

鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの実験的研究
—芯材幅厚比と拘束力および断面ディテールの影響—

正会員 ○村井 正敏* 同 村瀬 亮**
同 岩田 衛***

座屈拘束ブレース 性能評価式 芯材幅厚比
拘束力 断面ディテール

1. 序

本研究の座屈拘束ブレースは、拘束材に鋼モルタル板を用いている(図1)。これまでに芯材の断面積および幅厚比と拘束材の断面2次モーメントなどを変化させた様々な試験体について、軸方向載荷実験を行い、図2に示す累積塑性歪エネルギー率 ω と、拘束力の指標 P_E/P_y (P_E : 拘束材の座屈荷重、 P_y : 芯材の降伏荷重)との間に(1)式に示す線形的な関係を見出し、これを性能評価式とした設計法を提案した¹⁾。

$$\omega = 150 \times P_E/P_y \quad (1)$$

しかしながら、(1)式は、実験結果のうち、芯材弱軸方向の局部変形により耐力が低下した試験体に着目し、得られたものであり、芯材が強軸方向変形および引張破断による試験体は(1)式で示す ω を大きく上回り、座屈拘束ブレースの性能評価としては安全側であるものの、主架構に対しては、想定外の損傷および急な耐力低下を起すことも想定される。また、座屈拘束ブレースの構成部品として、アンボンド材と丸鋼がある。これらは、芯材の弱軸方向および強軸方向に関与しているにも拘わらず、設計法では触れられていない。この点についても十分な検討を行い、最適な設定をする必要がある。

本研究は、座屈拘束ブレースが主架構に対して悪影響をおよぼさない、安定した復元力特性と終局状態になるよう、芯材幅厚比と P_E/P_y および断面ディテールの影響を明らかにし、性能評価式の適用範囲を検討する。

2. 実験計画

2.1 試験体

試験体は既往の研究²⁾³⁾⁴⁾を踏まえ、4体製作する(表1)。 P_E は、オイラー座屈荷重式から算出し、座屈長さは試験体長さ $l=2351\text{mm}$ を用いる。実験モデルおよび載荷方法は、既往の研究と同様に設定する。

2.2 試験体パラメータ

パラメータは、芯材幅厚比と P_E/P_y およびアンボンド材厚とし、P62M11は、性能評価式 P_E/P_y の上限値を検討する。P14M4は、 P_E/P_y が小さい場合における芯材幅厚比4.0の性能を確認する。P21L6は、芯材厚に対してアンボンド材厚が4.5%程度となるように設定する。P22L6-C2は、アンボンド材厚を2mm(芯材厚に対して9.1%程度)とする。

3. 実験結果

各試験体の載荷履歴および終局状態などの結果を表2に、 P/P_y と ε (芯材の軸歪)の関係を図3に示す。

4. 考察

実験結果とパラメータの影響を考察するにあたり、比較試験体を文献²⁾³⁾⁴⁾より抜粋し表3に示す。

4.1 復元力特性

各試験体ともに紡錘形の安定した復元力特性を示した。

4.2 終局状態および芯材最終状態

局部変形により耐力が低下した試験体の芯材には、芯材弱軸方向に高次の座屈モードが確認でき、その局部変形箇所は、いずれも芯材塑性化領域の端部であった。これは、鋼モルタル板の端部にクッション材を充填しているため他の箇所よりも拘束力が小さいことが原因である。

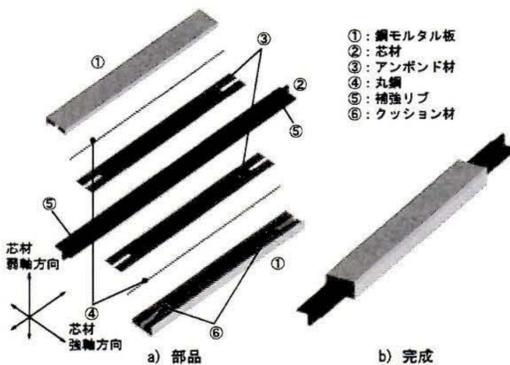


図1 座屈拘束ブレース

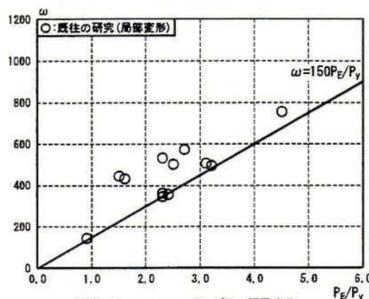


図2 $\omega - P_E/P_y$ 関係

表1 試験体一覧

試験体名	芯材					鋼モルタル板		ディテール		拘束材				P_E/P_y	
	寸法 mm	幅厚比	断面積 mm^2	σ_y N/mm^2	P_y kN	鋼板寸法 mm	h mm	アンボンド材 クリアランス mm (%)	丸鋼 mm	B		H			
										公証値 mm	実証値 mm	公証値 mm^4	実証値 mm		
P62M11	PL-176×16	11.0	2816	270.3	761.1	PL-203.2×70×140×3.2	70	1.0 (6.3)	φ11	206.4	158.0	158.4	1298.5	4753	6.2
P14M4	PL-64×16	4.0	1024	302.7	310.0	PL-91.2×30×60×3.2	30	1.0 (6.3)	φ11	94.4	78.0	77.8	115.9	424	1.4
P21L6	PL-132×22	6.0	2904	280.8	815.4	PL-159.2×45×90×3.2	45	1.0 (4.5)	φ11	162.4	114.0	113.6	465.0	1702	2.1
P22L6-C2	PL-132×22	6.0	2904	280.8	815.4	PL-159.2×45×90×3.2	45	2.0 (9.1)	φ11	162.4	116.0	117.0	483.6	1770	2.2

σ_y : 降伏応力度 P_y : 降伏荷重 h: 鋼モルタル板高さ B: 拘束材幅 H: 拘束材高さ I: 断面2次モーメント P_E : 座屈荷重

表2 実験結果

試験体名	載荷履歴			終局状態および芯材最終状態	最大耐力 (kN)	
	歪量 (%)	回数	載荷		P_T	P_C
P62M11	3.0	4	圧縮	強軸方向変形が進み、実験装置への影響を考慮して実験を終了。 芯材は強軸方向へ大きくS字に変形しており、弱軸方向には座屈モードが確認できる。	1110.6	1255.4
P14M4	3.0	9	引張	引張側において、耐力が低下し実験終了。拘束材に芯材が強軸方向変形した強い跡が観察できる。 芯材は強軸方向に変形しており、芯材中央付近において破断していた。	424.5	469.4
P21L6	3.0	2	圧縮	試験体上部に局部変形が生じ、耐力低下。拘束材に芯材が強軸方向変形した跡が観察できる。 芯材には局部変形と座屈モードが観察でき、強軸方向への変形も確認できた。	1225.1	1311.1
P22L6-C2	3.0	2	圧縮	試験体上部に局部変形が生じ、耐力低下。実験を終了した。 芯材には局部変形と座屈モードが観察できた。	1217.9	1286.3

P_T : 最大引張耐力 P_C : 最大圧縮耐力

表3 比較試験体

試験体名	文献	幅厚比	アンボンド材 mm	丸鋼 mm	P_E/P_y	最終状態
P29M11	3) C0	11.0	1.0	φ10	2.9	局部変形
P47S13	2) AP10S13-1	13.0	1.0	φ9	4.7	局部変形
P29M11-C0	2) BP6M11-0	11.0	なし	φ9	2.9	局部変形
P33M11-C3	2) BP6M11-3	11.0	3.0	φ9	3.3	局部変形
P28M11-C01	3) C4	11.0	0.1	φ10	2.8	強軸変形
P29M11-S12	4) I1	11.0	1.0	なし	2.9	強軸変形
P28M11-S1	4) I2	11.0	1.0	なし	2.8	局部変形
P29M4-S1	4) I4	4.0	1.0	なし	2.9	引張破断

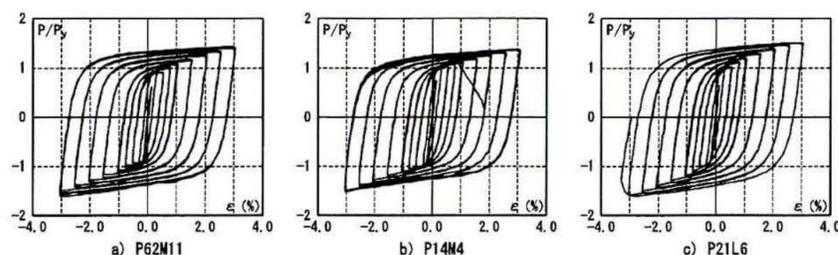


図3 $P/P_y - \epsilon$ 関係

4. 3性能評価

累積塑性歪エネルギー率 ω を算出し、表4に示す。引張破断したP14M4の ω は、性能評価式を3倍程上回っており、既往の研究においても、強軸方向変形および引張破断を起した試験体の ω は、高い値を示している。

5. 芯材幅厚比と拘束力および断面ディテールの影響

5.1 芯材幅厚比と P_E/P_y の関係

図4に、 P_E/P_y が2.5および4.5程度の試験体についての ω と芯材幅厚比の関係を示す。また、図5には、芯材幅厚比6.0以上の試験体についての ω と P_E/P_y の関係を示す。

図4より、芯材幅厚比の減少に伴い ω の増加が確認でき、性能評価式の ω を上回っていく。 P_E/P_y が2.5程度では、芯材が強軸方向変形あるいは引張破断を起すと、 ω は550以上になる。その試験体の芯材幅厚比は4.0および4.5である。 P_E/P_y が4.5程度の試験体では、芯材が強軸方向変形あるいは引張破断を起すと、 ω は850以上になる。芯材幅厚比13.0のP47S13は、性能評価式より下にあり、芯材幅厚比の増減による ω への影響を考慮すると、この幅厚比は座屈拘束ブレースに適用し難い。

図5より、(1)式は、 P_E/P_y が4.5より大きくなると成立しない。その原因は芯材弱軸方向の拘束力が大きく、芯材が強軸方向変形あるいは引張破断を起すからである。

5.2 アンボンド材によるクリアランスの有用性

アンボンド材を貼付しないP29M11-C0は、クリアランスがないため、芯材と拘束材の間に摩擦が発生した。また、アンボンド材厚3mm(18.7%)のP33M11-C3は、安定した復元力特性を示したが、性能評価式を満足できない。クリアランスが大きい場合、芯材の塑性変形は、進行が早く、大きく現れた。P21L6とP22L6-C2は、性能に差はなく、復元力特性も安定している。しかし、芯材最終状態では、アンボンド材厚1mm(4.5%)のP21L6は、強軸方向変形が観

表4 性能評価

P_E/P_y	幅厚比	アンボンド材 mm (%)	丸鋼 mm	E_t kN・m	ω
6.2	11.0	1.0 (6.3)	φ11	1159.4	721.9
1.4	4.0	1.0 (6.3)	φ11	719.5	911.6
2.1	6.0	1.0 (4.5)	φ11	955.1	509.8
2.2	6.0	2.0 (9.1)	φ11	931.1	497.0
2.9	11.0	1.0 (6.3)	φ10	1245.4	711.9
4.7	13.0	1.0 (8.3)	φ9	640.0	521.0
2.9	11.0	なし	φ9	1609.1	1001.9
3.3	11.0	3.0 (18.8)	φ9	648.1	403.5
2.8	11.0	0.1 (0.6)	φ10	1145.8	655.0
2.9	11.0	1.0 (6.3)	なし	575.7	329.1
2.8	11.0	1.0 (6.3)	なし	1124.7	642.9
2.9	4.0	1.0 (6.3)	なし	779.3	1279.0

E_t : 累積塑性歪エネルギー ω : 累積塑性歪エネルギー率

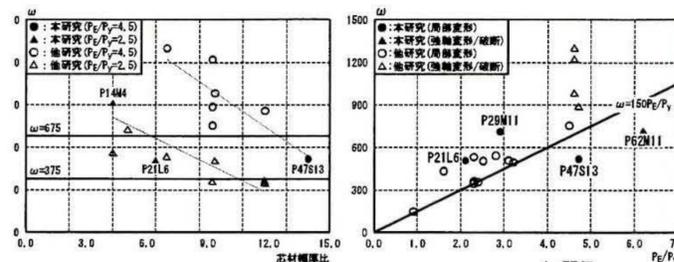


図4 ω -芯材幅厚比関係

図5 ω - P_E/P_y 関係

察されたのに対し、アンボンド材厚2mm (9.1%)のP22L6-C2には、強軸方向変形は見られない。

以上より、アンボンド材によるクリアランスは、芯材と拘束材との摩擦の発生を抑える効果がある。また、芯材の変形方向と、その大きさにも作用することから、芯材厚さによって、アンボンド材厚を調整する方が良い。

6. 結論

- (1) 芯材幅厚比4.0の最終状態は P_E/P_y の値に関らず、強軸方向変形あるいは引張破断を起す。
- (2) 芯材弱軸方向の拘束力が大き過ぎる時(P_E/P_y が4.5より大きい)、芯材は強軸方向変形あるいは引張破断を起す。
- (3) アンボンド材によるクリアランスの有用性は、芯材と拘束材のモルタルとの摩擦の発生を抑え、復元力特性を安定させる。

謝辞: 本研究は、学術フロンティア「災害リスク軽減を目的としたソフト・ハード融合型リスクマネジメントシステムの構築に関する研究(研究代表者: 荻本孝久)」の一環として実施したものであり、記して感謝いたします。

参考文献

- 1) IWATA Mamoru, MURAI Masatoshi: Buckling-restrained brace using steel mortar planks -performance evaluation as a hysteretic damper- EARTHQUAKE ENGINEERING AND STRUCTURAL DYNAMICS, 2006; 35: pp1807-13
- 2) 村瀬亮: 鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースにおける芯材幅厚比とクリアランスの影響、神奈川大学卒業研究・修士論文梗概集、2005.2
- 3) 佐藤拓海: 鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースにおけるクリアランスの影響、神奈川大学卒業研究・修士論文梗概集、2006.2
- 4) 今井千恵: 鋼モルタル板を用いた座屈拘束ブレースの強軸方向変形に関する研究、神奈川大学卒業研究・修士論文梗概集、2006.2

* 神奈川大学工学部建築学科 主任技術員
 ** 神奈川大学工学部建築学科 大学院生
 *** 神奈川大学工学部建築学科 教授 工博

Technician, Dept. of Architecture and Building Eng., Kanagawa Univ.
 Graduate Student, Dept. of Architecture and Building Eng., Kanagawa Univ.
 Prof. Dept. of Architecture and Building Eng., Kanagawa Univ., Dr. Eng.