

# 木造建築物を耐震改修する補強方法【基礎の補強方法】

## 揚屋 旧長井小学校第一校舎

藤原 薫◎(株)鈴木建築設計事務所

### 建物概要

旧長井小学校第一校舎は、昭和8年に建設された木造2階建、朱色の外壁が目立つ登録有形文化財である。今回、用途変更を伴う大規模木造建築のリノベーションにおいて、建築基準法等現行法令への適応と耐震性能の確保が重要なポイントとなった。

本建物は延床面積が2,000m<sup>2</sup>を超え、軒高が9.0mを超える大規模木造建築物であるため、設計時の基準によると耐火建築物とする必要がある。それを回避するため防火壁（建築基準法令第113条）を設置し、かつ防火壁を外部に突出させない工法とすることで、

外観の意匠性を損なわないように考慮した。また、スプリンクラー設備の設置と排煙窓を整備することで内装制限を除外し、既存の木仕上げを利用可能とした（写①）。

### 耐震補強計画（図1）

本建物は、改修によって外観と内観が変わることに制約があり、また多雪地域に立つ建物であるため、在来補強や制震補強では上部構造評点（ $I_{wo} \geq 1.0$ ）を満足できない。したがって、基礎免震構造としたうえで上部構造の在来補強も行う計画とした。

上部構造が免震架台重量に対して軽量であることが

ら、免震層の標準時接線周期  $T_f$  は5.5秒以上とする。異なる三種類の免震装置について試行錯誤の結果、減衰材として小径の剛すべり支承（摩擦係数0.011と0.046）、復元材として天然積層ゴム（径300mm、せん断弾性係数0.29N/mm<sup>2</sup>）を採用した（表1、図2）。

免震架台は面内外の床剛性を確保するために厚さ300mmの鉄筋コンクリート造フラットスラブとし、免震装置を支える基礎構造は厚さ275mmのべた基礎とする。

木造の耐震評価は「2012年改訂版木造住宅の耐震診断と補強方法」に準拠し、耐震性能評価は「既存鉄筋コンクリート造建築物の免震・制震による耐震改修ガイドライン」に準拠している。上部構造評点は  $I_{wo} \geq 1.1$  とし、時刻歴応答計算による上部構造評点は

（各階の保有水平耐力/各階の極稀地震時の最大応答せん断力）と定義する。

上部構造は極めて稀に発生する地震に対して、層間変形角が1/50以下とする。免震層の応答最大変位は30cm以下とし、安全限界変位を35cm、免震のクリアランスを40cmとする。

設計用入力地震動は告示波と代表的な観測波とし、告示波は異なる位相特性をもつ3波（神戸位相、ランダム位相、八戸位相）として作成した地震動に地域係数  $Z=0.9$  を乗ずる。観測波3波は最大速度換算で45cm/sとする。長井市は広い範囲でN値50の砂礫層が地表面から厚く堆積しているため、K-net長井における地震観測記録も参考にして第1種地盤と判断



①完成後建物正面

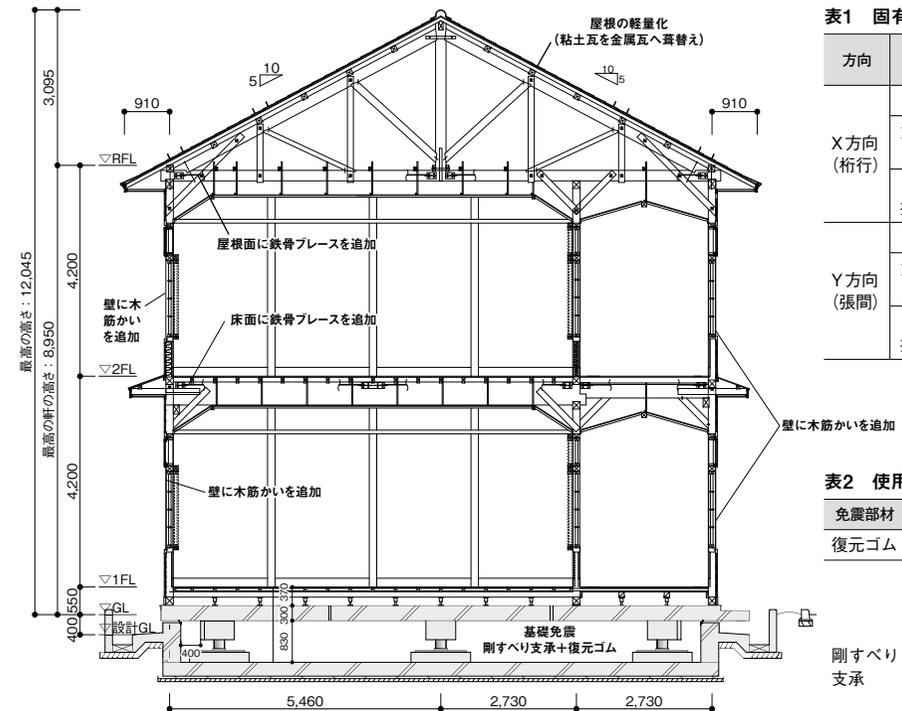


図1 耐震補強計画図 S=1:150

表1 固有値解析結果

方向	条件	T1 (sec)	T2 (sec)	T3 (sec)
X方向 (桁行)	基礎固定	1.66	0.61	—
	免震層変位25cm時	4.35	1.32	0.59
	免震層接線剛性時	6.19	1.34	0.59
Y方向 (張間)	基礎固定	1.61	0.60	—
	免震層変位25cm時	4.34	1.29	0.58
	免震層接線剛性時	6.18	1.31	0.58

表2 使用免震部材一覧

免震部材	型式	摩擦係数	台数
剛すべり 支承	復元ゴム	R30	—
	GSD120	0.046	7
	GSD150	0.046	20
	GSD200	0.046	4
	GSC110	0.011	2
GSC130	0.011	6	
GSC150	0.011	16	
GSC170	0.011	14	

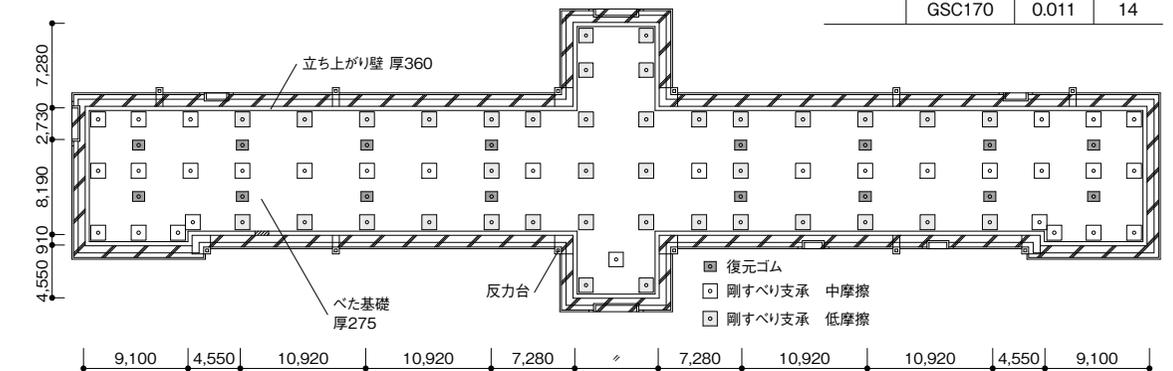


図2 免震装置の配置 S=1:650

表3 上部構造評点

耐震改修前				
診断方向	桁行方向 ( $I_w$ )		張間方向 ( $I_w$ )	
2F	0.140	NG	0.202	NG
1F	0.094	NG	0.112	NG
耐震改修後				
診断方向	桁行方向 ( $I_w$ )		張間方向 ( $I_w$ )	
2F	1.43	OK	1.30	OK
1F	1.37	OK	1.64	OK

表4 採用地震波

地震波名	レベル2		継続時間 (s)
	加速度 (cm/sec <sup>2</sup> )	速度 (cm/sec)	
El Centro 1940 NS	460	45.0	53.8
TAFT 1952 EW	447	45.0	54.0
八戸 1968 NS	314	45.0	60.0
告示波 (神戸位相)	342	36.8	60.0
告示波 (乱数位相)	342	39.1	60.0
告示波 (八戸位相)	329	39.7	60.0

し、工学基盤面の加速度応答スペクトルをそのまま設計用として用いる。

上部構造の補強として、既存筋かいの撤去後、新設の筋かい(90×90以上たすき掛け)を設置する。筋かい接合部は、鋼板挿入ドリフトピン接合とし所要の性能を確保する。補強後の保有水平耐力(層間変形角1/25時)は、層せん断力係数換算で0.20を目標とする。さらに、屋根面と2階床面の水平力伝達能力が低いと、鉄筋ブレースによる補強を行う。

屋根は粘土瓦を金属瓦に変更し、さらに内壁および外壁の土壁は撤去し、乾式壁として建物の軽量化を図る。

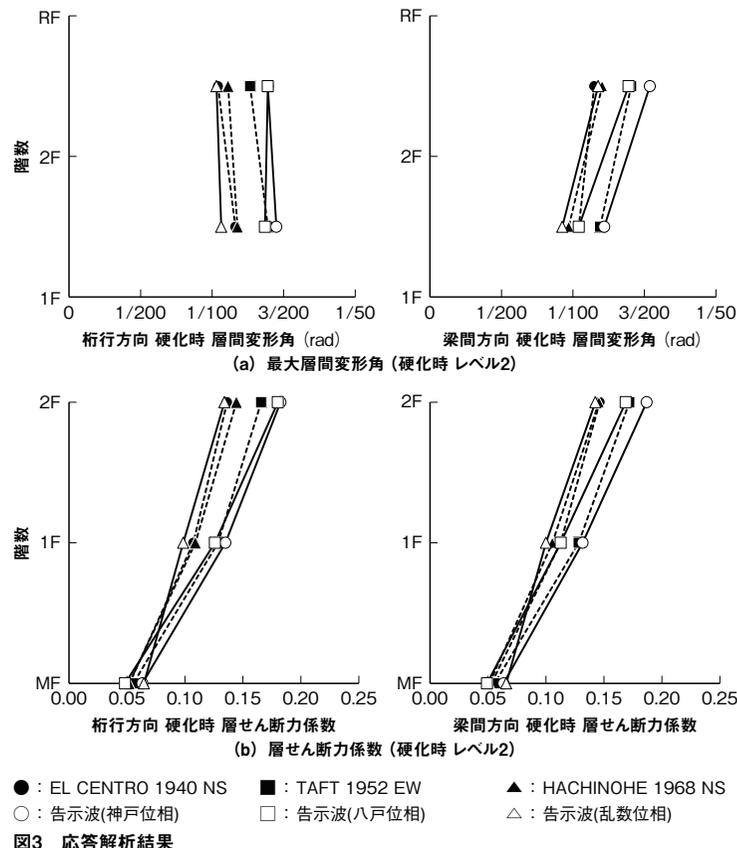
稀に生じる風荷重時に上部構造に生じる最大層間変形角は1/120以下とし、免震層の最大変位は30cm以下とする。極稀に生じる風荷重(レベル2)は風荷重時に上部構造に生じる最大層間変形角は1/50以下とする。ただし、免震層の変位は施工クリアランス40cmを超えるが、当時適当な衝突防止装置が見つからないため、擁壁は衝突荷重に耐える強度を確保し、

衝突部には緩衝材として発泡ポリスチレンフォーム厚75を設置した。ただ、1976年から2015年の40年間の気象庁の統計によると、長井市の日最大平均風速は15m/sec(検討は30m/s)である。また、建物の南面には防風林ともいえる針葉樹の林の庭があり、北面には3階建のRC造校舎が隣接しているため、風荷重を低減する効果がある。これらを勘案すると、今後100年間で風荷重によって建物が移動する可能性はかなり低いと評価した。

剛すべり支承を中心とした免震層であるため、極稀地震時および極稀風荷重時に残留変形が生じる可能性が残り、万が一対策として建物外周部12箇所水平位置矯正のための反力受けを設置した。

### 耐震診断結果

地震応答解析において、上部構造は層間変形角が1/50時の水平剛性と降伏耐力をもつバイリニャー型とする。履歴曲線は、「2012年度版木造住宅の耐震診



● : EL CENTRO 1940 NS    ■ : TAFT 1952 EW    ▲ : HACHINOHE 1968 NS  
○ : 告示波(神戸位相)    □ : 告示波(八戸位相)    △ : 告示波(乱数位相)

図3 応答解析結果



② 土工事施工



③ べた基礎施工

断と補強方法」に記載されている履歴曲線を参考に安全側に決定する。上部構造の減衰は初期剛性比例型粘性減衰とし、減衰定数は5%(基礎固定時)とする(常時微動測定により既存建物の減衰定数が10%を超え、固有周期が0.4秒程度であることを確認した)。免震層の内部減衰は無視し、剛すべり支承をノーマル・バイリニャー型、復元材は弾性線形型として扱う。免震部材の性能に及ぼす変動要因として、製造ばらつき、経年変化、環境温度を考慮する。

補強後の上部構造用評点は桁行方向が1.37、梁間方向は1.30である(表3)。いずれも目標構造評点1.1を上まわっており、大地震時に倒壊する可能性は低い。地震応答解析による応答値は、目標クライテリア以内である(図3)。

### 免震レトロフィットの施工計画

免震層をつくるには、一時的に建物を曳家する必要がある。校舎の周辺には水平に曳家するスペースがなく、やむなく施工の難度が高い鉛直に曳家する方法を採用した。大規模木造の曳家業者を探すのは一苦勞であった。

長井市は豪雪地帯であり、ジャッキアップ中の降雪は支える重量の増加や、足場や機器の養生などさまざまな問題が生じるため、降雪前12月前半にジャッキダウンを終わらせる計画とした。油圧ジャッキを70基配置し、同時制御により20cm/日の速度で一斉ジャッキアップを実施した。

ジャッキアップ高さは、コストと施工の効率性のバランスから120cmとした。土台下端から地盤面までを

60cmとし、さらに90cm掘削することで、重機作業が可能な高さ270cmを確保した。土工事の掘削深は施工の効率性を確保した最低限としようえて、免震ピットの有効高さを適切に確保した(写2③)。

建物幅が93mと長いと、乾燥収縮ひずみを抑えるためにコンクリート打設は工区を3工区に分けた。施工時にはコンクリートの十分な締固めや、養生マットによる湿潤養生など丁寧な施工を実施した。また、フラットスラブの支保工の存置期間は2か月以上確保し、若齢期コンクリートの応力発生を抑制した。

ジャッキダウン時には木造建屋のひずみを矯正するレベル調整が必要であり、床レベルの計測をしつつ、なだらかに水平と鉛直の傾きを修正した。

床のFEM解析による弾性たわみから将来の鉛直たわみを推定したが、完成後の1階フラットスラブの鉛直変位の増大や乾燥収縮と温度差による水平変位の影響は目視の範囲で確認されていない。

工事施工にあたっては、基本設計段階から地域のシンボルである旧校舎には、地域の職人の力を活かす改修計画が必要であると考え、地元の協力を得つつ実施設計と工事に臨んだ。

免震工事の経験がなかった地元長井市の那須建設が主導した免震工事や弘前城の曳家の実績がある地元米沢市の我妻組(わがつまぐみ)による建物のジャッキアップ、地域の大工による大規模木造の改修工事など、国内においてもめずらしい93mにもおよぶ長さの木造校舎の免震工事を地域だけの力を結集し、耐震診断開始から5年を超える年月を経て建物完成に至った。

(ふじわら かおる)