

## 鋼トラスの耐震性向上に関する実験的研究

今瀬 史晃<sup>1</sup>・舟山 淳起<sup>1</sup>・王 春林<sup>2</sup>・宇佐美 勉<sup>3</sup>

<sup>1</sup>学生会員 名城大学大学院理工学研究科建設システム工学専攻修士課程 (〒468-8502名古屋市天白区塩釜口)

<sup>2</sup>名城大学大学院理工学研究科建設システム工学専攻修士課程 (同上)

<sup>3</sup>フェロー会員 名城大学教授 理工学部建設システム工学科 (同上)

### 1. 緒言

大地震を受ける動的挙動が複雑な鋼橋（アーチ橋、トラス橋、斜張橋等）の応答値あるいは限界値の算定は、梁要素を用いた複合非線形解析が、現在では最も実用的かつ精確な解を与える手法と考えられる<sup>1),2),3)</sup>。梁要素を用いた複合非線形解析では断面変形が伴う座屈、即ち局部座屈（Local buckling）あるいは、ゆがみ座屈（Distortional buckling）の影響は考慮出来ないが、部材座屈（曲げ座屈、曲げねじれ座屈等）は部材を適切にモデル化することにより解析の中で自動的に考慮することが可能である<sup>3)</sup>。

文献 4) では、ブレース材に初期不整に相当する初期横荷重等を導入する解析モデルが提案されている。そこで、前実験では鋼トラス模型を製作し地震力を想定した水平荷重を与える破壊実験を行った。その実験結果を基に文献 4) で提案されている手法の妥当性を解析的に検証している。

本研究では、前実験 4) の斜材取り付け方向を変更したトラス模型を制作し同様の実験を行う。前実験との変更点は斜材取り付け方向変更以外にも、ガセット厚を薄くした実験、斜材に角形鋼管を使用した実験、上下弦材を弱くした実験を行う。

本研究は、①文献 1) の解析モデルの妥当性を再確認すること、②破壊に至るまでの挙動を理解すること、③斜材に座屈拘束ブレース（BRB）を使用することで構造物全体の耐震性能向上効果を明らかにする。本研究では、主として、②、③について述べる。

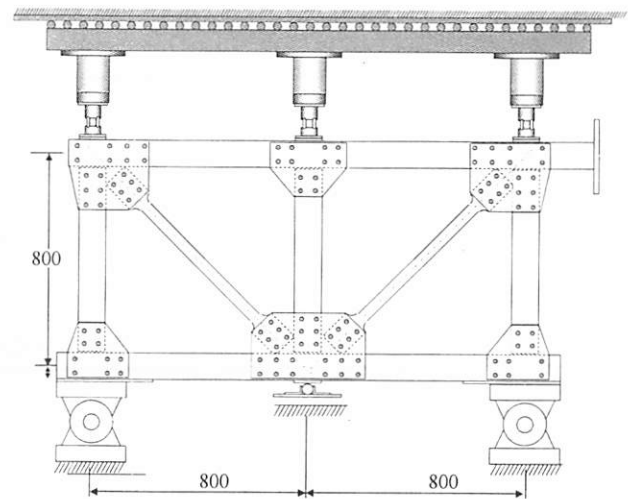


図-1 実験供試体

### 2. 実験概要

#### (1) 実験供試体

実験供試体は図-1 に示すような節点がガセットを介して高力ボルトで接合された鋼平面トラス構造模型で、11 体製作し実験を行った。トラス構造は両端基部がピン支持、中央基部がローラー支持され、3 体の鉛直ジャッキにより均等な一定鉛直力  $V$  を鉛直部材に載荷し、上弦材に単調増大、あるいは繰り返し水平荷重  $H$  が載荷されている。鉛直荷重  $V$  は鉛直材の降伏軸力の 20% である。上下弦材および鉛直材には図-2 に示すような SS400 の H 型鋼を弱軸方向に使用した。供試体の一覧を表-1 に示す。供試体名の最初は斜材断面の種類を表しており、A、B、BRB 及び角形鋼管 (BOX) である。4 種類の斜材の全体図と断面図を図-3 に示す。断面 A、B は図-2 の H 型鋼のフランジ幅をそれぞれ 50mm、30mm に削ったものである。また

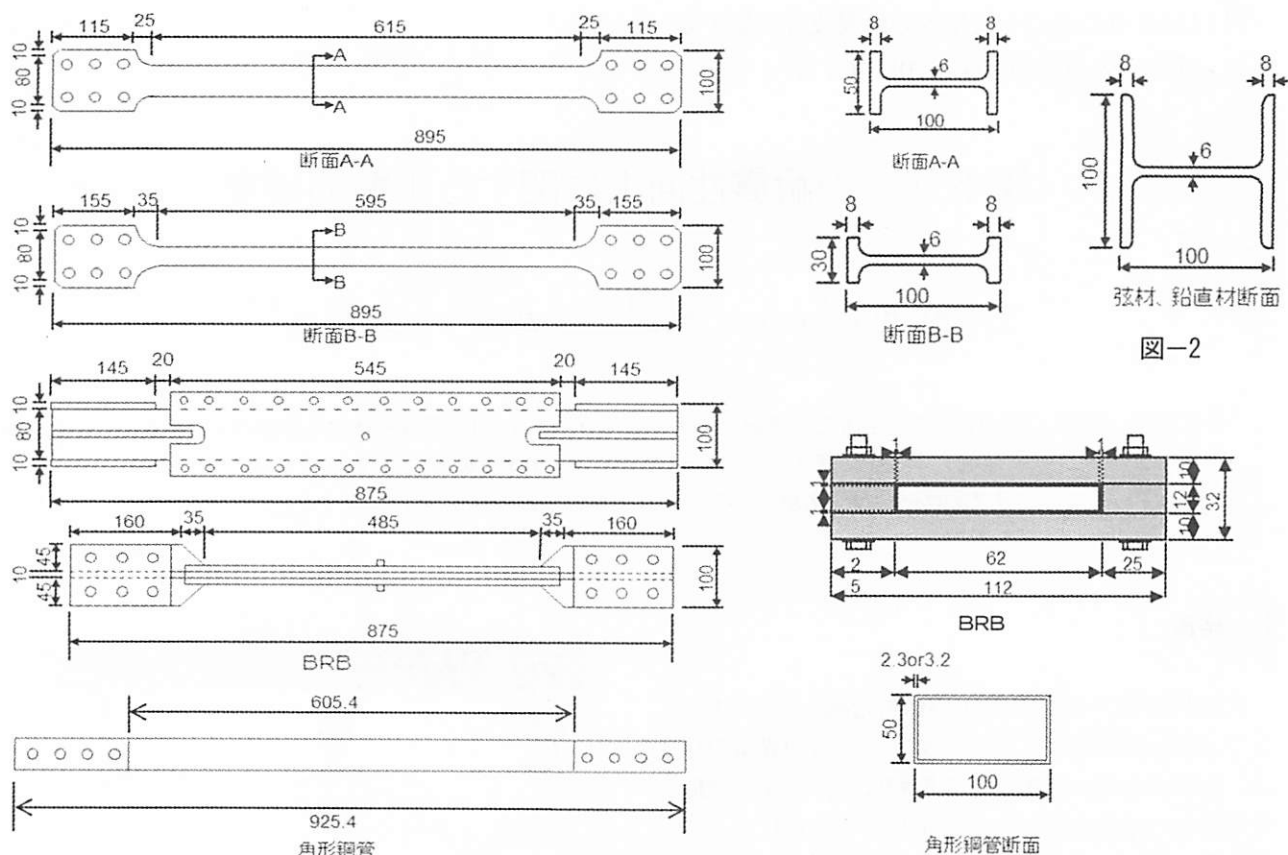


図-2

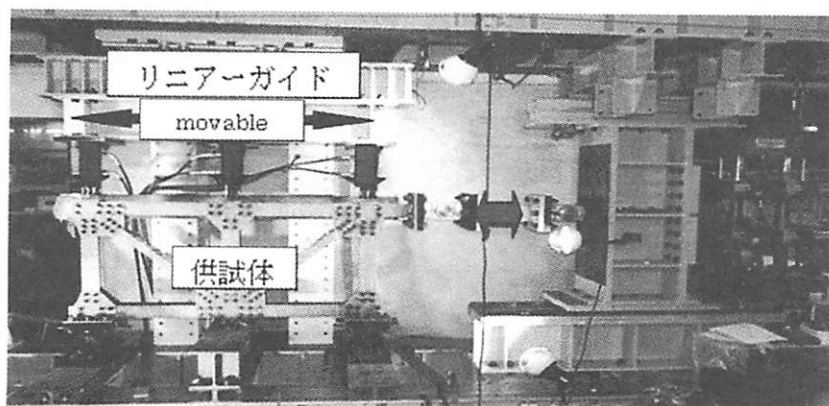
図-3 斜材

表-1 供試体一覧

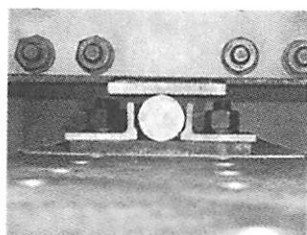
| No. | 供試体名       | 载荷条件      | 斜材断面                    | 備考             |
|-----|------------|-----------|-------------------------|----------------|
| 1-1 | AA-Mo      | Monotonic | A 断面<br>H50x100x8x6(弱軸) |                |
| 1-2 | AA-Cy      | Cyclic    |                         |                |
| 2   | BB-Cy      | Cyclic    | B 断面 H100x30x8x6 (弱軸)   |                |
| 3-1 | BOX-Mo-3.2 | Monotonic | □50x100x3.2(弱軸)         |                |
| 3-2 | BOX-Cy-3.2 | Cyclic    |                         |                |
| 4-1 | BOX-Mo-2.3 | Monotonic | □50x100x2.3(弱軸)         |                |
| 4-2 | BOX-Cy-2.3 | Cyclic    |                         |                |
| 5   | AA-Cy-G6   | Cyclic    | A 断面                    | ガセット厚 6mm      |
| 6-1 | BRB-Cy     | Cyclic    | BRB                     |                |
| 6-2 | BRB-Cy-NIS | Cyclic    | PL60x10(弱軸)             | 中間支点なし         |
| 7   | AA-Cy-C50  | Cyclic    | B 断面                    | 上下弦材フランジ幅 50mm |

BRB は座屈拘束ブレースを表す。BRB はブレース材および拘束材に平板を使用し、安全係数  $\gamma_F > 3.0$  で全体座屈が生じない設計となっている<sup>5)</sup>。BRB の組み立て方法は、まずブレース材の平形部に拘束材とブレース材の隙間量分(面外 1mm, 面内 1mm)のアンボンド材を接着し、ブレース材を 1 対の拘束材で挟み込むように装着し強力六角ボルトで接合した。ボルトは M10 を用いて供試体の長さ方向に 50mm 間隔で片側 11 本の高力六角ボルトで接合した。2 番目の記号は载荷条件を表し、Mono は単調载荷、

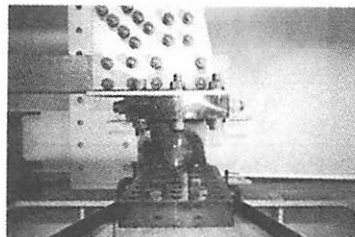
Cyclic は繰返し载荷を表す。3 番目、4 番目の記号はその他の供試体の特徴を表している。BOX 斜材を持つ供試体の 3 番目の記号は角形鋼管の板厚を表している。断面 A の斜材を持つ供試体 AA-Cy-C50 は上下弦材の H 形鋼フランジ幅を 50mm にしたもので、AA-Cy-G6 はガセットの板厚を 6mm にしたものである。BRB 斜材の BRB-Cy-NIS は中間支点を取り外した供試体である。トラス構造の各格点は板厚 8mm の 2 枚のガセットプレートを経して M16 の高力ボルトにて摩擦接合されている。



(a) 実験装置



(b) ローラー支承



(c) 回転支承

写真-1 実験装置 ローラー支承、及び回転支承

## (2) 実験装置

写真-1(a)に本実験の実験装置を示す。荷重フレームは梁・柱をボルト接合によって剛結した自定式構造のため、実験目的に合わせた組換えにより多様な荷重形式に対応できる。圧縮 1000kN、引張 500kN の荷重が可能なサーボアクチュエータ 2 基は、デジタル変位計と 32bitCPU を搭載したコントローラによる 1/100mm の高精度な変位制御が可能である。垂直に設置された剛な柱には上下端にスライドが設置されており、水平に可動することによりこの剛柱に剛結されている供試体に 2 本のアクチュエータの合計荷重  $H$  が与えられるようになっている。供試体と

剛柱の間のロッドには 2 個のヒンジが挿入されて供試体の上下を吸収出来るようになっている。供試体と剛柱は 2 個のヒンジを介して接合されており、供試体の上下による荷重の偏心を防いでいる。実験供試体の水平方向変位  $\Delta$  をモニターし、2 本のアクチュエータの合計水平荷重  $H$  を制御した。3 機の鉛直ジャッキが固定された鋼梁はスライドによって自由に水平方向に移動出来るため、供試体の水平移動に追従することが可能となっている。上弦材の 3 ヶ所の格点では、面外変形、面外倒れを起こさないように拘束してある。基部にはローラー支承、回転支承を設けている(写真-1(b)(c))。

## 3. 実験結果

### (1) 材料定数

JIS1 号引張試験より求められた、部材の材料定数を表-2 に示す。ここに、 $E$ : ヤング係数、 $\sigma_y$ : 降伏応力、 $\varepsilon_y$ : 降伏ひずみ、 $\sigma_u$ : 引張強さ、 $\varepsilon_u$ : 伸び、 $\nu$ : ポアソン比である。

### (2) 変形挙動

性能実験から得られた各供試体の水平荷重 - 水平変位関係を図-4 に示し、図中に顕著な変形、損傷が発生した点を示す。ページの関係上 Cyclic の実験のみ記述する。

AA-Cy:  $\Delta=28\text{mm}$  までは安定した履歴曲線を描いているが、 $\Delta=20\text{mm}$  でベースプレートの溶接割れ、変形による微少な荷重低下が見られた。その後、 $\Delta=\pm 28\text{mm}$  にあたりから支承上の下弦材ボルト穴周辺に破壊が順次発生

表-2 材料定数

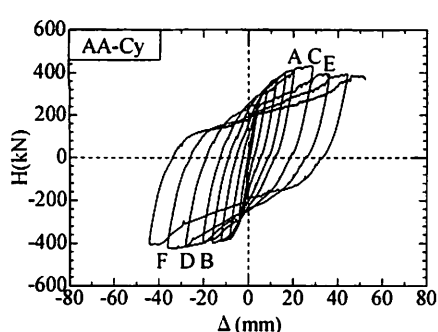
| 部材            | 部位          | $E$<br>[GPa] | $\sigma_y$<br>[MPa] | $\varepsilon_y$<br>[%] | $E_{st}$<br>[GPa] | $\varepsilon_{st}$<br>[%] | $\sigma_u$<br>[MPa] | $\delta_u$<br>[%] | $\nu$ |
|---------------|-------------|--------------|---------------------|------------------------|-------------------|---------------------------|---------------------|-------------------|-------|
| H 型鋼          | ウェブ         | 198          | 312                 | 0.16                   | 2.6               | 2.5                       | 433                 | 25                | 0.29  |
|               | フランジ        | 209          | 301                 | 0.16                   | 3.0               | 2.1                       | 447                 | 26.4              | 0.29  |
|               | ガセット<br>6mm | 208          | 276                 | 0.13                   | 1.9               | 1.8                       | 425                 | 29.5              | 0.30  |
|               | ガセット<br>8mm | 206          | 279                 | 0.12                   | 2.9               | 1.8                       | 436                 | 28.9              | 0.32  |
| 角形鋼管<br>2.3mm | ウェブ         | 194          | 374                 | 0.21                   | 1.8               | 1.7                       | 481                 | 22                | 0.31  |
|               | フランジ        | 194          | 409                 | 0.16                   | 1.6               | 1.9                       | 466                 | 21.7              | 0.31  |
| 角形鋼管<br>3.2mm | ウェブ         | 204          | 399                 | 0.29                   | 1.8               | 1.4                       | 466                 | 22.4              | 0.28  |
|               | フランジ        | 206          | 411                 | 0.36                   | 2.1               | 1.1                       | 462                 | 15.9              | 0.27  |

し、荷重低下が顕著になった。荷重低下は下弦材ガセット周辺  
の損傷と同時に発生しているところを見ると、トラス構造全体の強度劣化は支承部上  
の下弦材の損傷が原因だと考えられる。

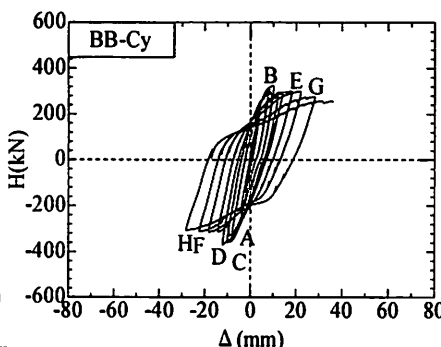
BB-Cy:  $\Delta=+12\text{mm}$  に向かうループで右斜材の部材座屈が生じ、 $\Delta=-14\text{mm}$  に向かうループで左斜材の部材座屈が

生じ荷重低下が見られた。その後、回転支承上部の下弦材ボルト穴に破壊が順次生じ、緩やかな荷重低下が見られた。強度劣化は斜材座屈および下弦材ボルト穴の損傷に起因すると考えられる。

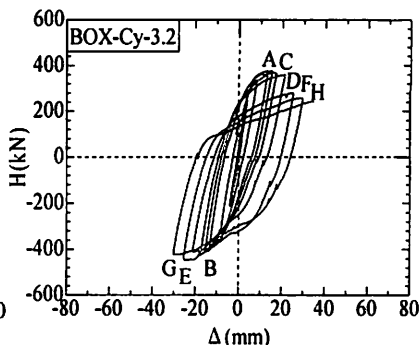
BOX-Cy-3.2:  $\Delta=+15\text{mm}$  に向かうループで右斜材に局部座屈が発生し、 $\Delta=-17\text{mm}$  に向かうループで左斜材にも



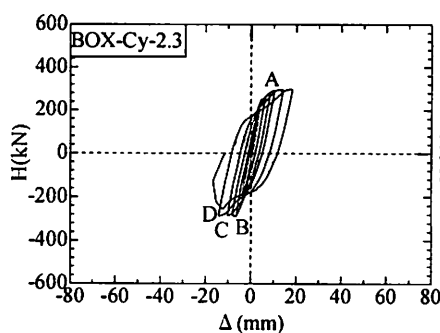
|   |                                      |
|---|--------------------------------------|
| A | 右ベースプレート変形、溶接割れ                      |
| B | 左ベースプレート変形、溶接割れ<br>左下弦材ボルト穴亀裂        |
| C | 左下弦材下側フランジ変形、下側ボルト穴破壊<br>左右鉛直材ボルト穴変形 |
| D | 左下弦材上側ボルト穴破壊<br>右下弦材下側ボルト穴破壊         |
| E | 右下弦材上側ボルト穴破壊                         |
| F | 右鉛直材フランジ局部座屈<br>左鉛直材ボルト穴亀裂           |



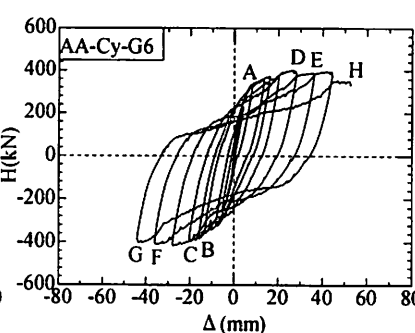
|   |                           |
|---|---------------------------|
| A | 左ベースプレート溶接割れ、変形           |
| B | 右斜材座屈                     |
| C | 右下弦材フランジ変形                |
| D | 左斜材座屈                     |
| E | 右ベースプレート変形                |
| F | 左下弦材ボルト穴亀裂                |
| G | 右下弦材ボルト穴亀裂<br>中央鉛直材ボルト穴変形 |
| H | 左下弦材ボルト穴破断                |



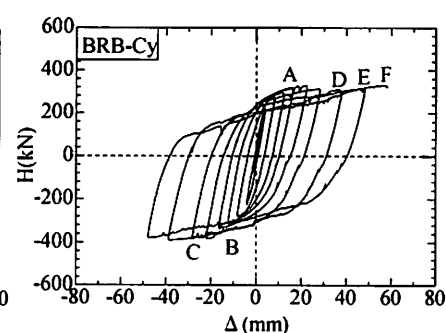
|   |                                     |
|---|-------------------------------------|
| A | 右斜材局部座屈                             |
| B | 左斜材局部座屈                             |
| C | 右下弦材下側ボルト穴亀裂                        |
| D | 右斜材E点のプレートとBOXの溶接割れ<br>右下弦材下側ボルト穴亀裂 |
| E | 左下弦材下側ボルト穴破断                        |
| F | 右下弦材下側ボルト穴破断<br>左下弦材ボルト穴変形          |
| G | 右斜材座屈部亀裂                            |
| H | 左下弦材上側ボルト穴破断                        |



|   |         |
|---|---------|
| A | 右斜材局部座屈 |
| B | 左斜材局部座屈 |
| C | 右斜材亀裂   |
| D | 右斜材破断   |

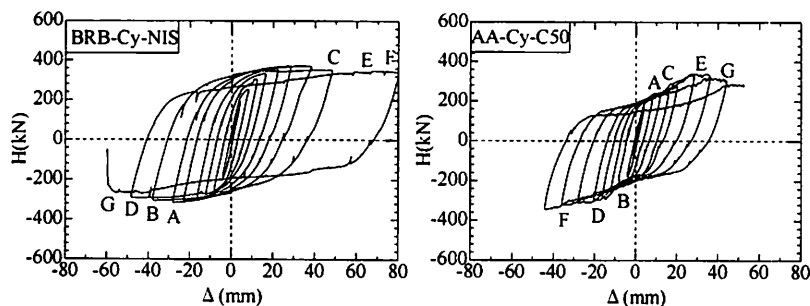


|   |                            |
|---|----------------------------|
| A | 右ベースプレート溶接割れ、変形            |
| B | 左ベースプレート溶接割れ、変形            |
| C | 右下弦材フランジ変形                 |
| D | 右下弦材フランジボルト穴変形、支圧破壊        |
| E | 左鉛直材フランジ変形、ボルト穴変形          |
| F | 右下弦材ボルト穴支圧破壊<br>左鉛直材ボルト穴変形 |
| G | 左下弦材フランジ変形<br>ガセット変形       |
| H | 左鉛直材ボルト穴破断<br>右鉛直材ボルト穴付近破断 |



|   |                              |
|---|------------------------------|
| A | 右ベースプレート変形                   |
| B | 左ベースプレート変形                   |
| C | 左下弦材下側ボルト穴亀裂                 |
| D | 左下弦材上側ボルト穴変形<br>右下弦材下側ボルト穴亀裂 |
| E | 左下弦材上側ボルト穴破断                 |
| F | 右鉛直材右側ボルト穴変形                 |

図-4 水平荷重—水平変位関係と損傷箇所



|   |                              |
|---|------------------------------|
| A | 右ベースプレート変形                   |
| B | 左ベースプレート変形                   |
| C | 左下弦材下側ボルト穴亀裂                 |
| D | 左下弦材上側ボルト穴変形<br>右下弦材下側ボルト穴亀裂 |
| E | 左下弦材上側ボルト穴破断                 |
| F | 右鉛直材右側ボルト穴変形                 |

|   |                          |
|---|--------------------------|
| A | 左下弦材曲げ変形                 |
| B | 右下弦材曲げ変形                 |
| C | 右ベースプレート変形               |
| D | 左ベースプレート変形               |
| E | 左右鉛直材ボルト穴変形              |
| F | 左鉛直材フランジボルト穴破壊           |
| G | 左鉛直材フランジ破壊<br>右鉛直材フランジ変形 |

図-4 の続き

局部座屈が発生したが BOX-Cy-2.3 と同様、斜材の局部座屈による荷重低下は見られなかった。Δ=+21mm に向かうループ以降、座屈変形が進展し、さらに両支承上の下弦材のボルト穴周辺に損傷が広がり、荷重低下が顕著に見られた。このことより、トラス全体の強度劣化は斜材の局部座屈と下弦材ボルト穴周辺の損傷に起因すると考えられる。

**BOX-Cy-2.3:** Δ=+6mm に向かうループで右斜材の A 点付近で局部座屈が生じた。次に Δ=10mm に向かうループで左斜材の B 点付近で局部座屈が生じた。これらの局部座屈による荷重低下は見られなかったが Δ=18mm に向かうループで右斜材が破断したため実験を中止した。BOX-Cy-3.2 より局部座屈の発生が早かったのは角形鋼管の板厚が薄く剛性が低くなったことが原因と考えられる。

**AA-Cy-G6:** Δ=44mm に向かうループでガセットに変形が生じた。しかし、変形はごく小さなもので、履歴曲線に影響を与える程ではなかった。

**BRB-Cy:** Δ=+38mm に向かうループで微少な荷重低下が見られたが、安定した紡錘形の履歴曲線を描いており、大きなエネルギー吸収率が得られ、BRB 設置による耐震性向上効果があったと言える。この Δ=38mm のループの荷重低下は下弦材および鉛直材のボルト穴変形、亀裂により低下したものであって BRB 斜材の損傷によるものではない。

**BRB-Cy-NIS:** Δ=38mm に向かうループ以後に荷重低下が見られたが、中間支点があるものと同様、安定した紡錘形を描いており大きなエネルギー吸収量が得られた。中間支点が上下に自由のため、中央鉛直材が鉛直荷重に

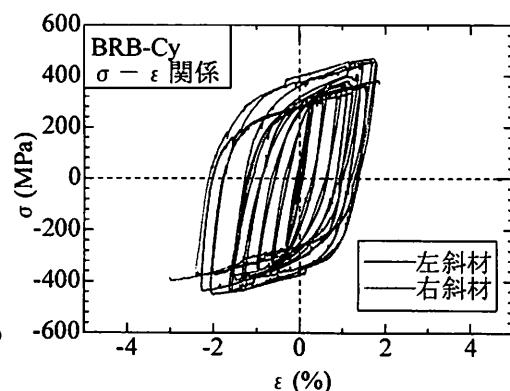


図-5 σ-ε 関係

表-3 BRB の軸ひずみのまとめ

|     | 累積塑性ひずみ<br>CID(%) | 最大軸ひずみ<br>ε <sub>max</sub> (%) |
|-----|-------------------|--------------------------------|
| 右斜材 | 28.6              | 3.0                            |
| 左斜材 | 27.5              | 2.3                            |

より下に沈み込む様な形となり、Δ=48mm 以降、鉛直材のボルト穴の支圧破壊が進んだ。

**AA-Cy-C50:** Δ=±12mm に向かうループで左右下弦材が曲げ変形が生じ、荷重に対する抵抗力が減少して通常の下弦材を持つ供試体に比べ荷重は低くなった。その後各部材に損傷が見られ、荷重低下が見られた。下弦材の曲げ変形および支圧破壊が進むにつれ、ピンチング現象が顕著に見られるようになった。

### (3) BRB の σ-ε 関係

BRB の σ-ε 関係を図-5 に示す。グラフ縦軸の σ は BRB に作用する軸力をブレース材の断面積で除した平均応力であり、横軸の ε は軸力によるブレース材の軸方向変位を平行部の長さ (L=485mm) で除した平均ひずみで、ここでは % で表している。ここでの軸力は実際に計測することは困難なため、微小変位理論により求めている。軸力は引張力を + としており、これに伴って変位の符号を決めている。全体座屈や BRB 取り付け部の損傷もなく、安定した紡錘形を描いており、荷重低下が見られなかった。累積塑性ひずみ、最大軸ひずみを表-3 に示す。累積塑性ひずみは右斜材で 28.6%、左斜材で 27.5% となった。損傷や亀裂は見られず累積塑性ひずみは 70% 以内、最大軸ひずみ 3% 程度であることから、健全であると言える。

### (4) エネルギー吸収量

H-Δ 曲線の囲む面積は水平力による供試体のエネルギー吸収量を表す。構造の終局状態までのエネルギー吸収量の総和である累積エネルギー吸収量 ΣE が大きければ耐震性能が高いということである。ここでの終局状態

の定義であるが、最大荷重から 5%荷重低下した点を終局変位  $\Delta_{95}$  とし、この終局変位を構造の降伏変位  $\Delta_y$  で除したものが変位塑性率  $\mu_{\Delta}$  である。すなわち、

$$\mu_{\Delta} = \Delta_{95} / \Delta_y \quad (\text{変位塑性率}) \quad (1)$$

$\Delta_y$  の算定は文献 1) で求められている方法により算出している。

各供試体の無次元化した累積エネルギー吸収量及び変位塑性率を表-3 に示す。斜材に BRB を使用した供試体はエネルギー吸収量、塑性率ともに非常に高く、BRB 設置による耐震性向上効果があることが分かる。BB-Cy、BOX-Cy-2.3 の累積エネルギー吸収量、及び塑性率が非常に低いのは部材座屈、局部座屈が早い段階で発生したため、耐震性は非常に低いことが分かる。

#### (5) 実験後の変形状況

実験終了後にガセットを取り外し損傷、変形状況を確認した。実験終了後の全体写真と損傷、変形の著しい箇所を写真-2 に示し、詳細な破壊箇所、順番を記述する。なお、AA-Cy-G6 と AA-Cy は写真による違いが分からなかったため AA-Cy-G6 は省略している。ベースプレートは写真(a)の様に下弦材とフランジに溶接されており、回転支承とボルト接合されている。以後ベースプレートを B.P と省略する。

**AA-Cy-0.2 :** 写真(b)は実験終了時の  $\Delta=+52\text{mm}$  の写真である。まず、右 B.P. 浮き上がり変形が生じ、右 B.P. と下弦材の溶接部破断が生じた。その後、左 B.P. 浮き上がり変形、左 B.P. と下弦材の溶接部破断、下弦材左側ボルト孔(下側)亀裂が生じ、下弦材右側ボルト孔(上側)破断、下弦材左側フランジ(下側)変形が生じ、そして、下弦材左側ボルト孔(下側)破断、下弦材右側フランジ(下側)局部座屈変形、左右鉛直材下部ボルト孔(右側)支圧破壊が生じ、下弦材左側ボルト孔(下側)破断が生じた。

**BB-Cy-0.2 :** 写真(c)は実験終了時の  $\Delta=+36\text{mm}$  の写真である。破壊の順番

は、まず左 B.P. と下弦材の溶接部亀裂、左 B.P. 浮き上がり変形が生じ、右斜材座屈変形が生じた。その後下弦材右側フランジ(下側)局部座屈変形(小)、左斜材座屈変形、右 B.P. 浮き上がり変形、下弦材左側ボルト孔(下側)

亀裂と破壊が進行し、下弦材右側ボルト孔(下側)亀裂、中央鉛直材下部ボルト孔(右側)支圧変形が生じ、下弦材左側ボルト孔(下側)破断、中央鉛直材下部ボルト孔(左側)支圧変形が生じた。

**BOX-Cy-3.2 :** 写真(d)は BOX-Cy-3.2 の実験終了時、 $\Delta=+35\text{mm}$  の写真である。まず、右斜材(下部)局部座屈(微小)が生じ、右斜材(下部)局部座屈(荷重低下)、右 B.P. と下弦材の溶接部亀裂が生じた。その後、左 B.P. と下弦材の溶接部亀裂、右斜材(下部)局部座屈進展、左斜材(下部)局部座屈(微小)、下弦材右側ボルト孔(下側)亀裂、下弦材左側ボルト孔(下側)亀裂、右斜材端部プレートと角形鋼管の溶接亀裂、左斜材(下部)局部座屈進展と順次破壊が生じた。

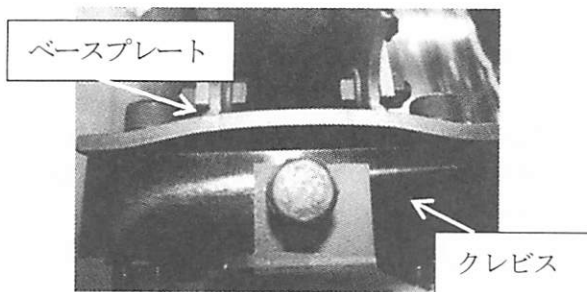
**BOX-Cy-2.3 :** 写真(e)は BOX-Cy-2.3 の実験終了時、 $\Delta=+18\text{mm}$  の写真である。右斜材下端部ガセット付近局部座屈発生(微小)、左斜材下端部ガセット付近局部座屈発生(微小)、右斜材下端部ガセット付近局部座屈進行、右斜材下端部ガセット付近局部座屈発生位置に亀裂、右斜材下端部ガセット付近局部座屈発生位置から破断と順次破壊が進行した。

**AA-Cy-G6 :** まず、右 B.P. と下弦材の溶接部亀裂、右 B.P. 浮き上がり変形が生じ、左 B.P. と下弦材の溶接部亀裂、左 B.P. 浮き上がり変形、下弦材左側ボルト孔(下側)支圧破壊が生じた。その後、下弦材右側フランジ(下側)局部座屈変形、下弦材右側ボルト孔(上側)支圧変形が生じ、下弦材右側ボルト孔(下側)支圧破壊、左鉛直材フランジ(右側)局部座屈変形の順で破壊が生じた。

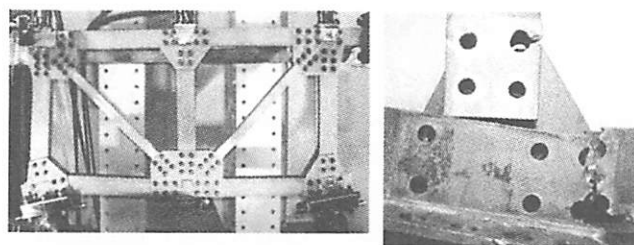
**BRB-Cy :** 写真(f)は実験終了時の  $\Delta=+58\text{mm}$  の写真である。まず、右 B.P. 浮き上がり変形、左 B.P. 浮き上がり変形、右 B.P. と下弦材溶接部亀裂、左 B.P. と下弦材溶接部亀裂、下弦材左側ボルト孔(下側)亀裂と破壊が生じた。その後、下弦材左側ボルト孔(上側)支圧変形、下弦材右側ボルト孔(下側)亀裂が生じ、下弦材左側ボルト孔(上側)支圧破壊、右鉛直材下部ボルト孔(右側)支圧変形と順次破壊が生じた。最後に下弦材右側ボルト孔(上下側)破断、下弦材左側ボルト孔(下側)支圧破壊が生

表-4 累積エネルギー吸収量及び変位塑性率

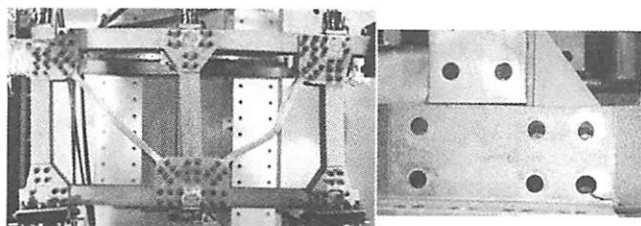
| 供試体名       | $H_y=H_d$ | $\Delta_y$<br>(mm) | $\Delta_{95}$<br>(mm) | $E_y$<br>(kN・m) | $\mu_{\Delta}$ | $\Sigma E$<br>(kN・m) | $\Sigma E/E_y$ |
|------------|-----------|--------------------|-----------------------|-----------------|----------------|----------------------|----------------|
| AA-Cy      | 274       | 3.37               | 36.1                  | 67.3            | 10.71          | 462                  | 145.7          |
| BB-Cy      | 143       | 1.92               | 12.1                  | 10.1            | 6.32           | 137                  | 73.7           |
| BOX-Cy-3.2 | 216       | 3.19               | 24.9                  | 49.2            | 7.80           | 344                  | 142.9          |
| BOX-Cy-2.3 | 202       | 3.47               | 18.1                  | 19.6            | 5.24           | 350                  | 56.1           |
| BRB-Cy     | 217       | 3.61               | 57.9                  | 146.2           | 16.05          | 392                  | 373.3          |
| BRB-Cy-NIS | 199       | 3.55               | 48.1                  | 106.9           | 13.58          | 353                  | 302.6          |



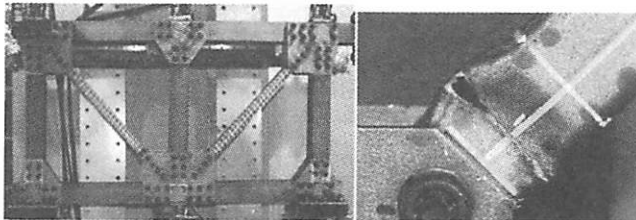
(a) 供試体下側からのベースプレート



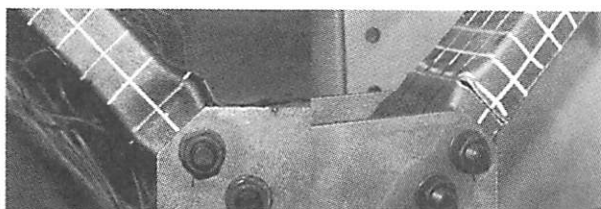
(b) 実験後の AA-Cy の全体写真と左支承



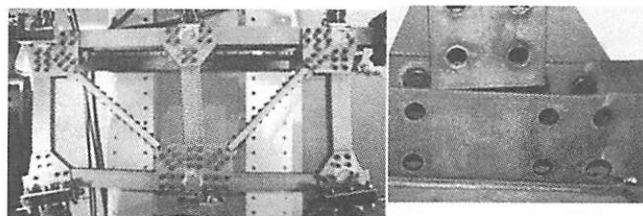
(c) 実験後の BB-Cy の全体写真と左下弦材



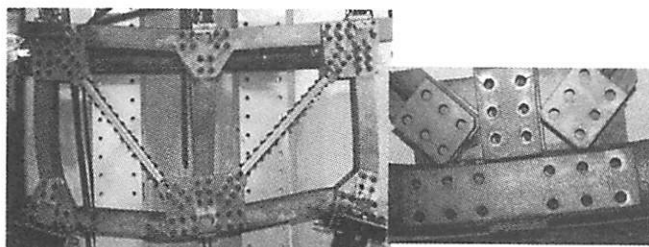
(d) BOX-Cy-3.2 の全体写真と右斜材局部座屈発生箇所



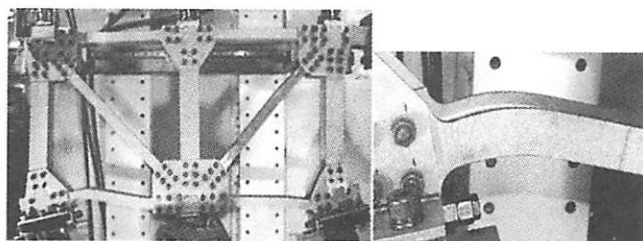
(e) BOX-Cy-2.3 左斜材局部座屈, 右斜材破断箇所



(f) BRB-Cy の全体写真と左支承



(g) BRB-Cy-NIS の全体写真と中間支承付近



(h) AA-Cy-C50 の全体写真と左下弦材

## 写真-2 全体写真, 及び損傷, 変形箇所

じた。

**BRB-Cy-NIS :** 写真(g)は実験終了時の $\Delta = -80$  mm の写真である。B.P.の損傷はなく、まず下弦材左側ボルト孔(上側)支圧変形、下弦材右側ボルト孔(上側)支圧変形、下弦材左側ボルト孔(上側)亀裂と順次破壊が生じ、下弦材右側ボルト孔(上側)亀裂、下弦材左側ボルト孔(下側)亀裂が生じた。その後、下弦材中央部ボルト孔(下側)支圧変形、右鉛直材下部ボルト孔(左側)支圧変形が生じ、左鉛直材下部ボルト孔(右側)亀裂、右鉛直材下部ボルト孔(左側)亀裂、中央鉛直材下部ボルト孔(右側)支圧変形の順に生じた。最後に、中央鉛直材下部ボルト孔(左側)破断、右鉛直材下部ボルト孔(右側)破

断、左鉛直材下部ボルト孔(右側)破断、下弦材左側破断が生じた。

**AA-Cy-0.2-C50 :** 写真(h)は実験終了時の $\Delta = +52$ mm の写真である。下弦材左側曲げ変形、下弦材右側曲げ変形、右B.P. 浮き上がり変形、左B.P. 浮き上がり変形、左右鉛直材下部ボルト孔(左側)支圧変形、左鉛直材下部ボルト孔(右側)支圧破壊の順に破壊が進行した。その後、左鉛直材下部ボルト孔(左側)支圧破壊、右鉛直材下部ボルト孔(左側)支圧変形が生じた。

## 4. 結言

格点がガセットを介して高力ボルトで接合された平面鋼トラス模型を製作し、単調、繰返し水平荷重を作用させ進行性破壊実験を行った。供試体は全部で 11 体製作し、斜材や上下弦材、ガセット厚に違いがある。破壊挙動を理解すると共に、斜材に BRB を設置し制震構造化した供試体が、通常の供試体に比べどれほどの耐震性能が向上したのかを破壊挙動、履歴曲線などから比較し BRB の設置効果を検証した。本研究でのまとめ、結論は以下ようになる。

- 1) 強い斜材 (A 断面, BRB) を持つ供試体は、変位が進行していくと支承部周辺の下弦材ボルト穴に損傷が生じ亀裂、破断と破壊が進行していく。そして、破壊により荷重低下が発生し、破壊が進行していくにつれ支承の回転は大きくなっていく。
- 2) 弱い斜材 (B 断面) を持つ供試体は、まず斜材に座屈変形が生じ荷重低下を起こす。その後、下弦材ガセット周辺に損傷が生じる。しかし、これは強い斜材を持つ供試体に比べ軽微な損傷である。
- 3) 上下弦材が弱い供試体は、まず下弦材に曲げ変形が生じ、その後下弦材ガセット部のボルト穴に損傷が発生する。下弦材が早い段階で曲げ変形するので他の供試体に比べ耐荷力は低い値となる。下弦材ガセット周辺の損傷は、下弦材の変形によって非常に小さいものとなる。
- 4) 角形鋼管斜材を使用した供試体は、まず斜材に局部座屈が生じ、その後下弦材ガセット周辺に損傷が広がる。
- 5) BRB を斜材に用いることによって、累積エネルギー吸収量、塑性率共に格段に向上しており、履歴曲線を見ても非常に安定した紡錘形を描いており BRB 設置による耐震性能向上効果があることが分かる。BRB 単体に注視してみても、全体座屈は起きておらず、BRB 取り付け部にも損傷が見られなかった。 $\sigma - \epsilon$  関係が示す様に BRB の性能を十分に発揮していることが分かる。

なお、本論文では実験結果のみ示したが、現在解析を実施中であり、まとめ次第報告する。

## 謝辞

本研究は、平成 19 年度文部科学省私学助成ハイテクリサーチセンター整備事業で名城大学に設置された「高度制震実験・解析研究センター（代表者：宇佐美 勉）」、ならびに文部科学省の科学研究費（基盤研究（B）、研究代表者：宇佐美 勉）の助成を受けて実施されたものである。

## 参考文献

- 1) 宇佐美勉、斉藤直也、舟山純起、野中哲也、廣住教士、菅付 紘一、渡辺孝一：繰返し水平荷重を受ける構成剛結トラスの破壊実験と解析、構造工学論文集 Vol.57A, 2011.3
- 2) 宇佐美勉編著、日本鋼構造協会編：鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン、技報堂出版、2006.
- 3) 土木学会：鋼・合成構造標準示方書〔耐震設計編〕、丸善、2008.
- 4) 宇佐美勉、馬越一也、斉藤直也、野中哲也：鋼橋の耐震解析におけるブレース材のモデル化、構造工学論文集に投稿中.
- 5) 宇佐美勉、渡辺直起、河村洋行、葛西 昭、織田博孝：制震ダンパーとしての座屈拘束ブレースの全体座屈、構造工学論文集 Vol.52A, 土木学会, pp.37-48, 2006.3.