

6. 鉄骨構造建築物の調査と結果

6.1 被害調査概要

1) 調査目的

以下の観点で、学校体育館を中心に鉄骨造建築物の被害調査を行った。

- ①構造被害があるとされる学校体育館等の特定公共鉄骨造建築物の構造被害調査
- ②一般鉄骨造建築物の被害概要調査
- ③非構造部材等の被害調査

2) 調査者

国土技術政策総合研究所：向井昭義、西田和生、石原直

独立行政法人建築研究所：長谷川隆

3) スケジュール等

1 1月 9日（火）つくばから越後湯沢へ移動

1 1月10日（水）向井、石原：旧堀之内町
西田、長谷川：十日町市、川西町

1 1月11日（木）向井、石原：川口町、小千谷市
西田、長谷川：小千谷市

1 1月12日（金）向井、石原：K-NET長岡支所観測点周辺、長岡市内等
西田、長谷川：長岡駅前周辺
長岡からつくばへ移動

4) 主な被害概要（詳細については6.2参照）

学校体育館等の被害

- ・ 桁行方向ブレース材の座屈、ブレース材接合部（ボルト接合部、溶接接合部）破断があった。張り間方向（円筒ラチスシェル、山形ラーメン等）の構造の被害は特に見られなかった。
- ・ ブレース材が接続されている間柱脚部のアンカーボルト破断
- ・ 天井材、外壁、窓ガラス（サッシ）、照明器具、の破損、落下
- ・ その他、音響機器、空調装置等の部品落下

一般鉄骨造建築物の被害

- ・ ラスモルタル外壁等の破損、落下
- ・ 柱脚部の被害、梁継手部等の破断

6.2 構造被害の特徴

6.2.1 体育館A

桁行方向ブレース材の座屈及び破断。ブレース材 2L-50x50x4。舞台脇の仕上材一部落下。床の沈下。間柱脚部のアンカーボルト（2本ずつ4箇所）が全て破断。張り間方向は特に被害なし。

間柱脚部のずれの跡から、桁行方向の最大層間変形は 50~60mm 程度（層間変形角で $50\sim60/3700=1/74\sim1/61$ 程度）に達したものと推察される。

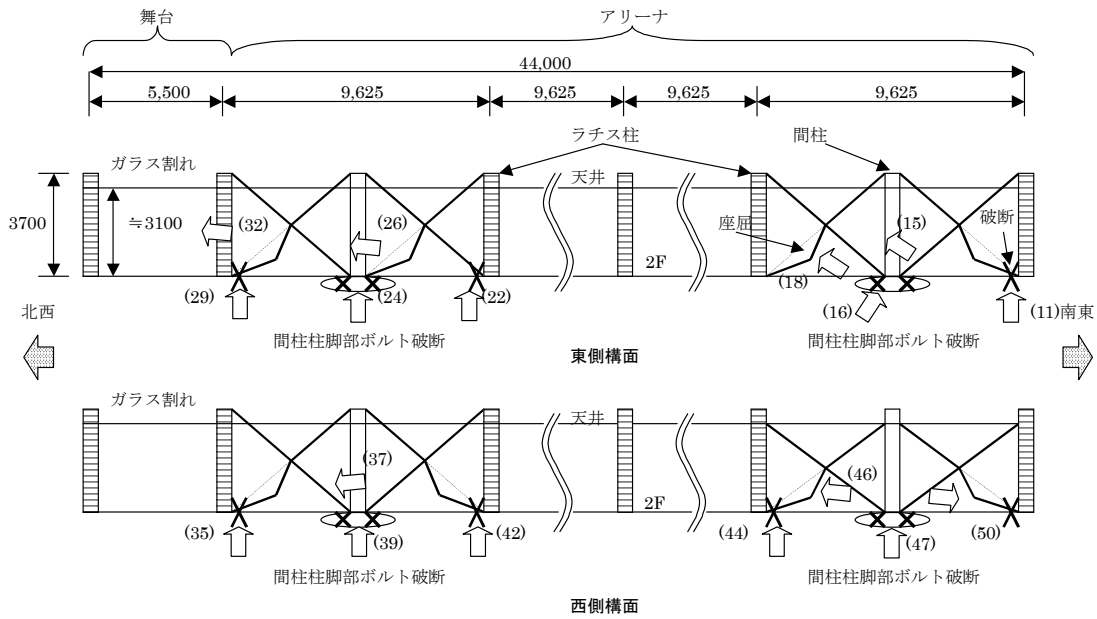


図 6.1 体育館A 桁行方向ブレース材の被害状況



写真 6.1 内観



写真 6.2 内観



写真 6.3 ブレース材端部ボルト破断(11)



写真 6.4 間柱脚部アンカーボルト破断(16)



写真 6.5 ブレース材座屈(15)



写真 6.6 つづり部での亀裂(18)



写真 6.7 ブレース材端部ボルト破断
(22)



写真 6.8 間柱脚部ボルト破断、ずれの跡
(24)



写真 6.9 ブレース座屈(26)



写真 6.10 ブレース材端部ボルト破断及び端抜け(29)



写真 6.11 ガラス割れ(32)



写真 6.12 舞台脇の仕上材一部落下



写真 6.13 ブレース材端部ボルト破断
(35)



写真 6.14 ブレース材座屈
(37)



写真 6.15 間柱脚部ボルト破断、ずれの跡(39) 写真 6.16 ブレース端部ボルト破断、ボルト孔変形(42)



写真 6.17 ブレース材端部ボルト破断、ボルト孔変形(44) 写真 6.18 ブレース材座屈(46)

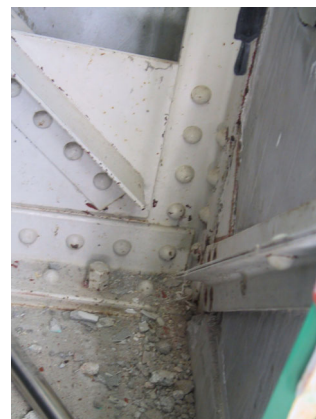


写真 6.19 間柱脚部ボルト破断、ずれの跡 (47) 写真 6.20 ブレース材端部ボルト破断 (50)

6.2.2 体育館B

集成材アーチと鉄骨の張弦梁。屋根支承部のモルタル剥落、一部アンカーボルトの伸び。被害軽微。

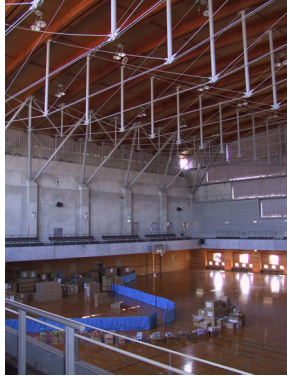


写真 6.21 内観



写真 6.22 屋根支承部



写真 6.23 アンカーボルトの伸び

6.2.3 体育館C

本学校は高台の上であり、周囲の木造住宅、ブロック塀等に被害は見られない。

体育館Cは昭和48年3月竣工。鉄骨ラチス屋根。円筒状。水銀灯13個落下。桁行方向ブレース材の座屈及び破断。ブレース材 L-75x75x6。ブレーススパン 6760mm。床に変化はない。

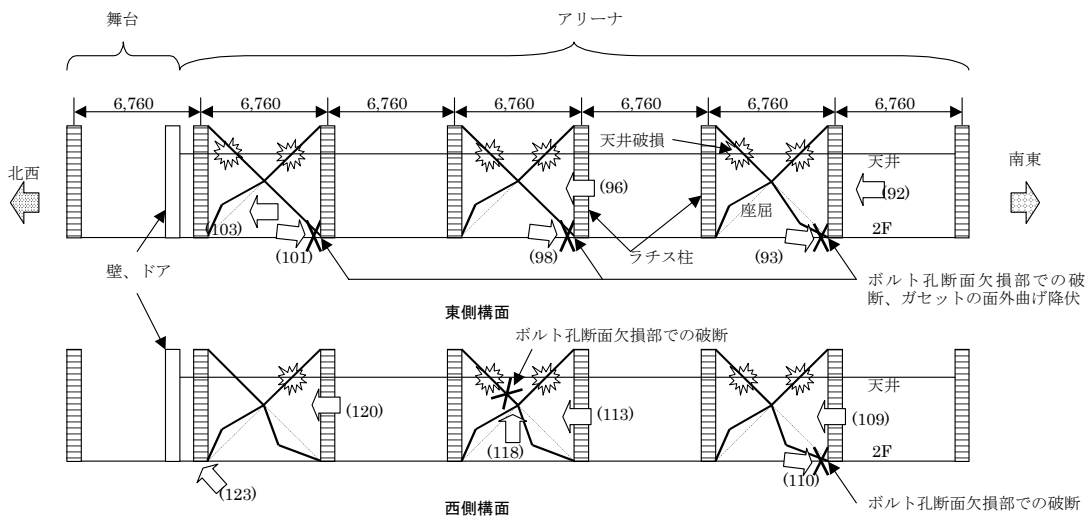


図 6.2 体育館C 桁行方向ブレース材の被害状況



写真 6.24 内観



写真 6.25 ブレース材座屈(92)



写真 6.26 ブレース材端部破断(93)



写真 6.27 ブレース材座屈(96)



写真 6.28 ブレース材端部破断(98)



写真 6.29 ブレース材座屈(103)



写真 6.30 ブレース材端部破断(101)



写真 6.31 ブレース材座屈(109)



写真 6.32 ブレース材端部破断(110)

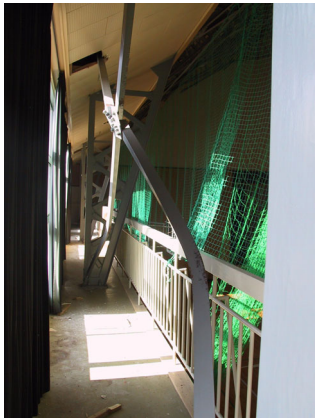


写真 6.33 ブレース材座屈(113)

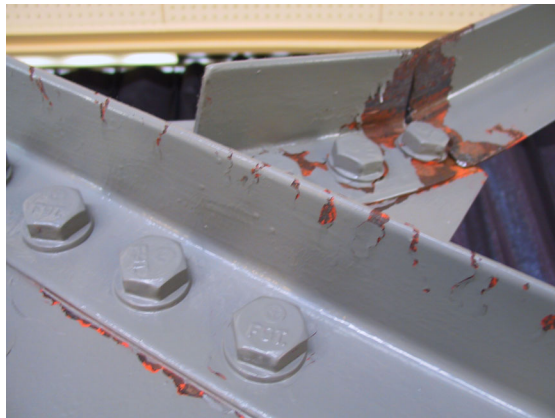


写真 6.34 ブレース材接合部 破断(118)



写真 6.35 ブレース材座屈(120)



写真 6.36 ブレース材端部(123)



写真 6.37 落ちかけている照明器具

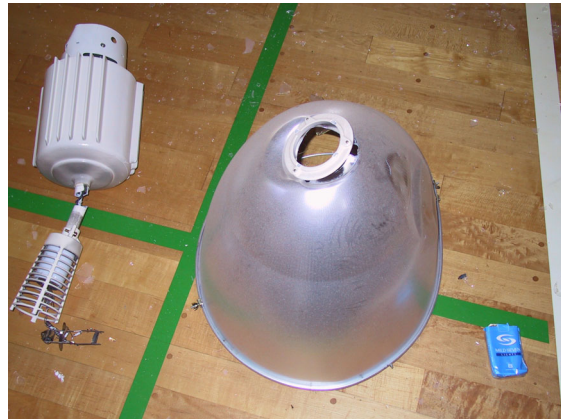


写真 6.38 落下した照明器具

6.2.4 体育館D

体育館Dは昭和53年12月竣工。張り間方向はH形鋼による山形ラーメン構造。照明に被害なし。桁行方向ブレース材の座屈（破断はなし）。ブレース材 L-75x75x6。ブレーススパン 6060mm。床に変化はない。

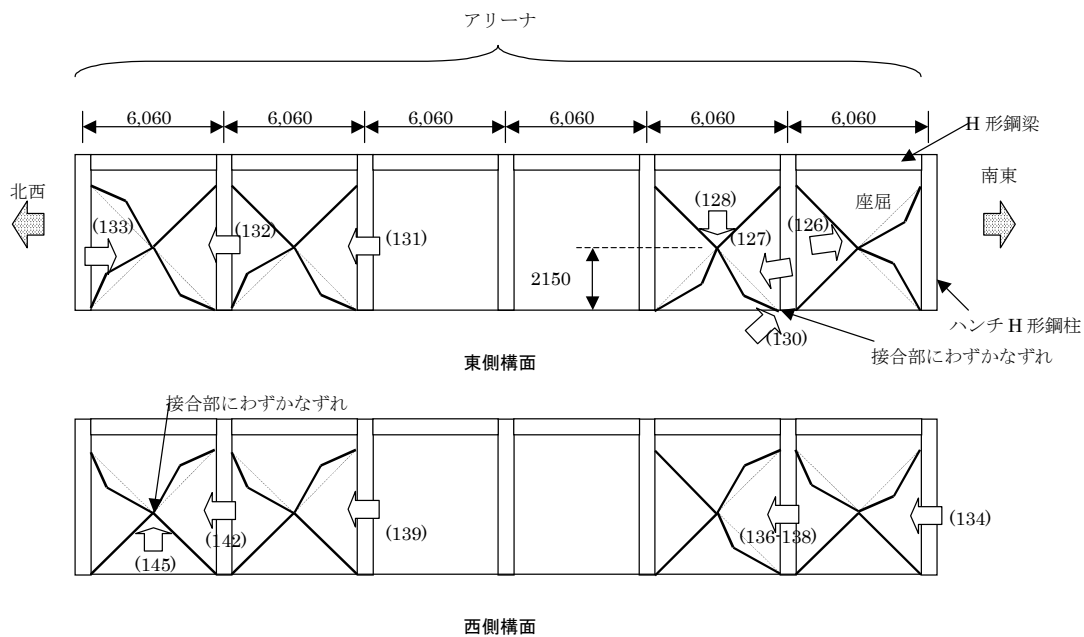


図 6.3 体育館D 桁行方向ブレース材の被害状況



写真 6.39 内観



写真 6.40 内観



写真 6.41 ブレース材座屈
(126)



写真 6.42 ブレース材座屈
(127)

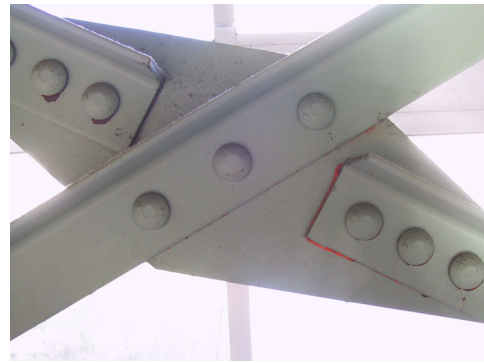


写真 6.43 ブレース材接合部
(128)



写真 6.44 ブレース材端部(130)



写真 6.45 ブレース材座屈(131)



写真 6.46 ブレース材座屈(132)



写真 6.47 ブレース材座屈(133)



写真 6.48 ブレース材座屈(134)



写真 6.49 ブレース材座屈(137)



写真 6.50 ブレース材座屈(139)



写真 6.51 ブレース材座屈(142)

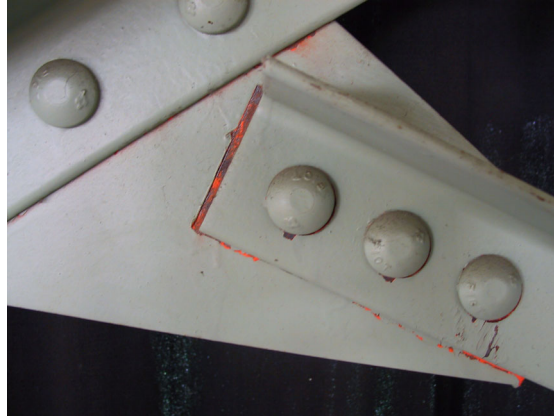


写真 6.52 ブレース材接合部(145)

6.2.5 体育館E

天井の約 1/4 程度落下。天井は木毛セメント板。天井下に予めネットが張られていたため、アリーナ床面まで天井は落下しなかった。桁行方向ブレース材の座屈及び破断。ブレース材 2L-50x50x4。ブレーススパン 3980mm。構造は体育館Aとほぼ同じ。周辺地盤に変状あり。屋根は地震時に改装工事中であった。

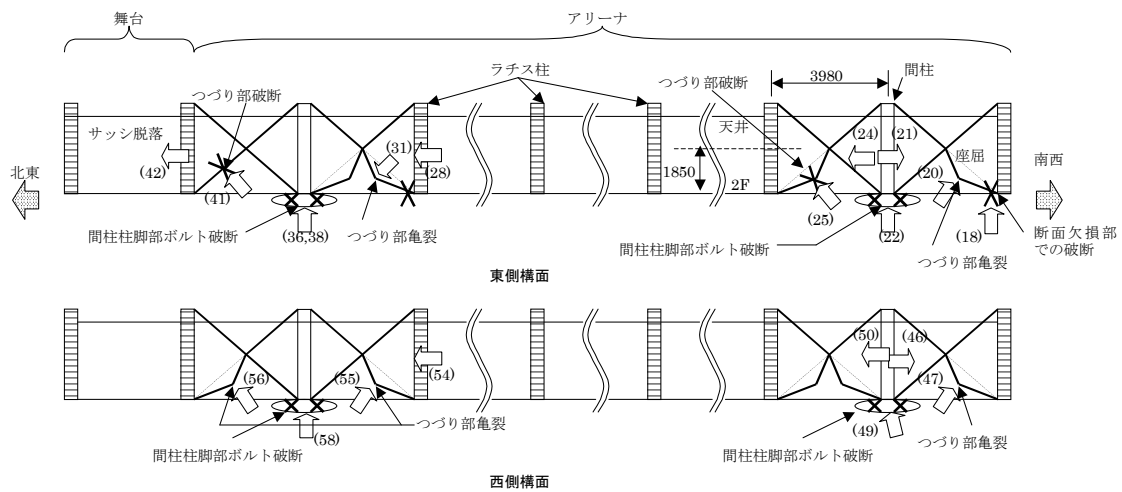


図 6.4 体育館E 桁行方向ブレースの被害状況



写真 6.53 内観



写真 6.54 天井西側



写真 6.55 天井東側



写真 6.56 ブレース材端部孔欠損部破断(18)



写真 6.57 ブレース材つづり部亀裂(20)



写真 6.58 ブレース座屈(21)



写真 6.59 間柱脚部アンカーボルト破断(22)



写真 6.60 ブレース材つづり部での破断
(24)



写真 6.61 ブレース材つづり部での破断
(25)



写真 6.62 ブレース材座屈(28)



写真 6.63 つづり部の亀裂(31)



写真 6.64 間柱脚部ボルト破断(38)



写真 6.65 破断したボルト(36)



写真 6.66 ブレース材つづり部での破断(41)



写真 6.67 窓サッシ脱落(42)



写真 6.68 ブレース材座屈(46)



写真 6.69 ブレース材つづり部の亀裂(47)



写真 6.70 間柱脚部アンカーボルト破断(49)



写真 6.71 ブレース材座屈(50)



写真 6.72 ブレース材座屈(54)



写真 6.73 つづり部の亀裂(55)



写真 6.74 ブレース材つづり部の亀裂(56)



6.2.6 センターF

1～2階がRC造、3階及び屋根がS造の建築物で、竣工は1994年である。

RC造の部分に、被害は無かった。

天井3割程度落下。せっこうボード9mm厚+ロックウール。せっこうボードとロックウールはステープル留め。吊りボルト多数あり、600～800mmピッチ。スピーカー2個落下、400x400程度の大きさ、重量1個当たり10kgf程度。シングル野縁間隔300mm弱。せっこうボード910x1600。せっこうボードは野縁にビス留め。ビスピッチ300mm以下。ブレース材2C-180x75x7x10.5、X型、4箇所全て座屈（破断なし）。

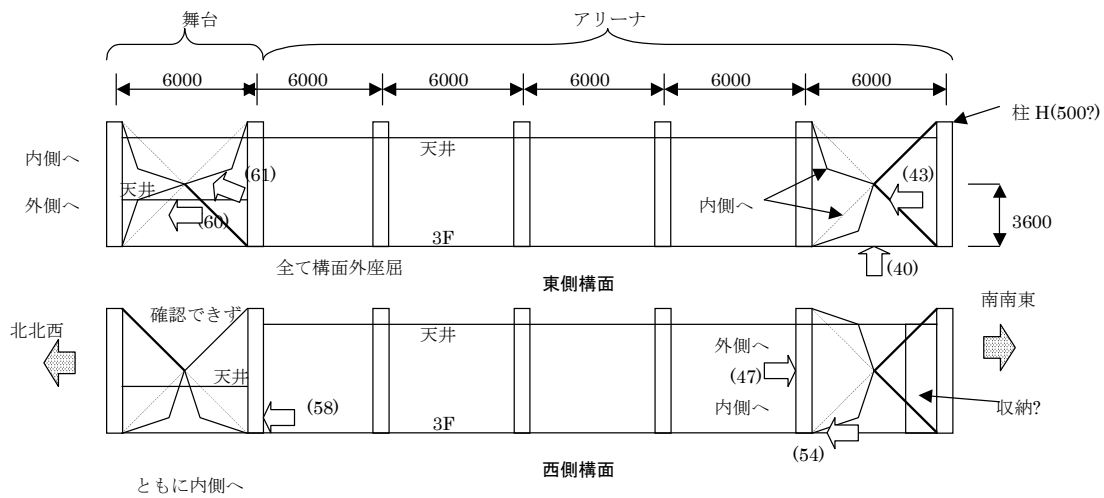


図 6.5 センターF 桁行方向ブレース材の被害状況



写真 6.76 内観



写真 6.77 天井



写真 6.78 落下した天井とスピーカー

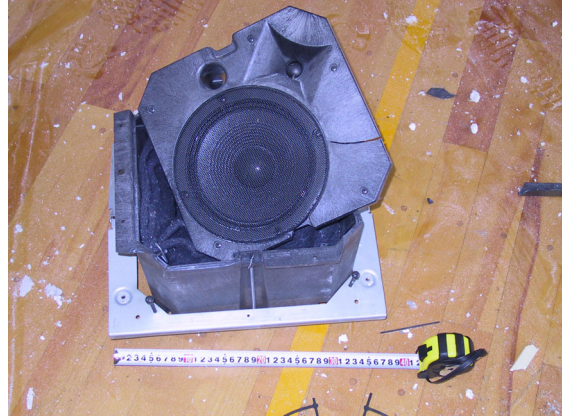


写真 6.79 落下したスピーカー



写真 6.80 落下した天井

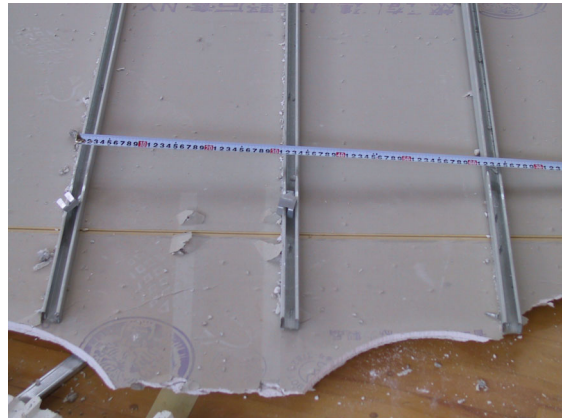


写真 6.81 落下した天井



写真 6.82 落下した天井



写真 6.83 ブレース材の座屈(40) 写真 6.84 ブレース材の座屈(43)



写真 6.85 ブレース材の座屈(47)

写真 6.86 ブレース材端部(柱は H-500?) (54)



写真 6.87 ブレース材座屈(58)



写真 6.88 ブレース材座屈(60)



写真 6.89 ブレース材座屈(61)



写真 6.90 天井裏



写真 6.91 本震の時刻で停止した時計

6.2.7 体育館 G

本学校は、RC 造 3 階建の本館、新館及び体育館等で構成され、本館は 1985 年竣工、新館及び体育館は不明である。

本館及び新館に、大きな被害は見当たらない。本館と新館の間のエキスパンションにも被害は見当たらなかった。

体育館は、ガラス破損、2F 部分に散乱。サッシのはらみ出し、軒の天井の一部落下。照明（水銀灯 4 個）落下。

張り間はトラス梁を用いたラーメン構造。トラス梁は弦材がカット T、斜材 H のワレントラス。柱はハンチ付、H 形鋼か。

ブレース材の座屈及び破断。ブレース材は H-150x150x8x10、X 型、4 箇所。破断は 1 箇所、X 型の交点部分の溶接。ブレース材は H 形鋼弱軸周りが構面内、強軸周りが構面外。座屈は構面内（弱軸周り）と構面外（強軸周り）に発生。

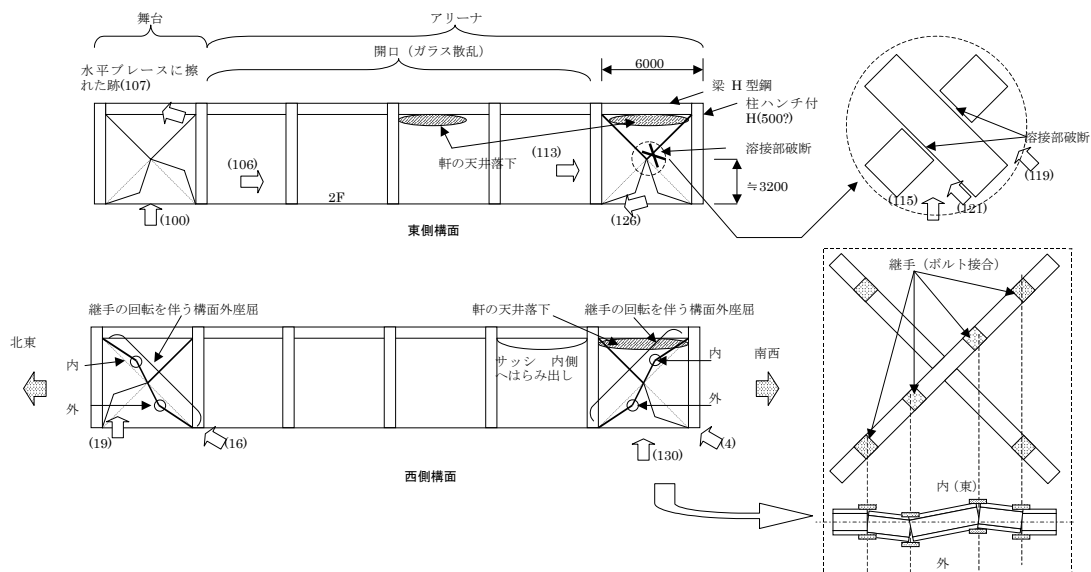


図 6.6 体育館 G 桁行方向ブレース材の被害状況



写真 6.92 内観 北側



写真 6.93 内観 南側



写真 6.94 ブレース材座屈(100)

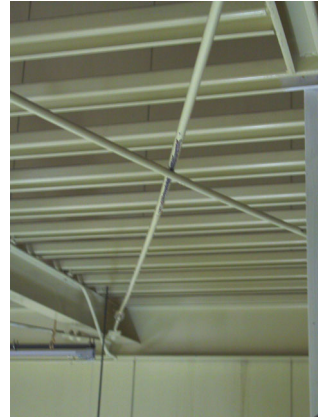


写真 6.95 水平ブレース材の擦れた跡(107)



写真 6.96 散乱したガラス写真
(106)



6.97 サッシを留めていたと思われる鉄筋と金具



写真 6.98 軒の天井落下



写真 6.99 ブレース材座屈(113)

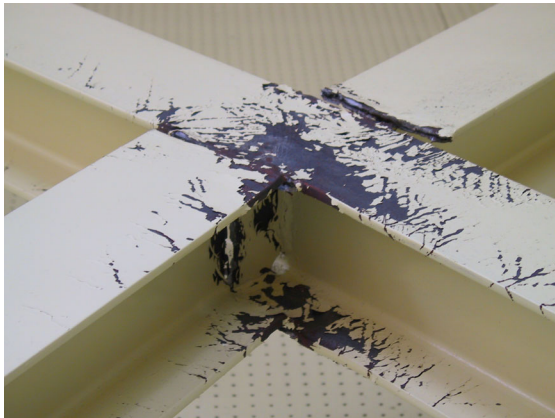


写真 6.100 ブレース交差部の溶接部破断
(115)



写真 6.101 ブレース交差部の溶接部破断
(119)



写真 6.102 ブレース交差部の溶接部破断(121)



写真 6.103 ブレース材脚部(126)



写真 6.104 南側妻面開口部サッシはらみ出し 写真 6.105 サッシを留めていたと思われる
金具

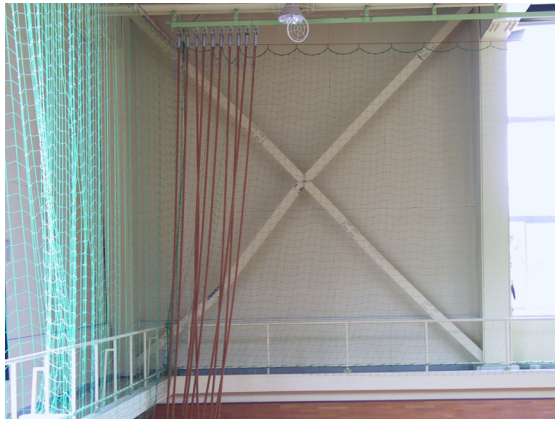


写真 6.106 ブレース材座屈
(130)



写真 6.107 ブレース材座屈
(構面内及び構面外) (4)

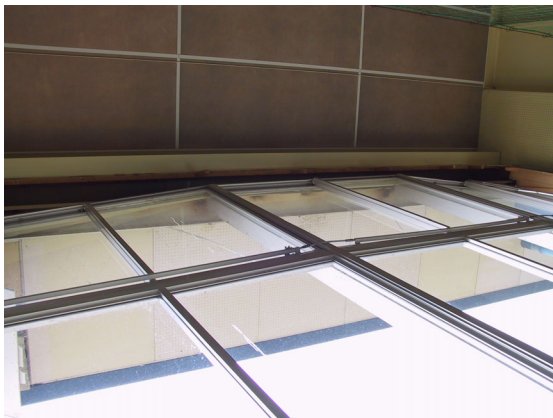


写真 6.108 サッシのはらみ出し

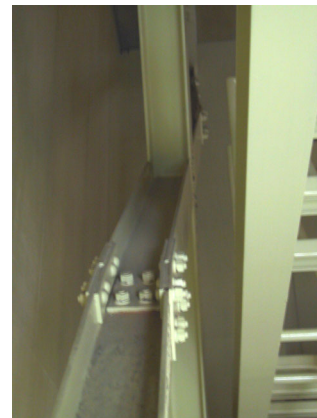


写真 6.109 ブレース材の構面外座屈
(16)



写真 6.110 ブレース材の座屈(19)

6.2.8 工場H

工場、事務所の一部が鉄骨造であった。被害はブレース材座屈。ブレースは2 C-125x65x6x8、X型。2～3階建て。屋根は折板屋根のみ。また、事務所部分の天井が一部落下。



写真 6.111 ブレース材座屈



写真 6.112 ブレース材座屈



写真 6.113 天井一部落下



写真 6.114 周辺地盤沈下

6.2.9 小千谷市内の一般鉄骨造建築物



写真 6.115 工場Hに隣接する鉄骨造建築物 外装材脱落



写真 6.116 外装材脱落



写真 6.117 外装材の被害



写真 6.118 外装材の被害



写真 6.119 鉄骨造3階建て 特段の被害なし

6.2.10 体育館 J

1) 建築物概要

竣工年：1968年

階数、構造：2階（1階RC造、2階S造）

鉄骨部分の構造形式：桁行方向ブレース構造、張り間方向ラチスアーチ構造

平面形状：図 6.7 参照

延べ床面積：1870m²

桁行方向ブレースの部材断面：L-90×90×10

2) 構造体の被害状況

図 6.7 に、体育館の床伏図を示すとともに、鉄骨の地震被害が観察された 2 階桁行方向ブレース材の被害状況を示す。また、写真 6.120 に、この体育館の内部の全体の被害状況を示す。構造に関する地震被害は、主に、2 階の鉄骨造桁行方向のブレース材及びガセットプレート等に見られ、張り間方向では被害が見られなかった。また、1 階の RC 造柱には被害は見られなかった。一方、体育館の床が 7cm 程度沈下する被害が見られ、周辺地盤にも沈下が観察された。

桁行方向の鉄骨部分の被害として、ブレース材端部とガセットプレート接合部でブレース材が破断し、ガセットプレートが座屈する被害が見られた（写真 6.121）。ブレース材の破断は、この体育館の 4 つのブレース構面すべてで観察された。破断部位は、被害写真からはボルト孔欠損部に近い部分であるが、欠損部ではないように見える。また、4 つのブレース構面すべてでブレース材の座屈が観察された（写真 6.122）。また、ブレース材が交差する部分のガセットプレートで座屈が見られた（写真 6.123）。柱脚部分では、アンカーボルトがすべったと思われる被害が見られた（写真 6.124）。

3) 非構造部材の被害状況

天井は、梁下の位置で水平ブレース材をかねているものと思われる鉄骨部材の斜め格子で構成されている。木毛セメント板（910mm角）を格子フレーム上に乗せねじ止め、板の端部が破損または抜けて落下。中央の水平部分はほとんどのこり、傾斜部分に落下が多い（写真 6.125）。その他残置物（長さ 1m 幅 60mm 厚 6mm ほどの鉄板他）の落下があり（写真 6.126）、はしごも天井裏に残置されていたものが格子に引っかかっていた。窓際通路部分の天井もブレース貫通部分で破損落下。窓ガラスの破損無し、窓は、すべて引き違い窓であった。窓の間の壁は、窓の下の高さで水平に破損（写真 6.127）。

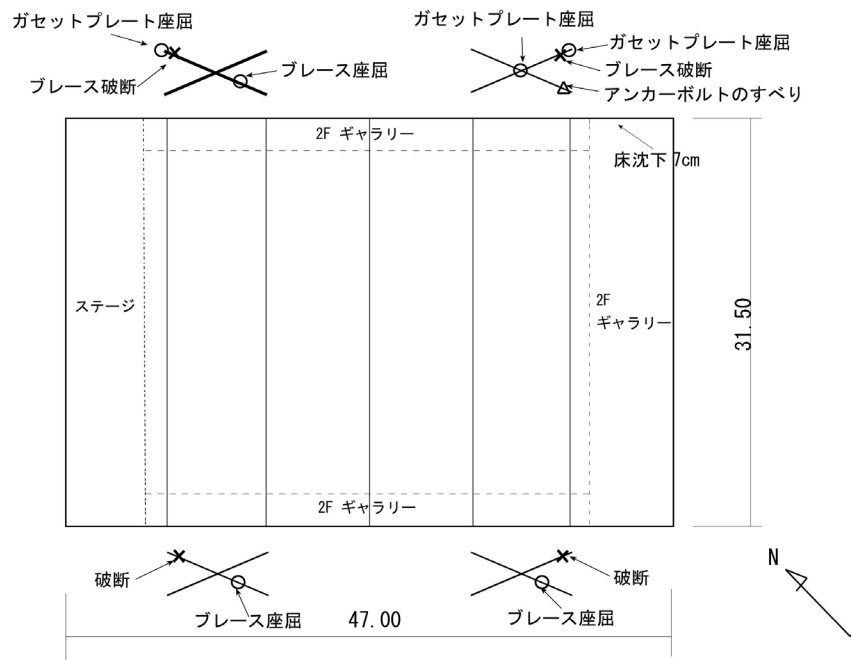


図 6.7 体育館 J の床伏及び桁行方向ブレース材の被害状況



写真 6.120 内部全体の被害状況



写真 6.121 ブレース材端部の破断及びガセットプレートの座屈



写真 6.122 ブレース材の座屈



写真 6.123 ガセットプレートの座屈



写真 6.124 柱脚アンカーボルトのすべり



写真 6.125 体育館内部



写真 6.126 落下物



写真 6.127 窓の下の高さで水平に破損した窓の間の壁

6.2.11 体育館K

1) 建築物概要

竣工年：1978年

階数、構造：2階（1階RC造、2階S造）

鉄骨部分の構造形式：桁行方向ブレース構造、張り間方向山形ラーメン構造

平面形状：図6.8参照

延べ床面積：1668m²

桁行方向ブレースの部材断面：L-65×65×6

2) 構造体の被害状況

図6.8に、体育館の床伏図を示すとともに、鉄骨の地震被害が観察された2階桁行方向ブレースの被害状況を示す。また、写真6.128にこの体育館の内観を示す。構造に関する地震被害は、主に、2階の鉄骨造桁行方向のブレース材及びガセットプレートと柱の接合部に見られ、張り間方向では被害が見られなかった。また、1階のRC造柱には被害は見られなかった。

桁行方向の鉄骨部分の被害の特徴として、図6.8に示すように6つのブレース構面すべてで、ブレース材端部とガセットプレート接合部でブレース材が破断し、ブレース材の全体座屈が観察された（写真6.129）。柱とブレース材はL型のアンクル材を介してすみ肉溶接で接続されており、そのすみ肉溶接部で破断している（写真6.130）。また、L型のアンクル材自体が破断している部分もあった（写真6.131）。ブレース材端部とガセットプレートの接続部では、ブレース材の大きな塑性化が観察され、柱脚部のかぶりコンクリート部に比較的大きなひび割れが観察された（写真6.132）。

3) 非構造部材の被害状況

はめ殺し窓のガラスは、ほぼ全数破損していたが修理済み、割れずに残っているはめ殺し窓は、硬化パテに弾性シーリング材がかぶせて施工されていたものと弾性シーリング材が施工されているものがあった。当初、硬化パテで施工されていたものが、何らかの理由で破損し補修されていた部分と思われる。天井はなく、屋根下地の木毛セメント板に割れが認められるが落下物無し。

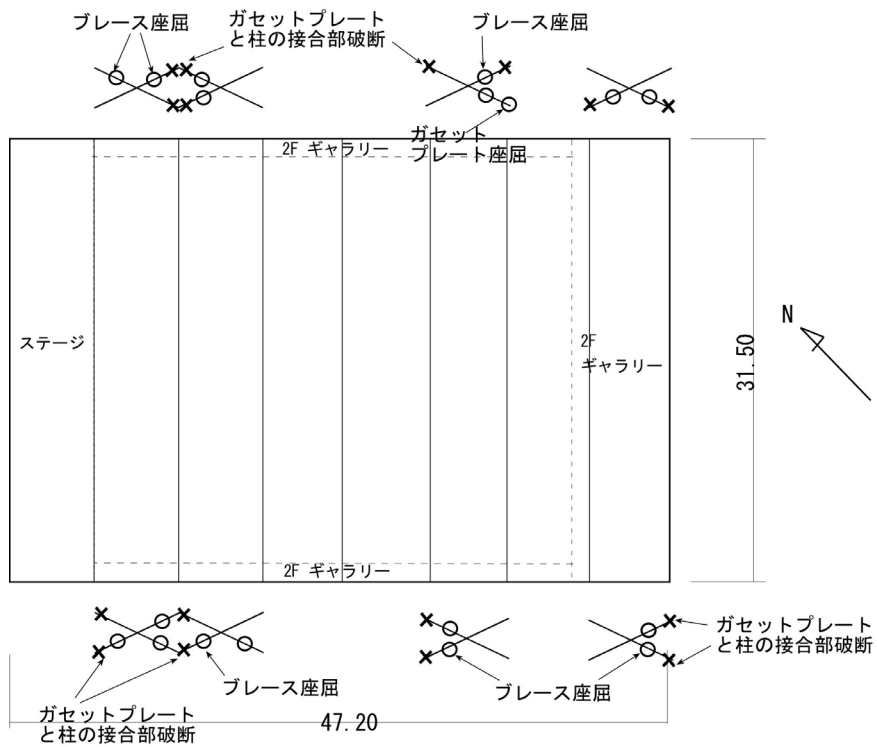


図 6.8 体育館Kの床伏及び桁行方向ブレース材の被害状況



写真 6.128 体育館の内観



写真 6.129 ブレース材の座屈



写真 6.130 柱とガセットプレート溶接
接合部の破断



写真 6.131 接合部プレートの破断



写真 6.132 ブレース材端部の塑性化及び
柱脚部コンクリートのひび割れ

6.2.12 体育館 L

1) 建築物概要

竣工年：不明

階数、構造：3階（1、2階 RC 造、3階 S 造）

3階鉄骨部分の構造形式：桁行方向ブレース構造、張り間方向ラチスアーチ構造

平面形状：図 6.9 参照

桁行方向ブレースの部材断面：L-100×100×10

2) 構造体の被害状況

図 6.9 に、体育館の床伏図を示すとともに、鉄骨の地震被害が観察された 2 階桁行方向ブレース材の被害状況を示す。構造に関する地震被害は、主に、3 階の鉄骨造桁行方向の

ブレース材及びガセットプレートに見られ、張り間方向では被害が見られなかった。また、1、2階のRC造部分の柱の損傷度は、大きくてもⅡであり、被災度としては小破の部類に入る。

桁行方向の鉄骨部分の被害の特徴として、図 6.9 に示すように4つのブレース構面のうち、ギャラリー側の2つのブレース構面では、ガセットプレートの座屈とともにブレース材に破断が生じている（写真 6.133）が、ステージ側の2つのブレース構面では、ブレース材は破断に至らず、中心部のガセットプレートが塑性化する被害にとどまっている（写真 6.134）。ブレース材の破断は、リベット孔欠損部で生じている。

3) 非構造部材の被害状況

天井は、梁上の位置で水平ブレースをかねているものと思われる鉄骨材の斜め格子で構成されている。木毛セメント板（910mm角）を格子フレーム上に乗せねじ止め。木毛セメント板が数枚落下していた。（写真 6.135）舞台プロセニウムアーチ上部のせっこうボード（木下地）の落下、せっこうボードをとめつけた胴縁が間柱から外れて落下していた。

1F スチールサッシ硬化パテ止めはめ殺し窓の窓ガラス破損、桁行き方向引き違い窓（アルミサッシ弾性シーリング）のガラス破損、窓枠が面外に変形している部分もあるので窓枠の高さが変化した可能性あり（写真 6.136）。外壁のリプラスモルタルの脱落、下地がコンクリートのモルタルが一部脱落、照明器具のランプ破損。階段室の天井せっこうボード（木下地）の落下（写真 6.137）

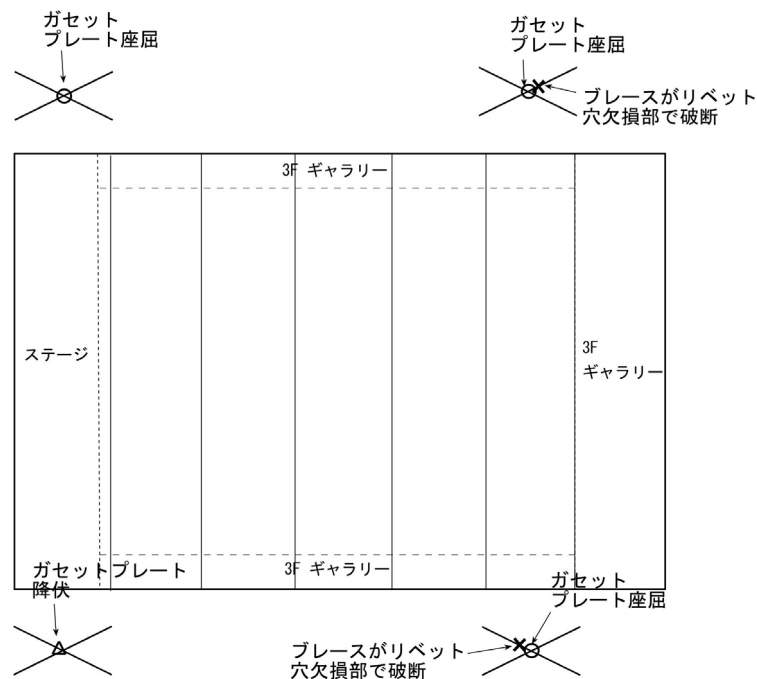


図 6.9 体育館 L の床伏及び桁行方向ブレース材の被害状況



写真 6.133 リベット孔欠損部からのブレース材の破断及びガセットプレートの座屈



写真 6.134 ガセットプレートの塑性化



写真 6.135 内観



写真 6.136 体育館外壁および窓の状況



写真 6.137 せっこうボード木下地の落下

6.2.13 体育館M

1) 建築物概要

竣工年：1970年

階数、構造：2階（1階RC造、2階S造）

2階鉄骨部分の構造形式：桁行方向ブレース構造、張り間方向ラチスシエル構造

平面形状：図6.10参照

延べ床面積：1460m²

桁行方向ブレースの部材断面：L-75×75×9

2) 建築物の被害状況

図6.10に、体育館の床伏図を示すとともに、鉄骨の地震被害が観察された2階桁行方向ブレース材の被害状況を示す。構造に関する地震被害は、主に、2階の鉄骨造桁行方向のブレース材に見られ、張り間方向では被害が見られなかった。

桁行方向の鉄骨部分の被害は、図6.10に示すように8つのブレース構面それぞれで、ブレース材がわずかに座屈しているのが観察された（写真6.138）。また、図6.10に示す位置のガセットプレートにわずかな塑性変形や降伏が観察された（写真6.139）。構造的な被害は比較的小さいと言える。また、アルミサッシはめ殺しにも破損は無かった。

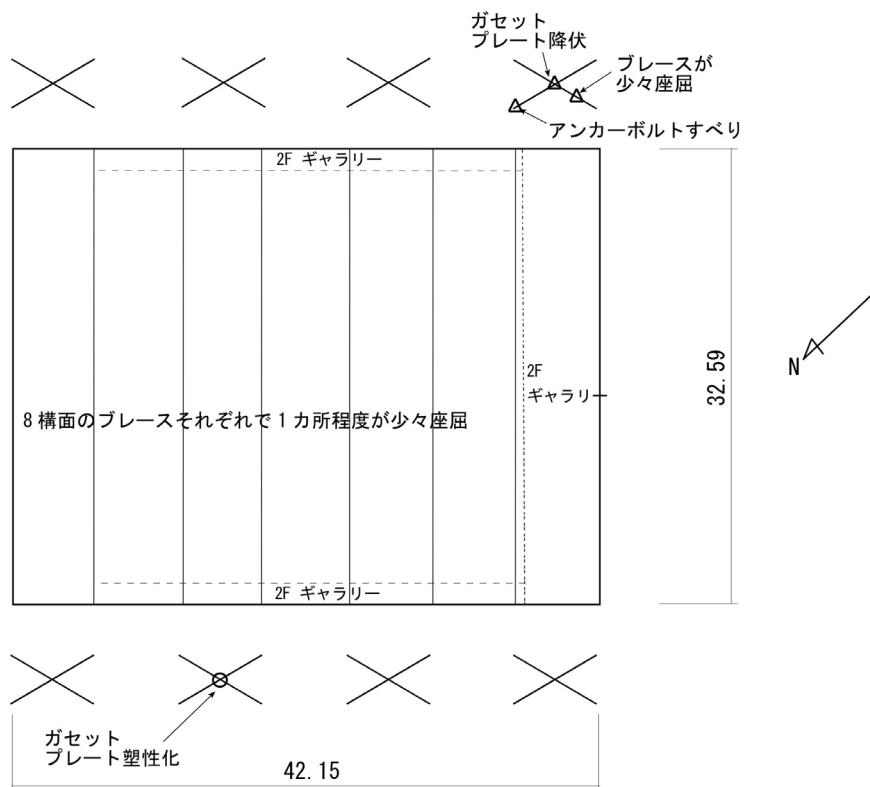


図6.10 体育館Mの床伏及び桁行方向ブレース材の被害状況



写真 6.138 ブレース材の座屈

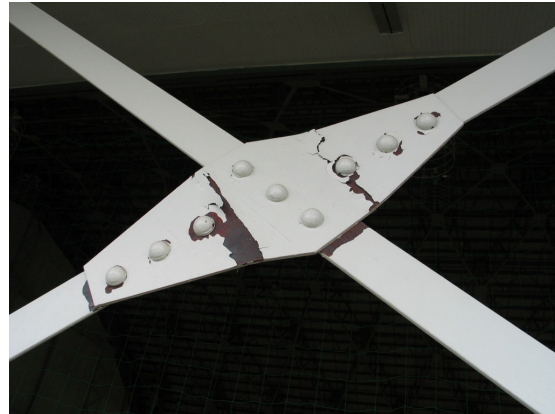


写真 6.139 ガセットプレートの塑性化

6.2.14 体育館N

1) 建築物概要

竣工年：1966年

階数、構造：2階（1階RC造、2階S造）

2階鉄骨部分の構造形式：桁行方向ブレース構造、張り間方向ラチスアーチ構造

平面形状：図 6.11 参照

延べ床面積：781m²

桁行方向ブレースの部材断面：2L-65×65×6

2) 建築物の被害状況

図 6.11 に、体育館の床伏図を示すとともに、鉄骨の地震被害が観察された 2 階桁行方向ブレースの被害状況を示す。構造に関する地震被害は、主に、2 階の鉄骨造桁行方向のブレース構面に見られ、張り間方向では被害が見られなかった。1 階の床では、1cm 程度の沈下が見られた。この体育館では図 6.11 に示す位置に H 形鋼の間柱が設けられ、ブレース材はこの間柱とラチス柱の間で接続されている。ステージ側にも同様のブレース構面があると考えられるが、内壁で被覆され、確認できなかった。

桁行方向の鉄骨部分の被害として、L 型アングルをつづるためのボルト接合部のボルト孔欠損部からブレース材が破断しているのが観察された。また、ブレース材中央部のガセットプレートの降伏が観察された（写真 6.140）。ラチス柱の間に設けられた間柱の柱脚のアンカーボルトに破断が生じ、柱脚が横に移動していた（写真 6.141）。また、ラチス柱の柱脚部分でも、ラチス柱の柱脚かぶりコンクリートの破壊とこの部位のガセットプレートの降伏が観察された（写真 6.142）。2 段窓の上側では、アルミサッシ引き違い窓の脱落が多く見られた。

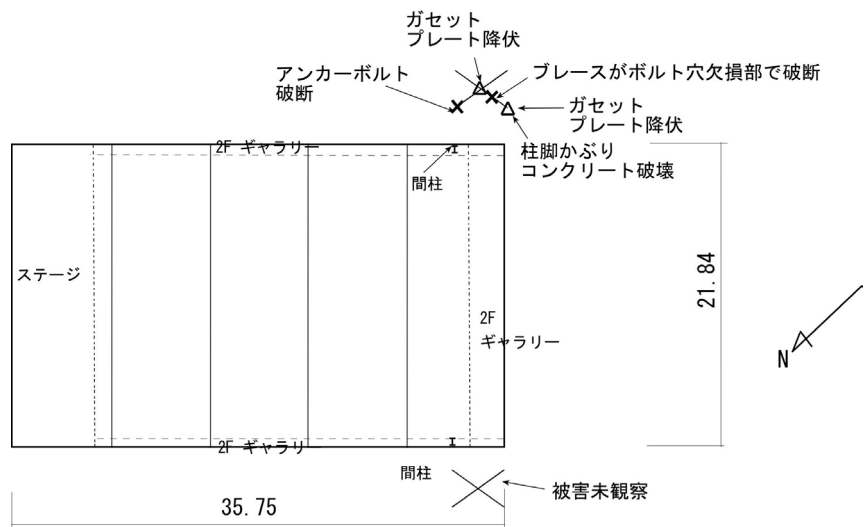


図 6.11 体育館Nの床伏及び桁行方向ブレース材の被害状況



写真 6.140 ブレース材のボルト孔欠損部からの破断とガセットプレートの降伏



写真 6.141 間柱の脚部アンカーボルトの破断とガセットプレートの塑性化



写真 6.142 ラチス柱の柱脚かぶりコンクリートの破壊とガセットプレートの降伏

6.2.15 体育館○

1) 建築物概要

竣工年：1983年

階数、構造：3階（1、2階RC造、3階S造）

2階鉄骨部分の構造形式：桁行方向ラーメン構造（H形鋼柱梁）、張り間方向山形ラーメン構造（H形鋼柱梁）

平面形状：図6.12参照

延べ床面積：2110m²

桁行方向の部材断面：不明

2) 建築物の被害状況

図6.12に、体育館の床伏図を示す。この体育館は、桁行方向、張り間方向ともに、H形鋼柱梁より成るラーメン構造である。3階の鉄骨部分の構造に関する地震被害は、主に、天井面の水平ブレースの座屈と破断である。桁行方向、張り間方向のラーメン構造には被害は見られなかった。天井面の水平ブレースでは、多くの部分で座屈が生じ、破断している部材もあった（写真6.143）。また、非構造材の被害として、引き違い窓が2個脱落していた。

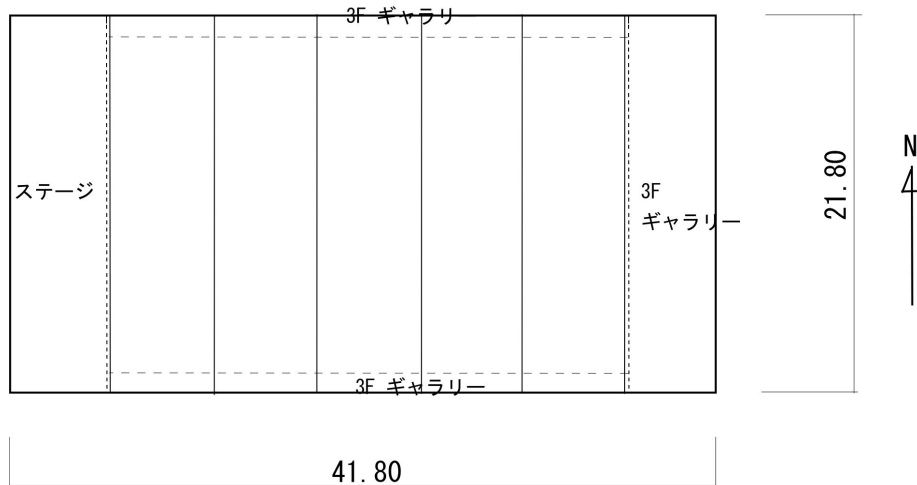


図6.12 体育館○の2階床伏



写真 6. 143 水平ブレース材の破断

6. 2. 16 体育館 P

1) 建築物概要

竣工年：1967 年

階数、構造：2 階（1 階 RC 造、2 階 S 造）

2 階鉄骨部分の構造形式：桁行方向ブレース構造

延べ床面積：1534m²

2) 建築物の被害状況

写真 6. 144 にこの体育館の内観を示す。構造的な被害としては、体育館の床が 7cm 程度沈下しているのが観察された。また、体育館の周りのコンクリート部分でひび割れが観察され、周辺地盤では隆起が観察された。2 階鉄骨部分の桁行方向、張間方向の構造材には被害が見られなかった。



写真 6. 144 体育館の内観

6.2.17 体育館Q

1) 建築物概要

竣工年：不明

階数、構造：2階（1、2階RC造、屋根S造）

2) 建築物の被害状況

S造部分で構造的な被害は観察されなかったが、非構造部材で以下の被害が見られた。天井は、グラスウールボード（1520×990）を用いたシステム天井であり、この天井材（グラスウールボードの）が、照明器具部分や傾斜の変わっている部分で、多く落下（写真6.145）している被害が見られた。また、縦壁挿入筋構法の外壁ALCパネルの脱落が見られた（写真6.146）。武道館天井の落下（木製、せっこうボード）が見られた。



写真 6.145 システム天井の落下



写真 6.146 ALCパネル（縦壁挿入筋構法）の落下

6.2.18 駐車場R

1) 建築物概要

竣工年：1983年（駐車場管理者からのヒアリングによる）

階数、構造：6階、S造ラーメン+ブレース構造

2) 建築物の被害状況

鉄骨造6階建の立体駐車場である。角形鋼管柱とH形鋼梁により構成されるラーメン+ブレース構造である。構造的な被害としては、4階以上の階で、一部の梁継ぎ手部分で亀裂と思われる被害が観察された。4階以上の階では、梁の被覆材等が脱落している（写真6.147）部分があるため、3階までは駐車場として使用し、4階以上の階は使用禁止としていた。写真6.148に梁継ぎ手部分の被害状況を示す。鉛直方向にハンチを設けた梁継ぎ手部分のプレートに亀裂が生じていると思われる被害が観察された。目視からは、この継ぎ手の梁下フランジは、もともと接続されていないようにも見える。4～6階までの同様の梁継ぎ手部分の数カ所で、同様にウェブに亀裂があると思われる被害が見られた。



写真 6.147 梁被覆材の脱落



写真 6.148 梁継ぎ手部分のプレートの亀裂

6.2.19 駐車場 S

1) 建築物概要

階数、構造：5 階、S 造

2) 建築物の被害状況

鉄骨造 5 階建の立体駐車場で、ラーメン+ブレース構造である。建築物の被害としては、各層のブレースの交差部で被覆材が脱落する被害が見られた（写真 6.149）。



写真 6.149 ブレース材交差部の被覆材の脱落

6.2.20 駐車場T

1) 建築物概要

階数、構造：3階、S造ラーメン+ブレース構造

2) 建築物の被害状況

鉄骨造3階建の立体駐車場で、ラーメン+ブレース構造である。建築物の被害としては、外周部のブレースの被覆材が脱落したと思われる被害が見られた（写真6.150）。



写真 6.150 ブレース材の被覆材の脱落

6.2.21 遊技場U

1) 建築物概要

階数、構造：3階、S造ブレース構造

2) 建築物の被害状況

3階建の遊技場の1階の駐車場部分のブレースの交差部で被覆材に亀裂が生じているのが観察された（写真6.151）。また、この駐車場の天井材が一部落下している被害が見られた。



写真 6.151 ブレース交差部の被覆材の亀裂

6.3 現在の所見と今後の検討項目

6.3.1 体育館の構造的被害について

調査した範囲では張り間方向に構造的な被害は見られないものの、桁行方向のブレース材の座屈・破断や間柱脚部のアンカーボルトの破断等、大きな被害が見られた。間柱の移動跡から層間変形角で $1/70 \sim 1/60$ 程度の大きな最大変形を経験したと推定されるものもあった。

表 6.1 にいわゆる新耐震設計法施行前(1981 年以前)の体育館について、桁行方向のブレース材に関する耐力の計算例を示す。ブレース材端部の破断耐力は軸部の降伏耐力と同程度又はそれ以下であり、ブレース材の軸部が塑性化する前に端部で破断する場合もある。従って、ブレース材の塑性変形能力はほとんど期待できないと考えてよいであろう。塑性変形が期待できなくとも弾性範囲に収まるように設計されていれば構造的な被害は生じないことになるが、端部破断耐力に対応する屋根の水平震度を見ると A、C、E は $0.4 \sim 0.5$ 程度となっており、大地震動に対する屋根の弾性応答を考えた場合には耐力的に不十分である。

この結果から、新耐震施行前の体育館については、特に桁行方向のブレース材の接合部に耐力不足があるために、大地震動に対してブレースの破断を含めた被害を受ける危険性があると言える。さらに、今回被災した体育館は多雪地域にあるので雪荷重も考慮して地震力の計算がされていたと考えられるが、屋根上に積雪のない軽い状態、すなわち地震力が小さい状態にもかかわらず、ブレース材の破断等を被っている。新耐震設計法施行以前の設計では大地震動に対する終局状態を想定した構造計算や保有耐力接合が課されていなかったこともある。雪荷重を考慮した中地震動相当の外力に耐えうように設計された建築物であっても、雪のない時期の大地震動に対して安全性が確保されない場合もあることが明らかとなった。この点については今後さらに被災地域における他の体育館の調査も行い、新耐震設計法施行前の体育館の耐震安全性(危険性)を把握したいと考えている。

調査した範囲では体育館の耐震診断・耐震補強はほとんど実施されていなかった。震災時に避難所として活用される可能性があることを考えれば、体育館の耐震診断・耐震補強についても早急に実施することが必要である。

なお、新耐震設計基準以降に建設された体育館のうちブレース材接合部(溶接部)が破断したものがあつたが、溶接部分の保有耐力接合の条件が満たされていたのかどうかを含め、幅広く原因を追及する検討が必要であろう。

また、ブレース材を間柱に接合する形式の構造においては、間柱脚部に破壊が生ずるとブレース材の力が伝達されなくなるので、ブレース材によって生ずるせん断力等を適切に考慮して脚部のアンカーボルト等の耐力を確保する必要がある。今後、この種の構造の耐力の検証法が妥当かどうかの検討を行う。

2つの部材(山形鋼等)をつづり合わせたブレース材では、座屈による曲げ変形が集中する箇所につづり合わせの断面欠損部がある場合に、当該部分で亀裂が発生していたものがあった。引張ブレースとして設計し、座屈を許容するのであれば、つづり合わせの位置についても注意すべきである。

屋根面の水平ブレース材の破断が確認されたものがあったが、天井材がなかったために、水平ブレース材の破断と天井材の損傷との関係は不明である。ただし、屋根面の水平ブレース材の被害そのものについては今後検討を行う予定である。

た体育館が屋根の上に雪が積もった状態で余震に見舞われれば、大破あるいは崩壊・倒壊に至る可能性は少なくないものと考えられる。従って、破断したブレースの交換やブレースの新設等、応急的な補強対策が急がれる。具体的な補強方法については文献 1)などが参考となろう。

6.3.2 非構造部材の被害について

表 6.2 に調査を行った非構造部材の被害状況一覧を示す。

硬化性パテどめのはめ殺し窓では、窓ガラスの破損が見られた。窓枠が極端に破損した場合を除くと弾性シーリング材どめやグレージングチャンネルどめの窓では、窓ガラスの破損は見られなかった。硬化性パテどめのはめ殺し窓は、変形追従性が小さく、 $1/1,500 \sim 1/500$ の層間変形角で破損すると考えられ、昭和 46 年建設省告示第 109 号（平成 12 年最終改正）の昭和 53 年の改正で 3 階建て以上の建物の場合使用が制限された。

引き違い窓のサッシの落下が 2 段窓の上段で見られた。面内に生じた層間変形角によって落下するとは考えにくいので、慣性力や他の部材の破損や変形を含めた詳細な検討が必要であろう。

ウール張りの天井では、音響設計のため複雑な形状になっている部分で脱落していた。国土交通省住指第 2402 号「大規模空間を持つ建築物の天井の崩落対策について（技術的助言）」^{1)272p}では、対策として吊りボルトへのブレース材等の補剛材の配置、クリアランスの確保、段差部分の補強等をあげている。

室内壁では、件数は少なかったが舞台周辺の妻壁での脱落が見られた。

新耐震設計法では、一部の建築物を除いて構造体に中地震動に対する層間変形角の制限（ $1/200$ ，条件によって $1/120$ まで緩和可能）が加わった。新耐震以降、非構造部材はこの変形制限を目安に設計、施工されている。今回の地震被害では、ブレース材の破断等により、この変形制限を超える層間変形が作用した体育館が数多く見られた。今後、構造体の被害状況と非構造部材の被害状況の関係を検討する予定である。

1) 実務者のための既存鉄骨造体育館等の耐震改修の手引きと事例、(財)日本建築防災協会及び(社)建築研究振興協会、2004.8

2) 非構造部材の耐震設計指針・同解説および耐震設計施工要領、日本建築学会、2003.1

表 6.1 桁行方向ブレースの耐力

名称	竣工 [年]	面積 [m ²]	屋根固 定荷重 [tf]	被害	断面	仰角 θ [°]	構面数	断面積 A[cm ²]	接合部 ボルト	ボルト孔 径 (ボルト径 +2mm) [cm]	端部の突 出脚無効 長さ [cm]	端部有効 断面積 [cm ²]
A	1971	1415	212	座屈及び破 断、間柱脚 部ボルト全 て破断	2L- 50x50x4	38	8	7.784	M16, 筋 かい1本 あたり2 本	1.8	3.5	3.544
C	1973	1468	220	全てのスパ ンで破断	L- 75x75x6	32	6	8.727	M20, F9T, 3本	2.2	3.75	5.157
D	1978	827	124	全てのスパ ンで座屈	L- 75x75x6	29	8	8.727	F10T, M16, 3本	1.8	3.75	5.397
E	1972	1415	212	座屈及び破 断、間柱脚 部ボルト全 て破断	2L- 50x50x4	43	8	7.784	M16, 筋 かい1本 あたり2 本	1.8	3.5	3.544

名称	端部破 断耐力 Ae*σ _u [t f]	軸部降 伏耐力 [tf] A*F[tf]	(端部破断 耐力)/(軸 部降伏耐 力)	端部破 断時水 平耐力 [tf]	軸部降 伏時水 平耐力 [tf]	端部破 断時水 平震度	軸部降 伏時水 平震度
A	14.53	18.68	0.78	92.07	118.37	0.43	0.56
C	21.14	20.94	1.01	107.04	106.03	0.49	0.48
D	22.13	20.94	1.06	155.47	147.15	1.25	1.19
E	14.53	18.68	0.78	85.14	109.46	0.40	0.52

注) ブレースは全て X 型。F=2.4tf/cm², σ_u=4.1tf/cm²とした。E の面積は A と同じと仮定した。ボルト孔径はボルト径+2mm とした。屋根固定荷重は 0.15tf/m² と仮定した。軸部降伏は圧縮側のブレースを無視して算定した。A についてはブレース材端部ではなくボルトで破断している箇所が多かった。

表 6.2 非構造部材被害状況一覧表

	構造	天井	窓	外壁	その他
体育館 J	桁行方向の ブレース材 破断	木毛セメント板 多数落下	破損無し、すべて引 き違い窓	窓の間の壁は、 窓の下の高さ で水平に破損	床の沈下 最大で7 c mほど危険な残置 物の落下隣地より約 8 m高い
体育館 K	桁行方向の ブレース材 接合部分の 破損	天井なし、屋根下 地の木毛セメン ト板に割れが認め られるが落下 物無し	窓ガラスはめ殺し は、ほぼ全数破損修 理済み、残っている 窓に硬化パテ		
体育館 Q	未調査	クロスタイプシ ステム天井、天井 材(グラスウール ボード)落下、照 明器具取り付け	破損なし	A L C パネル の脱落 縦壁 挿入筋構法 S 造部分	

		部分と天井周辺部が多い、落下防止金具は認められず			
体育館L	ブレース材リベット部分で破断	木毛セメント板数枚落下	1F スチールサッシ硬化パテ止めはめ殺し窓破損、桁行き方向引き違い窓（アルミサッシ弾性シーリングのガラス破損	リプラスモルタルの脱落、下地がコンクリートのモルタルが一部脱落	照明器具落下壁のせつこうボード落下
体育館N	桁行方向のブレース破断	天井なし、屋根下地の木毛セメント板に割れが認められるが落下物無し	アルミサッシ引き違い窓が脱落	鋼板横張り	床が1cmほど沈下 照明器具のランプ破損
体育館M	被害なし	天井なし	新しい体育館では、アルミサッシはめ殺しにも破損無し	鋼板縦張り	
体育館P	構造体や天井などの被害は軽微	木毛セメント板落下なし	破損なし	顕著な被害なし	床の一部に7cmの沈下建築物横に暗渠の川あり建築物周辺に沈下あり
体育館O	屋根面のブレース材が破断桁行方向のブレースなし	天井なし	引き違い窓が2個脱落	顕著な被害なし	
体育館A	座屈及び破断、間柱脚部ボルト全て破断	木毛セメント板球面状落下無し	ガラス破損	顕著な被害なし	壁材（木毛セメント板）一部落下
体育館B		天井なし	無被害	顕著な被害なし	
体育館C	ブレース材全てのスパンで破断	天井なし	無被害	顕著な被害なし	水銀灯13個落下
体育館D	ブレース材全てのスパンで座屈	天井なし	無被害	顕著な被害なし	
体育館E	ブレース材座屈及び破断、間柱脚部ボルト全て破断	木毛セメント板球面状天井材落下	サッシ脱落	顕著な被害なし	
センターF	ブレース材全てのスパンで座屈	軽鉄下地せつこうボードロックウール張り野縁とともに3割程度落下	無被害	顕著な被害なし	スピーカー落下
体育館G	ブレース材座屈及び破断	天井なし	ガラス破損、サッシのはらみ出し	顕著な被害なし	水銀灯4個落下

