

連層鉄骨ブレースで耐震補強されたRC建物の三方向地震応答解析
～連層鉄骨ブレースが基礎浮き上がり破壊あるいは全体曲げ破壊する場合～

正会員 ○永作智也*1
同 北山和宏*2
同 李 康寧*3

耐震補強 連層鉄骨ブレース 全体曲げ破壊
基礎浮き上がり破壊 地震応答解析

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/mm²、鉄筋降伏強度を295N/mm²とし、ブレース材に関しては降伏強度を325N/mm²(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¹⁾にならない、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。

4. 解析パラメータ

建物脚部の支持条件として、基礎固定（全体曲げ破壊）と地盤バネ（基礎浮き上がり破壊）の2種類を設定した。地盤バネは圧縮側の剛性を98MN/mに、引張側は浮き上がりを許容するため剛性を0に、耐震壁脚部では剛性を∞として耐震壁での基礎浮き上がりを防いだ。

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。

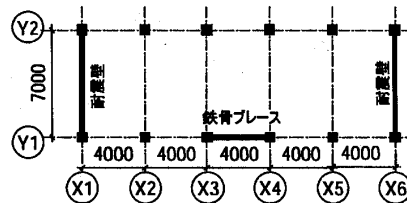


図-1 解析建物平面図

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

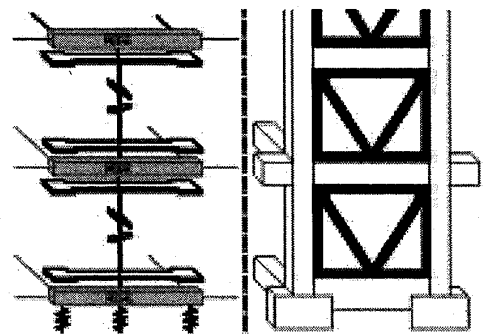


図-2 連層鉄骨ブレースのモデル化

Tri-directional Earthquake Response Analyses for Steel-Braced Reinforced Concrete Building

—Study on Foundation Uplift Failure or Column Tension Failure of Steel-Braced Frame—

NAGASAKU Tomoya, KITAYAMA Kazuhiro and Li Kang-Ning

入力地震動は El Centro、Kobe、Taft を使い、桁行方向、梁間方向はそれぞれ最大速度を 50kine に基準化し、鉛直方向は原波を用いた。数値積分は Newmark-β法 (β = 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。なお、解析には李康寧博士が開発した 3 方向骨組解析プログラム「CANNY」を使用した。以下解析結果では 3 つの地震波において同様の傾向が見られたので、代表として El Centro 波の結果を記述する。

5. 解析結果

(1) ベースシア係数-1 層層間変形角関係

図-3 に桁行方向のベースシア係数-1 層の層間変形角の関係を示す。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 倍にして表示した。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%と応答が抑えられた。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、補強効果が確認できる。それに対し基礎浮き上がり破壊では、ベースシア係数は 0.18→0.24 と増大し、変形角が+側で 0.7%→0.65%となったが、-側では 0.52%→0.60%と 1 層の変形が大きくなった。これは、ブレースによって各層の変位が等しくなったためと考えられ、その結果建物全体の応答は補強によって抑制された(図-4)。また、ブレース補強後の建物のねじれ変形角は、最大で 5.0×10^{-4} rad 程度であり、ブレース補強による偏心はほとんどない。

(2) 軸力変動

図-5 に El 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。参考のため、桁行方向のみに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、解析建物においてはブレース架構部は 2 軸曲げの影響を受けていないと思われる。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ることができ、全体曲げ破壊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ことができるが、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。

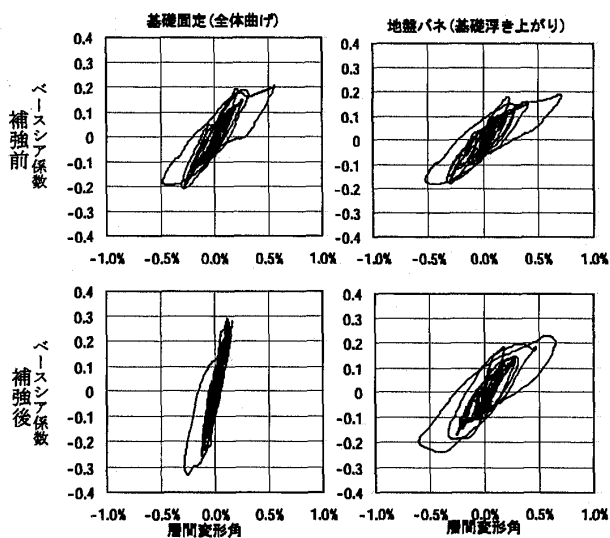


図-3 ベースシア係数-層間変形角

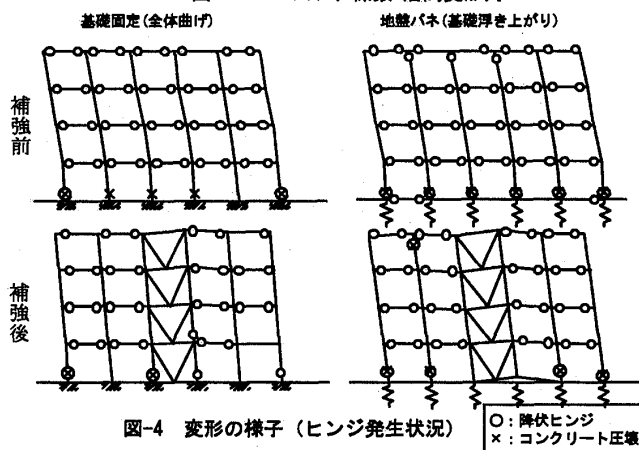


図-4 変形の様子 (ヒンジ発生状況)

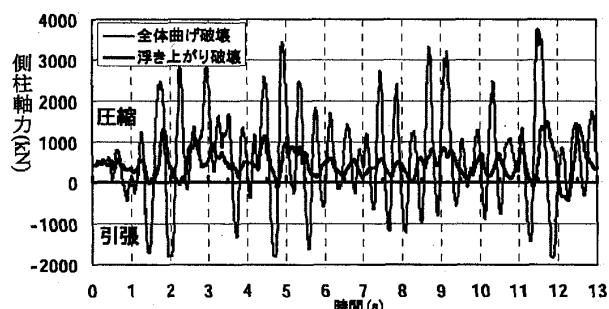


図-5 ブレース側柱の変動軸力

参考文献

- 1) (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
- 2) 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

*1 首都大学東京大学院都市科学研究科
 *2 首都大学東京大学院都市環境科学研究科助教授 工博
 *3 CANNY コンサルタント 工博

*1 Graduate School of Engineering, Tokyo Metropolitan University
 *2 Associate Professor, Tokyo Metropolitan University, Dr. Eng
 *3 CANNY Consultants, Dr. Eng