

# 座屈拘束ブレースの力学性能に及ぼす芯鋼材－拘束材間クリアランスの影響

緑川光正(北海道大学大学院工学研究院 教授・工博), 岩田衛(神奈川大学工学部建築学科 教授・工博)  
佐々木大輔((株)久米設計 修士(工学)), 田中康隆(北海道大学大学院工学院 大学院生)

## 1. 序論

軸方向力を伝達する芯材ブレースが座屈しないよう拘束材で補剛した座屈拘束ブレースのうち、拘束材に鋼モルタル板(溝形鋼にモルタルを充填したもの)を用いた座屈拘束ブレースが提案されている<sup>1)</sup>。本論では、芯材と拘束材間のクリアランスを変化させた座屈拘束ブレースの繰返し軸方向載荷実験を行い、クリアランスが圧縮耐力に与える影響を検証する。

## 2. 実験計画

### 2.1 試験体の設計

座屈拘束ブレースの試験体形状(平面図、側面図及び断面図)を図1に示す。芯材塑性化部は平鋼を用い、両端部に補強リブを設け十字の断面形状とする。2つの鋼モルタル板は芯材を挟み込む形で隅肉溶接し、一体化させる。このとき、芯材の両面にはアンボンド材を貼付し、芯材弱軸方向と拘束材との間にクリアランスを確保する。

芯材の素材試験結果を表1に、試験体一覧を表2に示す。全ての試験体において、芯材の鋼種はSN400B、鋼モルタル板の溝形鋼の鋼種はSS400を使用する。表2中、芯材の降伏耐力 $P_y$ 、拘束材の断面2次モーメント $I$ 及び座屈荷重 $P_E$ は既往の実験と同様の算定方法<sup>1),2)</sup>とする。

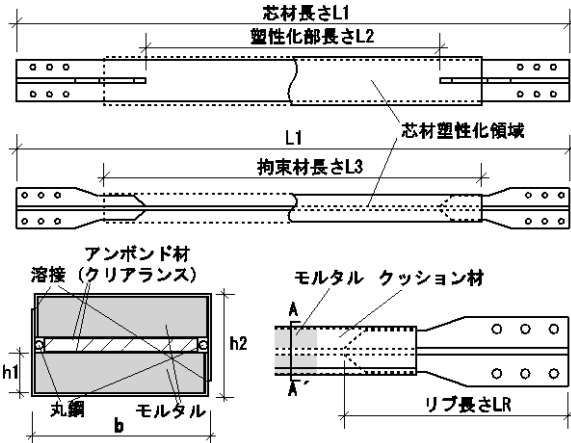


図1 試験体詳細

表2 試験体一覧

試験体	芯材							拘束材							断面ディテール	
	鋼種	断面寸法 mm	断面積 mm <sup>2</sup>	幅厚比	L1 mm	L2 mm	L3 mm	$P_y$ kN	h1 mm	h2 mm	b mm	$I \times 10^4$ mm <sup>4</sup>	$P_E$ kN	$P_E/P_y$	クリアランス mm (%)	丸鋼 mm
T16P15C01	1	PL-176×16	2816	11	2351	1251	1605	831	36.0	88.2	206.4	313	1147	1.38	0.1 (0.6)	φ10
T16P15C07	1	PL-176×16	2816	11	2351	1251	1605	831	36.0	89.4	206.4	323	1182	1.42	0.7 (4.4)	φ10
T16P15C10	1	PL-176×16	2816	11	2351	1251	1605	831	36.0	90.0	206.4	328	1200	1.44	1.0 (6.3)	φ10
T16P30C01	1	PL-176×16	2816	11	2351	1251	1605	831	50.0	116.2	206.4	610	2232	2.69	0.1 (0.6)	φ10
T16P30C07	1	PL-176×16	2816	11	2351	1251	1605	831	50.0	117.4	206.4	624	2283	2.75	0.7 (4.4)	φ10
T16P30C10	1	PL-176×16	2816	11	2351	1251	1605	831	50.0	118.0	206.4	631	2309	2.78	1.0 (6.3)	φ10
T16P45C01	2	PL-176×16	2816	11	2351	1251	1605	716	61.0	138.2	206.4	981	3593	5.92	0.1 (0.6)	φ10
T16P45C07	2	PL-176×16	2816	11	2351	1251	1605	716	61.0	139.4	206.4	973	3560	4.98	0.7 (4.4)	φ10
T16P45C10	2	PL-176×16	2816	11	2351	1251	1605	716	61.0	140.0	206.4	955	3496	4.89	1.0 (6.3)	φ10
T12P15C01	3	PL-132×12	1584	11	1785	945	1245	462	24.0	60.2	162.4	102	648	1.40	0.1 (0.8)	φ10
T12P15C07	3	PL-132×12	1584	11	1785	945	1245	462	24.0	61.4	162.4	107	678	1.47	0.7 (5.8)	φ10
T12P15C10	3	PL-132×12	1584	11	1785	945	1245	462	24.0	62.0	162.4	109	693	1.50	1.0 (8.3)	φ10
T12P30C01	3	PL-132×12	1584	11	1785	945	1245	462	34.0	80.2	162.4	203	1287	2.79	0.1 (0.8)	φ10
T12P30C07	3	PL-132×12	1584	11	1785	945	1245	462	34.0	81.4	162.4	209	1329	2.88	0.7 (5.8)	φ10
T12P30C10	3	PL-132×12	1584	11	1785	945	1245	462	34.0	82.0	162.4	213	1351	2.93	1.0 (8.3)	φ10

## 2.2 試験体パラメータ

試験体は計15体で、芯材の形状は、芯材厚12mm(T12)および16mm(T16)とし、塑性化部幅厚比11、弱軸方向細長比270である。拘束力指標 $P_E/P_y$ が、T12試験体では1.5, 3.0(P15, P30)の2パターン、T16試験体では1.5, 3.0, 4.5(P15, P30, P45)の3パターンとする。クリアランスは0.1, 0.7, 1.0mm(C01, C07, C10)とする。クリアランス確保のためのアンボンド材には製品の都合上、0.1mmおよび0.7mm厚にテフロンを(0.7mmは0.2mmと0.5mmのテフロンを接着)、1.0mm厚にはブチルゴムを使用する。

## 2.3 載荷計画

載荷は試験体軸方向における変位制御の正負交番漸増繰返しとする。載荷パターンを図2に示す。なお、3.0%歪振幅載荷時には試験体の耐力が最大耐力の80%に低下するまで繰返す。

## 3. 実験結果

### 3.1 実験経過と履歴特性

T12試験体の $P/P_y$ - $\epsilon$ 関係を図3に示す( $P/P_y$ :降伏耐力比, ここで、 $P$ :軸方向力,  $\epsilon$ :塑性化部軸歪)。全試験体とも1%を超える高歪振幅においても比較的安定した履歴を描いている。また耐力上昇率 $\square$ は、最終的に引張側( $P/P_y$ )で1.3-1.4程度、圧縮側( $P/P_y$ )で1.5-1.8程度となり、圧縮側の耐力がいずれも大きくなっている。この傾向はT16試験体においても同様であった。これはポアソン比を考慮した場合の芯材の断面積が圧縮側と引張側で異なること、および芯材-拘束材間に発生する摩擦力の影響であると考えられる。

### 3.2 最終状態

実験の載荷経過と終局状態、実験終了時の各試

表1 芯材の力学特性

鋼種	降伏応力度 N/mm <sup>2</sup>	引張強さ N/mm <sup>2</sup>	降伏比 %	伸び %	降伏歪 %
1	295	437	68	30	0.163
2	254	402	63	41	0.158
3	291	455	64	35	0.154

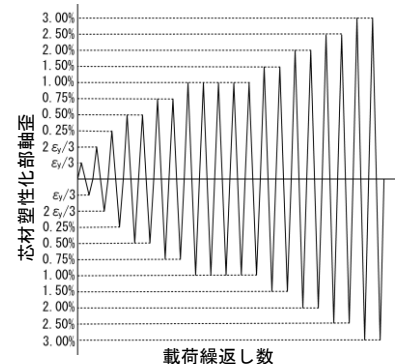


図2 載荷パターン

験体の座屈モード数(半波の数)を表3に示す。弱軸の局部変形による耐力低下が主な実験終了要因となったが、強軸変形の進行により実験装置への影響を考え、耐力低下が認められない段階で実験を終了した例もあった。また、引張破断も2例あった。

図4に平均座屈モード振幅(全振幅、各座屈モード振幅の平均値であり、このうち最終状態で局部変形が過大になった箇所の振幅は除外したもの)とクリアランス比(クリアランス/芯材厚(%))の関係を示す。また図中破線は、拘束材を剛とした時の限界振幅(クリアランス $\times 2$ )を示す。図4より全試験体の平均座屈モード振幅が、限界振幅を上回っていることが分かる。また振幅とクリアランスに単純な比例関係はなく、C01試験体の振幅はC07試験体とほぼ同程度となっている。またC10試験体は他に比べて限界振幅との差が大きい傾向にある。これはアンボンド材に圧縮時につぶれやすいブチルゴムを使用しているため、座屈発生早期の振幅が大きくなり、その結果補剛力が増加し、モルタルの局部変形が大きくなったためと考えられる。

#### 4. 耐力上昇率とクリアランスの関係

図5にT12試験体の芯材塑性化後の各歪振幅1回目の荷重時における引張および圧縮の耐力上昇率 $\beta$ と塑性化部歪振幅の関係を示す。素材試験と本実験の比較により、繰り返し荷重の影響による耐力の増加が確認できる。引張耐力の上昇率にはクリアランスの違いの影響は見られない。圧縮耐力においてはクリアランスによるわずかな違いが見られるが、これはT16試験体でも同様である。

#### 5. 結論

- (1) 座屈モード振幅は、モルタルの局部変形により全試験体で限界振幅より大きくなるため、クリアランスに単純比例しない。
- (2) 降伏耐力に対する引張耐力上昇率は最終的に1.3-1.4程度となるが、それと比較して圧縮耐力上昇率は芯材-拘束材間に発生する摩擦力等の影響により1.5-1.8程度と大きくなる。また(1)の結果を一つの要因として、今回変化させた範囲ではクリアランスの違いによって圧縮耐力上昇率は殆んど変わらない。

表3 実験経過、終局状態、および座屈モード数(半波)

試験体	実験終了時 載荷数	実験終了理由	終了時試験体変形状態	座屈 モード数
T16P15C01	3%歪2回目(-)	耐力低下	塑性化部上端弱軸局部変形※)	9
T16P15C07	3%歪2回目(-)	強軸方向変形	塑性化部上端強軸変形	11
T16P15C10	2%歪2回目(-)	耐力低下	塑性化部上端弱軸局部変形※)	11
T16P30C01	3%歪1回目(-)	強軸方向変形	塑性化部上端強軸変形	11
T16P30C07	3%歪4回目(-)	耐力低下	塑性化部中央部弱軸局部変形※)	13
T16P30C10	3%歪1回目(-)	耐力低下	塑性化部中央部弱軸局部変形	11
T16P45C01	3%歪4回目(-)	耐力低下	塑性化部上端弱軸局部変形※)	13
T16P45C07	3%歪1回目(-)	強軸方向変形	塑性化部上端強軸変形	9
T16P45C10	3%歪1回目(-)	強軸方向変形	塑性化部上端強軸変形	12
T12P15C01	3%歪5回目(-)	耐力低下	塑性化部下端弱軸局部変形	13
T12P15C07	3%歪7回目(-)	耐力低下	塑性化部下端弱軸局部変形	12
T12P15C10	2.5%歪2回目(-)	耐力低下	塑性化部下端弱軸局部変形	12
T12P30C01	3%歪11回目(+)	引張破断	引張破断	13
T12P30C07	3%歪15回目(+)	引張破断	引張破断	17
T12P30C10	3%歪4回目(-)	耐力低下	塑性化部下端弱軸局部変形	13

※) 終局状態では強軸変形も伴う。

#### 参考文献

- 1) 村井正敏, 小林史興, 野田隆博, 岩田衛: 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569号, pp105-110, 2003.7
- 2) 田所敦志, 緑川光正, 村井正敏, 岩田衛: 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・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

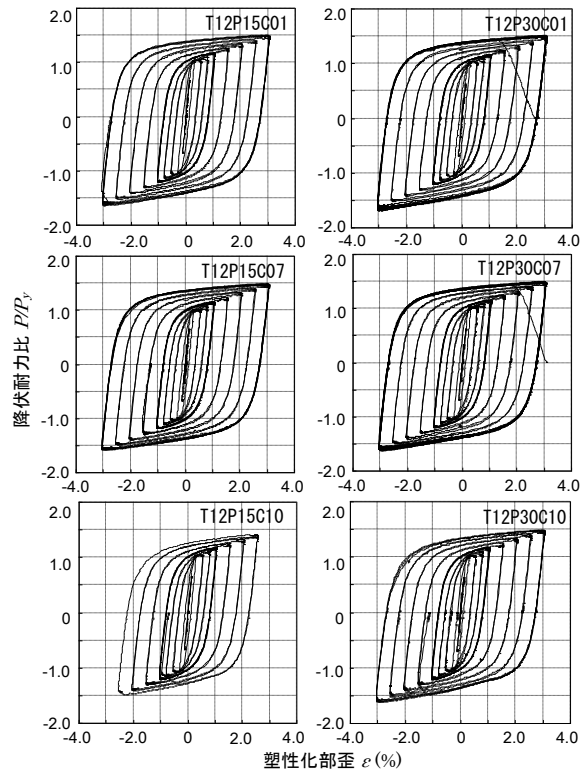


図3  $PP_y$ - $\epsilon$ 関係(T12試験体)

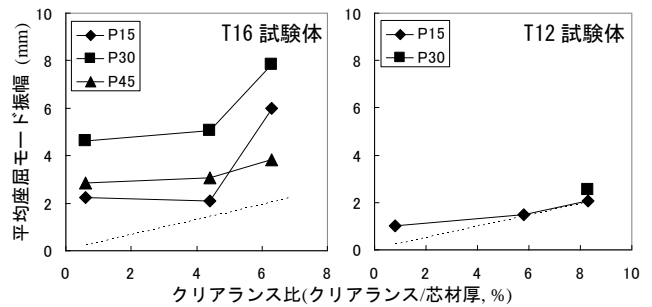


図4 平均座屈モード振幅とクリアランス比の関係

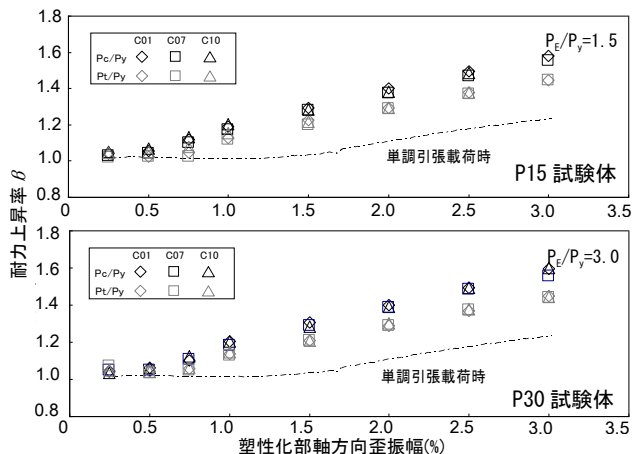


図5 耐力上昇率 $\beta$ と塑性化部軸歪振幅の関係(T12試験体)