐震性能を保有すると判断されて耐震補強されなかった張り間方向で被災した。張り間方向の RC 耐震壁に損傷度 2 から 3 程度のせん断ひび割れ



写真 17 スリットに隣接する袖壁の破損

が多数発生し、損傷度 4 のせん断破壊も見られた。

これらはいずれも地震動による水平力に対して RC 耐震壁が有効に機能したことを証左するものであり、これ自体には問題はない。しかし 4 節の(1)項でも触れたように、建物の使用者がこのような被害を許容しないこともあろう。今後の耐震補強設計においては、施主との相談によって許容できる被害の範囲を予め設定する等の配慮が必要になると考える。

5. まとめ

耐震補強を施したにもかかわらず、東北地方太平洋沖地震（2011 年）によって上部構造あるいは基礎構造が小破以上の被害を受けた鉄筋コンクリート建物が 29 棟存在したが、庁舎 1 棟を除くと全て学校建物であった。このうち 9 棟では基礎構造に被害が見られた。上部構造の被災度区分は大破が 2 棟、中破が 9 棟、小破が 12 棟および軽微が 4 棟であった。基礎構造の被害を除いて、鉛直荷重を支持できなくなるような崩壊は防止された。

耐震補強の工法種別は、鉄骨ブレース、RC 耐震壁の増設あるいは増し打ち、外付け RC ブレース、柱のコンクリート増し打ち、炭素繊維巻き立てなどであった。

全体としては耐震補強自体は有効に機能して、建物の被害の軽減に役立ったと判断できる。しかしながら以下に示すように、上部構造あるいは基礎構造に甚大な被害を生じた事例が複数存在した。

上部構造について；

耐震補強を施した部位から離れた鉛直部材（柱および RC 耐震壁）において、せん断破壊やせん断ひび割れが発生した事例があった。また耐震補強を施さなかった方向（通常は張り間方向）あるいは階における鉛直部材のせん断破壊やせん断ひび割れも見られた。

このような地震被害の要因の一例として、平面内における耐震補強デバイス（水平力抵抗要素）のアンバランスな配置、あるいは最上階までの連層鉄骨ブレースとし

なかったために建物全体の鉛直方向の剛性分布が不均一となったこと、等を指摘した。

建物の一般的な使用者が、耐震補強を施した建物におけるこのような地震被害を許容することはないであろう。補強部位以外の部材（非構造部材を含む）の破壊や損傷を防止することは、RC 建物の今後の耐震補強設計において強く要請されると思われる。ただし、どのような地震動に対しても破壊しない部材を設計することは不可能であることを、耐震補強設計者は人々に対して説明しなければならない。それ故、補強設計で想定する地震動レベルを一般的な施主等に対して分かり易く説明し、理解を求めるための努力が、耐震補強設計者には必要になる。

基礎構造について；

上部構造が中破の被害を受けるとともに、RC 杭の頭部がせん断破壊し、杭主筋が座屈する等の基礎構造の激しい損傷が見られた事例があった。上部構造の耐震補強による水平耐力の増大が、杭体へ過度な応力を作用させた可能性も考えられる。

古い建物では杭頭の配筋詳細等が不明な場合も多い。しかし上部構造の耐震補強が基礎構造の破壊を誘発するとしたら、これは重大な問題を提起する。耐震補強を施した意義自体が失われるからである。このような問題の発生の可能性は、地盤状況などによってある程度は想起されると思われる。そのような場合には、より慎重な耐震補強設計を行うことが求められる。

最後に；

構造設計者が上部構造の補強設計や上述のような基礎構造への配慮を為すにあたっては、以下の事柄（それらはいずれも当然の事柄ではある）が非常に重要であることを明記して、本稿を擱筆する。

- ・補強建物内の力の流れ方をイメージすること、
- ・それにとまって各部材の変形を強く意識すること。

謝 辞

本稿は本会の文教施設委員会内に設置された耐震性能等小委員会（主査：壁谷澤寿海・東京大学教授）が作成した「文教施設の耐震性能等に関する調査研究報告書」⁹⁾（2012年3月）の内容を再構成し、新たな情報・知見を追加したものである。特記なき写真は全てこの報告書から引用した。被害調査にご協力いただいた自治体の関係者各位、および報告書の作成に携わった委員諸氏に厚く御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 日本建築防災協会：震災建築物の被災度区分判定基準 および復旧技術指針、2001年9月。
- 2) 国土交通省・国土技術政策総合研究所、独立行政法人建築研究所：平成23年（2011年）東北地方太平洋沖

地震被害調査報告 5.2.3.3 節、2012年3月、pp.5.2-32 - 5.2-48.

<http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/topics/20110311/0311report.html>

- 3) 国土交通省・国土技術政策総合研究所、独立行政法人建築研究所：平成23年東北地方太平洋沖地震による建築物被害第一次調査 白河市、須賀川市、仙台市におけるRC造、S造、非構造部材を中心とした建築物被害調査（速報）、2012年4月4日。
- 4) Maeda, M., H.A. AL-Washali, K. Takahashi and K. Suzuki : Damage to Reinforced Concrete School Buildings in Miyagi after the 2011 Great East Japan Earthquake, One year after 2011 Great East Japan Earthquake - International Symposium on Engineering Lessons Learned from the Giant Earthquake -, Proceedings, 1-4, March, 2012, pp.1120-1131.
- 5) Kitayama, K. : Damage by The 2011 East Japan Earthquake of Reinforced Concrete School Building in Tochigi Retrofitted by Steel-Braced Frame, One year after 2011 Great East Japan Earthquake - International Symposium on Engineering Lessons Learned from the Giant Earthquake -, Proceedings, 1-4, March, 2012, pp. 1226-1237.
- 6) 日本建築防災協会：既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針・同解説、2001年10月。
- 7) 日本建築防災協会：既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・同解説、2001年10月。
- 8) 保木和明、芳村学：スリット設置による古いRC中層集合住宅の耐震性改善、日本建築学会構造系論文集、第76巻、第667号、2011年9月、pp.1685-1694.
- 9) 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。

表1 耐震補強を施したが小破以上の被害を受けた鉄筋コンクリート建物

番号	県名	施設名	棟名称	一般事項			補強種別	被害の最も激しい階・方向		耐震性能残存率 R、%	被災度		備考	気象庁震度階
				建設年	階数	延床面積、m ²		階	方向		基礎	上部		
1	宮城県	A中学校	特別教室棟	1967	4	592	不明	1	桁行	92		小破	連層鉄骨ブレースに接続する境界梁端部に曲げひび割れ	5強
2			普通教室棟	1973	4	1,403	鉄骨ブレース	不明	不明	92		小破		
3		B小学校	校舎西棟	1981	4	3,705	RC壁/RC柱炭素繊維巻き立て	不明	不明	不明	中破	軽微	沈下量20cm、傾斜角0.4%	6弱
4		C中学校	校舎	1973から1979	4(地下1階)	5,628	1～4階まで鉄骨ブレース	1	桁行	85		小破	RC耐震壁に損傷度3程度のせん断ひび割れ	6弱
5		D小学校	北校舎A棟	1972	3	4,983	1～3階まで鉄骨ブレース	1	桁行	81		小破	RC耐震壁に損傷度2程度のせん断ひび割れ	6弱
6			北校舎B棟	1971	3		1～3階まで鉄骨ブレース	1	桁行	83		小破		
7		E小学校	A棟①—1	1975	4	3,966	1～3階まで鉄骨ブレース	1	桁行	88		小破	RC耐震壁に損傷度2程度のせん断ひび割れ	6弱
8			B棟①—2	1975	4	988	1～3階まで鉄骨ブレース	1	桁行	83		小破	RC耐震壁に損傷度3程度のせん断ひび割れ	
9		F小学校	東校舎①-1	1973	3	2,797	1,2階鉄骨ブレース	3	桁行	81		小破	耐震補強されていない3階で、柱や壁にせん断ひび割れ(損傷度2～3程度)が発生	6強
10		G小学校	管理・特別教室棟	1981	4	1,722	1,2階鉄骨ブレース/1～3階までRC開口壁	1	桁行	91		小破	RC耐震壁に損傷度2のせん断ひび割れ	5強
11		H小学校	校舎東棟	1973および1975	4	2,327	1～3階まで鉄骨ブレース/RC開口壁	1	桁行	98	小破	軽微	建物全体が沈下、0.4%傾斜	6弱
12		I中学校	管理・普通・特別教室棟	1973	4	3,047	1～3階まで鉄骨ブレース/1～4階までRC壁/柱増し打ち(下階壁抜け対策)	1	張り間	78		中破	RC耐震壁に損傷度2程度のせん断ひび割れ、増設したRC壁・開口壁にも軽微なせん断ひび割れ、連層鉄骨ブレースに接続するRC境界梁に損傷度2程度のせん断ひび割れ/4階のRC柱1本がせん断破壊(4月7日の余震による。コンクリートにジャンカあり)	6強
13		J中学校	北教室棟	1968	4	2,506	1～4階までRC耐震壁増設/1階の下階壁抜け柱の補強	1	張り間	75		中破	1階張り間方向の耐震壁に損傷度1から4のせん断損傷が発生	5強
14			西教室棟1	1979	4	881	1、2階RC耐震壁増設	1	桁行	93	不明	小破	柱・梁に損傷度1程度のひび割れ/校舎の東側では地盤沈下が発生	
15		K大学	1号館*5	1969	8		RC耐震壁増設/梁に炭素繊維シート巻き			不明		大破	並列連層耐震壁の中間の境界梁(有孔梁)がせん断破壊/ペントハウスの破壊	6弱
16			研究・実験棟*5	1968	6		RC耐震壁増設			不明		中破	有孔梁にせん断ひび割れが多数発生/RC耐震壁にせん断ひび割れ	
17		L中学校	管理・教室棟	1974	3	2,839	1～3階までPC鋼棒を用いたアウト・フレーム	不明	不明	不明		小破	一部のRC耐震壁に大きなせん断ひび割れ	6強
18		M小学校	教室棟①-1、2	1974	3	3,254	RC開口壁/スリット	不明	不明	不明	大破	軽微	建物の沈下・傾斜、杭頭のせん断破壊と主筋の座屈	6強
19		N高校	南校舎	1979	3	1,919	1、2階に外付けブレース	不明	不明	不明	大破		地盤の液状化、建物の沈下(周辺地盤より30cm以上沈下)	6強
20			北校舎	1980	3	1,823	1階に外付けブレース	不明	不明	不明	大破		建物の沈下(周辺地盤より45cm以上沈下)・傾斜(1%程度)	
21		O中学校	東校舎	1973	4	2,954	1～4階まで外付けRCブレース、RC壁、RC柱鋼板巻き立てなど	不明	不明	不明		小破	RC耐震壁に損傷度2程度のせん断ひび割れ/外付けRCブレースには幅0.1mm程度の微細なひび割れが生じた程度でほとんど被害なし/増設RC耐震壁の開口上の短スパン梁に損傷度2程度のせん断ひび割れ(*1)	6弱
22		P小学校	校舎東棟	1974	3	1,766	1、2階に鉄骨ブレース、RC壁	1	桁行	71		中破	1、2階のRC増設壁に損傷度3のせん断ひび割れ。鉄骨ブレース斜材のフランジに施工不良あり。	6強

表1 (つづき) 耐震補強を施したが小破以上の被害を受けた鉄筋コンクリート建物

番号	県名	施設名	棟名称	一般事項			補強種別	被害の最も激しい階・方向		耐震性能残存率 R、%	被災度		備考	気象庁震度階
				建設年	階数	延床面積、m ²		階	方向		基礎	上部		
23	福島県	Q小学校	普通教室棟、特別教室管理棟	1968	3 (一部地下1階)	5,033	地下1階から3階まで鉄骨ブレース	1	桁行*2	73		中破	1期部分の耐震補強は完了したが、そのほかの部分には未実施のまま被災した。補強した1期部分に隣接する2期部分の半地下の柱多数がせん断破壊。3期部分は柱のせん断破壊によって半壊。	6弱
24	栃木県	R中学校	普通教室棟	1974	3	3,276	1、2階鉄骨ブレース	3	桁行	78	大破	中破	無補強の3階のRC柱4本がせん断破壊/杭頭のせん断破壊、杭主筋の座屈	6強
25		S中学校	教室棟	1973	3	2,673	1、2階鉄骨ブレース/1～3階までRC袖壁	1	張り間	79	大破	中破	張り間方向の耐震壁に損傷度3程度のせん断ひび割れ/張り間方向の大梁2本がせん断破壊/杭頭の破壊、杭主筋の座屈など	6強
26			管理・教室棟	1975および1978	3	2,486	1～3階まで鉄骨ブレース	2	張り間	70*3	大破	中破*3	張り間方向の耐震壁に損傷度2のせん断ひび割れ/杭頭の破壊、杭主筋の座屈など	
27			渡り廊下棟 (東側)	1978	3	158	1階張り間方向のRC壁に増し打ち	1	張り間	96	大破	軽微	建物全体が北東 (短辺方向) に2.1%から2.8%傾斜/建物北側のExp.Jには約100mmの段差が発生	
28	T小学校	教室棟・1,2棟	1974	3	3,981	1～3階まで鉄骨ブレース	1	桁行	77		中破	耐震補強の二期工事は完了したが、二期工事は未実施のまま被災した。1階北側の柱に損傷度3のせん断ひび割れ、および損傷度4のせん断破壊が発生。三連層鉄骨ブレースの短スパン直交梁にせん断ひび割れ。鉄骨ブレースと鉄骨ブレースとに挟まれた境界梁端部に曲げひび割れ。	6弱	
29	茨城県	U事務所		1969および1979	2	994	1階4カ所、2階2カ所に鉄骨ブレース/増設RC躯体と既存RC躯体を一体化/大梁両端の鋼板補強	1	桁行	59		大破*4	柱のせん断破壊 (損傷度3から4)、曲げひび割れおよびコンクリート圧壊、梁端部および中央部の曲げひび割れ/一部に鉄骨造あり	6強

*1: 矢作建設工業の調査による

*2: L形平面の3期部分 (1期、2期に対しては張間方向となる)

*3: 2011年12月の再調査 (首都大学東京・芝浦工業大学) による

*4: 鉄骨ブレースを両側柱付き壁と見なした場合である。鉄骨ブレースを無視した場合にはR=73%で [中破] となる。(文献2)

*5: 前田匡樹・東北大学教授からの情報による