

多雪地域に建つ既存鉄骨造体育館の耐震性能に関する研究 (その2 新潟県中越地震における耐震補強効果の検証)

正会員 小塚 あずさ*
同 村山 双美*
同 土井 希祐**

既存鉄骨造体育館 耐震診断
耐震補強 新潟県中越地震

1. 研究目的

その1では新潟県中越地震における既存鉄骨造体育館の被災状況を報告した。その2では、多雪地域である新潟県における既存鉄骨造体育館の耐震診断・耐震補強の結果を分析し、一般的傾向を把握すると共に、新潟県中越地震の被災地域で行われていた耐震補強の効果の検証を行い、今後の耐震補強に役立てることを目的とする。

2. 新潟県中越地震の被災地域

対象とした被災地域はその1と同様である。新潟県内における38棟の耐震診断・耐震改修事例から被災地域の事例を収集し検証した(表1)。被害状況を比較するために、新耐震設計の体育館や耐震診断・耐震改修未実施の体育館を含めて検証・分析した。

3. 被災地域における体育館の耐震診断・耐震補強

建築年代と構造形式

体育館は60年代前半から80年代前半に建てられており、構造形式としては1層でRC造の上にS造が乗ったもの(RS1c)が多い。

耐震診断におけるIs値決定要因と靱性指標F

桁行方向はブレース接合部で決定される事例が大半で、 $F=1.3$ となっている。梁間方向は部材耐力で決定されることが多く、Nc5の柱-梁パネル部分等の耐力不足といった決定要因もあり、 $F=2.5$ 程度が多い。また屋根面ではブレースの耐力不足や伝達能力不足のものが多い。

積雪荷重

耐震診断・耐震改修事例では自然落雪等を考慮して100cm(県立高校は70cm)で診断・補強設計されている。

補強方法(表2)

耐震診断の結果を基に計画された補強は、桁行方向の軸組ブレースと屋根面ブレースの取替・増設、軸組ブレース構面内の梁の新設が大半を占めている。Ab95、Nc5、Nc20の3棟は梁間方向の補強も行っている。

補強後のIs値とq値

補強設計の結果、どの体育館も耐震判定指標Is 0.7、かつ保有水平耐力に係る指標q 1.0となるよう、補強設計がなされている。Nc20の下部は壁面がRC造であり、RC造の判定基準を満たすよう補強されている。

表1 被災地域における耐震診断・耐震改修実施状況

状況	体育館	方向	Is値	F値	Is値決定要因
診断済・未改修(b)	Yb26	桁行	0.33	1.3	ブレース接合部
		梁間	0.88	1.6	柱ラチス材座屈降伏
	Nb2	桁行	0.19	1.3	ブレース接合部(非保有耐力接合)
		梁間	0.76	2.5	部材耐力
	Nb4	桁行	0.24	1.3	ブレース接合部(非保有耐力接合)
		梁間	0.81	2.3	部材耐力
	Tb68	桁行	0.10	1.3	軒梁耐力
		梁間	1.28	1.3	中間フレーム:柱脚及び弦材の継手、妻面フレーム:弦材の座屈及び引張降伏
	Ab95	桁行	0.41	1.3	ブレース接合部破断、間柱柱脚せん断破断
		梁間	1.01	1.3	柱脚せん断破断・曲げ破断
	Db76	桁行	0.35	1.3	ブレース接合部破断
		梁間	0.70	1.7	
	Hb82	桁行	0.48	1.3	ブレース接合部
		梁間	1.33	2.0	柱脚破断及び梁継手の破断
	Hb83	桁行	0.27	1.3	ブレース接合部
		梁間	0.76	2.2	柱脚及び梁弦材の座屈
Tb77	桁行	0.16	2.2	軒梁トラス材の座屈	
	梁間	0.75	1.3	柱脚のアンカーボルトの耐力	
Bb96	桁行	0.22	1.3	ブレース端部破断	
	梁間	0.92	1.5	柱脚破断及びパネル部の耐力、基礎回転	
Nb78	桁行	0.16	1.4	ブレース接合部(非保有耐力接合)、部材耐力	
	梁間	0.82	2.1	基礎の転倒	
診断済・改修済(c)	Wc30	桁行	0.08	1.3	梁座屈、ボルト破断
		梁間	0.70	1.8	フレーム柱頭部分の曲げ耐力
	Nc5	桁行	0.00	1.3	ブレース接合部(非保有耐力接合)
		梁間	0.43	2.5	パネル部の耐力
	Nc9	桁行	0.54	1.3	ブレース接合部(非保有耐力接合)
		梁間	1.24	2.4	部材耐力
	Nc14	桁行	0.33	1.3	ブレース接合部(非保有耐力接合)
		梁間	1.01	2.4	鉄骨柱及び杭基礎の回転耐力小
	Nc20	桁行	0.36	不明	柱・梁鉄筋量不足による耐力不足
		梁間	0.25	不明	中間フレーム耐力不足

体育館の記号の頭文字は、各々市町村を表す。

W:川口町(震度7) Y:旧山古志村(6強) D:小千谷市(6強)

T:十日町市(6強) N:長岡市(6弱) H:旧堀之内町(6弱)

R:旧広神村(6弱) A:栃尾市(6弱) B:旧川西町(6弱)

K:旧小出町(5強)

4. 新潟県中越地震における被害状況と診断結果の検討

被害の大半は、軸組ブレース及び屋根面ブレースの座屈・破断であり、その他、サッシの破損等、非構造要素破損が多く見られ、避難所として使用しにくい体育館もあった。一方、耐震改修済みの体育館はほとんど被害が見られなかった。Nb2とNd51は距離的に近いが、Nb2が比較的平坦な地盤で無被害であったのに対して、Nd51は丘陵の上であり、盛土や切土によって造成した地盤の上に建つため、新耐震設計ではあるが、ブレースの座屈・破断等の被害が生じている。Yb26は小破であった(表3)。耐震診断ではブレース接合部の破断と柱ラチス材の座屈の恐れ、屋根面ブレースの耐力不足とあり、実際の被害と概ね一致している。補強計画では、被害が生じた部分は補強されることになっており、診断はほぼ的確であったといえる(表2)。

5. 補強効果の検討

Wc30 中学校, Wd41 小学校

激震地にある Wc30 と Wd41 は距離的に近く、震度や地盤の状況もほとんど同じであると考えられる。Wc30 は床が 50 mm 程沈下し開口が見られるが、主要構造部分に被害はなく、軽微な被害に留まった。一方、Wd41 は全構面ブレースの座屈、柱脚部コンクリートのひび割れ等の被害が生じた²⁾。震度 7 の激震地域で、新耐震設計の Wd41 に比較的大きな被害が生じていることから考えると、軽微な被害に留まった Wc30 は耐震補強の効果が十分発揮されたと考えられる。

Nc5 小学校, Nd45 小学校, Na66 中学校

これらの体育館は山間部手前の比較的平坦な地盤の上に建っており、地盤の状況もほぼ同様と考えられる。被害状況は、耐震改修済みの Nc5 は無被害であり、新耐震設計の Nd45 と耐震診断未実施の Na66 には、屋根面ブレース接合部のボルトのすべり等、軽微な被害が生じた。この結果から、Nc5 は耐震補強の効果が発揮されたと考えられる。

Nc14 小学校, Nc9 小学校, Nb4 小学校

耐震改修済みの Nc14 と Nc9 は付属屋との取りあい部を除き無被害であり、耐震診断のみの Nb4 においても被害は生じなかった。西側の地域は今回の地震で建物全般的に被害が少ないが、Nc14 と Nc9 は無被害であり、耐震補強の効果はあったものと考えられる。

Nc20 高校, Na69 高校

長岡駅周辺の Nc20 と Na69 を比較すると、耐震改修済みの Nc20 は屋根面ブレースの座屈等、軽微な被害に留まり、主要構造部分に被害は生じなかった。Na69 はほとんど無被害であった。Nc20 は避難所として使用可能であり、耐震補強の効果があったものと考えられる。

Kd43 高校, Ka65 中学校, Ha70 高校

魚沼市の新耐震設計の Kd43 と耐震診断未実施の Ka65 と Ha70 では、Kd43 に軽微な被害が出ており、被災度調査後使用禁止が解除された。Ka65 と Ha70 は軸組ブレースの座屈・破断等の被害が生じており、避難所として使用できなかった。3 棟とも地震発生後の避難所として役割を十分に果たすことができておらず、Ka65 と Ha70 に関しては耐震診断・耐震改修の必要があると考えられる。

6. まとめ

新潟県中越地震の被災地域に建つ鉄骨造体育館に関する耐震診断結果は、実際の被害状況と整合する部分が多く、概ね的確であったと考えられる。そして、耐震改修により補強された 5 棟の体育館が避難所としての役割を果たすことができたこと、及び耐震診断・耐震改修未実施の体育館には被害が出ていることから、耐震診断を基に行われた耐震補強の効果は十分に発揮されたといえる。

表 2 補強方法

状況	体育館	補強面	箇所	方法
診断済・未改修 (b)	Yb26	桁行	軸組ブレース	ブレース取替・増設
			軸組ブレース構面内梁	水平部材増設
		屋根	屋根面ブレース ラチス梁	ブレース取替・増設 ラチス梁取替
	Tb68	桁行	軸組ブレース	ブレース取替・増設
	Ab95	桁行	軸組ブレース	ブレース増設
		梁間	梁(床梁) 柱梁接合部	1階床基礎増設 溶接補強
	Db76	桁行	軸組ブレース	ブレース取替・増設
	Hb82	桁行	軸組ブレース	ブレース増設
	Hb83	桁行	軸組ブレース	ブレース増設
	Tb77	桁行	軸組ブレース	ブレース及び軒梁増設
	Bb96	桁行	軸組ブレース	ブレース補強
		屋根	軒部 屋根面ブレース	桁梁及びツツギ梁増設 ブレース増設
	Nb78	桁行	軸組ブレース	ブレース増設
	診断済・改修済 (c)	Wc30	桁行	軸組ブレース
軸組ブレース構面内梁				水平部材新設
Nc5		桁行	軸組ブレース	ブレース新設
			軸組ブレース構面内梁	水平部材新設
		梁間	柱梁接合部 梁(中央棟下端)	ハンチ補強 ジョイントプレート補強
Nc9		桁行	軸組ブレース	ブレース取替
		屋根	屋根面ブレース	ブレース取替
Nc14		桁行	軸組ブレース	ブレース取替
			軸組ブレース構面内梁	水平部材新設
		屋根	屋根面ブレース	ブレース増設
Nc20		桁行	柱脚部	根巻
			壁面	RC壁増設
			壁面	RC壁増設
		梁間	梁(床梁) 柱	2階アリーナ床梁下側増打 1~2階RC柱の増打ち
			フレーム トラス	鋼管の方杖設置 アングル材の溶接補強
屋根		屋根面ブレース	ブレース補強	

表 3 被害状況

状況	体育館	構造要素	非構造要素
未実施 (a)	Na66	屋根面ブレース破断	
	Na69	床沈下	ステージ下物置及び外階段沈下
	Ha70	軸組ブレース破断、柱脚B.PL移動	
	Ka65	軸組ブレース座屈	舞台上部仕上材落下
診断済・未改修 (b)	Yb26	屋根面ブレース交点ガセットプレートの面外変形、高力ボルトすべり、下層部RC壁せん断ひび割れ(桁行・梁間)	
		Nb2	無被害
	Nb4	無被害	
	Tb68	軸組ブレース及びプレート座屈	
	Ab95	軸組ブレース座屈及び破断	
	Db76	軸組ブレース座屈	外壁一部落下、照明器具落下
	Hb82	軸組ブレース座屈、床沈下	
	Hb83	軸組ブレース座屈及び破断、柱脚B.PLの移動、床沈下	照明器具落下
	Tb77	軸組ブレース破断、床沈下	天井7割落下
診断済・改修済 (c)	Wc30	軸組ブレース座屈及び破断、床沈下	
		Nc5	無被害
	Nc9	無被害	
	Nc14	無被害	
	Nc20	屋根面ブレース座屈及び破断	
新耐震 (d)	Wd41	軸組ブレース座屈、破断(交差部、継手部)、鉄骨柱脚部下コンクリート柱頭のB.PLにひび割れ	
		Nd45	屋根面ブレース接合部ボルトのすべり及び破断、柱脚部コンクリートひび割れ
	Nd51	軸組ブレース座屈、柱脚部押しコンクリート損傷、屋根面ブレースがターンバックル位置で破断	
	Kd43	軸組ブレース座屈、屋根面ブレース座屈、床沈下	

参考文献：その 1 に示す

謝辞：本研究は平成 16 年度新潟大学工学部建設学科卒業研究として野澤正樹氏が行ったものである。ここに記して謝意を表します。

*新潟大学大学院自然科学研究科

**新潟大学工学部建設学科 教授・博(工)

* 1 Graduate School of Science and Technology, Niigata Univ.

** 2 Prof., Dept. of Arch. And Civil Eng., Niigata Univ., Dr. Eng.