

# 鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの実験

## —1/4.44 スケールの縮小試験体を用いた局部破壊に関する検討—

中村 慎\* 藤田 正則\*\*

### Experiments on Buckling-Restrained Braces Using Steel Mortar Planks

#### — Examination of local bulging failure using reduced-size specimens —

Makoto NAKAMURA\* Masanori FUJITA\*\*

#### 1. 序

近年、超高層ビルや物流倉庫をはじめとする大スパンかつ高階高の建築物にも座屈拘束ブレース（以降、BRB という）を活用することがある。その構造計画・設計においては、想定する BRB の部材長が 10m を超えることもあり、あわせて、限られたスペースにブレースを納めるため、1 本あたりの BRB に高い耐力を期待することも多く、その長大化が進んでいる。一方、長大化した BRB の構造性能は主に実験設備のサイズと載荷能力不足により、その実寸法での実験の実施が困難となる。既往の研究では、その長大化の影響を検討するため、細長比 844 までの縮小試験体による部材実験を実施しているが、その際に用いた試験体寸法は部材長さが約 3.8m、芯材板厚が 12mm となり、より一層の長大化が進む BRB の部材長さおよび板厚の両方に対応する縮小試験体の部材実験は実施できていない。

本研究では、BRB の最大級の長さを 12m、その際の板厚を 40mm と仮定し、その 1/4.44 スケールの縮小試験体による部材実験を行う。既往の研究<sup>例え</sup>りと同様の正負交番漸増繰返し載荷により、その復元力特性やエネルギー吸収性能を確認するとともに、エネルギー吸収性能に特に影響する芯材弱軸方向の拘束材の局部破壊について、既往の評価方法<sup>2)</sup>を用いて検討する。

#### 2. 実験計画

##### 2.1 試験体

本研究では BRB の一つである鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレース（以降、BRBSM という）の縮小試験体を製作する。BRBSM の最大級の芯材長さは車両制限令による車両の幅等の最高限度<sup>例え</sup>を参考に 12m と仮定した。また、芯材の板厚は BRBSM に用いる鋼材を SN400B, SN490B, LY225 の 3 種類と仮定し、各々の降伏点が低減されない 40mm を最大とした。以上の芯材長さ 12m、板厚 40mm の試験体を既往の研究の実験モデル、実験装置（加力点高さ）に当てはめるよう検討すると、1/4.44 スケールとすることで、縮小

試験体の芯材長さが 2.7m、板厚が 9mm となり、鋼板の製造可能寸法内での試験体製作が可能（鋼板の特注対応や切削加工等が不要）となることから、各々を本研究に用いる縮小試験体の寸法とした。

試験体形状を図 1、試験体一覧を表 1 に各々示す。試験体は BA-1, BP-1 の 2 体とする。芯材長さおよび板厚以外のパラメータは、既往の研究の標準的な仕様に極力揃えるよう配慮し、芯材の鋼種は SN400B、芯材の幅厚比は 11 とした。拘束材の板厚は厚くなり過ぎないように 2.3mm とする。これは、拘束材の局部破壊の検討で鋼板のみでは検討が NG になるよう設定し、拘束材の局部破壊における充填材の影響を確認できる仕様とした。クリアランス調整工法は BA-1 がクリアランス調整材を芯材全面に貼布する工法（以降、全面貼り）、BP-1 がクリアランス調整材を芯材に部分的に貼布する工法（以降、部分貼り）とする。クリアランス調整材の材種は BA-1 が厚み 0.5mm のクロロプレングム、BP-1 が厚み 1.0mm のブチルゴムとし、加圧調整のし易さを踏まえて厚みを決定した。

##### 2.2 載荷計画

載荷は 1000kN アクチュエータを使用し、軸方向変位制御による正負交番の漸増繰返し載荷とする。載荷パターンは芯材の降伏至  $\epsilon_y$

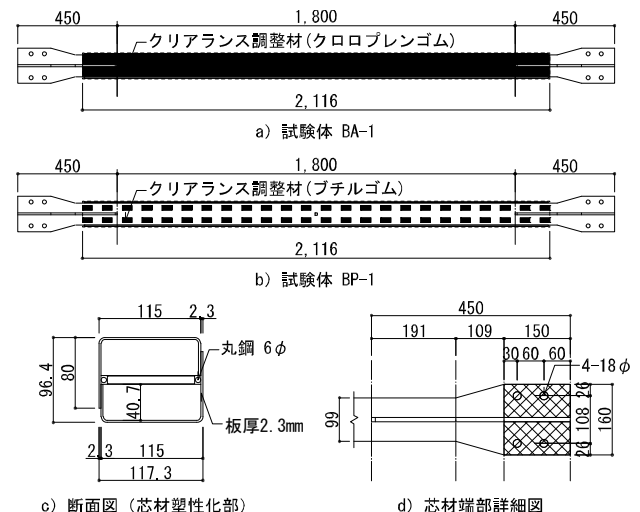


図 1 試験体形状

\* 助教 建築学部建築学科

Assistant Professor, Dept. of Architecture and Building Engineering

\*\*教授 建築学部建築学科

Professor, Dept. of Architecture and Building Engineering

表 1 試験体一覧

試験体	芯材					拘束材		拘束指標 ( $R=P_d/P_y$ )	充填材		クリアランス比 (%)	
	鋼種	板厚 mm	幅厚比	$\sigma_y$ N/mm <sup>2</sup>	$P_y$ kN	板厚 mm	$\sigma_{yr}$ N/mm <sup>2</sup>		種類	圧縮強度 N/mm <sup>2</sup>	溶接前 平均値	溶接後 平均値
BA-1	SN400B	9	11	320	285.0	2.3	315	1.94	モルタル	65.2	19.9	17.4
BP-1								1.94		60.3	15.6	12.8

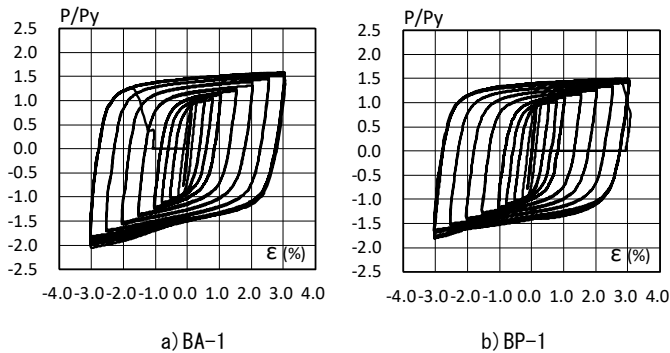


図 2 P/Py-ε 関係

の 1/3, 2/3 を各 1 回, 芯材塑性化部の軸歪 0.25% を 1 回, 0.50%, 0.75% を各 2 回, 1.00% を 5 回, 1.50%, 2.00%, 2.50% を各 2 回とし, 3.00% を芯材が引張破断するまで, または, 引張・圧縮時の耐力が最大耐力の 80%以下に至るまで繰り返し載荷する。

3. 実験結果および考察

各試験体の降伏耐力比 (P/Py) と芯材の軸歪 (ε = 軸変形量/塑性化部長さ) の関係を図 2 に, 実験結果を表 2 に示す。BA-1, BP-1 とも 3.0%歪 8 回目引張側載荷まで安定した復元力特性を示している。各々, 8 回目載荷の引張側ピークに至る前に引張破断 (耐力低下) に至ったため, 載荷を終了した。

また, 累積塑性歪エネルギー Et と累積塑性歪エネルギー率 ω を表 3 に示す。ω は復元力特性から算出した累積塑性歪エネルギー Et を芯材の降伏荷重 Py と弾性限界変形量 δy を乗じた値で除した無次元化量である。既往の研究<sup>例えは 1)</sup>で提案した性能評価下限値 ωr は芯材が引張破断した場合に 900 となる。BA-1, BP-1 とも性能評価下限値を上回る性能を示しており, 既往の研究の性能評価下限値(性能評価下限式)は 1/4.44 スケールの縮小試験体においても使用可能である。加えて, 本研究では部分貼りを採用した BRBSM についても, 全面貼りを採用した BRBSM と同等のエネルギー吸収性能を発揮した。これは, BP-1 のクリアランス比が BA-1 よりも小さいことで, 拘束材に作用する補剛力が低下し, それに伴う圧縮側の耐力上昇(摩擦力による耐力上昇) 等が抑えられたためと考える。

4. 拘束材の局部破壊に関する検討

鋼構造座屈設計指針 (以降, 座屈指針) と既往の研究による局部破壊の判定結果を表 4 に示す。座屈指針を用いた検討では, BA-1, BP-1 とも補剛力が拘束材の局部破壊時の耐力を超え, 局部破壊の判定となるが, 実際の実験結果は引張破断となり, 余裕度の高い B 判定となる。一方, 既往の研究で提案した充填材の影響を考慮した局部破壊の検討においては, その結果が余裕度の高い B 判定または実験結果に対応する A 判定となり, 危険側の評価である D 判定とならないことから, 既往の判定法は長尺試験体にも適用可能と考える。

表 2 実験結果

試験体	終局時載荷回数	最終状況	破断(変形)位置
BA-1	3%歪 8回目引張側	引張破断	芯材中央付近
BP-1	3%歪 8回目引張側	引張破断	芯材中央付近

表 3 性能評価

試験体	ωr	Et (kN・m)	ω	ω/ωr
BA-1	900	967	1205	1.34
BP-1	900	940	1172	1.30

表 4 拘束材の局部破壊の判定

試験体	Pd kN	Pyr2 kN	Pyf kN	Pysm kN	検定比・判定 ※1	
					Pd/Pyr2	Pd/Pysm
BA-1	43.5	12.3	39.4	30.9	3.54 B	1.41 B
BP-1	27.8	12.3	42.5	30.9	2.26 B	0.90 A

Pd: 補剛力, Pyr2: 座屈指針による鋼材の局部破壊時の耐力

Pyf: 充填材の局部破壊時の耐力,

Pysm: 充填材の影響を考慮したBRBSMの拘束材の局部破壊時の耐力

※1 判定のAは「補剛力<耐力で引張破断の判定に対し実験結果が引張破断,

または, 補剛力≥耐力で局部破壊の判定に対し実験結果が局部破壊」,

Bは「補剛力≥耐力で局部破壊の判定となるが実験結果が引張破断」,

Dは「補剛力<耐力で引張破断の判定となるが実験結果が局部破壊」

5. 結

本研究では, 1/4.44 スケールの縮小試験体を用いた部材実験により, 以下の知見を得た。

- 1) 最大級の部材長さ 12m を想定した BRBSM においても, 既往の研究で提案した局部破壊の判定法で局部破壊を安全側に評価できる。
- 2) 最大級の部材長さ 12m を想定した BRBSM でも軸歪 3.0%までの範囲で安定した復元力特性とエネルギー吸収性能を得ることができる。
- 3) 最大級の部材長さ 12m を想定した BRBSM では, 部分貼りの試験体のクリアランス比を全面貼りよりも約 5%小さくすることで, そのエネルギー吸収性能はほぼ同等となる。

【参考文献】

- 1) 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プレースの比較実験, 日本建築学会技術報告集, 第 16 巻, 第 33 号, pp.517-521, 2010.6
- 2) 中村慎, 瀧澤裕貴, 藤田正則, 緑川光正: 鋼モルタル板を用いた座屈拘束プレースの実験的研究-充填材の影響を考慮した拘束材の局部破壊に関する検討-, 日本建築学会構造系論文集, 第 88 巻, 第 807 号, pp.844-855, 2023.5
- 3) 日本建築学会編: 鉄骨工事技術指針・工場製作編, 2018.1

【謝辞】

本研究で検討した鋼モルタル板を用いた座屈拘束プレース(BRBSM)は, 神奈川大学名誉教授 岩田衛 工学博士が考案し, 長年に亘り研究・開発にご尽力されたものです。また, 本研究の拘束材の局部破壊に関する検討にあたっては, 北海道大学名誉教授 緑川光正 工学博士に沢山の助言を頂きました。ここに記して深く感謝を申し上げます。