

## 円形鋼管を使用した折返しブレースの実大加力実験

### Full-scale loading test of folded brace using circular pipe

○村井克綺<sup>1</sup>, 波田雅也<sup>1</sup>, 竹内健一<sup>1</sup>, 北嶋圭二<sup>2</sup>, 中西三和<sup>2</sup>, 安達洋<sup>3</sup>,  
\*Katsuki Murai<sup>1</sup>, Masaya Hada<sup>1</sup>, Kenichi Takeuchi<sup>1</sup>, Keiji Kitajima<sup>2</sup>, Mitsukazu Nakanishi<sup>2</sup>, Hiromi Adachi<sup>3</sup>

Abstract: The folded brace have as a feature increasing actual member length by joining three steel materials in a single stroke writing. This report outlines of the full scale test of the folded brace using the circular pipe. Experiments confirmed the effect of increasing elastic deformation limit and the buckling restraining effect, which are features of folded brace.

#### 1. はじめに

筆者らは、異なる径を持つ3本の鋼材(芯材・中鋼管・外鋼管)を一筆書きの要領で折返して互いに接合することで、実際の部材長さが見付けの長さよりも長いという特徴を有している“折返し式ブレース”(以下、折返しブレース)を開発し、実用化している<sup>1)2)</sup>。折返しブレースを使用する場合、角形鋼管よりも円形鋼管を用いた方が意匠性に優れている。しかし、既往の実験<sup>2)3)4)</sup>では、円形鋼管を使用した折返しブレースの性能確認は縮小サイズの試験体でしか行なわれていない。そこで、円形鋼管を用いた折返しブレースを実大規模で製作し、構造性能確認のための加力実験を行った。

#### 2. 実験概要

**2.1 試験体の概要** 試験体形状を Fig.1 に、試験体諸元を Table 1 に示す。また、使用鋼材の機械的性質を Table 2 に示す。試験体は、折返しブレースと比較用の芯材単体ブレースの計2体である。折返しブレースは、芯材にφ190.7×t5.3(STKN490B)、中鋼管にφ216.3×t8.2(STK490)、外鋼管にφ244.5×t9.0(SM490A)を使用しており、部材すべてを円形鋼管で構成している。軸降伏耐力は断面の最も小さい芯材によって決定してお

り、1,000kN 程度である。折返しブレースの弾性限界時における軸変位は、芯材単体ブレースの約 2.0 倍であり、層間変形角  $R=1/250\text{rad}$  程度までは降伏しない設計となっている。中・外鋼管に覆われていない芯材の露出部については、芯材に首折れ座屈が発生することが考えられるため、対策として首折れ補強プレートを設置している。

**2.2 加力計画** 加力装置を Fig.2 に、加力サイクルを Fig.3 に示す。本実験では、高さ:5.7m、スパン:6.4m の架構を想定して実験を行った。実験では、下端をピ

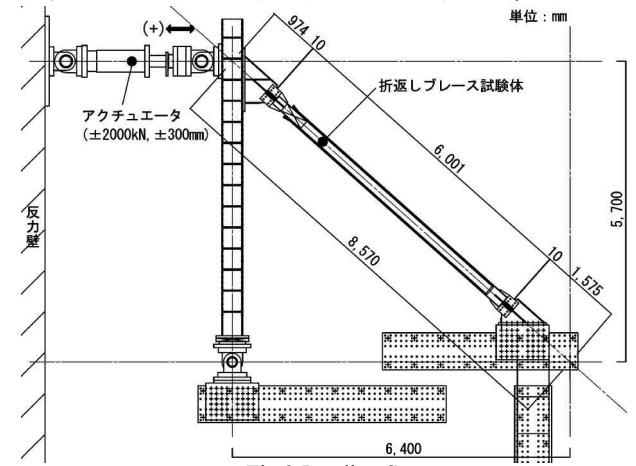


Fig.2 Loading System



Fig.1 Specimens Detail

Table 1 List of Test Specimens

試験体	鋼種	断面形状	断面積 [mm <sup>2</sup> ]	見付け 長さ <sup>※1</sup> [mm]	部材 長さ [mm]	細長比	径厚比	降伏時 <sup>※2</sup>			
								軸力 [kN]	軸変位[mm] 各鋼材	層間 変形角 [rad]	
折返し ブレース	芯材	STKN490B	○-190.7×5.3	3,087	6,001	5,241	92	36	1,003	8.3	1/253
	中鋼管	STK490	○-216.3×8.2	5,361		5,121	82	26	1,689	4.7	
	外鋼管	SM490A <sup>※3</sup>	○-244.5×9	6,659		5,241	72	27	2,164	3.9	
芯材単体ブレース	STKN490B	○-190.7×5.3	3,087	6,001	5,361	92	36	1,003	8.5	1/501	

※1 図1 立面図参照 ※2 短期許容応力時 ※3 板巻鋼管としている

Table 2 Material Test Result

降伏点 $\sigma_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	引張強さ $\sigma_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]	降伏比 $\sigma_y/\sigma_u$	降伏 ひずみ <sup>※1</sup> [μ]
476.5	576.3	0.83	2324
471.3	573.2	0.82	2299
394.1	578.2	0.68	1922

※1 降伏ひずみは降伏点をヤング係数で除すことにより算定

1：青木あすなろ建設株式会社 2：日大理工・教員・海建 3：日大・名誉教授

ン支持とした柱の頂部にアクチュエータで水平力を加えることで、斜材配置した試験体に軸力を作用させている。加力は引張側を正とし、単体・折返しブレース共に共通の正負交番载荷を行う。初めに、荷重制御にて短期許容軸力で加力した後、変位制御にて層間変形角  $R=1/200$ ,  $1/100\text{rad}$  相当の軸変位で各 2 サイクルずつ加力を行った。折返しブレースにおいては、 $R=1/100\text{rad}$  の加力を 4 サイクル追加し(計 6 サイクル)、最終サイクルでは試験体が終局状態に至るまで圧縮加力を続けた。

### 3. 実験結果

**3.1 軸力-軸変位関係** 各試験体の軸力-軸変位関係を Fig.4 に、各荷重・変位の一覧を Table 3 に示す。

(a) 芯材単体ブレース 引張加力時では、安定した降伏耐力を示した。しかし、圧縮加力時では、引張耐力よりも低い耐力にて弾性域で全体座屈が発生したため、耐力を維持できずに軸力が徐々に低下していった。

(b) 折返しブレース 座屈が懸念される圧縮加力時においても、弾性域で座屈することなく、引張加力時と同様の耐力を発揮した。塑性域においても座屈することなく、保有水平耐力算定時に相当する層間変形角  $R=1/100\text{rad}$  相当の繰り返し载荷にて安定した履歴曲線を示した。軸剛性については、実験値と設計値で概ね一致していた。圧縮加力時での大変形では、層間変形角  $R=1/50\text{rad}$  においても座屈することにはなかった。最終的には、軸力が折返しブレースの短期許容軸力の約 1.6 倍に達した層間変形角  $R=1/40\text{rad}$  の時点でわずかに荷重上昇が発生し、その後、最大軸力 1,683kN を示した後に荷重が低下して終局状態に至った。荷重上昇および荷重低下については、実験後に試験体を解体して確認された、首折れ補強プレート近傍における芯材

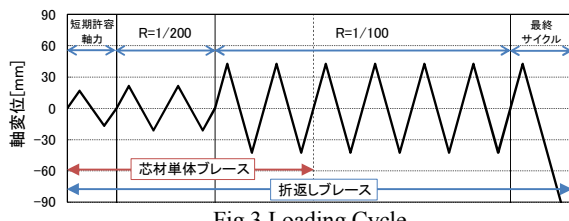


Fig.3 Loading Cycle

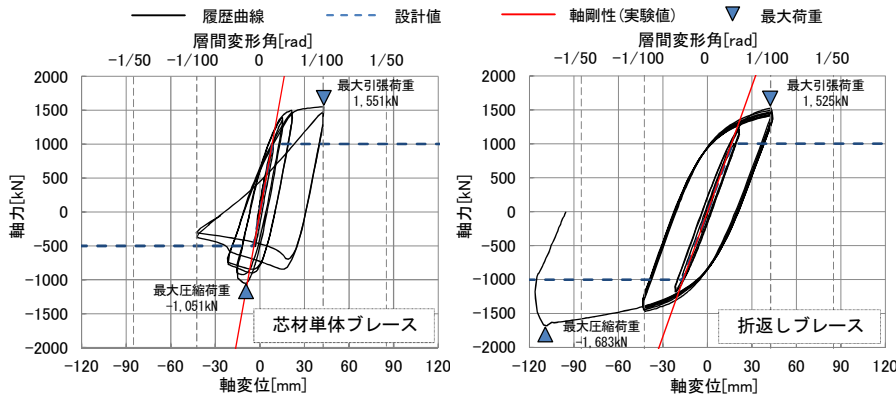


Fig.4 Axial Force -Axial Displacement (Hysteresis Curve)

の局部座屈が起因していると考えられる。

**3.2 包絡曲線の比較** 折返しブレースおよび芯材単体ブレースの包絡曲線を重ねて Fig.5 に示す。図には、引張载荷時(点線)の包絡線に加えて、圧縮载荷時(実線)の包絡線も合わせて示している。弾性限界時の軸変位を比較すると、折返しブレースは芯材単体ブレースに比べて約 2.0 倍に増大した。また、折返しブレースは一次設計時の変形レベルである層間変形角  $R=1/200\text{rad}$  まで降伏することなく、弾性挙動を示した。軸剛性を比較すると、芯材単体ブレースの約 1/2 倍となっており、円形鋼管を用いた折返しブレースにおいても、既往の実験同様の構造性能を確認することができた。

### 4. まとめ

本報では、円形鋼管を用いた折返しブレースの実大加力実験について述べた。以下に得られた知見を示す。

- 折返しブレースは圧縮加力時においても引張加力時と同様の耐力を発揮し、安定した履歴曲線を示した。
- 層間変形角  $R=1/50\text{rad}$  相当の大変形においても座屈することなく、座屈拘束効果を確認できた。
- 弾性限変位は、単体ブレースよりも約 2.0 倍に増大し、層間変形角  $R=1/200\text{rad}$  まで弾性挙動を示した。

#### 【参考文献】

- 1) 波田ほか：折返し部材のブレース材適用の有効性に関する検討(その 1~2), AIJ 大会, C-1, pp.975-976, 2010.9, pp.861-862, 2011.8
- 2) 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 1~7), AIJ 大会, C-1, pp.747-750, 2012.9, pp.1287-1292, 2013.8, pp.1051-1052, 2014.9, pp.1077-1078, 2015.9,
- 3) 波田ほか：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, AIJ 大会, C-1, pp.1054-1055, 2014.9
- 4) 波田ほか：部材長 10m の長尺折返しブレースの実大加力実験(その 1~2), AIJ 大会, C-1, pp.795-798, 2016

Table 3 List of Result

荷重・変位一覧 (引張加力時)	弾性限界時 <sup>※1</sup>		降伏時 <sup>※2</sup>		軸剛性 [N/mm <sup>2</sup> ]
	荷重[kN]	変位[mm]	荷重[kN]	変位[mm]	
折返しブレース	1157.7	20.46	1474.7	34.73	61.4
芯材単体ブレース	1046.6	10.16	1449.9	22.57	122.4
折返し/単体	1.11	2.01	1.02	1.54	0.50

※1: 0.03%オフセット耐力で評価 ※2: 0.2%オフセット耐力で評価

- 短期許容軸力 ● 弾性限界時
- 折返し(引) ○ 単体(引) ○ 軸剛性(折返し)
- 折返し(圧) ○ 単体(圧) ○ 軸剛性(単体)

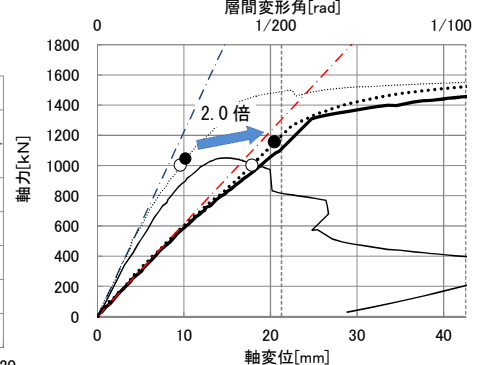


Fig.5 Axial Force -Axial Displacement (Envelope Curve)