

折返しブレースの構造特性に関する実験的研究

(その5 実大実験結果)

Experimental Study on Structural Characteristics of Twice Turn Braces

Part5. Result of Full-Scale Test

○新井佑一郎<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>2</sup>

\* Yuichiro Arai<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>2</sup>

**Abstract:** In this paper described experimental study on Twice Turn Braces. Part4 and Part5 were showed Full-Scale Test of Twice Turn Braces for the purpose of the practical use. Part5 showed result of Full-Scale Test.

1. はじめに

本報では、実大実験の結果について示す。

2. 実験結果

**2.1 軸力-軸変位関係** 軸力-軸変位関係をFig.1に、実験の降伏,座屈,最大荷重および計算値との比較をTable1に示す。降伏荷重は実験結果の0.2%オフセット耐力で評価し、芯材単体ブレース座屈荷重の実験値は最大圧縮荷重で評価した。Fig.1(a)より芯材単体ブレースでは、最初の圧縮載荷時に計算値の約1.2倍まで荷重が上昇したところで全体座屈が発生し、その後はサイクルを重ねるごとに圧縮耐力は低下した。

一方、Fig.2(b)に示す折返しブレースでは、圧縮・引張載荷時ともに全体座屈発生の前兆は見られず、引張降伏荷重の計算値と同程度の引張耐力および圧縮耐力を維持したまま、層履歴曲線間変形角 $R=1/67$ radの変形レベルまで安定した紡錘型の履歴形状を示した。また $R=1/50$ radの変形レベルでは、変則的な荷重の上昇と、緩やかな耐力の劣化が見られものの、耐力は維持された。R=1/50のサイクルを終了すると、引張側

で破壊に至った。なお、折返しブレースの終局耐力は、降伏耐力の1.2倍程度であった。

**2.2 軸剛性および軸降伏変位** 軸剛性の実験値と計算値の比較をTable2に示す。Table2より、折返しブレースおよび芯材単体ブレースの軸剛性は、計算値との対応性は良好であり、芯材単体ブレースの約1/2.5倍となっていることが確認できた。

軸力-軸変位関係の包絡曲線を Table2 に示す。包絡曲線上の○が短期許容応力度到達時、●が弾性限界到達時を示している。ここで弾性限界時は、部材が線形性を失う点を表し、実験結果を0.03%オフセット耐力で評価した値と定義している。Fig.2より、折返しブレースの弾性限界時の軸変位は、芯材単体の約2.5倍に拡大した。また、折返しブレースでは、圧縮・引張とも層間変形角 $R=1/200$ 程度まで概ね弾性的な挙動を示していることも確認できた。

**2.3 ひずみ分布** 折返しブレースの芯材が、初期降伏領域および終局状態において一様に荷重を負担しているかを確認するため、芯材各部のひずみ分布を観察した。ここで、 $R=1/200$

および $R=1/67$ における芯材各部のひずみ分布をFig.3に示す。Fig.3(a)より、 $R=1/200$ では頂部側のひずみが小さいものの、各部がほぼ同時に降伏したことがわかる。Fig.3(b)に示す $R=1/67$ までのひずみ履歴をみると、塑性化後も偏りなく芯材のひずみが増大していることがわかる。

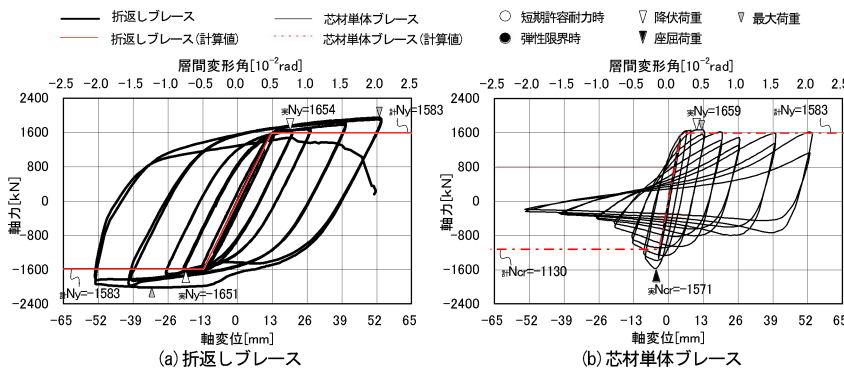


Fig.1 Axial Force - Axially Displacement(hysteresis curve)

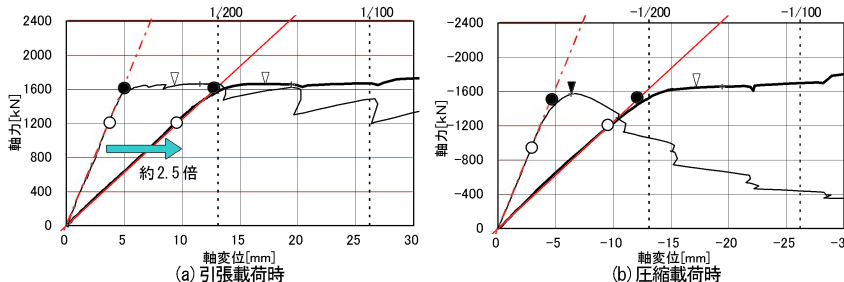


Fig.2 Axial Force - Axially Displacement(envelope curve)

Table1 maximum load

		実験値			計算値		(実/計)	
		降伏荷重 実 $N_y$ [kN]	座屈荷重 実 $N_{cr}$ [kN]	最大荷重 実 $N_{max}$ [kN]	降伏荷重 計 $N_y$ [kN]	座屈荷重 計 $N_{cr}$ [kN]	実 $N_y$ / 計 $N_y$	実 $N_{cr}$ / 計 $N_{cr}$
折返し ブレース	引張	1654	-	1946	1.18	1583	-	1.05
	圧縮	-1651	-	-2018	1.22	-1583	-	1.04
芯材単体 ブレース	引張	1659	-	1665	1.00	1583	-	1.05
	圧縮	-	-1571	-	-	-1130	-	1.39

※1: 芯材単体ブレースの座屈荷重(計算値)の算定式は、文献1)を参照

Table2 Evaluated Axially rigidity

	軸剛性[kN/mm]		
	折返しブレース	芯材単体ブレース	折返し/芯材
実験値	126.9	322.7	1/2.5
計算値	124.6	327.4	1/2.6
(実/計)	(101.8%)	(98.6%)	-

※1: 軸剛性の実験値は、芯材軸径み250 $\mu$ ~500 $\mu$ の区間で評価

以上より、折返しブレース芯材は、終局状態まで安定的に引張・圧縮材として挙動していたと判断することができる。

**2.4 最終破壊状況** Photo1に折返し試験体の最終破壊状態を示す。Photo1より、試験体には横方向に面外変形が確認されなかったため、全体座屈は発生していないことが確認できた。Photo1(a)、(b)は中・外鋼管を除去し、芯材の状態を確認したものである。Photo1(a)の頂部から、芯材及び芯材接合部の健全性が確認された。Photo1(b)の脚部では、芯材に局部座屈が発生していた。局部座屈発生箇所のフランジには、中鋼管と強く接触したと思われる痕が見られた。このことから、中鋼管には局部座屈を一時的に拘束したと考えられ、Fig.1(a)の軸力-軸変位関係が、 $R=1/50$ のサイクルで若干不安定になった要因だと推測することができる。

**3. 考察**

**3.1 各鋼材の軸変位の内訳と塑性率** 各鋼材の変形状態を確認するために、Fig.4にブレース軸変位から予測した各鋼材の変位内訳を、Table3にFig.4の予測値とひずみ計測結果を比較したものを示す。なお、ひずみ計測値との比較は、終局レベル( $R=1/50$ )のみで行った。

Fig.4に示す予測は、芯材のみが降伏すると仮定し、軸変位から中・外鋼管の弾性変形を除去することで芯材の変形を算

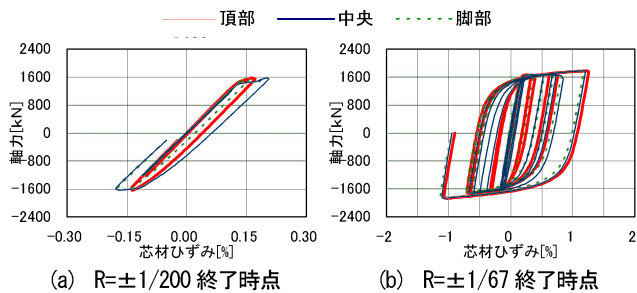


Fig.3 Strain Distribution of Core Member

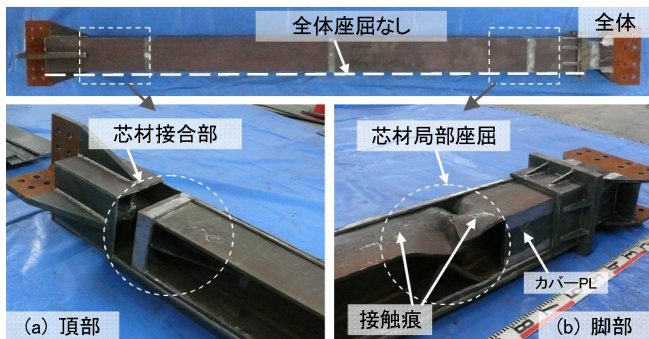


Photo1 Final Failure State

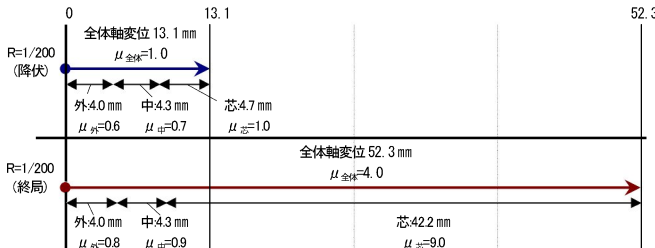


Fig.4 Breakdown of the Displacement

出したものである。なお、Fig.4中には変位量と塑性率 $\mu$ を示している。結果から、 $R=1/200$ では芯材の $\mu$ が1.0となり、芯材の降伏開始点だったと判断できる。終局レベルでは、芯材の $\mu$ が9.0と大きく塑性変形し、軸変位の80%が芯材に集中した。

以上の結果をTable3の芯材、外鋼管のひずみ計測結果と比較する。ひずみ値より算出した各材の塑性率はFig.4の算出結果と概ね一致したため、折返しブレースは終局状態まで各材が各々に変形したことがわかる。

**3.2 芯材H形鋼の局部座屈発生に関する考察** 試験体終局モードの妥当性を判断するため、既往のH形断面短柱の圧縮実験<sup>4)</sup>と本実験の結果を比較する。既往の研究では、H形断面における局部座屈の発生を、ひずみ塑性率と基準化幅厚比の関係で整理している。Fig.5に既往の実験結果に本実験の結果を追加したものを示す。なお、図中には基準化幅厚比(フランジ $\alpha_f$ 、ウェブ $\alpha_w$ )の定義も示している。芯材の $\alpha_w$ は0.62なので、条件に近い $\alpha_w=0.8$ の関係を選択した。軸変位から予測した芯材の塑性率 $\mu$ は9.0であり、既往の実験結果と比較すると良好な対応を示した。以上より、本試験体の終局モードは妥当であると考えられる。

**4. まとめ**

本報では折返しブレース実大実験の結果を整理し、その構造特性を調査した。以下に得られた知見を示す。

- ・折返しブレースは $R=1/50$ でも全体座屈せず、履歴も安定していたため、単体ブレースよりも高い性能を示した。
- ・剛性と降伏変位の実測から、折返し機構による剛性調整と降伏変位増大の効果を実大レベルでも確認できた。
- ・軸変位とひずみ値から予測した各鋼材の変位量から、終局状態においても各鋼材は各々に挙動し、折返し機構が機能していたことがわかった。
- ・既往の実験との比較から、本実験の終局モード(局部座屈発生)は妥当であることがわかった。

**【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2), AIJ大会, C-1, pp.747-748, 2012.9, pp.749-750, 2012.9
- 2)竹内ほか：座屈拘束ブレースの面外安定条件, 座屈に関する設計上の諸問題, 日本建築学会大会パネルディスカッション資料, pp.56-67, 2011.8
- 3)織田ほか：既設 H 形ブレース材の制震ダンパー化に関する基礎的研究, 構造工学論文集, Vol.56A, pp.449-510, 2010.3
- 4)山田ほか：局部座屈を伴う H 形断面鋼部材の劣化挙動, 日本建築学会構造系論文集, No.454, pp.179-186, 1993.12

Table3 Ductility Factor after 1/50 cycle

		芯材	外鋼管
実験値	軸歪み[%]	-1.2	-0.16
	塑性率	8.7	0.83
計算値	塑性率	9.0	0.81
	(実/計)	0.96	1.02

・軸歪みは、各鋼材の中央における最大値  
・塑性率は、最大軸歪みを降伏歪みで除して算出

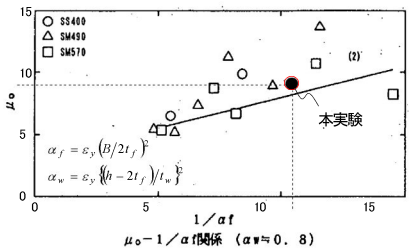


Fig.5 Occurrence Condition of Local buckling