

# 鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの製作時の品質管理値の検証

小谷野 一尚\* 岩田 衛\*\* 荻本 孝久\*\* 緑川 光正\*\*\* 坂田 弘安\*\*\*\* 藤田 正則\*\*\*\*\*

## Verification of Quality Control Values for Fabricating the Buckling-Restrained Brace Using Steel Mortar Planks

Kazuhisa KOYANO\* Mamoru IWATA\*\* Takahisa ENOMOTO\*\* Mitsumasa MIDORIKAWA\*\*\*

Hiroyasu SAKATA\*\*\*\* Masanori FUJITA\*\*\*\*\*

### 1. 序

座屈拘束ブレースは安定した復元力特性を有するため、中低層建築物では耐震ブレースとして、超高層および高層建築物では制振ブレースとして利用される。設計指針等や既往の研究<sup>[1~6]</sup>により、様々な構造性能が明らかにされ、信頼性のあるものとして扱われている。特に損傷を座屈拘束ブレースに集約する損傷制御構造<sup>[7]</sup>では、水平力を一手に担うものとなっており、重要な部材である。

しかしながら、座屈拘束ブレースが真に信頼性を得るためには、設計時に期待した構造性能を実際に発揮できることが前提であり、言い換えるならば、製作時の初期品質が確保されていること、運用時の損傷履歴をヘルスマニタリングし残存性能が把握されていることが条件となる。これらを管理するためには、座屈拘束ブレースのライフサイクルにおける設計計画、材料調達、製作、施工、運用、廃棄の各段階での品質情報を記録し、不具合があった場合には情報を遡れるようにしておくことが必要である<sup>[8,9]</sup>。

本研究では、著者らが長年研究を続けている、図1に示すような品質管理の容易な鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレース（以下、BRBSM: Buckling-Restrained Brace Using Steel Mortar Planks）を対象に、BRBSMのライフサイクルの製作段階に着目し、製作時の初期品質を確保するための方策として、品質管理項目および品質管理値を設定する。特に構造性能に影響する品質管理項目であるクリアランスおよび縮み代（以下、ギャップという）については、これらをパラメータとした検証実験を行う。更に、実大のBRBSMのモックアップを製作し、設定した品質管理値の妥当性を検証する。

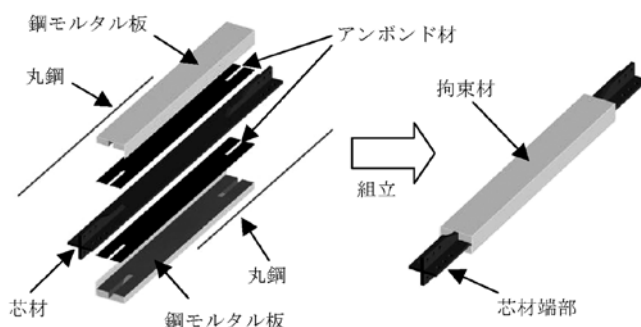


図1 鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレース (BRBSM)

### 2. BRBSM の特徴

#### 2.1 力学的な特徴

BRBSM は、芯材を拘束材で補剛することにより、圧縮力下においても座屈を抑え、引張力下と同等の性能を発揮する部材であり、安定した復元力特性を有している。

以下に、既往の研究<sup>[1~6]</sup>により解明されている構造性能を左右する累積塑性歪エネルギー率 $\omega$ と圧縮引張耐力比 $\alpha$ を示す。

#### 1) 累積塑性歪エネルギー率 $\omega$

エネルギー吸収能力を表す累積塑性歪エネルギー率 $\omega$ は、復元力特性から算出した累積塑性歪エネルギー $E_i$ を、芯材の降伏荷重 $P_y$ と弾性限界変形量 $\delta_y$ を乗じた値 $W_y$ で除した無次元化量である。 $\omega$ が大きいとエネルギー吸収能力が高いことを表す。

$$\omega = \frac{E_i}{W_y (= P_y \times \delta_y)} \quad (1)$$

終局状態が弱軸回りの局部変形で決定する場合には、 $\omega$ は拘束指標 $R$ によって、下記により下限式を設定している<sup>[3,5]</sup>。

$$\omega = 150 \times R \quad (R \leq 6) \quad (2)$$

$$\omega = 900 \quad (R > 6) \quad (3)$$

ここで、 $R$ : 拘束指標 ( $= P_E/P_y$ )、 $P_E$ : 拘束材のオイラー座屈荷重。

また、 $R$ を大きくすると芯材の引張破断となり、局部変形の場合よりも $\omega$ が大きくなり、エネルギー吸収能力が高くなる。

#### 2) 圧縮引張耐力比 $\alpha$

圧縮引張耐力比 $\alpha$ は、圧縮耐力 $P_c$ を引張耐力 $P_t$ で除した値である。既往の研究<sup>[5]</sup>で次式を設定している。

$$\alpha = \frac{P_c}{P_t} \leq 1.15 \quad (4)$$

\* 助手 建築学科

Research Associate, Dept. of Architecture

\*\* 教授 建築学科

Professor, Dept. of Architecture

\*\*\* 客員教授 工学研究科, 名誉教授 北海道大学

Guest Professor, Research Institute for Engineering

Professor Emeritus, Hokkaido University

\*\*\*\* 教授 東京工業大学

Professor, Tokyo Institute of Technology

\*\*\*\*\* 教授 山口大学

Professor, Yamaguchi University

ここで,  $P_c$ ,  $P_t$ : 各軸歪における圧縮時および引張時の最大荷重.

歪振幅が大きいほどポアソン比の影響で芯材の断面が変化するため, 引張時よりも圧縮時で $\alpha$ が大きくなる. また, 芯材の高次モード座屈による拘束材との接触により発生する摩擦力が原因で $\alpha$ が大きくなる.  $\alpha$ が大きくなると早期に局部変形を生じることや, 柱梁等の主架構や接合部に損傷を与える可能性がある.

## 2.2 製作時の特徴

BRBSM は, 芯材を微小な座屈をするためのクリアランスを確保した上で, 拘束材となる2つの鋼モルタル板により挟み込み, 溶接によって一体化したものである. 拘束材のモルタルを打設した後に組み立てる手順をとっているため, モルタル打設時の充填状況を目視で確認することができる. 更には, 芯材と拘束材の合体前と合体後の寸法を比較することで, 実際のクリアランスを計測することができる. また, 芯材とモルタルが接触する可能性がある内部ギャップについても合体前に計測し, 確認することができる. これらのことから, 品質管理が容易にできる座屈拘束ブレースと言える.

また, 耐力調整や剛性調整<sup>[2]</sup>が必要になり, 芯材塑性化部よりも芯材端部や補強リブが大きくなる場合や, 接合部耐力を確保するためにボルト本数が多く必要になり, 芯材端部が拘束材より大きくなる場合でも, 鋼モルタル板を後から挟み込む製作手順を取ることで, 芯材端部ディテールの設計自由度が大きい.

## 2.3 基本タイプと高性能タイプ

BRBSM は芯材形状の違う, 基本タイプ (Basic type) と高性能タイプ (High-performance type) に分類できる (図2(a), (b)).

基本タイプの芯材は塑性化部および接合部まで全長の幅を一定とすることができるため製作が容易であり, 高性能タイプに比べ幅を小さくすることができる. 強軸回りには丸鋼を入れる. 塑性化部にリブを溶接する熱影響部が発生する.

高性能タイプはエネルギー吸収能力を高くするために塑性化部の両端部に絞りを設け (R 部), 塑性化部からリブ溶接による熱影響部を排除し, 空いたスペースに強軸回りの変形を抑制するためのスペーサーを設けている. 塑性化部の長さは R 部の位置によって調整することが可能である.

## 3. 製作時の品質管理値の設定

製作時の品質を管理する項目について, 寸法の精度に関する品質管理値を設定する. また, 管理許容差と限界許容差を設定する. 図3(a)~(f)に試験体形状に対応した品質管理項目, 表1に品質管理値の抜粋を示す.

クリアランスおよびギャップは既往の研究から得られた数値, その他の項目については, 鉄骨精度検査基準<sup>[10~12]</sup>により設定する.

管理許容差は, 製品の95%以上が満足するように製作・施工上の目安として定める目標値である<sup>[10~12]</sup>. 限界許容差は, これを超える誤差は原則として許されないものとした個々の製品の合否判定のための基準値である<sup>[10~12]</sup>. これは, 十分な管理体制下で製作された製品の寸法精度が正規分布しているとの前提にたっている.

### 3.1 クリアランスの品質管理値

BRBSM には様々な力学的特性のうち, 図3e に示す芯材とモルタル面とのクリアランスは構造性能を左右する重要なパラメータである. クリアランスが小さいほど累積塑性歪エネルギー率 $\omega$ は大きくなる<sup>[1]</sup>. しかし, あまりに小さすぎるとポアソン比の影響により芯材と拘束材が接触し, 拘束材も圧縮力を負担するため圧縮引張耐力比 $\alpha$ が大きくなる. 一方, クリアランスが大きいと座屈モードの振幅が大きくなり, 芯材の一部に局部座屈による変形が集中するため, 早期の局部変形が生じる.

必要なクリアランスは芯材厚によって変化するため, クリアランス比により品質管理値を設定する. クリアランス比の最小値についてはポアソン比を考慮し, 軸歪 $\epsilon$  (%) にポアソン比 (=0.5) を掛けた値とする. 制振ブレースとして適用する場合は軸歪3.0%分を見込み, 芯材厚の変形量は1.5%となる.

$$\frac{\Delta t}{t} = n \left( \frac{\Delta L_p}{L_p} \right) = 0.5 \times \epsilon (\%) \quad (5)$$

ここで  $t$  は芯材厚,  $\Delta t$  は芯材厚変形量,  $\nu$  はポアソン比 (=0.5),  $L_p$  は芯材塑性化部長さ,  $\Delta L_p$  は芯材塑性化部変形量,  $\epsilon$  は軸歪 (%).

既往研究<sup>[1,4,5]</sup>よりクリアランス比の最大値15%を品質管理の上限値とする.

$$0.5 \times \mu (\%) \leq \frac{C}{t} \leq 15 (\%) \quad (6)$$

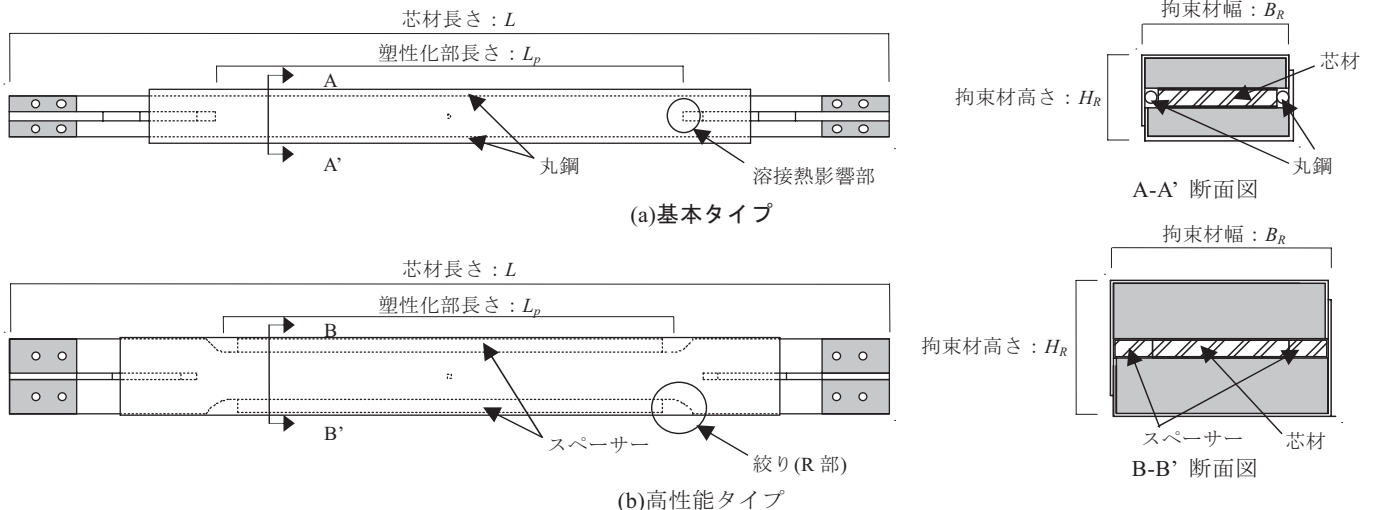


図2 座屈拘束ブレース試験体

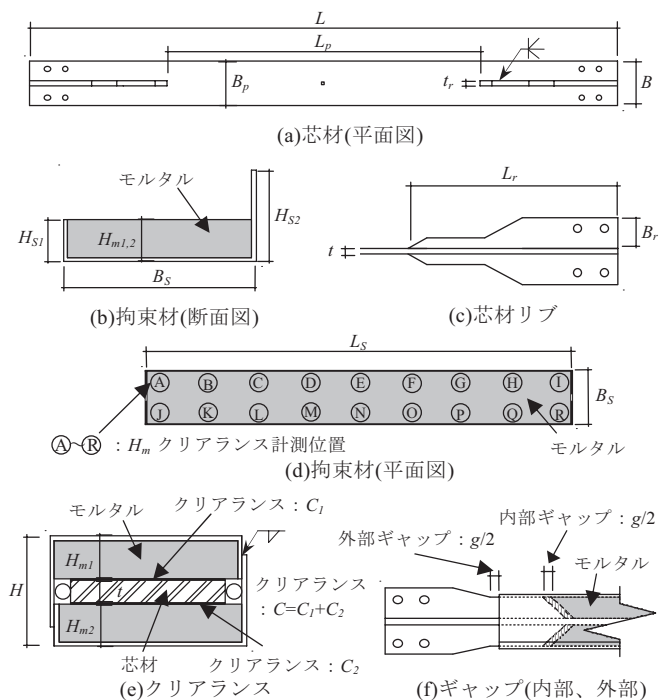


図3 品質管理項目 (non scale)

ここで  $C/t$  はクリアランス比。(6)式は製作許容差を含む。

$C$  はクリアランスであり、図3(e)に示す芯材の表裏のクリアランス  $C_1$  とクリアランス  $C_2$  を足したもの。

クリアランスは拘束材のモルタル表面平坦さの精度やアンボンド材の変化により変動するため、組立後でないと計測できない。このため、組立後の高さ  $H_R$  から拘束材のモルタル面までの高さ  $H_{m1}$ ,  $H_{m2}$ , 芯材厚  $t$  を減じることで設定する(図3(e))。

$$C = C_1 + C_2 = H_R - H_{m1} - H_{m2} - t$$

クリアランスの管理にあたっては、図3(d)に示す均等間隔にした A~R の位置について計測する。

### 3.2 ギャップの品質管理値

芯材の圧縮時に、図3(f)に示す拘束材と芯材の間隔である外部ギャップ並びに、芯材のリブと拘束材内部モルタルの間隔である内部ギャップが小さいと、芯材と拘束材の接触により剛性が高くなり耐力が上昇する。圧縮時の耐力が大きくなることは、圧縮引張耐力比  $\alpha$  が大きくなり、早期の局部変形につながり構造性能が低くなる。また、柱梁等の主架構や接合部に損傷を与える可能性がある。よって、内部と外部のギャップを適切な数値で品質管理する必要がある。

ギャップの品質管理値は芯材の伸縮量を考慮し、想定する変形量分以上を見込めば良い。ギャップ ( $g$ ) は芯材が変形する部分である芯材塑性化部長さ  $L_p$  の軸歪  $\varepsilon$  (%) 分を見込む。ただし、片側の場合、半分 ( $g/2$ ) とする。制振ブレースとして適用する場合は軸歪3.0%時の変形量を最小値とする。

$$L_p \times \varepsilon(\%) \leq g \quad (7)$$

$$L_p \times \frac{\varepsilon(\%)}{2} \leq \frac{g}{2} \quad (8)$$

ここで  $g$  : 両側分のギャップ,  $g/2$  : 片側分のギャップ。(8), (9)式は

表1 品質管理項目と品質管理値

対象部材	測定項目	品質管理値	
		管理許容差	限界許容差
芯材	長さ ' $\angle L$ '	$-3\text{mm} \leq \angle L \leq +3\text{mm}$	$-5\text{mm} \leq \angle L \leq +5\text{mm}$
	幅 ' $\angle B$ '	$-2\text{mm} \leq \angle B \leq +2\text{mm}$	$-3\text{mm} \leq \angle B \leq +3\text{mm}$
	板厚 ' $\angle t$ '	$-1\text{mm} \leq \angle t \leq +1\text{mm}$	$-2\text{mm} \leq \angle t \leq +2\text{mm}$
芯材 塑性化部	長さ ' $\angle L_p$ '	$-3\text{mm} \leq \angle L_p \leq +3\text{mm}$	$-5\text{mm} \leq \angle L_p \leq +5\text{mm}$
	幅 ' $\angle B_p$ '	$-2\text{mm} \leq \angle B_p \leq +2\text{mm}$	$-3\text{mm} \leq \angle B_p \leq +3\text{mm}$
芯材 リブ	長さ ' $\angle L_r$ '	$-3\text{mm} \leq \angle L_r \leq +3\text{mm}$	$-5\text{mm} \leq \angle L_r \leq +5\text{mm}$
	幅 ' $\angle B_r$ '	$-2\text{mm} \leq \angle B_r \leq +2\text{mm}$	$-3\text{mm} \leq \angle B_r \leq +3\text{mm}$
	板厚 ' $\angle t_r$ '	$-1\text{mm} \leq \angle t_r \leq +1\text{mm}$	$-2\text{mm} \leq \angle t_r \leq +2\text{mm}$
拘束材	長さ ' $\angle L_s$ '	$-3\text{mm} \leq \angle L_s \leq +3\text{mm}$	$-5\text{mm} \leq \angle L_s \leq +5\text{mm}$
	高さ ' $\angle H_{s1,2}$ '	$-2\text{mm} \leq \angle H_{s1,2} \leq +2\text{mm}$	$-3\text{mm} \leq \angle H_{s1,2} \leq +3\text{mm}$
	幅 ' $\angle B_s$ '	$-2\text{mm} \leq \angle B_s \leq +2\text{mm}$	$-3\text{mm} \leq \angle B_s \leq +3\text{mm}$
対象部材	測定項目	品質管理値	
BRBSM	クリアランス比 ' $C/t$ '	$0.5 \times \varepsilon(\%) \leq C/t \leq 15(\%)$	
	ギャップ ' $g/2$ '	$L_p \times \varepsilon(\%) / 2 \leq g/2$	

製作許容差を含む。

### 3.3 その他の品質管理値

その他の品質管理値に関しては、鉄骨精度検査基準<sup>[10~12]</sup>を参考に管理許容差および限界許容差の設定を行う。設定した項目は芯材、芯材塑性化部、芯材リブ、拘束材の長さ、幅、厚さ等である。曲がり、ボルト孔の芯ずれ、相互間隔、はしあき・へりあき、ずれ止めの位置ずれ、溶接に関する項目についても設定する。

## 4. クリアランスの検証実験

クリアランスが BRBSM の構造性能に及ぼす影響を検証する。品質管理値を満たしている試験体と満たしていない試験体の載荷実験を行い、比較する。

### 4.1 試験体

試験体は図2(a)の基本タイプとする。試験体諸元を表2に示す。クリアランスの比較を行うため、芯材および拘束材の材質・寸法は同じとし、クリアランスのみをパラメータとする。芯材長さは2,351mm、塑性化部長さを1,251mm、塑性化部断面は幅112mm、厚さ16mm、幅厚比7.0とする。拘束指標  $R$  は、モルタル強度による影響よりもクリアランスによる影響をうけるように、1.2程度と小さくする。クリアランスを確保するためのアンボンド材は BC2試験体で2mm (片面1mm+片面1mm)、BC4試験体で4mm (片面2mm+片面2mm)、BC6試験体で6mm (片面3mm+片面3mm) を貼付する。

各試験体の芯材と拘束材の合体後に測定したクリアランス比を表3に示す。図3(d)に示す10か所の平均クリアランス比は、BC2試験体で12%、BC4試験体で28%、BC6試験体で35%である。BC2試験体は品質管理値を満たしているが、BC4試験体と BC6試験体はともに品質管理値を満たしていない。

表2 試験体諸元

試験体	芯材 (SN400B)							拘束材 (SS400)						モルタル	アンボンド材
	寸法	断面積	幅厚比	$\sigma_y$	$P_y$	芯材長さ	塑性化部長さ	高さ	幅	板厚	$I \times 10^3$	$P_E$	拘束指標	圧縮強度	クリアランス
	(mm)	(mm <sup>2</sup> )		(N/mm <sup>2</sup> )	(kN)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm <sup>4</sup> )	(kN)	$R (=P_E/P_y)$	(N/mm <sup>2</sup> )	(mm)
BC2	16×112	1,792	7.0	303	542	2,351	1,251	80.0	142.4	3.2	1,780	652	1.20	71.2	2.0
BC4								82.0			1,880	688	1.27		4.0
BC6								84.0			1,983	726	1.34		6.0

表3 クリアランス比計測値

試験体	クリアランス比(%)										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	平均
BMC25	11.7	12.3	13.0	9.9	9.3	8.6	12.3	12.3	10.5	10.5	11
BMC22	9.3	13.6	12.7	12.3	8.6	11.1	15.4	11.7	9.3	11.1	12

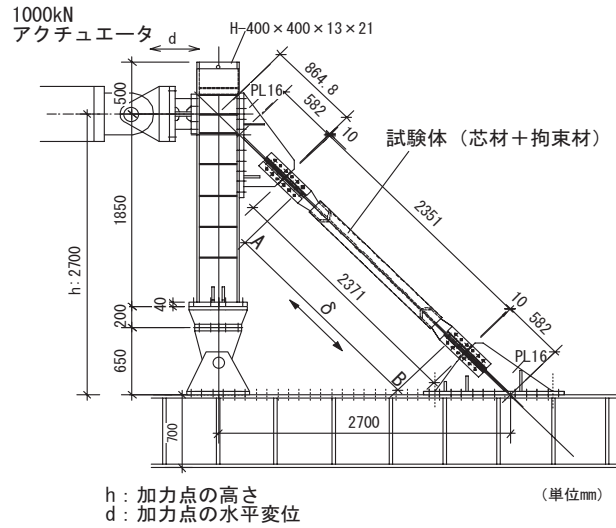


図4 試験装置

表4 終局状態と降伏耐力比の最大

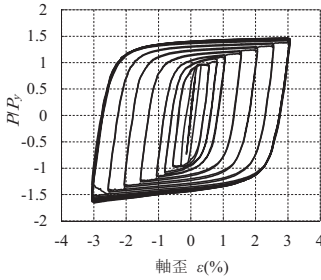
試験体	終局時の歪振幅と載荷回数	終局状態	降伏耐力比の最大	
			引張	圧縮
BMC25	3.0%歪9回目圧縮	局部変形	1.48	1.64
BMC22	3.0%歪11回目引張	引張破断	1.48	1.67

表5 性能評価

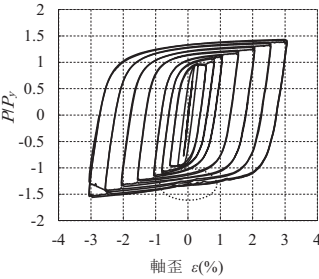
試験体	累積塑性歪エネルギー $E_t$ (kN・m)	累積塑性歪エネルギー率 $\omega$	圧縮引張耐力比の最大 $\alpha$	座屈モード数
BC2	1,532	1,530	1.13	16
BC4	704	703	1.09	16
BC6	586	585	1.07	11

4.2 載荷方法

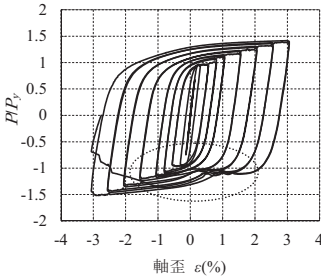
1,000kN 水平アクチュエータを用い、載荷装置は柱脚部をピン支持とし、試験体の設置角は45度とする (図4)。  
載荷パターンは軸方向変位制御で、軸歪 (%) 毎の復元力特性への影響を確認するために正負交番漸増繰返し載荷とする。試験体や治具のならしのために歪振幅1/3 $\epsilon_y$ , 2/3 $\epsilon_y$ , 0.25%を1回ずつ載荷



(a)BC2 試験体



(b)BC4 試験体



(c)BC6 試験体

図5  $P/P_y$ -軸歪 $\epsilon$ 関係

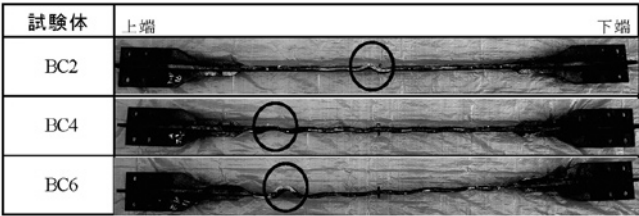


写真1 芯材終局状況 (BC2, BC4, BC6)

した後、軸歪0.5%, 0.75%, 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5%を2回ずつ載荷する。最後に軸歪3.0%では、耐力が最大耐力の80%まで低下、または引張破断するまで繰返し載荷する。

試験体の軸変形量 $\delta$ は、芯材の第一ボルト間 (図4, AB 間) の試験体手前と奥側に変位計により測定し、その平均値とする。

4.3 実験結果

各試験体の降伏耐力比  $P/P_y$  ( $P$ : 軸方向荷重) と芯材の軸歪 $\epsilon$  (軸変形量 $\delta$ /塑性化部長さ $L_p$ ) の関係を図5に示す。終局状況を写真1に、終局状態および降伏耐力比の最大を表4に示す。

BC2試験体は安定した復元力特性を示している。BC4試験体は軸歪2.5%の圧縮時に軸歪0付近で荷重が少し下がる箇所がある。同様に軸歪3.0%の圧縮時にも軸歪0付近で荷重が少し下がる箇所がある。BC6試験体は軸歪1.5%から圧縮時の軸歪0付近で荷重が下がる。以降、軸歪2.0%, 2.5%, 3.0%でも同様の傾向があり、不安定である。この現象は、クリアランスが大きいので、芯材が座屈した際にすぐモルタルによる拘束ができず、座屈が進行してからモルタルに接触



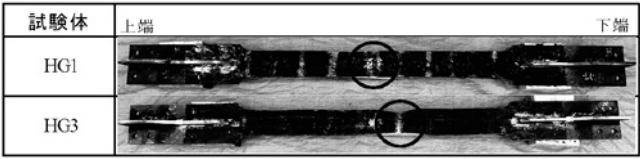


写真2 芯材終局状況 (HG1, HG3)

表8 終局状態と降伏耐力比の最大

試験体	終局時の 歪振幅と載荷回数	終局状態	降伏耐力比の最大	
			引張	圧縮
HG1	1.0%歪 337回目引張	引張破断	1.24	1.32
HG3	3.0%歪 9回目引張		1.35	1.71

表9 性能評価

試験体	累積塑性歪 エネルギー $E_t$ (kN・m)	累積塑性歪 エネルギー率 $\omega$	圧縮引張耐力比 の最大 $\alpha$	座屈モード 数
HG1	4,148	6,090	1.06	19
HG3	695	1,021	1.26	17

5.4 性能評価

表9に各試験体の累積塑性歪エネルギー率 $\omega$ 、圧縮引張耐力比 $\alpha$ の最大、座屈モード数を示す。

累積塑性歪エネルギー率 $\omega$ は、両試験体ともに引張破断となったため大きな値を示している。圧縮引張耐力比 $\alpha$ は、HG3試験体で1.26となり、1.15を大きく超える値となっている。 $\alpha$ が大きいと、柱梁等の主架構や接合部に損傷を与える可能性が高い。拘束指標 $R$ を6.0前後としたため局所変形は生じなかったが、 $R$ が小さい場合には $\alpha$ の上昇により早期の局所変形となる可能性がある。

座屈モード数はHG1試験体が19、HG3試験体が17である。内部ギャップが必要値に満たなくても $R$ が大きい場合、累積塑性歪エネルギー率 $\omega$ が大きいため、エネルギー吸収能力は十分であることがわかる。しかし、圧縮引張耐力比 $\alpha$ が柱梁等の主架構や接合部に損傷を与えてしまう可能性が高くなる。

6. 実大モックアップによる品質管理値の検証

品質管理にあたって、製作上で最大寸法の実大モックアップを製作し、品質管理項目毎に実測し、設定した品質管理値の妥当性を検証する。

6.1 モックアップ試験体

モックアップ試験体は図2(a)に示す基本タイプとし、表10に設計値および実測値を示す。芯材の長さ $L$ を12,000mm、塑性化部長さ $L_p$ を10,020mm、厚さ $t$ を40.0mm、幅 $B$ を440mm。拘束材の長さ $L_s$ は10,912mm、幅 $B_s$ は533mm、高さ $H_{s1}$ が192.5mm、 $H_{s2}$ が378mm。クリアランスは4.0mm、片側分の内部ギャップは80mmとする。写真3にモックアップ試験体を示す。

モックアップ試験体の長さは、道路法に基づく車両制限の12mとする。また、芯材の断面は、JIS規格により降伏点の低減の制約が無い範囲の最大寸法である板厚40mmとし、既往の研究<sup>9)</sup>から幅厚比の適用範囲の最大値11.0を考慮して、幅は440mmとする。クリアランス比は10.0%として、板厚40mmに対してクリアランスを4.0mmとしている。片側分の内部ギャップは、軸歪1.5%を想定と

表10 モックアップ試験体設計値および実測値

対象部材	測定項目			設計値 (mm)	実測値 (mm)	管理許容差 (mm)	限界許容差 (mm)
芯材	長さ		$L$	12,000	12,000	±3	±5
	幅	左端	$B$	440	441	±2	±3
		右端	$B$		440		
	板厚		$t$	40.0	40.0	±1	±2
塑性化部	長さ	表側	$L_p$	10,020	10,022	±3	±5
	幅			$B_p$	440	441	±2
芯材 リブ	長さ	表側左端	$L_r$	990	989	±3	±5
		表側右端	$L_r$		989		
	幅	表側左端	$B_r$	200	201	±2	±3
		表側右端	$B_r$		201		
	板厚		$t_r$	40.0	40.0	±1	±2
	拘束材	長さ	表側	$L_s$	10,912	10,912	±3
高さ		表側左端	$H_{S1}$	192.5	193.4	±2	±3
			$H_{S2}$	378.0	378.6		
			$H_{S1}$	192.5	192.6		
			$H_{S2}$	378.0	378.4		
		表側右端	$H_s$	533.0	532.2		
幅		表側右端	$B_s$	533.0	531.2		

対象部材	測定項目		設計値 (%)	計測位置および実測値 (%)			品質管理値 (%)	
BRBSM	クリアランス 比 $C/t$	10.0	A	4.8	J	8.8	$1.5\% \leq C/t \leq 15\%$	
			B	12.2	K	10.5		
			C	12.8	L	10.8		
			D	8.2	M	11.5		
			E	10.1	N	14.6		
			F	10.8	O	12.5		
			G	13.5	P	11.5		
			H	11.0	Q	11.5		
			I	8.9	R	7.4	平均 (A～R)	10.6

対象部材	測定項目			設計値 (mm)	実測値 (mm)	品質管理値 (mm)
BRBSM	内部 ギャップ	右端	$g/2$	160.0	159.0	150.3～
		左端	$g/2$		159.0	



写真3 モックアップ試験体

して変形量を最小値としている。塑性化部長さの片側0.75%である品質管理値の最小値75.2mmに対して、製作寸法精度を考慮して80.0mmとしている。これらを基本にして他の設計値も設定する。

6.2 クリアランス比および内部ギャップの検証

表10に示すようにモックアップ試験体のクリアランス比と内部ギャップは、共に品質管理値内に収めることができている。

1) クリアランス比

クリアランス比 ( $C/t$ ) は、写真4(a)に示す組立後のBRBSMの高さから、写真4(b)に示す組立前に計測した拘束材2枚分の高さを減じ、芯材厚を引いて算出している。図3(d)に示すA~Rの18か所について計測を行っている。最小値が4.8%、最大値が14.6%、平均値が11%とバラつきはあるものの品質管理値内の15%に収まっている。拘束材端部のA、J、I、R位置の実測値が比較的小さい値となっているのは、芯材長さ方向に潰れたアンボンド材がはみ出すスペースがあるからと考える。

2) 内部のギャップ

拘束材のクッション材を除いたモルタル箱抜き部分を実測し、

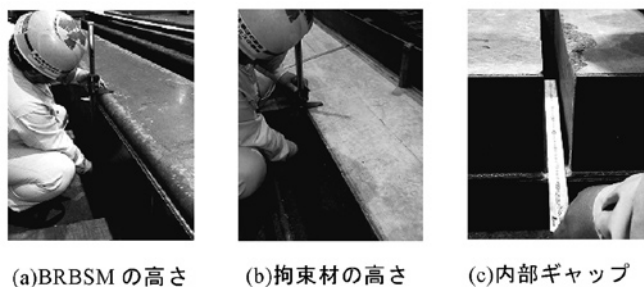


写真4 計測状況

芯材長さを差し引いて算出している。左右のギャップ  $g/2$  の実測値は共に79.5mm となり、75.2mm より大きいので品質管理値を満足している。

### 6.3 その他の品質管理

表10に示すようにモックアップ試験体のその他の品質管理項目について、品質管理値の管理許容差内に収めることができています。

#### 1) 長さ

芯材長さ  $L$  は設計値12,000mm に対して実測値12,000mm、上部のリブ長さ  $L_r$  は設計値990mm に対して実測値は左右リブ共に989mm であり、精度良く製作できている。塑性化部の長さ  $L_p$  は、左右のリブ長さ  $L_r$  が共に1mm 小さいことから、設計値より2mm 大きくなっている。

#### 2) 幅

芯材幅  $B$  は設計値440mm に対して実測値は左側が441mm、右側が440mm、芯材リブ  $B_r$  は設計値200mm に対して実測値は左右共に201mm と各々独立しているため、精度良く製作できている。上部の拘束材幅  $B_s$  は設計値533.0mm に対して実測値は左側で532.2mm、右側で531.2mm となっている。

#### 3) 高さ

拘束材高さ  $H_{s1}$  は設計値192.5mm に対して実測値が左側で193.4mm、右側で192.6mm、 $H_{s2}$  は設計値378mm に対して実測値は左側で378.6mm、右側で378.4mm となっている。拘束材は1枚の鋼板の2か所を折り曲げるにより製作するため、拘束材の幅および高さは鋼板の切断精度や折り曲げ精度が関係し、品質管理値内に収まっているものの、バラつきが多くなっている。

#### 4) 板厚

芯材厚さ  $t$  および芯材リブ厚さ  $t_r$  は設計値40mm に対して実測値40mm となっている。規格品のため、全ての対象部材において精度が良い。

以上のことから、実大モックアップの実測値は品質管理値内に収まっている。

## 7. 結

本研究では、鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースに関して、構造性能を満たすための製作時の品質管理値について検討した結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 既往の研究から構造性能に影響があるクリアランス比とギャップについて、製作時の品質管理値を設定した。
- 2) クリアランス比が品質管理値内に収まっている試験体は安定した復元力特性を示し、累積塑性歪エネルギー率  $\omega$  は大きい値を示

した。品質管理値を満たさない試験体はクリアランス比が大きくなる程、繰返し回数が少なくなり、累積塑性歪エネルギー率  $\omega$  は小さくなる。その復元力特性は圧縮側で不安定となる。

- 3) 内部ギャップが品質管理値を下回っている場合、リブとモルタルが接触することにより圧縮側の荷重の増大に伴い、圧縮引張耐力比  $\alpha$  は大きくなる。
- 4) 実大モックアップを製作し、設定した品質管理値内に収めることができた。

## 謝辞

本研究は、平成26、27、28年度住宅・建築関連先端技術開発助成事業費の補助を受けて実施いたしました。実験に際して川田工業株式会社の協力をいただきました。研究を進めるにあたり、元神奈川大学主任技術員の村井正敏氏、元神奈川大学学部の室伏堅斗氏のご協力をいただきました。記して謝意を表します。

## 参考文献

- [1] 村瀬亮, 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—その4 芯材幅厚比と拘束力および断面ディテールの影響, 日本建築学会構造系論文集, 620, 117-124 (2007.10).
- [2] 中村慎, 山下哲郎, 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—芯材の降伏耐力および軸剛性の調節—, 日本建築学会構造系論文集, 629, 1143-1150 (2008.7).
- [3] 小川健, 村井正敏, 前田親範, 岩田衛, 鋼モルタル板あるいは鋼材を拘束材に用いた座屈拘束ブレースの比較実験, 日本建築学会技術報告集, 33, 517-521 (2010.6).
- [4] 緑川光正, 佐々木大輔, 麻里哲広, 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—クリアランスの圧縮耐力への影響と圧縮耐力に応じた座屈モード数の評価—, 日本建築学会構造系論文集, 653, 1361-1368 (2010.7).
- [5] 飯塚亮太, 小谷野一尚, 緑川光正, 岩田衛, 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, 701, 1015-1023 (2014.7).
- [6] 小谷野一尚, 中込忠男, 緑川光正, 岩田衛, 鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの疲労性能の研究, 日本建築学会構造系論文集, 736, 921-928 (2017.6).
- [7] 和田章, 岩田衛, 清水敬三, 安部重孝, 川合廣樹, 建築物の損傷制御設計, 丸善 (1998.9).
- [8] 小谷野一尚, 藤田正則, 岩田衛, 座屈拘束ブレースのライフサイクルトレーサビリティに関する研究—その1 研究概要, 2016年度日本建築学会大会梗概 (九州), 787-788 (2016.8).
- [9] 藤田正則, 小谷野一尚, 岩田衛, 座屈拘束ブレースのライフサイクルトレーサビリティに関する研究—その2 製造時の品質管理項目の確認実験, 2016年度日本建築学会大会梗概 (九州), 789-790 (2016.8).
- [10] 建築工事標準仕様書 JASS6鉄骨工事, 日本建築学会 (2015.4).
- [11] 鉄骨精度測定指針, 日本建築学会 (2014.10).
- [12] 鉄骨工事技術指針・工場製作編, 日本建築学会 (2014.7).