

座屈拘束ブレースにおける軸剛性調節

正会員 ○中村 慎* 同 山下哲郎**
同 村井正敏*** 同 岩田 衛****

座屈拘束ブレース 軸剛性
鋼モルタル板 増厚板

1. 序

近年、制振部材を用いた RC 構造物耐震補強事例が増えている。このときダンパーに求められる性能は、小さな変形からのエネルギー吸収であると考えられる。

座屈拘束ブレースの場合、小さな変形からエネルギー吸収を行うには、初期剛性の向上が重要となる。現在採用される主な軸剛性向上方法に、芯材塑性化部長さを芯材長さに対して短く取る方法がある。しかし、この方法では芯材塑性化部が短くなることで、その歪が過大になり、ブレース自体にも過酷な条件を与え、疲労性能が低下することなども報告されている¹⁾。

そこで著者等は、芯材塑性化部長さを極力保ちながら軸剛性を向上させる方法として、端部に鋼板(以下、増厚板と呼ぶ)を溶接した座屈拘束ブレースを着想した。本報では、着想した座屈拘束ブレースの軸剛性、性能について報告する。

2. 実験計画

2.1 軸剛性計算式

軸剛性の計算値は、文献²⁾の式をパラメータの変化を把握しやすいように変形した以下の式より算出する。

$$k_c = \frac{EA}{L} \left(\frac{\beta_1\beta_2}{\alpha_1\beta_1\beta_2 + 2\alpha_2\beta_2 + 2\alpha_3\beta_1} \right) \dots (1)$$

E: ヤング係数 A: 塑性化部断面積 L: 芯材長さ

図 1 のように α は各部の長さを表す比率になり、 β は各部の断面積の芯材塑性化部に対する比率となる。本研究

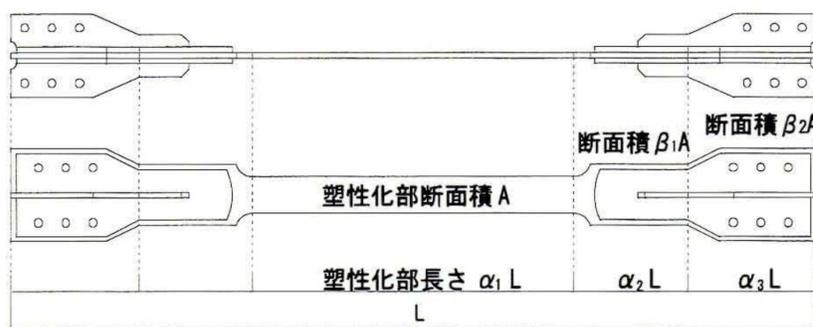


図 1 (1)式のパラメータ

では(1)式により試験体を設定する。

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 試験体は芯材塑性化部の幅厚比を 11 とし、特に芯材塑性化部の幅を絞らない。R40D17-93 と R40D45-135 試験体は R56N16-55 試験体の芯材塑性化部に絞りを設け、 $\alpha_1=0.4$ とすることでより小さな変位から変形をはじめめる。よって R40D17-93 試験体の降伏変位は R56N16-55 試験体よりも 0.36mm ほど小さくなる。さらに R40D45-135 試験体は、端部両面に増厚板 PL16 mm を溶接して軸剛性を向上させているため、その降伏変位は R56N16-55 試験体と比較すると 0.66mm 小さくなる。

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。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

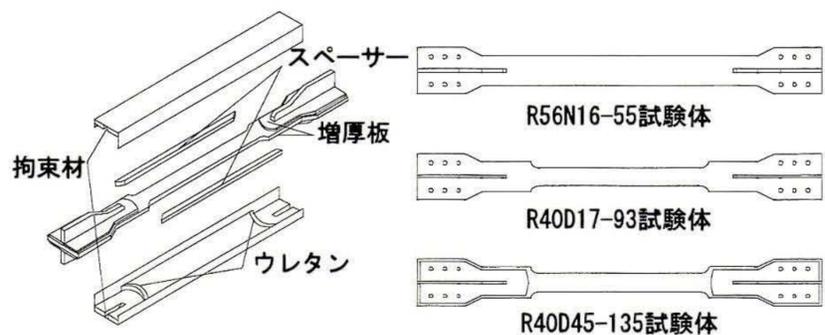


図 2 試験体部品

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 mm	P_E/P_y	軸剛性 N/mm	δ_y mm
	$\alpha_1 L$ mm	厚さ mm	幅 mm	A mm ²	σ_y N/mm ²	P_y kN	幅厚比	幅 mm	高さ mm	$I \times 10^4$ mm ⁴	P_E kN					
R56N16-55	1313	16	176	2816	272	765	11	203.2	61	947	3468	1.0	4.5	354×10^3	2.13	
R40D17-93	940	16	105	1680	272	457	6.6	203.2	61	947	3468	1.0	7.5	243×10^3	1.77	
R40D45-135	940	16	105	1680	272	457	6.6	203.2	61	947	3468	1.0	7.5	301×10^3	1.47	

A: 塑性化部断面積 σ_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 δ_y : 弾性限界変形量

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	-

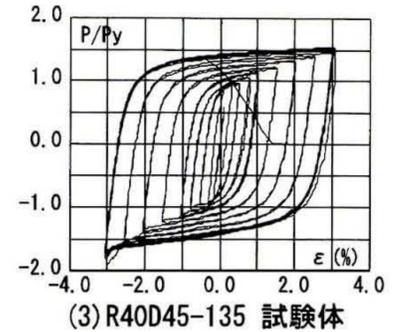
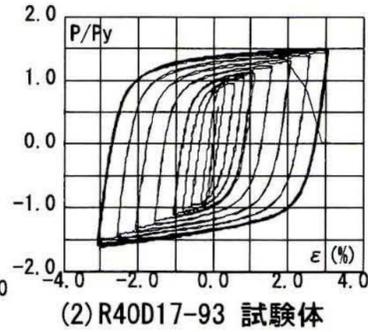
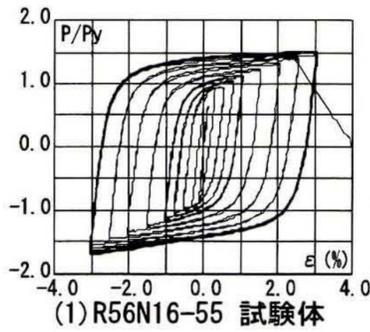


図4 P/Py-歪ε関係

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	η^+	E_t	ω
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	α_1	$2\alpha_2$	$2\alpha_3$	β_1	β_2	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($\times 10^3$ N/mm) K_E : 剛性実験値($\times 10^3$ N/mm)

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。

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破断していた。

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 η^+ 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 ω を算出して表4に示す。 ω は E_t を降伏荷重 P_y と弾性限界変形量 δ_y で除したものである。

既往の研究で、レベル2(地動最大速度 0.5m/s 相当)以上の入力レベルに対し、10層3スパンの平面骨組みに組み込んだダンパーの要求性能($\eta=291.5$ 、 $\omega=310.8$)を求めた例がある³⁾。解析モデルでは、 $\alpha_1=0.5$ と設定されていたため、 $\alpha_1=0.4$ の R40D17-93、R40D45-135 試験体について

では要求される性能が高くなると考えられる。しかし R56N16-55 試験体で要求性能の η に対して 2.9 倍、 ω に対して 6.8 倍、R40D17-93 試験体、R40D45-135 試験体についても η で 2.4 倍、3.4 倍、 ω について 5.6 倍、8.2 倍といった値を有することから、その性能は満足できるものであると考える。

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。

増厚板を用いた R40D45-135 試験体は、R40D17-93 試験体と比較すると剛性が 15% 高くなる。これは R40D17-93 試験体が芯材塑性化部長さを芯材長さに対してさらに 17% 短くすると同等の剛性向上効果となり、端部増厚板溶接といった手法での軸剛性向上が確認できた。

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) 芯材端部に増厚板を溶接した座屈拘束ブレースは、同形の増厚板がない芯材と比較し、15%の軸剛性向上が確認できた。
- (2) 座屈拘束ブレースの芯材の軸剛性は、(1)式により増厚板を溶接した場合でも誤差 10%程度で計算できる。

【謝辞】

本研究の試験体製作にあたり(株)巴コーポレーションのご協力を得ました。ここに記して深く感謝いたします。

【参考文献】

- (1) 前田、中村、竹内、中田、岩田、和田: 実大アンボンドブレースの疲労性能(その1、2)、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp813~816、1999.9
- (2) 日本免震構造協会: パッシブ制振構造設計・施工マニュアル第2版、2005.9
- (3) 加藤、岩田、和田: 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、2000.2

* 神奈川大学大学院博士前期課程

* Graduate school, Kanagawa University

** 工学院大学工学部建築学科 准教授 博士(工)

** Assoc. prof, Dept. of Architecture and Building Engineering, Kogakuin University, Dr ENG

*** 神奈川大学工学部建築学科 主任技術員

*** Technician, Dept. of Architecture and Building Engineering, Kanagawa University

**** 神奈川大学工学部建築学科 教授 工学博士

**** prof, Dept. of Architecture and Building Engineering, Kanagawa University, Dr ENG