

芯材端部リブ貫入長さが座屈拘束ブレースの力学性能に及ぼす影響

大内 京太郎

1. はじめに

座屈拘束ブレース(以下、BRB)の芯材は圧縮により高次座屈モードを形成し、その座屈変形を拘束する拘束材には補剛力がはたらく。本論では拘束材の剛性を大きくし累積塑性歪エネルギー率 ω を増加させることを目的とする。拘束材の溝形鋼とモルタルの強度をパラメータとする試験体の繰返し軸方向載荷実験を行い、 ω に及ぼす影響について検討し考察する。

2. 実験概要

BRB 試験体の形状を図 1 に、試験体一覧を表 1 に示す。試験体は計 4 体で、溝形鋼に普通強度鋼 SS400 または高強度鋼 WEL-TEN590、モルタルに普通強度 NS-GL または高強度 NS-HS100 を用いた。試験体名の c(溝形鋼)、m(モルタル)に続く N、H はそれぞれ普通強度、高強度を意味する。

先行の研究より、拘束指標 P_E/P_y (P_E : 拘束材のオイラー座屈荷重、 P_y : 芯材の降伏荷重) >6.0 の範囲では、引張破断に至るまで芯材の塑性変形能力が有効に引き出されやすくなり、 ω が大きくなることが報告されている。本実験ではすべての試験体において芯材と拘束材の断面寸法は $P_E/P_y=6.0$ となるようにし、芯材弱軸回り局部変形を起こりにくくした。芯材塑性化部の弱軸回り細長比 $\lambda=(L_p/l_i)$ (芯材塑性化部長さ) l_i (断面 2 次半径)) は 800 とし、強軸回り変形を抑えるため PL-12×33 mm のスペーサーを芯材側面と溝形鋼の間に設置した。また、芯材の軸歪分布を測定するため、試験体 cNmN と cHmN には芯材の裏表に歪ゲージを 2 列ずつ貼付した。

実験装置を図 2 に、載荷パターンを図 3 に示す。試験体手前側と奥側で測定した材軸方向の伸びの平均値を芯材塑性化部長さ L_p で除したものを、芯材塑性化部平均軸歪

ϵ とした。載荷は ϵ で制御し、正負交番漸増繰返しとした。 $\epsilon=0.25\%$ までは装置及び治具の慣らしとして行い、試験体耐力が最大耐力の 80% に低下するまで繰り返した。

3. 実験結果

各試験体の無次元化軸力 P/P_y (P : 芯材軸方向荷重、引張が正) と ϵ の関係を図 4 に示す。また、表 1 に実験終了時の載荷数と ω を示す。すべての試験体で安定した履歴ループを描いているが、いずれも $\epsilon=3.0\%$ に達することなく、圧縮中に芯材塑性化部下端側の端部における弱軸回りの局部変形により耐力低下をきたした。特に高強度モルタルを用いた試験体では、溝形鋼が大きく押し出されていた。局部変形を起こした部分のモルタルは、普通強度のものは表面が粉々に砕けていたのに対し、高強度のものは粉々に

表 1 試験体

試験体	溝形鋼	モルタル	歪ゲージ貼付枚数	実験終了時 載荷数	累積塑性歪 エネルギー率 ω
cNmN	普通	普通	72	2.0%歪2回目(-)	491
cHmN	高強度	普通	72	2.5%歪1回目(-)	544
cNmH	普通	高強度	-	3.0%歪1回目(-)	848
cHmH	高強度	高強度	-	2.5%歪2回目(-)	689

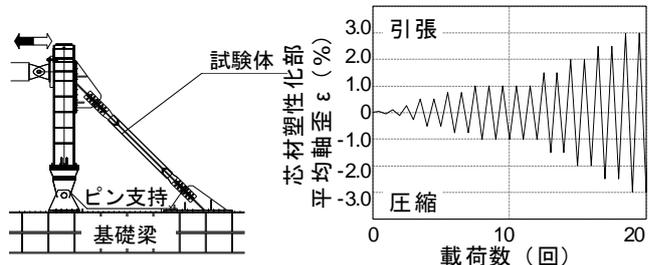


図 2 実験装置

図 3 載荷パターン

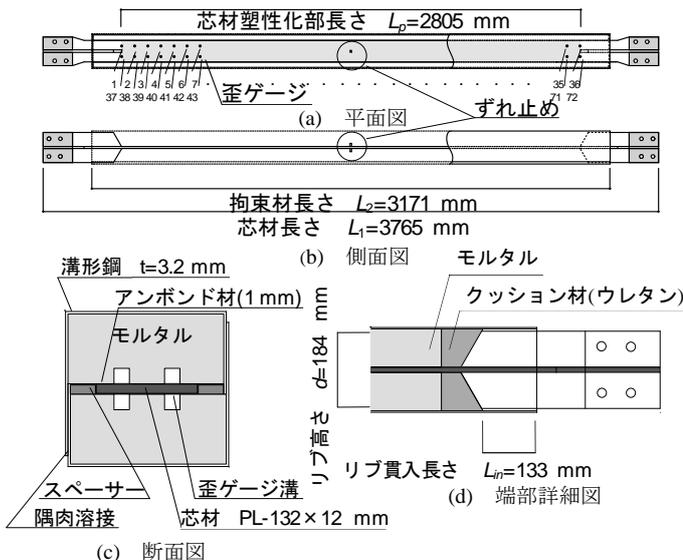


図 1 試験体形状

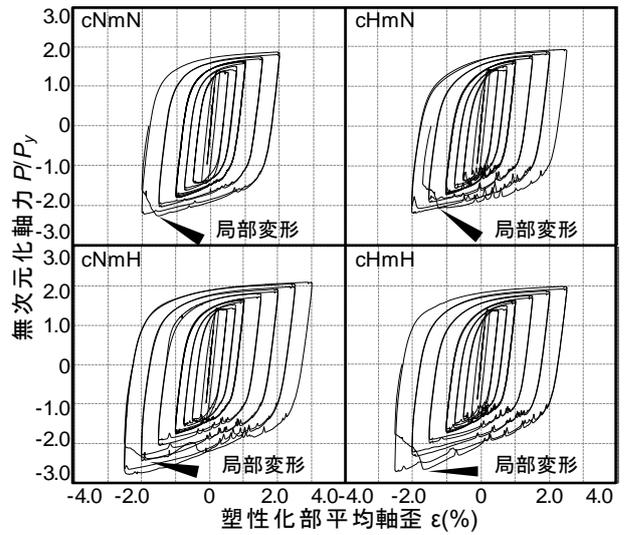


図 4 P/P_y - ϵ 関係

Effect of End-Stiffener Embedment Length of the Steel Core on the Seismic Performance of Buckling-Restrained Braces

OUCHI Kyotaro

はならず、深部まで亀裂が入り、大きく割れていた。また、すべての試験体において僅かに強軸回りの変形が生じた。

4. 累積塑性歪エネルギー率 ω についての考察

既往の研究²⁾により提案された性能評価式(1)を以下に示す。(1)式左辺の分母の 310.8 は、実際の地震動を入力し軸歪 3.0%を与えたときの ω の解析値の平均であり、これを加藤らは BRB の要求性能としている³⁾。

$$\frac{\omega}{310.8} = \frac{1}{4} \cdot \frac{P_{E2}}{P_y} \quad (1)$$

ここで P_{E2} : 座屈長さに拘束材長さ L_2 を用いて求めたオイラー荷重とする。

(1)式より本実験の試験体の ω の性能評価値は 657 となる。表 1 を見ると、普通強度のモルタルを用いた 2 つの試験体では、評価値を満たさなかった。また、4 体とも芯材塑性化部端部で局部変形を起こしたため、拘束指標 P_E/P_y を大きくしたにもかかわらず、本試験体と弱軸回りの細長比が同じで P_E/P_y が異なる菱田ら⁵⁾の試験体 L800F70 の $\omega=947$ よりも、 ω が小さくなった。そこで次に、 ω や試験体の終局状態に、芯材塑性化部長さやリブ貫入長さが影響を及ぼすかを考察する。

芯材長さ L_1 に対する芯材塑性化部長さ L_p の比を、塑性長さ比 L_p/L_1 とする。本実験と既往の実験の ω と塑性長さ比の関係を図 5 に示す。直線は近似線を示す。塑性長さ比が大きくなると ω が小さくなる傾向がある。芯材塑性化部の外側のリブ長さは、芯材長さにかかわらず殆ど一定である。そのため、塑性長さ比が大きい場合、一般的に芯材塑性化部長さが長く、高次座屈モード数が大きくなり、芯材と拘束材との間の摩擦力は大きくなる⁴⁾。これにより、圧縮耐力上昇率および圧縮引張耐力比が大きくなり、早期に圧縮時の局部変形を起こしやすくなること、 ω が小さくなる一因と考えられる。

芯材塑性化部長さ L_p に対するリブ貫入長さ L_{in} の比を、リブ貫入長さ比 L_{in}/L_p 、リブ高さ d に対するリブ貫入長さ L_{in} の比を、リブ貫入長さ幅比 L_{in}/d とする。本実験と既往の実験の ω とリブ貫入長さ比、リブ貫入長さ幅比の関係をそれぞれ図 6、図 7 に示す。直線は近似線を示す。リブ貫入長さ比と ω に相関は見られないが、リブ貫入長さ幅比と ω は、 P_E/P_y ごとに分けると概ね比例関係の傾向が見られる。リブ貫入長さ幅比が大きい場合、リブが拘束材と接触し、曲げに対して抵抗するため、芯材塑性化部端部に局部変形が起りにくくなり、 ω が大きくなると考えられる。

本実験では、既往の実験の試験体と比べて塑性長さ比が大きいことや、貫入長さ幅比が小さいことによりリブに回転が生じやすく、変形が芯材塑性化部端部に集中し、芯材塑性化部端部に局部変形を生じたため、当初想定していた性能が発揮できなかったと思われる⁵⁾。

5. 結論

本実験で得た知見を 1) に、既往の研究との比較考察によって得た知見を 2)~4) に記す。

- 1) 拘束材のモルタル強度を大きくすると累積塑性歪エネルギー率 ω は大きくなる。一方、溝形鋼の強度による累積塑性歪エネルギー率 ω への影響は見られない。
- 2) 塑性長さ比 L_p/L_1 が大きくなると累積塑性歪エネルギー率 ω は小さくなる。
- 3) リブ貫入長さ比 L_{in}/L_p と累積塑性歪エネルギー率 ω の間には相関関係がみられない。

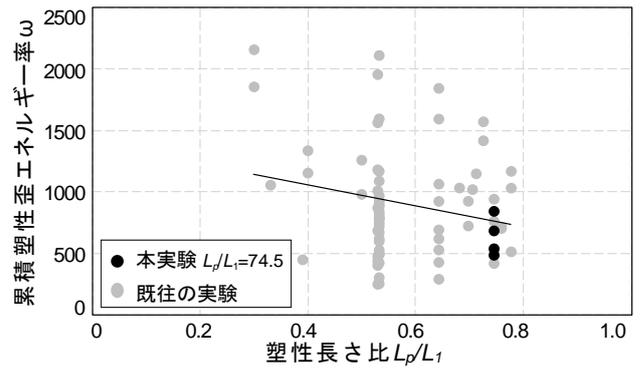


図 5 ω - L_p/L_1 関係

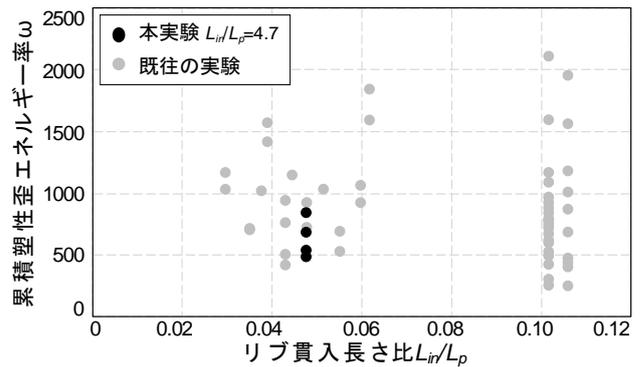


図 6 ω - L_{in}/L_p 関係

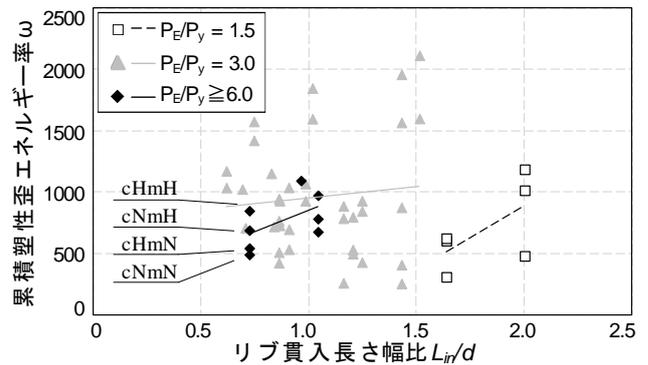


図 7 ω - L_{in}/d 関係

- 4) 拘束指標 P_E/P_y だけでなく、リブ貫入長さ幅比 L_{in}/d も累積塑性歪エネルギー率 ω に影響する。

参考文献

- 1) 飯塚亮太ら：累積塑性歪エネルギー率の大きな座屈拘束ブレースの研究、日本建築学会構造系論文集、第 79 巻、第 701 号、pp.1015~1023、2014.7
- 2) 村井正敏ら：鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの実験的研究、日本建築学会構造系論文集、第 596 号、pp.105~110、2003.7
- 3) 加藤貴志ら：損傷制御構造における座屈拘束ブレースの性能評価、日本建築学会構造系論文集、第 552 号、pp.101-108、2001.2
- 4) 緑川光正ら：鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの実験的研究—座屈モード数の評価および圧縮引張耐力比と細長比の関係—、日本建築学会構造系論文集、第 76 巻、第 664 号、pp.1153~1160、2011
- 5) 菱田俊介ら：鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの実験的研究—鋼製ずれ止め位置が力学性能に及ぼす影響及び座屈変形の評価—、日本建築学会構造工学論文集、Vol.61B、pp.141~149、2015.3
- 6) 田所敦志ら：鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの実験的研究—芯材長さ・塑性長さ比・端部リブ長さの影響—、日本建築学会構造系論文集、第 74 巻、第 641 号、pp.1363~1369、2009.7