

集成材で座屈拘束した平鋼ブレースの一定振幅疲労実験

中川 学 吉田 文久 藪田 智裕
Manabu Nakagawa, Fumihisa Yoshida, Tomohiro Yabuta

概 要

2010 年に「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」の制定以降、建築物の木造化・木質化の機運が高まっている。この機運に対して筆者らは、鋼材と木材を適材適所で用いたハイブリッド技術に着目し、集成材を座屈拘束材に用いた座屈拘束ブレースを考案した。これまでに座屈拘束材に使用する樹種をパラメータとした繰返し載荷実験や構面外方向に偏心した状態での繰返し実験を実施し、構造性能を把握してきた。本報では、芯材に低降伏点鋼材を用いたブレースの一定振幅繰返し載荷実験を実施し、疲労性能について確認した。また本ブレースは、鋼構造制振設計指針に示す疲労性能曲線の下限值を用いると安全側に評価できる可能性があることを確認した。

Fatigue Test of Buckling Restrained Brace Using Laminated Timber

Abstract

Since the enactment of the Act on Promotion of Use of Wood in Public Buildings in 2010, the momentum for using wood materials in buildings has continued to grow. In response, a hybrid structural technology that utilizes both steel and wood effectively was devised, resulting in a buckling-restrained brace (BRB) featuring laminated timber as the buckling-restraining material.

Previous studies have conducted cyclic loading tests using different wood species for the buckling-restrained material and tests with braces eccentrically displaced out of the structural plane to evaluate structural performance. In this study, constant-amplitude cyclic loading tests were conducted on braces using low-yield-point steel cores to verify fatigue performance. The results confirmed that using the lower bound of the fatigue performance curve indicated in the guidelines for seismic design of steel structures could provide a conservative evaluation.

キーワード：座屈拘束ブレース，木集成材，平鋼，繰返し載荷実験，
低降伏点鋼

1. はじめに

2010年に「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」の制定以降、建築物の木造化・木質化の機運が高まっている。この機運に対して筆者らは、鋼材と木材を適材適所で用いたハイブリッド技術に着目し、集成材を座屈拘束材に用いた座屈拘束ブレース（以下、本ブレース）を考案した。既報^{1)~4)}にて座屈拘束材に使用する樹種をパラメータとした繰返し載荷実験や構面外方向に偏心した状態での繰返し実験を実施し、本ブレースの構造性能を把握してきた。

本報では、本ブレースのさらなる可能性を見出すために、芯材に低降伏点鋼材（以下、LY材）を用いたブレースの一定振幅繰返し載荷実験を実施し、疲労性能について確認した。

2. 本ブレースの構成と特長

図1に本ブレースの構成、図2に本ブレースの設置イメージを示す。本ブレースは、地震力に抵抗する平鋼の芯材を集成材の座屈拘束材で補剛することにより、地震時に圧縮力が作用しても座屈せず、優れた耐震性能を発揮できるブレースである。また、鉄骨造でありながら座屈拘束材である集成材を現しにすることができ、木のぬくもりを感じられる空間を演出可能となる。

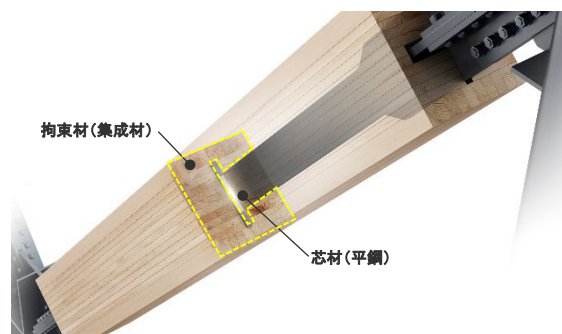


図1 本ブレースの構成



図2 本ブレースの設置イメージ

表1 試験体一覧

名称	芯材				拘束材（ヒノキ）					
	鋼種	厚さ (mm)	塑性化領域		長さ (mm)	補剛材 (集成材)			側材 (ラミナ)	
			長さ (mm)	幅 (mm)		強度区分	せい (mm)	幅 (mm)	強度 区分	厚さ (mm)
LY	LY225	16	1750	85	2300	E105-F345	165	90	L100	30
SN	SN400B	16	1750	85	2300	E95-F270	165	90	L100	30

3. 実験概要

3.1 試験体

表1に試験体一覧を示す。試験体は芯材にLY225材とSN400B材を用いた2種類とした。芯材にLY225材を用いた試験体は、座屈拘束材に強度区分E105-F345の同一等級構成集成材および強度区分L100のラミナ材とした。芯材にSN400B材を用い

た試験体は座屈拘束材に強度区分E95-F270の対称異等級構成集成材および強度区分L100のラミナ材とした。集成材とラミナ材の樹種は、いずれもヒノキとした。

図3に試験体図を示す。芯材の中央部は端部に比べて幅を狭くして、座屈拘束材の内部に芯材の塑性化領域が生じるようにしている。座屈拘束材の集成

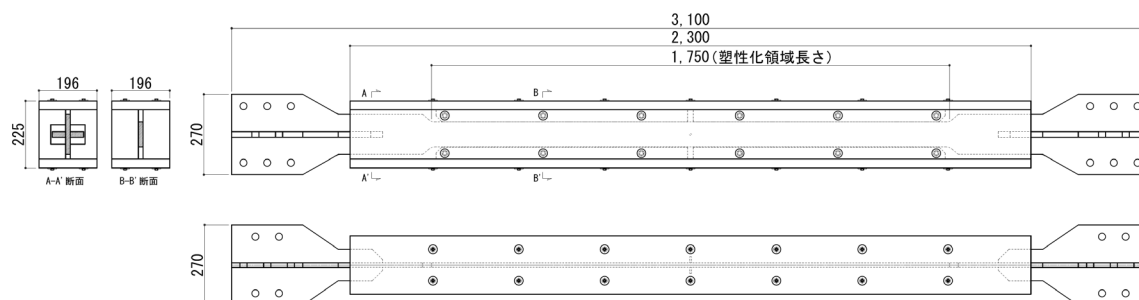


図3 試験体図

材とラミナ材はウレタン樹脂系接着剤で接着し、補剛材と側板は締結ボルトを用いて補強している。試験体の全長は 3,100mm、芯材の塑性化部長さは 1,750mm、拘束材長さは 2,300mm とした。

また、鋼材の引張試験、木材の曲げ試験とめり込み試験を実施し、それぞれの機械的性質を確認した。表 2 に使用鋼材の機械的性質、表 3 に使用木材の機械的性質を示す。

3.2 実験方法

図 4 に実験装置を示す。骨組架構を模擬した載荷装置を用いて、45 度方向に試験体を設置した。載荷柱の下端部はピン支持とし、載荷柱の上端に油圧ジャッキを用いて水平方向に載荷を行った。載荷は芯材塑性化部の軸歪で制御し、耐力低下を確認するまで、所定の歪振幅で繰返し載荷を実施した。芯材に LY 材を用いた試験体は、片側ひずみ振幅の変数として 0.75% (1 試験体)、1.5% (2 試験体)、2.25% (2 試験体) とした。芯材に SN400B 材を用いた試験体は片側ひずみ振幅の変数として 1.5% (1 試験体) とした。

表 2 鋼材の機械的性質

鋼種	板厚(mm)		降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	降伏比	伸び (%)
	公称値	実測値				
LY225	16	16.4	237	337	0.70	41.0
SN400B	16	16.1	279	441	0.63	30.6

表 3 木材の機械的性質

名称	部位	樹種	強度等級	曲げヤング係数 (kN/mm ²)		曲げ強度 (N/mm ²)		めり込み強度 (N/mm ²)
				縦層方向	横方向	縦層方向	横方向	
LY	補剛材	ヒノキ	E105-F345	13.8	12.4	70.1	56.9	15.0
	側材	ヒノキ	L100	12.0	-	68.6	-	9.1
SN	補剛材	ヒノキ	E95-F270	9.0	11.1	46.0	56.0	16.7
	側材	ヒノキ	L100	11.7	-	79.9	-	10.2

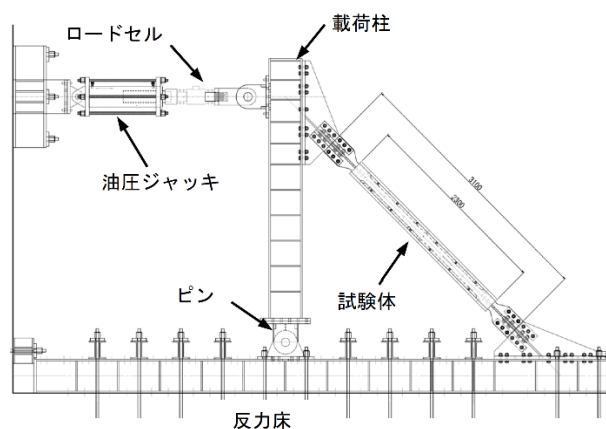


図 4 実験装置

4. 実験結果

4.1 履歴曲線・破壊形式

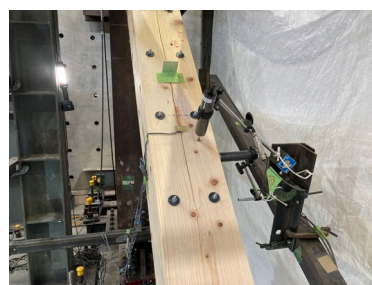
表 4 に実験結果一覧、図 5 に荷重変形関係を示す。縦軸の N/N_y は芯材に作用する軸力 N を芯材の降伏軸力 N_y で無次元化した値、横軸の ε は芯材の塑性化領域の変形 δ を塑性化領域の長さ L_s で除して求めた歪である。いずれの試験体も紡錘形の安定した履歴性状を示している。LY 試験体の繰返し回数は、片側ひずみ振幅が 0.75% の場合に 136 回、片側ひずみ振幅が 1.5% の場合に 13~16 回、片側ひずみ振幅が 2.25% の場合に 4 回となった。SN 試験体の繰返し回数は、片側ひずみ振幅が 1.5% の場合に 59 回となり、LY 試験体と比較して 3.7~4.5 倍の繰返し回数となった。

4.2 破壊形式

写真 1、写真 2 に試験体の破壊状況を示す。LY 試験体は座屈拘束材のうちラミナ材の中央部や端部に割れが生じて荷重が低下した。SN 試験体は座屈拘束材の損傷はみられずに芯材の破断に至った。

表 4 実験結果一覧

名称	歪振幅 (%)	繰返し 回数 (回)	破壊形式
LY-0.75	0.75%	136	側材中央部の割れ
LY-1.5-1	1.5%	13	側材中央部の割れ
LY-1.5-2	1.5%	16	側材中央部の割れ
LY-2.25-1	2.25%	4	側材中央・端部の割れ
LY-2.25-2	2.25%	4	側材中央部の割れ
SN-1.5	1.5%	59	芯材の破断



(a) 座屈拘束材中央部の割れ (LY-1.5-2)



(b) 座屈拘束材端部の割れ (LY-2.25-2)

写真 1 試験体の破壊性状

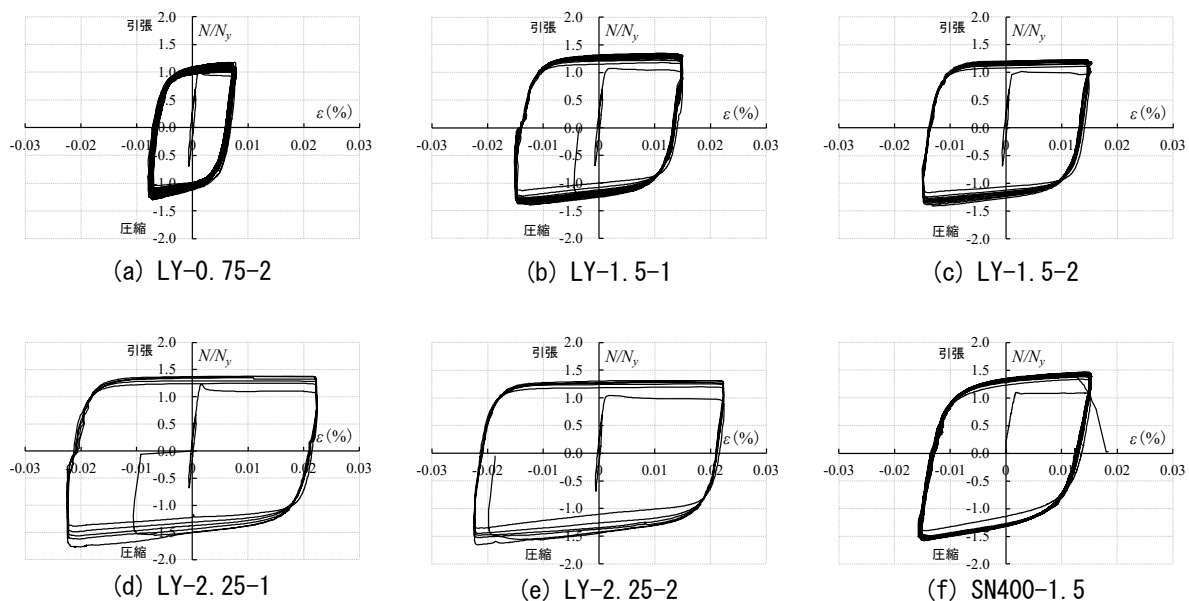


図5 荷重変位関係



(a) 解体後の状況 (SN-1.5)



(b) 芯材の破断部 (SN-1.5)

写真2 試験体の破壊性状 (2)

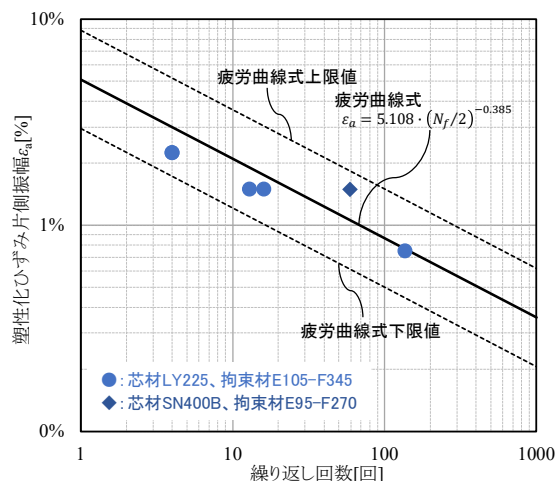


図6 疲労性能

4.3 疲労性能

図6に疲労性能を示す。図6の実線は座屈拘束ブレースの疲労性能曲線で、鋼構造制振設計指針⁵⁾では以下の式で与えられている。

$$\varepsilon_a = 5.108(N_f/2)^{-0.385} \quad (1)$$

ここで、 ε_a は片側ひずみ振幅(%)、 N_f は繰り返し半サイクル回数(回)である。点線は疲労性能曲線の上下限値とされる $\sqrt{3}$ 倍および $1/\sqrt{3}$ 倍となる曲線である。

LY 試験体は、全ての試験体で疲労性能曲線を下回ったものの、下限値以上となった。SN 試験体は疲労性能曲線を上回った。本実験で用いたブレースは疲労性能曲線の上下限に収まることが分かった。

5. まとめ

芯材に低降伏点鋼材を用いたブレースの一定振幅繰返し载荷実験を実施し、疲労性能について確認した。得られた知見を以下に示す。

- (1) いずれの試験体も紡錘形の安定した履歴性状を示した。
- (2) LY 材を用いた試験体は座屈拘束材のうちラミ

ナ材の中央部や端部に割れが生じて荷重が低下した。SN400B 材を用いた試験体は座屈拘束材の損傷はみられずに芯材の破断に至った。

- (3) 鋼構造制振設計指針の示す疲労曲線で疲労性能を評価すると,LY 材を用いた試験体は疲労曲線を下回るものの,疲労性能曲線の上下限に収まることが分かった。

参 考 文 献

- 1) 吉田文久, 中川学, 藪田智裕, 西拓馬, 阿辺山健大: 木集成材で座屈拘束した平鋼ブレースの繰返し載荷実験 その 1 繰返し載荷実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.995-996, 2019.
- 2) 中川学, 吉田文久, 藪田智裕, 西拓馬, 阿辺山健大: 木集成材で座屈拘束した平鋼ブレースの繰返し載荷実験 その 2 架構実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.997-998, 2019.
- 3) 中川学, 吉田文久, 藪田智裕, 大園雄司: 木集成材で座屈拘束した平鋼ブレースの繰返し載荷実験 その 3 補剛材にスギを用いた実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1059-1060, 2020.
- 4) 藪田智裕, 吉田文久, 中川学: 木集成材で座屈拘束した平鋼ブレースの繰返し載荷実験 その 4 構面外方向に偏心させたブレースの載荷実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.621-622, 2024.
- 5) 日本建築学会: 鋼構造制振設計指針 (第 1 版), pp.36-38, 2014.

執筆者紹介

ひとこと

近年の木造化・木質化の流れに対して,鋼構造と木材とを融合させるハイブリッド技術は有効です。本技術以外のハイブリッド技術を開発し,社会に貢献して参ります。



中川 学
博士 (工学)