

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

|                   |                                                                                                        |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 論題(和文)            | 2081 E-ディフェンス実験における高層建物試験体の累積損傷評価：その2 解析モデルを用いた累積損傷評価(構造)                                              |
| Title             |                                                                                                        |
| 著者(和文)            | 大内 隼人, 島田 侑, 佐藤 大樹, 長江拓也, 北村春幸, 福山 國夫, 梶原浩一, 井上 貴仁, 中島正愛                                               |
| Authors           | daiki sato, Haruyuki Kitamura, Koichi Kajiwara, Masayoshi NAKASHIMA                                    |
| 出典 / Citation     | 日本建築学会関東支部研究報告集 I, , No. 79,                                                                           |
| Citation(English) | , , No. 79,                                                                                            |
| 発行日 / Pub. date   | 2009, 2                                                                                                |
| rights            | 日本建築学会                                                                                                 |
| rights            | 本文データは学協会の許諾に基づきCiNiiから複製したものである                                                                       |
| relation          | isVersionOf: <a href="http://ci.nii.ac.jp/naid/110007453934">http://ci.nii.ac.jp/naid/110007453934</a> |

## E-ディフェンス実験における高層建物試験体の累積損傷評価

## その2 解析モデルを用いた累積損傷評価

|                        |     |                    |   |                    |
|------------------------|-----|--------------------|---|--------------------|
| 準会員○大内隼人 <sup>*1</sup> | 正会員 | 島田侑 <sup>*1</sup>  | 同 | 佐藤大樹 <sup>*1</sup> |
| 同 長江拓也 <sup>*2</sup>   | 同   | 北村春幸 <sup>*1</sup> | 同 | 福山國夫 <sup>*2</sup> |
| 同 梶原浩一 <sup>*2</sup>   | 同   | 井上貴仁 <sup>*2</sup> | 同 | 中島正愛 <sup>*2</sup> |

構造—振動

高層建物 長周期地震動 震動台実験

エネルギー 損傷評価

## 1. はじめに

本報その2では、実験結果をもとに解析モデルを作成する。その1で実験データより求めた全体の入力・吸収エネルギー、層・部材の応答と作成した解析モデルの応答の比較を行い、解析モデルの精度を確認する。次に解析モデルを用いて、実験で計測されていない位置の梁端の塑性エネルギーまでを考慮した部材レベルでの累積損傷評価を行う。

## 2. 解析モデル概要

試験体設計図及び実験結果に基づき立体解析モデルを作成した。解析モデルの基準階伏図、軸組図をそれぞれ図1、図2に示す（部材断面は本報その1、表1参照）。

## 2.1 モデル化の条件

解析モデルは部材端においてはMSモデルを部材に取り付けてモデル化し、実大架構部分の鉄骨梁のMSモデルは、表1に示す材料試験結果をもとに降伏強度を設定している。また、降伏後の剛性は初期剛性に対して4%とした。

実験結果より得られる層せん断力、層間変形の履歴曲線に線形近似曲線を描き、そこから求める各層剛性の値と合致するように解析モデルでは、スラブの合成効果による剛性増大率 $\phi$ を1.4~1.8の範囲で設定した。ただし5層の梁においては、実験結果より直上のコンクリート錘の影響を受けていると考えられるため $\phi$ を7.0~9.9の範囲とかなり大きめに設定した（その1、4.2節参照）。

縮約層についてはMSSモデルを用いてバイリニア型の復元力によって、積層ゴムとダンパーの復元力特性をモデル化した。

## 2.2 静的解析・固有値解析による実験結果との比較

弾性範囲内の加振から求めた層剛性（その1、4.3節参照）の値と解析モデルの静的解析より得られた各層剛性の比較を表2に示す。表2より実験結果と解析結果との比較は全ての層で誤差数%以内であることが確認できる。次に固有値解析による解析モデルの固有周期と実験結果より得られた固有周期<sup>1)</sup>の比較を表3に示す。表3よ

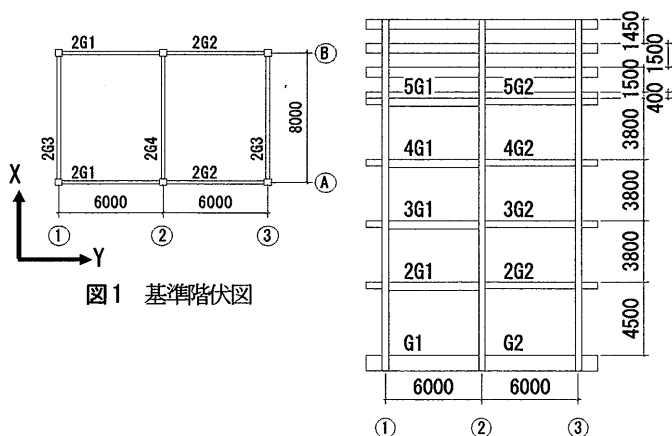


図1 基準階伏図

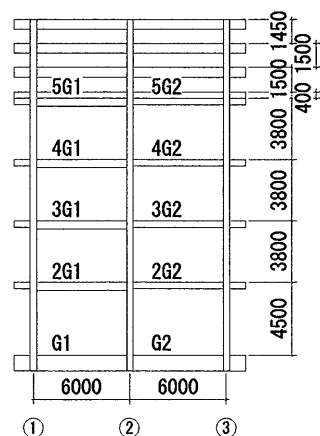


図2 軸組図

表1 材料試験結果 (単位はN/mm<sup>2</sup>)

|      | □-400 | H-600 | H-400 | H-500 | H-800 | H-650 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 降伏強度 | 343   | 357   | 426   | 366   | 373   | 344   |
| 引張強度 | 515   | 532   | 576   | 532   | 526   | 514   |

表2 層剛性の比較 (単位はkN/cm)

| 層 | X     |       |      | Y     |       |      |
|---|-------|-------|------|-------|-------|------|
|   | 実験    | 解析    | 解/実  | 実験    | 解析    | 解/実  |
| 7 | 74.1  | 73.6  | 0.99 | 73.4  | 73.7  | 1.00 |
| 6 | 105.5 | 110.4 | 1.05 | 117.1 | 110.5 | 0.94 |
| 5 | 153.8 | 151.5 | 0.99 | 150.5 | 152.1 | 1.01 |
| 4 | 790.8 | 786.6 | 0.99 | 697.0 | 690.9 | 0.99 |
| 3 | 563.5 | 584.6 | 1.04 | 558.1 | 565.2 | 1.01 |
| 2 | 564.1 | 577.0 | 1.02 | 552.9 | 560.9 | 1.01 |
| 1 | 638.7 | 659.6 | 1.03 | 610.8 | 622.3 | 1.02 |

表3 固有周期の比較 (単位はsec)

|    | X    |      |      | Y    |      |      |
|----|------|------|------|------|------|------|
|    | 1次   | 2次   | 3次   | 1次   | 2次   | 3次   |
| 解析 | 2.46 | 1.02 | 0.71 | 2.57 | 0.98 | 0.64 |
| 実験 | 2.22 | 0.84 | 0.53 | 2.22 | 0.83 | 0.53 |

り解析の周期は実験値に比べ約10%長い値となっていることが分かる。前述したように層剛性は精度の良い一致を示していることからこの誤差は質量に起因するものと思われるが、現在検討中である。

## 2.3 入力概要

時刻歴応答解析を行う際の地震動は、震動台実験と同様に2方向(X,Y)同時入力を行った。解析に用いた地震動は、実験においてコンクリート基礎上の加速度センサにて計測されたものを用いる

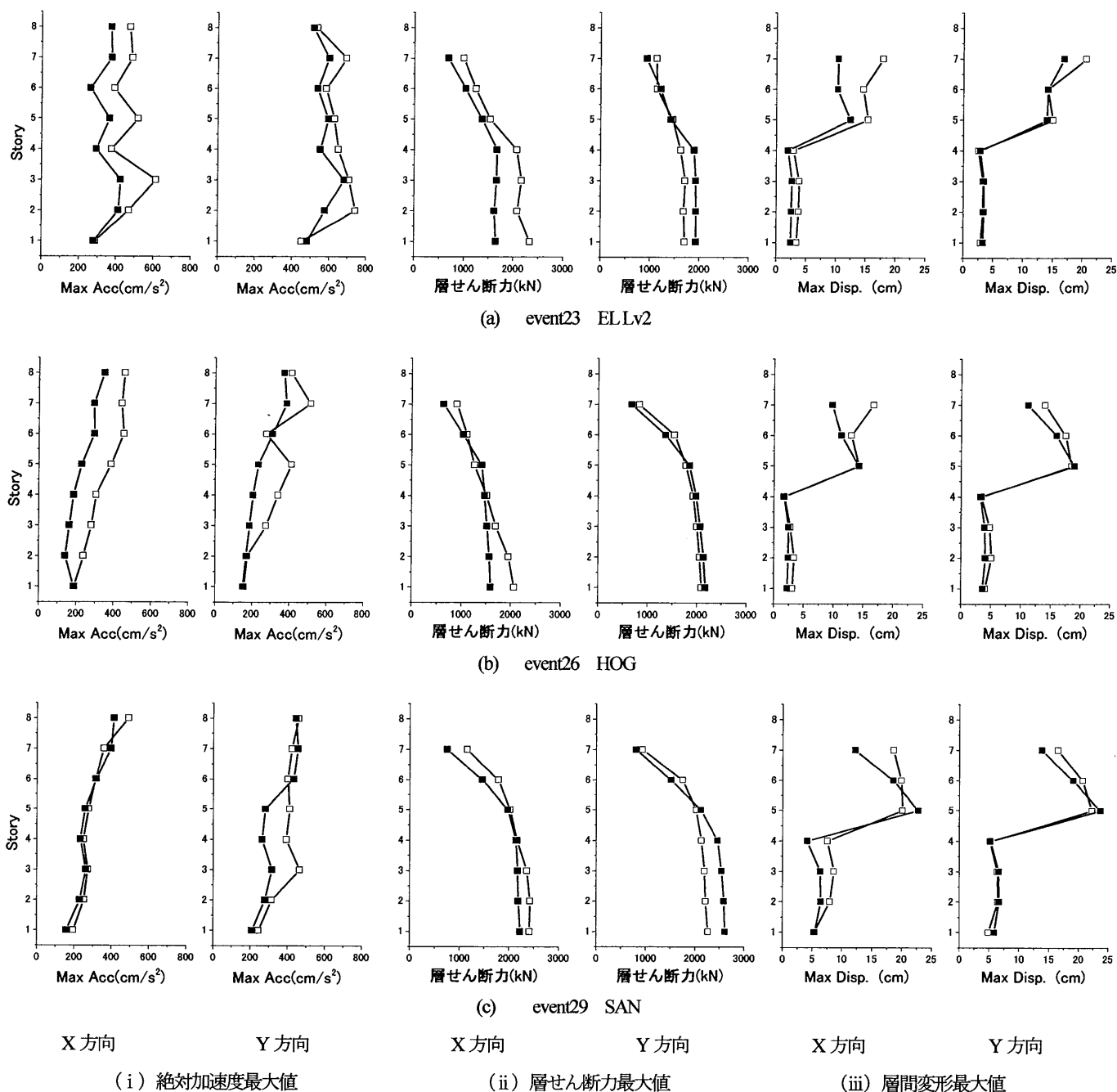


図3 実験と解析の最大応答値の比較

( —■— : 実験値    -□- : 解析値 )

こととした。また、解析モデルの減衰は、後述する実験における最大応答値と解析での最大応答値が合うように、解析モデルの1次と5次固有周期の時に2%となるようなレーリー減衰とした。

### 3. 最大応答値の比較

最大応答値の比較には実験に用いた地震波の中から梁が塑性化領域まで変形した event23, 26, 29 の El Lv2, HOG, SAN (その1、表2参照) の地震動を用いる。図3に絶対加速度最大値、層せん断力最大値、層間変形最大値の高さ方向分布の実験結果と解析結果での比較を示す。絶対加速度、層せん断力で実験と解析で一部に多少の誤差

を確認したが、誤差を確認できるものについても傾向はとらえているため解析結果は実験結果と良い対応を示していると言える。

### 4. 実験結果と解析結果における吸収エネルギーの比較

#### 4.1 全体の吸収エネルギーの比較

吸収エネルギーの比較には最大応答値の比較と同様に El Lv2,

表4 建物全体での吸収エネルギー量比較

| 地震波 | El Lv2 |      | HOG  |      | SAN  |      |
|-----|--------|------|------|------|------|------|
| 方向  | X      | Y    | X    | Y    | X    | Y    |
| 実験  | 611    | 641  | 1130 | 2832 | 6698 | 6318 |
| 解析  | 531    | 641  | 1200 | 2743 | 6378 | 6564 |
| 解/実 | 0.87   | 1.00 | 1.06 | 0.97 | 0.95 | 1.04 |

HOG, SAN の3つの地震動を用いる。表4に3波を入力した際の吸収エネルギー量について、解析値と実験値の比較をそれぞれ示す。

吸収エネルギーの小さいELv2のX方向において1割ほど誤差が生じているが、HOGやSANにおいては誤差数%以内に収まっており、概ねよい対応を示していると言える。

#### 4.2 層ごとの吸収エネルギーの比較

ここではSAN 2方向入力による結果について述べる。図4に実験と解析より得られた吸収エネルギー累積値の時刻歴を、X,Y方向についてそれぞれ示す。また、表5には各層の吸収エネルギー量を実験と解析での比較を示す。図4および表5より、Y方向では解析値と実験値がよい対応を示しているが、X方向では実大架構部分(1~4層)において、解析値は実験値に比べ吸収エネルギー量が少なく、縮約層部分(5~7層)においては実験値に比べ吸収エネルギー量が大きくなっていることが分かる。

X方向において、解析値と実験値との誤差が大きく生じる理由として、SAN 2方向入力の際に、実験においてX方向の梁端が破断したことが考えられる。解析では梁端破断をモデル化していないので破断によって生じる剛性低下や、それに伴う回転角または変形の増大を考慮していない。

2層の梁端が破断した時刻までの吸収エネルギー量の比較を表6に示す。4層での誤差が大きくなっているが、他の層においては表5のSAN 2方向入力終了時の吸収エネルギーよりも実験値に近いことが分かる。また、Y方向においても4層で誤差が大きいが、これは吸収エネルギーの総量が減ったことによると考えられるため、Y方向についてはこの時刻においても解析値と実験値で良い対応を示している。

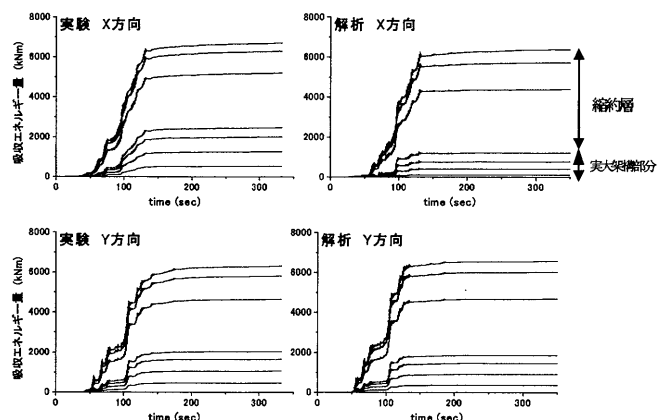


図4 吸収エネルギー量時刻歴 (下から1,2,~7層)

表5 SAN 終了時各層吸収エネルギー量の比較 (単位は kNm)

| 層 | X    |      |      | Y    |      |      |
|---|------|------|------|------|------|------|
|   | 実験   | 解析   | 解/実  | 実験   | 解析   | 解/実  |
| 7 | 415  | 645  | 1.55 | 489  | 547  | 1.12 |
| 6 | 1087 | 1354 | 1.25 | 1165 | 1345 | 1.15 |
| 5 | 2736 | 3172 | 1.16 | 2612 | 2800 | 1.07 |
| 4 | 460  | 441  | 0.96 | 403  | 421  | 1.05 |
| 3 | 743  | 362  | 0.49 | 579  | 534  | 0.92 |
| 2 | 723  | 298  | 0.41 | 600  | 544  | 0.91 |
| 1 | 535  | 106  | 0.20 | 471  | 373  | 0.79 |

表6 2層梁端破断時各層吸収エネルギー量比較(単位は kNm)

| 層 | X    |      |      | Y    |      |      |
|---|------|------|------|------|------|------|
|   | 実験   | 解析   | 解/実  | 実験   | 解析   | 解/実  |
| 7 | 242  | 306  | 1.26 | 209  | 230  | 1.10 |
| 6 | 642  | 696  | 1.08 | 517  | 616  | 1.19 |
| 5 | 1598 | 1696 | 1.06 | 1162 | 1340 | 1.15 |
| 4 | 190  | 338  | 1.78 | 132  | 109  | 0.83 |
| 3 | 329  | 264  | 0.80 | 175  | 161  | 0.92 |
| 2 | 308  | 205  | 0.67 | 185  | 180  | 0.97 |
| 1 | 221  | 76   | 0.34 | 147  | 138  | 0.94 |

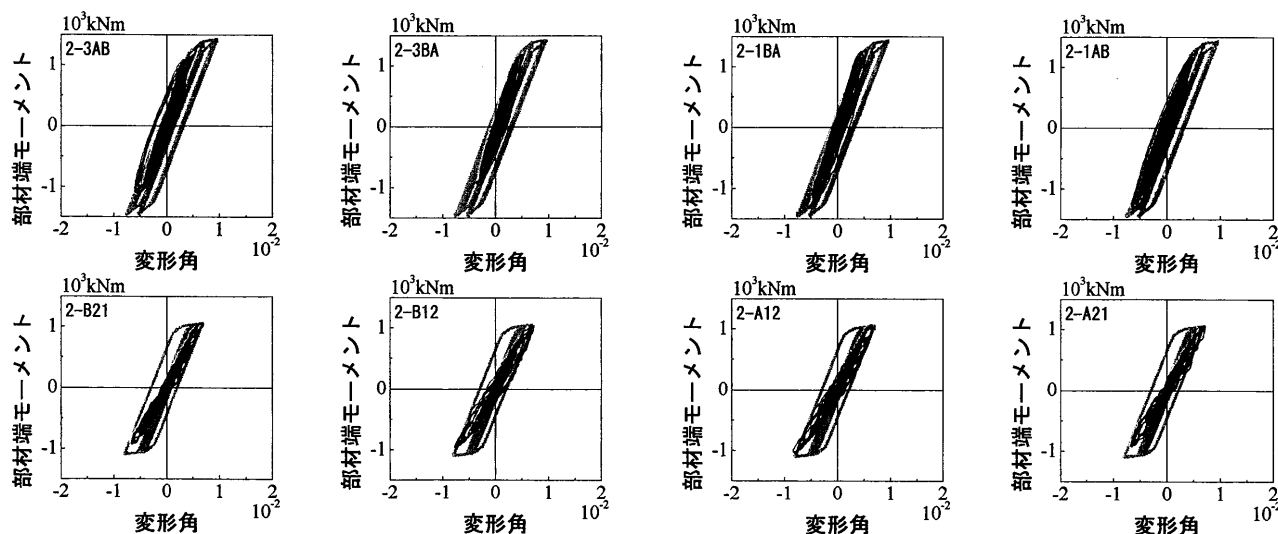


図5 SAN 2-3AB 位置梁端破断時までの各梁端履歴曲線の比較(2F)

— : 実験

- - - : 解析

### 4.3 梁端での吸収エネルギーの比較

SAN2 方向入力時の 2-3AB 位置 (図 6 参照) の梁端破断時刻までの実験値より求めた梁端の履歴曲線と、同時刻までの解析値より求めた梁端の履歴曲線とを重ねたものを図 5 に、履歴曲線の面積より求めた梁端吸収エネルギー量の実験値と解析値との比較を表 7 に示す。図 5 より履歴曲線の形状に関しては概ね良好な応答を示している。2-3AB, 2-3BA 位置の実験値に関しては破断に至る直前であるので、モーメントを算出するための歪みがうまく伝達されなかったなどの理由が考えられる。表 7 より破断の影響が無いと考えられる時刻でも梁端の吸収エネルギー量は誤差が大きい。

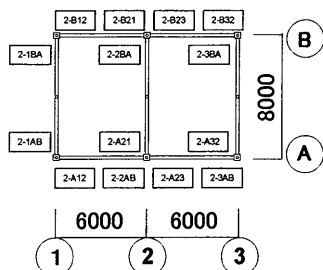


図 6 梁端記号と位置関係

### 5. 解析モデルの累積損傷評価

解析モデルを用いて実験で計測されていない梁端を含めて部材ごとの累積損傷倍率  $\eta$  を求める (その 1, (7) 式参照)。

SAN2 方向入力時の累積塑性変形倍率を梁端位置の X 方向と Y 方向で分け、図 7 に示す。実験での X 方向の柱梁接合部は現場溶接であり、梁端混用接合の累積塑性変形倍率の安全限界値  $\eta_u$  は約 13.5 である。<sup>2)</sup> 図 7 より 3-3AB, 3-3BA 位置梁端の  $\eta$  は約 9 となり、大きく損傷したことが分かる。しかし実験において計測されていない梁端においては解析結果より X 方向、Y 方向ともに  $\eta$  の値は小さく、損傷が軽微であることが予測される。計測されていない梁端は全て H-400 の梁であるため断面 2 次モーメントが小さく、曲げ剛性が低くなり、最大モーメントも小さくなるため吸収エネルギーが少なくなったと考えられる。

### 6. まとめ

解析結果が実験結果と近くなるように、解析モデルを作成した。しかし固有値解析による固有周期の比較では、解析値が実験値に比べ約 10% 長く、重量についての検討が必要である。

全体の吸収エネルギー量の比較では梁部材が損傷しても良い対応を示すことが確認できた。層ごとで比較を行う場合は梁部材の損傷が生じると、損傷階への変形集中など解析ではモデル化していないため誤差が生じる。

実験では計測されなかった梁端も含め、解析モデルを用いて累積塑性変形倍率に基づく損傷評価を行った。長周期地震動の入力エネルギーにより梁端の  $\eta$  は大きくなったが、実験で計測されていない

表 7 2-3AB 位置梁端破断時各層吸収エネルギー量比較 (単位は kNm)

| 層 |     | 3AB  | 3BA  | B21  | B12  | 1BA  | 1AB  | A12  | A21  |
|---|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 4 | 実験  | 122  | 120  | 90   | 122  | 100  | 93   | 80   | 87   |
|   | 解析  | 27   | 27   | 11   | 11   | 27   | 27   | 10   | 10   |
|   | 解/実 | 0.22 | 0.22 | 0.12 | 0.09 | 0.27 | 0.29 | 0.13 | 0.12 |
| 3 | 実験  | 142  | 194  | 110  | 159  | 60   | 101  | 104  | 87   |
|   | 解析  | 54   | 54   | 27   | 27   | 54   | 54   | 26   | 26   |
|   | 解/実 | 0.39 | 0.28 | 0.25 | 0.17 | 0.89 | 0.53 | 0.25 | 0.30 |
| 2 | 実験  | 84   | 90   | 89   | 110  | 72   | 82   | 83   | 74   |
|   | 解析  | 38   | 38   | 19   | 19   | 38   | 38   | 19   | 19   |
|   | 解/実 | 0.46 | 0.42 | 0.21 | 0.17 | 0.53 | 0.46 | 0.22 | 0.25 |

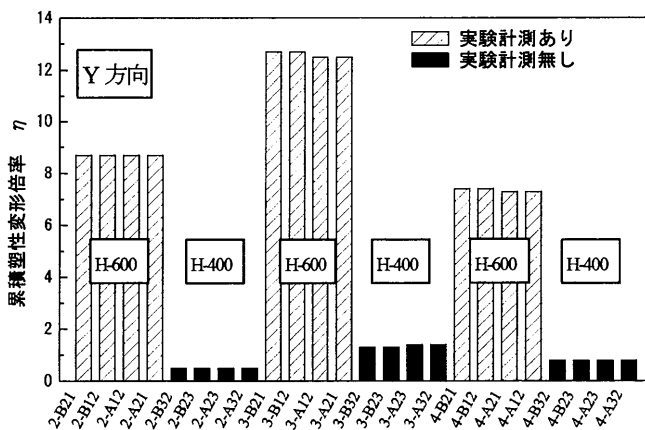
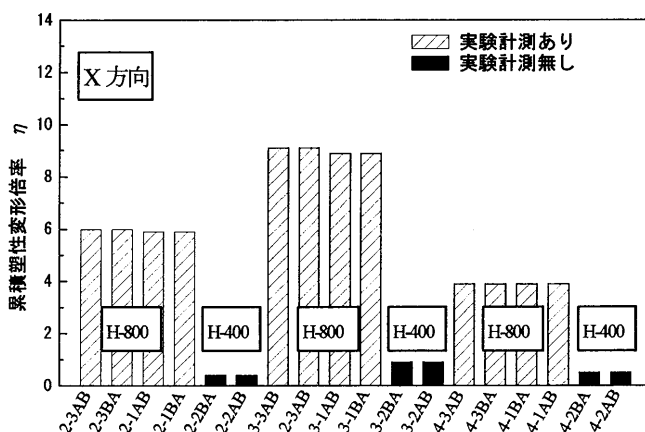


図 7 梁端の累積塑性変形倍率  $\eta$

梁端について  $\eta$  は小さく、平面として損傷集中が起きていることを確認できた。

#### 謝辞

本研究は、文部科学省が推進する「首都直下地震防災・減災特別プロジェクト」の下で、防災科学技術研究所からの委託研究として東京理科大学が実施した「長周期地震動による被害軽減対策の研究開発 (その 2)」の研究結果の一部である。

#### 参考文献

- 1) 長江拓也 他: 高層建物の耐震性評価に関する E-ディフェンス実験—その 1—11, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, pp.823-832, pp.873-884 2008.9
- 2) 北村春幸, 宮内洋二, 浦本弥樹: 性能設計における耐震性能評価基準値に関する研究—JSCA 耐震性能メニューの安全限界値と余裕度レベルの検討—, 日本建築学会構造形論文集 No.604, pp.183-191, 2006.6

\*1 東京理科大学

\*2 独) 防災科学研究所 兵庫耐震工学研究センター