

5.5. 鉄骨造建築物の被害

5.5.1 調査の目的と概要

令和6年(2024年)能登半島地震による鉄骨造建築物の被害状況を把握するために、震度6強以上が観測された5つの市町(輪島市、七尾市、珠洲市、穴水町、能登町)を対象に、1)一般の鉄骨造建築物の被害調査、2)公共施設、教育施設等の鉄骨造建築物の被害調査、を行った。

一般の鉄骨造建築物の被害調査は、能登半島地震による鉄骨造建築物の被害状況や特徴を把握するため、震度6強以上が観測された5つの市町(輪島市、七尾市、珠洲市、穴水町、能登町)を対象に、2月28日～3月1日の3日間で一般の鉄骨造建築物の外観からの被害調査を行ったものである。5.5.2(1)では、この地震によって倒壊、崩壊した一般の鉄骨造建築物や構造部材等に比較的大きな被害が観察された一般の鉄骨造建築物について、被害状況と特徴をとりまとめている。

鉄骨造建築物は、工場、倉庫、体育館など大空間の架構を容易に構成することができる構造として用いられることが多く、過去の地震でも、このような大空間の建築物に地震被害が見られたことから、公共施設や教育施設等の大空間の建築物等を主な対象にして、3月26日～28日の3日間で内観及び外観からの被害調査を行った。この調査は、事前の情報収集により、構造または非構造の被害が比較的大きいと判断された24の施設の大空間の建築物等について調査を行ったものであり、令和6年能登半島地震による大空間建築物等の被害状況とその特徴を把握することが目的である。5.5.2(2)では、調査した24の施設のうち、構造的な被害が観察された7つの施設の屋内運動場等について、被害状況を示すとともにその特徴をとりまとめている。

以下に、これらの被害調査の結果を示す。

5.5.2 調査結果

(1) 一般の鉄骨造建築物の被害調査

(i) 調査概要

令和6年能登半島地震による一般の鉄骨造建築物の被害状況や特徴を把握するため、震度6強以上が観測された5つの市町(輪島市、七尾市、珠洲市、穴水町、能登町)を対象地域として外観による被害調査を行った。この調査の速報^{5.5-1)}は、すでに公表されており、本報では、この速報に示された35棟の一般の鉄骨造建築物のうち、構造の被害が生じている建築物と非構造部材の被害が大きいと判断された建築物28棟について、被害の形態により分類し、被害形態毎に建築物の構造等の被害状況とその特徴を示した。

(ii) 調査対象の建築物

一般の鉄骨造建築物の調査地域を、図5.5-1に示す。図5.5-1は、この地震の震度分布の図に、ここでの調査のおおよその調査地域を赤丸で示したものである。図に示す通り、震度6強及び7を記録した5つの市町(輪島市、七尾市、珠洲市、穴水町、能登町)において、赤丸で示した地域を対象として、一般の鉄骨造建築物の被害調査を行った。

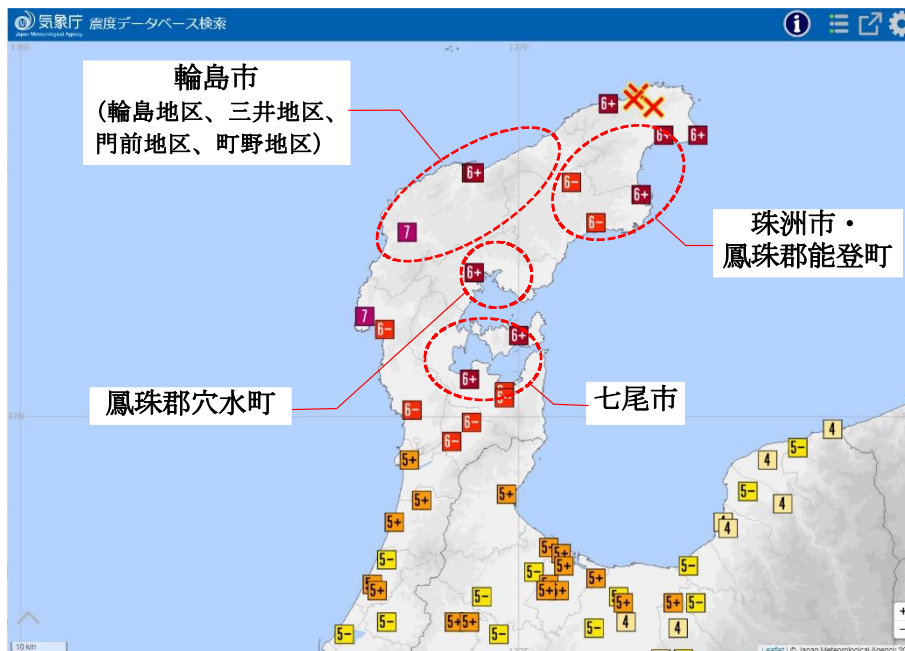


図 5.5-1 調査範囲及び周辺の震度分布

(震度データベース検索(2024年4月5日閲覧)に加筆

<https://www.data.jma.go.jp/eqdb/data/shindo/index.html#20240101161022>)

(iii) 一般の鉄骨造建築物の被害の概要と調査結果

本報では、上記に示した各地域で調査した一般の鉄骨造建築物(店舗、住宅等)のうち、倒壊、崩壊した建築物や被害が比較的大きいと判断された建築物28棟について、構造等の被害状況とその特徴を示す。28棟の建築物のうち、倒壊、崩壊した建築物は3棟であった。また、倒壊、崩壊していないものの、大きな残留変形が生じた建築物もいくつか観察された。また、構造部材に被害が生じた建築物の被害形態として、引張ブレースの被害や露出柱脚の被害等が観察された。構造部材に明らかな損傷が見られないものの、外壁等の非構造部材が広範囲に脱落した被害がいくつか観察された。

本報では、これらの被害を以下の5つの被害形態に分類し、構造等の被害状況とその特徴を示す。なお、建物名称に、カッコ書きで、速報^{5.5-1)}における名称を参考として記載した。

- 1) 倒壊、崩壊した建築物の被害状況
- 2) 大きな残留変形の被害が生じた建築物の被害状況
- 3) 引張ブレース及び露出柱脚に被害が生じた建築物の被害状況
- 4) その他の構造被害の建築物の被害状況
- 5) 非構造部材に大きな被害が生じた建築物の被害状況

1) 倒壊、崩壊した建築物の被害状況

倒壊、崩壊の被害となった建築物は3棟であり、2階及び3階建ての2棟は、1階が層崩壊し、3階建ての1棟は、2階と3階が崩壊していた。これらの建築物は、柱にH形鋼または日の字断面を用いたものであり、空中写真等^{5.5-2)}の調査から、いずれも1975年以前に建設されていた建築物と判断され、旧耐震基準の建築物と考えられる。以下に、これらの建築物の被害状況を示す。

① 建築物01 (WA-01)

建築物概要：3階建て、用途は事務所、構造形式はH形鋼柱梁の鉄骨ラーメン構造、H形鋼柱弱軸方

向はターンバックルブレース（2,3階）及び山形鋼ブレース（1階）の鉄骨ブレース構造である。空中写真等からは1975年以前に建設されたと判断され、旧耐震基準の建築物である。

被害状況：対象建築物の外観から推測される被害前の平面形状と、調査時の観察方向との対応関係を図5.5-2に示す。2階部分と3階部分が2階の脚部から西側に倒壊していた（写真5.5-1,4）。この建築物の東側と南側に3階建ての木造住宅が増築されていたと考えられ、平面的に不整形であった可能性がある。倒壊した鉄骨造建築物の平面形状は長方形で、その短辺方向に倒壊していた（写真5.5-1,3,5）。短辺方向は、塔状比が大きい方向であり、構造形式としてブレースが取り付け方向である。ターンバックルブレース及び山形鋼ブレースの座屈、接合部破断が見られた（写真5.5-2,6,7,8）。

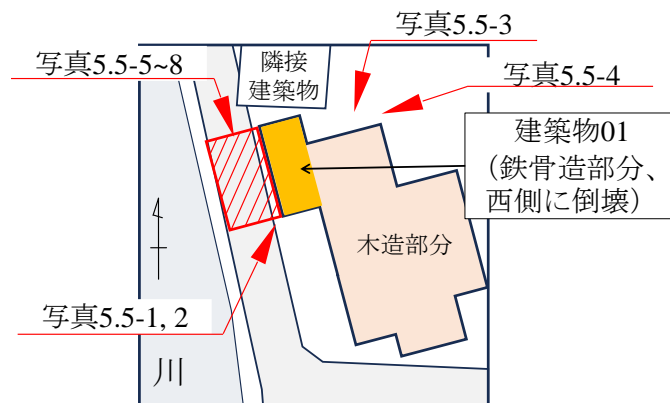


図 5.5-2 対象建築物の観察方向



写真 5.5-1 2階と3階が西側に倒壊(写真の手前が南側の木造住宅)



写真 5.5-2 3階柱頭部のH形柱弱軸方向に接続するターンバックルブレース



写真 5.5-3 東側の木造住宅



写真 5.5-4 1階は倒壊していない



写真 5.5-5 2階、3階の倒壊の状況



写真 5.5-6 2階のターンバックルブレース



写真 5.5-7 ターンバックルブレース接合部分



写真 5.5-8 1階の山形鋼ブレース

② 建築物 02 (WA-04)

建築物概要：3階建て、用途は事務所、構造形式はH形鋼柱梁の鉄骨ラーメン構造である。H形鋼柱弱軸側の梁端部はウェブのボルトは4本で、ハンチ状になっているように見える（写真 5.5-13,14）。空中写真等^{5.5-2)}からは1975年以前に建設されたと判断され、旧耐震基準の建築物である。

被害状況：1階が層崩壊していた（写真 5.5-9）。道路に平行な方向がH形鋼柱の弱軸方向で、この方向に倒壊したように見える（写真 5.5-10,14）。露出柱脚のアンカーボルトの破断及び柱脚の引き抜けが見られた（写真 5.5-11）。また、H形鋼柱の柱頭部での座屈が見られた（写真 5.5-12）。



写真 5.5-9 1階の層崩壊（正面）



写真 5.5-10 1階の層崩壊（側面）



写真 5.5-11 露出柱脚のアンカーボルト破断、柱脚の引き抜け



写真 5.5-12 1階 H 形鋼柱の柱頭部の座屈



写真 5.5-13 2階柱頭部の梁端部接合部



写真 5.5-14 倒壊した1階の柱頭部の梁端部接合部及び柱の座屈状況

③ 建築物 03 (NA-01)

建築物概要：地上2階建て、用途は店舗、構造形式は日の字断面柱を用いた鉄骨構造である。空中写真等^{5.5-2)}からは1975年以前に建設されたと判断され、旧耐震基準の建築物である。

被害状況：1階部分が層崩壊していた(写真 5.5-15, 16)。露出柱脚の引き抜けが見られた(写真 5.5-17, 18)。柱の外径は150mm程度であった(写真 5.5-19)。



写真 5.5-15 1階の層崩壊



写真 5.5-16 1階の層崩壊



写真 5.5-17 日の字断面柱の露出柱脚の引き抜け



写真 5.5-18 露出柱脚の引き抜け



写真 5.5-19 柱外径（約 150mm）

2) 大きな残留変形の被害が生じた建築物の被害状況

倒壊、崩壊していないものの、大きな残留変形が生じていた建築物がいくつか観察された。これらの建築物では、柱に H 形鋼または日の字断面を用いているものが多く、外見からも、かなり古い建設年代のものと思われるものが多かった。以下に、これらの建築物の被害状況を示す。

④ 建築物 04 (WA-06)

建築物概要：2 階建て、用途は事務所、構造形式は H 形鋼柱梁の鉄骨ラーメン構造で、H 形鋼柱弱軸方向はターンバックルブレース付きの構造である（写真 5.5-20, 22）。

被害状況：建築物全体の傾斜が見られ、隣接建築物と接触していた（写真 5.5-21）。前面の外壁の脱落、シャッター破損、窓ガラス、窓枠の破損が見られた（写真 5.5-23）。



写真 5.5-20 外観



写真 5.5-21 建築物全体の傾斜と隣接建築物との接触



写真 5.5-22 ターンバックルブレースの状況



写真 5.5-23 建築物前面の外壁の脱落、シャッター破損、窓ガラス、窓枠の破損

⑤ 建築物 05 (WA-13)

建築物概要：2階建て、用途は事務所兼住居、構造形式はH形鋼柱梁の鉄骨ラーメン構造であることを目視で確認した。(写真 5.5-24)

被害状況：建築物の裏側の外観からは、大きな残留変形が見られた(写真 5.5-25)。露出柱脚に大きな被害は見られなかった(写真 5.5-26)。



写真 5.5-24 外観 (正面)



写真 5.5-25 建築物の裏側からは大きな残留変形(たわみ)が見られた



写真 5.5-26 露出柱脚部

⑥ 建築物 06 (NA-05)

建築物概要：地上3階建て、用途は事務所、構造形式はH形鋼柱梁の鉄骨ラーメン構造である。

被害状況：建築物が沈下したことに伴う建築物全体の傾斜（写真 5.5-27,28）が見られた。外壁の一部の脱落が見られた（写真 5.5-27）。



写真 5.5-27 外観（建築物全体の傾斜）



写真 5.5-28 付近の地面の様子

⑦ 建築物 07 (SU-02)

建築物概要：地上2階建て、用途は民宿、構造形式はH形鋼柱、日の字断面柱とH形鋼梁の鉄骨ラーメン構造であることを目視で確認した。

被害状況：1階に大きな傾きが見られた（写真 5.5-29,30）。また、1階外壁の広範囲での脱落（写真 5.5-31,32）やガラスの損傷が見られた。



写真 5.5-29 外観



写真 5.5-30 1階の大きな傾き



写真 5.5-31 1階の状況



写真 5.5-32 外壁や地盤の状況

⑧ 建築物 08 (SU-03)

建築物概要：地上2階建て、用途は店舗、構造形式はH形鋼柱梁の鉄骨ラーメン構造で、H形鋼柱弱軸方向は丸鋼ブレースがあり、一部の柱は日の字断面であることを目視で確認した。

被害状況：建築物全体の大きな変形が見られた。また、外壁の脱落、コンクリートブロックの外壁等の破壊（写真 5.5-33, 34）が見られた。柱には錆による腐食が見られた（写真 5.5-35）。



写真 5.5-33 外観



写真 5.5-34 建築物全体の大きな変形及び外壁脱落



写真 5.5-35 柱の錆

⑨ 建築物 09 (N0-01)

建築物概要：地上 1 階建て、用途は工場、倉庫、構造形式は溝形軽量形鋼の組立て材のフレームにターンバックルブレースが取り付け付いたブレース構造であることを目視で確認した。床面積は 200m² 未満と推測され、建築基準法上の四号建築物に相当する規模であると思われる。

被害状況：建築物側面の外壁フレームの基礎部分からはらみだし（写真 5.5-36）、建築物全体の大きな変形、床の沈下、傾斜（写真 5.5-37）が見られた。ブレースの破断、組立て材の接合部破断（写真 5.5-38）が見られた。また、柱脚部のコンクリート破壊、アンカー鉄筋の破断（写真 5.5-40, 41）が見られた。外壁、内壁や窓枠の破損が見られた（写真 5.5-38,39）。



写真 5.5-36 側面の壁の基礎部分からの外れとはらみ出し



写真 5.5-37 床の沈下、傾斜



写真 5.5-38 組立て材のフレームの端部の破断と傾き、はらみ出し、外壁、内壁の破損



写真 5.5-39 内壁及び窓枠破損（建築物内の奥の内壁）



写真 5.5-40 出入り口の柱脚部分のコンクリート破壊、柱脚部のプレートに溶接されたアンカー鉄筋の破断



写真 5.5-41 出入り口の反対側の柱脚部(コンクリートの少々の破壊)

3) 引張ブレース及び露出柱脚に被害が生じた建築物の被害状況

構造部材の損傷として、引張ブレースの損傷と露出柱脚の損傷が比較的多く観察された。引張ブレースでは、ブレース端部の接合部のボルト破断、ブレース材の座屈やたわみなどが観察された。露出柱脚では、アンカーボルトの伸びや破断、コンクリートの破壊、柱脚の移動などが観察された。これらの建築物では、鉄骨部材に錆などが見られ、外見上、かなり古い建設年代と思われるものが多かった。以下に、これらの建築物の被害状況を示す。

⑩ 建築物 10 (WA-02)

建築物概要：3階建て、用途は店舗、構造形式は柱梁にH形鋼部材が用いられ、H形鋼柱強軸側に山形鋼ブレース(1階)とターンバックルブレース(2,3階)が取り付け鉄骨構造である(弱軸側は不明)。被害状況：写真 5.5-42 に建物外観を示す。建築物の側面での外壁の脱落と前面の窓ガラスや窓枠の破損が見られた(写真 5.5-42,43)。2Fのターンバックルの端部で破断が見られた(写真 5.5-43)。周辺地盤に隆起、沈下などが見られた(写真 5.5-42)。



写真 5.5-42 外観(前面の窓ガラスや窓枠の破損、周辺地盤の隆起、沈下)



写真 5.5-43 2階のターンバックルブレース端部の破断・脱落

⑪ 建築物 11 (WA-03)

建築物概要：4階建て、用途は店舗兼住居である。構造形式は、建築物の前方側は角形鋼管柱とH形鋼梁の鉄骨ラーメン構造、後方側は平鋼ブレースを用いた鉄骨構造であることを目視で確認した(写真 5.5-44,45)。前後で異なる構造形式であることから、増築されているとみられる。

被害状況：平鋼ブレースが湾曲して変形したことが原因と思われる外装材の破損が生じていた（写真 5.5-45）。前方側と後方側の接合部分において、残留変形に伴う大きな隙間が開いていた（写真 5.5-46）。



写真 5.5-44 外観（前面）



写真 5.5-45 平鋼ブレースの湾曲変形とそれによる外装材の破損

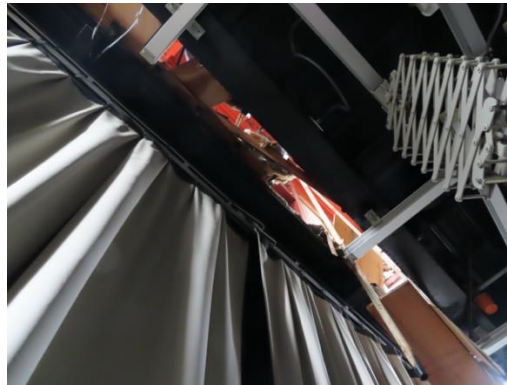


写真 5.5-46 残留変形による前後の建築物の隙間（建築物内部からの撮影）

⑫ 建築物 12 (WA-05)

建築物概要：2階建て、用途は事務所、構造形式は日の字断面柱とH形鋼梁の鉄骨ラーメン構造である。

被害状況：建築物の側面の外壁が広範囲で脱落していた（写真 5.5-47,48）。露出柱脚で、アンカーボルトの伸びと変形が見られた（写真 5.5-49）。



写真 5.5-47 外観



写真 5.5-48 柱は日の字断面



写真 5.5-49 露出柱脚の状況

⑬ 建築物 13 (WA-11)

建築物概要：3階建て、用途は店舗兼住居、構造形式はH形鋼柱が使われ、H形鋼柱の弱軸方向に平鋼ブレースが接続されている鉄骨構造である（写真 5.5-50）。

被害状況：外壁の一部に脱落が見られた（写真 5.5-51）。H形鋼柱の弱軸側の平鋼ブレースのボルトが破断し、平鋼ブレースが変形していた（写真 5.5-52）。



写真 5.5-50 外観



写真 5.5-51 外壁の一部脱落



写真 5.5-52 H形鋼柱の弱軸方向におけるブレース端部ボルトの破断、平鋼ブレース変形

⑭ 建築物 14 (WA-12)

建築物概要：3階建て、用途は店舗、構造形式はH形鋼柱梁の鉄骨ラーメン構造で、柱弱軸方向は丸鋼ブレースのブレース構造である。

被害状況：建築物の前面及び側面で、外壁、窓ガラス等が広範囲で脱落していた（写真 5.5-53,54）。丸鋼ブレースの接合部での破断が見られた（写真 5.5-55,56）。



写真 5.5-53 建築物前面の外壁、窓ガラスの脱落



写真 5.5-54 建築物側面の広範囲で外壁脱落



写真 5.5-55 柱梁接合部の状況、ブレース羽子板部破断（ボルトが残っている）

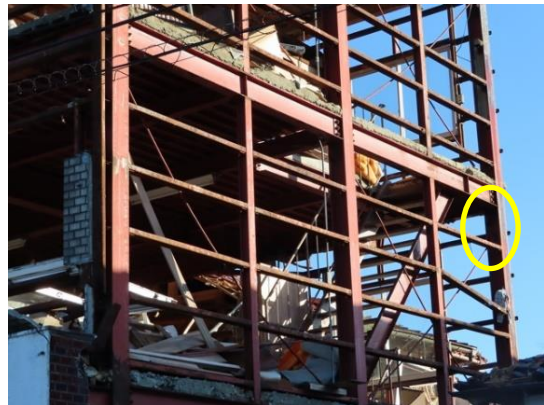


写真 5.5-56 ブレース端部の破断

⑮ 建築物 15 (NA-06)

建築物概要：地上4階建て、用途は事務所、構造形式はH形鋼柱梁の鉄骨ラーメン構造で、柱弱軸側は山形鋼ブレース構造、一部の柱は日の字断面柱である（写真 5.5-57,58,62）。

被害状況：露出柱脚のアンカーボルト破断とコンクリートの破壊（写真 5.5-59,60）が見られた。また、山形鋼ブレースの変形（写真 5.5-61）が見られた。



写真 5.5-57 外観



写真 5.5-58 内観



写真 5.5-59 露出柱脚のアンカーボルト破断、コンクリート破壊



写真 5.5-60 露出柱脚のアンカーボルト破断、コンクリート破壊



写真 5.5-61 山形鋼ブレースの変形



写真 5.5-62 柱梁接合部

⑩ 建築物 16 (SU-01)

建築物概要：地上3階建て、用途は倉庫、工場、構造形式はH形鋼柱梁の鉄骨ラーメン構造で、H形鋼柱弱軸方向はターンバックルブレース（2、3階）及び山形鋼ブレース（1階）の鉄骨構造である。
 被害状況：露出柱脚のアンカーボルト破断、コンクリート破壊、柱脚の移動（写真 5.5-66）が見られた。ターンバックルブレースのたわみ（写真 5.5-68）、山形鋼ブレースの座屈（写真 5.5-67）が見られた。外壁の広範囲での脱落やガラスの損傷（写真 5.5-63~65）が見られた。



写真 5.5-63 建築物前面の外壁の脱落



写真 5.5-64 建築物背面の外壁の脱落



写真 5.5-65 建築物背面の外壁の脱落



写真 5.5-66 柱脚のアンカーボルト破断、コンクリート破壊、移動



写真 5.5-67 山形鋼ブレース座屈



写真 5.5-68 ターンバックルブレースのたわみ

⑰ 建築物 17 (SU-04)

建築物概要：地上2階建て、用途は事務所、構造形式はH形鋼柱梁の鉄骨ラーメン構造で、H形鋼柱弱軸方向は山形鋼ブレースのブレース構造である。この構造の横に片屋根を有する木造の下屋が付属している（写真 5.5-69）。

被害状況：山形鋼ブレースの座屈（写真 5.5-70）が見られた。柱、梁部材に明らかな損傷は見られなかった（写真 5.5-71）。



写真 5.5-69 外観（木造下屋部分の分離）



写真 5.5-70 山形鋼ブレースの座屈



写真 5.5-71 柱梁接合部の状況

⑱ 建築物 18 (AN-02)

建築物概要：地上 2 階建て（写真 5.5-72）、用途は店舗、構造形式は H 形鋼柱梁の鉄骨ラーメン構造で、H 形鋼柱の弱軸側は平鋼ブレースを用いた鉄骨構造である（写真 5.5-76）。

被害状況：建築物が隆起したと思われる被害が見られ（写真 5.5-73,74）、建築物全体の傾斜が見られた。平鋼ブレースの接合部のボルトが破断し、ガセットプレートの溶接部も破断していると思われる（写真 5.5-77）。露出柱脚で錆による腐食と損傷が見られた（写真 5.5-75）。



写真 5.5-72 建築物外観（側面）



写真 5.5-73 建築物が隆起したと思われる被害



写真 5.5-74 建築物が隆起したと思われる被害



写真 5.5-75 柱脚の錆と腐食



写真 5.5-76 H形鋼弱軸側の柱梁接合部



写真 5.5-77 ブレース接合部ボルト無し、ガセット溶接部破断による回転

⑱ 建築物 19 (AN-04)

建築物概要：地上3階建て、用途は住宅、構造形式は日の字断面柱とH形鋼梁の鉄骨ラーメン構造である（写真 5.5-80）。

被害状況：露出柱脚のコンクリート部分で破壊が見られた（写真 5.5-81）。2階、3階の外壁が、広範囲で脱落していた（写真 5.5-78, 79）。



写真 5.5-78 外壁の脱落（表側）



写真 5.5-79 外壁の脱落（裏側）



写真 5.5-80 日の字断面柱の柱梁接合部



写真 5.5-81 露出柱脚のコンクリートの破壊

㊿ 建築物 20 (NO-02)

建築物概要：地上1階建て、用途は工場、倉庫、構造形式は溝形軽量形鋼の組立て材のフレームにターンバックルブレースが取り付けいたブレース構造である。

被害状況：ブレースのガセットプレート溶接接合部破断、組立て材柱端部の破断（これらの部分に錆による腐食も見られる）及びブレースの座屈や湾曲（写真 5.5-83~85）が見られた。また、外壁の脱落やサッシの脱落（写真 5.5-82）が見られた。



写真 5.5-82 外観及び外壁・サッシの脱落状況



写真 5.5-83 ターンバックルブレースの座屈及び溶接接合部の破断



写真 5.5-84 溝形鋼組立て材柱の錆と破断



写真 5.5-85 内観及びターンバックルブレースの湾曲

㉑ 建築物 21 (NO-03)

建築物概要：地上1階建て（写真 5.5-86）、用途は工場、倉庫、構造形式はターンバックルブレースを用いた構造である（柱、梁部材は不明）。

被害状況：窓越しにターンバックルブレースの座屈が見られた（写真 5.5-87,88）。



写真 5.5-86 外観（最後尾の建築物）



写真 5.5-87 ブレースの座屈



写真 5.5-88 ブレースの座屈

4) その他の構造被害の建築物の被害状況

その他の構造被害として、日の字断面柱の柱梁接合部で、柱の溶接部での亀裂の被害が観察された。また、屋根水平ブレースの破断の被害が観察された。それらの建築物の被害状況を以下に示す。

㉒ 建築物 22 (WA-08)

建築物概要：2階建て、用途は店舗、構造形式は日の字断面柱とH形鋼梁の鉄骨ラーメン構造である。

被害状況：建築物の側面の外壁の脱落が見られた（写真 5.5-89）。日の字断面柱の柱梁接合部で柱溶接部に亀裂が見られた（写真 5.5-91）。隣の建築物と衝突していた（写真 5.5-90）。



写真 5.5-89 外観（側面の外壁の脱落）



写真 5.5-90 隣接建築物との衝突



写真 5.5-91 日の字断面柱の柱梁接合部の柱溶接部の亀裂

㊸ 建築物 23 (WA-09)

建築物概要：1階建て、用途は工場、構造形式はH形鋼柱梁の鉄骨山形ラーメン構造で、H形鋼柱弱軸方向は山形鋼ブレース構造である。

被害状況：下屋部分のコンクリートブロック外壁の一部が外側に倒れかかっている（写真 5.5-92,93）。下屋部分の水平ブレースが破断していた（写真 5.5-95）。山形ラーメン構造部分の建屋におけるブレースの破断や座屈、ラーメン方向の明らかな部材の座屈や破断は見られなかった（写真 5.5-94）。また、窓ガラスの損傷が見られた（写真 5.5-93）。



写真 5.5-92 外観



写真 5.5-93 下屋のコンクリートブロック外壁が一部倒れかかっている



写真 5.5-94 山形ラーメンの柱梁及び山形鋼ブレースには大きな損傷は無い



写真 5.5-95 下屋の水平ブレースの破断

5) 非構造部材に大きな被害が生じた建築物の被害状況

構造部材に明確な損傷が見られない建築物でも、外壁や天井等の非構造部材が、広範囲で脱落する被害がいくつか観察された。これらの建築物の被害状況を以下に示す。

㊤ 建築物 24 (WA-10)

建築物概要：1階建て、用途は店舗、構造形式は角形鋼管柱とH形鋼梁の鉄骨ラーメン構造である。

被害状況：天井の全面的な脱落、軒天井の脱落が見られた（写真 5.5-96~98）。柱、梁部材に明確な損傷は見られなかった（写真 5.5-99）。



写真 5.5-96 外観（軒天井の脱落）



写真 5.5-97 内観（天井の全面的な脱落）



写真 5.5-98 天井の状態



写真 5.5-99 柱、梁部材に明確な損傷無し

㊸ 建築物 25 (NA-03)

建築物概要：地上 3 階建て、用途は店舗、構造形式は日の字断面柱と H 形鋼梁の鉄骨ラーメン構造である。

被害状況：外壁の広範囲での脱落（写真 5.5-100,101）が見られた。



写真 5.5-100 外壁の脱落



写真 5.5-101 外壁の脱落

㊸ 建築物 26 (NA-04)

建築物概要：地上 3 階建て、用途は事務所、構造形式は日の字断面柱と H 形鋼梁の鉄骨ラーメン構造である（写真 5.5-102,104）。

被害状況：建築物側面の外壁の広範囲での脱落（写真 5.5-103）が見られた。3 階は ALC パネルによる外壁、1、2 階はコンクリートブロック壁が脱落・転倒した様子が見られた（写真 5.5-105~107）。



写真 5.5-102 外観



写真 5.5-103 外壁（ALC パネル、コンクリートブロック壁）の広範囲での脱落・転倒



写真 5.5-104 日の字断面柱梁接合部



写真 5.5-105 ALC 外壁の脱落



写真 5.5-106 外壁（コンクリートブロック壁）の脱落・転倒



写真 5.5-107 外壁（コンクリートブロック壁）の脱落

㉗ 建築物 27 (AN-01)

建築物概要：地上3階建て、用途は店舗兼事務所、構造形式はH形鋼柱梁ラーメンとターンバックルブレースによるブレース付き鉄骨ラーメン構造である（写真 5.5-108,110）。

被害状況：側面のラスシートモルタル外壁が一構面の広範囲で脱落していた（写真 5.5-109,112）。また、脱落した構面の構造部分の一部に錆が見られた（写真 5.5-111）。



写真 5.5-108 外観



写真 5.5-109 側面の外壁の広範囲での脱落



写真 5.5-110 柱梁接合部



写真 5.5-111 柱の錆



写真 5.5-112 脱落したラスシートモルタル外壁

⑳ 建築物 28 (AN-03)

建築物概要：地上3階建て、用途は店舗、構造形式は日の字断面柱とH形鋼梁の鉄骨ラーメン構造である（写真 5.5-115）。

被害状況：柱梁接合部で部材及び接合部パネルで錆が見られた（写真 5.5-116）。建築物が隆起したと思われる被害が見られた（写真 5.5-113）。外壁は広範囲で脱落していた（写真 5.5-114）。入口のガラスが破損していた。その一方で、窓ガラスには損傷がないものもあった。



写真 5.5-113 建築物が隆起したと思われる被害



写真 5.5-114 外壁の広範囲の脱落



写真 5.5-115 柱梁接合部



写真 5.5-116 柱梁接合部の部材等

(2) 公共施設、教育施設等の鉄骨造建築物の被害調査

(i) 調査概要

鉄骨造建築物は、工場、倉庫、体育館など大空間の架構を容易に構成することができる構造として用いられることが多く、過去の地震でも、このような大空間の建築物の地震被害が観察されたことから、公共施設や教育施設等の大空間の建築物を主な対象にして、内観及び外観からの被害調査を行った。この調査は、事前の情報収集により、構造または非構造の被害が比較的大きいと判断された 24 の施設を対象にして調査を行ったものである。ここでは、調査した 24 の施設のうち、鉄骨構造部分に被害が観察された 7 つの施設の屋内運動場等について、被害状況を示すとともにその特徴をとりまとめている。

(ii) 調査対象と鉄骨構造部分に被害が生じた建築物

調査対象の地域は、図 5.5-1 に示した一般の鉄骨造建築物の被害調査と同じ地域であり、震度 6 強及び 7 を記録した 5 つの市町（輪島市、七尾市、珠洲市、穴水町、能登町）の公共施設、教育施設等の大空間の建築物である。これらの地域で、構造または非構造の被害が比較的大きいと判断された 24 の施設を対象にして、図 5.5-3 に示す通り、3 月 26 日～28 日の 3 日間で調査を行った。本報では、これらのうち、鉄骨構造部分に被害が観察された 7 つの施設（図中の黄色のハッチの施設）の屋内運動場等の被害調査を示す。

調査時刻	3月26日（火）		3月27日（水）		3月28日（木）	
	A	B	A	B	A	B
8:30～	WA-101 （輪島市、 小学校）	WA-105 （輪島市、 小学校）	NO-101 （能登町、 中学校）	WA-108 （輪島市、 高校）	WA-111 （輪島市、 小学校）	NA-103 （七尾市、 中学校）
10:30～	WA-102 （輪島市、 中学校）	WA-106 （輪島市、 小学校）	NO-102 （能登町、 小学校）	WA-109 （輪島市、 中学校）	AN-102 （穴水町、 高校）	NA-104 （七尾市、 小学校）
13:00～	WA-103 （輪島市、 小学校）	WA-107 （輪島市、 小学校）	SU-101 （珠洲市、 高校）	WA-110 （輪島市、 小学校）	AN-103 （穴水町、 文化施設）	NA-105 （七尾市、 小学校）
15:00～	WA-104 （輪島市、 公共施設）	AN-101 （穴水町、 教育・訓練 施設）	SU-102 （珠洲市、 公共施設）	NA-101 （七尾市、 文化施設）	NA-102 （七尾市、 文化施設）	NA-106 （七尾市、 高校）

図 5.5-3 調査した 24 の施設とそのうち鉄骨構造に被害が観察された 7 つの施設（黄色）

（iii）構造被害が生じた建築物の被害調査の結果

鉄骨構造部分に被害が観察された 7 つの施設の建築物の被害として、以下の 4 つの構造的な被害が観察された。

- 1) RC 架構と鉄骨屋根の屋内運動場の接合部（支承部）等の被害
- 2) ブレース構造の屋内運動場のブレース及び露出柱脚等の被害
- 3) 屋内運動場の水平ブレースの被害
- 4) ブレース構造の学校校舎のブレースの被害

以下に、これらの被害が生じた建築物について、上記の被害形態毎に、主に鉄骨構造部分の被害状況に関する調査結果を示す。

1) RC 架構と鉄骨屋根の屋内運動場の接合部（支承部）等の被害状況

RC 造架構で屋根が鉄骨構造の屋内運動場において、RC 造架構部分と鉄骨屋根の接続部分で、コンクリートのひび割れ、破壊、コンクリート片の脱落及びアンカーボルトの抜け出し、伸び変形等の被害が確認された。以下に、これらの建築物の被害状況を示す。

① 公共施設、教育施設 01 (NO-101)

本施設の屋内運動場は、1978 年竣工、2010 年度に耐震改修が行われている。本施設の屋内運動場について被害状況を確認した。屋内運動場（写真 5.5-117, 118）は、地上 2 階建て、1F、2F が RC 造で、枠付き H 形鋼ブレースフレームによる耐震補強が行われている（写真 5.5-119）。屋根は鉄骨立体トラス構造の建築物である（写真 5.5-120）。アリーナ部分は網目状の天井が鉄骨骨組に支持されている。

構造体の被害として、RC 造の架構と鉄骨屋根が接続する支承部（7～8 箇所）において、定着モルタルの破壊、RC 造架構のコンクリートの剥落等が見られた（写真 5.5-121～125）。



写真 5.5-117 外観



写真 5.5-118 内観



写真 5.5-119 枠付き H 形鋼ブレースフレームによる耐震補強



写真 5.5-120 鉄骨立体トラス梁の屋根



写真 5.5-121 支承部の RC 造架構のコンクリートの剥落



写真 5.5-122 支承部の RC 造架構のコンクリートの剥落



写真 5.5-123 支承部の定着モルタルの破壊



写真 5.5-124 支承部の状況



写真 5.5-125 支承部の RC 造架構のコンクリートのひび割れ

② 公共施設、教育施設 02 (AN-102)

屋内運動場の被害状況について確認した。屋内運動場（写真 5.5-126）は、1978 年頃竣工と思われる。地上 3 階建て、1F、2F が RC 造、屋根部分がトラス梁の体育館である（写真 5.5-127, 128）。2015 年に直近の耐震改修が行われている。

構造体の被害としては、妻面（入り口側）の RC 造柱の側面に、鉄骨屋根トラス梁及び水平ブレースが接続されており、その部分のコンクリートが引き抜きにより破壊され、一部脱落している（写真 5.5-129）。また、アンカーボルトの伸びや引き抜きも観察された（写真 5.5-130~132）。反対側の妻面における同様の接続部分には、損傷は見られなかった（写真 5.5-135,136）。平側の RC 造柱と鉄骨屋根トラス梁の接続部（支承部）では、同様の損傷は見られなかった（写真 5.5-133,134）。



写真 5.5-126 外観



写真 5.5-127 内観

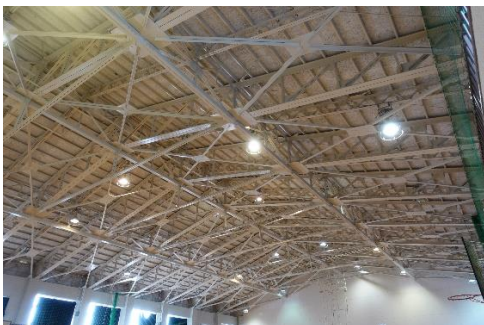


写真 5.5-128 トラス屋根



写真 5.5-129 妻面（入り口側）の RC 造柱とトラス屋根の梁の接続部の損傷



写真 5.5-130 RC 造柱のコンクリートの破壊、脱落、アンカーボルトの抜け出し



写真 5.5-131 RC 造柱のコンクリートの破壊、脱落、アンカーボルトの伸び



写真 5.5-132 RC 造柱のコンクリートのひび割れ



写真 5.5-133 平側の RC 造柱の柱頭とトラス梁の接続部（支承部）の状況



写真 5.5-134 平側の RC 造柱の柱頭とトラス梁の接続部（支承部）ではほとんど損傷無し



写真 5.5-135 妻壁（反対側）とトラス屋根接続部では損傷無し



写真 5.5-136 妻面（反対側）の RC 造柱とトラス屋根接続部では損傷無し

2) ブレース構造の屋内運動場のブレース及び露出柱脚等の被害状況

ブレース構造の屋内運動場において、引張ブレースに、残留たわみが観察された。また、露出柱脚のコンクリート部分の破壊が観察された。以下に、これらの建築物の被害状況を示す。

③ 公共施設、教育施設 03 (SU-101)

第一体育館及び第二体育館について被害状況を示す。第二体育館は 1981 年に増築されたものである。2006~2007 年にかけて第一・第二体育館の耐震改修が行われている。

第一体育館 (写真 5.5-137) は、地上 2 階建てで、1F RC 造、2F 鉄骨造で、2F の鉄骨造の張間方向が H 形鋼柱梁の山形ラーメン構造、桁行方向が山形鋼 (1 丁または 2 丁合わせ) のブレース構造である。

構造体の被害として、桁行方向のブレースのうち、山形鋼 (L-65×65 程度) において、最大 60~70mm (たわみ角 1.0%以上) 程度の面外たわみが見られた (写真 5.5-138~140)。アリーナ床面の半分程度の面積の沈下が確認された。第一体育館と第二体育館の間の屋内通路が損傷し、約 60cm 離間していた (写真 5.5-141,142)。

第二体育館 (写真 5.5-143, 144) は、地上 2 階建てで、1F RC 造、2F 鉄骨造で、2F の鉄骨造張間方向が H 形鋼柱梁の山形ラーメン構造、桁行方向が山形鋼 (1 丁または 2 丁合わせ) または CT 鋼を用いたブレース構造である。

構造体の被害として、アリーナ床面の半分程度の面積の沈下が確認された (写真 5.5-145)。桁行方向のブレースのうち、CT 鋼 (T-125×65 程度) において、最大 100~110mm (たわみ角 1.8%) 程度の面外たわみが見られ、付近の手すりに接触していた (写真 5.5-146~148)。

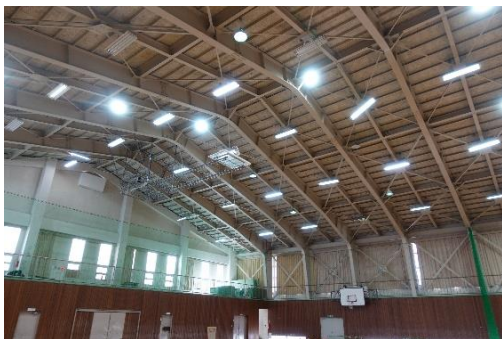


写真 5.5-137 第一体育館 内観



写真 5.5-138 第一体育館 山形鋼ブレース (1 丁) の面外たわみ



写真 5.5-139 第一体育館 山形鋼ブレース (1 丁) の面外たわみ



写真 5.5-140 第一体育館 山形鋼ブレース (2 丁合わせ)



写真 5.5-141 第一体育館と第二体育館
の通路の損傷による約 60cm の隙間



写真 5.5-142 第一体育館と第二体育館の隙
間



写真 5.5-143 第二体育館 外観



写真 5.5-144 第二体育館 内観



写真 5.5-145 第二体育館 床の沈下



写真 5.5-146 第二体育館 ブレース
(CT形鋼) の面外たわみ



写真 5.5-147 第二体育館 山形鋼ブレ
ース (2丁合わせ)



写真 5.5-148 第二体育館 山形鋼ブ
レース (1丁)

④ 公共施設、教育施設 04 (AN-101)

屋内運動場（写真 5.5-149）は、1977 年竣工の 2 階建てで、張間方向は山形ラーメン構造、桁行方向はブレース構造の鉄骨造である（写真 5.5-150）。

構造体の被害としては、ほとんどの水平ブレースでターンバックルねじ部での破断（写真 5.5-151）、鉛直ブレース（FB-65×6）のたわみ（写真 5.5-152）、柱脚部のコンクリートの破壊（写真 5.5-153）が見られた。



写真 5.5-149 外観



写真 5.5-150 内観



写真 5.5-151 ターンバックルねじ部の破断



写真 5.5-152 ブレースのたわみ



写真 5.5-153 柱脚部のコンクリートの破壊

3) 屋内運動場の水平ブレースの被害状況

屋内運動場で、屋根面水平ブレースの破断やたわみが確認された。以下に、これらの建築物の被害状況を示す。

⑤ 公共施設、教育施設 05 (NA-105)

1983年竣工の2階建て屋内運動場で、架構はSRC造、屋根は鉄骨造である(写真5.5-154)。構造体の被害としては、水平ブレース端部の破断が見られた(写真5.5-155,156)。



写真 5.5-154 外観



写真 5.5-155 水平ブレース端部の破断

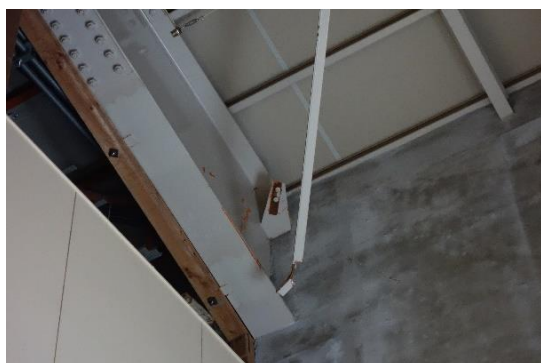


写真 5.5-156 水平ブレース端部の破断

⑥ 公共施設、教育施設 06 (NA-106)

屋内運動場2(写真5.5-157)は1996年竣工の2階建てで、架構はSRC造、屋根は鉄骨造である。1階部分は武道場及び部室、2階は体育館である(写真5.5-158)。

構造体の被害としては、ほとんどの水平ブレースでたわみが見られた(写真5.5-159)。また、SRC造柱と鉄骨梁の接合部において、コンクリートのひび割れを確認した(写真5.5-160)。



写真 5.5-157 外観

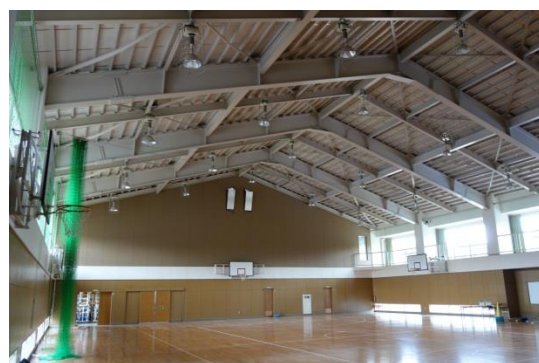


写真 5.5-158 2階体育館の内観



写真 5.5-159 2階体育館の水平ブレースの
たわみ

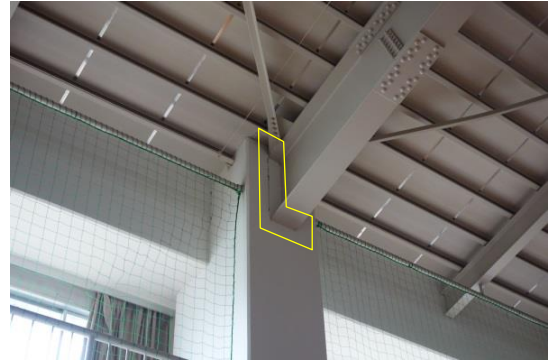


写真 5.5-160 2階体育館の柱梁接合部の
コンクリートのひび割れ

4) ブレース構造の学校校舎のブレースの被害状況

柱に H 形鋼を用いた鉄骨ブレース構造の学校校舎において、山形鋼ブレースを 2 丁合わせとしたブレース材で座屈の被害が観察された。以下に、これらの建築物の被害状況を示す。

⑦ 公共施設、教育施設 07 (WA-111)

校舎 (写真 5.5-161) は、1979 年竣工、2009 年に耐震改修が行われている、地上 3 階建ての鉄骨造建築物であり、L 字状に平面を構成している。柱梁部材は H 形鋼で、山形鋼 2 丁合わせのブレース構造である。

構造体の被害としては、1 階の山形鋼 2 丁合わせのブレースで座屈が観察された (写真 5.5-162)。



写真 5.5-161 外観



写真 5.5-162 1階ブレースの座屈の
被害

5.5.3 まとめ

令和 6 年能登半島地震による鉄骨造建築物の被害状況を把握するために、震度 6 強以上が観測された 5 つの市町 (輪島市、七尾市、珠洲市、穴水町、能登町) を対象に、1) 一般の鉄骨造建築物の被害調査、2) 公共施設、教育施設等の鉄骨造建築物の被害調査、を行った。以下に、これらの調査から得られた結果をまとめて示す。

(1) 一般の鉄骨造建築物の被害調査

- ・調査した一般の鉄骨造建築物のうち、倒壊、崩壊した建築物は3棟であった。このうち、2階及び3階建ての2棟は、1階が層崩壊した。3階建ての1棟は、2階と3階が崩壊していた。また、倒壊していないものの、大きな残留変形が生じていた建築物は6棟程度あった。これらの建築物では、柱にH形鋼または日の字断面を用いたものが多かった。
- ・構造部材の被害として、引張ブレースで、ブレース端部の接合部のボルト破断、ブレース材の座屈やたわみ等が観察された。また、露出柱脚で、アンカーボルトの伸びや破断、コンクリートの破壊、柱脚の移動などが観察された。その他、日の字断面柱の柱溶接部で亀裂の被害が観察された。また、構造的に明確な損傷が見られないものの、外壁等の非構造部材が広範囲に脱落する建築物の被害が観察された。
- ・調査したこれらの鉄骨造建築物では、錆なども多く見られ、外観上もかなり古い建設年代と思われるものが多かった。これらの構造形式として、日の字断面柱を用いているものやH形鋼柱を用いているものが比較的多く、このような構造形式は、一般的に旧耐震基準の年代（1981年以前）の建築物に多いと考えられる。なお、上記の倒壊、崩壊した3棟の建築物は、空中写真等の調査から、1975年以前に建設されていた建築物と判断され、旧耐震基準の建築物と考えられる。

(2) 公共施設、教育施設等の鉄骨造建築物の被害調査

屋内運動場の構造被害

- ・RC造架構で屋根が鉄骨構造の屋内運動場において、RC造架構部分と鉄骨屋根の接続部分で、コンクリートのひび割れ、破壊、コンクリート片の脱落及びアンカーボルトの抜け出し、伸び変形等の被害が確認された。これらの接続部分としては、RC造架構の梁または柱と鉄骨屋根が接続している接合部（支承部）や妻壁のRC造柱の側面に鉄骨屋根が接続している部分であった。これらの建築物では耐震改修が行われており、これまでの地震でみられた新耐震基準以降の建築物の被害と同様の被害が確認されたが、倒壊・崩壊したものは確認されなかった。
- ・山形鋼やCT形鋼を用いたブレース構造の屋内運動場において、これらのブレースに、最大で1%～1.8%程度の残留たわみが観察された。また、平鋼ブレースを用いた屋内運動場においても、残留たわみが確認された。また、露出柱脚のコンクリート部分の破壊が観察された。
- ・屋内運動場において、鉄骨屋根面の水平ブレースにおける破断やたわみが確認された。

学校校舎の構造被害

- ・柱にH形鋼を用いた鉄骨ブレース構造の学校校舎において、山形鋼ブレースを2丁合わせとしたブレース材で座屈の被害が観察された。

参考文献

- 5.5-1) 2024(令和6)年能登半島地震による石川県能登地方における鉄骨造建築物及び建築物の非構造部材の被害調査報告(速報)、国土交通省国土技術政策総合研究所、国立研究開発法人建築研究所、2024.6 https://www.kenken.go.jp/japanese/contents/topics/2024/R6_6_14_1_noto.pdf
- 5.5-2) 地図・空中写真閲覧サービス、国土地理院 <https://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1>