

# C21-3 学校建物に適した耐震補強システムの提案

## Proposal of Seismic Retrofit System for School Buildings

北山 和宏 (助教授)  
森田 真司 (COE RF)

永作 智也 (修士課程)

Kazuhiro KITAYAMA (Assoc. Prof.), Tomoya NAGASAKU (Master Course)  
And Shinji MORITA (COE RF)

### ABSTRACT

For seismic retrofit of existing R/C buildings, steel braces with perimeter steel rims are often installed into moment resisting open frames. The influence of two failure patterns of the unit frame containing multi-story steel brace, i.e., the base uplift rotation failure of the brace and the entire flexural failure at the bottom of the brace caused by tensile yielding of all longitudinal bars in a R/C edge column beside the brace, was studied on earthquake resistant performance of strengthened buildings by nonlinear earthquake response analysis.

キーワード：耐震補強、連層鉄骨ブレース、地震応答解析

Keywords: Retrofit, Multi-story steel brace, Earthquake response analysis

### 1. はじめに

RC建物の耐震補強に鉄骨ブレースを設置する際、ブレースは上下の層で同じ場所に設置されることが多い。そのときブレース側柱には大きな変動軸力が加わる為、強度抵抗型のタイプ1破壊(鉄骨ブレースの軸降伏や座屈による破壊)ではなく、タイプ3破壊(全体曲げ破壊)や、基礎浮き上がり破壊の破壊形式となる可能性がある。本報では連層ブレースで耐震補強されたRC建物を対象とし3方向地震動を入力した地震応答解析を行い、全体曲げ破壊と基礎浮き上がり破壊時の建物全体の挙動およびブレース側柱の軸力変動に関する知見を得ることを目的とする。

### 2. 解析建物

解析対象の建物は図-1の4層5×1スパンの学校建物である。階高は各層とも3500mmとした。片廊下方の学校建物を想定しブレース補強はY1通りのみとしてX1、X6通りの梁間方向には1層から4層までの連層耐震壁(壁厚:200mm、壁縦筋:9φ@250)を設けた。ブレースと既存建物の接合部において直接せん断破壊が生じないように、アンカー筋をD19@250と設定した。建物の材料特性は、コンクリート圧縮強度を18N/mm<sup>2</sup>、鉄筋降伏強度を295N/mm<sup>2</sup>とし、ブレース材に関しては降伏強度を325N/mm<sup>2</sup>(SM490)と設定した。解析建物の補強前後での固有周期を表-2に示す。

### 3. 部材モデル

梁部材は、材端弾塑性バネモデルで置換し、履歴特性にはTakedaモデルを使用し、降伏後の剛性低下率を0.001とした。柱部材は、軸変形および曲げ性状をMulti-Springモデルで表現し、ヒンジ領域は柱

表-1 部材断面リスト

		GF	2F	3F	4F/RF
柱	B×D	600×600	600×600	600×600	600×600
	配筋	12-D25	12-D22	8-D22	8-D22
梁-X方向	B×D	350×1000	350×600	350×600	350×600
	配筋	4-D25	4-D22	3-D22	2-D22
梁-Y方向	B×D	350×1000	350×700	350×700	350×700
	配筋	4-D25	4-D22	3-D22	2-D22

せん断補強筋は、すべての柱梁とも9φ@100とした

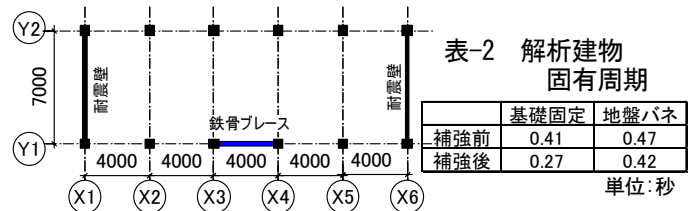


図-1 解析建物平面図

表-2 解析建物固有周期

	基礎固定	地盤バネ
補強前	0.41	0.47
補強後	0.27	0.42

単位:秒

内法スパンの1/10

とした。連層鉄骨

ブレース及び連層

耐震壁のモデル化

では図-2のように

柱部材と同様にひ

とつの線材と考え、

柱頭柱脚はI型断面を有するMSモデルとした。ブレース部分のせん断剛性は、耐震改修設計指針<sup>1)</sup>にならぬ等価な厚さの耐震壁に置き換えて評価し、曲げ剛性はブレース縦枠の剛性で評価した。軸方向のばね要素はコンクリートばね、アンカー筋ばね(耐震壁では壁縦筋ばね)、側柱主筋ばね、の3種類を配置した。MSバネを設置したI型断面でのヒンジ領域はブレースの間接接合部の圧入モルタルの厚みに合わせて200mmとした。連層鉄骨ブレース脚部のアンカー筋は過去の実験結果において降伏応力に達する前に抜け出したことから降伏強度を1/3に設定した。

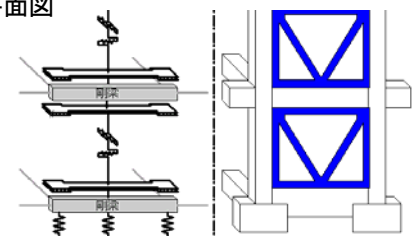


図-2 連層鉄骨ブレースのモデル化

#### 4. 解析パラメータ

建物脚部の支持条件は基礎固定(全体曲げ破壊)と地盤バネ(基礎浮き上がり破壊)とした。地盤バネは圧縮側剛性を98MN/m、引張側は浮き上りを許容するため剛性を0、耐震壁脚部では剛性を $\infty$ として耐震壁での基礎浮き上りを防いだ。入力地震動はE1 Centroを用い、桁行・梁間方向は最大速度を50Kineに基準化し、鉛直方向は原波とした。数値積分はNewmark- $\beta$ 法( $\beta=0.25$ )で行い、減衰は瞬間剛性比例型、初期減衰定数を3%とした。解析には李康寧博士が開発した骨組解析プログラムCANNYを用いた。

#### 5. 解析結果

##### 5. 1 ベースシア係数-1層層間変形角関係

図-3に桁行方向ベースシア係数-1層の層間変形角関係を、図-4に建物のヒンジ発生状況と変形の様子を示す。変形は実際の20倍とした。全体曲げ破壊する建物では最大層間変形角が補強前0.55%から補強後では0.28%と抑えられた。ベースシア係数も補強前0.20から補強後0.33と増大しており、補強効果があった。基礎浮き上がり破壊では、ベースシア係数は0.18 $\rightarrow$ 0.24と増大し、変形角が+側で0.7% $\rightarrow$ 0.65%となったが、-側では0.52% $\rightarrow$ 0.60%と1層の変形が大きくなった。これはブレースにより各層の変位が等しくなったためと考えられ、結果建物全体の応答は補強によって抑制された。補強後の建物のねじれ変形角は、最大で $5.0 \times 10^{-4}$ rad程度であり補強による偏心はほとんどない。

##### 5. 2 軸力変動

図-5にE1 Centro波入力時のX3Y1のブレース側柱の軸力変動を示す。側柱軸力はMSバネのコンクリート要素と主筋要素の負担する軸力の和から求めた。全体曲げ破壊では最大引張力が軸引張耐力(-1800kN)に達した。最大圧縮力は軸力比0.57(3720kN)であった。桁行方向のみ地震波を入力した解析も行った。全体曲げ破壊において地震波1方向入力と3方向入力時の側柱軸力変動には違いが見られなかった。梁間方向の水平力を耐震壁が負担したため、解析建物においてブレース架構部は2軸曲げの影響を受けていない。基礎浮き上がり破壊においても、圧縮側が最大で軸力比0.22(1450kN)、引張側-380kNと変動が見られた。

#### 6. まとめ

連層鉄骨ブレースを全体曲げ破壊させることで補強後の層せん断力が増大した。応答変位を抑制して他の部材の降伏ヒンジの発生を抑え、全体曲げ破壊

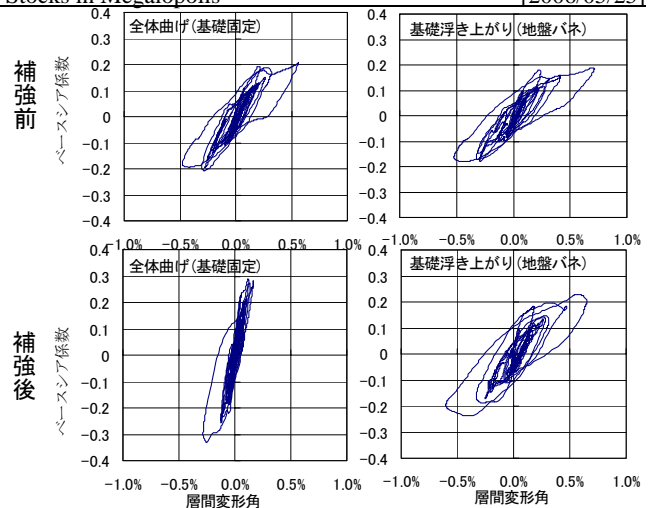


図-3 ベースシア係数-1層の層間変形角

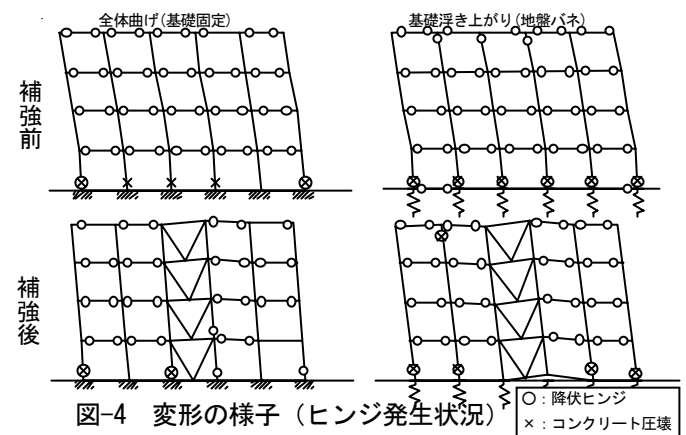


図-4 変形の様子 (ヒンジ発生状況)

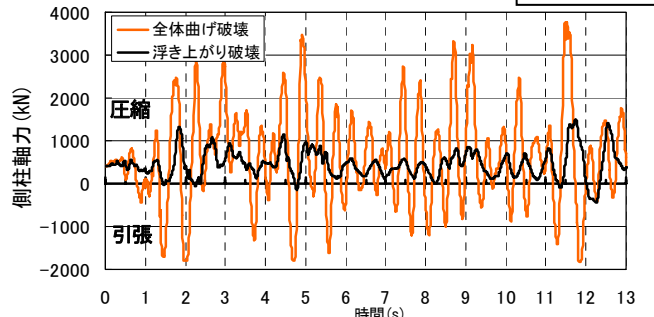


図-5 ブレース側柱の変動軸力

は耐震補強上有効である。ブレースの基礎浮き上がり破壊は各層の変形角を均等にする効果があり、上層での応答変位を抑制するが、浮き上がり時に1層での変形角が補強前より大きくなる可能性がある。また、浮き上がり耐力は既存建物の基礎梁の性能に依存するので、十分な補強効果が得られない場合がある。ブレース側柱の変動軸力は全体曲げ破壊において圧縮側で軸力比0.57から引張側で軸引張耐力に達し、大きな変動が見られた。

#### □参考文献

- (財)日本建築防災協会：既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針・同解説
- 佐藤照祥(大林組) 北山和宏 李康寧：連層鉄骨ブレースで補強されたRC建物の非線形地震応答解析、日本建築学会大会学術講演梗概集、2005、pp.493-494