

細長比 533 の極細丸鋼を芯材に用いた折返しブレースの実験的研究 Experimental Study on Twice Turn Braces Using Extremely Thin Core

○波田雅也¹, 竹内健一¹, 新井佑一郎¹, 北嶋圭二², 中西三和², 安達洋²

* Masaya Hada¹, Kenichi Takeuchi¹, Yuichiro Arai¹, Keiji Kitajima², Mitsukazu Nakanishi², Hiromi Adachi²

Abstract: This paper describes an outline and result of experimental study about the Twice Turn Braces using extremely thin core.

1. はじめに

本研究は、径の異なる 3 本の鋼材を一筆書きの要領で折返して接合させた“折返しブレース”の座屈拘束効果に関するものである。折返しブレースは、実際の部材長(実長)が見付け長さ(見付長)より長い為、軸降伏変位も実長/見付長だけ増大し、層間変形角 1/200rad 程度まで降伏しないブレース材が実現する。また、各々の鋼材(芯材,中鋼管,外鋼管)に作用する軸力(圧縮・引張)が互いに反転するため、圧縮材の座屈が引張材(拘束材)によって拘束され、各々の鋼材間に隙間が無ければ理論的には座屈しないという特長を有している¹⁾。

本研究では、細長比λ 533 の極細の芯材(丸鋼)を用いて、スペーサーを挿入して部材間の隙間を極力なくした折返しブレースを作製し、圧縮・引張载荷時とも理論通りに座屈せずに芯材が軸降伏することを実験的に確認する。また、芯材に細長比λ 331 の十字プレートを用いた折返しブレースの実験もあわせて行った。

2. 折返しブレースの座屈拘束メカニズム

折返しブレースに圧縮荷重が作用した時の各鋼材の関係をFig.1に示す。芯材が圧縮力を受け、座屈して横に撓もうとする横方向の力と、芯材の外側に位置する中鋼管が引張力を受け、横撓みを元に戻そうとする横方向の力が釣合うことで、芯材の座屈を拘束する仕組みとなっている。これまでの研究成果より、折返しブレースでは、芯材の

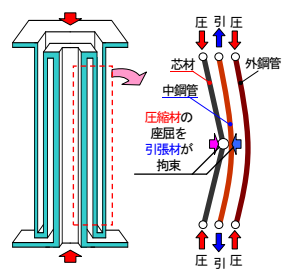


Fig.1 Relations of Each Material (Compression)

Table 1 List of Test Specimens

試験体	鋼種	断面形状	公称断面積 [mm ²]	見付け長さ [mm]	各部材長さ [mm]	材料特性※1			細長比	軸降伏荷重 N _y [kN]	オイラー座屈荷重 N _e [kN]
						降伏点 ² [N/mm ²]	引張強さ ² [N/mm ²]	降伏点 ² [N/mm ²]			
(a) 折返しブレース (丸鋼芯材)	芯材	φ 9.0	64	1200 (両端ピン接合)	1,130	323	440	533	20.6	0.5	
	中鋼管	φ 21.7 × t1.9	118		975	442	450	171			
	外鋼管	φ 27.2 × t2.3	180		1,045	429	432	136			
(b) 折返しブレース (十字芯材)	芯材	17.0 × 17.0 × t2.3	73		1,130	329	421	331	24.0	1.3	
	中鋼管	φ 21.7 × t1.9	118		975	442	450	171			
	外鋼管	φ 27.2 × t2.3	180		1,045	429	432	136			
(c) 丸鋼芯材単体ブレース		φ 9.0	64		1,200	323	440	533	20.6	0.5	
(d) 外鋼管単体ブレース		φ 27.2 × t2.3	180		1,200	429	432	136	77.2	19.8	

※1: 材料特性は引張試験結果 ※2: 細長比は両端ピン支持として見付け長さをを用いて算出
軸降伏荷重: $N_y = \sigma_y \times A$ オイラー座屈荷重: $N_e = \frac{\pi^2 EI}{\ell_e^2}$
 σ_y : 降伏点 A : 断面積 E : ヤング係数 I : 断面 2 次モーメント ℓ_e : 座屈長さ=見付け長さ

座屈を引張軸力が作用する中鋼管(拘束材)によって拘束できる限界軸力 N_C が(1)式のように表される¹⁾。(1)式より、鋼材間に隙間が無い状態($s=0$)では、限界軸力 N_C が中鋼管(拘束材) N_y^B に一致することがわかる。すなわち、鋼材間に隙間が無ければ、理論的には芯材が座屈しないといえる。また(1)式は、ブレース全体に引張荷重が作用し中鋼管が圧縮力を受ける時の中鋼管の座屈を引張軸力が

$$N_C = M_{y(0)}^B / (s + \frac{M_{y(0)}^B}{N_y^B}) \quad \dots (1)$$

ここで、
 N_C : 芯材の座屈を中鋼管(拘束材)によって拘束できる限界軸力
 N_y^B : 中鋼管(拘束材)の軸降伏荷重
 $M_{y(0)}^B$: 中鋼管(拘束材)の降伏モーメント($0 \neq 0$)
 s : 芯材と中鋼管(拘束材)との隙間

$$N_y \leq N_C = \min(N_C, N_C, N_C) \quad \dots (2)$$

ここで、
 N_y : 芯材の軸降伏荷重
 N_C : 折返しブレースが座屈しない限界軸力
 N_C : 芯材の座屈を中鋼管(拘束材)によって拘束できる限界軸力
 N_C : 中鋼管の座屈を外鋼管(拘束材)によって拘束できる限界軸力
 N_C : 外鋼管単体の座屈荷重

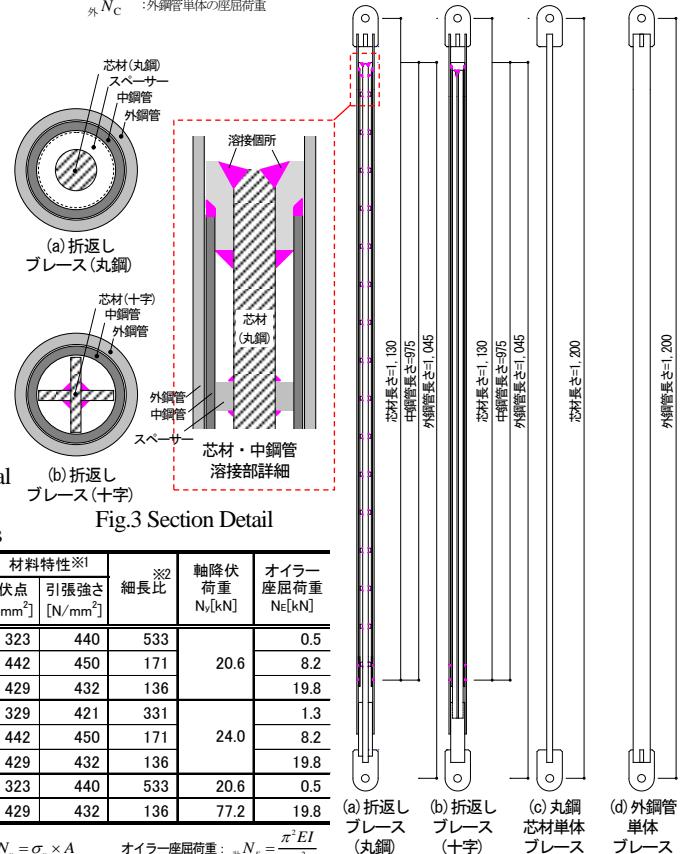


Fig.2 Specimens Detail

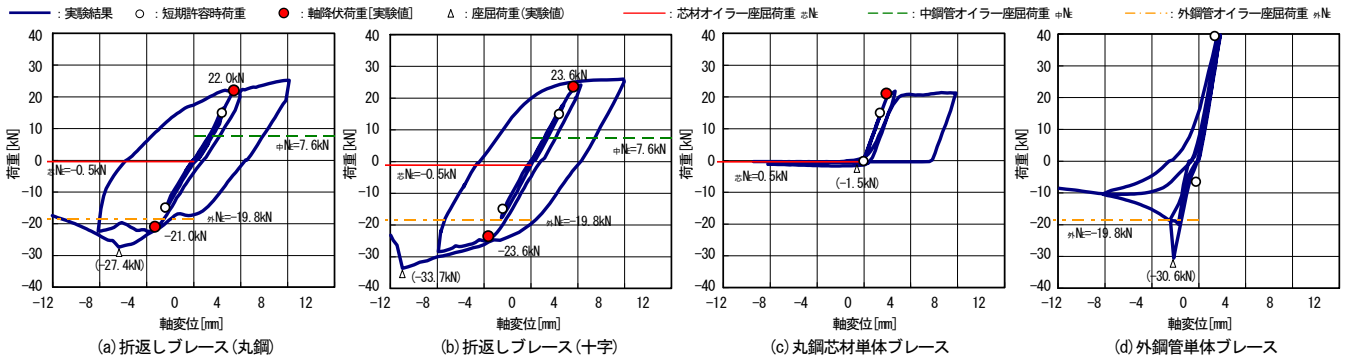


Fig.4 Axial Force- Axial Displacement

Table 2 Calculation Result

	$\sigma_c N_c$ [kN]	$\sigma_m N_c$ [kN]	$\sigma_o N_c$ [kN]	N_c [kN]	$\sigma_c N_y$ [kN]	$N_c / \sigma_c N_y$
(a)丸鋼芯材	19.9	32.2	19.8	19.8	15.0	1.32
(b)十字芯材					17.1	1.15

作用する外鋼管(拘束材)によって拘束できる限界軸力算定式としても適用できる。なお、外鋼管に対しては、座屈を拘束する引張材が存在しないため、外鋼管が座屈しない限界軸力 $\sigma_o N_c$ は、外鋼管単体のオイラー座屈荷重となる。したがって、折返しブレースが圧縮・引張載荷時とも座屈せず芯材が軸降伏するための条件は(2)式のように表される。

3. 実験概要

3.1 試験体 試験体諸元をTable1に、試験体形状をFig.2に、断面形状をFig.3に示す。試験体は、(a)丸鋼芯材(λ533)の折返しブレースと(b)十字プレート芯材(λ331)の折返しブレースとし、比較用として(c)丸鋼芯材単体ブレースと(d)外鋼管単体ブレースも合わせて実験を行った。Fig.2に示すように、丸鋼芯材(λ533)の折返しブレースでは、60mmピッチでリング状のスペーサーを入れ、芯材と中鋼管の間に隙間が生じないようにした²⁾。また、十字プレート(λ331)の折返しブレースでは、プレート幅を中鋼管の内径に合わせ、スペーサーを用いずに芯材と中鋼管の間に隙間が生じないようにした。試験体は、いずれも支点間距離1,200mm(両端ピン支持)とした。これらの折返しブレース試験体が座屈せずに軸降伏するか否かを(2)式により判定した結果をTable2に示す。Table 2は、基準強度を用いた算定値である。本試験体の限界軸力 N_c は、芯材軸降伏荷重 $\sigma_c N_y$ の1.15~1.3倍の大きさを確保しており、芯材が座屈しないような設計となっている。

3.2 加力方法 加力方法は、圧縮載荷側で軸降伏または座屈が確認されるまで荷重制御で載荷し、その後は軸変位制御で正負交番載荷した。その際の軸変位は、折返しブレースの軸降伏変位(4mm)を基本とし、4,8,12mmと1サイクルずつ正負交番載荷した。計測項目は荷重と軸変位とし、加力装置のロードセルと内部変位計によって計測した。

4. 実験結果

実験で得られた軸力-軸変位関係をFig. 4に示す。図中

の軸降伏荷重(実験値)は 0.03% オフセット耐力で評価し、座屈荷重(実験値)は圧縮載荷時の最大荷重とした。また、図中には、Table1 の各鋼材のオイラー座屈荷重(計算値)も合わせて示している。

(a)丸鋼芯材(λ533)の折返しブレース 圧縮載荷時に芯材のオイラー荷重(-0.5kN)を越え、芯材単体ブレースの座屈荷重の実験値(-1.5kN : Fig.4 (c))を超えても座屈せず、引張載荷時には中鋼管のオイラー座屈荷重(7.6kN)を越えても座屈しなかった。その後は、想定した通り圧縮・引張載荷時とも芯材が軸降伏(22.0kN)し、引張耐力と同等の圧縮耐力を維持したまま紡錘形の履歴形状を示した。最終的には、-12mmを目指した圧縮載荷時に軸力が降伏耐力の約 1.2 倍まで上昇し、外鋼管単体ブレースの座屈荷重の実験値(-30.6kN : Fig.4 (d))を少し下回る荷重(-27.4kN)で外鋼管に座屈が発生し実験を終了した。

(b)十字プレート芯材(λ331)の折返しブレース 丸鋼芯材の折返しブレースと同様に、圧縮・引張載荷時ともに座屈せずに芯材が軸降伏(23.6kN)し、その後は引張耐力と同等の圧縮耐力を維持したまま紡錘形の履歴形状を示した。最終的には、-12mmを目指した圧縮載荷時に降伏耐力の約 1.2 倍まで軸力が上昇したところで外鋼管に座屈(-33.7kN)が発生し実験を終了した。

5. まとめ

以上、本研究で得られた知見を下記にまとめる。

- ・λ533 という極細の丸鋼芯材を用いた折返しブレースが、試験体計画時に想定した通り、圧縮・引張載荷時とも座屈せずに芯材が軸降伏し、引張耐力と同等の圧縮耐力を維持したまま紡錘形の履歴形状を示した。
- ・いずれの折返しブレースも芯材が軸降伏し、その後軸力が上昇して外鋼管の座屈で実験が終了したことより、(1)式の限界軸力算定式および(2)式の軸降伏するための条件式の妥当性が実験により確認できた。

【参考文献】 1)波田ほか: 折返しブレースの構造特性に関する実験的研究(その1~その5), AIJ 大会, C-1, pp.747-750, 2012.9, pp.1287-1292, 2013.8
2)金子ほか: ボルト調整方式による座屈補剛ブレースの開発と耐震補強への適用, 日本建築学会技術報告集, 第11号, pp.99-104, 2000.12