

部材長 10m の長尺折返しブレースの実大加力実験 (その 1 開発主旨および実大試験体の製作状況)

折返し部材 弾性限変形 剛性制御
座屈拘束 ブレース構造 実大実験

正会員 ○波田 雅也*1 同 村井 克綺*1
同 竹内 健一*1 同 北嶋 圭二*2
同 中西 三和*2 同 安達 洋*2

1. はじめに

筆者らは、層間変形角 $R=1/200\text{rad}$ 程度まで降伏しない“折返しブレース”を開発している^{1),2)}。本研究は、階高 6.3m × スパン 9.0m の S 造架構に片掛けで折返しブレースを用いることを想定し、見付け長さ約 10m と長尺の折返しブレース(以下、長尺折返しブレースと称す)を製作して加力実験を行ったものである。本報(その 1)では、長尺折返しブレースの開発主旨および製作状況について示す。

2. 長尺折返しブレースの開発主旨

2.1 折返しブレースの概要と特長

折返しブレースのイメージパースを図 1 に、軸力-軸変位関係の概念図を図 2 に示す。また、折返しブレース構造の基本特性の概念図を図 3 に示す。折返しブレースは、径の異なる 3 本(芯材・中鋼管・外鋼管)の鋼材を一筆書きの要領で折返して互いに接合し、1 本のブレース材とすることで、実際の部材長さが見付け長さの約 2.5 倍となるブレース材である。従来のブレース材が層間変形角 $1/500\text{rad}$ 程度で降伏するのに対して、折返しブレースは部材長さ按比例して軸降伏変位が増大する(軸剛性が小さくなる)ことで、層間変形角 $1/200\text{rad}$ 程度まで降伏しないという特長がある。したがって、1 次設計レベルからフレーム耐力が有効に発揮される合理的なブレース構造が実現でき、少量配置しても応力集中せず、偏心配置してもねじれの影響が小さいため、配置計画の自由度が高い。また、折返しブレースが圧縮荷重を受けると、芯材(圧縮材)の全体座屈を中鋼管(引張材)が拘束する座屈拘束効果²⁾を有するため、引張耐力と同等の圧縮耐力を発揮することがわかっている。

2.2 長尺折返しブレースの開発主旨

長尺折返しブレース活用例の概念図を図 4 に示す。現状では、折返しブレースの芯材細長比 λ の適用範囲に $\lambda \leq 150$ という上限値を設けており、階高やスパンの大きな架構では K 形配置に限定される。しかし、長尺折返しブレースを用いることで、大きな階高やスパンでも片掛け配置が可能となり、ブレース配置の自由度がさらに向上する。また、片掛けとすることで K 型配置に比べブレース本数が半減し、接合部数も削減できるため、1 構面当りのブレース耐力が同じでも鋼材加工費や施工費の削減が期待できる。一方、長尺折返しブレースは約 10m と長尺であると共に、芯材細長比 λ が現状の上限値を大きく超えるため、構造性能(軸降伏変位増大、座屈拘束効果)が確保されるかが懸念される。既往の実験^{2),3)}では、 $\lambda=176\sim 533$ の縮小実験や

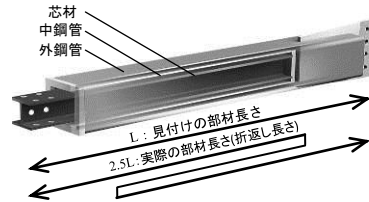


図 1 折返しブレースのパース

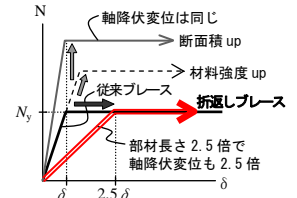


図 2 軸力-軸変位関係の概念図

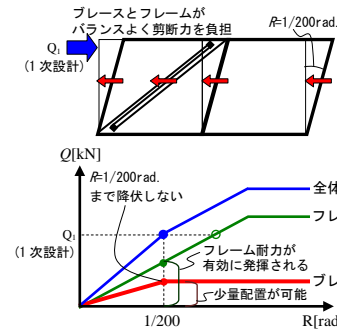


図 3 折返しブレース構造の基本特性の概念図

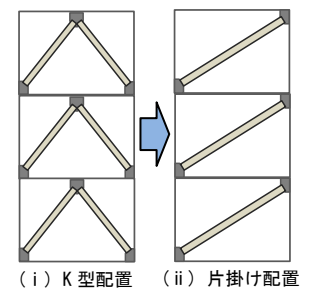


図 4 長尺折返しブレースの活用例

$\lambda=89$ の実大実験から折返しブレースの構造性能を確認しているが、 $\lambda=150$ を超える長尺折返しブレースの実大実験は行っていない。また、長尺のため製作精度も懸念事項に挙げられる。そこで、長尺折返しブレースを製作し、構造性能を確認するために実大加力実験を行った。

3. 実大加力実験に用いる長尺折返しブレース

3.1 実験架構

実験状況写真を写真 1 に示す。実大加力実験で用いる長尺折返しブレース試験体は、階高 6.3m、スパン 9.0m、ブレース節点間長さ 11.0m の S 造架構に片掛けで配置することを想定している。ブレース材と架構との接合方法は両端とも高力ボルト摩擦接合とし、ブレース見付け長さ(ボルト中心間距離)は 9.8m である。

3.2 長尺折返しブレース試験体

部材構成を表 1 に、断面形状を図 5 に示す。長尺折返しブレース試験体は、芯材に H 形鋼(H-150×150×7.0×10、SN400B)を使用した (a)H 形鋼タイプと、冷間成形角形鋼管(□-150×150×6.0、BCR295)を使用した (b)角形鋼管タイプの 2 タイプとする。中鋼管(□-175×175×9.0、BCR295)および外鋼管(□-250×250×9.0、BCR295)は両タイプ共通とする。いずれも軸降伏耐力は芯材断面で決まっており、短期許容耐力も同程度である。また、見付け長さ 9.8m も両タイプ共通とし、芯材細長比は(a)H 形鋼タイプが $\lambda=260$ 、(b)角形鋼管タイプが $\lambda=168$ と共に大きく、単材では圧縮耐力を殆ど負

担できずに弾性座屈してしまうプロポーションである。なお、本試験体では、座屈拘束効果を確保するため、各鋼材間の隙間が 3.0mm(片側 1.5mm)以下となるように鋼製スペーサーを配置している。



写真1 実験状況写真
表1 部材構成

試験体	鋼種	断面形状 H-h×b×t _w ×t _r □-h×b×t	断面積 A [mm ²]	※1 見付け 長さ a [mm]	細長比	単体の短期 許容軸力[kN]		
						引張	圧縮	
長尺 折返し ブレース	(a)芯材 H形鋼 タイプ	芯材	SN400B	H-150×150×7.0×10	3,947	9,800	260	928
		中鋼管	BCR295	□-175×175×9.0	5,698		147	1,681
		外鋼管	BCR295	□-250×250×9.0	8,398		101	2,477
	(b)芯材 角形鋼管 タイプ	芯材	BCR295	□-150×150×6.0	3,332	9,800	168	983
		中鋼管	BCR295	□-175×175×9.0	5,698		147	1,681
		外鋼管	BCR295	□-250×250×9.0	8,398		101	2,477

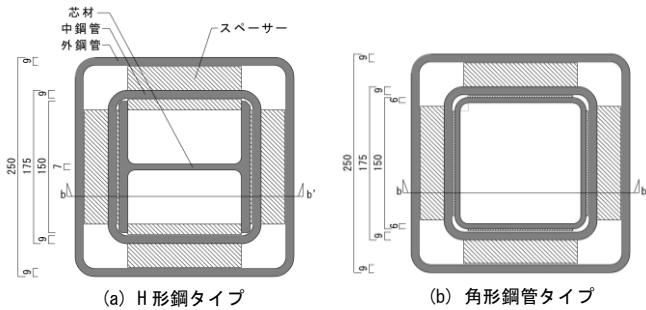


図5 断面形状



写真2 ブレース組立て状況

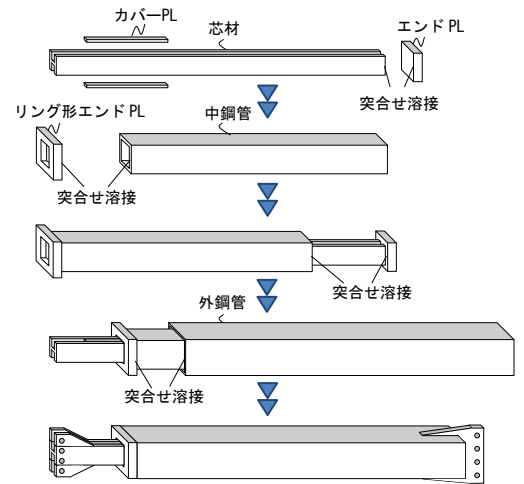


図6 折返しブレースの製作手順

4. 長尺折返しブレースの製作状況

長尺折返しブレースの製作手順を図6に、製作状況写真を写真2に示す。折返しブレースは、芯材、中鋼管、外鋼管の3本の鋼材を、エンドPLおよびリング形エンドPLを介して一筆書きの要領で折返して接合する。まず、芯材にエンドPLを、中鋼管にリング形エンドPLをそれぞれ突合せ溶接する。このとき、首折れ座屈⁴⁾を防止するためのカバーPLも、芯材の先端部(完成後に露出する部分)に溶接しておく。次に、芯材を中鋼管に挿入して中鋼管とエンドPLを突合せ溶接し、さらに、中鋼管を外鋼管に挿入して外鋼管とリング形エンドPLを突合せ溶接することで、3本の鋼材がひとつなぎに接合される。本試験体は、長尺のため初期不整や自重によるたわみで鋼材が強く接触しやすい可能性があったが、写真2(iii)のように人力によって無理なく挿入できることが確認できた。最後に両端のガセットPLを溶接し、完成となる。なお、突合せ溶接部は、組立て後に見え隠れとなるため、写真2(ii)のように組立て前にUT検査を行っている。以上より、部材長さ10mの長尺折返しブレースが、特殊な技術を用いることなく容易に製作することができた。

5. まとめ

以上、長尺折返しブレースの開発主旨および実大加力実験に用いる試験体の製作状況について示した。次報(その2)では実大加力実験の概要および結果を示す。

【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) 竹内ほか：座屈拘束ブレースの安定条件, 座屈に関する設計上の諸問題, AIJ大会パネルディスカッション資料, pp.56-67, 2011.8
- 5) 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

*1 青木あすなろ建設

*1 Asunaro Aoki Construction Co., Ltd.

*2 日本大学理工学部海洋建築工学科 工博

*2 Dept. of Oceanic Architecture & Engineering, College of Science & Technology, Nihon Univ., Dr. Eng.

部材長 10m の長尺折返しブレースの実大加力実験 (その2 実験概要および結果)

折返し部材 弾性限変形 剛性制御
座屈拘束 ブレース構造 実大実験

正会員 ○村井 克綺*1 同 波田 雅也*1
同 竹内 健一*1 同 北嶋 圭二*2
同 中西 三和*2 同 安達 洋*2

1. はじめに

本報(その2)では、長尺折返しブレースの実大加力実験の概要および結果について示す。

2. 実験概要

2.1 加力装置 加力装置図を図1に示す。また、長尺折返しブレースの断面図を図2および図3に、試験体諸元を表1に示す。加力装置は、階高6.3m×スパン9.0mの架構に長尺折返しブレースを片掛りで設置することを想定し、下端ピンの加力柱を介して、頂部に取付けたアクチュエータによってブレース材に斜めから軸力を作用させる。

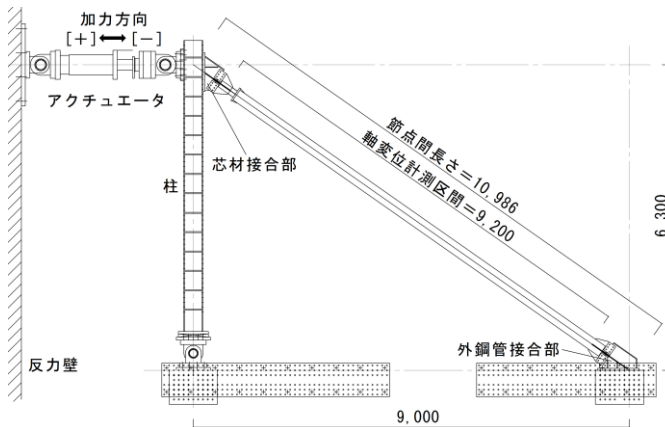


図1 加力装置図

長尺折返しブレース試験体は、前報その1で述べた(a)H形鋼タイプと(b)角形鋼管タイプの2体とする。両タイプとも、軸降伏変位の増大効果は2倍程度で、層間変形角1/200rad.まで降伏しない設計となっている。また、比較用として、芯材単体ブレースも各タイプ1体ずつ実験を行う。

2.2 計測項目 ブレース軸力Nおよび層間変形角Rの算出方法の概念図を図4に示す。計測項目は、頂部水平荷重P、ブレース軸変位δおよび軸ひずみとする。ブレース軸力Nおよび層間変形角Rは、取付け角度θを用いて図4の要領で算出する。軸ひずみは、材軸方向5箇所(図3中①~⑤)において、芯材・中鋼管・外鋼管各々で計測する。

2.3 加力サイクル 加力サイクルを図5に示す。加力は引張側を正とし、初めに短期許容軸力まで荷重制御で加力した後、層間変形角R=1/172, 1/115, 1/86, 1/69, 1/57, 1/49rad.に相当する軸変位制御で、各2サイクルずつ正負交番で加力を行った。

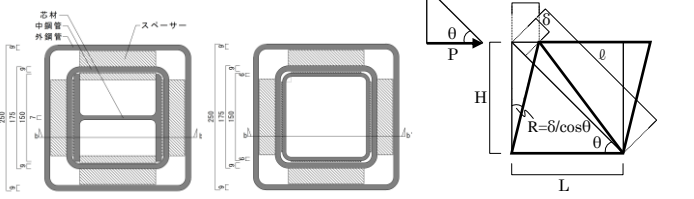


図2 試験体図(a-a'断面) 図4 軸力Nと層間変形角Rの算出方法

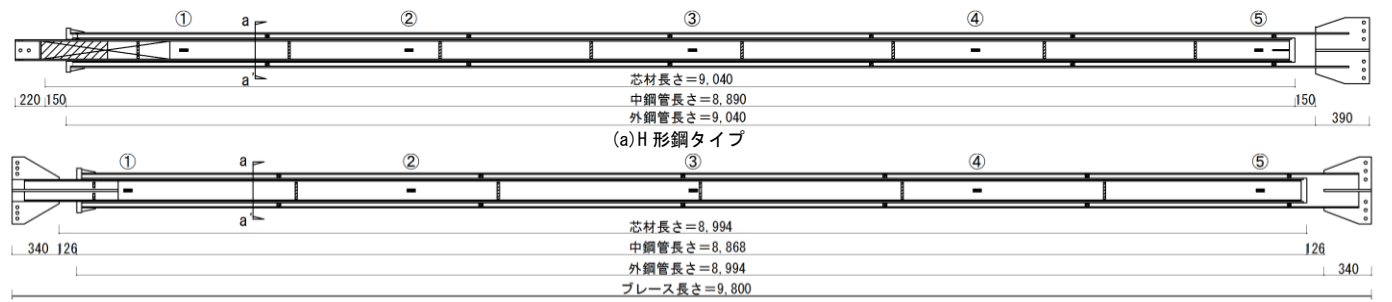


図3 試験体図(b-b'断面)

表1 試験体諸元

試験体	鋼種	断面形状 H-h×b×t _w ×t _f □-h×b×t	断面積 A [mm ²]	※1 見付け長さ a [mm]	部材長さ L [mm]	細長比	※2 限界細長比	単体の短期許容軸力[kN]		降伏点 σ _y [N/mm ²]	引張強さ σ _u [N/mm ²]	降伏比 σ _y /σ _u	材料特性		※3 降伏ひずみ [μ]											
								引張	圧縮				各鋼材			折返しブレース										
													降伏変位 δ _y [mm]	層間変形角 R [rad]												
(a)芯材H形鋼タイプ	長尺折返しブレース	芯材	SN400B	H-150×150×7.0×10	3,947	9040	260	120	928	82	299.8	451.0	0.66	13.2	28.4	1/182	1463									
		中鋼管	BCR295	□-175×175×9.0	5,698													8840	147	107	1681	371	397.9	461.2	0.86	17.2
	外鋼管		□-250×250×9.0	8,398	9040													101	107	2477	1151	376.9	463.2	0.81	16.6	1839
	芯材単体ブレース	SN400B	H-150×150×7.0×10	3,947	9190													260	120	928	82	299.8	451.0	0.66	13.4	13.4
(b)芯材角形鋼管タイプ	長尺折返しブレース	芯材		□-150×150×6.0	3,332	8994	168	107	983	165	413.1	473.3	0.87	18.1	35.8	1/144	2015									
		中鋼管	BCR295	□-175×175×9.0	5,698													8868	147	107	1681	371	391.1	445.5	0.88	16.9
	外鋼管		□-250×250×9.0	8,398	8994													101	107	2477	1151	358.6	443.7	0.81	15.7	1749
	芯材単体ブレース	BCR295	□-150×150×6.0	3,332	9120													168	107	983	165	413.1	473.3	0.87	18.4	18.4

※1: 見付け長さは両端接合部のボルト中心間距離 ※2: 座屈長さは見付け長さとして算定する ※3: 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

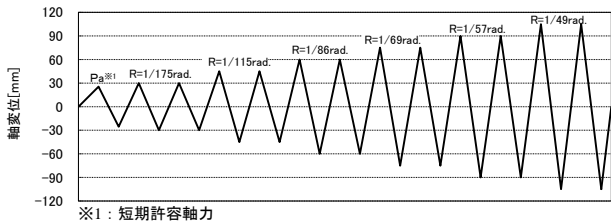


図5 加力サイクル

3. 実験結果

3.1 軸力-軸変位関係 軸力-軸変位関係を図6に、弾性限界時、終局時の荷重・変位一覧を表2に示す。

(a) H形鋼タイプ 芯材単体ブレースでは、圧縮側で早期に全体座屈が発生し、圧縮耐力を殆ど負担できない典型的な引張ブレースの挙動を示した。一方、長尺折返しブレースでは、全体座屈を生じることなく引張側と同等の圧縮耐力を発揮し、 $R=1/57rad$ 相当の大変形まで安定した紡錘形の履歴形状を示した。その後、 $R=1/49rad$ の加力サイクルにおいて圧縮側で急激に荷重上昇し始めたことにより、外鋼管に全体座屈が発生して終局に至った。なお、実験後に試験体を解体すると、カバーPL補強境界部(図3①箇所)において芯材に局部座屈が生じていた。

(b) 角形鋼管タイプ 芯材単体ブレースでは、H形鋼タイプと同様に全体座屈が発生し、圧縮耐力を殆ど期待できない典型的な引張ブレースの挙動を示した。しかし、角形鋼管タイプでは、 $R=1/57rad$ のサイクルの引張側で中央部が破断し、実験を終了した。一方、長尺折返しブレースでは、全体座屈を生じることなく引張側と同等の圧縮耐力を発揮し、 $R=1/69rad$ まで安定した紡錘形の履歴形状を示した。その後、 $R=1/57rad$ のサイクルの圧縮側で荷重低下が生じ、終局に至った。なお、実験後に試験体を解体した結果、H形鋼タイプと同様の位置(カバーPL補強境界部)で局部座屈が生じていた。

縮耐力を発揮し、 $R=1/69rad$ まで安定した紡錘形の履歴形状を示した。その後、 $R=1/57rad$ サイクルの圧縮側で荷重低下が生じ、終局に至った。なお、実験後に試験体を解体した結果、H形鋼タイプと同様の位置(カバーPL補強境界部)で局部座屈が生じていた。

3.2 包絡曲線の比較 軸降伏変位の増大効果を確認するため、芯材単体ブレースと長尺折返しブレースの引張加力時の $R=1/86rad$ までの包絡曲線を重ねて図5に示す。まず、(a) H形鋼タイプの長尺折返しブレースでは、弾性限界時の軸変位が芯材単体ブレースに比べて約2.2倍に増大し、層間変形角 $R=1/188rad$ まで弾性挙動を示した。また、(b) 角形鋼管タイプも同様に、長尺折返しブレースの弾性限界時の軸変位が、芯材単体ブレースに比べて約1.9倍に増大し、 $R=1/196rad$ まで弾性挙動を示した。

4. まとめ

以上、本研究では、部材長10mの長尺折返しブレースを製作し、加力実験を行った。得られた知見を以下に示す。

- ・長尺折返しブレースは、座屈拘束効果によって全体座屈を生じることなく、引張側と同等の圧縮耐力を発揮した。
- ・長尺折返しブレースは、芯材単体ブレースに比べて軸降伏変位が約2倍に増大し、層間変形角 $1/200rad$ まで弾性挙動を示した。
- ・実験後に試験体を解体した結果、H形鋼タイプと角形鋼管タイプともに同じ位置(カバーPL補強境界部)で芯材に局部座屈が生じていた。

【参考文献】その1にまとめて示す。

表2 荷重・変位一覧

		弾性限界時		終局時	
		荷重[kN]	変位[mm]	荷重[kN]	変位[mm]
(a) H形鋼タイプ	折返し	1284	29.9	-2236	-85.8
	単体	1207	13.3	-452	-5.5
(b) 角形鋼管タイプ	折返し	1223	28.6	-1213	-18.3
	単体	1160	15.2	-681	-0.6

— 包絡線(折返し) 〇 短期許容軸力
— 包絡線(単体) ● 弾性限界時

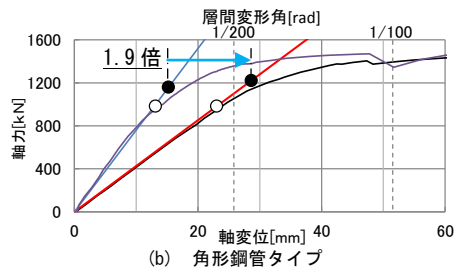
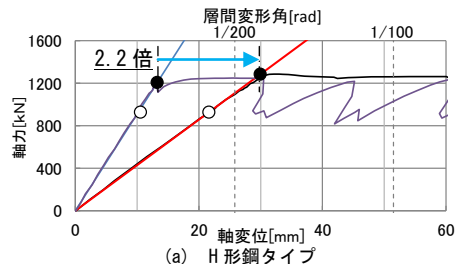


図7 軸降伏変位の比較 包絡線

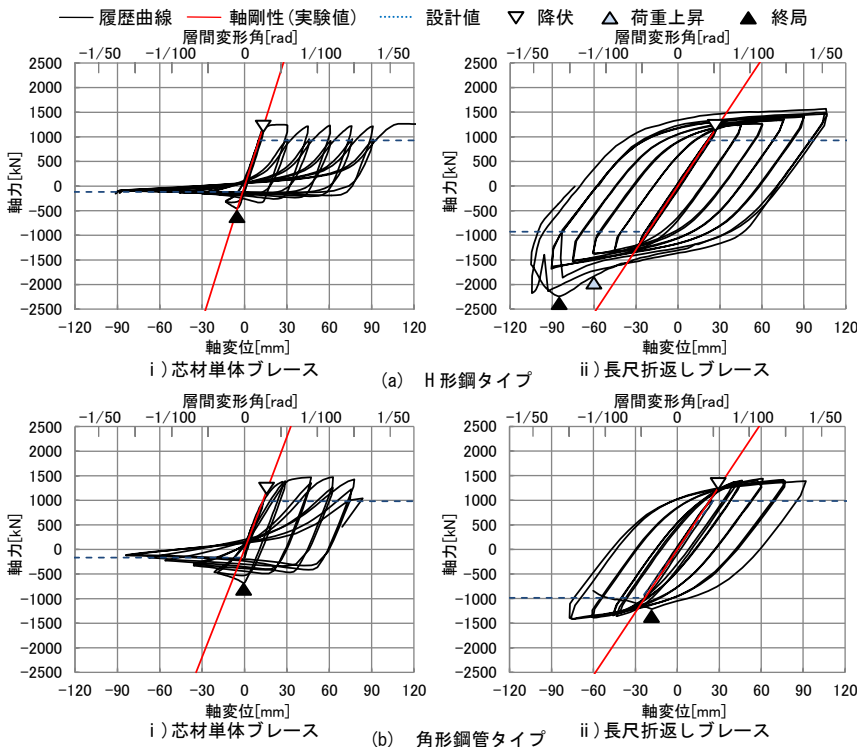


図6 軸力-軸変位関係

*1 青木あすなろ建設

*1 Aoki Construction Co., Ltd.

*2 日本大学理工学部海洋建築工学科 工博

*2 Dept. of Oceanic Architecture & Engineering, College of Science & Technology, Nihon Univ., Dr. Eng.