

## 第7章 鉄骨造建築物

### 7.1 被害調査概要

#### 7.1.1 一次調査

##### (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。

構造被害があるとされる学校体育館等の公共鉄骨造建築物の構造被害調査

一般鉄骨造建築物の被害概要調査

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) 調査スケジュール等

11月 9日（火）つくばから越後湯沢へ移動

11月10日（水）向井、石原：旧堀之内町

西田、長谷川：十日町市、旧川西町

11月11日（木）向井、石原：川口町、小千谷市

西田、長谷川：小千谷市

11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

###### 1) 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）の破断があった。張間方向（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、内外壁、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

###### 2) 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

#### 7.1.2 二次調査

##### (1) 調査目的

二次調査として被災地にある体育館（小学校、中学校、高校、公立体育館）について、

被害をほとんど受けていないものも含めて、50棟程度の被害状況の詳細調査を行い、以下の3つの項目について検討を行った。

この地震による体育館の被害状況に関して、構造体の被害と非構造部材の被害それぞれについて、大破から小破（無被害も含めて）のものまで被害パターンを分類する。また、構造形式、建築年代、天井材や外装材等と被害パターンの関係を明らかにする。

調査対象の体育館の構造形式と被害状況から、当該体育館への地震入力を推定し、近隣の地震計による観測記録との整合性等について検討する。また、これらの結果から、体育館の被害状況から推定される入力地震動のマップを作成する。

これらの調査結果に基づいて、現行基準での体育館の構造設計法、構造形式、非構造部材の材料、接合方法に関して、耐震的な観点からの評価を行い、必要な改善点があれば提示する。また、今後の検討課題等の提案を行う。

## (2) 調査実施機関

次の4機関の共同調査とした。

国土技術政策総合研究所、独立行政法人建築研究所、  
(社)日本鉄鋼連盟、(社)日本鋼構造協会

## (3) 調査グループ 及び担当者

敬称略（下線は非構造部材等調査担当者）

Aグループ	Bグループ	Cグループ	Dグループ
向井（国総研）	<u>西田（国総研）</u>	長谷川（建研）	石原（国総研）
<u>大森（鹿島建設）</u>	小椋（大成建設）	<u>岡本（竹中工務店）</u>	堀江（清水建設）
難波（JFE 技研）	佐野（大林組）	飯谷（JFE スチール）	<u>亀田（JFE シビル）</u>
	鈴木（新日鐵）		北濱（住友金属）

## (4) 調査スケジュール等

1 1月30日（火）夕方 越後湯沢集合  
1 2月 1日（水）小千谷市  
1 2月 2日（木）小千谷市、旧越路町、川口町、旧堀之内町、  
旧小国町、栃尾市、長岡市  
1 2月 3日（金）旧小出町、旧大和町、十日町市、旧川西町  
午後 越後湯沢で解散

## (5) 調査項目

以下の項目について調査を行った。

- ・ 体育館建物諸元
- ・ 構造被害
  - 桁行き方向ブレース材及び接合部
  - 屋根面水平ブレース

柱の傾斜

柱脚部

桁行き方向ブレース付間柱脚部

床の沈下

周辺地盤

・ 非構造部材の被害

窓

外壁（桁行、妻面）

R C 部分

内壁（桁行、妻面）

天井

## 7.2 被害調査結果

### 7.2.1 調査一覧及び構造被害の概要

ここでは、一次及び二次調査で被害調査を行った鉄骨造体育館に関して、構造形式等の構造諸元を明らかにするとともに、これらの体育館の構造上の被害に関して、建築年の観点から分析した結果を示す。

#### (1) 調査対象とした鉄骨造体育館

図7.1に、調査を実施した合計63の体育館の地図上の位置を示す。 が調査した体育館の位置を表し、 は被災地周辺で強震記録が観測された観測点の位置を示している。また、 は本震の震源位置を示している。 に付した記号は各体育館を識別する記号であり、一カ所に複数の記号があるのは、同一の学校に2つまたは3つの体育館があることを示している。調査した体育館は、主に、小学校、中学校、高校の体育館及び公立の体育館である。



\* 地図は国土地理院数値地図 25000 (行政界・海岸線) を利用

図 7.1 被害調査を行った体育館及び地震動観測点の位置

震源に比較的近い地域では被害がほとんど無かったものも含めて、なるべく多くの体育館の調査を行うこととした。長岡市、栃尾市、旧川西町、十日町市等のやや震源からはなれた地域では、被害が比較的大きいと思われたものを対象にして調査を行った。表7.1は、1次及び2次調査で被害調査を行った63の体育館について、各体育館の建築年や被害概要等についてまとめたものである。

表7.1 被害調査を行った体育館の被害概要等一覧

建物記号	市町村名	建築年	階数	桁行方向の構造形式	被害概要	調査担当グループ	速報での名称	備考
QJY-1	小千谷市	1982	1	1層(RC造+ブレース)+2層(S造ブレース)	構造被害無し。窓ガラス1枚破損。	B		
QJY-2	"	1989	1	1層(RC造)+2層(S造ブレース)	構造被害無し。舞台上部の照明が落下しかけている。	B		
QJY-3	"	1994	2	1,2層(RC造)+3層(S造ブレース)	構造被害無し(S造柱脚部でモルタル補修あり)。周辺地盤10cm沈下。舞台上部壁(合板)数枚の落下。引き違い2段窓上部割れ多数。	B		
QJY-4	"	1970	1	1層(RC造)+2層(S造ブレース)	構造被害無し(ブレースにわずかにたわみがあり)。天井の木毛セメント板留めつけ金具落下、地震後にはずれかけの木毛セメント板1枚取り外し。	D		
QJY-5	"	1976	1	1,2層(S造ブレース)	1Fのブレースに座屈あり。水平ブレース座屈あり。床沈下4cm。外壁仕上げ不陸あり。	D		
QJY-6	"	1985	1	1層(RC造)+2層(S造ブレース)	構造被害無し。	D		
QJY-7	"	1970	1	1層(RC造)+2層(S造ブレース)	ブレースがわずかに座屈、ガセットプレートに塑性変形。アンカーボルトずれあり。照明の電球が割れる。アルミサッシはめ殺しに被害無し。	C	体育館 M	1、2次調査実施
QJY-8	"	1966	1	1層(RC造)+2層(S造ブレース)	ブレース材の破断、間柱アンカーボルト破断、柱脚コンクリート破壊。アルミサッシ引き違い窓の脱落多数。	C	体育館 N	1、2次調査実施
QJY-9	"	1957	1	1層(RC造orSRC造)+S造屋根	屋根トラス斜材が座屈。妻面屋根際のラスモルタルほぼ全面落下、舞台上部壁脱落。	B		
QJY-10	"	1987	2	1,2層(RC造)+3層(S造ブレース)	構造被害無し(S造柱脚部でモルタルにひび割れあり)。妻壁の落下あり。	B		
QJY-11	"	1981	2	1層(RC造)+2層(RC+ブレース)+3層(S造ブレース)	3層の全構面ブレース座屈、ガセットの降伏及びボルトずれ、屋根ブレースのたわみ、柱脚コンクリート割れ。可動式窓ガラス割れ落下、枠の変形と脱落、ステージ天井板の半分が落下。	A		
QJY-12	"	古い	2	1,2層(RC造)+3層(S造ブレース)	ブレース破断、ガセットプレート座屈。天井木毛セメント板数枚落下、舞台上部石膏ボード落下、はめ殺し窓破損、引き違い窓ガラス破損、窓枠変形。	西田、長谷川	体育館 L	1次調査のみ実施
QJY-13	"	1937	1	1層(S造ラーメン)	内装で隠れているが、構造被害は無しと思われる。外壁RCにひび割れ、壁合板にひび割れ。	B		
QJY-14	"	1971	1	1,2層(S造ブレース)	構造の被害無し。床沈下5cm。合板の浮き、ブロック下地モルタル割れ、外壁モルタル剥落。	B		
QJY-15	"	1967	1	1層(RC造)+2層(S造ブレース)	ブレース接合部わずかなずれ、柱脚アンカーボルトわずかなずれ。床10cm沈下。数枚の窓ガラス割れ、サッシはずれ。	C	体育館 P	1、2次調査実施
QJY-16	"	1983	2	1,2層(RC造)+3層(S造ラーメン)	天井ブレース座屈と破断。S造ラーメン構造に被害無し。引き違い窓2個脱落。	C	体育館 O	1、2次調査実施
QJY-17	"	1971	1	1,2層(S造ブレース)	構造被害無し。妻面外壁全面落下。	A		
QJY-18	"	1984	1	1,2層(S造ブレース)	水平ブレースのたわみ。窓ガラス20枚程度破損、時計落下、照明器具落下。	A		
QJY-19	"	1982	1	1層(SRC柱+ブレース+コンクリートブロック)+2層(S造ブレース)	構造被害無し。床2.5cm沈下。外壁軒天部分鉄板落下。	C		
QJY-20	"	1974	1	1,2層(S造ブレース)	ブレース座屈、ガセットのボルトずれ、水平ブレース2カ所破断。床1cm沈下。外壁モルタルにひび割れ、浮きあり。	B		
QJY-21	"	1988	1	1層(RC造)+2層(S造ブレース)	屋根水平ブレース30%程度座屈。舞台天井周辺脱落。引き違い12段窓上段割れ、窓枠上部壁破損、外壁(金属板)に浮き。	B		
QJY-22	"	1983	1	1層(RC造+ブレース)+2層(S造ブレース)	構造被害無し。床7mm沈下。舞台天井のコーナー部欠け。カーテンレールで壁が破損。	B		
QJY-23	"	1981	1	1層(RC造+ブレース)+2層(S造ブレース)	構造被害無し。天井つりボルト脱落、舞台天井ロックウール板数枚落下、天井点検口脱落、窓ガラス1枚破損。	B		
QJY-24	"	1985	1	1層(RC造)+2層(S造ブレース)	ブレース材1構面座屈、他の1構面たわみ、柱脚コンクリート割れ。舞台天井端部7枚落下、照明器具落下。	A		
QJY-25	"	1970	1	1層(S造ブレース)	ブレース一部座屈、柱脚アンカーボルト変形、コンクリート亀裂。窓ガラス2枚割れ(ブレースの衝突による)。	C		
QJY-26	"	1978	1	1,2層(S造ブレース)	構造被害無し。舞台照明器具落下、高架水槽移動により配管破断。	A		

表 7.1 被害調査を行った体育館の被害概要等一覧（つづき）

建物記号	市町村名	建築年	階数	桁行方向の構造形式	被害概要	調査担当グループ	速報での名称	備考
KSJ-1	旧越路町	1971	1	1層(RC造)+2層(S造ブレース)	4構面のブレース座屈(交換済み)。非構造被害無し。	A		
KSJ-2	"	1964	1	1層(RC造)+2層(S造ブレース)	構造被害無し。非構造被害無し。	A		
KSJ-3	"	2004	1	1層(RC造)+2層(S造ブレース)	構造被害無し。軒天井一部落下、ギャラリー天井、照明器具一部落下、窓ガラス一部割れ、サッシはらみだし、ドア破損、内壁一部落下。	A		
KSJ-4	"	1982	1	1層(RC造)+2層(S造ブレース)	構造被害無し。妻面内装木毛セメント板約50%落下。	A		
KWG-1	川口町	1983	1	1層(RC造)+2層(S造ブレース)	構造被害無し。サッシ外れかけあり。	C		
KWG-2	"	1994	2	1,2層(RC造)+3層(S造ブレース)	4構面全てのブレースの座屈(破断無し)。天井材の3割程度落下、スピーカー2個落下。	向井、石原	センターF	1次調査のみ実施
KWG-3	"	1986	1	1層(RC造)+2層(S造ブレース)	4つのブレース構面のブレースの座屈及び1カ所の交差部で破断。ガラス破損、サッシはらみだし、軒天井一部落下、照明落下。	向井、石原	体育館 G	1次調査のみ実施
KWG-4	"	1976(1997)	1	1層(RC造)+2層(S造ブレース)	1997年耐震改修実施。構造被害無し。床8cm沈下。	C		
KWG-5	"	1984	1	1層(RC造)+2層(S造ブレース)	構造被害無し。床2.5cm沈下。妻面内壁グラスウールはずれかけ。	C		
HRN-1	旧堀之内町	1993	2	1層(RC造)+2,3層(S造ブレース)、杭基礎	構造被害無し。外壁妻面サイディングボードにわずかに損傷。	C		
HRN-2	"	1972	1	1層(RC造)+2層(S造ブレース)	ブレース穴欠損部でブレース破断、座屈、ガセット接合部塑性化。天井木毛セメント板1/4程度落下、はめ殺し窓の破損。	C	体育館 E	1, 2次調査実施
HRN-3	"	1993	1	1,2層(RC造)+S造屋根	屋根支承部モルタル剥落、一部のアンカーボルト伸び。	向井、石原	体育館 B	1次調査のみ実施
HRN-4	"	1971	1	1層(RC造)+2層(S造ブレース)	ブレース座屈、繰り部で破断、ブレース材端ボルト破断、間柱アンカーボルト破断。舞台脇仕上げ材一部落下。	向井、石原	体育館 A	1次調査のみ実施
HRN-5	"	1973	1	1層(RC造)+2層(S造ブレース)	ブレース座屈、材端部穴欠損部でブレース破断。水銀灯13個落下。	向井、石原	体育館 C	1次調査のみ実施
HRN-6	"	1978	1	1層(RC造)+2層(S造ブレース)	ブレース座屈(破断無し)、ブレース接合部のずれ。	向井、石原	体育館 D	1次調査のみ実施
HRN-7	"	1980	2	1,2層(RC造)+3層(S造ブレース)	構造被害無し。窓ガラス3枚破損、天井材の軽微な割れ。	A		
KID-1	旧小出町	1978	2	1層(RC造)+2,3層(S造ブレース)	構造被害無し。	D		
KID-2	"	1975以前	1	S造	構造被害無し。	D		
KID-3	"	1975	1	1層(RC造)+2層(S造ブレース)	ブレース座屈。ガラス4枚破損、舞台内壁パネル3枚落下、照明落下。	D		
KID-4	"	1989	2	1層(RC造)+2層(S造ラーメン)	構造被害無し。軒天井落下、アリーナの仕切り部分天井落下、石膏ボード数枚落下、照明器具4個落下。	B		
KID-5	"	1974	1	1層(S造ブレース)	構造被害無し。妻壁ボードに欠けあり。	B		
KID-6	"	1994	1	1,2層(S造ブレース)	構造被害無し。床沈下1.5cm。内壁妻壁ボードに浮き、外壁コーナー部金物脱落。	B		
YMT-1	旧大和町	1992	2	1層(RC造)+2層(S造ブレース)	構造被害無し。天井材の破損。	A		
YMT-2	"	1992	1	1層(RC造)+2層(S造ブレース)	柱脚部コンクリート軽微な割れ。非構造の被害無し。	A		
TOK-1	十日町市	1968	1	1層(RC造)+2層(S造ブレース)	ブレース座屈、ブレース材端部破断、ガセットの座屈、柱脚アンカーボルトすべり。天井木毛セメント傾斜部分で多数落下、天井の残留物も落下。窓ガラス破損無し。	西田、長谷川	体育館 J	1次調査のみ実施
TOK-2	"	1966	1	1層(RC造)+2層(S造ブレース)	ブレース材の少々の座屈、ガセットの塑性化、柱脚コンクリート亀裂、アンカーボルトの変形。天井木毛セメント数枚脱落。	C		
TOK-3	"	1994	1	1,2層(S造ブレース)	ブレースのわずかな座屈。ガラスが1枚破損。	C		
TOK-4	"	1981	1	1層(RC造)+2層(S造ブレース)	水平ブレースの6~7カ所の破断。ブレースのわずかな変形。照明器具5個脱落、外壁妻面大波スレート板の剥がれ。	C		

表 7.1 被害調査を行った体育館の被害概要等一覧（つづき）

建物記号	市町村名	建築年	階数	桁行方向の構造形式	被害概要	調査担当グループ	速報での名称	備考
KWN-1	旧川西町	1978	1	1層(RC造)+2層(S造ブレース)	ブレース座屈、柱とガセット溶接部破断、柱脚コンクリート割れ。はめ殺し窓はほぼ全数破損、屋根下地木毛セメント板割れあり。	西田、長谷川	体育館 K	1次調査のみ実施
KWN-2	"	1977	1	1,2層(RC造)+S造屋根	構造被害無し。グラスウールボード天井が多数落下、外壁ALCパネル一部脱落。	C	体育館 Q	1、2次調査実施
OGN-1	旧小国町	1972	1	1層(RC造)+2層(S造ブレース)	柱脚にわずかなずれ、床1カ所ひびわれ、一部の束材の浮き。窓ガラス5カ所割れ。	A		
TCO-1	栃尾市	1974	1	1層(RC造)+2層(S造ブレース)	ブレースにわずかな変形、ブレース交点接合部にずれ。	D		
TCO-2	"	1970	1	1層(RC造)+2層(S造ブレース)	ブレース座屈、縦り部破断、間柱アンカーボルト破断。	D		
NGO-1	長岡市	1966	1	1層(RC造)+2層(S造ブレース)	ブレース座屈、縦り部破断、柱及び間柱アンカーボルト破断。	D		
NGO-2	"	1979	1	1層(RC造)+2層(S造ブレース)	構造被害無し。ガラス3枚破損。	D		
NGO-3	"	1981	1	1層(RC造)+2層(S造ブレース)	構造被害無し。天井の止め付け金具2、3本落下、落ちかけあり。	D		
NGO-4	"	?	1	1層(S造ブレース)	ブレースわずかなたわみ。床8cm沈下。天井にひびわれあり。	D		

注：建築年の（ ）は耐震改修実施年

## (2) 調査した体育館の構造等の諸元

一次及び二次調査で調査対象とした 63 の体育館について、建築年、階数、体育館の構造、桁行方向の鉄骨造部分の構造形式、鉄骨柱の形状について分類した結果を、表 7.2～7.5 及び図 7.2 に示す。

表 7.2 は建築年を、1981 年以前と 1982 年以後とで分類し、1981 年以前のものが旧基準、1982 年以後のものは現行基準で設計されたものとしている。約 6 割が旧基準で、4 割が現行基準の建物である。表 7.3 は体育館の階数である。ここでは、建物の上下層が完全に床で区切られている場合を階と呼ぶものとし、体育館のギャラリー等は階としていない。2 階建の体育館では、1 階を格技場や給食施設等として、2 階を体育館のアリーナとして使用しており、このような体育館は合計 11 棟あった。表 7.4 は体育館の構造である。体育館としての空間を構成するのに、1 階建の低層部分を RC 造として、その上を鉄骨造のフレーム及び鉄骨屋根とする構造のものが 47 棟あり、全体の 7 割以上であった。その他、純鉄骨造が 12 棟、RC 造で屋根のみ鉄骨造のものが 3 棟あった。表 7.5 は、桁行方向の鉄骨造部分の構造形式である。55 棟がブレース構造で、全体の 9 割以上となっている。地震被害は、主に桁行方向のブレース構造部分で観察された。体育館の張間方向は一般的にはラーメン構造であり、張間方向で地震被害は観察されなかった。図 7.2 は鉄骨部分の柱の形状を建築年（旧基準または現行基準）で分類したものである。全体としては、H 形変断面のものとラチス柱が同程度の割合となっているが、建築年で分類すると、1981 年以前（旧基準）は、ラチス柱の割合が多く、1982 年以後（現行基準）では、H 形の変断面の形状の柱が多くなっている。

表 7.2 建築年

建築年	旧基準 (1981年以前)	現行基準 (1982年以後)	計
	38	25	63

表 7.3 階数

階数	1階	2階	計
	52	11	63

表 7.4 体育館の構造

体育館 の構造	低層 RC 造 +上層 S 造	純 S 造	RC 造 (屋根 S 造)	不明	計
	47	12	3	1	63

表 7.5 鉄骨造部分の桁行方向の構造形式

S 造部分の桁行 方向の構造形式	ブレース構造	ラーメン構造	計
	55	4	59

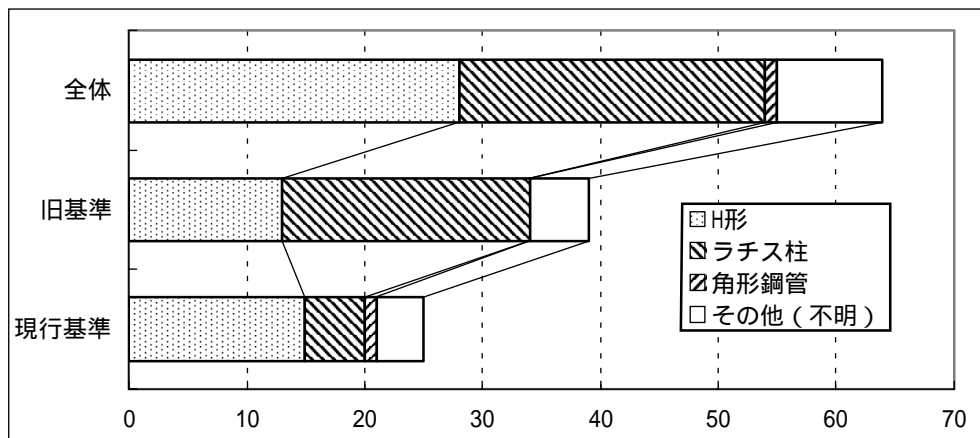


図 7.2 鉄骨柱の形状別棟数



### (3) 調査した体育館の構造の被害状況分析

ここでは、被害調査を行った体育館の、建築年に着目し、1981年以前（旧基準）と1982年以後（現行基準）で、鉄骨造体育館の被害状況にどのような違いがあるか調査した。旧基準と現行基準では、鉄骨ブレース構造建築物の耐震設計において主に次のような相違点があると考えられる。

a) 現行基準では地震層せん断力係数の高さ方向の分布を  $A_i$  分布で計算し、上層ほど地震層せん断力係数が大きくなるようにしているが、旧基準は高さ方向に一定の水平震度で計算するため結果として一定の地震層せん断力係数で計算している。

b) 現行基準（許容応力度等計算のルート1、ルート2）ではブレース構造の許容応力度計算でのベースシヤール係数は0.3であるが、旧基準は0.2である。

c) 現行基準ではブレースの接合部は、保有耐力接合で設計されているものが多いが、旧基準では、そのような規定は無い。

このような耐震設計上の相違が、体育館の被害状況にどのような影響を及ぼすかとの観点から被害状況の整理、分析を行った。

#### 1) ブレース材及びその接合部の被害状況

図7.3にブレース材自体の被害を、無被害、わずかな変形（降伏）、座屈、破断の4段階に分類し、旧基準と現行基準で被害状況にどのような相違があるか示す。旧基準では、破断の被害となった割合は2割で、座屈と破断の和の被害割合は5割程度となっているが、現行基準では、破断したものは1件であり、座屈と破断の和の被害割合は、25%程度である。図7.4はガセットプレートと柱の溶接部の被害状況である。旧基準では、わずかな変形（降伏）及び破断の被害数の和が4件であるが、現行基準では全て無被害である。図7.5は、ブレースとガセットプレートのボルト接合部の被害状況を、無被害、ずれ、亀裂、破断の4段階に分類したものである。旧基準では、ずれと破断の被害が生じており、その割合は50%になっているが、現行基準ではこの部位は全て無被害であった。図7.6は、ガセットプレートの被害状況である。旧基準では、わずかな変形（降伏）及び座屈、変形の被害が生じ、その割合は50%である。一方、現行基準ではこの部位の被害は生じていない。このように、ブレース材及びその接合部の被害に関しては、旧基準と現行基準でその被害状況に明らかな差が見られる。

#### 2) その他の構造被害状況

図7.7は、屋根面水平ブレースの被害状況であり、無被害、座屈0~30%、座屈30%以上、破断の4段階に分類して示している。調査した体育館のうち約半分の32件で、屋根面に水平ブレースがあり、現行基準が18件、旧基準が14件で、現行基準の方がやや多いことがわかる。屋根面水平ブレースの被害に関しては、年代による被害状況の相

違は小さく、座屈や破断の生じている被害割合は類似している。旧基準と現行基準でその被害状況にはほとんど差が見られない。

図 7.8 は鉄骨造柱脚部の被害状況であり、無被害、ずれ、アンカーボルトの伸び、破断の 4 段階に分類している。旧基準では、ずれ、アンカーボルトの伸び、破断の被害が生じ、それらの被害数の和の割合が、50%程度であるのに対して、現行基準では、ずれとアンカーボルトの伸びの 2 種類の被害が生じ、破断は生じていない。また、その被害数の割合は、30%程度である。鉄骨造柱脚部の被害状況に関しては、旧基準と現行基準でその被害状況に差が見られる。

図 7.9 は、間柱脚部の被害状況である。間柱を有する体育館が全体で 7 件あり、旧基準では 6 件、現行基準では 1 件である。ただし、この現行基準 1 件は、旧基準のものを耐震改修したものである。旧基準では間柱脚部は全て破断しているが、現行基準の 1 件は無被害である。間柱脚部の被害に関しては、旧基準と現行基準でその被害状況に差が見られる。

図 7.10 は、床沈下の被害であり、無被害、0~2.5cm 沈下、2.5cm~5cm 沈下、5~10cm 沈下の 4 段階に分類して、被害状況を示す。旧基準と現行基準の被害割合の傾向は、類似していて、旧基準と現行基準でその被害状況にはほとんど差が見られない。

図 7.11 は、建物全体としての被害レベルを、無被害（軽微）、小破、中破、大破に分類して示したものである。これらの被害レベルは次のように設定した。

無被害（軽微）：構造部材及び接合部に被害が見られないか、または、軽微な被害（わずかな変形、ひび割れ）の場合、

小破：ブレースの座屈、接合部の降伏等、比較的小さな塑性変形の場合、床の沈下 5~10cm の場合、

中破：ブレースの座屈や接合部の塑性変形が大きい（破断は生じていない）場合、

大破：構造部材及び接合部に破断が生じている場合。

ただし、ここでの分類では、水平ブレースの被害を含めていない。この図から、旧基準では大破の割合が 3 割近くあり、また、小破以上の被害の割合が 6 割程度となっている。一方、現行基準では、小破 3 件、中破、大破が 1 件ずつであり、小破以上の被害割合は 20%であり、旧基準と現行基準の建物で、被害レベルに差が見られ、現行基準では旧基準の建物に比べて、建物全体としての被害レベルは小さくなっていることがわかる。

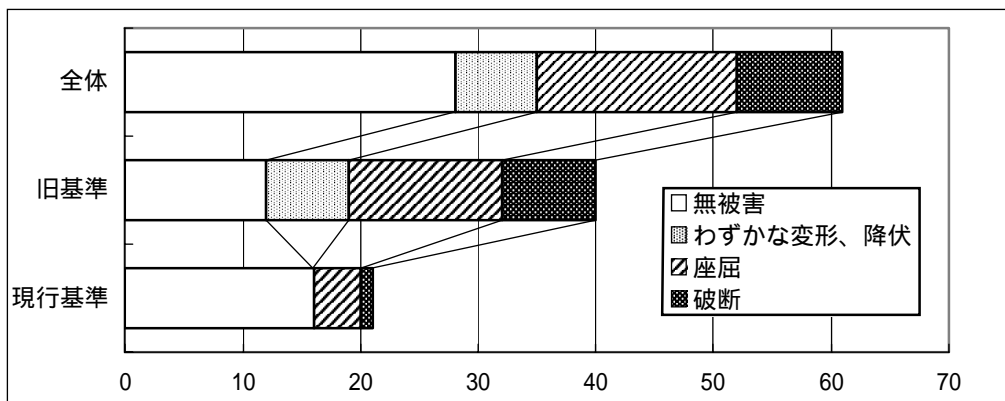


図 7.3 ブレース部材の被害別棟数

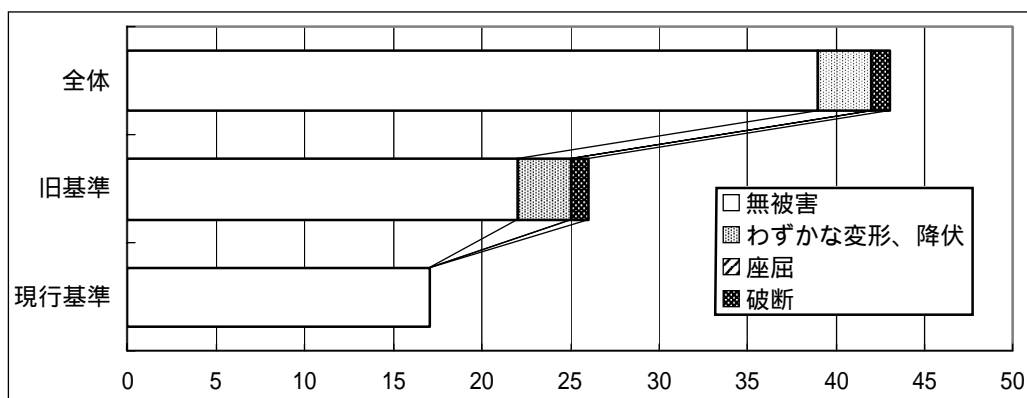


図 7.4 ガセットプレートと柱の溶接部の被害別棟数

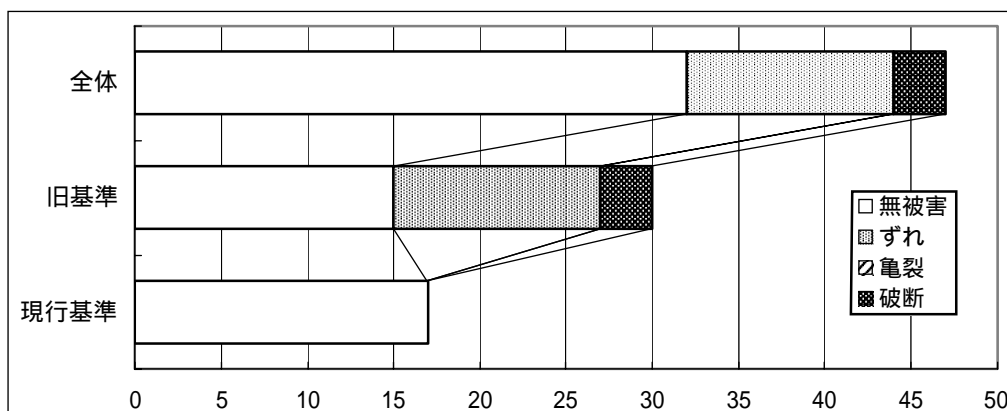


図 7.5 ブレースとガセットプレートのボルト接合部の被害別棟数

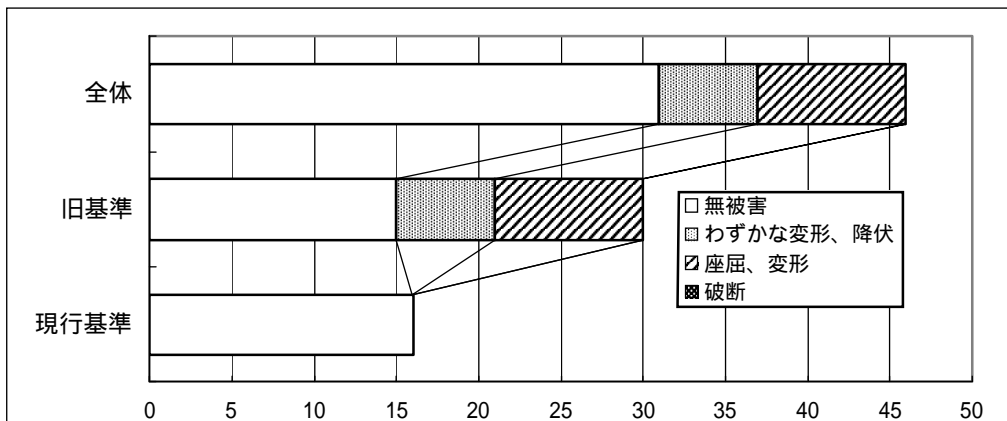


図 7.6 ガセットプレートの被害別棟数

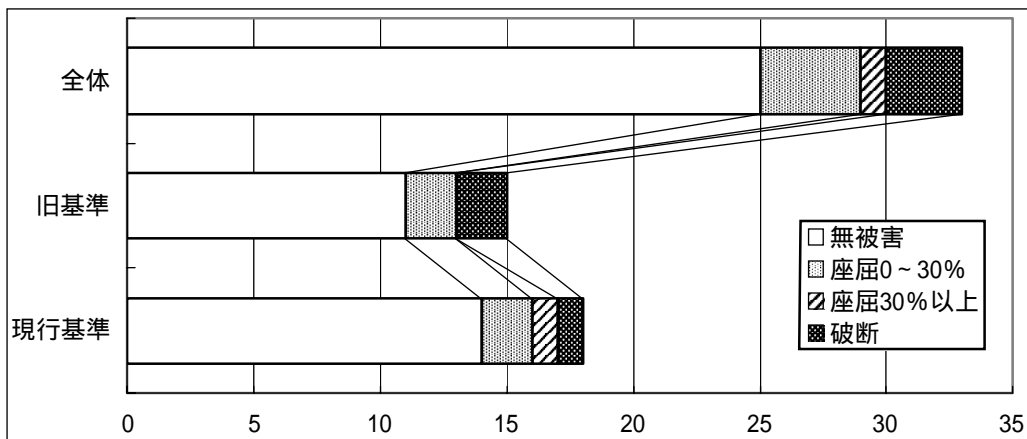


図 7.7 屋根面水平ブレースの被害別棟数

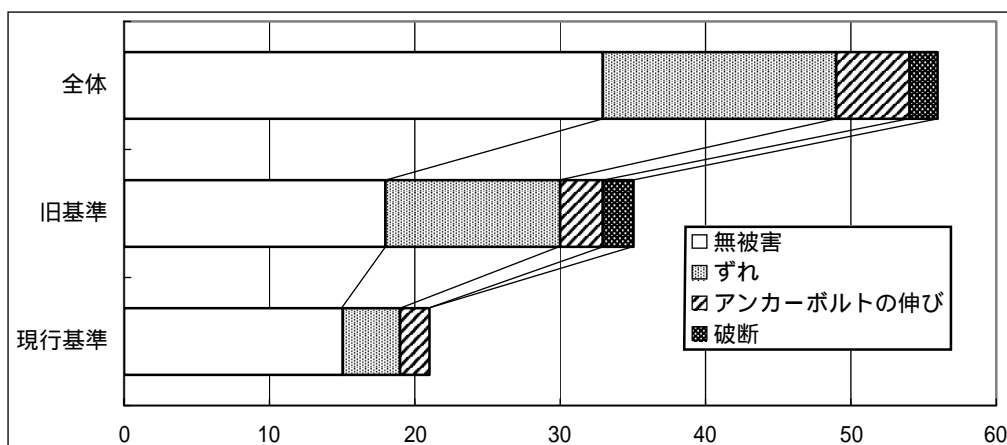


図 7.8 鉄骨造柱脚の被害別棟数

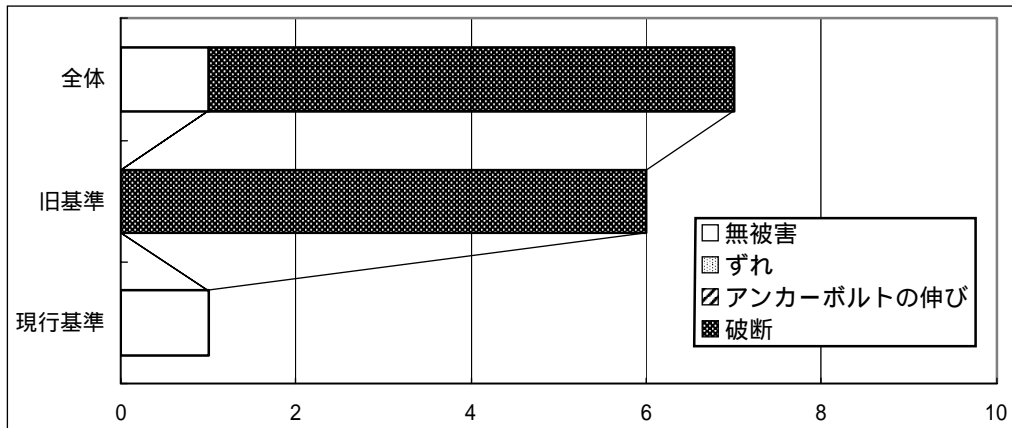


図 7.9 間柱脚部の被害別棟数

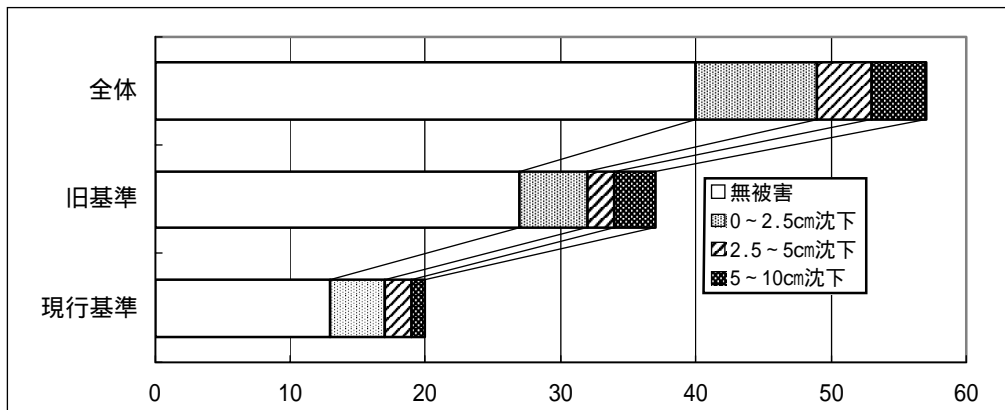


図 7.10 床の沈下の被害別棟数

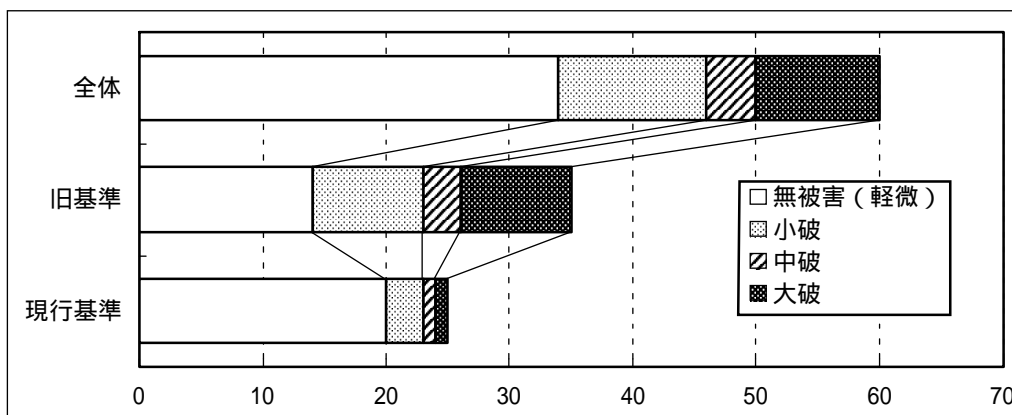


図 7.11 被害レベル別棟数

## 7.2.2 桁行構面ブレース材の被害の特徴

桁行構面のブレース材の被害を分類すると、次のようになる。

- (1)ブレース材の座屈
- (2-1)接合部におけるブレース材の亀裂・破断
- (2-2)接合部におけるガセットプレートの変形
- (2-3)接合部におけるボルトの破断
- (2-4)接合部における溶接部破断
- (3)つづり合わせ部の亀裂・破断

以下、それぞれの被害例を順に示す。

### (1) ブレース材の座屈

写真 7.1(a)～(h)にブレース材の座屈を生じた例を示す。(e)及び(f)は同じ体育館の異なる構面を写したものである。ブレース材としてH形鋼が用いられており、弱軸周りだけでなく、強軸周りにも接合部での局所的な回転を伴った構面外変形を生じている。



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

写真 7.1 座屈



(g)



(h)

写真 7.1 座屈（続き）

### (2-1) 接合部におけるブレース材の亀裂・破断

写真 7.2(a)～(e)に被害例を示す。(a)は端抜けとボルト破断、(b)は端ぬけ、(c)は端部のボルト孔位置での破断、(d)は交差部におけるボルト孔位置での亀裂、(e)は交差部におけるボルト孔位置での破断である。



(a)



(b)



(c)



(d)

写真 7.2 接合部におけるブレース材の亀裂・破断



(e)

写真 7.2 接合部におけるブレース材の亀裂・破断（続き）

### (2-2)接合部におけるガセットプレートの変形

写真 7.3(a)及び(b)に被害例を示す。(a)では端部のガセットプレートが、(b)では交差部のガセットプレートが大きく変形している。



(a)



(b)

写真 7.3 接合部におけるガセットプレートの変形

### (2-3)接合部におけるボルトの破断

写真 7.4(a)及び(b)に被害例を示す。いずれも端部接合部でボルトが破断している。



(a)



(b)

写真 7.4 接合部におけるボルトの破断



#### (2-4) 接合部における溶接部破断

写真 7.5(a)及び(b)に被害例を示す。(a)では交差部の突合せ溶接部が破断しており、(b)は端部のガセットプレートと柱との隅肉溶接部が破断している。



(a)

(b)

写真 7.5 接合部における溶接部破断

#### (3) つづり合わせ部の亀裂・破断

写真 7.6(a)～(d)に被害例を示す。(a)では座屈変形によりつづり合わせ部に亀裂を生じており、(b)～(d)では破断している。



(a)

(b)

(c)

(d)

写真 7.6 つづり合わせ部の亀裂・破断

その他、写真 7.7 には耐震補強により無被害であった例を、写真 7.8 には震災後に交換のため取り外されたブレース材をそれぞれ示す。



(a)



(b)

写真 7.7 耐震改修済みで無被害の体育館



写真 7.8 交換のため取り外されたブレース材

### 7.2.3 その他の構造被害の特徴

#### (1) 柱脚部の損傷

柱脚部損傷のうちアンカーボルトの伸びや破断、コンクリート部の破壊等の比較的大きな被害があったものは6棟である。そのうち2棟はアンカーボルトの破断（OJY-8、NGO-1）、2棟は立ち上がり部コンクリートの破壊である（OJY-24、OJY-25）。他は、1棟がアンカーボルトの伸び（NGO-1）、1棟がかぶりコンクリートの破壊である（TOK-2）。



写真 7.9 アンカーボルトの破断(OJY-8)



写真 7.10 柱脚部コンクリートの破壊(OJY-24)



写真 7.11 柱脚コンクリートの破壊（OJY-25）



写真 7.12 アンカーボルトの伸び(HRN-2)



写真 7.13 柱脚コンクリートの破壊(TOK-2)



写真 7.14 アンカーボルトの破断(NGO-1)

(2) 桁行方向ブレース付間柱脚部の損傷

6棟で、桁行方向ブレース付間柱脚部の破壊があった。被害は、いずれもアンカーボルトの破断、伸びによる柱脚部の移動である。このうち、HRH-7については、今回の地震前に既に破断していたものがあったとのことである。大部分のアンカーボルトの本数は2本配置であるが、NGO-1については1本配置である。

一方、KWG-4は、耐震補強がなされた体育館であり、間柱脚部に損傷が見られない。



写真 7.15 ブレース付間柱脚部の破壊(OJY-8) 写真 7.16 ブレース付間柱脚部の破壊(HRN-2)



写真 7.17 ブレース付間柱脚部の破壊(HRH-4) 写真 7.18 ブレース付間柱脚部の破壊(HRH-7)



写真 7.19 ブレース付間柱脚部の破壊(TCO-2) 写真 7.20 ブレース付間柱脚部の破壊(NGO-1)



写真 7.21 ブレース付間柱(KWG-4)

### (3) 屋根面水平ブレースの損傷

屋根面水平ブレースの損傷が確認されたのは7棟である。このうち山形鋼ブレースの座屈が生じたもの及び端部が破断したものが1棟(OJY-16)、ターンバックルブレースの羽子板ボルトが破断したものが1棟(OJY-20)、ねじ部分の破断とたわみが生じているものが1棟(TOK-4)である。他の4棟は、山形鋼ブレースの座屈(OJY-21)やターンバックルブレースのたわみ等の損傷である。



写真 7.22 水平ブレースのたわみ(OJY-5)



写真 7.23 水平ブレースのたわみ(OJY-11)



写真 7.24 水平ブレース破断(OJY-16)

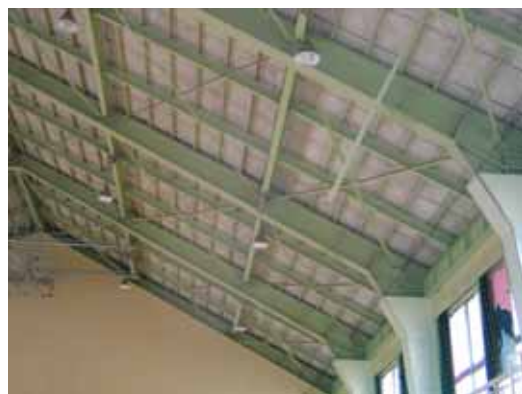


写真 7.25 水平ブレース材の座屈(OJY-16)



写真 7.26 水平ブレースたわみ(OJY-18)



写真 7.27 水平ブレース破断(OJY-20)



写真 7.28 水平ブレース座屈(OJY-21)



写真 7.29 水平ブレース破断(TOK-4)

#### (4) 床の沈下

3 cm 以上の床の沈下が報告されているものは、6 棟である。なお、壁際で測定したものであり、床中央部等の沈下は測定していない。



写真 7.30 床の沈下(OJY-5)



写真 7.31 床の沈下(OJY-14)



写真 7.32 床の沈下(OJY-15)



写真 7.33 床の沈下(KWG-4)



写真 7.34 床の沈下(TOK-1)



写真 7.35 床の沈下(NGO-4)

#### ( 5 ) 張間方向トラス梁の座屈

張間方向の構造被害として、屋根トラス梁の斜材が座屈している被害があった。  
(OJY-9)



写真 7.36 張間方向トラス梁斜材座屈(OJY-9) 写真 7.37 張間方向トラス梁斜材座屈(OJY-9)

## 7.2.4 非構造部材の被害の特徴

### (1) ガラス窓の被害の特徴

はめ殺し窓は、施工事例が少なかったが、構造体や窓の取り付いている壁面の被害の大きいものに窓ガラスの破損が認められた。引き違い窓では、構造体の被害の軽微なものにもガラスの破損や障子の脱落などの被害があった。被害位置は、連窓の上段で生じているものが多かった。破損した窓の分布状況の一例を図 7.12 に示す。また窓枠や窓枠の周囲の壁に破損が生じていた。



写真 7.38 ガラスの多数破損した窓（修理済み）上段の多くが破損した(OJY-3)



写真 7.39 下地の異常と思われる壁材の破損(OJY-21)



写真 7.40 窓枠上部の破損(KWG-1)



写真 7.41 窓枠周辺内壁の破損(OJY-21)





写真 7.42 窓枠の破損 (KSJ-3)

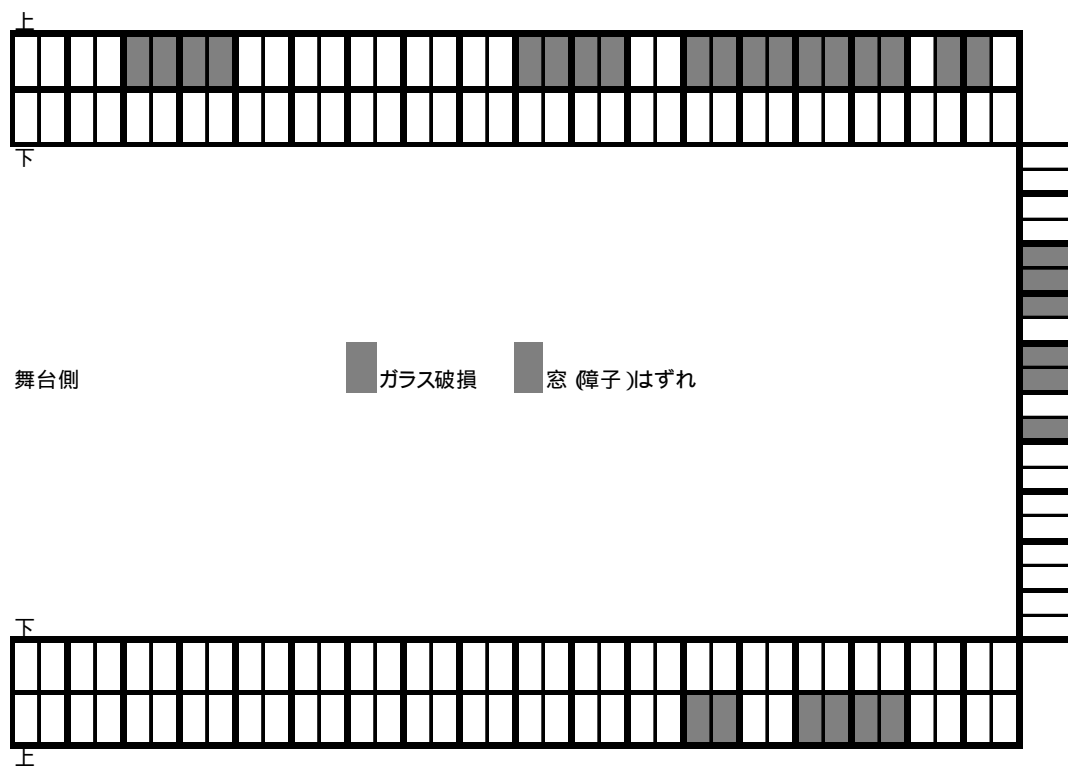


図 7.12 破損した窓ガラスの分布 (OJY-3)

## (2) 外装材の被害の特徴

金属系の外装材は、使用事例は多かったが重大な破損は生じていなかった。金属系の外装材に生じた被害例を写真に示す。ラスモルタル、ラスボードモルタル、ラスシートモルタル等のモルタル壁は、使用事例は少ないが大きな面積で脱落している事例があった。ALCパネルでは、縦壁挿入筋構法のものが脱落していた。横壁ボルト止め構法は、目地部や取り合い部に欠けが認められたが重大な損傷は認められなかった。セメント系のパネル材で

は、割れや欠けの生じているものがあった。



写真 7.43 金属パネルの脱落(KWG-1)



写真 7.44 コーナー部材の脱落(KID-6)



写真 7.45 ラスモルタルの脱落 (0JY-9)



写真 7.46 ラスボードモルタルの全面脱落 (0JY-17)



写真 7.47 ALC パネル縦壁挿入筋構法の脱落 (KWN-2)



写真 7.48 ALC パネル横壁ボルト止め構法の  
取り合い部の破損(0JY-10)

### (3) 内装壁材の被害の特徴

内装壁材では、妻壁（張間方向）に脱落の被害が多く見られた。



写真 7.49 妻壁の下地からの崩壊 (OJY-9)



写真 7.50 接着張りボードの脱落 (OJY-10)



写真 7.51 たれ壁部分のせっこうボード落下 (KID-4)



写真 7.52 グラスウール成形板の破損 (KWG-5)

### (4) 天井の被害の特徴

学校の体育館が中心のため、アリーナ部分に天井が施工されているのは半数以下であった。アリーナ部分の天井材の落下は6件あり、そのほかの部分でも天井材の損傷や落下が認められた。



写真 7.53 木毛セメント板の落下(HRN-2)



写真 7.54 左と同じ工法で被害の無かったもの(KWG-4)

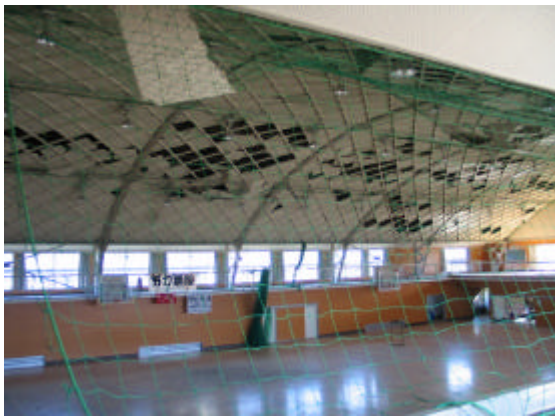


写真 7.55 木毛セメント板の落下(TOK-1)



写真 7.56 木毛セメント板の落下(TOK-2)



写真 7.57 木毛セメント板の落下(OJY-12)



写真 7.58 ロックウール吸音板捨て張り工法天井の落下(KWG-2)



写真 7.59 化粧ガラスウールボードの落下 (KWN-2)

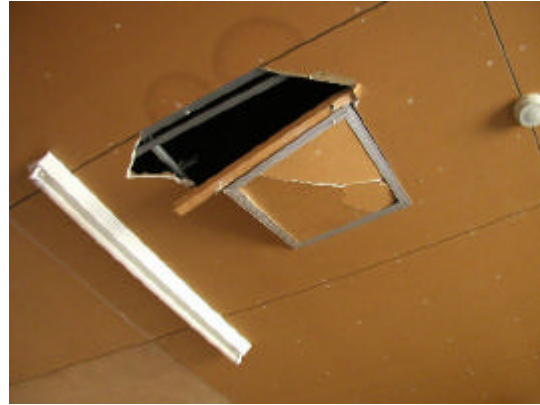


写真 7.60 点検口の破損(OJY-10)



写真 7.61 落下物による破損 (OJY-10)



写真 7.62 ギャラリー天井の落下(KSJ-3)

#### (5) その他の被害の特徴

照明器具が落下したり破損してカバーや電球のガラスが落下する事例が多く見られた。時計、スピーカー、換気扇といった壁面に取り付けた設備の落下が認められた。また、施工時の残置物でピンテール、鉄板(長さ1m幅60mm厚6mm)、はしご(木製1.5m)があった。



写真 7.63 壊れた照明器具(HRN-5)



写真 7.64 落下した照明器具(HRN-5)

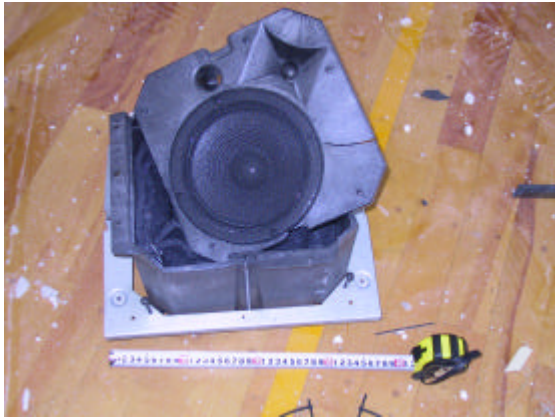


写真 7.65 落下したスピーカー (KWG-2)



写真 7.66 落下したステージの照明 (OJY-26)



写真 7.67 落下物 鉄板 (TOK-1)



写真 7.68 残置物 はしご (TOK-1)

### 7.3 ブレース材及びブレース材接合部の耐力

調査した範囲では張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 7.6 にいわゆる旧基準の体育館について、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 HRN-2、HRN-4、HRN-5 は  $0.4 \sim 0.5$  程度となっており、大地震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、旧基準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。旧基準では大地震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相当の外力に耐えうる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。

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つた。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。

表 7.6 桁行方向のブレースの耐力

名称	竣工	面積 [m <sup>2</sup> ]	屋根固 定荷重 [kN]	被害	断面	筋かい 材仰角 [°]	構面数	断面積 A[mm <sup>2</sup> ]	接合部 ボルト	ボルト孔 径 (ボルト径 +2mm) [mm]	端部の突 出脚無効 長さ [mm]	端部有効 断面積Ae [mm <sup>2</sup> ]
HRN -2	1972	1415	2123	座屈及び破 断、間柱脚 部ボルト全 て破断	2L- 50x50x4	43	8	778.4	M16, アン ゲル1本あ たり2本	18	35	354
HRN -4	1971	1415	2123	座屈及び破 断、間柱脚 部ボルト全 て破断	2L- 50x50x4	38	8	778.4	M16, アン ゲル1本あ たり2本	18	35	354
HRN -5	1973	1468	2202	全てのスパ ンで破断	L- 75x75x6	32	6	872.7	M20, F9T, 3本	22	37.5	516
HRN -6	1978	827	1240	全てのスパ ンで座屈	L- 75x75x6	29	8	872.7	F10T, M16, 3本	18	37.5	540

名称	端部破 断耐力 Ae* u[kN]	軸部降 伏耐力 [tf] A*F[kN]	(端部破断 耐力)/(軸 部降伏耐 力)	端部破 断時水 平耐力 [kN]	軸部降 伏時水 平耐力 [kN]	端部破 断時水 平震度	軸部降 伏時水 平震度
HRN -2	142	183	0.77	831	1072	0.39	0.50
HRN -4	142	183	0.77	898	1159	0.42	0.55
HRN -5	206	205	1.01	1044	1038	0.47	0.47
HRN -6	216	205	1.05	1517	1441	1.22	1.16

注) ブレース材は全て X 型。F=235[N/mm<sup>2</sup>], u=400[N/mm<sup>2</sup>]とした。HRN-2 の面積は HRN-4 と同じとした。ボルト孔径はボルト径+2mm とした。屋根固定荷重は 1.5[kN/m<sup>2</sup>]と仮定した。軸部降伏耐力時水平耐力は圧縮側のブレース材を無視して算定した。HRN-4 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。



## 7.4 その他の構造被害の分析

### (1) 柱脚部の損傷

アンカーボルトの破断があった2棟(OJY-8、NGO-1)(7.2.3(2)参照)は、何れも1960年代の建設である。旧基準の設計であったことと、アンカーボルトが腐食等により断面欠損していた可能性があり、破断に至ったことが考えられる。

立ち上がりコンクリート部分の破壊があった2棟(OJY-24、OJY-25)は、立ち上がりコンクリート部分の破壊を防ぐ配筋が十分ではなかった可能性がある。

### (2) 桁行方向ブレース付間柱脚部の損傷

桁行方向にブレース付き間柱が存在したものは7棟あり、そのうち最近耐震補強された1棟を除いた6棟はすべて脚部アンカーボルトが破断して間柱が移動している(7.2.3(2)参照)。アンカーボルトが腐食等によって断面欠損していた可能性もあるが、アンカーボルトの本数が1、2本と少なく、ブレース材からのせん断力を伝えきれなかった可能性が大きい。(図7.13参照) 例えばブレース材をL-65×65×6と仮定し、その軸部降伏耐力のうちせん断力分をコンクリートに伝えるためには、M20のアンカーボルトが3～4本必要である。これは、耐震改修したKWG-4の新設ブレースのアンカーボルトの数がかかり多い(写真7.21参照)ことを見ても明らかである。

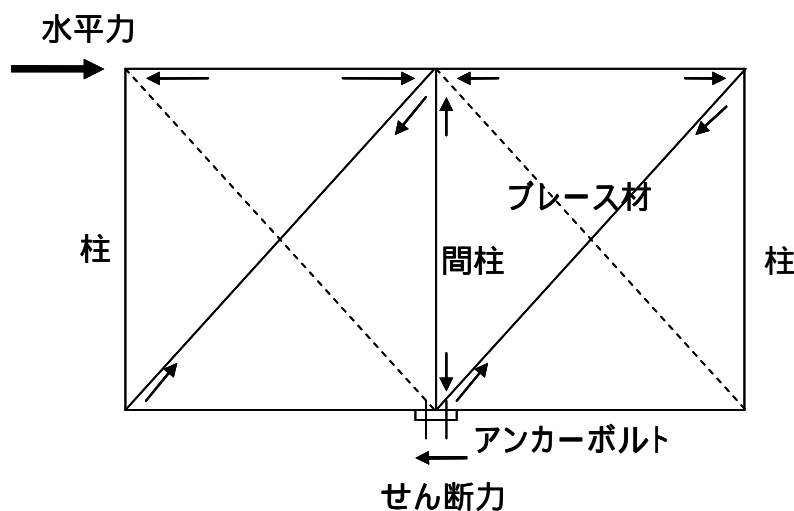


図 7.13 間柱脚部に生じるせん断力

### (3) 屋根面水平ブレースの損傷

水平ブレースの破断が生じたものは3棟である。(7.1.3参照)

OJY-16 は山形鋼水平ブレースの破断や座屈が多数生じている。この体育館は、桁行方向もラーメン構造という比較的稀な構造形式をしており、他の体育館に比べて屋根面の応答が大きくなった可能性がある。

水平ブレースの被害と桁行方向のブレースの被害の関係は以下のようになっている。

OJY-20 は、ターンバックル水平ブレースの端部ボルトに破断が生じている。この体育館は、桁行方向鉛直ブレースの一部に座屈が生じている。また TOK-4 は、ターンバックル水平ブレースがたわんだり、ねじ部分が破断しているが、桁行方向鉛直ブレースは無被害である。

屋根面水平ブレースが存在することが確認されたもののうち桁行方向に鉛直ブレースが存在する構造形式のものは、29棟である。このうち、鉛直ブレースに座屈または破断が生じているものは5棟あり、うち3棟は水平ブレースにたわみ・座屈・破断が生じている(OJY-5、OJY-11、OJY-20)。この中で、OJY-5 は第1層の平鋼ブレースが面外にたわんでいるが、第2層にある山形鋼ブレースには損傷が見られなかった。OJY-11 は、鉛直ブレースがすべて座屈していた。また、OJY-20 は、第2層にある山形鋼ブレースの一部に座屈が生じていた。鉛直ブレースに座屈が生じているにもかかわらず水平ブレースに被害がなかったのは2棟である(HRN-6、KWN-1)。HRN-6 の鉛直ブレースは全数が座屈している。また、KWN-1 の鉛直ブレースは全数のブレースの端部(柱とガセットプレートの溶接部)が破断している。逆に、鉛直ブレースに座屈・破断の被害がないにもかかわらず、水平ブレースの被害があったのは1棟である(TOK-4)。

水平ブレースの被害の1つの要因として屋根の仕上げや屋根の構造方法から屋根重量が大きかった可能性があるが、この点に関しては個別に調査を行っていない。

#### (4) 床の沈下

3cm以上の床の沈下が報告されているものは6棟あった(7.2.3(4)参照)。このうち、4棟については、周辺地盤等に液状化の跡または沈下・隆起等が確認されている(OJY-15、KWG-4、TOK-1、NGO-4)。他の2棟(OJY-5、OJY-14)については周辺地盤の変状は認められていない。逆に周辺地盤に変状が認められたもののうち、3cm以上の床の沈下が認められなかったものは、20棟ある。

床を支える構造は、KWG-4のように束台(束石)の上に束を載せるタイプのものと、TOK-1のように土間コンクリートに鋼製の束を用いるタイプがあるが、最近の体育館は比較的鋼製タイプが多いものと考えられる。しかし、今回の調査では、床の構造をすべての体育館で調査していないので、床を支える構造と被害との関連を十分には明らかにすることはできなかった。しかし一般には、KWG-4のように束台が沈下したり、TOK-1のように土間コンクリートが沈下することによって床の沈下が生じているものと考えられる。



写真 7.69 周辺地盤の沈下(OJY-15)



写真 7.70 束台の沈下(KWG-4)



写真 7.71 土間コンクリートの沈下(TOK-1)



写真 7.72 周辺地盤の沈下(NGO-4)

## 7.5 地震入力と構造被害の分析

### 7.5.1 目的

1次及び2次調査で被害調査を行った鉄骨造体育館の被害状況に基づいて、それぞれの体育館の桁行方向について、質点系モデルによる地震応答解析を行い、被災地の各地域の体育館への地震入力レベルの推定を行う。

### 7.5.2 解析方法

#### (1) 解析モデルの設定

調査を行った63の体育館のうち、桁行方向の鉄骨部分の構造形式がブレース構造のものを解析対象とし、桁行方向の構造形式がラーメン構造、RC造及び構造形式が不明のものを除いて、合計55棟の体育館について地震応答解析を行う。各体育館の被害調査では、桁行方向のブレース断面、ブレース角度、ブレース構面数、体育館の床面積等を調査しているため、それらのデータを基にして解析モデルを作成する。下部RC造の上に鉄骨が建ち上がっている1階建体育館では、RC部分と鉄骨部分を別の層として扱い、2質点系モデルとする。また、2階建の体育館では、3質点系モデルとして解析を行う。

各体育館の解析モデルの各層の質量は、屋根面を有する鉄骨層は $0.15\text{t/m}^2$ 、下部のRC層は $0.25\text{t/m}^2$ 、上下階を完全に分ける床を有するRC層は $1.3\text{t/m}^2$ 、外周壁面だけの鉄骨層は $0.085\text{t/m}^2$ と仮定して、解析モデルの各層質量を設定する。これらの値は、文献7.2)の設計例を参考にして決めたものである。ブレース構造の層剛性は、ブレース部分のみの剛性により計算し、層の耐力は、ブレース材の降伏点を $295\text{N/mm}^2$ と仮定して層の耐力を計算する。ブレース層の復元力特性はスリップ型とし、降伏後の2次勾配を弾性剛性の1%とした。下部RC層は、ほとんどの体育館で、ほぼ無被害であったため、断面等の調査を行っていない。そのため、ここではRC層の耐力、剛性は、文献7.2)の地震応答解析モデルを参考にして、ベースシャー係数1.8、降伏層間変形角 $0.0035\text{rad}$ として一律に決めて、剛性、耐力を設定した。結果として、ここで行った全ての解析で、RC層が降伏することは無かった。

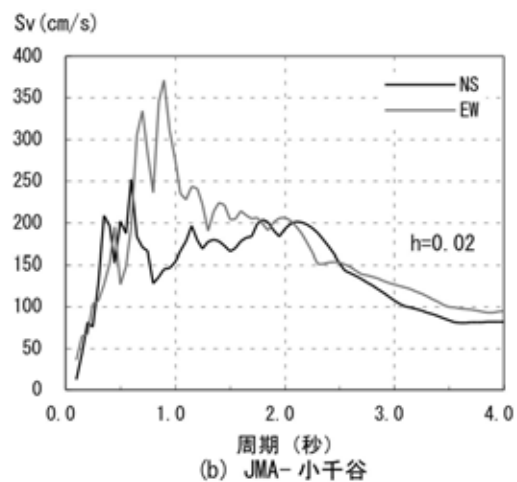
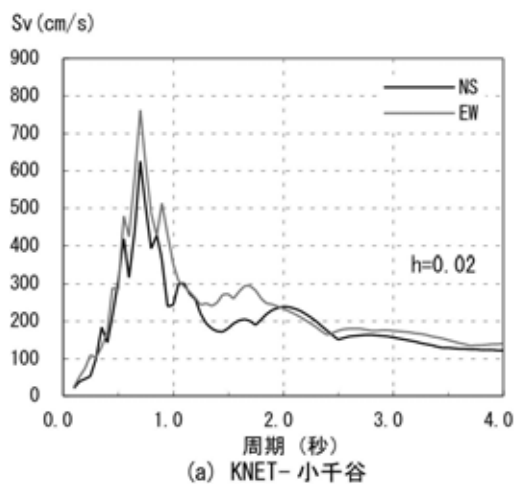
#### (2) 地震応答解析の方法

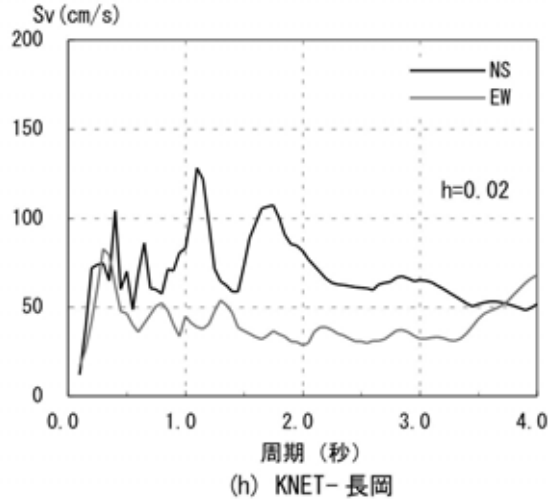
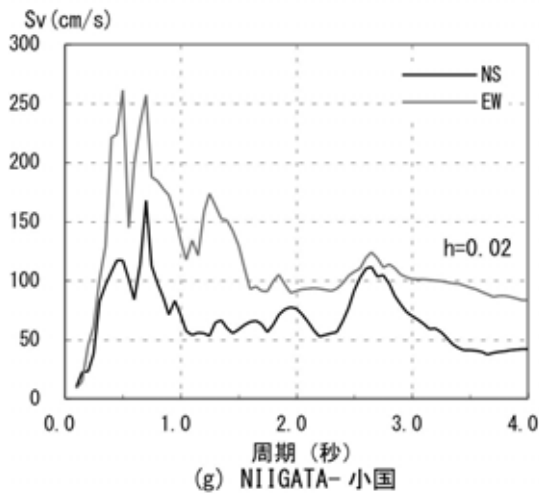
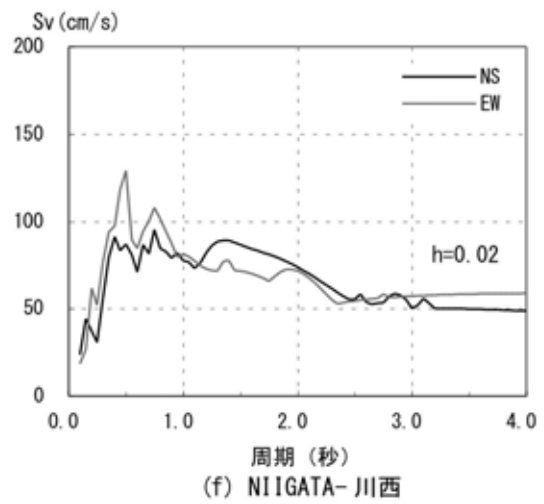
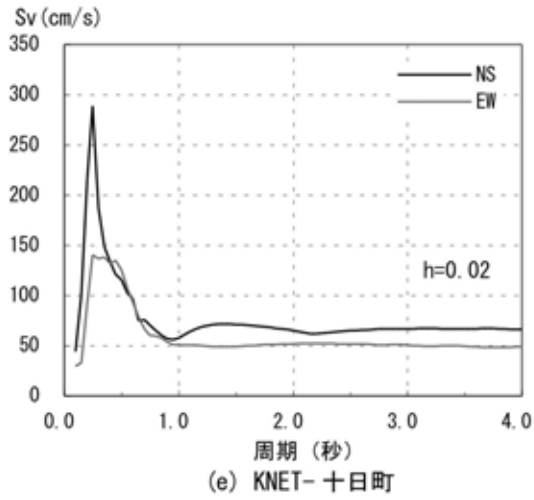
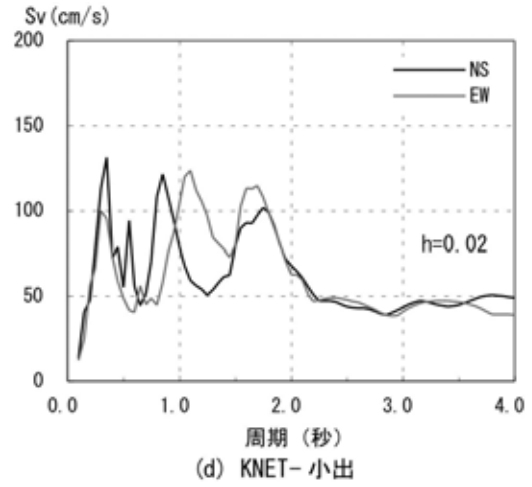
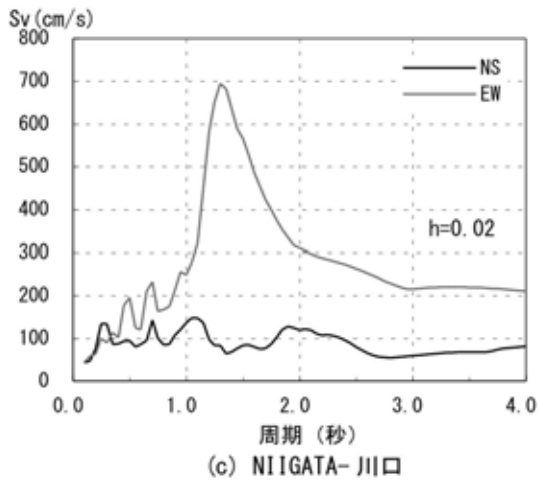
各体育館それぞれについて、桁行方向のブレース材や接合部等の被害状況に応じて、鉄骨層の目標応答塑性率を定め(塑性率=1、2、3)、図7.1に示すそれぞれの体育館に最も近い地点の観測記録地震波を使って、目標応答塑性率となるように、入力地震動の最大加速度を増減させて応答解析を行う。地震応答解析における減衰は、1次、2次に対して2%のレーリー型とし、応答解析の継続時間は50秒とする。各体育館の応答解

析の結果得られる骨組への損傷に寄与する地震エネルギーの速度換算値  $V_d$  を計算し、建築基準法の 2 種地盤上の擬似速度応答スペクトル  $pS_v$  の値と比較し、当該体育館への地震入力レベルを基準法で規定されている値に対する比 ( $V_d/pS_v$ ) として計算する。これは、骨組の損傷に寄与する地震エネルギーの速度換算値  $V_d$  が、入力地震動の擬似速度応答スペクトル  $pS_v$  に、おおむね等しくなるという研究<sup>7.3)~7.5)</sup>に基づくものである。なお、 $V_d$  は、応答解析中における骨組の弾性歪エネルギーと塑性歪エネルギーの和の最大値を速度に換算したものであり、 $pS_v$  は、建築基準法施行令の限界耐力計算の 2 種地盤の大地震時の加速度応答スペクトルに  $T/(2)$  を乗じたものである。

### (3) 被災地周辺で観測された地震動記録

本解析で入力地震動として用いた各観測点 (図 7.1 参照) で記録された地震波の 2% 減衰の速度応答スペクトル  $S_v$  を、図 7.14 (a) ~ (j) に示す。小千谷市内の記録である KNET-小千谷と JMA-小千谷の記録は、0.5 秒 ~ 1.0 秒程度にピークがあり、その値は最大で、700cm/s 程度に達している。Niigata-川口の記録は、NS 方向と EW 方向では、スペクトルの形状が異なっており、特に、EW 方向は、1.4 秒程度にピークがあり、その値が 700cm/s 程度である。その他の地点での観測記録では、速度応答の最大値は、おおむね、100 ~ 300cm/s の範囲である。Niigata-川口の記録以外は、各観測点の NS 方向と EW 方向のスペクトル形状は類似している。なお、速度応答スペクトルと擬似速度応答スペクトルは一般に概ね一致する<sup>7.4)</sup>。





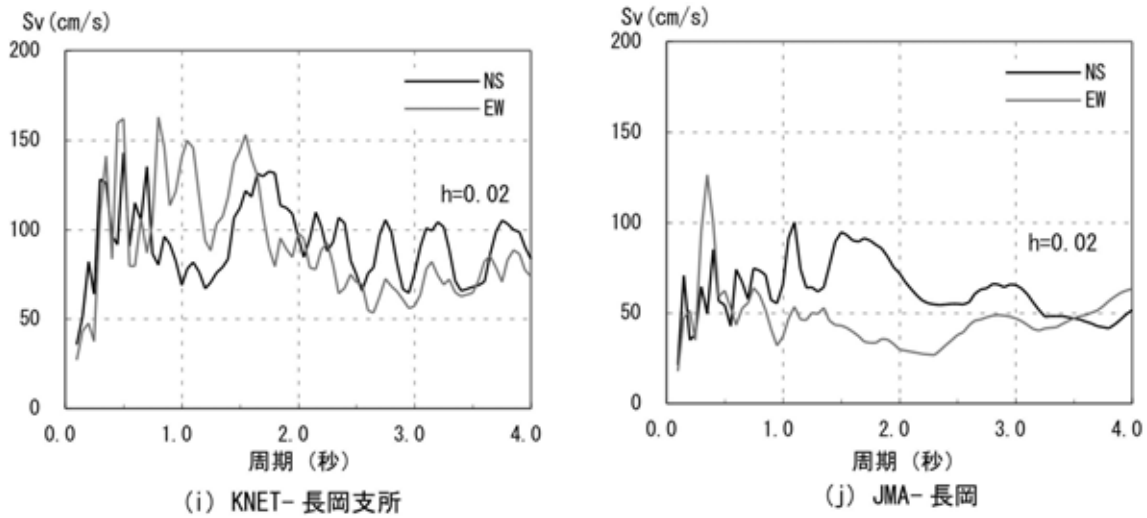


図 7.14 被災地周辺で観測された地震波の速度応答スペクトル

### 7.5.3 解析結果

#### (1) 解析結果の一覧表

被害調査を行った体育館の地震応答解析から得られた結果の一覧を、市町村毎に表 7.7(a)~(k)に示す。表中の記述内容等を以下に示す。建物記号は、図 7.1 に示す各体育館である。解析に用いた入力地震動は、例えば (a) の小千谷市の体育館の解析では、小千谷市の北側に位置する体育館では JMA-小千谷、小千谷市中心部から南側の体育館は KNET-小千谷、小千谷市の南東で川口町に近い体育館では、Niigata-川口の記録を使っている。固有周期は、各解析モデルの固有値解析から得られた値である。本解析全体から得られた体育館の固有周期はおおよそ 0.2 秒 ~ 0.4 秒程度の範囲であるが、1982 年以後の体育館の方がやや周期が短い傾向が見られる。鉄骨層の目標応答塑性率は 1、2、3 の 3 種類に設定している。本解析では、文献 7.6)、7.7) を参考にして、ブレース材と接合部等に大きな座屈や塑性変形が生じたものまたは破断したものは、目標応答塑性率を 3 に設定している。また、ブレース材及び接合部または柱脚が変形し、塑性化しているが、その程度が比較的小さいものは目標応答塑性率を 2 としている。また、無被害及び軽微な被害のものは 1 としている。

入力地震動の原波乗率は、各解析で目標の応答塑性率の変形になるようにするために、入力地震動の原波の最大加速度に乗じた率である。また、本解析では 1 つの体育館に対して NS 方向、EW 方向の地震波を用いて解析している。地震入力レベルは、弾性周期での  $pS_v$  の値に対する  $V_d$  の値の比を計算したものである。地震入力レベルで、“以下”と表記されているのは、無被害の建物では、地震時には弾性限（塑性率=1）の応答より小さい応

答変形であったと考えられ、塑性率 1 の弾性限界までの解析で得られる  $V_d$  よりも、小さな入力と考えられるため、“以下”と記述している。“以上”と表記されているのは、ブレースや接合部に破断が生じた場合であり、本解析では、破断までの応答塑性率を 3 と仮定して解析を行い、実際には、それ以上の地震エネルギーが建物に入力したと考えられることから、“以上”と記述している。なお、建物が塑性化する場合には有効周期を考慮することによってより正確に損傷に寄与するエネルギーが評価できる<sup>7.3) 7.4)</sup>。本解析における目標応答塑性率が 2 または 3 の体育館の有効周期が弾性周期の 1.1 ~ 1.2 倍程度になるとすれば<sup>7.3)</sup>、 $pS_v$  の値が 1.1 ~ 1.2 倍となり、表中で計算された地震入力レベルの値は、1 ~ 2 割程度小さな値になる。

## (2) 被害から推定される各地域の地震入力レベル

応答解析により得られた表 7.7 (a) ~ (k) の結果から、各地域の地震入力レベルに関して、おおよその値を推測することができる。(a) の小千谷市の結果からは、小千谷市では、場所によっては、基準法 2 種地盤の入力レベル程度かそれよりやや大きい可能性があるかと推測される。また、震源である川口町では、場所によっては基準法 2 種地盤の入力レベルの 2 倍程度の入力レベルであった可能性がある。その他の地域では、旧堀之内町、旧川西町、栃尾市、長岡市等で、場所によっては基準法 2 種地盤の入力レベル程度の入力があった可能性があるかと推測される。なお、兵庫県南部地震においても、同様に建物への地震入力レベルを推定した研究が行われており、その結果からは、激震地における地震入力は、基準法の設計レベルの 1.5 ~ 2 倍程度の入力レベルであったと推定されている<sup>7.8)</sup>。



表 7.7(a) 小千谷市の地震入力レベル等一覧

市町村名	建物記号	建築年	入力地震動	固有周期 (秒)	鉄骨層の 目標応答 塑性率	入力地震動の 原波乗率		損傷に寄与する エネルギーの速 度換算値(cm/s)		基準法2種 地盤擬似 速度応答 スペクトル (cm/s)	地震入力レベル(基準 法擬似速度応答スペク トルに対する比)	
						EW	NS	EW	NS		EW	NS
小千谷市	OJY-1	1982	JMA-小千谷 EW(898gal) NS(779gal)	0.20	1	0.82	0.62	53.3	52.9	38.2	1.40以下	1.39以下
	OJY-2	1989		0.21	1	0.88	0.64	51.7	53.7	40.1	1.29以下	1.34以下
	OJY-3	1994		0.22	1	0.45	0.62	45.1	44.4	42.0	1.07以下	1.06以下
	OJY-4	1970		0.27	1	0.21	0.22	21.1	20.3	51.6	0.41以下	0.39以下
	OJY-5	1976		0.26	1	0.19	0.26	28.4	27.7	49.6	0.57以下	0.56以下
	OJY-6	1985		0.21	1	0.89	0.74	54.9	58.5	40.1	1.37以下	1.46以下
	OJY-7	1970		0.25	2	0.56	0.56	53.5	53.1	47.7	1.12	1.11
	OJY-8	1966		0.22	3	0.56	0.53	58.8	57.5	42.0	1.40以上	1.37以上
	OJY-10	1987		0.26	1	0.17	0.17	18.6	17.4	49.6	0.37以下	0.35以下
	OJY-11	1981		0.26	3	0.33	0.38	38.6	32.4	49.6	0.78	0.65
	OJY-12	古い		KNET-小千谷 EW(1314gal) NS(1144gal)	0.30	3	0.27	0.30	27.7	30.6	57.3	0.48以上
	OJY-14	1971	0.28		1	0.20	0.31	24.9	24.7	53.5	0.47以下	0.46以下
	OJY-15	1967	0.38		1	0.11	0.17	14.1	15.0	72.6	0.19	0.21
	OJY-17	1971	0.35		1	0.15	0.11	19.7	19.7	66.8	0.29以下	0.29以下
	OJY-18	1984	0.29		1	0.31	0.39	39.4	38.5	55.4	0.71以下	0.69以下
	OJY-19	1982	0.20		1	0.69	0.96	55.4	54.1	38.2	1.45以下	1.42以下
	OJY-20	1974	0.21		2	0.64	0.71	53.4	51.5	40.1	1.33	1.28
	OJY-25	1970	0.30		2	0.30	0.34	38.2	40.5	57.3	0.67	0.71
	OJY-26	1978	0.21		1	0.37	0.51	30.9	30.2	40.1	0.77以下	0.75以下
	OJY-21	1988	NIIGATA-川口 EW(1676gal) NS(1142gal)		0.20	1	0.78	0.66	59.1	55.7	38.2	1.55以下
	OJY-22	1983		0.20	1	0.73	0.53	54.1	51.5	38.2	1.42以下	1.35以下
	OJY-23	1981		0.21	1	0.81	0.39	43.7	46.2	40.1	1.09以下	1.15以下
	OJY-24	1985		0.25	2	0.53	0.65	58.1	55.2	47.7	1.22	1.16

表 7.7(b) 川口町の地震入力レベル等一覧

市町村名	建物記号	建築年	入力地震動	固有周期 (秒)	鉄骨層の 目標応答 塑性率	入力地震動の原 波乗率		損傷に寄与するエ ネルギーの速度換 算値(cm/s)		基準法2種 地盤擬似 速度応答 スペクトル (cm/s)	地震入力レベル(基準 法擬似速度応答スペク トルに対する比)	
						EW	NS	EW	NS		EW	NS
川口町	KWG-1	1983	NIIGATA-川口 EW(1676gal) NS(1142gal)	0.21	1	0.90	0.40	51.0	48.9	40.1	1.27以下	1.22以下
	KWG-2	1994		0.21	3	1.10	1.06	78.4	81.1	40.1	1.96	2.02
	KWG-3	1986		0.23	3	1.03	1.24	97.6	102.1	43.9	2.22以上	2.33以上
	KWG-4	1976 (1997)		0.21	1	0.78	0.44	48.6	48.7	40.1	1.21以下	1.21以下
	KWG-5	1984		0.22	1	0.72	0.33	47.8	43.8	42.0	1.14以下	1.04以下

表 7.7(c) 旧堀之内町の地震入力レベル等一覧

市町村名	建物記号	建築年	入力地震動	固有周期 (秒)	鉄骨層の 目標応答 塑性率	入力地震動の 原波乗率		損傷に寄与する エネルギーの速 度換算値(cm/s)		基準法2種 地盤擬似 速度応答 スペクト ル(cm/s)	地震入力レベル(基準 法擬似速度応答スペ クトルに対する比)	
						EW	NS	EW	NS		EW	NS
旧堀之内 町	HRN-1	1993	NIIGATA-川口 EW(1676gal) NS(1142gal)	0.21	1	1.10	0.46	63.0	58.1	40.1	1.57以下	1.45以下
	HRN-7	1980		0.25	1	0.21	0.16	17.6	15.6	47.7	0.37以下	0.33以下
	HRN-2	1972	KNET-小出 EW(408gal) NS(522gal)	0.29	3	0.95	0.75	44.3	48.4	55.4	0.80以上	0.87以上
	HRN-4	1971		0.28	3	1.04	0.76	49.1	48.7	53.5	0.92以上	0.91以上
	HRN-5	1973		0.33	3	1.25	1.02	47.8	51.8	63.0	0.76以上	0.82以上
	HRN-6	1978		0.22	2	0.85	0.86	49.0	52.1	42.0	1.17	1.24

表 7.7(d) 旧小出町の地震入力レベル等一覧

市町村名	建物記号	建築年	入力地震動	固有周期 (秒)	鉄骨層の 目標応答 塑性率	入力地震動の原 波乗率		損傷に寄与するエ ネルギーの速度換 算値(cm/s)		基準法2種 地盤擬似 速度応答 スペクト ル(cm/s)	地震入力レベル(基準 法擬似速度応答スペ クトルに対する比)	
						EW	NS	EW	NS		EW	NS
旧小出町	KID-1	1978	KNET-小出 EW(408gal) NS(522gal)	0.38	1	0.31	0.18	12.1	10.1	72.6	0.17以下	0.14以下
	KID-3	1975		0.29	1	0.29	0.27	17.7	19.1	55.4	0.32以下	0.34以下
	KID-5	1974		0.15	1	1.86	0.91	48.7	50.1	27.6	1.76以下	1.82以下

市町村名	建物記号	建築年	入力地震動	固有周期 (秒)	鉄骨層の 目標応答 塑性率	入力地震動の原 波乗率		損傷に寄与するエ ネルギーの速度換 算値(cm/s)		基準法2種 地盤擬似 速度応答 スペクト ル(cm/s)	地震入力レベル(基準 法擬似速度応答スペ クトルに対する比)	
						EW	NS	EW	NS		EW	NS
旧大和町	YMT-1	1992	KNET-小出 EW(408gal) NS(522gal)	0.21	1	0.39	0.33	21.9	19.4	40.0	0.55以下	0.49以下
	YMT-2	1992		0.23	1	0.83	0.86	43.2	42.8	43.9	0.98以下	0.97以下

表 7.7(e) 旧大和町の地震入力レベル等一覧

表 7.1(f) 十日町市の地震入力レベル等一覧

市町村名	建物記号	建築年	入力地震動	固有周期 (秒)	鉄骨層の 目標応答 塑性率	入力地震動の原 波乗率		損傷に寄与するエ ネルギーの速度換 算値(cm/s)		基準法2種 地盤擬似 速度応答 スペクト ル(cm/s)	地震入力レベル(基準 法擬似速度応答スペ クトルに対する比)	
						EW	NS	EW	NS		EW	NS
十日町市	TOK-1	1968	KNET-十日町 EW(849gal) NS(1716gal)	0.30	3	0.53	0.57	49.8	64.0	57.3	0.87以上	1.12以上
	TOK-2	1966		0.27	2	0.35	0.32	41.1	48.0	51.6	0.80	0.93
	TOK-3	1994		0.33	1	0.21	0.22	31.3	36.1	63.0	0.50以下	0.57以下
	TOK-4	1981		0.27	1	0.19	0.12	22.4	21.9	51.6	0.43以下	0.42以下

表 7.7(g) 旧川西町の地震入力レベル等一覧

市町村名	建物記号	建築年	入力地震動	固有周期 (秒)	鉄骨層 の目標 応答塑 性率	入力地震動の 原波乗率		損傷に寄与する エネルギーの速 度換算値(cm/s)		基準法2種 地盤擬似 速度応答 スペクト ル(cm/s)	地震入力レベル(基準 法擬似速度応答スペ クトルに対する比)	
						EW	NS	EW	NS		EW	NS
旧川西町	KWN-1	1978	NIIGATA-川西 EW(649gal) NS(681gal)	0.29	3	0.89	1.00	55.0	55.3	55.4	0.99以上	1.00以上

表 7.7(h) 栃尾市の地震入力レベル等一覧

市町村名	建物記号	建築年	入力地震動	固有周期 (秒)	鉄骨層 の目標 応答塑 性率	入力地震動の 原波乗率		損傷に寄与する エネルギーの速 度換算値(cm/s)		基準法2種 地盤擬似 速度応答 スペクト ル(cm/s)	地震入力レベル(基準 法擬似速度応答スペ クトルに対する比)	
						EW	NS	EW	NS		EW	NS
栃尾市	TCO-1	1974	KNET-長岡支所 EW(706gal) NS(871gal)	0.29	1	0.27	0.24	24.0	23.8	55.4	0.43以下	0.43以下
	TCO-2	1970		0.25	3	0.60	0.53	61.3	54.0	47.7	1.29以上	1.13以上

表 7.7(i) 長岡市の地震入力レベル等一覧

市町村名	建物記号	建築年	入力地震動	固有周期 (秒)	鉄骨層 の目標 応答塑 性率	入力地震動の原 波乗率		損傷に寄与するエ ネルギーの速度換 算値(cm/s)		基準法2種 地盤擬似 速度応答 スペクト ル(cm/s)	地震入力レベル(基準 法擬似速度応答スペ クトルに対する比)	
						EW	NS	EW	NS		EW	NS
長岡市	NGO-1	1966	KNET-長岡 EW(369gal) NS(469gal)	0.22	3	0.90	0.88	54.1	52.5	42.0	1.29以上	1.25以上
	NGO-2	1979		0.29	1	0.25	0.21	24.2	21.9	55.4	0.44以下	0.40以下
	NGO-3	1981	KNET-長岡支 所 EW(706gal) NS(871gal)	0.23	1	0.57	0.57	32.0	30.7	43.9	0.73以下	0.70以下
	NGO-4	?		0.14	1	0.82	0.57	52.5	49.9	24.7	2.13以下	2.02以下

表 7.7(j) 旧越路町の地震入力レベル等一覧

市町村名	建物記号	建築年	入力地震動	固有周期 (秒)	鉄骨層 の目標 応答塑 性率	入力地震動の 原波乗率		損傷に寄与する エネルギーの速 度換算値(cm/s)		基準法2種 地盤擬似 速度応答 スペクト ル(cm/s)	地震入力レベル(基準 法擬似速度応答スペ クトルに対する比)	
						EW	NS	EW	NS		EW	NS
旧越路町	KSJ-1	1971	JMA-長岡 EW(430gal) NS(396gal)	0.23	2	0.76	0.68	40.4	39.5	43.9	0.92	0.90
	KSJ-2	1964		0.32	1	0.20	0.39	21.0	21.3	61.1	0.34以下	0.35以下
	KSJ-4	1982	NIIGATA-小国 EW(692gal) NS(395gal)	0.23	1	0.60	1.17	31.8	29.2	43.9	0.72以下	0.67以下

表 7.7(k) 旧小国町の地震入力レベル等一覧

市町村名	建物記号	建築年	入力地震動	固有周期 (秒)	鉄骨層 の目標 応答塑 性率	入力地震動の 原波乗率		損傷に寄与する エネルギーの速 度換算値(cm/s)		基準法2種 地盤擬似 速度応答 スペクト ル(cm/s)	地震入力レベル(基準 法擬似速度応答スペ クトルに対する比)	
						EW	NS	EW	NS		EW	NS
旧小国町	OGN-1	1972	NIIGATA-小国 EW(692gal) NS(395gal)	0.24	1	0.51	1.12	30.9	29.1	45.8	0.67以下	0.64以下




## 7.6 非構造部材の被害の分析

非構造の被害と構造の被害（主に桁行方向のブレース被害で評価）の比較を行った。構造の被害から桁行方向の変形角を推定すると小破までは、1/300以下、中破で1/150程度、大破では、およそ1/100からそれ以上の変形角に相当すると考えられる。

### (1) ガラス窓の被害の分析

はめ殺し窓の被害と構造の被害は、構造が他の体育館と大きく異なるもの（\*マーク）を除きほぼ対応しており、取り付けられた構面の面内変形によって破損したと考えられる。一方、引き違い窓は、構造が無被害の場合にも被害が報告されており、それらは現行基準が適用されたと思われる建物であった。引き違い窓は、これまでの震災報告や実験によって十分大きな面内の層間変形角に追従することが報告されていることから面内の層間変形角（構造体の構面内の変形）以外の要因によって破損したものと考えられる。調査結果では、窓枠と下地骨組みとの接合金物の脱落や下地骨組みの破損などが認められている。

表 7.8 はめ殺し窓の被害状況

非構造被害 \ 構造被害	非構造被害		
	無被害（軽微）	数枚破損	多数破損
無被害（軽微）			
小破			
中破			
大破			

グレージングチャンネル  スチールサッシ  
 弾性シーリング材  
 硬化パテ  1982年以降竣工・改修  
 その他・不明

表 7.9 引き違い窓(可動窓)の被害状況

非構造被害 \ 構造被害	非構造被害		
	無被害(軽微)	数枚破損	多数破損
無被害(軽微)			
小破			
中破			
大破			

グレージングチャンネル ■ スチールサッシ  
 弾性シーリング材  
 硬化パテ □ 1982年以降竣工・改修  
 その他・不明

(2)外装材の被害の分析

金属系外装材は、今回調査した建物では使用されているものが多くこの地方では一般的な外装であり被害も少なかった。それ以外のセメント系やコンクリート系のパネル材でも、ひび割れなどの被害は認められたがパネルの脱落といった大きな被害は認められなかった。ALC パネルについては、調査件数は少なかったが横壁ボルト止め構法では、ひび割れ程度の被害であったが、縦壁挿入筋構法では脱落した事例が認められた。モルタルを用いたラスシートモルタル、ラスボードモルタル、ラスモルタルでは、古い建物ではあったが大きな面積で脱落している事例が報告されている。

表 7.10 金属系外装材の被害状況

非構造被害 \ 構造被害	桁行き壁			妻壁		
	無被害(軽微)	小破	脱落	無被害(軽微)	小破	脱落
無被害(軽微)						
小破						
中破						
大破						
被害不明						

□ 1982年以降竣工・改修

表 7.11 外装パネルの被害状況

非構造被害 構造被害	桁行き壁			妻壁		
	無被害（軽微）	小破	脱落	無被害（軽微）	小破	脱落
無被害（軽微）	□ 波板	□□ 横壁		□ □ □ □ 波板	□ □ □ □ 横壁	
小破	□□□□			□□□□ ポリエステル波板		
中破						
大破						
構造被害不明						

セメント系  
 コンクリート系    □ 1982年以降竣工・改修  
 ALCパネル  
 その他

(3) 内装仕上材の被害の分析

内装仕上材では、桁行き壁での脱落の事例は少ないが、妻壁では多くの被害事例が報告されている。それらは現行基準が適用されたと思われる建物が多かった。構造の被害や構造基準の新旧の違いは認められない。落下した壁材を確認できた範囲では合板や木質系せんい板では、接着工法のものが認められた。

表 7.12 内装仕上材(パネル)の被害状況

非構造被害 構造被害	桁行き壁			妻壁		
	無被害(軽微)	小破	脱落	無被害(軽微)	小破	脱落
無被害(軽微)						
小破						
中破						
大破						

合板類  
 木質系繊維板  
 木毛セメント板  
 その他・不明

1982年以降竣工・改修

(4)天井の被害の分析

今回の調査対象では、写真 7.73、7.74 に示すような面内あるいは面外で交叉した水平ブレースをかねた鋼材に木毛セメント板をボルト止めしたものが多かった。構造の被害の小さなものでは天井の被害も認められなかった。また、同じ工法の天井で現行基準に適合するように耐震補強が行われた建物と旧基準のものがあつたが、耐震補強が行われた建物では天井の被害は軽微で、旧基準のものではブレースが破断しており天井材も破損落下した。木毛セメント板のボルト止めの部分が引っ張られたように破損していることから格子が変形したことが想像される。落下したロックウール吸音板張りの捨張り工法の天井は、これまでの震災報告で指摘のある段差をつけた天井であつた。化粧グラスウールボードの天井では、構造体が RC のため表 7.13 には出てこないが落下していた。ボードの落下を防止する金物は付いていなかった。アリーナ以外では、舞台の天井の落下が多く報告されていた。舞台の天井は、アリーナとの境の大きな非耐力壁と舞台裏との境の階高の途中までの壁に囲まれている。この壁との取り合い部分で多く天井材が剥がれ落ちていた。天井にブレースが貫通する部分では、ブレースの動きによるわれや欠けが生じていた。



写真 7.73 木毛セメント板天井(面内交叉)



写真 7.74 木毛セメント板天井(面外交叉)

表 7.13 天井の被害状況

非構造被害 構造被害	アリーナ			舞台		
	無被害(軽微)	小破	脱落	無被害(軽微)	小破	脱落
無被害(軽微)						
小破						
中破						
大破						

合板類・木質系繊維板  
 グラスウールボード  
 木毛セメント板  
 せっこうボード,せっこうボード+ロックウール

1982年以降竣工・改修

#### (5)照明の被害の分析

吊り下げ型の照明器具で電球の破損、カバーの脱落、照明器具の脱落が認められた。脱落をした部位を調べると着脱を容易にするためにねじやボルトに引っ掛ける構造となっているためその部分が緩んだり抜けたりして被害を生じていた。構造被害との関連は、あまり認められない。また、構造体の現行基準、旧基準による差も認められなかった。



表 7.14 照明器具の被害状況

非構造被害 構造被害	アリーナ			舞台		
	無被害（軽微）	破損	脱落	無被害（軽微）	破損	脱落
無被害（軽微）						
小破						
中破						
大破						

1982年以降竣工・改修

## 7.7 まとめ

### 7.7.1 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ほとんど見られないものの、桁行方向のブレース材の座屈・破断、ブレース材接合部の破断、間柱脚部のアンカーボルトの破断等の被害が見られた。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。また、屋根面水平ブレースの被害、床の沈下の被害も見られた。

建築年に着目し、1981 年以前（旧建築基準）と 1982 年以後（現行建築基準）で被害状況の分析を行った。その結果、ブレース材及びその接合部の被害、柱脚部の被害については明らかに旧基準の体育館にそれらの被害が多いことがわかった。一方、屋根面水平ブレースの被害、床の沈下の被害に関しては、旧基準の体育館、現行基準の体育館にそれほど被害率の差はなかった。

調査した範囲では、耐震診断・耐震補強が実施されていた体育館は少なかった。体育館が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、特に旧基準の体育館の耐震診断・耐震補強について早急を実施することが必要である。

地震応答解析により、各地域における地震入力レベルを推測した。その結果、小千谷市では、場所によっては、建築基準法に定める 2 種地盤の入力レベル程度かそれよりやや大きい入力レベルであった可能性があるかと推測される。また、震源の川口町では、場所によっては建築基準法に定める 2 種地盤の 2 倍程度の入力レベルであった可能性がある。その他の地域では、旧堀之内町、旧川西町、栃尾市、長岡市等で、場所によっては建築基準法 2 種地盤に定める入力レベル程度の入力があった可能性があるかと推測される。

### 7.7.2 非構造部材の被害について

本報告では、非構造部材の被害と構造被害（桁行方向のブレース被害で評価）の比較を行うことにより非構造部材の被害の特性とその後の対策について検討を行った。

はめ殺し窓では、構造被害（桁行方向のブレース被害で評価）との相関が高く桁行方向の層間変形によって破損したことが想像できる。一方、引き違い窓では、構造被害の軽微な建物でも多数のガラスが破損した建物が数件認められた。これらの建物は、現行基準が適用されているであろう年度に竣工した建物であった。現行基準が適用されていない建物では、多数の窓に被害のあった建物は構造被害も受けていた。個別の窓の破損の状況やこれまでの地震における引き違い窓の被害状況を考慮するとこれらの被害は面内に生じた層間変形角によるものではなく慣性力や他の部材の破損や変形によって引き起こされたものと思われる。また、サッシの落下が 2 段窓の上段で多く見られた。上下動で多数が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調査が必要であろう。

外装材では、金属系外装材や外装パネル材では、構造被害にかかわらず大きな被害は認められなかった。ラスシートモルタルやラスモルタルなどのモルタルを用いた外装は、古い建物が多かったが大きな面積で脱落するものが多く認められた。

室内壁では、舞台周辺の妻壁で壁材の脱落するものが認められた。数枚の脱落は竣工年の新しいものでも発生していた。

天井材では、調査した建物の中では使用例の多い水平ブレースを兼用した鋼材の斜め格子に木毛セメント板を用いた天井では、天井の傾斜部分で落下しているものが構造被害の大きな建物で多かった。耐震改修を行った建物が1件あったが、この建物では構造被害も軽微で天井も落下していなかった。ほぼ同じ仕様の建物で耐震改修していないものではブレースが切断し天井も落下していた。

照明器具では、構造被害の程度にかかわらず落下するものが認められた。

新耐震設計法施行以後は、一部の建築物を除いて構造体部分に中地震時における層間変形角の制限（通常1/200、最大でも1/120）があることから今回分析に用いた桁行き（ブレース）方向だけでなく妻面においても構造体の変形が小さくなっていることを期待できるものと思われる。構造被害との分析の結果、はめ殺し窓や外装材、天井の一部では、構造被害（変形）が小さくなることにより被害が少なくなることが予想される。一方、引き違い窓（可動窓）や妻面の内壁、照明器具では、構造被害との関連が認められず、現行基準の建物では構造被害が軽微なものでも被害を生じていた。これらの部材では、耐震性の改善が期待される。

### 7.7.3 今後の課題

現行基準で設計された体育館に関して、屋根面水平ブレースの被害や引き違い窓（可動窓）等に少なからず被害が見られた。体育館は、震災時に避難所として使われることが多いが、これらの被害のために避難所として使用できない場合もあると考えられることから、これらの被害の原因を明らかにするとともに、対策技術を確立することが重要と考えられる。

### 参考文献

- 7.1) 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16年新潟県中越地震建築物被害調査報告（速報）」平成16年12月
- 7.2) 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、2004.8
- 7.3) 秋山宏：エネルギーの釣合に基づく建築物の耐震設計、技報堂出版、1999.11
- 7.4) 小川厚治、井上一朗、中島正愛：損傷に寄与する地震入力エネルギーに関する考察、日本建築学会構造系論文集、第530号、pp.177-184、2000.4
- 7.5) 井上一朗：鋼構造の耐震設計の原点、建築技術、No.619、pp.112-119、2001.9

7.6) 耐震改修促進法のための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(1996)、(財)日本建築防災協会、1996.9

7.7) 建築耐震設計における保有耐力と変形性能(1990)、日本建築学会、1990.10

7.8) 北村春幸、寺本隆幸、鵜飼邦夫、村上勝英、秋山宏、和田章：兵庫県南部地震における建築物の被害研究 建物被害に基づく地震エネルギー入力評価、日本建築学会構造系論文集、第503号、pp.165-170、1998.1

#### 謝辞

二次調査において共同で調査に参加していただいた社団法人日本鉄鋼連盟、社団法人日本鋼構造協会に謝意を表します。