

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

～新潟県中越地震における耐震補強効果の検証～

Study on Seismic Performance of Existing Steel Gymnasiums in Heavy Snowfall Area

- Verification on the Effect of the Seismic Retrofit in Mid Niigata Pref. Earthquakes -

村山 双美*¹ 小塚 あずさ*¹ 土井 希祐*²

Fumi MURAYAMA Azusa KOZUKA Mareyasu DOI

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、新潟県中越地震の被災地域で行われていた体育館の耐震補強の効果を検証した。被害状況を比較するため、耐震診断未実施、耐震診断済み、新耐震設計の体育館を含めて検証した。その結果、耐震補強を行った体育館は無被害又は軽微な被害に留まり、避難所としての役割を果たすことができたことなどから、耐震補強の効果は十分にあったことが分かった。

Existing Steel Gymnasiums, Earthquakeproof Diagnosis, Seismic Retrofit, Mid Niigata Pref. Earthquakes

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

学校施設は地震発生時において児童生徒の生命身体の安全を守ることが重要であり、特に体育館は地域住民の避難場所や防災拠点としての役割があり、より高い耐震性能の確保が要求される。近年、学校施設の耐震診断・耐震改修が進み、体育館についても事例が増加している。しかし、実際の地震に対して、耐震診断の的確さや耐震補強の効果は十分に検証されていない。

本研究では、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、その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ていくことを目的とする。

2. 新潟県中越地震被災地域の体育館

新潟県内における 30 棟の耐震診断・耐震改修事例から、

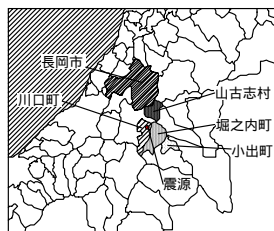


図 1 被災地域

表 1 被災地域の耐震診断・耐震改修状況

状況	体育館	方向	Is値	F値	Is値決定要因
未実施 (a)	Na66				
	Na69				
	Ha70				
	Ka65				
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	
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	
新耐震 (d)	Wd41				
	Nd45				
	Nd51				
	Kd43				

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:山古志村(6強) N:長岡市(6弱)
 H:旧堀之内町(6弱) K:旧小出町(5強)

*¹新潟大学大学院自然科学研究科

*²新潟大学工学部建設学科 教授・博(工)

被災地域の事例を収集し検証した(図1、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. 被災地域の体育館の耐震診断・耐震補強

建築年代と構造形式(図2)

体育館はNc20を除き、70年代前半から80年代前半に建てられており、構造形式としては純鉄骨造のもの(S1)が多い。要因として、高度経済成長と児童の増加により、学校施設の木造から鉄骨造への改築が増加したことが考えられる。

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(非保有耐力接合)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-梁のパネル部分、Nc20の中間フレーム部分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(表2)

新潟県は多雪地域のため積雪を考慮した耐震設計が必要であり、被災地域は豪雪地帯でもある。積雪荷重を考慮した設計がなされているならば、積雪の無いとき、被災地域の体育館は他の地域に比べ耐震性能が高いとも考えられる。耐震診断・耐震改修事例では自然落雪などを考慮して100cmで診断・補強設計されている。

補強方法(表3)

耐震診断の結果を基に行われた補強は、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。Nc5とNc20は梁間方向の補強も行っている。

補強後のIs値とq値(図3)

補強の結果、どの体育館もIs値・q値が判定値を満たす範囲まで引き上げられている。Nc20下部は壁面がRC造となっており、補強によりRC造の判定基準を満たしている。

4. 新潟県中越地震における被害状況と診断結果の検討

新潟県中越地震における被害状況を表4に示す。

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、柱・梁・フレームの破壊などの大規模な被害はない。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。サッシの破損や照明器具の落下など非構造要素の

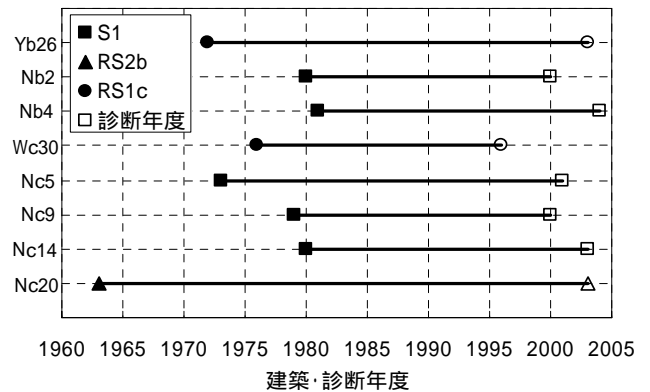


図2 建築年度・診断年度・構造形式
表2 積雪荷重

体育館	屋根梁形状	設計積雪量(cm)	積雪荷重(N/m ²)
Yb26	山形	100	2517
Nb2	山形	100	2629
Nb4	山形	100	2629
Wc30	かまぼこ型	100	3000
Nc5	山形	不明	不明
Nc9	山形	不明	不明
Nc14	山形	100	2629
Nc20	かまぼこ型	100	3000

表3 補強方法

体育館	補強面	箇所	方法
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
Wc30	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
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	ハンチ補強
		梁(中央棟下端)	ジョイントプレート補強
屋根	屋根面ブレース	ブレース取替	
Nc9	桁行	軸組ブレース	ブレース取替
		屋根面ブレース	ブレース取替
	柱脚部	根巻	
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
	柱脚部	根巻	
Nc20	桁行	壁面	RC壁増設
		壁面	RC壁増設
	梁間	梁(床梁)	2階アリーナ床梁下側増打
		柱	1~2階RC柱の増打ち
		フレーム	鋼管の方材設置
		トラス	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	

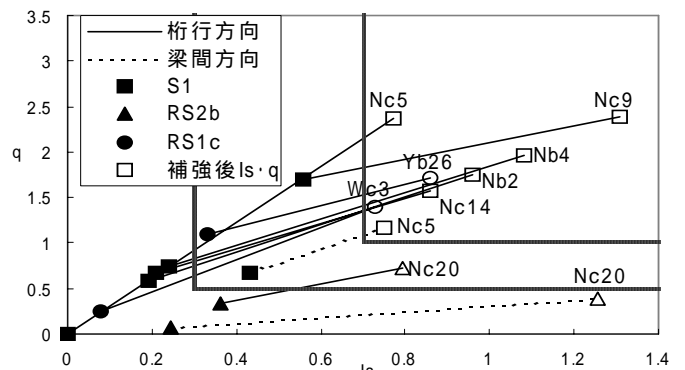


図3 補強後のIs値とq値

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。

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、プレースの座屈・破断等の被害が生じている。

Yb26 は小破であった(表4、写真1、写真2)。耐震診断ではプレース接合部の破断と柱ラチス材の座屈の恐れ、屋根面プ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3)。



写真1 屋根面プレース



写真2 高力ボルト

5. 補強効果の検討

Wc30 中学校と Wd41 小学校(表4、図4)

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 は全構面プレースの座屈、柱脚部コンクリートのひび割れ等の被害が生じた¹⁾。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(表4、図5、写真3、写真4)

長岡駅から南に 3~6 km に位置する Nc5、Nd45、Na66 を比較する。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、屋根面プ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。

表4 被害状況

状況	体育館	被害状況
未実施 (a)	Na66	屋根面プレース破断
	Na69	床、ステージ下物置、外階段沈下
	Ha70	軸組プレース破断、柱脚ベースプレート移動
	Ka65	軸組プレース座屈、舞台上部仕上材の落下
診断済・ 未改修 (b)	Yb26	屋根面プ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、床と壁際に20cm程の隙間 下層部RC壁せん断ひび割れ(桁行・梁間方向)
	Nb2	無被害
	Nb4	無被害
診断済・ 改修済 (c)	Wc30	床50mm程沈下
	Nc5	無被害
	Nc9	無被害
	Nc14	無被害
新耐震 (d)	Nc20	屋根面プレース座屈、破断
	Wd41	軸組プレース座屈、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に亀裂
	Nd45	屋根面プレース接合部ボルトの破断、すべり 柱脚部コンクリートひび割れ
	Nd51	軸組プレース座屈、柱脚部押えコンクリート損傷 屋根面プレースがターンバックル位置で破断
	Kd43	プレース座屈、屋根面プレース座屈、床板沈下

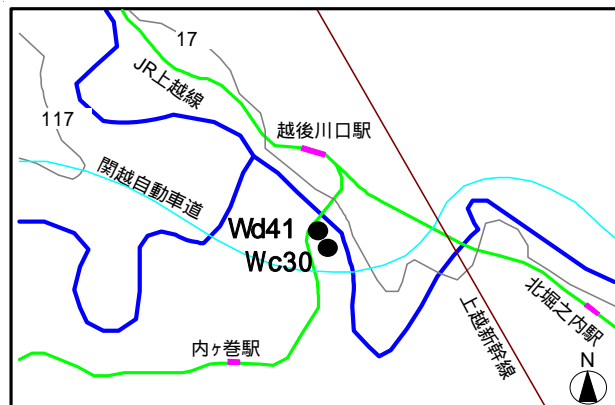


図4 Wc30、Wd41



図5 Nc5、Nd45、Na66



写真3
Nd45 ボルトのすべり



写真4
Na66 屋根面プレース破断

Nc14 小学校、Nc9 小学校、Nb4 小学校（表4、図6、写真5、写真6）

長岡駅より信濃川をはさんで西側に3~4kmの位置にあるNc14、Nc9、Nb4を比較すると、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、耐震補強をした体育館に被害は生じていないと考えられる。



写真5 Nc9 ブレース



写真6 Nc9 柱脚部

Nc20 高校とNa69 高校（表4、図7）

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と考えられる。

Kd43 高校、Ka65 中学校、Ha70 高校（表4、図8）

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。

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。

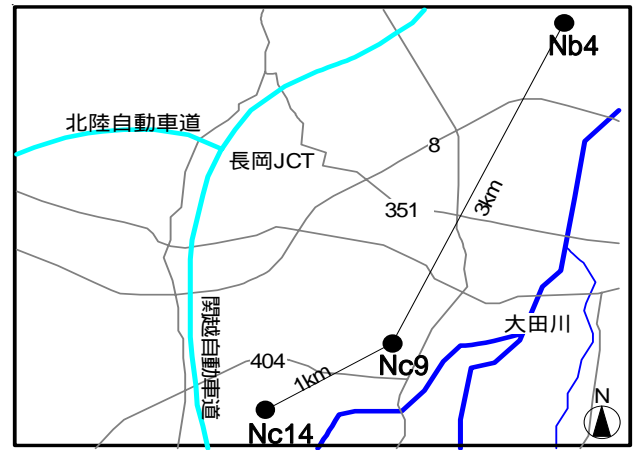


図6 Nc14, Nc9, Nb4



図7 Nc20, Na69



図8 Kd43, Ka65, Ha70

参考文献

- 1) (社)日本建築学会災害委員会、日本建築学会災害調査WG、日本建築学会北陸支部：「2004年10月23日新潟県中越地震の災害調査速報」
- 2) 小谷亮太、土井希祐：「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」、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造、2004、PP.905～PP.906
- 3) 野澤正樹：「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 - 耐震補強効果の検証 -」、平成16年度新潟大学工学部建設学科建築コース卒業論文