

## 5.3 鉄骨造建築物

### 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、地震直後の2週間程度で、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調査を行った。その調査からは、自走式駐車場等のように構造躯体が露出している一部の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。

しかし、一般的に、鉄骨造建築物では構造躯体が内外装材等の仕上げ材に覆われているため、外観調査からは、柱、梁等の構造躯体の被害の実態を正確に把握できていないことも考えられる。そのため、構造躯体が露出していて、避難所としても重要な役割を担っている学校体育館を対象を絞って、建物の内部も含めた詳細な調査を行なうこととした。体育館は大空間構造物であり、倉庫や工場等の鉄骨造建築物の類型とも言え、体育館の被害調査から、これらの建築物の地震被害の推定も可能と考えられる。体育館の調査は、3月下旬から4月上旬にかけて、まず、1981年以前の旧耐震基準（以下、旧基準と呼ぶ）の設計による体育館を中心として実施し、その後、6月下旬から7月上旬には、1981年以後のいわゆる現行耐震基準（以下、現行基準と呼ぶ）の設計による体育館の調査を行っている。また、これらの調査した体育館について被災度区分判定<sup>5.3-1)</sup>を行ない、設計基準との関係等の分析を行なっている。

本節では、これらの鉄骨造建築物の被害調査のうち、体育館の被害調査とその分析結果について述べる。旧基準の体育館を中心とした被害調査における、体育館の被害概要と被害の形態、特徴については、すでに速報<sup>5.3-2)</sup>に掲載しているが、そこには数棟の現行基準の体育館が含まれていた。ここでは、6月下旬～7月上旬に調査した現行基準の体育館の調査も含めて再整理し、旧基準体育館と現行基準体育館それぞれについての被害の形態と特徴を述べる。また、調査した全ての体育館については、被災度区分判定を行なっているので、その分析として、旧基準及び現行基準の体育館の被災度や構造耐震指標  $I_s$ <sup>5.3-3)</sup> 値との関係等について示す。また、これらの調査結果から、体育館の被害を軽減するための対策等について述べる。

なお、一般的な鉄骨造建築物についての被害状況は、速報<sup>5.3-2)</sup>に掲載しており、新たな知見は無いので、そちらを参照されたい。

### 5.3.2 体育館の被害調査の概要

#### (1) 調査対象の体育館

体育館の地震被害調査は、茨城県内の旧基準及び現行基準の小学校、中学校、高校体育館を対象にして実施した。それらの調査地域を表5.3-1に示す。この被害調査では、まず、旧基準の高校体育館から行い、当初、どの地域に被害が多いのか明らかではなかったため、表に示すように広範囲の地域の高校体育館について調査を行っている。その調査から、内陸地域よりは、震源により近い沿岸地域で被害が多く見られたため、現行基準の高校体育館については、沿岸付近の震度6以上の地域を中心として調査を行っている。また、高校より建物の規模が小さいと考えられる小、中学校の体育館についても調査を行うこととし、沿岸に近い水戸市の小、中学校体育館を対象とした。なお、宮城県や福島県と同様に、茨城県内においても、今回の地震で震度6以上が観測された地域は広く、宮城県等と同等程度の地震動による被害があるものと考えられる<sup>5.3-4)</sup>。

表5.3-2に、調査した高校及び小、中学校体育館それぞれについて、旧基準、現行基準、耐震改修の棟数を示す。調査数は89棟で、そのうち旧基準は55棟(61%)、現行基準は29棟(33%)、耐震改修

5棟(6%)である。なお、本節で示す「旧基準」の分類は、1981年以前の旧基準で設計されていて耐震改修を行っていない体育館であり、「耐震改修」とは、旧基準で設計されているが、耐震改修を実施した体育館である。調査体育館のうち、約6割が高校体育館である。表中の「2階建て」とは、床により階が区切られ、2階がアリーナとなっている体育館であり、規模が大きいものである。このような2階建ての体育館は、茨城県では高校の現行基準の体育館に多い。また、小・中学校体育館は、全て1階建てである。

表 5.3-1 調査地域一覧

	旧基準	現行基準
高校体育館	大洗町、城里町、日立市、水戸市、那珂市、ひたちなか市、鉾田市、筑西市、笠間市、土浦市、坂東市、古河市、下妻市、筑西市、常総市	日立市、常陸太田市、常陸大宮市、水戸市、那珂市、鉾田市
小・中学校体育館	水戸市	水戸市

表 5.3-2 調査体育館の棟数

	高校体育館		小、中学校体育館		計
	1階建て	2階建て	1階建て	2階建て	
旧基準	34棟	1棟	20棟	0棟	55棟(61%)
現行基準	1棟	11棟	17棟	0棟	29棟(33%)
耐震改修	5棟	0棟	0棟	0棟	5棟(6%)
計	52棟(58%)		37棟(42%)		89棟

## (2) 調査した体育館の構造形式

体育館の構造形式を、1)下部RC造ギャラリーから上部S造(以下、下部RC上部S造と呼ぶ)、2)純S造、3)RC造屋根のみS造、の3種類に分類し、その棟数(割合)を、図5.3-1(a)旧基準、(b)現行基準に示す。旧基準の体育館では、下部RC上部S造、純S造はそれぞれ35%程度で、RC造屋根のみS造が20%程度であるのに対して、現行基準の体育館では、RC造屋根のみS造の体育館の割合が80%以上になっている。

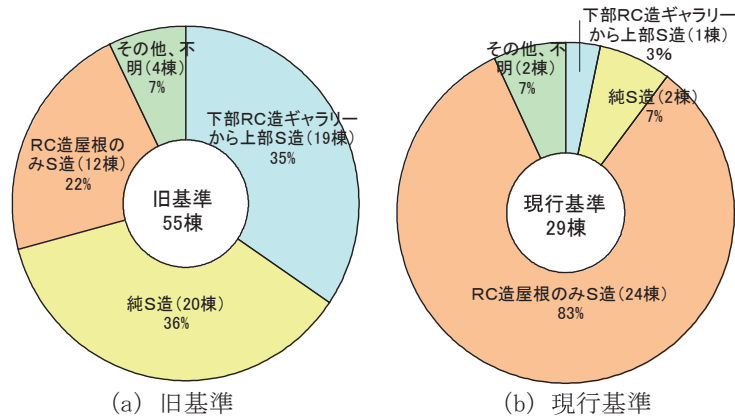


図 5.3-1 調査体育館の構造形式

表 5.3-3 には、下部 RC 上部 S 造及び純 S 造の体育館の S 造部分の桁行き方向の構造について、ブレース構造とラーメン構造の棟数を示している。旧基準では、ブレース構造の方がやや多い。現行基準は、全部で 3 棟であるが、それらは全てラーメン構造である。体育館の構造形式に関しては、新潟県中越地震における調査<sup>5.3-5-7)</sup>では、現行基準の体育館では、下部 RC 上部 S 造 84%、純 S 造 12%、RC 造屋根 S 造 4%、S 造桁行きブレース 88%、両方向ラーメン 8%、との調査結果があり、地域によって構造形式には大きな差があることがわかる。

図 5.3-2 には、柱の形状別の棟数と設計基準との関係を示す。旧基準ではさまざまな形状の柱が使われているが、現行基準では、ほとんどが RC 柱になっている。

表 5.3-3(a) 旧基準の S 造桁行き方向の構造形式

下部RC造ギャラリーから上部S造		純S造	
19棟		20棟	
S造桁行きブレース	S造両方向ラーメン	S造桁行きブレース	S造両方向ラーメン
13棟	6棟	8棟	12棟

表 5.3-3(b) 現行基準 S 造桁行き方向の構造形式

下部RC造ギャラリーから上部S造		純S造	
1棟		2棟	
S造桁行きブレース	S造両方向ラーメン	S造桁行きブレース	S造両方向ラーメン
0棟	1棟	0棟	2棟

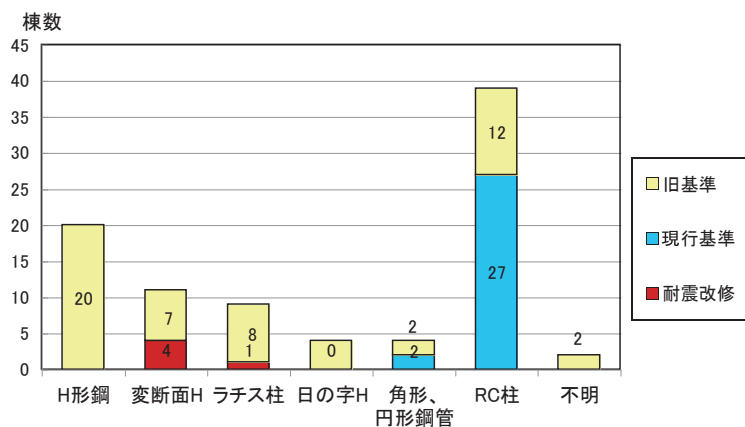


図 5.3-2 柱の形状

### 5.3.3 体育館の被害の形態と特徴

#### (1) 旧基準の体育館の被害の形態と特徴

表 5.3-2 で示した調査体育館のうち、旧基準の体育館 55 棟についての被害を、以下の 1)～7)のよう  
に分類した。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につ  
いてまとめて示したものである。

- 1) 鉛直ブレース材の座屈、破断と接合部の破断
- 2) ラチス柱の斜材の座屈
- 3) RC 造柱と S 造屋根の接続部（支承部）のコンクリートの剥離、ひび割れ
- 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、外壁等の脱落、窓ガラスの破損等の被害

構造的な被害として、1) と 2) の被害は、被災度区分判定では、大破の被害に分類される。1) の  
鉛直ブレース材の座屈、破断と接合部の破断は、これまでの地震被害調査でも、旧基準の体育館では、  
たびたび観察されていた被害であり、基本的には、ブレース材自体の耐力不足や保有耐力接合が適切  
に行われていないこと等に起因する被害である（写真 5.3-1）。2) は、ラチス柱の張間方向で生じた斜  
材の座屈の被害である（写真 5.3-2、3）。このような、張間方向での柱の座屈の被害は、新潟県中越  
地震の被害調査では見られなかったものであり、被害の形態としては稀な被害と考えられるが、今回  
の調査でも 1 棟のみであった。3) の被害は、RC 造柱と S 造屋根の接続部（支承部）の被害であるが、  
コンクリートの剥離やひび割れが入る程度の比較的軽微な被害である（写真 5.3-4）。その他、4) ～  
6) の被害も、被災度区分としては、小破程度の被害に分類される比較的軽微な被害である。これらの  
旧基準の被害写真等は、速報<sup>5.3-2)</sup>に掲載しているので、詳細はそちらを参照されたい。

非構造部材の被害としては、天井、照明の脱落（写真 5.3-5～6）、外壁の脱落、内壁の脱落、軒天  
の脱落、窓ガラスの破損（写真 5.3-7）など、比較的大きな被害が観察された。天井が広範囲に脱落  
したものが 4 棟有り、特に、小、中学校の体育館に比べ、高等学校の体育館では、広範囲での脱落等、  
大きな被害が観察された。これらの被害写真も速報<sup>5.3-2)</sup>に掲載している。



写真 5.3-1 ブレース材の座屈と接合部破断



写真 5.3-2 ラチス柱斜材の座屈



写真 5.3-3 ラチス柱斜材の座屈



写真 5.3-4 RC 柱と屋根接続部コンクリート剥離



写真 5.3-5 天井、照明の落下



写真 5.3-6 天井の落下



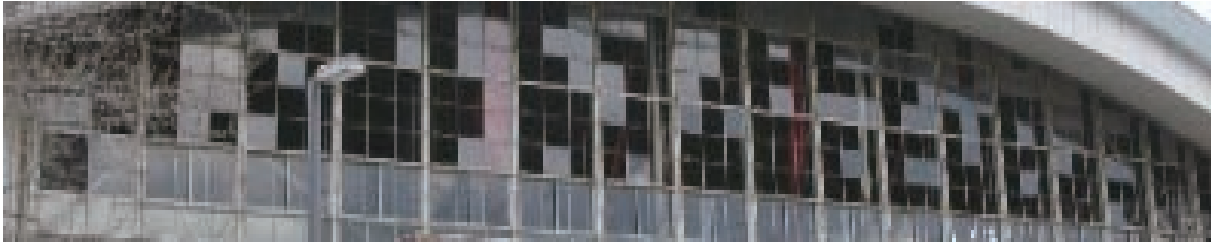


写真 5.3-7 ガラス窓の破損

## (2) 現行基準の体育館の被害の形態と特徴

表 5.3-2 で示した調査体育館のうち、現行基準の体育館 29 棟の被害を、以下の 1)～4) のように分類した。このうち、1)～3)は構造的な被害を分類したものであり、4)は非構造部材の被害である。

- 1) 妻壁と S 造屋根の接続部（接合部）のボルト抜け出し、変形
- 2) RC 柱と S 造屋根の接続部（支承部）のボルト変形、コンクリートの剥落
- 3) 屋根面水平ブレースのたわみ
- 4) 天井材の脱落、破損

妻壁と S 造屋根接続部や RC 柱と S 造屋根支承部など、RC 造柱と S 造屋根接続部分で、比較的多くの被害が観察された。

1) は妻壁と S 造屋根フレームの接続部分のボルトの抜け出し、変形、コンクリートの剥落の被害である（写真 5.3-8～10）。屋根に作用した力を妻壁に伝達できなかつたために生じた被害である。ボルト等が完全に抜け出している場合等もある。

2) の RC 柱と S 造屋根の接続部（支承部）のボルト変形、コンクリートの剥落についても、屋根部分に作用した外力を、接続部（支承部）で伝達できなかつたために生じた被害（写真 5.3-11、12）である。これら 1) 及び 2) の被害は、後述するように、被災度区分判定の結果、ほとんどが小破であり、1 棟のみ中破の被害に区分されている。3) は屋根面水平ブレースの被害であるが、たわみが観察された程度で、破断は観察されなかつた。4) の屋根天井材の被害は、広範囲に脱落したのもを含め、比較的多くの体育館で破損や脱落の被害が観察された（写真 5.3-13～17）。



写真 5.3-8 妻壁と S 造屋根接続部ボルト抜け出し



写真 5.3-9 妻壁と S 造屋根接続部ホールインアンカー抜け出し



写真 5.3-10 妻壁と S 造屋根接続部のコンクリート破壊、ボルト変形

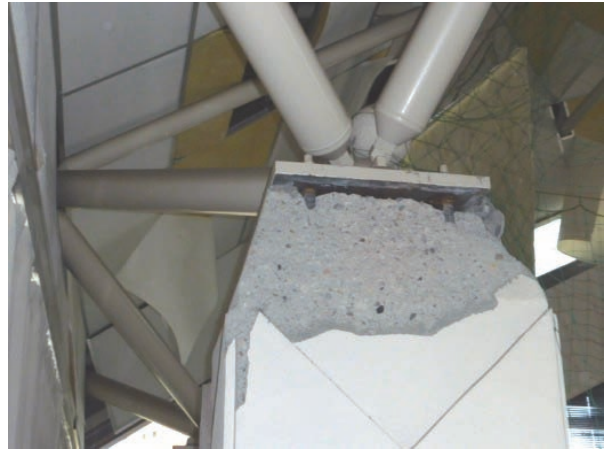


写真 5.3-11 RC 柱と S 造屋根接続部（支承部）のコンクリート剥落



写真 5.3-12 RC 柱と S 造屋根接続部（支承部）のコンクリート剥落、ボルト変形



写真 5.3-13 天井の落下

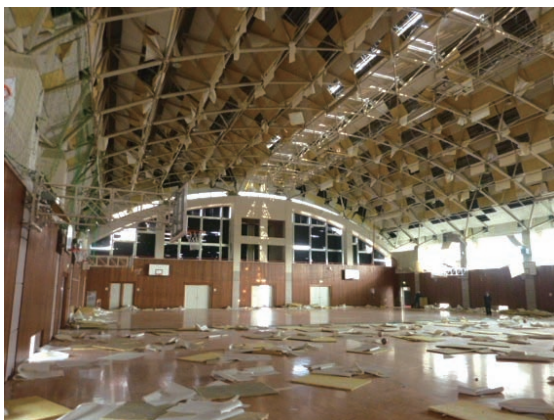


写真 5.3-14 天井の落下



写真 5.3-15 天井の落下





写真 5.3-16 天井の落下



写真 5.3-17 斜め補剛材のはずれ

### (3) 耐震改修した体育館の被害

表 5.3-2 で示した 5 棟の耐震改修建物のうち、4 棟が V 型のブレース補強、1 棟が X 型のブレース補強であり、5 棟とも無被害（軽微含む）であった。このうちの 1 棟は、近くで旧基準体育館のブレースが破断するような大きな構造被害が観察された地域であったが、無被害であった（写真 5.3-18、19）。



写真 5.3-18 増設した V 型の補強ブレース



写真 5.3-19 耐震補強した体育館の内観



### 5.3.4 体育館の被災度区分判定と分析

被害調査を行った全ての体育館について、被災度区分判定を行った。ここでは、被災度区分判定結果と設計基準（旧基準、現行基準、耐震改修）との関係、構造耐震指標値との関係等について整理、分析した結果を示す。

#### (1) 震度区分と被災度の関係

調査した体育館それぞれについて、各体育館から最も近い JMA や K-NET 等の観測地点での計測震度を調査し、それを各体育館での計測震度とみなし、それに基づいて、震度区分毎の体育館の被災度の状況を図 5.3-3 に示す。(a)は旧基準、(b)は現行基準、(c)は耐震改修の結果である。

5.3.2 項で示したとおり、本被害調査では、最初に震度 5 以上の広い地域を調査対象にして、旧基準の体育館調査を行っている。そのため、(a)の旧基準体育館では、震度 5 地域の体育館が 10 棟含まれているが、結果として、これら地域の被害は、ほとんどが軽微または無被害であった。6 弱の区域では、2/3 以上が小破の被害であるが、大破は 3 棟だけである。(b)の現行基準の体育館では、概ね震度 6 以上の地域で調査が行われている。調査体育館の半分以上が軽微または無被害に区分され、中破に判定されたのが 1 棟であった。(c)の耐震改修体育館では、調査された 5 棟全てが軽微または無被害であった。

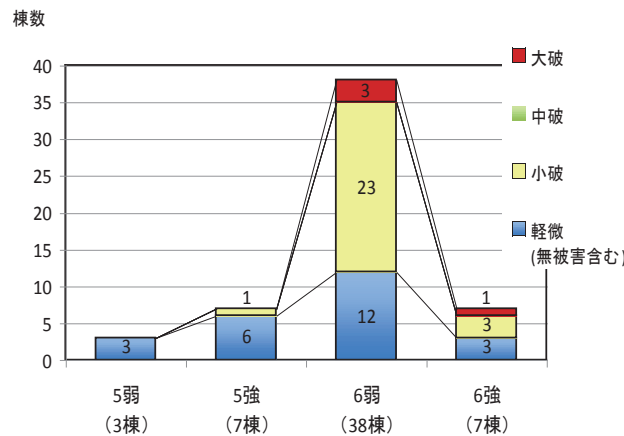


図 5.3-3(a) 旧基準体育館の震度区分毎の被災度(総合判定)の棟数

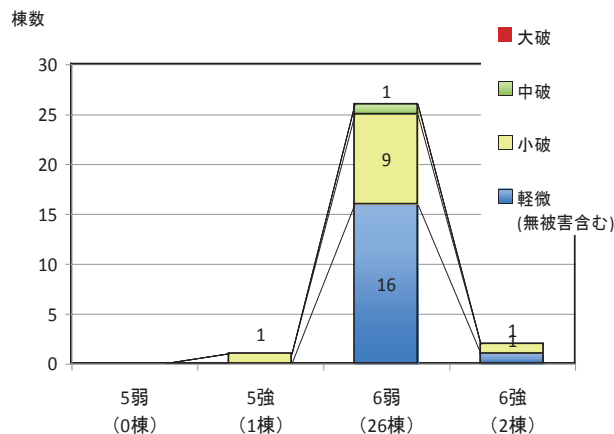


図 5.3-3(b) 現行基準体育館の震度区分毎の被災度(総合判定)の棟数

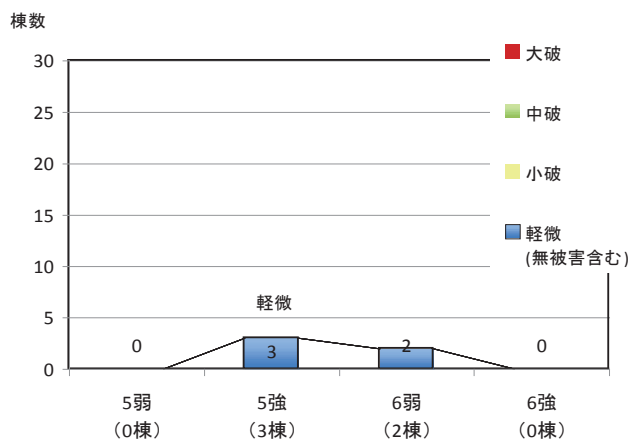


図 5.3-3(c) 耐震改修体育館の震度区分毎の被災度(総合判定)の棟数

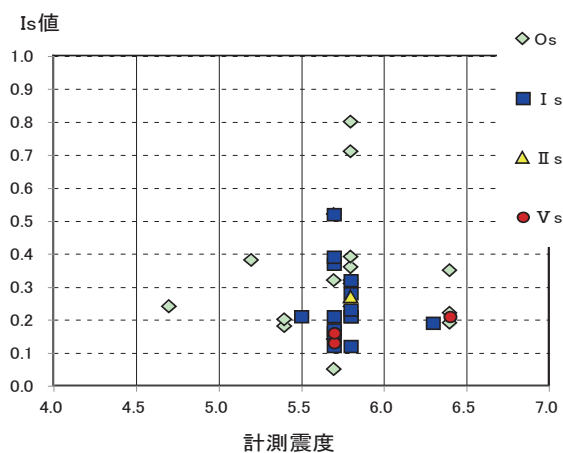
## (2) 計測震度、 $I_s$ 値と被災度の関係

調査を行った旧基準の体育館 55 棟のうち、37 棟については、耐震診断により計算される構造耐震指標  $I_s^{5.3-3}$  値が得られている。図 5.3-4 では、各体育館の最寄りの観測地点で観測された計測震度を横軸、体育館の  $I_s$  値を縦軸として、体育館の被災度を区別してプロットしている。

(a) 図は、構造の被災度と値及び計測震度との関係である。この図からは、計測震度が 5.5~6 の範囲には、比較的多くプロットがあり、大きな構造被害ランクである  $V_s$  は、 $I_s$  値が 0.2 程度以下の範囲で発生していることがわかる。

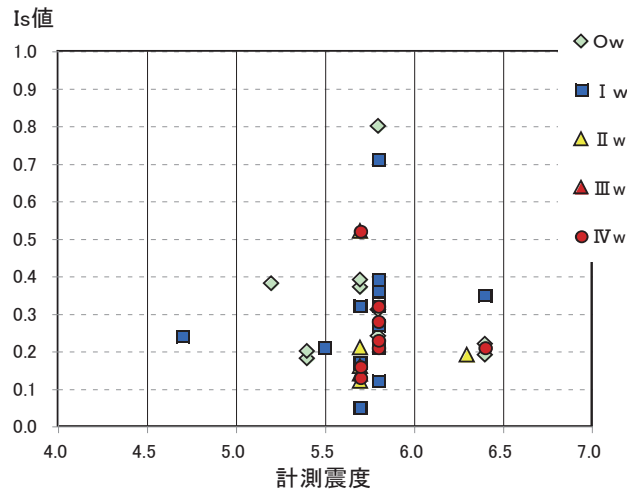
(b) 図は、非構造部材、仕上げの被災度と  $I_s$  値及び計測震度との関係である。この図から、非構造の被害ランクとして大きな被害である  $III_w$  と  $IV_w$  は、 $I_s$  値が 0.1~0.5 程度の範囲に分布しており、 $I_s$  値が比較的大きくても、非構造の被害が大きい場合があることがわかる。

(c) 図は、総合判定の被災度である。(a) 図と同様の傾向であり、 $I_s$  値が小さい場合に、比較的大きな被災度ランクになるような傾向が見られる。



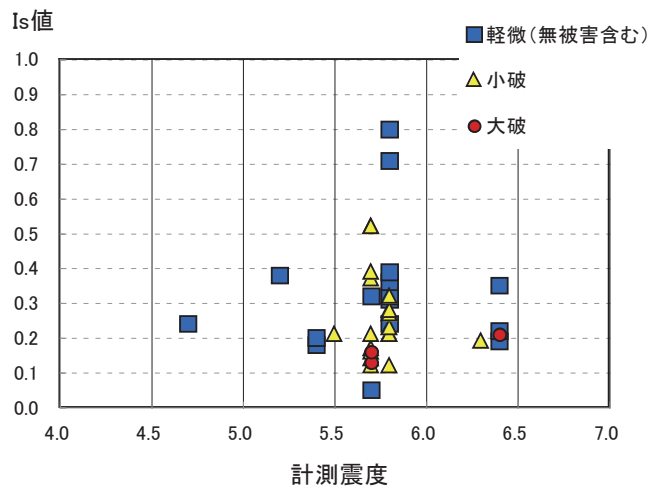
(a) 構造骨組の被災度区分

図 5.3-4(a) 計測震度と  $I_s$  値と被災度の関係



(b) 非構造の被災度区分

図 5.3-4(b) 計測震度と  $I_s$  値と被災度の関係



(c) 総合判定の被災度

図 5.3-4(c) 計測震度と  $I_s$  値と被災度の関係

### (3) 設計基準と被災度の関係

図 5.3-5~7 に設計基準(旧基準、現行基準、耐震改修)毎の被災度の棟数と割合を示す。ここでは、なるべく同等の震度における体育館の被災度を比較するため、震度 6 弱以上の体育館のデータのみを対象にして分析を行う。図 5.3-5 は、構造骨組の被災度区分で(a)は棟数、(b)は割合である。図 5.3-6 は、非構造部材、仕上げの被災度区分、図 5.3-7 は、総合判定の被災度である。

図 5.3-5 から、構造被害に関しては、大きな被害ランクである  $V_s$  は、旧基準体育館で見られたが、その数は 4 棟である。現行基準の体育館では、構造の被災度は、 $II_s$  以下である。 $I_s$  以上の被害の割合を比較すると、旧基準は 55%で、現行基準では 30%程度であり、現行基準の方が、 $I_s$  以上の被害率が少ないことがわかる。

図 5.3-6 から、非構造部材に関しては、旧基準、現行基準ともに、全ての被災度区分の被害が生じていることがわかる。現行基準の方が大きな被害の割合はやや少なくなっているが、旧基準と現行基準の非構造部材の被災度の傾向はそれほど変わらない。



図 5.3-7 は、構造被害と非構造被害の両方を考慮して決定される総合判定の被災度である。旧基準で大破と判定されたものは4棟であるが、割合としては1割弱である。小破以上の被害の割合を比較すると、旧基準は65%、現行基準は40%程度で、現行基準では被害率が小さくなっている。大破などの大きな被害に関して、新潟県中越地震における調査<sup>5.3-5-7)</sup>では、旧基準の体育館の大破の割合は3割程度であり、本調査における大破の被害率は、新潟県中越地震の調査結果よりも小さい。

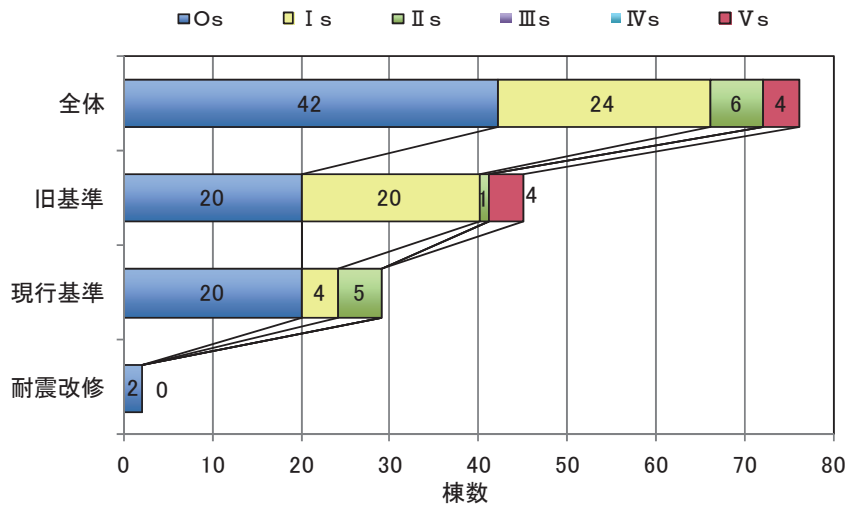


図 5.3-5(a) 設計基準毎の構造骨組の被災度区分の棟数

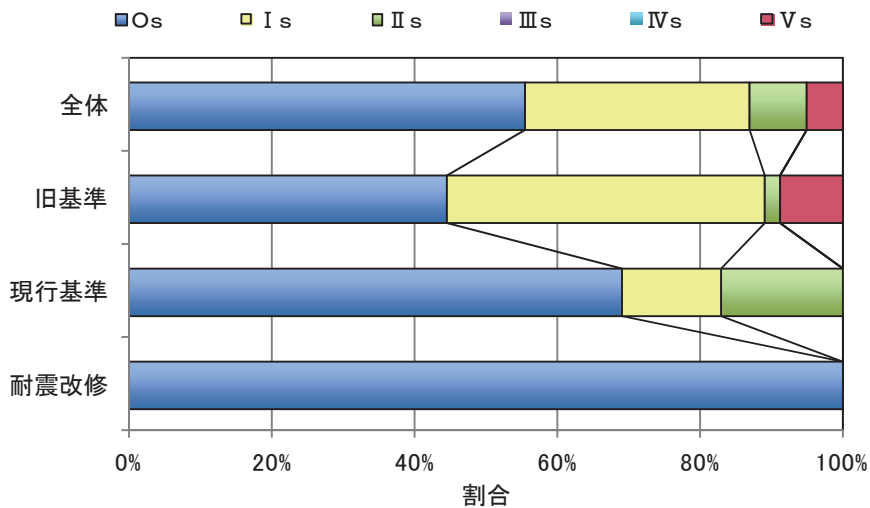


図 5.3-5(b) 設計基準毎の構造骨組の被災度区分の割合

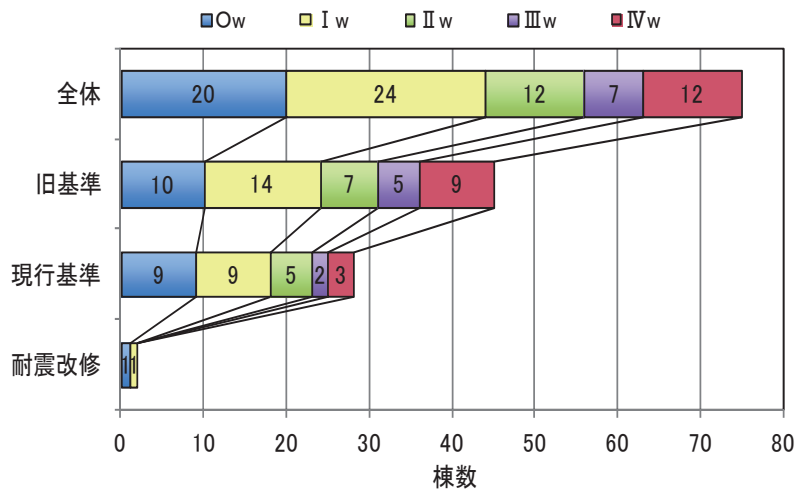


図 5.3-6(a) 設計基準毎の非構造の被災度区分の棟数

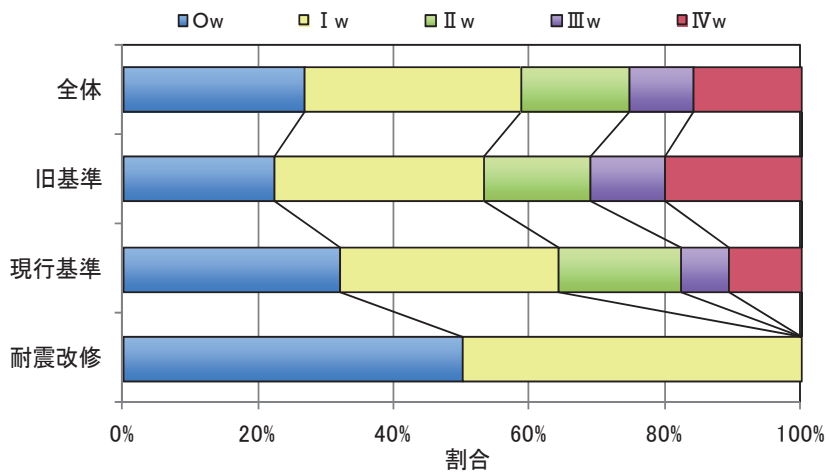


図 5.3-6(b) 設計基準毎の非構造の被災度区分の割合

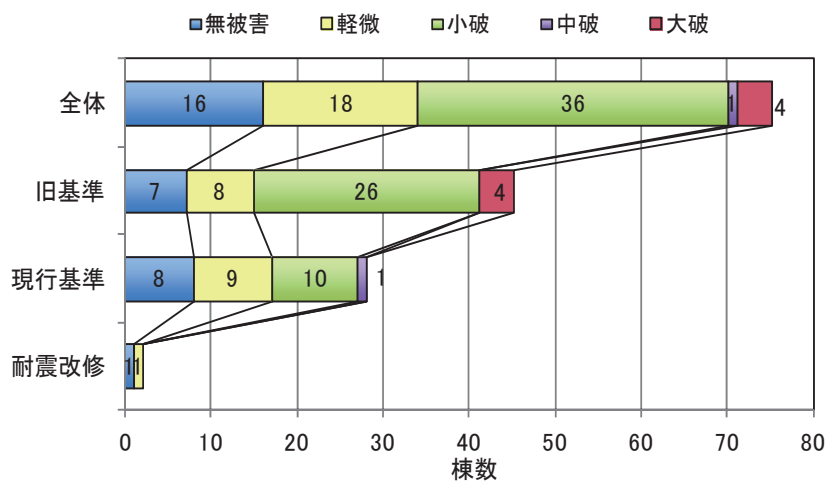


図 5.3-7(a) 設計基準毎の総合判定の被災度区分の棟数

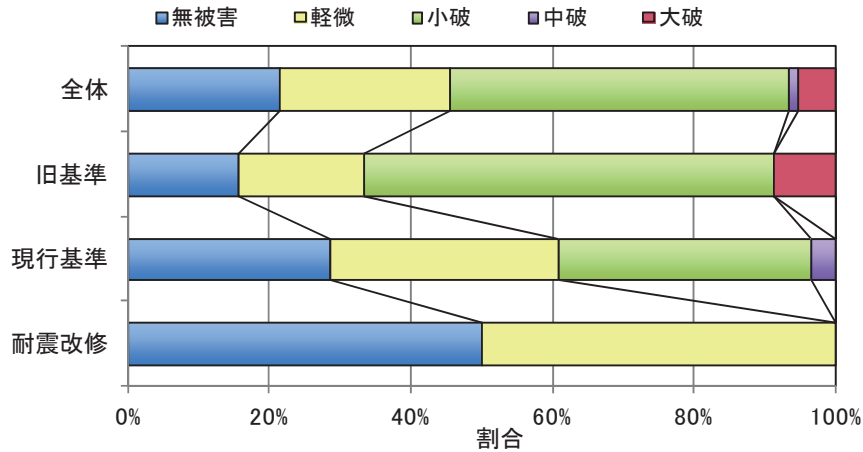


図 5.3-7(b) 設計基準毎の総合判定の被災度区分の割合

### 5.3.5 被害部位毎の分析

5.3.3 項で示した体育館の被害について、被害部位毎の分析を行った。ここでは、それらの被害について、設計基準毎の棟数を示す。なお、ここでも震度 6 弱以上の体育館データを分析の対象としている。

#### (1) 鉛直ブレース材の被害

図 5.3-8 に、鉛直ブレース材とその接合部の被害棟数を示す。鉛直ブレース材とその接合部では、ブレース材の引張降伏や部材及び接合部の破断の被害が見られた。V ランクの破断被害は、旧基準で 3 割弱程度となっている。現行基準では、鉛直ブレースを用いた構造は無い (表 5.3-3(b) 参照)。

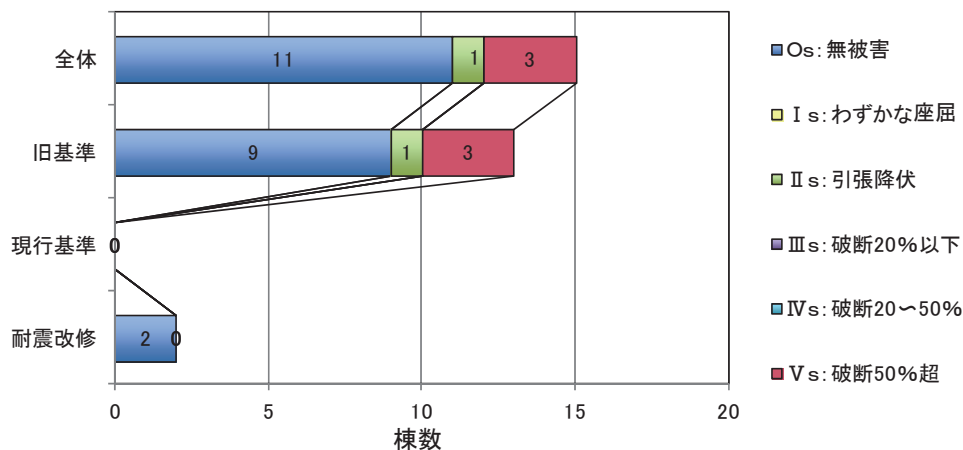


図 5.3-8 鉛直ブレースの被害の被災度区分の棟数

#### (2) RC 柱及び妻壁と屋根接続部 (支承部) の被害

図 5.3-9 に、RC 柱及び妻壁と屋根接続部 (支承部) の被害について、構造の被災度区分としての棟数を示す。RC 柱と S 造屋根の接続部 (支承部) の被害は、構造の被災度区分 Is または IIs ランクの被害である。現行基準でも、25%程度の被害率でこのような被害が発生している。これらの旧基準と現行基準の被害の内訳を図 5.3-10(a)、(b) に示す。旧基準の被害は、接続部のコンクリートの剥離程



度であるが、現行基準では、妻壁との接続部でボルトの抜けだし、変形等の被害が見られた（妻壁と屋根の接続部の被害は、屋根面水平ブレースの破断と同様の被災度ランクとした）。

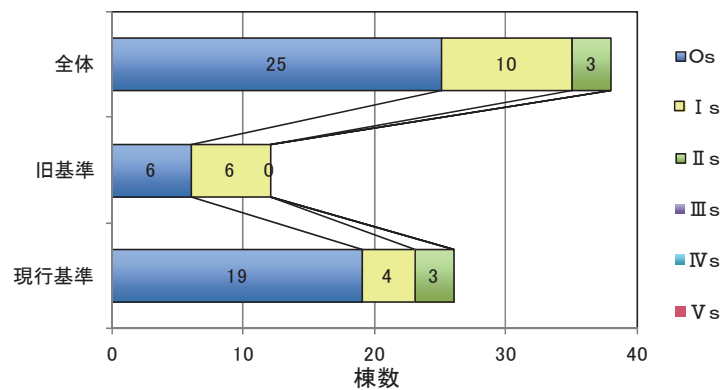


図 5.3-9 RC柱及び妻壁と屋根接続部(支承部)の被害の被災度区分の棟数

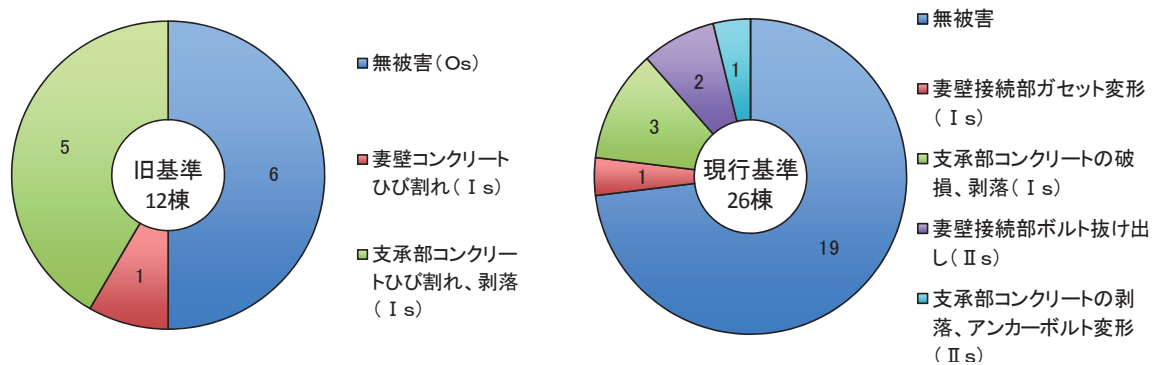


図 5.3-10 RC柱及び妻壁と屋根接続部(支承部)の被害の内訳

### (3) 屋根面水平ブレースの被害

図 5.3-11 に、屋根面水平ブレースの被害棟数を示す。屋根面水平ブレースで、たわみ、破断等の被害が見られた。旧基準では破断が生じているものが数棟見られたが、現行基準では破断しているものは無かった。なお、不明とは、屋根面水平ブレースがあることは確認できたが、被害状況が確認できていないものである。

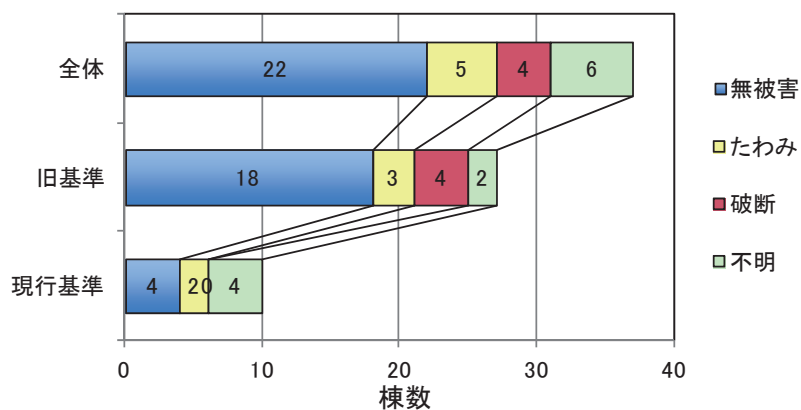


図 5.3-11 屋根面水平ブレースの被害棟数

#### (4) 露出柱脚の被害

図 5.3-12 に露出柱脚の被害を示す。露出柱脚の被害は、コンクリートのひび割れ等の比較的軽微なものであった。

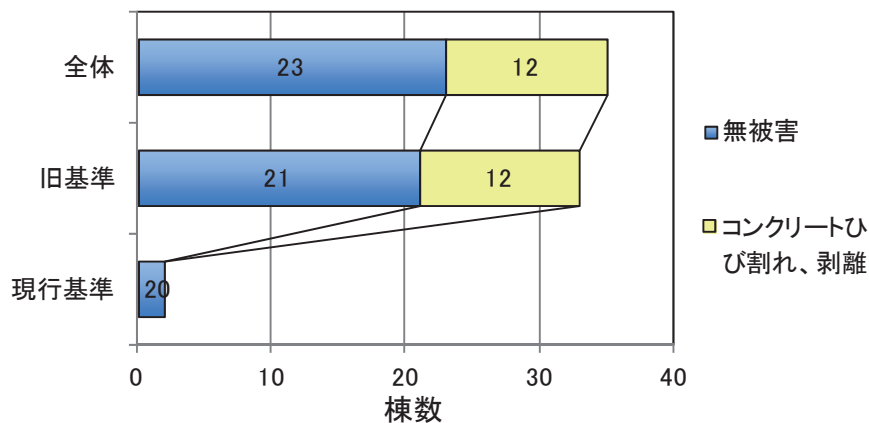


図 5.3-12 露出柱脚の被害棟数

#### (5) 天井の被害

図 5.3-13 に天井の被害を示す。(a)は、各被災度区分の棟数、(b)は割合である。天井の被害に関しては、旧基準も現行基準も被害棟数の傾向に大きな差はないが、IIw 以上の、比較的大きな被害の割合は、現行基準の方がやや多くなっている。

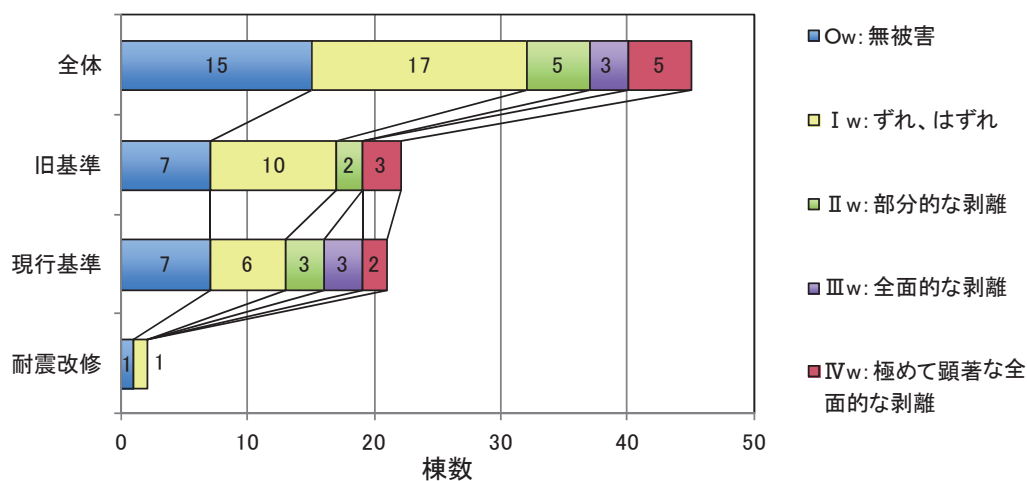


図 5.3-13(a) 天井の被災度区分の棟数

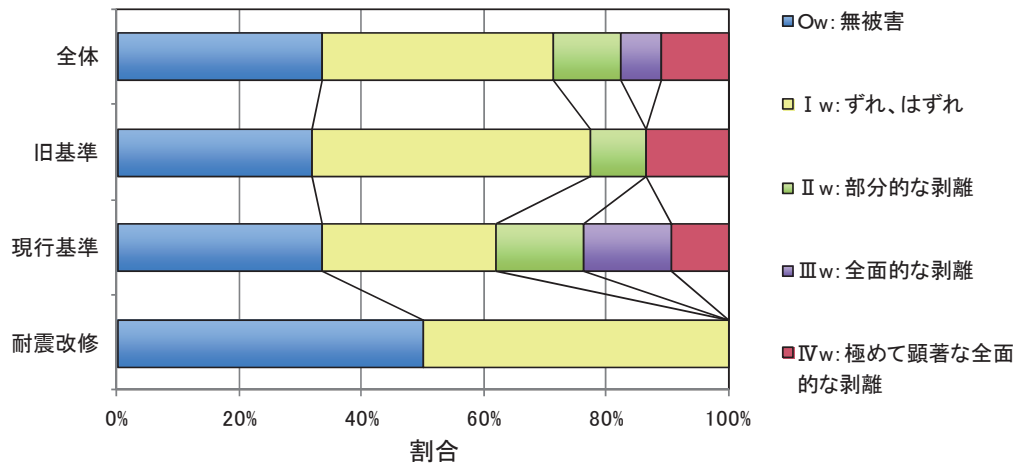


図 5.3-13(b) 天井の被災度区分の割合

### 5.3.6 構造被害を軽減するための対策

#### (1) 旧基準の体育館

5.3.3 項で示したように、旧基準の体育館で大破の被害となった被害形態は、鉛直ブレース材の座屈、破断と接合部の破断、及びラチス柱の斜材の座屈、である。これらの旧基準の体育館は、現行基準で設計されている体育館に比べれば、ブレース部材や柱部材で耐力が不足していると考えられる。また、旧基準の体育館では、接合部の保有耐力接合が行われていないと考えられ、これらが主な被害原因になっているものと思われる。今回の調査では、ブレースの補強による耐震改修が行われていた体育館では、ほとんど無被害であったことから、適切な耐震改修によって、構造、非構造の被害を軽減することは可能である。旧基準で設計されている体育館については、早急に耐震改修を行うことが重要である。

#### (2) 現行基準の体育館

現行基準の体育館では、RC 柱や妻壁と S 造屋根の接続部（支承部）で、コンクリートの剥落やボルトの抜け出し、変形、の被害が見られた。これらの被害は、小破から中破の被害に区分されるものである。図 5.3-1(b) で示したように、今回の調査の茨城県内では、現行基準の体育館は、ほとんどが RC 造屋根のみ S 造の構造形式であり、その RC 部分と S 造屋根の接続部分での被害である。

RC 柱や妻壁部分と S 造屋根の接続部分でのボルトの抜け出しやコンクリートの破壊については、文献 5.3-8) に、このような部位に生じると考えられる破壊形式とその対策が記されている。それらを検討することが、このような被害を軽減するための 1 つの対策になると考えられる。また、RC 柱や妻壁部分と S 造屋根の接続部（支承部）の設計法としては、耐震診断や補強設計で用いられている方法として、最上層における建物の保有水平耐力から、屋根面に作用する震度を求め、地震力が屋根面に均等に作用するとして、屋根の面積比に応じて屋根面せん断力を算定して設計する方法<sup>5.3-9), 10)</sup>や、略算的な方法として、屋根面が伝達すべき重量に  $0.55 \times A_i \times F_{es}$  を乗じて必要耐力を計算し、それに対して屋根面水平ブレースや接続部を設計する方法<sup>5.3-9), 10)</sup>等、がある。このような方法による屋根接続部や屋根面水平ブレースの安全性の確認は、現行基準の設計において、必ずしも実施されていない可能性が有る。この方法によって作用する地震力を算定し、接続部や屋根面水平ブレースを設計することも、この部位の地震被害を軽減する 1 つの方法になると考えられる。



### 5.3.7 まとめ

本節では、2011年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実施した茨城県内の学校体育館の被害調査について、その概要を述べ、被害の形態等を示した。また、調査した体育館の被災度区分判定を行い、それに基づく分析結果を示すとともに、被害を軽減するための対策等を述べた。学校体育館の調査、分析の結果を以下にまとめて示す。また、一般的な建築物の被害の概要についても、最後にまとめて示す。

- 1) 旧基準の学校体育館の構造の被害を6種に分類した。それらのうち、鉛直ブレース材の座屈、破断と接合部の破断、及び、ラチス柱の斜材の座屈、は大破に分類される被害であるが、その棟数は4棟であり、大破の被害率としては1割弱であった。新潟県中越地震の同様の調査では、旧基準の体育館の大破の割合は3割程度であり、本調査における大破の被害率は、新潟県中越地震の調査結果よりも小さい。
- 2) 一方、現行基準の体育館の構造被害として、妻壁とS造屋根接続部やRC柱とS造屋根支承部など、RC造柱とS造屋根接続部分で、コンクリートの剥落やボルトの抜け出し、等が比較的多く観察された。ただし、これらは、ほとんどが小破の被害区分であり、1棟のみが中破と判定された。旧基準と現行基準の被害率を比較すると、現行基準では、旧基準に比べて小破以上の被害率が少なく、大破と判定されたものもなかった。
- 3) 今回の調査では、旧基準の設計で耐震改修した体育館は、震度6弱以上では2棟のみであったが、これらはいずれも、軽微及び無被害の被害ランクであった。
- 4) 体育館の非構造部材の被害に関しては、旧基準の体育館では、天井、照明の脱落、外壁の脱落、内壁の脱落、軒天の脱落、窓ガラスの破損など、比較的大きな被害が観察された。天井が広範囲に脱落したものが4棟程度あった。また、現行基準の被害としては、天井の被害については、広範囲に脱落したものも含め、比較的多くの体育館で破損や脱落の被害が観察された。天井被害に関しては、旧基準と現行基準に被害の傾向に大きな差はないが、IIw以上の、比較的大きな被害の割合は、現行基準の方がやや多くなっていた。
- 5) 調査した体育館について、計測震度、 $I_s$ 値と被災度の関係及び被災度と設計条件の関係等を示した。また、被害部位毎の分析結果を示した。 $I_s$ 値と被災度の関係については、 $I_s$ 値が小さいほど、大きな構造被害ランクになる傾向は見られた。一方で、非構造の被害については、大きな被害区分であるIIIwとIVwの被害は、 $I_s$ 値が0.1~0.5程度の範囲に分布し、 $I_s$ 値が比較的大きくても、非構造の被害が大きい場合があった。
- 6) 現行基準の体育館では、RC柱や妻壁とS造屋根の接続部（支承部）で、コンクリートの破壊やボルトの抜け出しの被害が見られた。このような被害を軽減するための対策として、文献5.3-8~10)による検討方法を挙げた。

#### 一般的な鉄骨造建築物の被害概要

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調査を実施した。一般的な鉄骨造建築物の被害の概要を以下にまとめて示す。なお、これらの詳細は、速報<sup>5.3-2)</sup>を参照されたい。

- 1) 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の損傷等の被害が観察された。また、駐車場の露出柱脚に被害が観察された。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被害は観察されなかった。

- 2) 非構造部材の被害としては、事務所、店舗、駐車場等の建物で、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。

## 参考文献

- 5.3-1) 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
- 5.3-2) 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震調査研究(速報)、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5月
- 5.3-3) 2011年改訂版 既存鉄骨造建築物の耐震診断および耐震改修指針・同解説、(財)日本建築防災協会、2011.9
- 5.3-4) 立道郁生、竹内徹：大空間を有する建物の被害、建築技術 No. 741、2011年10月
- 5.3-5) 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
- 5.3-6) 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
- 5.3-7) 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
- 5.3-8) 各種合成構造設計指針・同解説、日本建築学会、2011.4
- 5.3-9) 学校施設の耐震補強マニュアル S 造屋内運動場編(2003年改訂版)、文部科学省、平成20年9月
- 5.3-10) 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、(社)建築研究振興協会、2005.7