

# 座屈拘束ブレースにおける剛性調節

岩田研究室 200302611 中村 慎

## 1. 序

座屈拘束ブレースは、芯材塑性化部の断面積を減らすことで降伏耐力を低下させることができる。しかし芯材塑性化部の断面積を減少させることは、耐力と併せて剛性も大きく低下させてしまう。

ここで、座屈拘束ブレースの剛性調節を目的とし、従来型の高剛性・高耐力ブレースと、それに絞りを加えた低剛性・低耐力ブレースに対し、第3のブレースとして端部を増厚した高剛性・低耐力ブレースを考える。先ず簡易式による剛性計算を行う。次に従来型ブレースと高剛性・低耐力ブレースを設定し、製作を行い、併せて軸方向荷重実験をする。更に簡易式による剛性計算値と実験結果の比較から実際に剛性調節が可能かどうかを確認し、各試験体の性能についても検討する。

## 2. 実験計画

### 2.1 簡易式による軸剛性計算

軸剛性の計算値は以下の式より算出する。

$$k_c = \frac{EA}{L} \left( \frac{\beta\gamma}{\alpha_1\beta\gamma + 2\alpha_2\gamma + 2\alpha_3\beta} \right) \dots (1)$$

E: ヤング係数 A: 塑性化部断面積 L: 芯材長さ

$\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ の各値は図1に示す芯材の断面積が大きく変わる点で、場合分けを行うものとする。(1)式より算出した軸剛性を表1に示す。

### 2.2 試験体

試験体一覧を表1に、試験体の部品を図2に、芯材形

状を図3に示す。R56N16-55試験体は幅厚比11の芯材を用いた座屈拘束ブレースである。R40D17-93とR40D45-135試験体はR56N16-55試験体の芯材中央部に絞りを設けてある。加えてR40D45-135試験体は、端部両面に増厚板PL16mmを溶接している。絞られた芯材の強軸方向には変形を補剛する目的でスペーサーを取り付ける。また絞られていない部分には、 $\phi 11$ の丸鋼を取り付ける。

芯材の降伏荷重 $P_y$ は素材試験より、拘束材の座屈荷重 $P_E$ はオイラー座屈荷重式より試験体長さ( $L=2351\text{mm}$ )を用いてそれぞれ算出する。

### 2.3 荷重方法

荷重は軸方向変位による正負交番漸増繰返し荷重とする。荷重パターンは表2の通りである。3.0%歪荷重は耐力低下まで行う。既往の研究<sup>1)</sup>では、芯材に生じる塑性歪1.0%が層間変形角1/100、3.0%が1/33相当であったが、本試験体は芯材塑性化部の長さが異なるため層間変形角でなく軸歪を合わせた制御とする。なお軸歪を合わせて制御した本実験の3.0%歪時の相当層間変形角は、R56N16-55試験体で約1/48、R40D17-93とR40D45-135試験体で約1/66となる。

## 3. 実験結果

### 3.1 実験結果

各試験体の最大耐力、及び最終状況を表3に示す。また $P/P_y - \epsilon$ 関係を図4に示す。全ての試験体が芯材

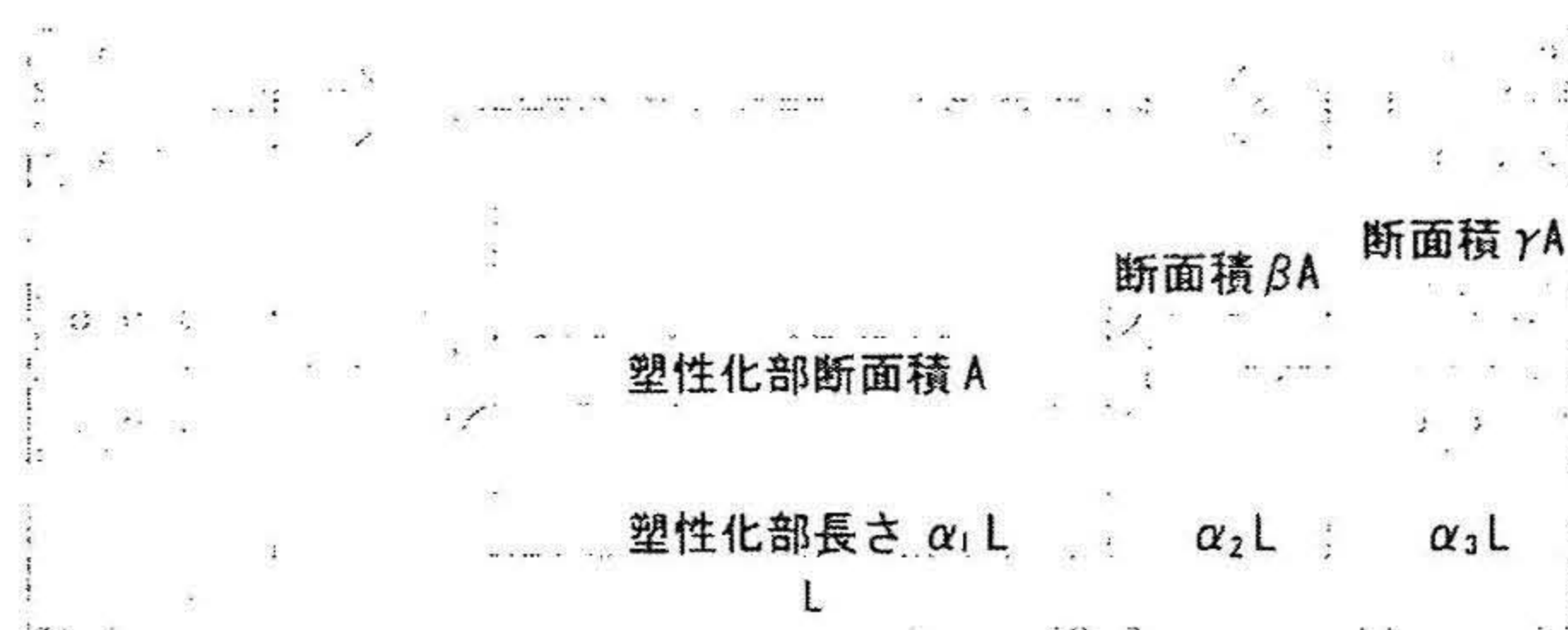


図1 (1)式のパラメーター

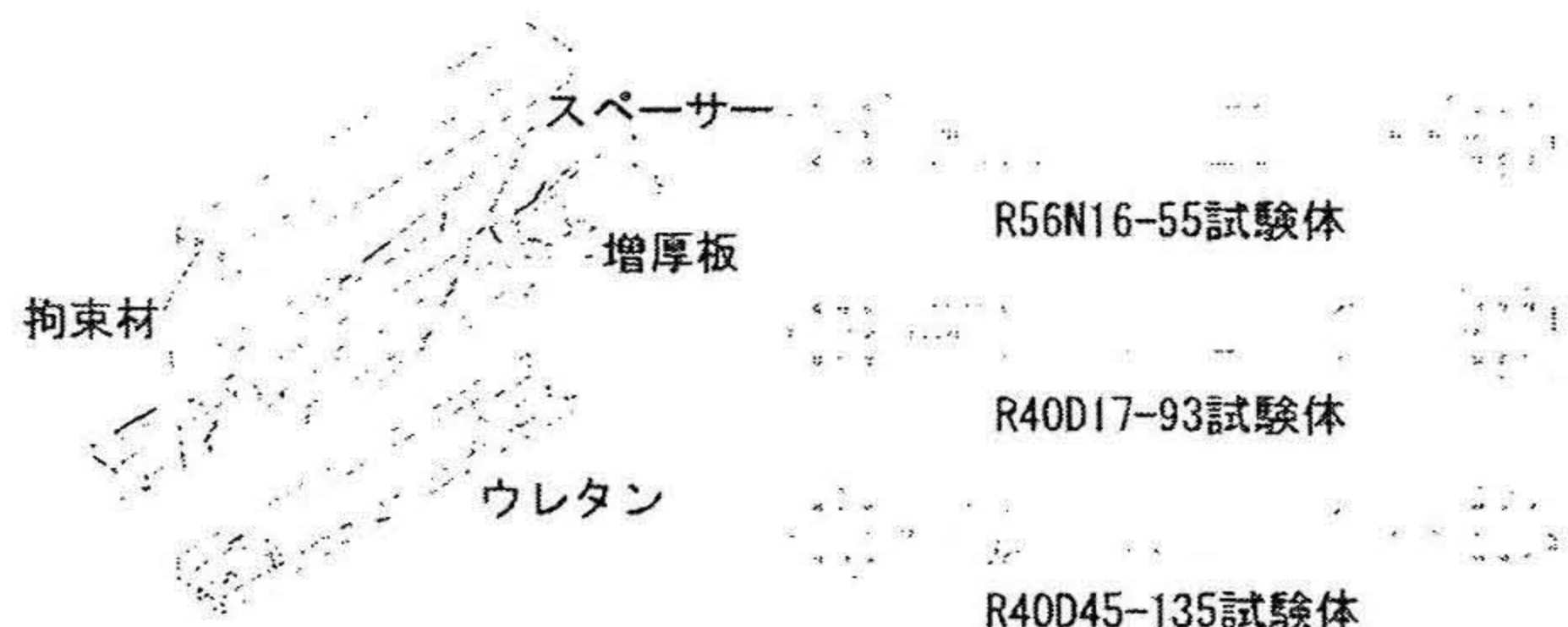


図2 試験体部品



図3 芯材形状

表1 試験体一覧

| 試験体名       | 芯材                 |          |         |                      |                                 |             |     | 拘束材     |          |                                    |             | クリアランス<br>mm | $P_E/P_y$ | 軸剛性<br>N/mm       |
|------------|--------------------|----------|---------|----------------------|---------------------------------|-------------|-----|---------|----------|------------------------------------|-------------|--------------|-----------|-------------------|
|            | $\alpha_1 L$<br>mm | 厚さ<br>mm | 幅<br>mm | A<br>mm <sup>2</sup> | $\sigma_y$<br>N/mm <sup>2</sup> | $P_y$<br>kN | 幅厚比 | 幅<br>mm | 高さ<br>mm | $I \times 10^4$<br>mm <sup>4</sup> | $P_E$<br>kN |              |           |                   |
| R56N16-55  | 1313               | 16       | 176     | 2816                 | 272                             | 765         | 11  | 203.2   | 61       | 947                                | 3468        | 1.0          | 4.5       | $354 \times 10^3$ |
| R40D17-93  | 940                | 16       | 105     | 1680                 | 272                             | 457         | 6.6 | 203.2   | 61       | 947                                | 3468        | 1.0          | 7.5       | $243 \times 10^3$ |
| R40D45-135 | 940                | 16       | 105     | 1680                 | 272                             | 457         | 6.6 | 203.2   | 61       | 947                                | 3468        | 1.0          | 7.5       | $301 \times 10^3$ |

A: 塑性化部断面積  $\sigma_y$ : 降伏応力度  $P_y$ : 降伏荷重 I: 断面二次モーメント  $P_E$ : 座屈荷重

表2 荷重方法

| 荷重方法            |    |     |    |
|-----------------|----|-----|----|
| 歪               | 回数 | 歪   | 回数 |
| $\epsilon_y/3$  | 1  | 1.0 | 5  |
| $2\epsilon_y/3$ | 1  | 1.5 | 2  |
| 0.25            | 1  | 2.0 | 2  |
| 0.5             | 2  | 2.5 | 2  |
| 0.75            | 2  | 3.0 | -  |

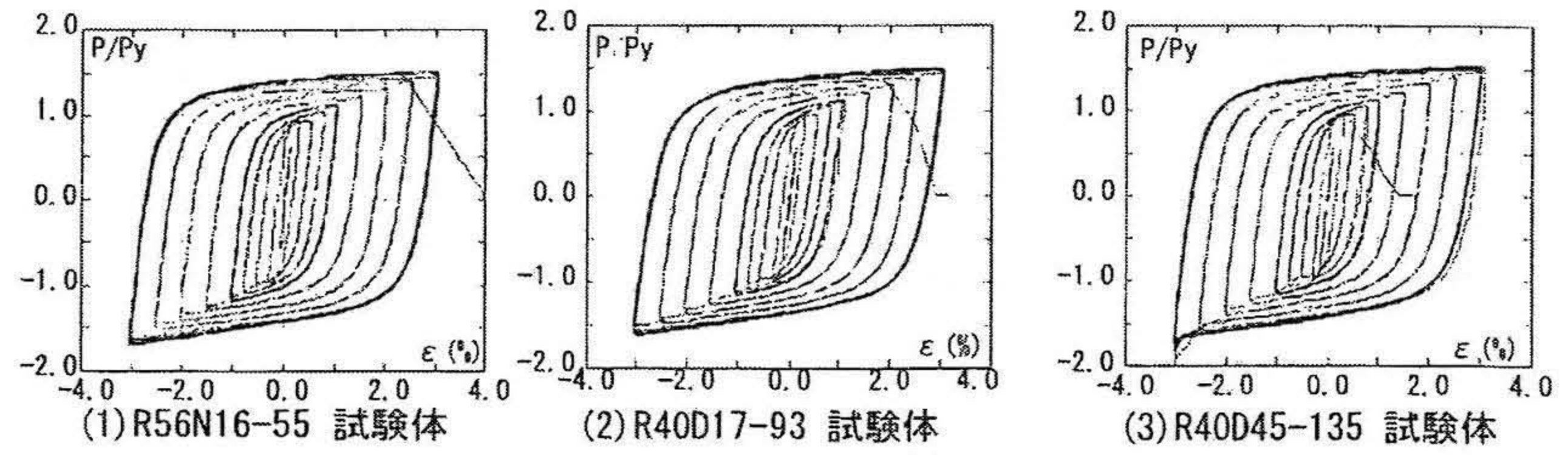


図4 P/Py-歪ε関係

表3 実験結果

| 試験体名       | $P_t$ (kN) | $P_c$ (kN) | 耐力低下      | 芯材の最終状況 |
|------------|------------|------------|-----------|---------|
| R56N16-55  | 1148.5     | 1298.2     | 3.0%歪18回目 | 引張破断    |
| R40D17-93  | 690.2      | 737.5      | 3.0%歪18回目 | 引張破断    |
| R40D45-135 | 698.9      | 863.8      | 3.0%歪22回目 | 引張破断    |

$P_t$ : 引張側最大耐力  $P_c$ : 圧縮側最大耐力

表4 性能評価指標

| 試験体名       | $P_E/P_y$ | $\eta^+$ | $E_t$  | $\omega$ |
|------------|-----------|----------|--------|----------|
| R56N16-55  | 4.5       | 849.1    | 3461.5 | 2124.3   |
| R40D17-93  | 7.5       | 708.2    | 1423.4 | 1759.7   |
| R40D45-135 | 7.5       | 1000.7   | 1706.8 | 2540.7   |

表5 軸剛性比較

| 試験体名       | $\alpha_1$ | $\alpha_2$ | $\alpha_3$ | $\beta$ | $\gamma$ | $K_c$ | $K_E$ | 誤差    |
|------------|------------|------------|------------|---------|----------|-------|-------|-------|
| R56N16-55  | 0.56       | 0.12       | 0.32       | 1.6     | 5.5      | 354   | 347   | 1.86% |
| R40D17-93  | 0.40       | 0.28       | 0.32       | 1.7     | 9.3      | 243   | 238   | 2.08% |
| R40D45-135 | 0.40       | 0.28       | 0.32       | 4.5     | 13.5     | 301   | 274   | 8.86% |

$K_c$ : 剛性計算値 ( $\times 10^3 \text{N/mm}$ )  $K_E$ : 剛性実験値 ( $\times 10^3 \text{N/mm}$ )

の3.0%歪の引張側において、大きな音と共に耐力低下した。

### 3.2 最終状況

実験後、ブレースを解体し芯材の状況を確認した。R56N16-55 試験体は芯材中央部で、R40D17-93 と R40D45-135 試験体は芯材下部で、それぞれ破断していた。いずれの試験体においても3.0%歪を多く繰り返し最終的に引張破断で実験を終了した。このため、芯材塑性化部における座屈モードは確認できなかった。

## 4. 考察

### 4.1 復元力特性

(1) R56N16-55 試験体: 3.0%歪を18回繰り返した。3.0%歪時には荷重が進むにつれ、圧縮耐力が若干高くなったが、引張側と圧縮側でほぼ同様のループを描き安定した復元力特性を示した。

(2) R40D17-93 試験体: 3.0%歪を18回繰り返した。引張破断する直前まで引張側、圧縮側ほぼ変わらないループを描き安定した復元力特性を示した。

(3) R40D45-135 試験体: 3.0%歪を22回繰り返した。圧縮における3.0%歪時の耐力上昇は、増厚板とモルタルとの間のクッション材がすり切れたことにより、両者が接触して起こったと考える。しかしその後は、芯材の破断まで安定した復元力特性を示した。

### 4.2 性能評価

各試験体の  $P_E/P_y$ 、累積塑性変形倍率  $\eta^+$  と累積塑性歪エネルギー  $E_t$  及び累積塑性歪エネルギー率  $\omega$  を算出して表4に示す。 $\omega$  は  $E_t$  を降伏荷重  $P_y$  と弾性限界変形量  $\sigma_y$  で除したものである。

既往の研究<sup>1)</sup>の性能評価は累積塑性歪エネルギー率  $\omega$  と  $P_E/P_y$  から求められた性能評価式( $\omega = 150 \times P_E/P_y$ )を使用していた。しかし、この評価式は芯材弱軸方向に局部変形を起こした試験体のもので、本実験の結果では正確に比較できない。参考までに比較すると、R56N16-55 試験体で性能評価式における  $\omega$  の3.1倍、R40D17-93 と

R40D45-135 試験体でそれぞれ、1.6倍、2.3倍と大きな値を示した。

また、各試験体とも層間変形角  $1/70$  相当以上にあたる3.0%歪荷重を10回以上繰り返しており、通常最大応答層間変形角を  $1/100 \sim 1/70$  程度として設計することを考えると、十分な性能を有している。

### 4.3 軸剛性

実験で得られた履歴ループの弾性部を線形近似して求めた実験値の軸剛性、ならびに計算値の詳細なパラメータと軸剛性を表5に示す。

芯材の形状が複雑になるにつれ、剛性計算値と剛性実験値の差は大きくなるが、いずれの結果も計算値と10%以内の誤差に収まっている。よって3箇所の場合わけによる計算式(1)でも、軸剛性がよい精度で調節できると言える。

## 5. 結

芯材断面積を変化させた座屈拘束ブレースを製作して軸方向繰り返し荷重実験を行い、以下の知見を得た。

- (1) 芯材端部を増厚させることにより、芯材に絞りを加えた座屈拘束ブレースの軸剛性を有効に向上させることができる。
- (2) 座屈拘束ブレースの芯材の軸剛性は、3部分程度に場合分けした簡易式による軸剛性計算でも誤差10%以内で計算できる。
- (3) 芯材端部の断面積を増加させた座屈拘束ブレースは、従来型の絞りを加えた座屈拘束ブレースよりも高い性能を有する。

### 【参考文献】

- 1) 佐藤拓海: 鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースにおけるクリアランスの影響、神奈川大学卒業研究・修士論文梗概集、2006.2