

B-1

折返しブレースの構造特性に関する実験的研究  
(その3 二重鋼管ブレースとの比較実験)

Experimental Study on Structural Characteristics of Twice Turn Braces  
Part3. Comparison of Double-Tube Braces with Twice Turn Braces

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

\* Masaya Hada<sup>1</sup>, Kenichi Takeuchi<sup>1</sup>, Yuichiro Arai<sup>1</sup>, Keiji Kitajima<sup>2</sup>, Mitsukazu Nakanishi<sup>2</sup>, Hiromi Adachi<sup>2</sup>

**Abstract:** This paper considers the buckling restriction effect by tension member of Twice Turn Braces.

1. はじめに

本研究は、径の異なる3本の鋼管を一筆書きの要領で折返して接合させ、実際の部材長さを見付け長さよりも長くすることにより、軸降伏変位を増大させた“折返しブレース”の構造特性に関するものである。折返しブレースでは、各々の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)によって拘束される。前報(その2)では、一般的な座屈拘束ブレースで構築されている理論に、拘束材の引張軸力を考慮すれば、折返しブレースの座屈判定が可能であることを確認した<sup>1)</sup>。

本報(その3)では、拘束材に引張軸力が作用することの効果を確認するため、前報<sup>1)</sup>で用いたλ180タイプの折返しブレースと同一断面形状の鋼管を用いて、拘束材に軸力が作用しない二重鋼管タイプの座屈拘束ブレース(以下、二重鋼管ブレース)を製作し、軸方向加力実験を行った。

2. 実験概要

試験体諸元をTable1に、試験体形状をFig.1に示す。また、実験状況をPhoto1に示す。試験体数は、(a)折返しブレース、(b)二重鋼管ブレース、(c)芯材単体ブレースの計3体とした。折返しブレースおよび芯材単体ブレースは、前報<sup>1)</sup>で用いたλ180タイプの試験体であり、今回新たに、折返しブレースと同一断面の芯材(φ31.8×3.0)および中鋼管(φ42.7×3.5)を用いた二重鋼管ブレースを作製した。

(b)の二重鋼管ブレースは、芯材の外側に軸力が作用しない中鋼管(拘束材)を被せて芯材の座屈を拘束するブレース材である。拘束材は上端のみ接合プレートに固定し、

下端を絶縁することで軸力が伝達されないようにした。下端の芯材露出部は、折返しブレースと同様にさや管を設置して首折れ座屈を防止している。

3. 実験結果

実験で得られた軸力-軸変位関係をFig.2に示す。実験時の軸降伏荷重は実験結果の0.2%オフセット耐力で評価し、座屈荷重は圧縮載荷時の最大荷重とした。また、図中には、Table1の軸降伏荷重およびオイラー座屈荷重の計算値も合わせて示している。

(a)の折返しブレースでは、圧縮・引張載荷時とも座屈せずに軸降伏し、その後は軸変位±30mm(支点間距離1,800mmの1.67%)まで安定した紡錘型の履歴形状を示した。

(c)の芯材単体ブレースでは、オイラー座屈荷重(-18kN)の約3.8倍まで荷重が上昇したところで座屈が発生(-68kN)し、その後は急激に耐力低下が生じた。

一方、(b)の二重鋼管ブレースでは、1サイクル目の圧縮載荷時には座屈荷重の計算値(-57kN)および芯材単体ブレースの座屈荷重の実験値

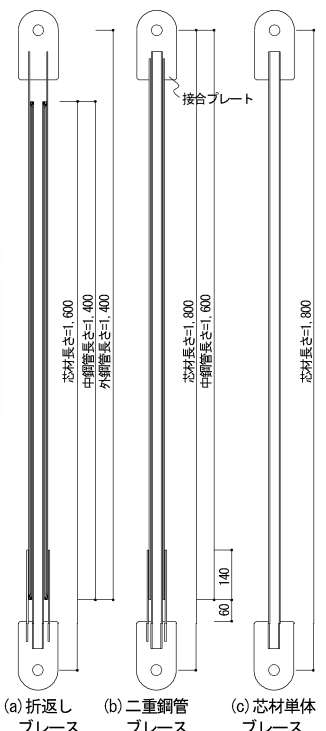
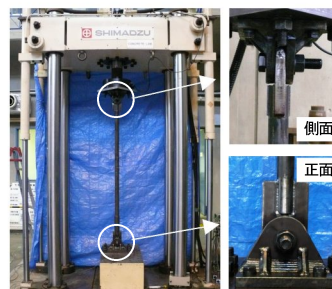


Table1 List of Test Specimens

試験体	鋼種	断面形状	断面積 [mm <sup>2</sup> ]	見つけ長さ (支持条件) [mm]	部材長さ [mm]	材料特性			軸降伏荷重 [kN]	オイラー座屈荷重 [kN]	
						降伏点 [N/mm <sup>2</sup> ]	引張強さ [N/mm <sup>2</sup> ]	細長比 (限界細長比)			
(a) 折返しブレース	STKM13A	芯材	φ 31.8 × 3.0	271	1,800 (両端ピン)	1,600	387	513	159 (93)	105	22
		中鋼管	φ 42.7 × 3.5	431		1,400	402	500	104 (92)	173	86
		外鋼管	φ 54.0 × 3.5	555		1,600	364	497	91 (96)	202	141
		さや管	φ 65.0 × 5.0	942		-	370	488	-	-	-
(b) 二重鋼管ブレース	STKM13A	芯材	φ 31.8 × 3.0	271	1,800 (両端ピン)	1,800	387	513	176 (93)	105	18
		中鋼管	φ 42.7 × 3.5	431		1,600	402	500	119 (92)	173	66
		さや管	φ 54.0 × 3.5	555		-	364	497	-	-	-
(c) 芯材単体ブレース	STKM13A	芯材	φ 31.8 × 3.0	271	1,800	387	513	176 (93)	105	18	

※1: 材料特性は引張試験結果 ※2: 限界細長比は材料特性を用いて算出 軸降伏荷重:  $\sigma_y N_y = \sigma_y \times A$  オイラー座屈荷重:  $\sigma_E N_E = \frac{\pi^2 EI}{\ell_s^2}$   
 ※3: 細長比は両端ピン支持として部材長さを用いて算出  $\sigma_y$ : 降伏点 A: 断面積(公称値) E: ヤング係数 I: 断面2次モーメント  $\ell_s$ : 座屈長さ=部材長さ

Fig.1 Section of Test Specimens

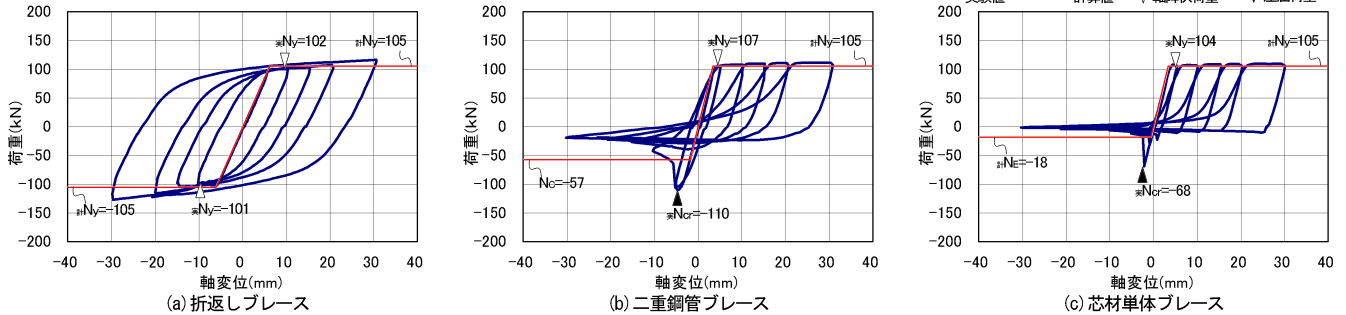


Fig.2 Axial Force - Axial Displacement

(-68kN)を越えても座屈せず、軸降伏荷重(-105kN)に達したものの、2サイクル目の圧縮載荷時に軸降伏荷重を越えたところで座屈が発生(-110kN)し、その後は芯材単体ブレースと同様に急激な耐力低下が生じた。なお、二重鋼管ブレースの座屈荷重の計算値 $N_C$ は、後述する(2)式により算出したTable2の値である。

4. 考察

実験結果より、同一断面の芯材(圧縮材)の座屈を、同一断面の中鋼管(拘束材)によって拘束しているにも拘らず、折返しブレースでは座屈が生じず、二重鋼管ブレースでは座屈が生じて圧縮耐力が低下した。以下では、このような結果となった要因について考察する。

座屈拘束状態の概念図をFig.3 に示す。芯材が圧縮軸力 $N$ を受け、隙間 $s$ (拘束材内径と芯材外径の差)だけ横撓み $u$ が生じると、芯材が拘束材に接触する。その後は、芯材が座屈しようとする横方向の力に対して、拘束材が押し戻す力(拘束力)によって抵抗する仕組みであり、これは折返しブレースと二重鋼管ブレースで共通している。

前報(その 2)より、折返しブレースでは、芯材の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<sup>1)</sup>。

一方、二重鋼管ブレースでは、既往の研究で誘導されている座屈拘束条件を整理し、軸力が作用しない拘束材によって拘束できる限界軸力 $N_C$ が(2)式のように表される<sup>2),3)</sup>。

(1)式および(2)式による算定結果をTable2に示す。表より、折返しブレースの限界軸力 $N_C$ は芯材の軸降伏荷重 $N_y$ より大きく、二重鋼管ブレースの限界軸力 $N_C$ は芯材の軸降伏荷重 $N_y$ より小さいことから、実験結果と良く対応していることがわかる。

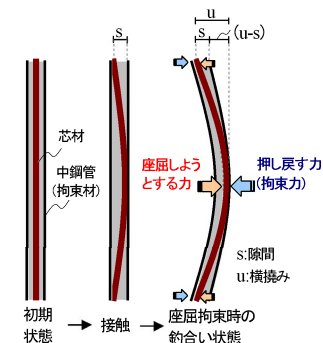


Fig.3 Image of Buckling Restrained

$$N_C = M_{y(0)}^B / \left( s + \frac{M_{y(0)}^B}{N_y^B} \right) \dots (1) \text{ [折返しブレース]}$$

$$N_C = M_{y(0)}^B / \left( s + \frac{M_{y(0)}^B}{N_E^B} \right) \dots (2) \text{ [二重鋼管ブレース]}$$

ただし、 $N_C$  : 中鋼管(拘束材)により芯材の座屈を防止できる限界軸力  
 $N_y^B$  : 中鋼管(拘束材)の軸降伏荷重  
 $N_E^B$  : 中鋼管(拘束材)のオイラー座屈荷重  
 $M_{y(0)}^B$  : 中鋼管(拘束材)の降伏モーメント( $\lambda=0$ )  
 $s$  : 芯材と中鋼管(拘束材)の隙間

また、(1)式と(2)式の相違点は、拘束材のオイラー座屈荷重 $N_E^B$ が含まれるか、拘束材の軸降伏荷重 $N_y^B$ が含まれるかのみ(式中○で囲った部分)であり、隙間が無い状態( $s=0$ )を仮定すると、折返しブレースの限界軸力 $N_C$ は $N_y^B$ に一致し、二重鋼管ブレースの限界軸力 $N_C$ は $N_E^B$ に一致することがわかる。すなわち、二重鋼管ブレースでは、拘束材断面の曲げ抵抗によって拘束力を発揮するため、拘束材のオイラー座屈荷重 $N_E^B$ (断面の曲げ抵抗と釣合う軸荷重)が芯材の軸降伏荷重 $N_y$ より小さいと拘束力が不足する。

一方、折返しブレースでは、拘束材が曲げ抵抗では無く引張軸力によって拘束力を発揮するため、本実験のように拘束材のオイラー座屈荷重( $N_E^B=66\text{kN}$ )が芯材の軸降伏荷重( $N_y=105\text{kN}$ )を大きく下回る場合でも、十分な座屈拘束効果が得られたと考えられる。

5. まとめ

拘束材に引張軸力が作用する効果を確認するため、同一断面を使用した折返しブレースと二重鋼管ブレースに対して軸方向加力実験を行った。得られた知見を以下に示す。  
 ・同一断面の芯材(圧縮材)の座屈を、同一断面の中鋼管(拘束材)によって拘束しているにも拘らず、折返しブレースでは座屈が生じず、二重鋼管ブレースでは座屈が生じた。  
 ・折返しブレースは、引張軸力によって拘束力を発揮する

ため、オイラー座屈荷重に依存せずに芯材の座屈を拘束することができる。

【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2), AIJ大会C-1, pp.747-748,2012.9, pp.749-750,2012.9
- 2)藤本(ほか): 鋼管コンクリートにより座屈を拘束したアンボンドブレースに関する研究, 構造工学論文集, Vol.34B, pp.294-258,1988.3
- 3)井上(ほか): アンボンド平鋼ブレース内蔵コンクリート壁の座屈補剛設計, 日本建築学会構造系論文集, No.432, pp.41-49,1992.2

Table.2 Calculation result of (1) and (2)

	中鋼管によって座屈を拘束できる限界軸力					芯材軸降伏荷重 $N_y$ [kN]	座屈判定 [ $N_C \geq N_y$ ]
	オイラー座屈荷重 $N_E^B$ [kN]	軸降伏荷重 $N_y^B$ [kN]	降伏モーメント $M_{y(0)}^B$ [kN·mm]	隙間 $s$ [mm]	限界軸力 $N_C$ [kN]		
折返しブレース	-	173	1571	3.9	121	105	OK
二重鋼管ブレース	66	-	1571	3.9	57	105	NG