

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

—振動性状に基づく重層体育館の耐震性能評価法について—

T O 6 K 6 5 8 B 石田 輝如
指導教員 土井希祐教授

1. 研究の背景と目的

学校施設は地震発生時において生徒児童の生命・身体の安全を守ることが重要である。特に体育館には、地域住民の避難場所や防災拠点としての役割があり、より高い耐震性の確保が要求される。平成16年の新潟県中越地震以降、新潟県では学校施設の耐震診断・耐震補強が推進されており、体育館についても事例が増加している。

新潟県内に多雪地域(山間部)に多い重層体育館(図1)では、階数が多いことや下層のRC造の剛性が高い影響で上層のS造部分に大きな地震力がかかる特性がある。しかし耐震診断を行う際、1次固有周期に略算値を用いているため、重層体育館の特性を考慮した耐震評価が行われているとは言い切れない。

そこで本研究では、耐震診断済み重層体育館の振動性状から耐震性能を算出し、一般的な評価法との比較・検討を目的とする。

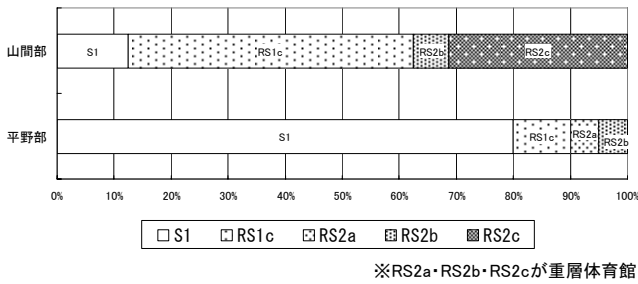


図1 地域別架構形式の割合

2. 研究概要

新潟県内の市町村立小中学校および新潟県立学校の既存鉄骨造体育館における耐震診断・耐震補強設計の事例を収集し、類似する構造タイプごとに分類し分析を行った。また、新潟県の多雪地域にある体育館に着目し、梁間方向における振動性状の解析を行いIs値、層せん断力、層間変形角を算出し、その結果を基に現状の耐震診断結果との比較、検討を行った。

3. 耐震性能判定と補強状況

学校体育館は、構造耐震指標 $I_s \geq 0.7$ かつ保有水平耐力指標 $q \geq 1.0$ と判定された場合、地震時に倒壊または崩壊す

る危険性が低いと定義し、補強の必要がないとされている。

体育館の桁行方向がブレース構造となっている事例がほとんどのため、耐震性能は極めて低く、1つの事例を除く全ての体育館で耐震補強が必要となっている。(図2)

その中でも重層体育館は、下層がRC造で剛性が高いため、上層S造部分にかかる地震力が大きくなる。そのため梁間方向においても耐震性能が低くなり、補強の必要となる場合が多い。(図3)

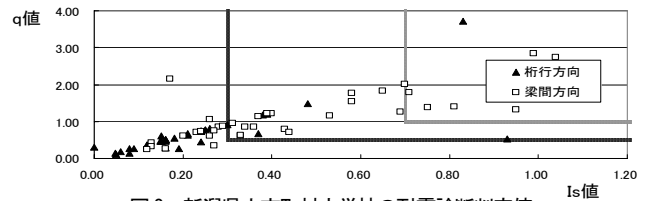


図2 新潟県内市町村立学校の耐震診断判定値

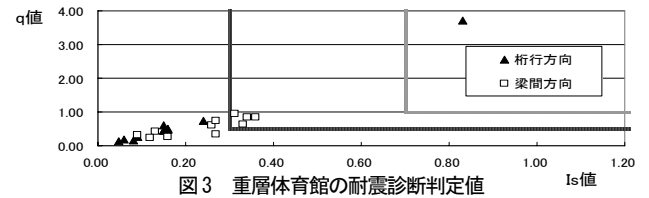


図3 重層体育館の耐震診断判定値

4. 対象体育館の概要とモデル化

本研究では多雪地域にあるTCK学校の体育館を対象とした(図4)。規模は棟高20.486mの地上3階(1・2階RC造、3階S造)、X(桁行)方向36.36m、Y(梁間)方向21.82mとなっている。また耐震診断報告書におけるIs値は、妻フレームS造部分(3階)で0.47、中間フレームでは0.75(下層RC造)と0.36(上層S造)となっている。また1次固有周期は第1種地盤であることから地盤の固有周期 $T_c (=0.4s)$ としている。

5. モデル化と解析方法

妻フレーム(1通り)と中間フレーム(3通り)を平面フレームとしてモデル化し解析を行う(図5)。その際、無開口耐震壁(妻フレーム2階)は圧縮力のみ作用するブレース材に置き換えた。またRC柱とS柱の接合部は、剛性の低い極短柱を設けることでヒンジとして設定する場合と、剛接合となるよう設定した場合の2通りでRC-S造の接合部をモデル化した。

モデル化した平面フレームをハウスホルダー・バイセクション法による振動解析プログラム¹⁾を使用しモード解析を行った。そしてモード解析により算出した1次固有周期を用いて減衰マトリクスを算出し、全体剛性マトリクスと全体質量マトリクスに重ねあわせることで振動解析を行う。なお、振動解析において使用した地震波は、ElCentro NS波とKOBE NS波の2種類である。更にモード解析により算出した1次固有周期をもとに地震力を求め、静解析を行った。

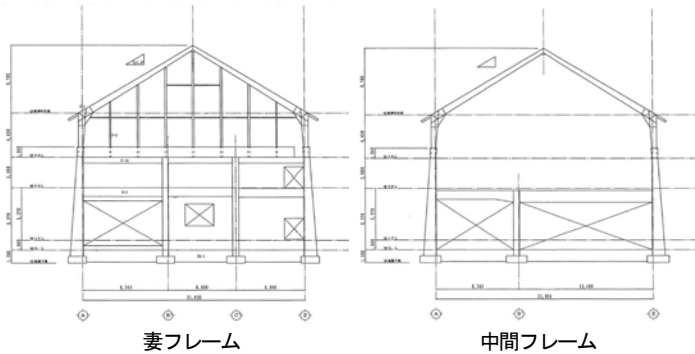


図4 各フレームの軸組図

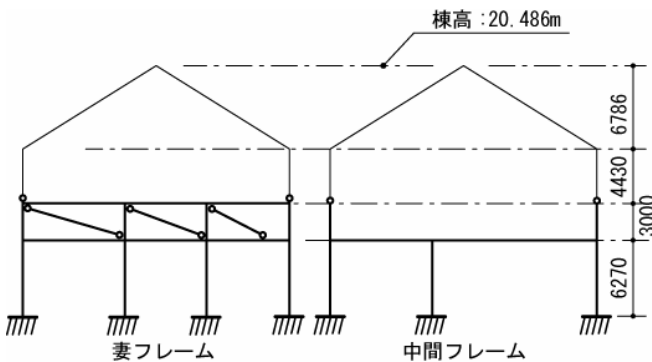
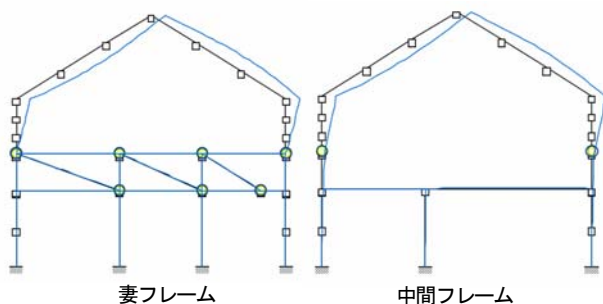


図5 モデル化した各フレーム(RC-S 接合部をヒンジとした場合)

6. モード解析結果と耐震性能の算定及び考察

耐震診断時と同条件になるよう、接合部にヒンジを設けた場合のモード解析の結果、1次固有周期は妻フレームで0.544s、中間フレームでは0.733sとなった。両方のフレームで $T_c (=0.4)$ を上回る結果となり、重層体育館の特性が示されている(図6)。そしてその1次固有周期を用いて I_s 値を算出したところ、耐震診断時の I_s 値との差が±0.03程度となり、大きな差異は生じなかった。高さ方向の分布係数(A_i)が1次固有周期の増長で I_s 値を減少させる効果があるのに対し、振動特性係数(R_t)が1次固有周期の増長で I_s 値を増加する効果がある。 A_i と R_t の関係が上手く釣り合っていることから固有周期の短長にとらわれず I_s 値が算出されたと考えられる。



7. 振動解析と静解析の結果と考察

モード解析と同様にRC-S接合部をヒンジとして振動解析と静解析を行った結果から、それぞれの層間変形角を算出した。そして静解析と振動解析の同じ位置における層間変形角の比率したところ、風上側全体と風下側の軒先部分で比率が異なる結果となった(表1、図7)。耐震診断時に地震力を算出する際、1次固有周期や A_i が大きくかわるため、1次固有周期に略算値を用いている重層体育館では、 A_i 以外の指標を加えて評価する必要があることが考えられる。

表1 中間フレームの層間変形角とその比率

場所	静解析			振動解析(ElCentro NS)		
	相対変位 (m)	層の高さ (m)	層間変形角	相対変位 (m)	層の高さ (m)	層間変形角
風下側	3.40E-03	6.27	$R1=0.00054$	9.16E-03	6.27	$R1=0.00146$
			$R_{1静}/R_{1静}$			269.5%
	7.12E-03	3.00	$R2=0.00237$	1.72E-02	3.00	$R2=0.00573$
			$R_{2静}/R_{2静}$			241.4%
	5.41E-02	4.43	$R3=0.0122$	6.26E-02	4.43	$R3=0.01414$

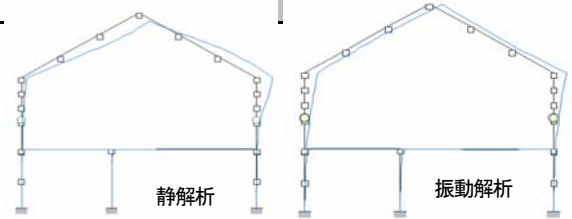


図7 中間フレームの変位(細線が変位を示す)

8. まとめ

1次固有周期が略算値よりも長くなるものの、 A_i と R_t の関係が上手く釣り合っていることから適切な I_s 値が算出されていると考えられる。しかし、層間変形角からみると、その変化の比率に差異があるので、重層体育館における耐震診断では1次固有周期を補正する指標を検討する必要がある。

参考文献

1) 藤井 大地 著:Excelで解く3次元建築構造解析、2005年 2月