

5.3 鉄骨造建築物の被害

5.3.1 はじめに

東北地方太平洋沖地震に対する鉄骨造建築物の地震被害調査は、茨城県から宮城県にわたる広範囲な地域における事務所ビル等の一般的な鉄骨造建築物について主に外観により被害概要調査を行った。その結果によれば、これら一般的な鉄骨造建築物では構造躯体が内外装材等の仕上材に覆われており、速報段階の調査では、残留変形を生じているごく一部の建築物を除いて、柱、梁等の構造躯体の損傷については、把握は困難であった。その一方で、自走式駐車場、倉庫等のように構造躯体が露出している鉄骨造建築物では柱脚の損傷やブレースの座屈などを確認することができた。

そこで、このような構造躯体が露出している鉄骨造建築物の代表とも言え、また、倉庫や工場等の鉄骨造建築物の類型とも言える学校体育館を対象として重点的に被害調査を実施することとした。2004年新潟県中越地震の際にも学校体育館の調査を実施しており、その際には、鉛直ブレースが破断する等の大きな被害が比較的多く観察^{5.3-1)～5.3-3)}され、その際の調査結果との比較検討なども行うことができるためでもある。なお、学校体育館の調査地域としては茨城県とした。これは、茨城県内でも震度6程度の揺れが観測されていること、強震記録などから他県を含め、地震動の特徴として短周期成分が卓越している地点が多く、地震動が同程度であれば他県の被害状況も概ね同様と考えられること、による。

5.3.2 調査概要

(1) 一般的な鉄骨造建築物の被害調査の概要

宮城県、福島県、茨城県について、主に、外観調査によって事務所、店舗、駐車場等の鉄骨造建築物について、以下の地域について被害調査を行った。なお、これらの調査は、RC造、S造、非構造等の一般的な建物被害調査として実施したものである。

- 1) 二本松市、郡山市、福島市の被害調査
- 2) 日立市の被害調査
- 3) 鉾田市、笠間市の被害調査
- 4) 白河市、須賀川市、仙台市の被害調査

(2) 茨城県内の高等学校体育館等の被害調査の概要

2004年新潟県中越地震では、1981年6月以前の耐震基準（以下、旧耐震基準と呼ぶ）で設計された体育館で大きな被害が観察され、1981年6月以降の現行耐震基準の体育館では、ブレース破断等の被害がほとんど観察されなかった^{5.3-1)～5.3-3)}。そのため、今回の調査では、旧耐震基準の体育館を中心として調査を行うこととした。被害調査は、茨城県内の震度6強及び6弱程度の地震が観測された広範囲の地域について、被害の地域的な分布を把握することも念頭において、以下の各地区について、高等学校等の体育館、格技場、合計44棟について調査を行った。

- ・大洗町、城里町、日立市、水戸市、那珂市、ひたちなか市
- ・筑西市、笠間市、鉾田市、土浦市、坂東市、古河市、下妻市、筑西市、常総市

(3) 水戸市の小、中学校体育館等の被害調査の概要

茨城県内の高等学校体育館等の被害調査の結果、水戸市で比較被害が大きいことが判明したため、対象地域を水戸市に絞った上で、高校よりも規模が小さい小学校、中学校体育館の被害調査を行った。水戸市の小、中学校体育館等の調査については、旧耐震基準の体育館、武道場を中心として、合計22棟について調査を行った。

5.3.3 一般的な鉄骨造建築物の被害調査結果

事務所、店舗、駐車場等の一般的な鉄骨造建築物について、主に外観調査によって観察された被害例をまとめて示す。(1)～(4)は構造的な被害であり、(5)は非構造部材の被害である。

(1) 自走式駐車場の柱脚の破壊及びブレースの座屈

鉄骨造 2 階建自走式駐車場の 1 階で柱脚部ベースプレート下のコンクリートの破壊及びブレース (□-100) の座屈が見られた (写真 5.3-1)。



(a) 柱脚の損傷 (b) ブレース (□-100) の座屈

写真 5.3-1 S 造 2 階建て自走式駐車場の被害 (仙台市青葉区市街地)

(2) ブレース付き間柱接合部の変形

外装材が脱落していた倉庫と思われる 2 階建 S 造建築物で、ターンバックルによるブレース材が取り付く間柱の接合部が大きく変形しているものがあった (写真 5.3-2)。



写真 5.3-2 S 造のブレース付き間柱接合部の変形 (仙台市若林区)

(3) ショッピングセンタースロープのブレースの座屈

ショッピングセンターの駐車場へのスロープのブレース材 (山形鋼ダブル) の座屈が観察された。また、梁端部で塗装の剥がれが観察された (写真 5.3-3)。



(a) ブレース（山形鋼ダブル）の座屈



(b) 梁端部塗装の剥がれ

写真 5.3-3 ショッピングセンタースロープの被害（水戸市）

(4) 残留変形

2階建てのS造と思われる建築物で、1階に比較的大きな残留変形が見られるものがあつた（写真5.3-4）。仕上げが同じことやエキスパンションジョイントと思われる部材があつたことから、写真中央の建築物は写真左側の建築物と一体となっていた増築部分と考えられる。地震時の振動によって両者が衝突し、写真左側の部分の剛性が高かつたことなどにより、増築部分が右側へと押し出されるように変形したのではないかと推察される。



写真 5.3-4 1階の残留変形（仙台市若林区）

(5) 外装材の脱落

ALCパネル等の外装材が脱落している被害例が各地で散見された（写真5.3-5～12）。たとえ3階建て程度であっても高所から重量の大きいALCパネル等の外装材が落下することは極めて危険性が高いため、耐震的な配慮や落下防止（フェールセーフ）の措置を講じることが望まれる。

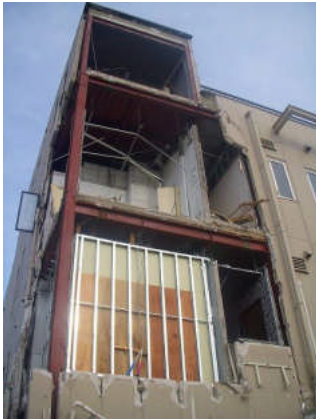


写真 5.3-5 外装材の脱落（二本松市）



写真 5.3-6 外装材の剥離、腐食した隅柱の破断（郡山市）



写真 5.3-7 4 階建て最上階の外装材等の被害（須賀川市）



写真 5.3-8 ラスモルタル仕上げの剥落（須賀川市）



写真 5.3-9 外装材の脱落、ガラス破損（須賀川市）



写真 5.3-10 ALC パネルの脱落（白河市）



写真 5.3-11 駐車場の外装材の脱落（水戸市）



写真 5.3-12 事務所の外装材の脱落（水戸市）

5.3.4 茨城県内の高等学校体育館等の被害調査結果

調査対象とした体育館は、茨城県が所有する体育館施設のうち、旧耐震基準で、かつ、耐震診断を実施したもの（または実施予定のもの）の中から、今回の地震で震度 6 強、6 弱及び 5 強程度の地震動が観測された地域の体育館等を選択している。高等学校では、学校 1 校で、体育館や格技場を合計 2～3 棟程度所有している場合があり、結果として、調査先で、調査目的の体育館以外に体育館や格技場があった場合には、それらの被害調査も実施している。そのため、現行耐震基準の体育館等もいくつか調査が行われている。なお、個々の体育館等の被害状況の写真等は、国土技術政策総合研究所 (<http://www.nilim.go.jp/lab/bbg/saigai/h23tohoku/index.html>) 又は建築研究所のホームページ (<http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/topics/20110311/index.html>) を参照されたい。

(1) 調査した体育館の構造概要

調査した茨城県内の高等学校の体育館等の被害調査の結果を一覧にまとめたものを表 5.3-1 に示す。調査した体育館、格技場は、合計 44 棟である。調査地域は、大洗町、城里町、日立市、水戸市、那珂市、ひたちなか市、筑西市、笠間市、鉾田市、土浦市、坂東市、古河市、下妻市、常総市である。表中の建築年は、現地で学校関係者にヒアリングしたものを記載しているが、その時点であいまいなケースもあったので、現時点で、建築年は確定ではない。これらのうち、旧耐震基準と思われる体育館、格技場は 41 棟である。階数は、2 階建ての体育館が 4 棟であり、その他は、1 階建てである。

体育館の構造形式は、大きく以下の 5 種類に分類される。1) 下部 RC 造でギャラリーから上部 S 造（桁行きブレース構造）、2) 下部 RC 造でギャラリーから上部 S 造（両方向ともラーメン構造）、3) 純 S 造（桁行きブレース構造）、4) 純 S 造（両方向ラーメン構造）、5) RC 造で屋根のみが S 造。これら棟数と割合は、それぞれ、15 棟（34%）、5 棟（11%）、7 棟（16%）、8 棟（18%）、6 棟（14%）、不明 3 棟（7%）である。これらの構造形式を、新潟県中越地震で被害調査を行った体育館^{5.3-1) ～5.3-3)} 構造形式と比べると、下部 RC 造でギャラリーから上部 S 造の構造の割合は少なく、ラーメン構造の割合は高くなっている。また、RC 造で屋根のみが S 造の構造の割合も高くなっている。

(2) 構造的な被害と特徴

構造的な被害としては、1) 鉛直ブレース材の座屈と接合部の破断、2) ラチス柱の斜材の座屈、3) RC 造柱と屋根の接続部（支承部）の損傷、4) 屋根面水平ブレースのたわみ、座屈、破断、5) 柱脚コンクリートのひび割れ、等が観察されている。

これらのうち構造的に大きな被害と考えられる鉛直ブレース部材または接合部の破断の被害は、NAK-1 と HKT-2 の 2 棟である。新潟県中越地震での旧耐震基準の体育館の被災度 IV^{5.3-4)} 以上の大きな

被害の割合が3割程度であった^{5.3-1)～5.3-3)}ことと比較すると、今回の地震では、このような大きな被害の割合は少ないと言えるが、調査対象地域の地震動の大きさについても考慮する必要がある。また、HTC-4では、いくつかのラチス柱で斜材の座屈の被害が観察された。

一方、新潟県中越地震では、RC造柱と屋根の接続部（支承部）のコンクリートの損傷の被害は、ほとんど観察されていなかったが、このような被害が比較的多く観察されているのは、今回の調査対象の体育館では、「RC造で屋根のみS造」の構造形式の割合が高かったことが影響していると思われる。また、柱脚や支承部分のコンクリートに損傷は見られているが、RC構造部分の部材及び接合部には、ほとんど損傷は見られなかった。このことは、新潟県中越地震等の過去の地震でも同様であった。その他、張間方向の山形ラーメンやアーチ梁の頂部付近で梁材の塗装の剥がれが観察されているが、これらが地震動による降伏であるかどうかについては^{5.3-4)}、必ずしも明らかではなく、今後、解析的な検討が必要であろう。地域的には、水戸市、鉾田市、那珂市で、他の地域よりも比較的大きな構造被害が観察された。

(3) 非構造部材の被害

非構造部材の被害としては、天井、外壁の脱落、窓ガラスの破損などの被害が観察されている。これらの被害は、過去の地震においても体育等で観察されているものである。調査した体育館のうち、天井材が広範囲にわたって脱落したものとして、HTC-4、MIT-5、MIT-7、MIT-8などが挙げられる。また、窓ガラスが比較的多く割れた体育館として、OAI-1、SSM-1、HTC-4、MIT-6、HKT-2が挙げられる。今回の地震によるこれらの天井材の脱落や窓ガラスの破損等の被害状況（被害率）と過去の地震による同様の被害の比較等については、今後、分析を行う予定である。地域的には、日立市、水戸市、鉾田市、等で、他の地域よりも比較的大きな非構造部材の被害が観察された。

(4) 耐震改修した建物の被害状況

調査を行った体育館のうち耐震改修を実施したものが5棟あった。これらのうち、HTN-1は、周辺で比較的大きな構造被害が観察された地域に建設されていたものであるが、今回の地震では、構造、非構造に関してほぼ無被害であった。

表 5.3-1 茨城県内の高等学校の体育館等の被害調査の結果一覧

建物記号	市町村名	建築年	階数	構造形式	被害概要	HP速報の名称	備考
OAI-1	大洗町	1976年頃	1	下部RC造、上部S造、両方向ラーメン	構造被害：S造柱脚部の仕上げモルタルに軽微なひび割れが見られた。 非構造被害：S造柱とギャラリーの壁が接する部分でコンクリートが剥落した。7枚のガラスが割れたが、既に復旧していた。天井照明のずれ、天井板の垂れや損傷が見られたが落下していない。	A校体育館	
OAI-2	〃	1974年頃	1	S造、両方向ラーメン	構造被害：無し。 非構造被害：無し。	A校格技場	
OAI-3	〃	1971年頃	1	下部RC造、上部S造、桁行ブレース	構造被害：S造柱脚部のモルタルに軽微なひび割れ、ガセットプレートの塗装にはがれが見られた。 非構造被害：ガラスが3枚割れたが復旧済みであった。	B校体育館	
OAI-4	〃	1981年頃	1	S造、両方向ラーメン	構造被害：無し。 非構造被害：無し。	B校格技場	
SSM-1	城里町	1980年頃	1	下部RC造、上部S造、両方向ラーメン	構造被害：S造柱脚部の仕上げモルタルに軽微なひび割れが見られた。 非構造被害：S造柱とギャラリーの壁が接する部分でコンクリートが剥落した。天井は特に棟位置で隙間が目立つ。照明の傘がずれたり外れたりしているが、落下してはいない。はめ殺し窓のガラスが余震でも割れた。硬化性バテではなく、グレイジングガセットでガラスが固定されていることを確認した。	C校体育館	

SSM-2	〃	1962年頃	1	S 造, 桁行ブレース	構造被害：無し。 非構造被害：妻面のラスモルタル外壁が落下していた。	C 校 格技場	昭和 46 年頃に 増築
HTC-1	日立市	1970年頃	1	下部 RC 造, 上部 S 造, 桁行ブレース	構造被害：無し。 非構造被害：ブレースとの取り付け部分の天井材や舞台脇上部の点検口に部分的な損傷。	D 校 体育館	
HTC-2	〃	1970年頃	1	S 造, 桁行ブレース	構造被害：無し。 非構造被害：無し。	D 校 格技場	
HTC-3	〃	1963年頃	1	S 造, 両方向ラーメン	構造被害：無し。 非構造被害：シャッターにひずみが生じた。	E 校 実習棟	
HTC-4	〃	1967年頃	1	下部 RC 造, 上部 S 造, 両方向ラーメン	構造被害：ラチス柱の斜材で座屈が観察された。 非構造被害：周辺部を残して天井の大部分が照明とともに脱落した。天井下地は木製である。軒天の一部も落下し、サッシが外れ、窓ガラスが 33 枚割れた。	F 校 体育館	
HTC-5	〃		1	下部 RC 造, 上部 S 造, 両方向ラーメン	構造被害：柱脚部のコンクリートにひび割れが生じ、モルタルが若干浮いている。 非構造被害：隅角部のガラス 1 枚が割れた。	F 校 小体育館	
HTC-6	〃	1981年頃	1	下部 RC 造, 上部 S 造, 桁行ブレース	構造被害：無し。 非構造被害：ガラスが 5 枚割れた。	G 校 体育館	
HTC-7	〃	1981年頃	1	S 造, 両方向ラーメン	構造被害：無し。 非構造被害：無し。	G 校 格技場	
MIT-1	水戸市	1981年頃	2	RC 造, 屋根 S 造	構造被害：RC 造柱と S 造屋根が接続する部分で、コンクリートの剥落、ホールインアンカーボルトの多数の抜け出しが観察された。 非構造被害：天井裏の振れ止めが多数外れていた。システム天井のグラスウール板が 5 枚外れていた。天井照明のずれが幾つか見られた。	H 校 体育館	天井の 改修工 事済み
MIT-2	〃	1993年頃	1	RC 造, 屋根 S 造	構造被害：無し。 非構造被害：天井のグラスウール板が 1 枚外れていた。	I 校 体育館	
MIT-3	〃	1990年頃	2	RC 造, 屋根 S 造	構造被害：RC 造柱と S 造屋根が接続する支承部分で、コンクリートの剥落が観察された。 非構造被害：内壁仕上材が RC 造梁との取り付け箇所で損傷していた。	J 運 動施設 体育館	
MIT-4	〃	1965年頃	1	S 造, 両方向ラーメン	構造被害：無し。 非構造被害：舞台上の葡萄棚脇の内壁仕上げでコンクリートが剥落していた。天井中央部に少しふくらみが見られた。外壁仕上材が部分的に脱落していた。	K 校 体育館	
MIT-5	〃	1965年頃	1	S 造, 両方向ラーメン	構造被害：無し。 非構造被害：天井がほぼ全面で脱落していた。ラスモルタル外壁が脱落していた。窓ガラスの割れ、サッシの脱落が見られた。	K 校 卓球場	
MIT-6	〃	1970年頃	1	下部 RC 造, 上部 S 造, 桁行ブレース	構造被害：アーチ状の梁中央部に塗装の剥れがあった（地震以前はこれほどの塗装の剥れは見られなかったとの情報があった）。 非構造被害：天井が外れかけていたので、一部撤去したとの情報があった。窓ガラスが数十枚割れていた。体育館周辺で地盤の割れや沈下が確認された。	L 校 体育館	
MIT-7	〃	1965年頃	2	RC 造, 屋根 S 造	構造被害：屋根面水平ブレースが多数破断していた。 非構造被害：舞台上部の内壁がはらみだし仕上材が脱落していた。天井の約 2/3 が脱落していた。天井材の水平部分には折板、傾斜部分にはせっこうボードが使用されていた。	M 校 体育館	
MIT-8	〃	1997年頃	2	RC 造, 屋根 S 造	構造被害：RC 造柱と S 造屋根が接続する部分にコンクリートの剥落があった。 非構造被害：天井のグラスウール板が多数脱落していた。T バーの脱落は見られなかった。	N 校 体育館	
MIT-9	〃	1965年頃	1	S 造, 両方向ラーメン	構造被害：無し。 非構造被害：妻面との取り付け部で天井板が一部外れていた。	N 校 格技場	
MIT-10	〃	1965年頃	1	下部 RC 造, 上部 S 造, 桁行ブレース	構造被害：ブレースの座屈、ガセットプレートの変形、ボルトの滑りが見られた。 非構造被害：窓ガラスが 3 枚割れたとの情報があった（修復済み）。	O 校 体育館	
NAK-1	那珂市	1965年頃	1	下部 RC 造, 上部 S 造, 桁行ブレース	構造被害：桁行の構面に大きな被害が見られた。ブレースのボルト欠損部の破断や座屈が多数見られた。ブレースは 4 構面のうち 3 構面に破断が生じていた。 非構造被害：天井の木毛セメント板が 3 枚脱落していた。窓サッシが 2 箇所を外側に傾いていた。	P 校 体育館	
HTN-1	ひたちなか市	1965年頃	1	下部 RC 造, 上部 S 造, 桁行ブレース	構造被害：無し。 非構造被害：照明が天井裏に外れた。	Q 校 体育館	H22 年 耐震補 強済

TKS-1	筑西市	1961年頃	1	S 造, 桁行ブレース	構造被害：無し。 非構造被害：照明が傾いたり、シャッターがひずんだりした。	R 校 実習棟	
TKS-2	〃	1978年	1	下部 RC 造, 上部 S 造, 両方向ラーメン	構造被害：無し。 非構造被害：天井の棟の部分で大きな隙間が生じていた。硬化性パテで取り付けられたガラスが 22 枚割れていた。照明が幾つか外れ交換したとの情報があつた。	β 校 体育館	
KSM-1	笠間市	1971年頃	1	RC 造, 屋根 S 造	構造被害：多数の屋根ブレースが垂れ下がった状態であったが、床面までは落下していない。屋根ブレース端部のボルトの破断によると思われる。屋根支承部にも損傷が見られた。 非構造被害：妻面で外壁仕上げが落下した。はめ殺しの窓のガラスの割れも見られた。	S 校 体育館	
HKT-1	鉾田市	1971年頃	1	下部 RC 造, 上部 S 造, 桁行ブレース	構造被害：柱脚部のコンクリートにひび割れが見られた。 非構造被害：軒天が部分的に 2 か所で脱落した。照明の笠が回転するなどして点灯しないものがあつた。天井にも浮きが見られる。	T 校 体育館	
HKT-2	〃	1972年頃	1	下部 RC 造, 上部 S 造, 桁行ブレース	構造被害：確認できた範囲の全てのブレースが接合部で破断していた。柱脚部に大きなひび割れが見られた。 非構造被害：鉄製枠のサッシに硬化性パテで留められたガラスは、大半が割れて落下・散乱しており、調査当日は工事業者による片付けが行われていた。内壁、外壁、軒の仕上材や、軒天の一部も落下していた。	U 校 体育館	
TCU-1	土浦市	1977年頃	1	下部 RC 造, 上部 S 造, 桁行ブレース	構造被害：無し。 非構造被害：天井と妻面との取り合い部にやや大きな隙間が見られる。	V 校 体育館	H18 頃 耐震改修済み
BND-1	坂東市	1980年	1	下部 RC 造, 上部 S 造, 桁行ブレース	構造被害：無し。 非構造被害：無し。	W 校 体育館 1	H19 耐 震改修 済み
BND-2	〃	1955年頃	1	下部 RC 造, 上部 S 造, 桁行ブレース	構造被害：無し。 非構造被害：無し。	W 校 体育館 2	
BND-3	〃	1981年	1	S 造	構造被害：無し。 非構造被害：無し。	W 校 格技場	
BND-4	〃	1974年	1	下部 RC 造, 上部 S 造, 桁行ブレース	構造被害：無し。 非構造被害：無し。	X 校 体育館	十数年前耐震改修済み
BND-5	〃	1974年	1	S 造	構造被害：無し。 非構造被害：妻面との取り合い部で天井に部分的な損傷が見られた。	X 校 格技場	
KOG-1	古河市	1971年	1	下部 RC 造, 上部 S 造, 桁行ブレース	構造被害：無し。 非構造被害：無し。	Y 校 体育館	
KOG-2	〃	1974年	1	S 造, 桁行ブレース	構造被害：外観上、腐食が目立つ。柱脚のコンクリート、ベースプレートにわずかに損傷が見られた。 非構造被害：無し。	Y 校 格技場	
KOG-3	〃	1970年	1	S 造, 桁行ブレース	構造被害：無し。 非構造被害：無し。	Z 校 実習棟	
SMZ-1	下妻市	1978年	1	下部 RC 造, 上部 S 造	構造被害：無し。 非構造被害：天井に部分的な損傷が見られた。天井板のねじ止め部での外れが多数見られた。照明の外れが数箇所見られた。	α 校 体育館 1	
SMZ-2	〃	1958年	1	S 造, 両方向ラーメン	構造被害：無し。 非構造被害：無し。	α 校 体育館 2	
JSO-1	常総市	1971年	1	下部 RC 造, 上部 S 造, 桁行ブレース	構造被害：無し。 非構造被害：無し。	γ 校 体育館	H22 耐 震改修 済み
JSO-2	〃	1971年	1	S 造, 桁行ブレース	構造被害：無し。 非構造被害：無し。	γ 校 武道館	
JSO-3	〃	1972年	1	S 造, 桁行ブレース	構造被害：妻面の間柱に取り付くブレース端部で 1 箇所ボルトが破断していた。 非構造被害：無し。	γ 校 卓球場	

5.3.5 水戸市の小、中学校体育館等の被害調査結果

前節の茨城県内の高等学校の体育館等の被害調査の結果、水戸市周辺の地域では他の地域に比べて、比較的大きな構造被害が観察されたことから、水戸市について、体育館規模が高校に比べて小さいと

考えられる小学校、中学校の体育館等の調査を行った。なお、個々の体育館等の被害状況の写真等は、国土技術政策総合研究所(<http://www.nilim.go.jp/lab/bbg/saigai/h23tohoku/index.html>)又は建築研究所のホームページ(<http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/topics/20110311/index.html>)を参照されたい。

(1) 調査した体育館の構造概要

調査した水戸市内の小、中学校の体育館等の被害調査の結果を一覧にまとめたものを表 5.3-2 に示す。前項の高校体育館調査と同様に、旧耐震基準の体育館等（武道場を含む。以下同じ）を対象として被害調査を行った。水戸市内の旧耐震基準の体育館を有する小・中学校は合計 19 校であり、それらの学校の体育館等について調査を行った。結果として、調査した体育館等は 22 棟であり、そのうち旧耐震基準のものは 20 棟であり、これらは全て耐震補強されていない。

調査した体育館の階数は、全て 1 階建てである。構造形式は、高校体育館と同様に、基本的には以下の 5 つに分類される。1) 下部 RC 造でギャラリーから上部 S 造（桁行きブレース構造）、2) 下部 RC 造でギャラリーから上部 S 造（両方向ともラーメン構造）、3) 純 S 造（桁行きブレース構造）、4) 純 S 造（両方向ラーメン構造）、5) RC 造で屋根のみが S 造。これらの棟数（割合）は、それぞれ、3 棟（14%）、1 棟（5%）、1 棟（5%）、6 棟（27%）、9 棟（41%）、その他 2 棟（10%）である。「RC 造で屋根のみが S 造」の割合が高く、新潟県中越地震の際に被害調査を行った体育館の構造形式はこの割合が小さく、異なる傾向となっている。

(2) 構造的な被害と特徴

調査した体育館等のうち構造的に大きな被害と考えられる「鉛直ブレース材の座屈と接合部の破断」の被害が観察されたのは、MIT-12 の 1 棟だけであり、高等学校の体育館の調査結果と同様に、新潟県中越地震の被害率に比べれば、小さいと考えられる。被害形態としては、高校体育館の調査で示した 4 つの分類の被害が、小、中学校体育館でも同様に観察された。ただし、それらの被害は比較的軽微なものであり、高等学校の体育館の構造被害に比べると、被害程度は小さいと思われる。

(3) 非構造部材の被害

高等学校の体育館の調査で観察されたような、天井部材が広範囲に渡って脱落するような大きな被害は見られなかった。しかしながら、22 棟中、20 棟の体育館等で軽微なものも含めて何らかの非構造被害が生じていた。全体的な印象として、高等学校の体育館での非構造部材の被害に比べると、被害程度は小さいと思われる。

表 5.3-2 水戸市内の小、中学校の体育館等の被害調査の結果一覧

建物 記号	市町 村名	建築 年	階 数	構造形式	被害概要	HP 速 報の 名称	備考
MIT-11	水戸市	1972年	1	S 造, 両方向 ラーメン	構造被害：根巻柱脚のコンクリートにひび割れが見られた。張間方向の山形頂部付近の梁ウェブに塗装の剥がれがあった。 非構造被害：外壁にコンクリートのひび割れ及び剥落、金属サイディングの外れが見られた。舞台の内壁にコンクリートのひび割れが見られた。硬化性パテで取り付けられた窓ガラスが 4 枚割れていた。	A 校 体育館	
MIT-12	〃	1965年	1	下部 RC 造, 上部 S 造, 桁行 ブレース	構造被害：ブレースの交差部および端部でのボルト破断、ブレースの座屈、接合部でのボルトの滑りや柱脚部でのコンクリートの剥離が見られた。 非構造被害：ラスモルタル外壁のモルタル部分および仕上げボードが脱落していた。舞台の天井が 3 枚脱落していた。アリーナの天井に僅かな浮きが見られた。	B 校 体育館	

MIT-13	〃	1978年	1	S 造, 両方向ラーメン	構造被害: 柱脚にコンクリートのひび割れが見られた。 非構造被害: 窓ガラスが4枚割れたとの情報があった(復旧済み)。外壁タイルの剥落、コンクリートブロック壁のひび割れが見られた。	B校 武道場	
MIT-14	〃	1971年	1	S 造, 両方向ラーメン	構造被害: 無し。 非構造被害: 妻壁が外側へ傾斜し、天井と妻壁の取り付け部に隙間が見られた。	C校 体育館	
MIT-15	〃	1979年	1	RC 造, 屋根 S 造	構造被害: 屋根面水平ブレースの2箇所でボルトが破断したとの情報があった。 非構造被害: 窓ガラスが2枚割れたとの情報があった。	D校 体育館	
MIT-16	〃	1989年	1	S 造, 両方向ラーメン	構造被害: 無し。 非構造被害: 照明の枠が9箇所で落下、照明が6箇所で垂れ下がったとの情報があった。	D校 武道場	
MIT-17	〃	1979年	1	RC 造, 屋根 S 造	構造被害: 屋根面水平ブレースにたわみが数箇所見られた。屋根支承部にコンクリートの亀裂が見られた。 非構造被害: 照明のカバーが一箇所脱落したとの情報があった(復旧済み)。	E校 体育館	
MIT-18	〃	1977年	1	RC 造, 屋根 S 造	構造被害: 屋根面コーナーの水平ブレースに若干のたわみが見られた。 非構造被害: 窓ガラスが数枚割れたとの情報があった(復旧済み)。	F校 体育館	
MIT-19	〃	1982年	1	下部 RC 造, 上部 S 造, 桁行ブレース	構造被害: 柱脚部のコンクリートに僅かな亀裂が見られた。 非構造被害: 妻壁等との取り付け部に天井の損傷が多数見られた。天井(せっこうボード直張り)が部分的に脱落していた。	G校 体育館	
MIT-20	〃	1977年	1	RC 造, 屋根 S 造	構造被害: 無し。 非構造被害: 妻面の内壁が一部破損したとの情報があった(復旧済み)。	H校 体育館	
MIT-21	〃	1981年	1	RC 造, 屋根 S 造	構造被害: 無し。 非構造被害: 構造体との取り付け部で天井の損傷が見られた。せっこうボード片と合板片が脱落していた。天井の回り縁が脱落していた。窓ガラスが1枚割れたとの情報があった(復旧済み)。	I校 体育館	
MIT-22	〃	1973年	1	S 造, 桁行ブレース	構造被害: 柱脚部にコンクリートの亀裂が見られた。張間山形ラーメン頂部付近の梁ウェブに塗装の剥がれがあった。 非構造被害: アリーナの内壁が少し傾斜していた。	J校 体育館	
MIT-23	〃	1972年	1	S 造, 両方向ラーメン	構造被害: 無し。 非構造被害: 窓ガラスが26枚割れていた。妻面の内壁にひび割れが見られた。	K校 体育館	
MIT-24	〃	1990年	1	S 造, 両方向ラーメン	構造被害: 無し。 非構造被害: 無し。	K校 武道場	
MIT-25	〃	1977年	1	RC 造, 屋根 S 造	構造被害: 屋根支承部にコンクリートの剥落が見られた。屋根面水平ブレースがほぼ全箇所で大きくたわんでおり、1箇所破断していた。 非構造被害: はめ殺し窓のガラスの破損が12箇所で見られた。	L校 体育館	
MIT-26	〃	1981年	1	RC 造, 屋根プレキャスト版	構造被害: 本震の際、モルタル片が落下した。調査時には片付けられていたが、屋根支承部付近のモルタルの剥離によると考えられる。妻壁部分での外部の屋根支承部ではアンカーが露出していた。柱には桁行方向の曲げによるわずかなひび割れが見られた。 非構造被害: 無し。	M校 体育館	
MIT-27	〃	1976年	1	RC 造, 屋根 S 造	構造被害: 屋根の梁の塗装が床面に落ちており、梁の振動・変形が比較的大きかったものと推察された。屋根の水平ブレースはほぼ全てがたわんだ状態であり、屋根支承部が損傷して、仕上げモルタルが落下した。 非構造被害: 軒先のモルタル製の仕上材が落下した。内部ではボルトが20本以上落下した。	N校 体育館	
MIT-28	〃	1976年	1	RC 造, 屋根 S 造	構造被害: 柱頭の屋根支承部の仕上げモルタルが剥落したが、調査時点では修復済みであった。また地震によるものか不明だが、アリーナを支える束が転倒していた。 非構造被害: 本震の際にはガラスが7枚破損し、4/11の余震でさらにガラス1枚が割れたとのことであった。	O校 体育館	
MIT-29	〃	1975年	1	RC 造, 屋根 S 造	構造被害: 今回の地震によるものか定かではないが、柱には軽微な曲げひび割れが見られ、舞台裏の妻壁には換気口から斜めにひび割れが生じていた。校舎や体育館まわりの地盤の変状が目立ち、通路や大走り等が破損していた。 非構造被害: 無し。	P校 体育館	
MIT-30	〃	1981年	1	下部 RC 造, 上部 S 造, 両方向ラーメン	構造被害: 柱脚部のモルタルが割れたが、修復済みであった。 非構造被害: ガラスが28枚割れ、水銀灯にずれが生じた。また舞台上の電球が落下した。外部では外装材のパネル1枚が落下した。	Q校 体育館	
MIT-31	〃	1966年	1	S 造, 桁行ブレース+コンクリートブロック	構造被害: 構造躯体としてのS造骨組みに被害は見られなかったが、CB製の自立壁が内側に傾いてブレースに寄りかかった状態となっており、壁の脚部に損傷が見られた。 非構造被害: サッシ枠が外側に開いた。	R校 体育館	

MIT-32	"	1966年	1	下部 RC 造 上部 S 造, 桁行ブレース	構造被害: : 構造躯体としての S 造骨組みに被害は見られなかったが、CB 壁にひび割れが見られた。 非構造被害: サッシが 1 つ外れかけているのを針金で留めているとのことであった。またサッシ上部の幕板が落下していた。	S 校 体育館	
--------	---	-------	---	------------------------	--	---------	--

5.3.6 体育館の被害分類と特徴

今回の地震において調査を行った体育館の被害は、おおむね(1)～(7)のように分類される。このうち、(1)～(6)は構造的な被害を分類したものであり、(7)は非構造部材の被害である。

- (1)鉛直ブレース材の座屈と接合部の破断
- (2)ラチス柱の斜材の座屈
- (3)RC 造柱と屋根の接続部（支承部）の損傷
- (4)屋根面水平ブレースのたわみ、座屈、破断
- (5)柱脚コンクリートのひび割れ
- (6)その他（床束の転倒等）
- (7)天井や外壁の脱落、窓ガラスの破損等の被害

以下、分類ごとに例を示す。写真のタイトルに続けて括弧書きで表 5.3-1 及び 2 の記号を示し、表に掲載していない被害例の場合は記号の代わりに市町村名を示している。

(1) 鉛直ブレース材の座屈と接合部の破断

鉛直ブレース材の座屈（写真 5.3-13）や接合部の破断（写真 5.3-14～17）が見られた。ブレース材としては山形鋼が多いが、円形鋼管のもの（写真 5.3-14）もあった。破断した箇所は鋼管に差し込んだ鋼板、ボルト、ブレース材端部の孔欠損部などである。



写真 5.3-13 座屈 (MIT-10)

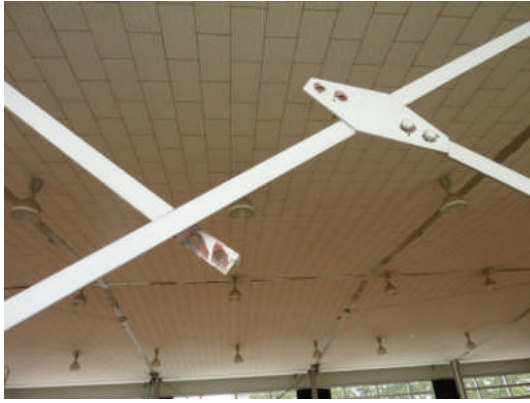


(a) 柱頭部



(b) 交差部

写真 5.3-14 接合部の破断 (HKT-2)



(a) 交差部



(b) 柱脚部

写真 5. 3-15 接合部のボルトの破断 (MIT-12)



(a) 接合部の破断



(b) 座屈と接合部の破断

写真 5. 3-16 鉛直ブレースの座屈と接合部の破断 (NAK-1)



写真 5. 3-17 ボルトの破断 (JS0-3)

(2) ラチス柱の斜材の座屈

今回調査した体育館の中の1棟で、いくつかのラチス柱で、斜材の座屈の被害が観察された（写真 5. 3-18）。



(a) ラチス柱全景



(b) 座屈した斜材

写真 5.3-18 ラチス柱の斜材の座屈 (HTC-4)

(3) RC 造柱と屋根の接続部（支承部）の損傷

今回調査した体育館は屋根のみ S 造のものも多かった。コンクリートが剥落してアンカーボルトが露出しているもの（写真 5.3-19～20）、屋根の支承部で RC 造柱の仕上げモルタルが剥落したもの（写真 5.3-21～22）、ホールインアンカーが抜け出したもの（写真 5.3-23）があった。また屋外の支承部でもコンクリートの剥落が見られた（写真 5.3-24）。



写真 5.3-19 コンクリートの剥落と
アンカーボルトの曲げ (MIT-3)

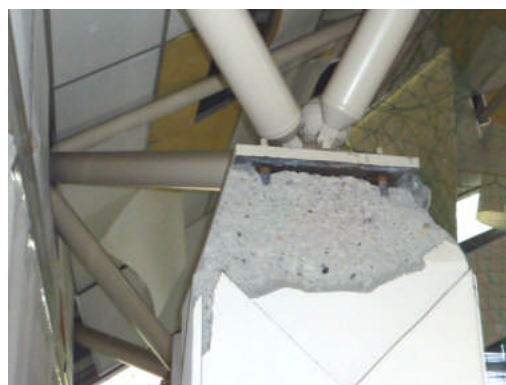


写真 5.3-20 コンクリートの剥落 (MIT-8)



写真 5.3-21 仕上げモルタルの剥落 (MIT-25)



写真 5.3-22 仕上げモルタルの剥落 (MIT-27)



写真 5.3-23 ホールインアンカーの抜け出し跡
(MIT-1)



写真 5.3-24 外部の屋根支承部 (MIT-26)

(4) 屋根面水平ブレースのたわみ、座屈、破断

茨城県内の表 5.3-1 では 34 棟のうち MIT-7、KSM-1 の 2 棟、水戸市内の小中学校の表 5.3-2 では MIT-15、MIT-17、MIT-18、MIT-25、MIT-27 の 5 棟で見られた。ターンバックルを用いたブレースで、明らかなたわみを生じているもの（写真 5.3-25～27）や、ターンバックル胴のネジ部や端部で破断しているもの（写真 5.3-28～29）があった。

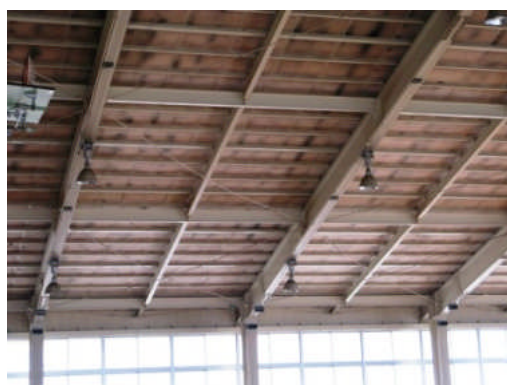


写真 5.3-25 ターンバックルのたわみ
(二本松市)



写真 5.3-26 ターンバックルのたわみ (MIT-27)



写真 5.3-27 ターンバックルのたわみ (MIT-25)



写真 5.3-28 ターンバックルの破断 (MIT-25)

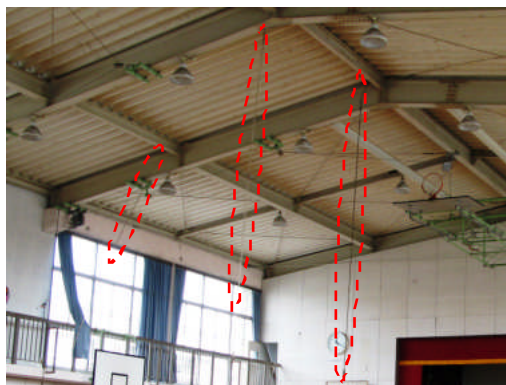


写真 5. 3-29 ターンバックルの端部破断による垂れ下がり (KSM-1)

(5) 柱脚コンクリートのひび割れ

上部 S 造下部 RC 造で、ギャラリーにある柱脚部分のコンクリートやモルタルにひび割れが生じる被害が見られた (写真 5. 3-30～32)。また、1 層 S 造のグランドレベルにある柱脚でもひび割れや亀裂が見られた (写真 5. 3-33～34)。



写真 5. 3-30 モルタルの損傷 (栗原市)



写真 5. 3-31 柱脚部のひび割れ (HKT-1)



写真 5. 3-32 ひび割れ (HKT-2)



写真 5. 3-33 ひび割れ (MIT-13)



写真 5.3-34 亀裂 (MIT-22)

(6) その他

その他の構造的な被害として、(a)床束の転倒、(b)コンクリートブロック (CB) 造の自立壁の傾斜、があった。また、構造的な被害かどうかは明確でないが、張間方向の山形ラーメン梁やアーチ梁の頂部付近で(c)梁材の塗装の剥がれがいくつかの体育館で観察された。

(a)床束の転倒

地震による被害か定かではないが、アリーナを支える束が転倒していた事例が 1 つあった (写真 5.3-35)。その体育館では柱頭の屋根支承部等に受けた被害については調査時点で修復が済んでいたが、束は転倒したままだった。使用時に床の損傷が生じやすくなっていると考えられるため、地震後の再使用に当たっては床下の点検なども重要と考えられる。



写真 5.3-35 束の転倒 (MIT-28)

(b) CB 造の自立壁の傾斜

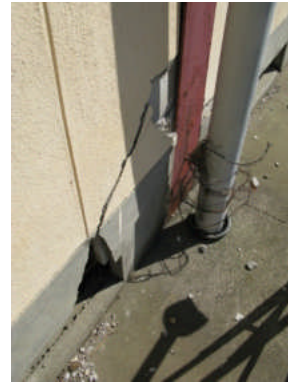
構造躯体としての S 造骨組に被害は見られなかったが、CB 造の自立壁が内側に傾いてブレースに寄りかかった状態となっており、壁の脚部に損傷が見られた (写真 5.3-36)。被害を受けた体育館は、四隅の 4 スパンに CB 造の自立壁の補強材を昨年設置したところだったが、補強材を設けていない自立壁が今回の地震で被害を受けた。



(a) 内部



(b) 外部



(c) 壁の脚部の損傷

写真 5.3-36 S 造柱と CB 造の傾いた自立壁 (MIT-31)

(c) 梁材の塗装の剥がれ

張間方向の山形ラーメン梁やアーチ梁の頂部付近で(c)梁材の塗装の剥がれがいくつかの体育館で観察された(写真 5.3-37～39)。これらが、単に、この部位での大きな震動によるものか、または、多少の降伏等が生じたかは、明らかでない。文献 5.3-4)では、部材の塗装の剥離状況と歪みの関係が掲載されている。これらを参考にして、周辺での地震動記録を考慮した解析等により、梁材の降伏の可能性について今後検討する必要がある。



写真 5.3-37 アーチ状の梁中央部塗装の剥がれ (MIT-6)



写真 5.3-38 塗装の剥がれ (MIT-27)
(梁に沿って床面に跡)



写真 5.3-39 梁ウェブの塗装の剥がれ (MIT-22)

(7) 天井や外壁の脱落、窓ガラスの破損等の被害

体育館の非構造部材の被害として、天井、照明の脱落（写真 5.3-40～44）、外壁の脱落（写真 5.3-45～47）、内壁の脱落（写真 5.3-48）、軒天の脱落（写真 5.3-49）、窓ガラスの破損（写真 5.3-50）など、比較的大きな被害が観察された。特に、小、中学校の体育館に比べ、高等学校の体育館では、天井面の広範囲での脱落等、大きな被害が観察された。



写真 5.3-40 天井材脱落（HTC-4）



写真 5.3-41 落下した天井と照明（HTC-4）



写真 5.3-42 天井材脱落（MIT-5）



写真 5.3-43 天井材脱落（MIT-7）

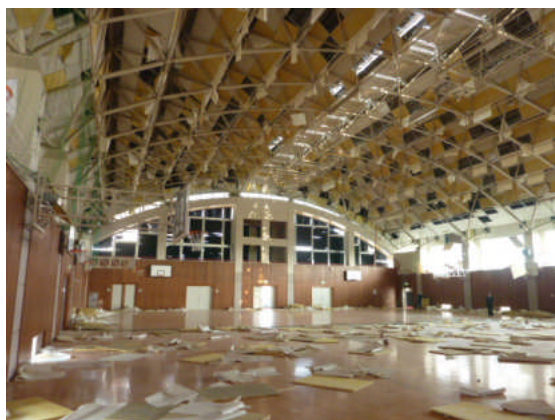


写真 5.3-44 天井材落下（MIT-8）



写真 5.3-45 外装仕上りの落下（SSM-2）



写真 5.3-46 外装仕上げの落下 (MIT-5)



写真 5.3-47 外装仕上げの落下 (MIT-12)



写真 5.3-48 内装仕上げの落下 (HKT-2)



写真 5.3-49 軒天の落下 (HKT-2)

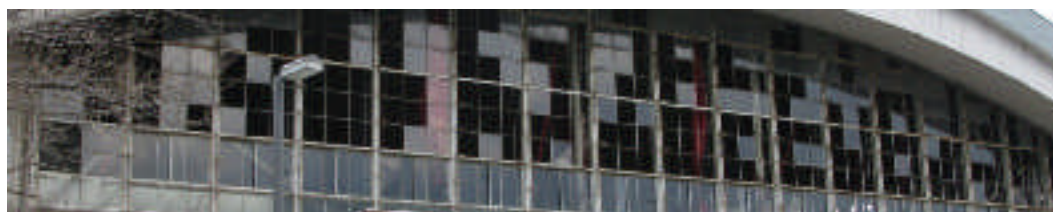


写真 5.3-50 ガラス窓の破損 (HKT-2)

5.3.7 まとめ

東北地方太平洋沖地震に対する鉄骨造建築物の地震被害調査として、宮城県、福島県、茨城県等の広範囲の地域の一般的な鉄骨造建築物の外観による被害概要調査を行うとともに、茨城県内の震度 6 程度の地域の旧耐震基準の学校体育館等を中心として、体育館内部も含めた被害調査を実施した。

一般的な鉄骨造建築物の被害調査の結果、駐車場、倉庫、ショッピングセンター等のブレース構造建物において、ブレース材の座屈やその接合部分の損傷等の被害がいくつか観察された。また、駐車

場の露出柱脚にも被害が観察された。一方、今回の調査範囲では、鉄骨造建物の柱、梁等の主要な構造部材に、座屈や破断等の大きな構造被害は観察されなかった。また、事務所、店舗、駐車場等の建物について、ALC パネル等の外装材が脱落している被害例が、各地で散見された。

茨城県内の学校体育館等の被害調査結果の概要を以下にまとめて示す。

a) 体育館の構造被害について

- 1) 体育館の構造的な被害は、以下の 6 つに分類される。(1)鉛直ブレース材の座屈と接合部の破断、(2)ラチス柱の斜材の座屈、(3)RC 造柱と屋根の接続部（支承部）の損傷、(4)屋根面水平ブレースのたわみ、座屈、破断、(5)柱脚コンクリートのひび割れ、(6)その他（床束の転倒等）。
- 2) 構造的に大きな被害と考えられる、鉛直ブレース材の破断または接合部の破断が観察されたのは、調査対象 66 棟中、3 棟であり、2004 年新潟県中越地震での同様の調査結果に比べると、構造の被害率は小さいと考えられる。
- 3) 地域的には、水戸市、鉾田市、那珂市で、他の地域よりも比較的大きな構造被害が観察された。

b) 体育館の非構造部材の被害について

- 1) 非構造部材の被害としては、天井の脱落、外壁、内壁の脱落、軒天の落下、窓ガラスの破損などの被害が観察された。これらの被害は、過去の地震においても観察されているものである。
- 2) 調査した体育館のうち、天井材が広範囲にわたって脱落したものが 4 棟程度あった。これらは非構造部材の被害としては、大きな被害である。また、窓ガラスが多数破損した体育館も数棟見られた。
- 3) 地域的には、日立市、水戸市、鉾田市、等で、他の地域よりも比較的大きな非構造部材の被害が観察された。
- 4) 高等学校の体育館の被害は、小、中学校の体育館の被害に比べて、構造被害、非構造被害ともに、やや大きかった。体育館の規模や構造形式と被害の関係等について、今後、分析が必要と思われる。

参考文献

- 5.3-1 平成 16 年新潟県中越地震建築物被害調査、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、pp. 305-353、平成 18 年 10 月
- 5.3-2 長谷川隆、向井昭義、西田和生、石原直：新潟県中越地震における鉄骨造体育館被害調査 その 1 構造被害の分析、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造Ⅱ、pp. 569-570、2005 年 9 月
- 5.3-3 西田和生、向井昭義、長谷川隆、石原直：新潟県中越地震における鉄骨造体育館被害調査 その 2 非構造部材の被害状況の分析、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造Ⅱ、pp. 571-572、2005 年 9 月
- 5.3-4 震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針、(財)日本建築防災協会、2002 年 8 月