

5.4. 鉄骨造建築物の被害

5.4.1 調査の目的と概要

熊本地震による鉄骨造建築物の被害状況、被害の特徴、被害要因を把握するために、1) 益城町における鉄骨造建築物の調査、2) 学校体育館の調査、3) その他の鉄骨造建築物の調査(初動調査を含む)、の3つの被害調査を行った。

益城町における鉄骨造建築物の調査は、熊本地震による鉄骨造建築物の被害状況及び倒壊又は大破した鉄骨造建築物の被害要因を把握するため、4月14日(前震)と16日(本震)の両方の地震で震度7を観測した益城町宮園観測点を中心に、4月28～29日の2日間で96棟の鉄骨造建築物の被害調査を行ったものである。5.4.2(1)では、この調査で、主として倒壊又は大破と判定された鉄骨造建築物についての調査結果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、ここではその代表として、学校体育館等(市民体育館も含む。以下、単に「学校体育館」という)を選び、6月8～10日の3日間で被害調査を行った。ここでの学校体育館の調査は、事前の熊本県及び熊本市からのヒアリング調査の情報に基づいて、構造的な被害が大きいと考えられる体育館15棟について調査を行ったものであり、熊本地震による学校体育館の被害状況を把握するとともに、被害の特徴と要因を把握することが目的である。5.4.2(2)では、調査した各体育館の被害状況を示すとともに、それらに基づいて、学校体育館の被害の特徴と要因について取りまとめている。

熊本地震の発災直後に、鉄骨造建築物の全般的な構造被害の把握と、被害原因や今後の詳細調査の必要性等について検討することを目的とした調査を実施した。この調査は、熊本地震の発災直後の4月20～21日の2日間で実施し、熊本市内等での比較的大きな規模の鉄骨造建築物や益城町で大きな被害が生じた鉄骨造建築物を対象として実施したものである。5.4.2(3)では、この調査のうち、熊本市内の比較的大きな規模の鉄骨造建築物の被害状況について、その他の鉄骨造建築物の調査として示す。

以下に、これらの3つの被害調査の結果を示す。

5.4.2 調査結果

(1) 益城町における鉄骨造建築物の調査

(i) 調査概要

熊本地震による鉄骨造建築物の被害状況及び、倒壊又は大破した鉄骨造建築物の被害要因を把握するため、益城町宮園観測点近傍の安永・宮園・木山・辻の城・寺迫地区の96棟の鉄骨造建築物の被害調査を行った。本報では、この調査で対象となった鉄骨造建築物のうち、主として倒壊又は大破した鉄骨造建築物について、それらの被害調査結果、被害の特徴を分類、整理した結果を示す。

(ii) 調査対象の建築物

調査した鉄骨造建築物96棟の位置を図5.4-1に示す。図中の◎印は強震観測点である益城町役場とKiK-net 益城を示す。観測点近傍の地区と大きな被害が報告されている地区を中心に、事前にGoogle Map及びストリートビューの情報等を利用して候補を挙げ、調査後に鉄骨造と確定したものを調査建築物として示している。図中の黒色の■マークは倒壊又は大破と判断されたもの(判断の方法については、「5.4.2(1)(iii) 被害の概要」参照)を示し、白色の□マークは構造躯体が無被害か、損傷があっても大破に該当しない比較的軽微なものを示す。

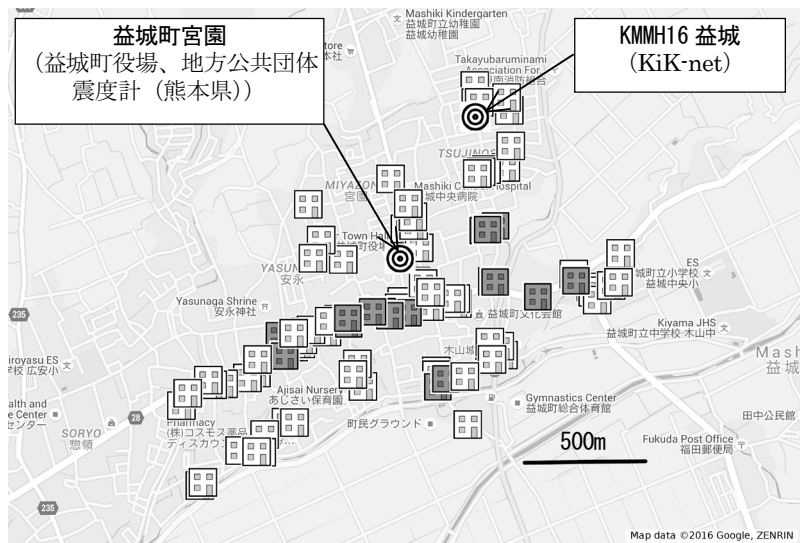


図 5.4-1 調査建築物 全96棟 (Google Map を利用)

図 5.4-2 に調査建築物の内訳を示す。図 5.4-2 (a)は階数を示したもので、1階建 28棟、2階建 59棟、3階建 8棟、4階建 1棟である。図 5.4-2 (b)は用途で分類したもので、店舗・事務所等 34棟、集合住宅 23棟、戸建住宅 14棟、店舗併用住宅 (集合住宅との併用を含む) 12棟、倉庫 (車庫、工場を含む) 12棟、立体駐車場 1棟である。なお、調査建築物には、体育館は含まれていない。

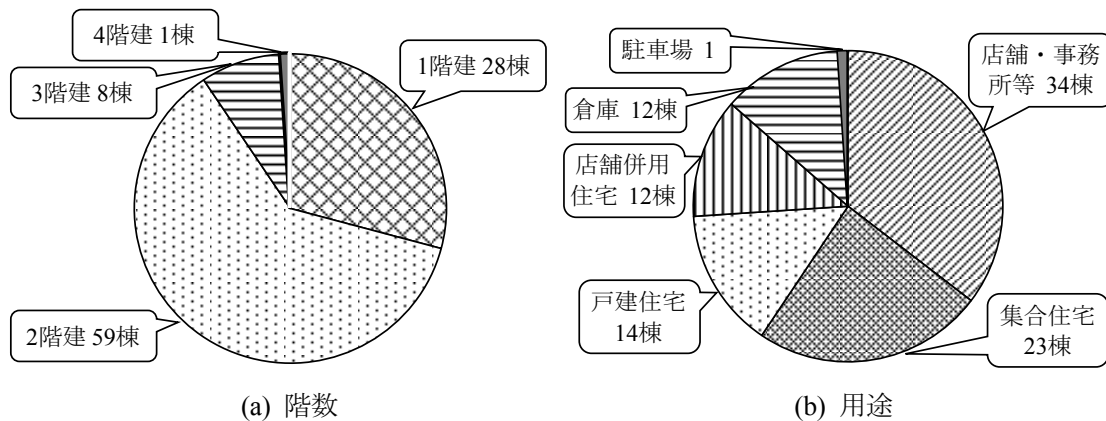


図 5.4-2 調査建築物の内訳

(iii) 被害の概要

全体の 96 棟のうち、倒壊は 1 棟 (1%)、大破は 15 棟 (16%) である。「大破」の判断は被災度区分判定基準^{5.4-1)}に示される柱の残留傾斜角 1/30 を参考にしつつ、外観調査の範囲で確認できる被害状況を勘案して判断した。主に現地調査の情報に基づく暫定的な判断であり、今後の追加調査等により変更される可能性を有している。倒壊や大破といった構造躯体への大きな被害の割合は全体の 17%であった。

(iv) 倒壊又は大破した鉄骨造建築物の被害調査結果

倒壊又は大破した建築物 16 棟の被害調査結果を示す。建設年については、国土地理院の航空写真、ウェブサイトの情報、現地でのヒアリングの情報等に基づいて推定を行ったものであり、今後、追加で情報が得られれば変更される可能性がある。

1) 建築物 01 (建設年 1987 年頃) : 「倒壊」

本建築物は 4 階建ての店舗併用住宅である。角形鋼管柱 (辺長 200mm) (2 階) が使用されている。2 階が完全に層崩壊しており、柱梁接合部パネルとダイアフラム間の溶接部で破断が生じている。



写真 5.4-1 外観



写真 5.4-2 パネルーダイアフラム間の溶接部の破断



写真 5.4-3 パネルーダイアフラム間の溶接部の破断

2) 建築物 02 (建設年 1971 年) : 「大破」

本建築物は 2 階建ての共同住宅である。日の字断面柱 (以下、日の字柱と呼ぶ) (辺長 250mm) が使用されている。1 階が大きく傾いており、柱の残留傾斜角は 23 度である。



写真 5.4-4 外観



写真 5.4-5 梁端破断



写真 5.4-6 梁下フランジ添え板の孔欠損部破断

3) 建築物 03 (建設年 1980 年) : 「大破」

本建築物は 3 階建ての住宅である。日の字柱と H 形柱が混在して使用されている。1 階が大きく傾いており、柱の残留傾斜角は 8 度である。柱脚部にアンカーボルトの伸びが生じている。



写真 5.4-7 外観



写真 5.4-8 柱脚部の損傷状況

4) 建築物 04 (建設年 1976 年) : 「大破」

本建築物は 1 階鉄骨造、2 階木造 (2 階はヒアリングによる情報) の店舗併用住宅である。日の字柱 (辺長 200mm) が使用されている。1 階が大きく傾いており、柱の残留傾斜角は 5 度である。ヒアリングによると建設年は 40 年程前とのことであった。



写真 5.4-9 外観

5) 建築物 05 (建設年 1993 年) : 「大破」

本建築物は 2 階建ての店舗併用住宅である。角形鋼管柱が使用されている。1 階が大きく傾いており、柱の残留傾斜角は 30.5 度である。(写真で) 左隣の倒壊した RC 造が寄りかかり力を受けて傾斜したものと推定される。



写真 5.4-10 外観

6) 建築物 06 (建設年 1986 年) : 「大破」

本建築物は 2 階建ての店舗である。角形鋼管柱 (辺長 250mm) が使用されている。1 階が大きく傾いており、柱の残留傾斜角は 8.5 度である。柱の局部座屈、柱とダイアフラム間の溶接部の破断が生じている。



写真 5.4-11 外観



写真 5.4-12 柱の局部座屈



写真 5.4-13 柱とダイアフラム間の溶接部の破断

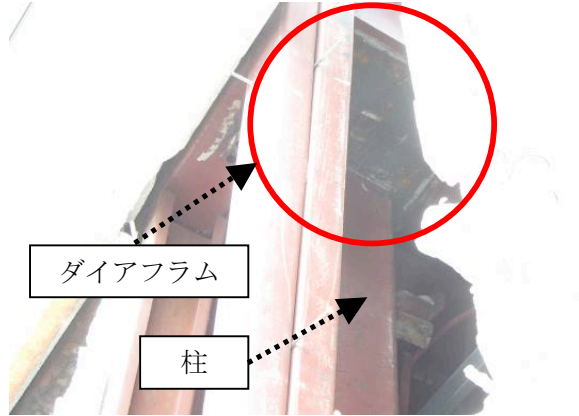


写真 5.4-14 柱とダイアフラム間の溶接部の破断

7) 建築物 07 (建設年 1982 年以前) : 「大破」

本建築物は平屋の車庫である。トラス梁の下弦材の破断が生じている。応急危険度判定によると、建物全体の傾斜、柱の座屈、柱脚の破損、梁継手の破壊が生じているとのことであった。



写真 5.4-15 外観

8) 建築物 08 (建設年 1982 年以前) : 「大破」

本建築物は平屋の倉庫である。大きく傾いており、柱の残留傾斜角は7度である。柱脚部のアンカーボルトの伸び、コンクリートの側方破壊が生じている。



写真 5.4-16 外観



写真 5.4-17 柱脚部の損傷状況

9) 建築物 09 (建設年 1995 年) : 「大破」

本建築物は 2 階建ての共同住宅である。角形鋼管柱 (辺長 200mm) が使用されている。梁せいは 300mm である。1 階が大きく傾いており、柱の残留傾斜角は 3 度である。梁端破断が生じている。また、柱梁接合部パネルとダイアフラム間の溶接部で破断が生じている。



写真 5.4-18 外観



写真 5.4-19 梁端破断



写真 5.4-20 パネルとダイアフラム間の溶接部の破断



写真 5.4-21 パネルとダイアフラム間の溶接部の破断 (拡大)

10)、11) 建築物 10、11 (建設年 2006 年) : 「大破」

本建築物 10、11 は共に同じタイプの 2 階建ての共同住宅である。大きく傾いており、柱の残留傾

斜角は4.5度である（建築物10で測定）。ブレース（ターンバックル）の破断、座屈による著しいたわみが、それぞれ建築物10及び11に生じている。宅地擁壁部分が崩壊しており、それが建築物の損傷に何らかの影響を及ぼした可能性がある。



写真 5.4-22 外観



写真 5.4-23 外観



写真 5.4-24 宅地擁壁部分の崩壊

1 2) 建築物12（建設年1982年）：「大破」

本建築物は2階建ての店舗である。日の字柱（辺長200mm）が使用されている。梁せいは250mmである。1階が大きく傾いており、柱の残留傾斜角は17.5度である。柱の破断、梁端破断、柱の局部座屈が生じている。



写真 5.4-25 外観



写真 5.4-26 柱の破断



写真 5.4-27 梁端破断



写真 5.4-28 柱の局部座屈

1 3) 建築物 13 (建設年 1985 年) : 「大破」

本建築物は 3 階建ての共同住宅である。日の字柱 (辺長 175mm) が使用されている。1 階が大きく傾いており、柱の残留傾斜角は 9 度である。



写真 5.4-29 外観



写真 5.4-30 柱の傾斜

1 4) 建築物 14 (建設年 1992-1997 年) : 「大破」

本建築物は平屋の店舗である。角形鋼管柱 (辺長 150mm) が使用されている。大きく傾いており、柱の残留傾斜角は 10 度である。梁端溶接部の破断、柱梁接合部パネルとダイアフラム間の溶接部の破断が生じている。



写真 5.4-31 外観



写真 5.4-32 柱の傾斜

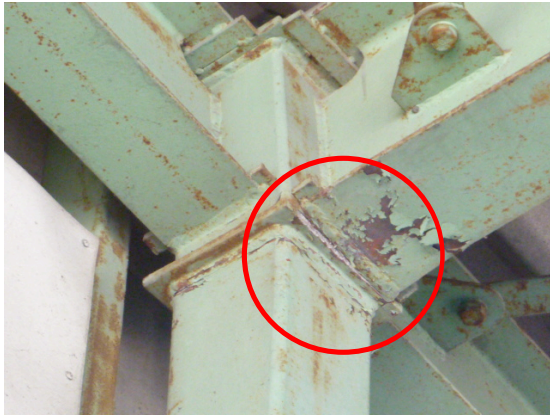


写真 5.4-33 梁端溶接部の破断



写真 5.4-34 パネルとダイアフラム間の溶接部の破断

1 5) 建築物 15 (建設年 2000 年) : 「大破」

本建築物は 3 階建ての住宅である。角形鋼管柱 (辺長 250mm)、間柱 (辺長 150mm)、溝形鋼ブレース 150×75 が使用されている。宅地の地盤変状が生じている。1 階に傾斜が生じている。ブレースはほぼ無損傷である。柱脚部にベースモルタルの破損、アンカーボルトの伸びが生じている。柱頭部に損傷が生じている可能性があるが、状況は不明である。1 階のブレースの配置に平面的な偏りがあり、地震時にねじれが生じたことで、ブレースの無い入口側の柱脚の損傷や柱の残留傾斜角が相対的に大きくなったと思われる。また、宅地の地盤変状が建築物の傾斜等に何らかの影響を及ぼした可能性がある。



写真 5.4-35 外観



写真 5.4-36 ブレースの状況 (ほぼ無損傷)



写真 5.4-37 柱脚部の損傷状況



写真 5.4-38 宅地の地盤変状

1 6) 建築物 16 (建設年 2003-2008 年) : 「大破」

本建築物は2階建ての店舗である。角形鋼管柱 (辺長 150mm)、間柱 (辺長 100mm) が使用されている。1階が大きく傾いており、柱の残留傾斜角は5度である。柱に局部座屈、2階プレハブの柱脚部でボルト破断が生じている。



写真 5. 4-39 外観



写真 5. 4-40 柱の傾斜



写真 5. 4-41 柱の局部座屈



写真 5. 4-42 柱脚部ボルト破断

(v) 益城町における鉄骨造建築物の調査のまとめ

本報告は、平成 28 年 (2016 年) 熊本地震で震度 7 を観測した益城町宮園観測点近傍の安永・宮園・木山・辻の城・寺迫地区における鉄骨造建築物の被害調査結果をまとめたものである。調査した鉄骨造建築物の総数は 96 棟である。

調査の結果、倒壊又は大破した鉄骨造建築物の総数は 16 棟 (倒壊 1 棟、大破 15 棟)、その割合は 17%であった。また、倒壊又は大破した鉄骨造建築物は、次の特徴のいずれかを有するものであった。

- ・特徴 1) 建設年が 1980 年以前と推定されるもの又は古いタイプの部材 (日の字柱) を用いたもの
- ・特徴 2) 隣の倒壊した建築物による力の作用、宅地擁壁部分の崩壊等の当該建築物以外の周辺状況による何らかの影響があったと推定されるもの
- ・特徴 3) 溶接部等で破断が生じていたもの

なお、倒壊又は大破した建築物と特徴 1), 2), 3) との対応関係は表 5. 4-1 のとおりであった。ここで、建築物の番号に*印が付いているものは、建設年が新耐震基準以降 (1981 年以降) と判明している建築物である。

表 5.4-1 倒壊又は大破した建築物と特徴 1),2),3)との対応関係

建築物	01*	02	03	04	05*	06*	07	08	09*	10*	11*	12*	13*	14*	15*	16*
特徴 1)		○	○	○			○	○				○	○			
特徴 2)					○					○	○				○	
特徴 3)	○	○				○	○		○	○		○		○		○

(2) 学校体育館の調査

(i) 調査概要

平成 28 年（2016 年）熊本地震においては、いくつかの学校体育館で構造的な被害が生じていることが、熊本県及び熊本市からのヒアリング調査^{5.4-2)}により明らかにされた。それらの被害は、ブレース架構の学校体育館のブレースの座屈や接合部等での破断、屋根面水平ブレースの接合部等の破断、RC 架構に鉄骨屋根が接続された学校体育館における屋根と RC 架構の接続部（支承部）でのコンクリートの破壊、鉄骨トラス屋根のボールジョイントと部材との接合部での破壊等である。本調査では、国土交通省住宅局の要請を踏まえ、このような被害が生じた学校体育館を対象に、被害状況を把握するとともに、被害の特徴と原因を明らかにすることを目的としている。5.4.2(2)では、調査した各体育館の被害状況を示すとともに、それらに基づいて、被害の特徴と要因について取りまとめている。

(ii) 調査対象の体育館

熊本県及び熊本市からのヒアリング調査の情報に基づいて、被害が大きいと思われる体育館を 15 棟選定して現地調査を行った。調査した体育館 15 棟の位置を図 5.4-3 に示す。図中の赤丸印が調査した体育館の位置である。15 棟の体育館のうち、熊本県立高校及び支援学校が 4 校、熊本市立小学校及び中学校が 10 校、熊本市立の運動施設が 1 棟である。これらの体育館では、新耐震基準に基づいて設計された体育館は 5 棟、耐震改修済み 8 棟、耐震診断の結果、補強不要と判断されたものが 2 棟である。

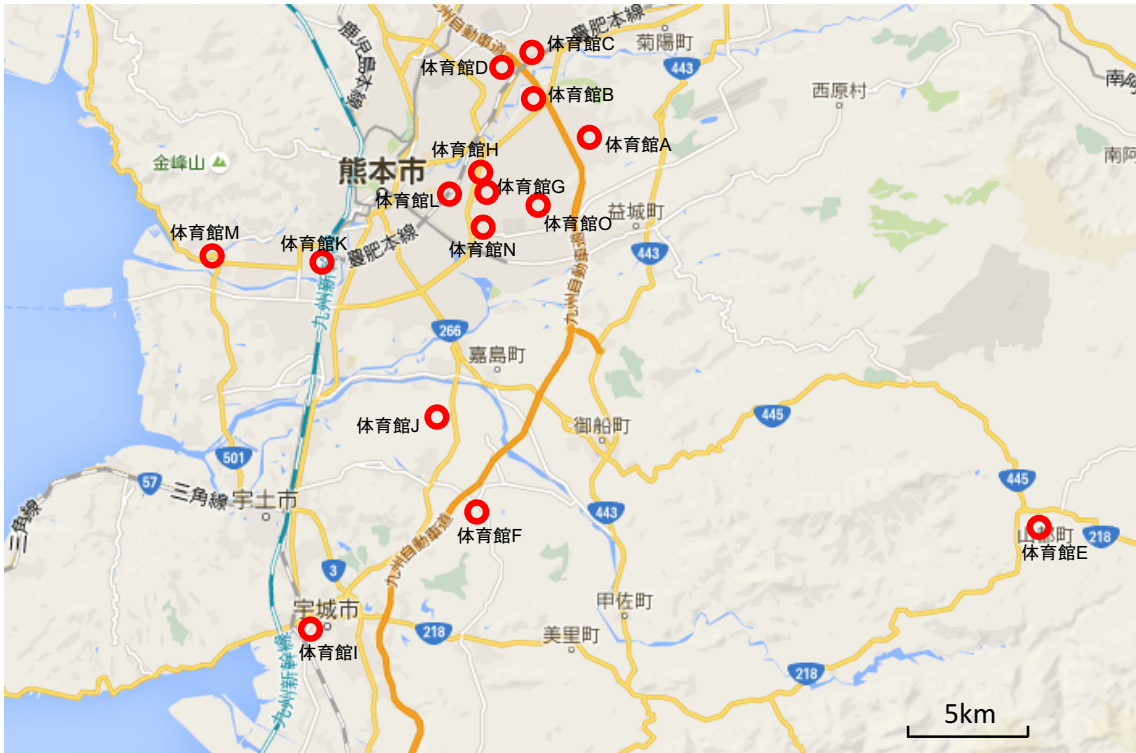


図 5.4-3 調査した 15 棟の体育館の位置 (Google Map を利用)

(iii) 各体育館の被害の概要

a) 体育館 A

【建築物の概要】 1969 年建設、2011 年度に耐震改修された体育館。架構は鉄骨造で、張間方向アーチ形屋根のラーメン構造、桁行き方向ブレース構造。

【構造被害】 鉛直ブレースでは、何か所かのガセットプレート及びブレース端部に塑性変形が見られた。また、屋根面水平ブレース（ターンバックル付き丸鋼ブレース）では、2 箇所所でボルト破断が観察され、ブレースのたわみも観察された。屋根面水平ブレースは、耐震改修前のブレースがそのまま設置されていたものである（耐震改修によって、鉛直ブレースは全て交換されていたが、屋根面水平ブレースは新設または取り替えられておらず、改修前のブレースがそのまま設置されていた）。また、一部の柱脚部のコンクリートのひび割れや周辺地盤の沈下も観察された。

【非構造部材の被害】 舞台に向かって右側に位置する掃き出し窓上部の内壁（コンクリートブロックに有孔ベニアで仕上げたもの。）が損傷して傾いていた。コンクリートブロック壁の鉄筋の頂部は、確認した範囲では、梁等への定着は確認されていなかった。その他、吊り下げ式バスケットゴールのテンションリングの脱落、窓ガラスの破損・脱落、ラスモルタル外壁の損傷・脱落などが確認された。



写真 5. 4-43 内観



写真 5. 4-44 耐震改修された鉛直ブレース（一部の床板が交換されている）



写真 5. 4-45 ブレース端部の塑性化



写真 5. 4-46 ガセットプレートの曲がり



写真 5. 4-47 屋根面水平ブレースの曲がり



写真 5. 4-48 屋根面水平ブレースのボルト破断

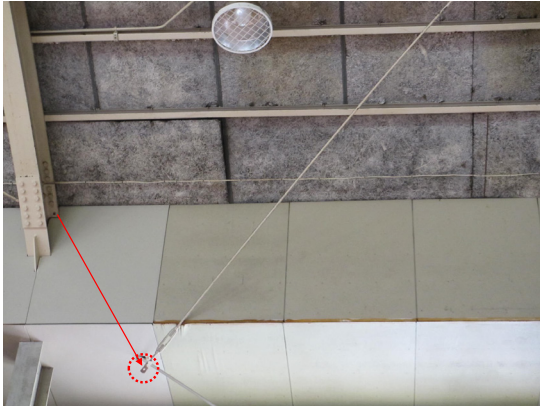


写真 5.4-49 屋根面水平ブレースボルト破断と垂れ下がり



写真 5.4-50 破断した屋根面水平ブレースのボルト



写真 5.4-51 柱脚部のコンクリートひび割れ



写真 5.4-52 周辺地盤の沈下



写真 5.4-53 損傷して傾いた内壁

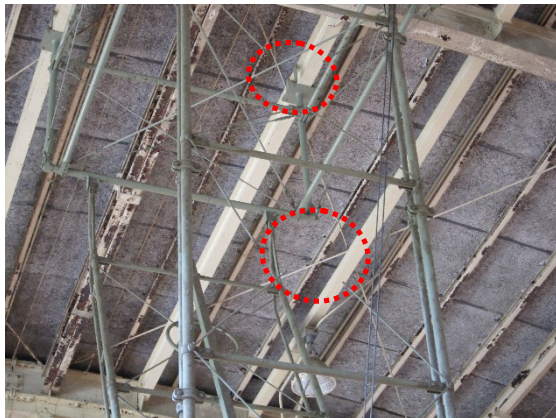


写真 5.4-54 損傷したバスケットゴール
(赤点線箇所のテンションリングが脱落)

b) 体育館B

【建築物の概要】2003年建設の新耐震基準に基づき設計された体育館。架構はRC造、屋根が鉄骨造アーチトラス。

【構造被害】 RC 造架構と S 造屋根の接合部（支承部）の数カ所で、コンクリートの側方破壊や大きなひび割れ、コンクリートの落下が見られた。また、屋根面の丸鋼ブレースに数カ所たわみが見られた。

【非構造部材の被害】 設備を吊り下げていたと思われる吊り下げ金具が1つ床面に落下していた。



写真 5.4-55 内観



写真 5.4-56 支承部のコンクリートの側方破壊



写真 5.4-57 支承部のコンクリートの側方破壊

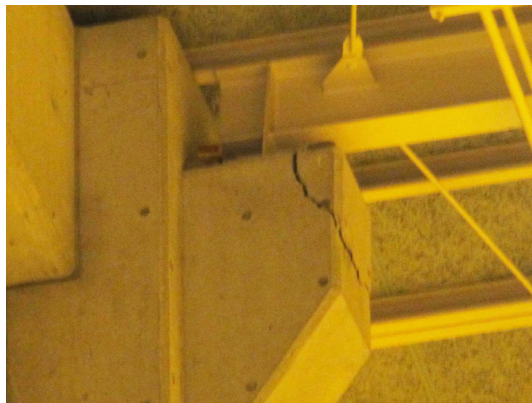


写真 5.4-58 支承部のコンクリートのひび割れ

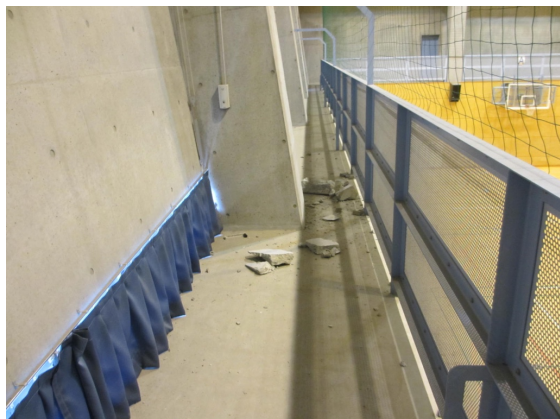


写真 5.4-59 落下したコンクリート



写真 5.4-60 落下した吊り金具

c) 体育館C

【建築物の概要】 1979年建設、耐震診断の結果、 I_s 値は 0.80 で補強不要と判断された。架構は鉄骨

造、張間方向山形屋根のラーメン構造、桁行き方向ブレース構造。柱梁部材は変断面H形鋼、桁行方向ブレースはX形で断面はL-75x75x9。

【構造被害】屋根面水平ブレースのうち3本のブレースの片側端部が外れて垂れ下がった状態であった。当該ブレースの羽子板や接合部のガセットプレートは健全のように見え、ボルトが破断したと思われる。

【非構造部材の被害】舞台の天井（ロックウール吸音板1枚張り。のこぎり形状。）の一部が脱落していた。また、舞台裏手外壁のラスモルタルの脱落（幅約3m。厚さ約3.5cm）も確認された。



写真 5.4-61 外観（外壁の被害は写真 5.4-69, 5.4-70 参照）



写真 5.4-62 内観



写真 5.4-63 1階鉛直ブレース（被害なし）



写真 5.4-64 2階（ギャラリーレベル）鉛直ブレース（被害なし）

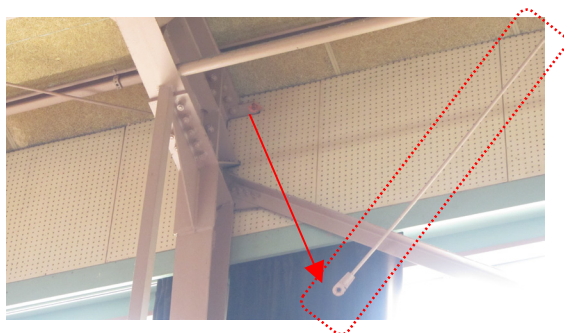


写真 5.4-65 屋根面水平ブレースの接合部の外れ



写真 5.4-66 左のガセットプレート拡大（ボルトが残っているように見える）

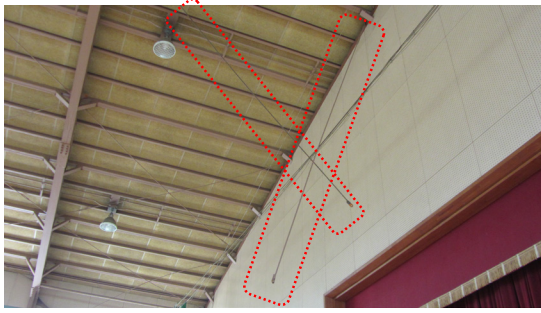


写真 5.4-67 接合部が外れた屋根面水平ブレース

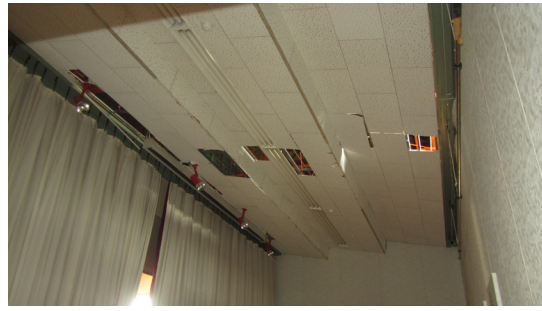


写真 5.4-68 舞台の天井の損傷・一部脱落

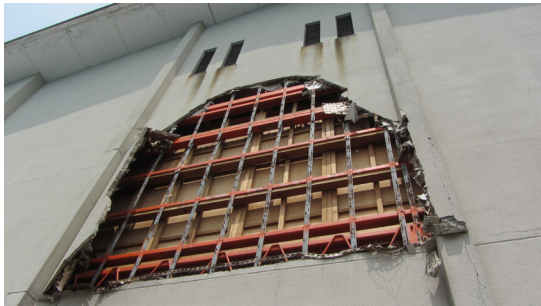


写真 5.4-69 舞台裏 ラスモルタル外壁の落下



写真 5.4-70 左の壁面から脱落したモルタル (厚さ約3.5cm)

d) 体育館D

【建築物の概要】1975年建設、2013年度に耐震改修された体育館。架構は鉄骨造で、張間方向山形屋根のラーメン構造、桁行き方向ブレース構造。柱梁の部材は変断面H形鋼（体育館Cと同様の構造）、桁行方向ブレースはX形でターンバックル付きのφ20丸鋼ブレース。

【構造被害】2階レベルの大部分の鉛直ブレースに大きなたわみが見られ、ブレース端部では軸部及び羽子板の変形が確認された。一方、1階レベルの鉛直ブレースにはたわみは見られなかった。屋根面水平ブレースのうち4本でたわみが確認された。

【非構造部材の被害】妻面の仕上げに欠けが見られたものの、大きな被害はなかった。



写真 5.4-71 外観



写真 5.4-72 内観



写真 5.4-73 舞台天井（被害なし）



写真 5.4-74 鉛直ブレース（左：2階レベル、右：1階レベル）

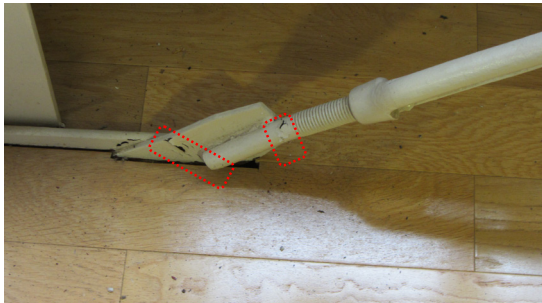


写真 5.4-75 鉛直ブレース（2階）の軸部及び羽子板の変形



写真 5.4-76 鉛直ブレース（2階）の軸部及び羽子板の変形



写真 5.4-77 屋根面水平ブレースのたわみ（隅角部）

e) 体育館E

【建築物の概要】 1977 年建設、耐震診断の結果、 I_s 値は 0.62 で補強不要と判定された。架構は RC 造で、ギャラリーから上部が鉄骨フレーム。鉄骨部分の張間方向は山形屋根のラーメン構造、桁行き方向はターンバックル付き丸鋼ブレース。

【構造被害】 ほとんど全ての桁行き方向のブレース構面で、鉛直ブレースのボルト接合部のボルト（中ボルト）が破断している。一部の柱脚部でコンクリートの破壊が見られた。

【非構造部材の被害】 ガラス窓の損傷・脱落（5 箇所。ただし落ちかけたためはずしたものを含む）、水銀灯安定器を留め付けた有孔ベニヤの壁板の外れ（3 箇所）、外壁モルタルの脱落、などが確認された。



写真 5.4-78 内観（赤円内が安定器を留め付けた板が外れた箇所）



写真 5.4-79 鉛直ブレース接合部のボルトの破断



写真 5.4-80 鉛直ブレースのボルト破断



写真 5.4-81 鉛直ブレースのボルト破断



写真 5.4-82 柱脚部のコンクリート破壊



写真 5.4-83 窓ガラスの被害



写真 5.4-84 安定器を留め付けた板の外れ

f) 体育館 F

【建築物の概要】1981年建設、2008年度耐震改修された体育館。架構の構造は鉄骨造で、張間方向山形屋根のラーメン構造、桁行き方向ブレース構造で、桁行き方向の1階は平鋼のブレース、2階はターンバックル付き丸鋼ブレースである。

【構造被害】1階の平鋼のブレースでは、多くのブレースで母材破断及びボルト孔欠損部での破断が見られた。ブレースの母材破断は、ブレース端部におけるやや幅広のプレートとブレース軸材の境界部分で生じていた（この破断部分は、溶接で接合後にグラインダー等で仕上げた可能性もあるが、目視では溶接接合されたかどうか確認できなかった）。また、たわみも見られた。これらのブレースでは、引張によるブレース材自体の材軸方向の降伏や伸びの痕跡は、目視からは確認できなかった。2階の被害としては、ほとんど全てのブレースでわずかなたわみが見られ、また、いくつかの羽子板で、わずかな曲がりが見られた。

【非構造部材の被害】舞台壁の広い範囲で仕上げのひび割れ、入り口脇の外壁等の数箇所ではひび割れ・タイル剥落などが確認された。



写真 5.4-85 内観



写真 5.4-86 平鋼ブレースのたわみ



写真 5.4-87 平鋼ブレースの端部での破断



写真 5.4-88 平鋼ブレースの端部での破断 (写真 5.4-87 の拡大)



写真 5.4-89 ブレース端接合部分はやや幅広のプレート



写真 5.4-90 ブレース母材と端部の幅広プレートの境界がわずかに降伏 (写真 5.4-89 の拡大)



写真 5.4-91 ブレースのたわみ



写真 5.4-92 ブレース交差部の塑性化と破断



写真 5.4-93 ブレース交差部の伸び



写真 5.4-94 破断した交差部のボルトとブレースの間に挿入されていたプレート



写真 5.4-95 2階ブレースのわずかなたわみ



写真 5.4-96 2階ブレース端部の降伏とブレース端部羽子板のわずかな曲がりが見られた



写真5.4-97 舞台背面壁の仕上げボード継ぎ目のずれ



写真5.4-98 外壁のひび割れ・タイル剥落 (赤円内にひび割れ・タイル剥離)

g) 体育館G

【建築物の概要】1970年建設、2011年度に耐震改修された体育館。架構は鉄骨造、張間方向山形屋根のラーメン構造、桁行き方向ブレース構造。柱梁は変断面H形鋼。桁行方向はX形のターンバックル付き丸鋼ブレースで、径は2階でφ22、1階でφ24～27。昨年夏にアリーナの天井は撤去（舞台の天井は張られたまま）。

【構造被害】ボルト破断により多数の屋根面水平ブレースが垂れ下がった。現地調査時には24本が取り外され、舞台上に置かれていた。ボルトはM12とM16の2種類の太さがあり、破断したものはM12のみであった。

【非構造部材の被害】舞台上部の内壁の一部に、落下や浮き上がりが見られた。舞台の照明が外れてぶら下がっていた。外壁にひび割れが生じていた。



写真5.4-99 内観

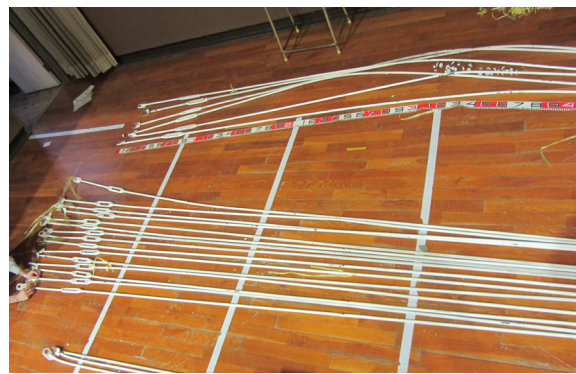


写真5.4-100 撤去された屋根面の水平ブレース

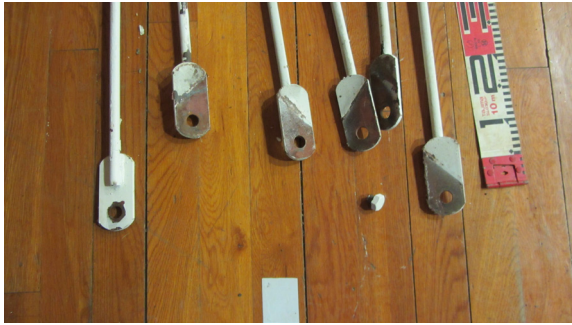


写真 5.4-101 撤去された屋根面の水平ブレースの羽子板部分（ボルト孔は健全）



写真 5.4-102 屋根面水平ブレース用のボルト



写真 5.4-103 落下した舞台上部内壁の仕上げ材



写真 5.4-104 落下した舞台上部内壁の仕上げ材



写真 5.4-105 舞台の天井（被害なし）と照明のぶら下がり

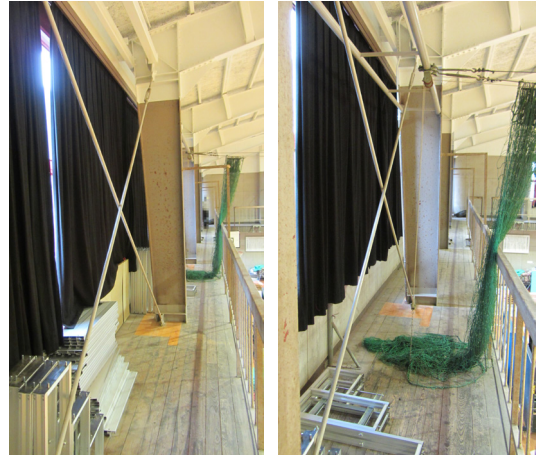


写真 5.4-106 2階鉛直ブレース（被害なし）



写真 5.4-107 舞台裏妻面（仕上げモルタルにひび割れ（赤線））



写真 5.4-108 1階鉛直ブレース（被害なし）

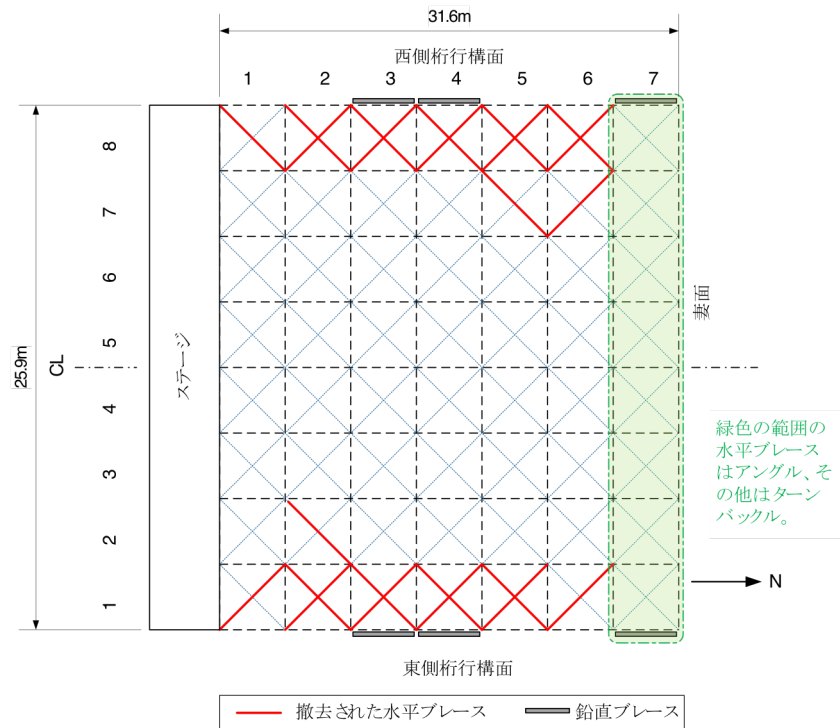


図 5.4-4 撤去されたアリーナ屋根面水平ブレースの位置

h) 体育館H

【建築物の概要】 1973 年建設、2010 年度に耐震改修された体育館。架構は鉄骨造、張間方向山形屋根のラーメン構造、桁行き方向ブレース構造。柱梁は変断面H形鋼、桁行方向はX形のターンバックル付き丸鋼ブレースで、径は1階でφ20、2階でφ16。アリーナには天井が張られている。1階の外壁はラスシートにモルタル（厚さ約3cm）で仕上げたもの。2階の外壁は新しいサイディング。

【構造被害】 桁行ブレースに数箇所程度、ゆるみが生じていた。その他は特に被害は見受けられなかった。

【非構造部材の被害】 入口のはめころしガラス2枚にひび割れが生じた。1階外壁のモルタルが一部落下した。



写真 5.4-109 外観



写真 5.4-110 内観



写真 5.4-111 2階鉛直ブレース



写真 5.4-112 2階鉛直ブレース (交点での擦れ)



写真 5.4-113 2階鉛直ブレース下端接合部
塗料の剥げ、ブレースの若干の変形



写真 5.4-114 1階の鉛直ブレース



写真 5.4-115 1階外壁の水平なひび割れ



写真 5.4-116 入り口脇の外壁モルタルの落下



写真 5.4-117 左の落下したモルタル (厚さ約3cm)

i) 体育館 I

【建築物の概要】1989年建設の新耐震基準に基づき設計された体育館。架構は鉄骨造で、張間方向山形屋根のラーメン構造、桁行き方向ブレース構造で、ターンバックル付き丸鋼ブレース。

【構造被害】すべてのブレースで降伏及び伸びが観察され、大きくたわんでいる。また、それらのブレース接合部やブレース材で破断は見られなかった。

【非構造部材の被害】舞台後方壁の下部の広い範囲での損傷や引き戸2枚の外れ、舞台両脇壁の数箇所のある、引違い窓で障子の15箇所の外れやそれに伴うガラスの損傷、その他のガラスのわれ1箇所、などが確認された。



写真 5.4-118 内観



写真 5.4-119 1階の大きくたわんで変形したブレース



写真 5.4-120 ブレース端部の塑性化の様子



写真 5.4-121 ブレース端部の塑性化と羽子板の曲がり



写真 5.4-122 ブレースの変形状況



写真 5.4-123 1階のブレースの様子



写真 5. 4-124 舞台壁の損傷、引き戸の外れ



写真 5. 4-125 ガラス窓の障子の脱落（赤点線枠箇所）

j) 体育館J

【建築物の概要】 1980 年建設、2008 年度耐震改修された体育館。架構は鉄骨造で、張間方向山形屋根のラーメン構造、桁行き方向ブレース構造、1 階は平鋼のブレース、2 階はターンバックル付き丸鋼ブレース。

【構造被害】 1、2 階とも、数か所程度で、ブレースのたわみやブレース接合部におけるブレースのわずかな滑りが見られた。

【非構造部材の被害】 壁や基礎のコンクリートに数箇所ひび割れが確認された。

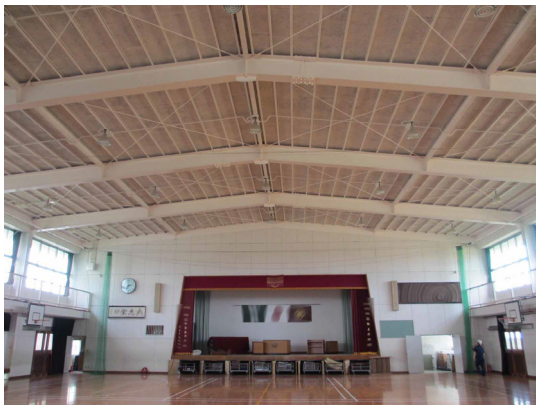


写真 5. 4-126 内観



写真 5. 4-127 ブレースのわずかなたわみ



写真 5.4-128 ブレース接合部におけるブレースのわずかな滑り



写真 5.4-129 2階のブレースのわずかなたわみ

k) 体育館K

【建築物の概要】1965年建設で、2009年度耐震改修された体育館。架構は鉄骨造で、張間方向山形屋根のラーメン構造、桁行き方向ブレース構造で、ターンバックル付き丸鋼ブレース。

【構造被害】妻面の鉛直ブレースでは丸鋼ブレースで2箇所、ブレースのボルト破断が見られた。桁行き方向の鉛直ブレースでは、2階ブレースにわずかなたわみが生じている程度。また、屋根面水平ブレースでは2箇所ボルト破断が見られた。ボルト破断した妻面の鉛直ブレースと屋根面水平ブレースは、耐震改修前のものがそのまま設置されていたものである（耐震改修により桁行き方向の鉛直ブレースは全て交換されていたが、妻面の鉛直ブレースと屋根面水平ブレースは新設または交換されおらず、改修前のブレースがそのまま設置されていた）。

【非構造部材の被害】妻面の外装材の脱落1箇所、窓ガラスの損傷1箇所などが確認された。

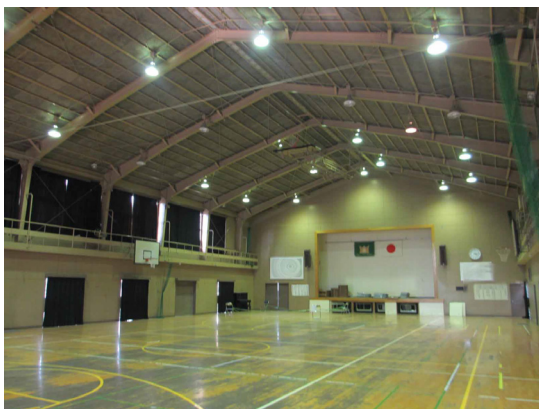


写真 5.4-130 内観



写真 5.4-131 取り替えられていない妻面ブレースのボルト破断



写真 5.4-132 改修で取り替えられたブレースのわずかなたわみ



写真 5.4-133 改修で取り替えられたブレース（被害無し）



写真 5.4-134 改修で取り替えられたブレース（被害無し）



写真 5.4-135 取り替えられていない屋根面水平ブレースのボルト破断



写真 5.4-136 妻面の外装材の脱落



写真 5.4-137 妻面の窓ガラスの損傷

1) 体育館L

【建築物の概要】1996年建設の新耐震基準に基づき設計された体育館。架構はRC造で、屋根が鉄骨造立体トラス。1、2階には剣道場、柔道場、トレーニングルーム、職員室があり、3階レベルに体育館のアリーナ、4階レベルにギャラリーがある。アリーナ上部の屋根はボールト（円筒）形状で、鋼管部材とボールジョイントを用いた複層立体トラス。

【構造被害】 立体トラスの構成部材に座屈、破断が生じ、アリーナ床面に部材が落下していた（下弦材5本、上弦材1/2本（部材中央で破断したものの片方）、斜材0本）。またトラス支承部の損傷によると思われるモルタル（支承部を直接目視で確認できていない）や、トラスまわりに付いていたと思われる金具がアリーナ床面に多数散乱していた。

【非構造部材の被害】 屋根ふき材のずれ等に伴う雨漏りが生じていた（現地調査時にはギャラリーに水が溜まっていた）。



写真 5.4-138 外観



写真 5.4-139 内観（3階アリーナ）

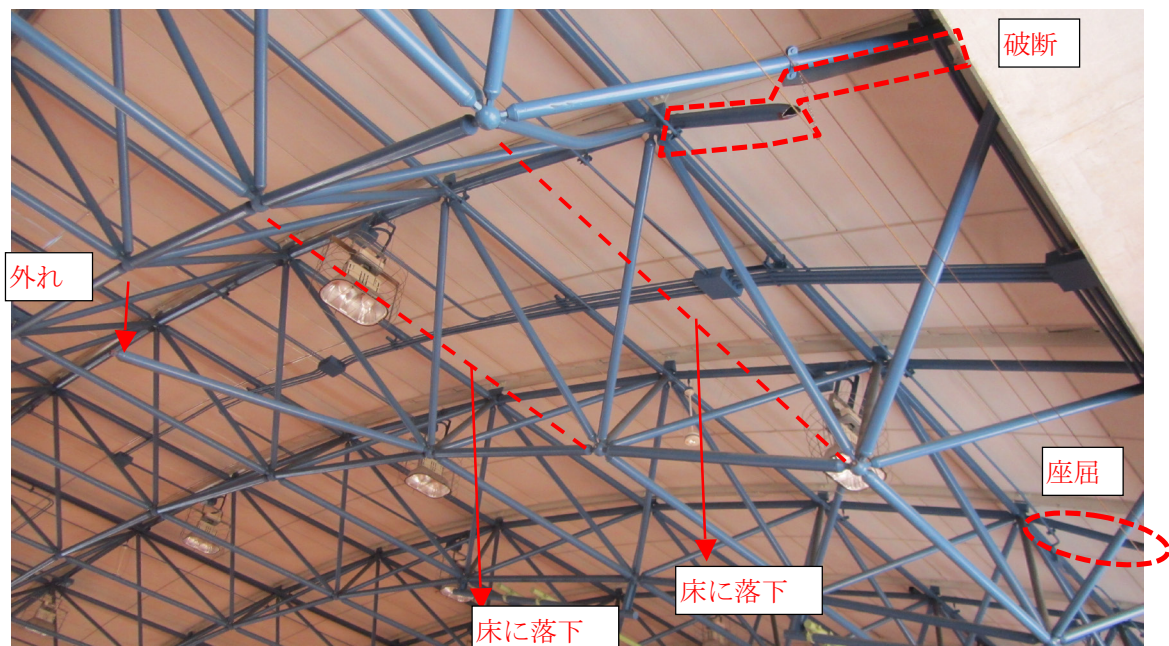


写真 5.4-140 屋根の立体トラス

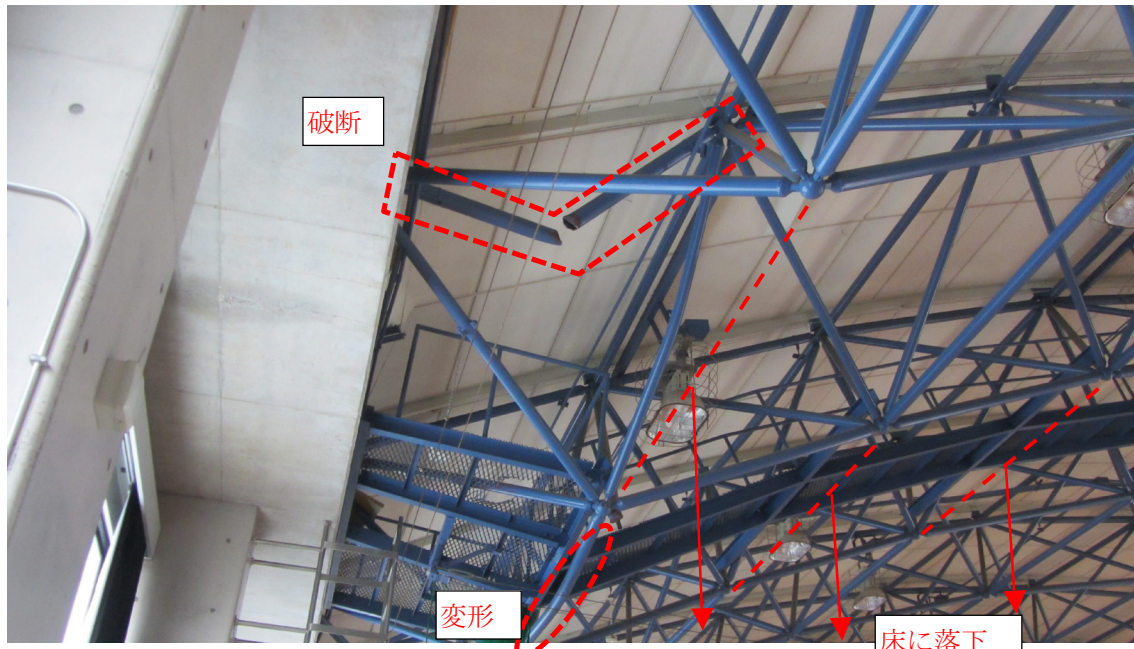


写真 5.4-141 屋根の立体トラス



写真 5.4-142 落下した立体トラスの部材

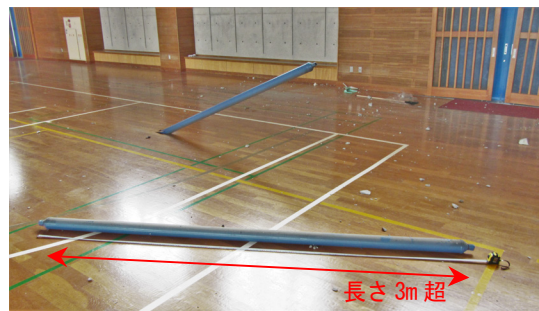


写真 5.4-143 落下した立体トラスの部材 (奥の部材は床に突き刺さっている)



写真 5.4-144 落下した立体トラス部材の端部 (ボルトの破断)



写真 5. 4-145 多数落下していた金具



写真 5. 4-146 落下していたモルタル

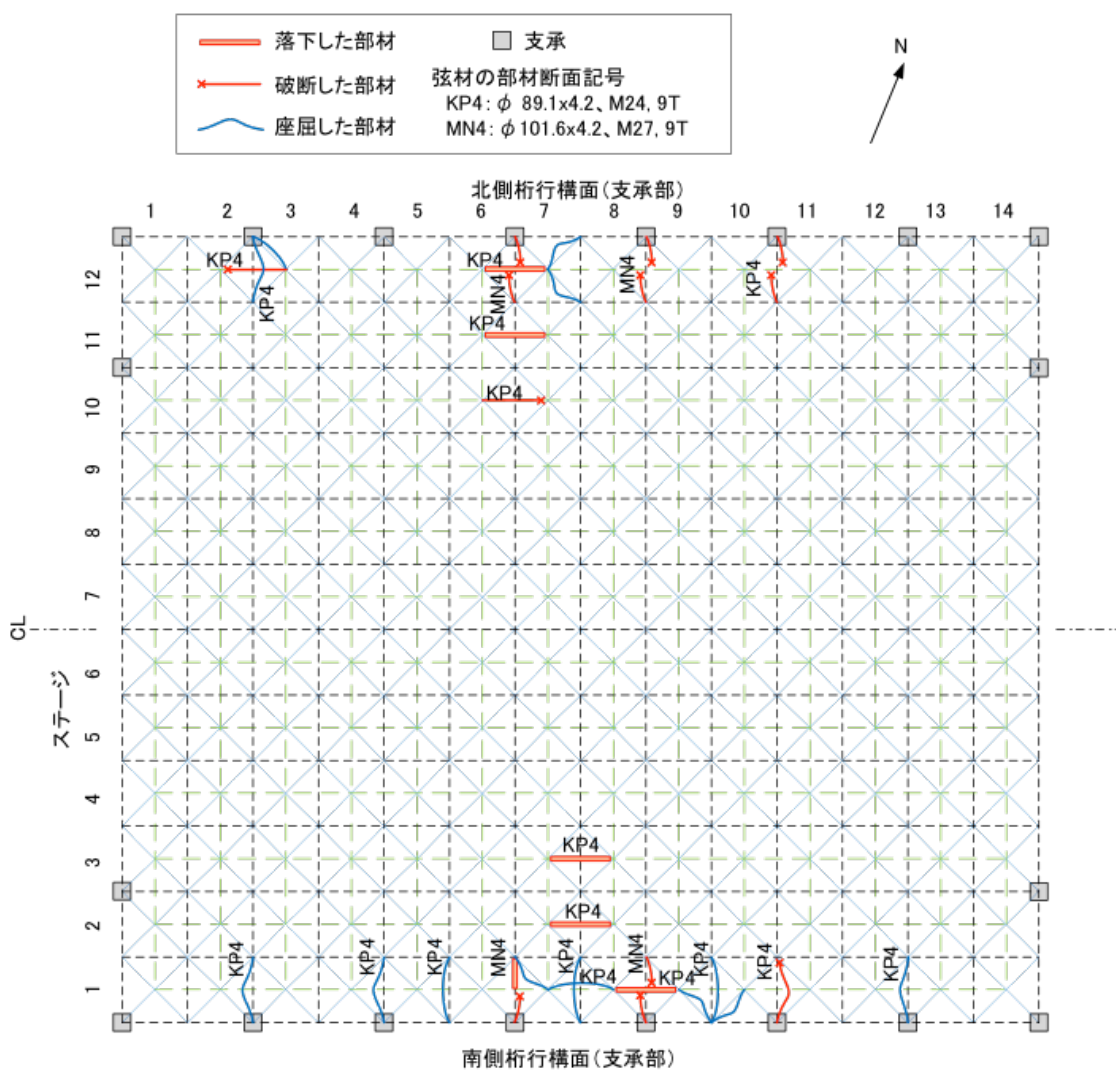


図 5. 4-5 落下・破断・座屈した立体トラスの構成部材の位置

m) 体育館M

【建築物の概要】 1965 年建設で、2011 年度耐震改修された体育館。架構は鉄骨造で、張間方向はラチス形式の柱梁の山形屋根のラーメン構造、桁行き方向はブレース構造でターンバックル付き丸鋼ブレース。

【構造被害】 桁行き方向の鉛直ブレースは、ほぼ無被害。ラチス形式の柱の柱脚で 1 箇所アンカーボルトの破断が見られた。屋根面水平ブレースは無被害であった。

【非構造部材の被害】窓ガラス1枚にひび割れが入ったとのことで、調査時点で修復済みであった。その他、モルタル外壁にひび割れが数箇所見られた。



写真 5. 4-147 内観



写真 5. 4-148 耐震改修で取り替えられたブレース



写真 5. 4-149 ラチス形式のフレーム



写真 5. 4-150 柱脚のアンカーボルトの破断

n) 体育館N

【建築物の概要】1997年建設の新耐震基準に基づき設計された体育館。架構はRC造で、屋根が鉄骨造アーチ立体トラス。

【構造被害】屋根のトラスで、下弦材が1カ所落下し、5箇所たわみが観察された。ステージ上の妻壁上部のRC架構と下屋の屋根の支承部でコンクリートの破壊、落下が見られた。一方、桁行き構面の支承部では被害は見られなかった。

【非構造部材の被害】トラスの下弦材が脱落した近傍で妻面の軒天が一部垂れ下がっていた。その他、2階レベルの外周部の床に一部ひび割れが確認された。



写真 5.4-151 内観



写真 5.4-152 落下したトラス下弦材



写真 5.4-153 落下したトラス部位

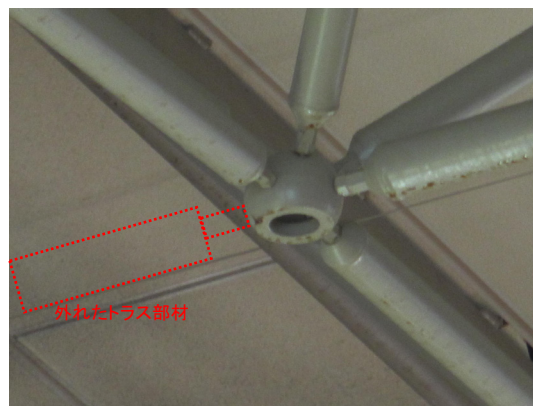


写真 5.4-154 トラス部材が外れたボールジョイント部分



写真 5.4-155 落下したトラス下弦材



写真 5.4-156 少したわんだ下弦材



写真 5.4-157 少したわんだ下弦材



写真 5.4-158 建物の4隅はピン支承部であり無被害



写真 5.4-159 建物桁行構面は長孔の支承部で長孔の端までボルトが移動



写真 5.4-160 ステージ上の下屋の支承部コンクリートの破損



写真 5.4-161 ステージ上の下屋の支承部コンクリートの破損、落下



写真 5.4-162 軒天井の部分的な垂れ下がり

o) 体育館○

【建築物の概要】1985年建設の新耐震基準に基づき設計された体育館。架構は鉄骨造で、張間方向山形屋根のラーメン構造、桁行き方向ブレース構造で平鋼ブレース。

【構造被害】2階の全てのブレース構面でブレース材の破断が観察された。また、1階では1箇所でブレース材の破断が観察された。それらは、ブレース孔欠損部の破断、ブレース端部の母材破断である。ブレースの接合部は、保有耐力接合で設計されていると考えられるが、ブレース材自体の降伏に

よる明確な伸びは、目視では確認できなかった。屋根面水平ブレースには被害は見られなかった。

【非構造部材の被害】山形屋根の棟部分が断面で台形状になっており、その部分について金属メッシュを用いた吊り天井が張られている。この吊り天井について、バー材が壁と取り合う端部付近で変形したり、複数の吊り材が吊り元で外れたり床面まで落下したりしていた。吊り材の長さは現地での計測や脱落した吊り材の計測から、0.4m、1.9m、2.4mの3種類が確認されたが、吊り元の溶接が外れていたのは総て最も短い0.4mの吊り材であった。その他、ガラス窓の障子の外れ1枚、外装材の脱落1箇所などの被害が確認された。



写真 5. 4-163 内観



写真 5. 4-164 2階のブレースの破断

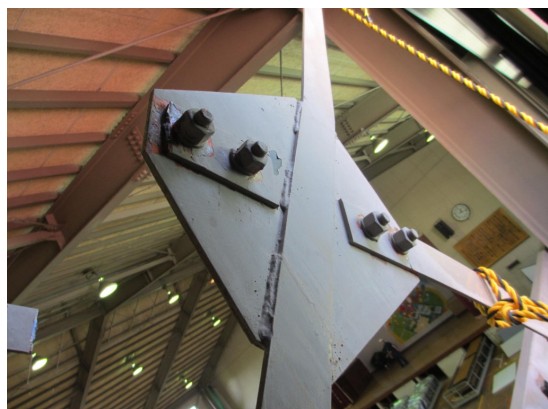


写真 5. 4-165 孔欠損部近傍での破断



写真 5. 4-166 孔欠損部での破断



写真 5. 4-167 ブレース端部での母材破断

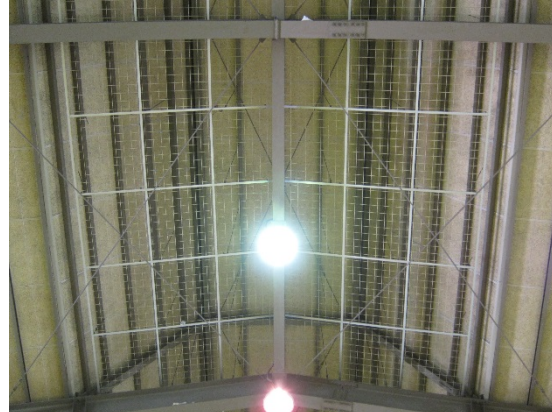


写真 5. 4-168 吊り材が脱落した天井



写真 5.4-169 吊り材（円内は溶接痕）



写真 5.4-170 端部付近で変形したバー材（棟部分の形状は台形になっている）



写真 5.4-171 外装材の脱落

(iv) 構造被害の特徴

表 5.4-2 に 15 棟の体育館の架構種別、建設年、耐震改修年度、構造被害等の一覧を示す。調査を行った 15 棟の体育館は、熊本県立高校及び支援学校が 4 棟、熊本市立小学校及び中学校が 10 棟、熊本市立の運動施設が 1 棟である。これらの体育館 15 棟のうち、新耐震基準に基づき設計された体育館は 5 棟、耐震改修済みが 8 棟、耐震診断の結果、補強不要と判断されたものが 2 棟である。これらの調査結果に基づいて、体育館の被害部位毎の特徴を以下に示す。

表 5.4-2 15 棟の体育館の架構の構造、建設年、耐震改修年度、構造被害等の一覧

体育館名称	架構の構造	建設年	耐震改修年度	構造躯体の被害				
				鉛直ブレースの被害	柱脚の被害	屋根部分の被害		
						屋根面水平ブレース	屋根トラス	屋根支承部
体育館 A	鉄骨造	1969年	2011年度	ガセットプレート及びブレース端部に塑性変形	一部でコンクリートひび割れ	2箇所 bolts 破断	—	—
体育館 B	RC造架構で屋根鉄骨造	2003年	—	—	—	数カ所でたわみ	被害無し	数カ所でコンクリートひび割れ、破壊、落下
体育館 C	鉄骨造	1979年	Is値0.80で補強不要	被害無し	被害無し	外れ、垂れ3本	—	—
体育館 D	鉄骨造	1975年	2013年度	大きなたわみ	被害無し	たわみ4本	—	—
体育館 E	RC造架構でギャラリーから上部鉄骨造架構	1977年	Is値0.62で補強不要	ほとんど全てのブレース構面でボルト破断	一部の柱脚でコンクリート破壊	被害無し	—	—
体育館 F	鉄骨造	1981年	2008年度	平鋼ブレース母材破断及びボルト穴欠損部破断、たわみ	被害無し	被害無し	—	—
体育館 G	鉄骨造	1970年	2011年度	被害無し	被害無し	外れ、垂れ24本	—	—
体育館 H	鉄骨造	1973年	2010年度	数カ所程度、ゆるみ	被害無し	天井により未確認	—	—
体育館 I	鉄骨造	1989年	—	全てのブレースで降伏及び伸び、大きなたわみ	被害無し	被害無し	—	—
体育館 J	鉄骨造	1980年	2008年度	わずかなたわみ、滑り	被害無し	被害無し	—	—
体育館 K	鉄骨造	1965年	2009年度	わずかなたわみ、妻面ブレース2カ所ボルト破断	被害無し	2カ所でボルト破断	—	—
体育館 L	RC造架構で屋根鉄骨造	1996年	—	—	—	—	立体トラスの部材6本落下	モルタル落下（詳細未確認）
体育館 M	鉄骨造	1965年	2011年度	被害無し	柱脚1カ所でアンカーボルト破断	被害無し	被害無し	—
体育館 N	RC造架構で屋根鉄骨造	1997年	—	—	—	被害無し	立体トラスの部材1本落下、5箇所曲がり	ステージ上の支承部でコンクリート破壊、落下
体育館 O	鉄骨造	1985年	—	2階のブレースのブレース穴欠損部破断、ブレース母材破断	被害無し	被害無し	—	—

1) 鉛直ブレースの被害

鉛直ブレースについて、破断を伴う大きな被害が見られたものとしては体育館E、F、K、Oである。それらの被害は、丸鋼ブレースのボルト破断、平鋼ブレースのボルト孔欠損部またはブレース端部の母材の破断である。平鋼ブレースの被害は、耐震改修により取り替えられたブレースでの被害である。それらの被害写真を、写真5.4-172～174に示す。これらの被害では、ブレース材自体の伸びや降伏したと思われる痕跡が目視では確認できなかった。一方、ターンバックル付き丸鋼ブレースが使われていた体育館Iでは写真5.4-175に示すように、ブレースの大きなたわみ、変形、伸びが観察されたが接合部等で破断していなかった。このような鉛直ブレースの被害は、2011年東北地方太平洋沖地震等の地震被害でも観察されている^{5.4-3)}。



写真5.4-172 体育館Eのボルト破断



写真5.4-173 体育館Fの母材破断



写真5.4-174 体育館Oのブレース孔欠損部の破断



写真5.4-175 体育館Iのブレースの大きなたわみ及び伸び

2) 屋根面水平ブレースの被害

屋根面水平ブレースについては、被害のなかったものやたわみなどの比較的小さな被害のものが半数以上の9棟であったが、ボルト等の破断を伴うものも4棟（体育館A、C、G、K）で観察され、これらの中には、ボルト等の破断が生じていたため、調査時に20か所以上の屋根面ブレースが取り外されていたものもあった。これらのブレースは、いずれも耐震改修以前のブレースがそのまま残されていたものである（耐震改修により、鉛直ブレースは交換されていたが、屋根面水平ブレースは新設または取り替えられておらず、改修前のブレースがそのまま設置されていたものや、耐震診断で補強不要と判断されたもの）。被害例を、写真5.4-176～179に示す。同様の被害は、2011年東北地方太平

洋沖地震等の地震被害でも観察されている^{5.4-3)}。

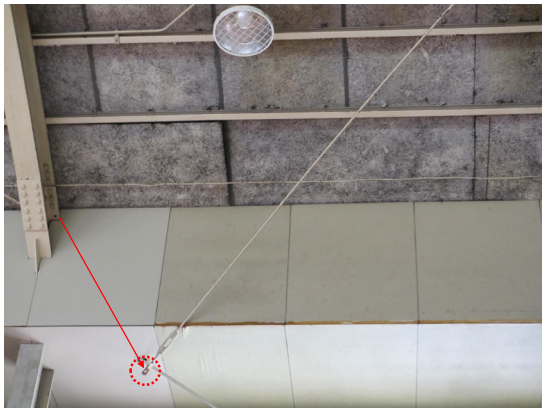


写真 5.4-176 体育館Aの屋根面水平ブレースのボルト破断

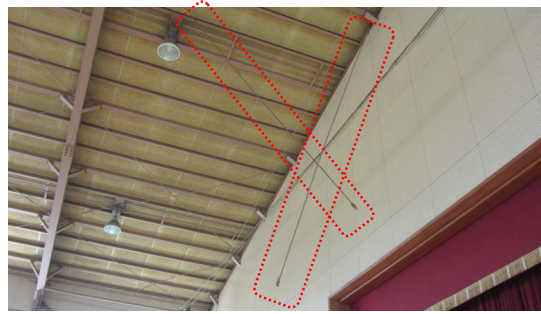


写真 5.4-177 体育館Cの屋根面水平ブレースのボルト破断

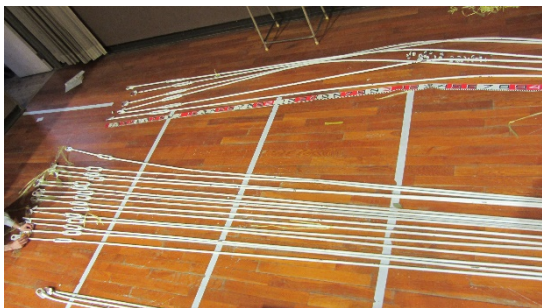


写真 5.4-178 体育館Gの撤去された屋根面水平ブレース



写真 5.4-179 体育館Gの屋根面水平ブレースのボルト

3) 屋根トラスの被害

体育館B、L、Nは、RC造架構に立体トラスの屋根が接続された体育館であり、このうち、体育館LとNで、立体トラスを構成する部材の曲がり、破断、座屈、落下等の被害が見られた。被害例を、写真 5.4-180～183 に示す。2011年東北地方太平洋沖地震では、トラス梁の座屈は見られた^{5.4-3)}が、部材の落下は観察されなかった。

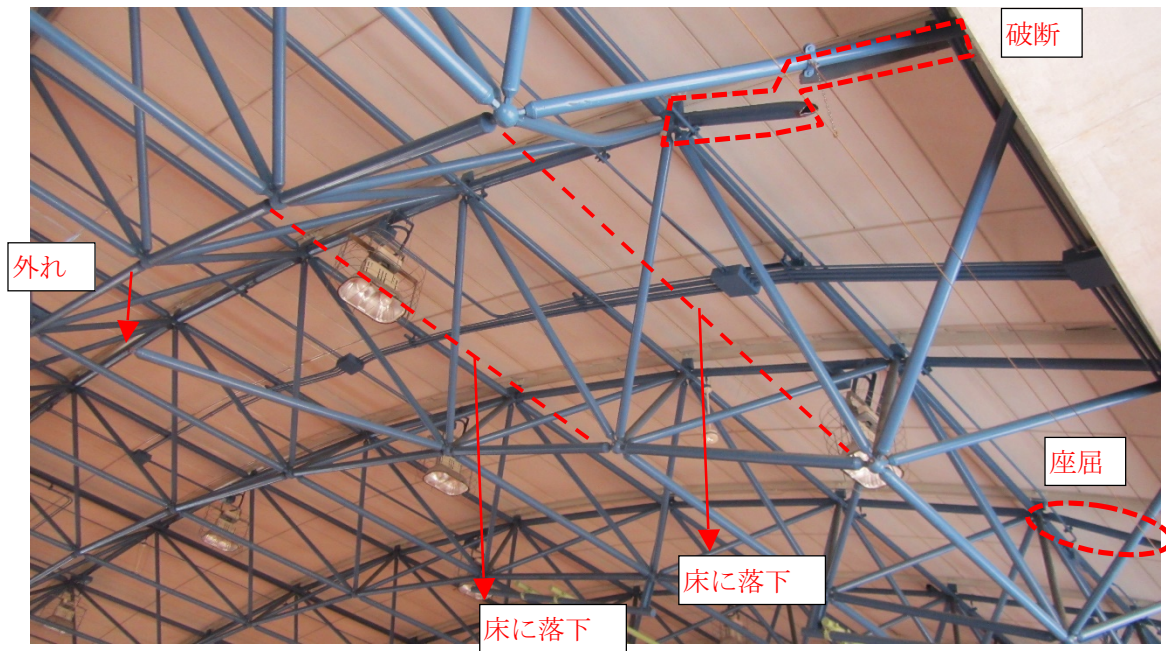


写真 5. 4-180 体育館Lのトラス屋根の被害状況

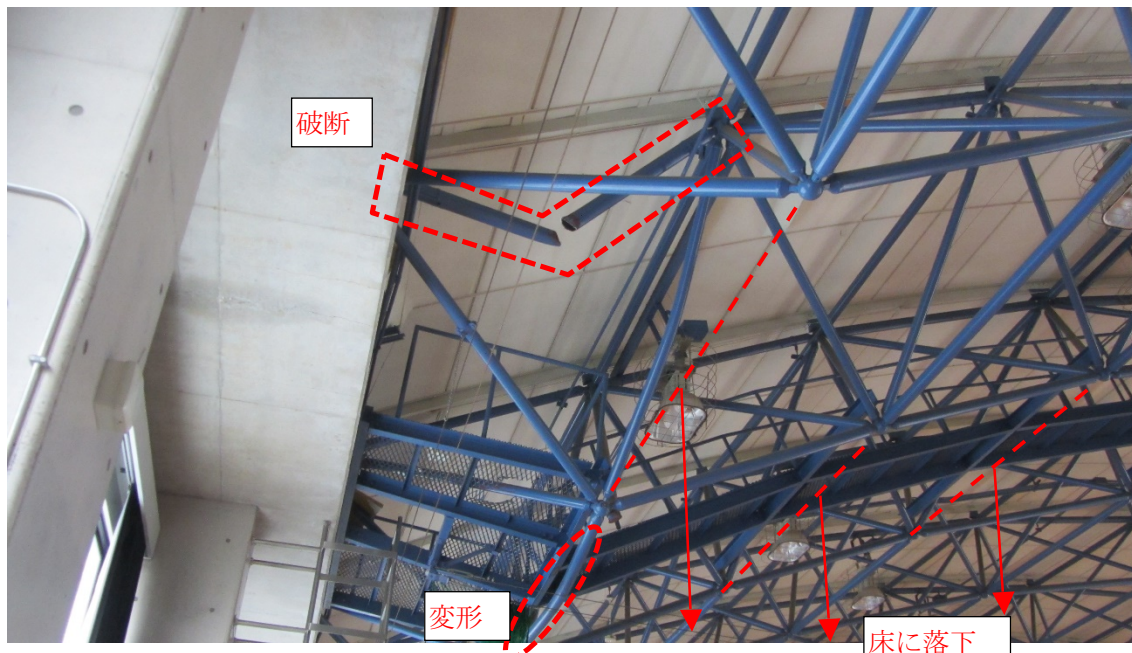


写真 5. 4-181 体育館Lのトラス屋根の被害状況



写真 5.4-182 体育館Nのトラス屋根の下弦材の落下



写真 5.4-183 体育館Nのトラス屋根の下弦材の曲がり

4) 屋根支承部の被害

体育館B、L、Nは、RC造架構に立体トラスの屋根が接続された体育館であり、これらの体育館のうち、体育館BとNで、RC造架構とS造屋根の接続部（支承部）で、コンクリートの側方破壊とそれに伴うコンクリート片の落下やコンクリートのひび割れが観察された。それらの被害を写真 5.4-184～186 に示す。このような被害は、2011年東北地方太平洋沖地震で見られた被害と同様のものである（5.4-4）。



写真 5.4-184 体育館Bの屋根支承部のコンクリートの側方破壊

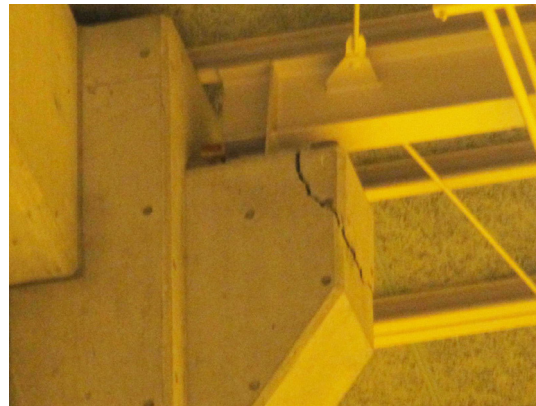


写真 5.4-185 体育館Bの屋根支承部のコンクリートのひび割れ



写真 5.4-186 体育館Nのステージ上の屋根支承部のコンクリートの破壊



写真 5.4-187 体育館Nの桁行き構面の屋根支承部（長孔の端までボルトが移動）

(v) 学校体育館の被害調査のまとめ

学校体育館の調査から得られた体育館の被害形態とその特徴を以下にまとめて示す。

- 1) 鉛直ブレースの被害：耐震改修により取り替えられた平鋼ブレースでボルト孔欠損部等での破断の被害が見られた。一方で、新耐震基準に基づき設計された体育館のターンバックル付き丸鋼ブレースでは、ブレースの大きなたわみ、変形、伸びが観察されたが接合部等で破断していなかった。これらの被害は、2011年東北地方太平洋沖地震等の地震でも見られたものである。
- 2) 屋根面水平ブレースの被害：ボルト等の破断の被害が数棟で観察されたが、これらの中には20か所以上でボルト破断が観察されたものもあった。これらのブレースはいずれも、耐震改修以前のブレースがそのまま残されていたものであった。これらの被害は、2011年東北地方太平洋沖地震等の地震でも見られたものである。
- 3) 屋根トラスの被害：RC架構に立体トラスの屋根が接続された2棟の体育館で、立体トラスを構成する部材のたわみ、破断、座屈、落下等の被害が見られた。このような立体トラス屋根の部材の落下は、これまでの地震では、ほとんど観察されなかったものである。
- 4) 屋根支承部の被害：RC架構とトラスの屋根の接続部（支承部）で、コンクリートの側方破壊とコンクリート片の落下、ひび割れが見られた。このような被害は、2011年東北地方太平洋沖地震でも見られたものである。

(3) その他の鉄骨造建築物の調査

(i) 調査概要

熊本地震の発災直後に、鉄骨造建築物の構造被害の全般的な被害概要の把握と、被害原因や今後の詳細調査の必要性等について検討することを目的とした調査を実施した。この調査は、4月20～21日の2日間で実施し、熊本市内等での比較的大きな規模の鉄骨造建築物や益城町で大きな被害が生じた鉄骨造建築物について、それらの被害の状況を把握するために行ったものである。このうち、5.4.2(3)では、熊本市内及び西原村における比較的大きな規模の鉄骨造建築物の被害状況について記す。

(ii) 調査結果

1) 熊本市内の立体駐車場の被害

a) 立体駐車場 A（建設年不明）

4階建ての鉄骨造の立体駐車場である。構造形式はブレース付きラーメン構造であり、角形鋼管柱とH形鋼梁に、溝形鋼ブレースが用いられている。外観からは構造被害は観察されなかったが、内部の階段室コア部分を形成するブレースに座屈の被害が見られた。特に2階の階段室周りのブレースで比較的座屈が大きく、ブレース端部とブレース交差部のガセットプレートに座屈が生じていた。また、座屈が大きい部分ではブレースの耐火被覆が剥離していた。



写真 5.4-188 外観



写真 5.4-189 建築物内のブレースの様子



写真 5.4-190 ブレースの座屈



写真 5.4-191 ブレースの耐火被覆の剥落



写真 5.4-192 溝形鋼ブレースの座屈



写真 5.4-193 溝形鋼ブレース端部の座屈



写真 5.4-194 ブレース交差部のガセットプレート接続部の座屈

b) 立体駐車場 B (建設年不明)

6 階建ての鉄骨造の立体駐車場である。構造形式はブレース付きラーメン構造であり、角形鋼管柱と H 形鋼梁で、H 形鋼ブレースが用いられている。塔屋で外装材が脱落していた。ブレース交差部やブレース端部では耐火被覆の亀裂や剥離が観察されたが、建築物の外側からは構造的な被害は観察されなかった。



写真 5.4-195 外観



写真 5.4-196 塔屋の外装材の脱落



写真 5.4-197 ブレース端部の耐火被覆の亀裂



写真 5.4-198 ブレース交差部の耐火被覆の剥離

c) 立体駐車場 C (建設年不明)

3 階建ての鉄骨造の立体駐車場である。構造形式は角形鋼管柱と H 形鋼梁のラーメン構造である。塔

屋で外装材が脱落し、ブレースが破断しているのが観察された。柱梁等の構造部材は、耐火被覆に覆われていることもあり、構造被害は観察されなかった。



写真 5. 4-199 外観



写真 5. 4-200 塔屋のブレースの破断



写真 5. 4-201 塔屋のブレースの破断



写真 5. 4-202 建築物内観

2) 西原村の工場建屋の被害

西原村の工業団地内の2階建て鉄骨造の工場である。構造形式は角形鋼管柱とH形鋼梁のラーメン構造である。外壁が一部脱落し、柱梁接合部部分が露出している。露出した部材や接合部には構造的な被害は無いと思われる。なお、周辺では、このほかにも外装材の一部が落下している工場建築物がいくつか見られたが、これらの建築物でも、外観からは構造的な被害は確認されなかった。



写真 5. 4-203 外観



写真 5. 4-204 外壁落下で露出した柱梁接合部

(iii) その他の鉄骨造建築物の調査のまとめ

熊本市内の立体駐車場で、構造躯体及び非構造部材の被害が観察された。構造的な被害として、溝形鋼ブレースの端部とブレース交差部のガセット部分で座屈の被害が観察された。また、塔屋のブレースが破断している被害も観察された。西原村の工業団地では、外装材の一部が落下している工場建築物がいくつか見られたが、外観からは構造的な被害は確認されなかった。これらの建築物の被災度は、中破程度以下のものであり、大破に相当する大きな構造被害は観察されなかった。

5.4.3 まとめ

熊本地震による鉄骨造建築物の被害状況、被害の特徴、被害要因を把握するために、1) 益城町における鉄骨造建築物の調査、2) 学校体育館の調査、3) その他の鉄骨造建築物の調査、の3つの被害調査を行った。以下に、それぞれの調査から得られた結果をまとめて示す。

(1) 益城町における鉄骨造建築物の調査

平成28年(2016年)熊本地震で震度7を観測した益城町宮園観測点近傍の安永・宮園・木山・辻の城・寺迫地区における鉄骨造建築物96棟の被害調査を行った。調査の結果、倒壊又は大破した鉄骨造建築物の総数は16棟(倒壊1棟、大破15棟)、その割合は17%であった。また、倒壊又は大破した鉄骨造建築物は、次の特徴のいずれかを有するものであった。

- ・特徴 1) 建設年が1980年以前と推定されるもの又は古いタイプの部材を用いたもの
- ・特徴 2) 隣の倒壊した建築物による力の作用、宅地擁壁部分の崩壊等の当該建築物以外の周辺状況による何らかの影響があったと推定されるもの
- ・特徴 3) 溶接部等で破断が生じていたもの

なお、倒壊又は大破した建築物と特徴1), 2), 3)との対応関係は表5.4-1のとおりである。

(2) 学校体育館の調査

15棟の学校体育館の調査から得られた体育館の被害形態とその特徴は以下である。

- 1) 鉛直ブレースの被害：耐震改修により取り替えられた平鋼ブレースでボルト孔欠損部等での破断の被害が見られた。一方で、新耐震基準に基づき設計された体育館のターンバックル付き丸鋼ブレースでは、ブレースの大きなたわみ、変形、伸びが観察されたが接合部等で破断していなかった。これらの被害は、2011年東北地方太平洋沖地震等の地震でも見られたものである。
- 2) 屋根面水平ブレースの被害：ボルト等の破断の被害が数棟で観察されたが、これらの中には20か所以上でボルト破断が観察されたものもあった。これらのブレースはいずれも、耐震改修以前のブレースがそのまま残されていたものであった。これらの被害は、2011年東北地方太平洋沖地震等の地震でも見られたものである。
- 3) 屋根トラスの被害：RC架構に立体トラスの屋根が接続された2棟の体育館で、立体トラスを構成する部材のたわみ、破断、座屈、落下等の被害が見られた。このような立体トラス屋根の部材の落下は、これまでの地震では、ほとんど観察されなかったものである。
- 4) 屋根支承部の被害：RC架構とトラスの屋根の接続部(支承部)で、コンクリートの側方破壊とコンクリート片の落下、ひび割れが見られた。このような被害は、2011年東北地方太平洋沖地震でも見られたものである。

(3) その他の鉄骨造建築物の調査

熊本市内の立体駐車場の構造的な被害として、溝形鋼ブレースの端部とブレース交差部のガセット部分で座屈の被害が観察された。また、塔屋のブレースが破断している被害も観察された。西原村の工業団地では、外装材の一部が落下している工場建築物がいくつか見られたが、外観からは構造的な被害は確認されなかった。これらの建築物の被災度は、中破程度以下のものであり、大破に相当する大きな構造被害は観察されなかった。

参考文献

5. 4-1) 震災建築物の被災度区分判定基準及び復旧技術指針改訂委員会:震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針、(一財)日本建築防災協会、2015
5. 4-2) 平成28年(2016年)熊本地震による建築物等被害第三次調査報告(速報)(鉄骨造建築物並びに非構造部材及び設備を中心とした調査)、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、2016年5月
<http://www.nilim.go.jp/lab/bbg/saigai/h28/20160420kumamotokentiku4.pdf>
<http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/topics/2016/03-kumamoto.pdf>
5. 4-3) 山田哲、伊山潤、島田侑子、松本由香、長谷川隆、清家剛、中野達也、吉敷祥一:東北地方太平洋沖地震および余震による学校体育館の構造被害、日本建築学会技術報告集 第44号、pp.133-138、2014年2月
5. 4-4) H23年(2011年)東北地方太平洋沖地震被害調査報告、国総研資料第674号、建築研究資料第136号、2012年3月
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0674.htm>
<http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/topics/20110311/0311report.html>