

# 太短い鋼材ブレースの幅厚比と破壊モードの関係

定永 直樹

## 1. はじめに

鋼材ブレースの構造性能を評価する一手法である現行の建築基準法では、塑性変形性能が高く評価される細長比30以下の太短いブレースを実建物へ適用した例は少ない。前報<sup>1)</sup>において、角形鋼管の太短いブレースでは局部座屈が全体座屈に先行して生じる場合(局部座屈先行型)が見られ、同程度の細長比かつ他断面のブレースで全体座屈が局部座屈に先行して生じる場合(全体座屈先行型)よりも、塑性変形性能が低いことを実験で確認した。本論文では、前報<sup>1)</sup>に加え、端部に異なる仕様を設けた太短いブレースの繰返し載荷実験を実施し、各種条件が耐力、塑性変形性能に及ぼす影響を検証した。過去の実験結果も参照し、種々の規基準で定義された圧縮耐力と短縮量の関係や、細長比と幅厚比の組み合わせと破壊モードとの関係を確認したので、ここに報告する。

## 2. 実験計画

図1に、採用した試験装置と試験体を示す。鋼材ブレースの試験体を水平方向となす角度が45°となるよう配置した。ブレース接合部には、両端固定とガセットプレート(G.PL)付きの2種を採用した。表1に、前報<sup>1)</sup>と併せて、各試験体の諸元を示す。断面形状には、H形、円形鋼管、角形鋼管の3種を採用し、細長比が15から20となるよう試験体を設計した。試験体19と試験体20で異なる仕様は、G.P Lに接合したブレースの溶接長さで、それぞれ323 mmと259 mmとした。H形鋼ではフランジ幅の半分をフランジ厚さで、円形鋼管では直径を厚さで、角形鋼管では断面角部の除いた幅を板厚で除した値を幅厚比、径厚比とした。座屈長さ係数 $k$ は、両端固定では0.65、G.PL接合では1.0とした。引張試験より得られた各鋼材の機械的特性を表2に示す。H形鋼はフランジとウェブの強度の平均値、角形鋼管は溶接シームのない平板部の強度を示している。ブレースの軸変形 $\Delta l$ と材長 $L$ の比 $\Delta l/L$ を等価軸ひずみとし、同ひずみの正負交番繰返し履歴で載荷を制御した。耐力が劣化し始めた時点まで載荷を継続した。

## 3. 実験結果

図2に軸方向応力 $N/A$  ( $N$ :軸力、 $A$ :断面積)と等価軸ひずみ $\Delta l/L$ の関係を示す。両端固定の円形鋼管で細長比20.7、径厚比38.8の試験体12では、載荷振幅0.6%1回目で全体座屈が先行して発生し、1.0%1回目で材中央と両端部に局部座屈が発生した。載荷振幅2.0%1回目で、材中央の構面外変形は材長の4.2%に達し、局部座屈部で生じた亀裂が進展するに伴い耐力が劣化した。角形鋼管ブレースである試験体14では、載荷振幅0.4%1回目で下端部に局部座屈が先行して発生し、鋼構造規準の座屈耐力 $\sigma_{cr}$ より低い最大圧縮耐力を示した。1.0%1回目で、断面の角部に生じた亀裂が進展し、耐力が劣化した。端部をG.PLに接合した角形鋼管で細長比19.9、幅厚比35.1の試験体19では、載荷振幅0.4%1回目で中央から125 mm離れた位置に局部座屈が先行して生じた後、構面外へ変形した。0.6%1回目

に、全試験体の中で最も早期に亀裂が生じ、耐力が劣化した。一方、試験体19よりG.PLとの溶接長さが長い試験体20では、載荷振幅0.4%1回目でも上部に局部座屈が生じたが、構面外には変形せず、耐力が劣化した。図3に最大短縮時の試験体19と試験体20の変形状況を示す。試験体19で局部座屈が先行した後に構面外変形が生じたこと、試験体20では局部座屈部に変形が集中したことが分かる。

## 4. 考察

図4に、円形鋼管と角形鋼管のブレースについて、短縮量と限界状態設計指針<sup>3)</sup>(LSD)で規定された座屈耐力 $N_{cr}$ に対する圧縮耐力 $N$ の比の関係を示す。短縮量は、引張側のピークから圧縮側のピークの等価軸ひずみの変化量と定義する。図4に示すように、幅厚比が36程度で、細長比が15、20、40程度に対して、局部座屈を生じた短縮量は、

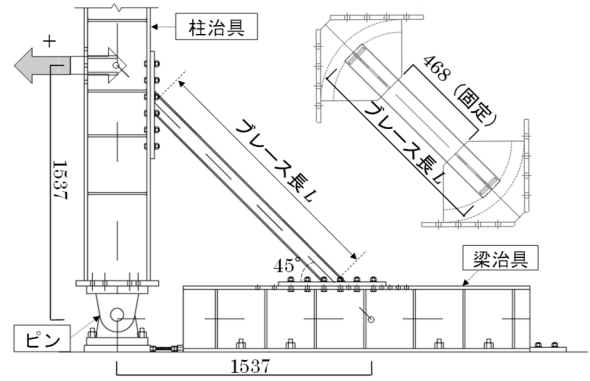


図1 試験装置と試験体

表1 試験体諸元

番号*	断面形状・寸法	材長 $L$ [mm]	細長比 $kL/i$	幅厚比	接合方法
1	H形 100x100x6x8	1172	30.4	6.3	両端固定
11		1541	40.1		
2*	円形鋼管 139.8x3.5	1167	15.7	38.8	両端固定
12		1536	20.7		
9*		3144	42.4		
6		964	20.0		
18		1115	23.1		G.PL
3*	円形鋼管 139.8x4.5	1177	15.8	31.1	両端固定
4*	角形鋼管 125x125x3.2	1176	15.3	35.1	両端固定
14		1541	20.2		
10*		3144	41.3		
19		986	19.9		
20		1114	22.5		
5*		角形鋼管 125x125x4.5	1189		

\*前報<sup>1)</sup>で報告した試験体に\*を付す。

表2 鋼材の機械的特性

断面・寸法	JIS	$\sigma_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$\sigma_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]	伸び [%]
H-100x100x6x8	13B	323	454	31.7
○-139.8x3.5	12B	360	465	38.4
□-125x125x3.2	13B	341	448	37.5

Width-to-thickness ratio and failure mode of squat steel braces

SADANAGA Naoki

円形鋼管で1.2%、2.0%、3.0%、角形鋼管で0.6%、0.7%、0.8%であった。円形鋼管の径厚比はLSDで柱がP-1-1に区分される制限値と同程度で、角形鋼管の幅厚比はLSDの制限値の1.5倍ほどであった。局部座屈を生じる短縮量は、LSDの制限値を満たせば細長比が大きいほど大きい。満たさなければ細長比とは相関がないと考えられる。いずれの断面、細長比でも局部座屈発生前までは概ね圧縮耐力比0.8以上を保持しており、亀裂発生した時点の短縮量は局部座屈を生じた時点の2倍程度であった。細長比21以下の試験体で座屈耐力の0.3倍となった短縮量は、円形鋼管で2.5%、4.0%、角形鋼管で1.2%、1.4%、2.5%であった。

図5に、本論文の試験体と前報<sup>1)</sup>、文献<sup>2)</sup>を併せた、短縮量1.0%における鋼材ブレースの耐力比 $N/N_y$ と有効細長比 $\lambda_e$ の関係を示す。図中に、 $F_y = 235[N/mm^2]$ として算定したLSDによる安定耐力を併せて示す。H形鋼ブレースでは圧縮耐力が安定耐力の3倍まで大きい場合も見られる。円形鋼管ブレースでは、LSDでのP-1-1の柱の径厚比制限値である36未満であれば評価値を上回るが、36以上では安定耐力を下回る例が見られた。同様に、角形鋼管ブレースでは、LSDでのP-1-2の幅厚比制限値28未満で圧縮耐力が安定耐力を上回った。一方、局部座屈支配型の破壊モードが見られた幅厚比28以上では圧縮耐力が安定耐力を下回った。以上より、LSDにおける柱の幅厚比・径厚比制限値で鋼材ブレースの耐力を評価できると考えられる。

図6に、既往の論文と本論文で確認された、角形鋼管ブ

レースの破壊モードと、細長比、幅厚比の関係を示す。局部座屈支配型は、細長比概ね20以下または、細長比概ね40以下かつ幅厚比30以上の範囲に分布した。

### 5. まとめ

- 1) 細長比が 15 から 20、と太短い鋼材ブレースでは、座屈耐力の 0.3 倍を維持できる短縮量は、局部座屈支配型の場合で 1.0%から 2.0%、全体座屈支配型で 2.0%から 4.0%であった。
- 2) 鋼構造限界状態設計指針・同解説で示された柱の幅厚比制限値を満足すれば、短縮量 1.0%における鋼材ブレースの安定耐力を維持できる。
- 3) 角形鋼管ブレースでは、細長比が 40 を下回り、幅厚比が 20 を上回ると、塑性変形能力の乏しい局部座屈支配型の破壊モードが生じる可能性がある。

### 参考文献

- 1) IA Raheem, R Matsui, D Ilanildo, Y Abe, T Okazaki, (2022) Cyclic Loading Performance of Squat Braces -Part 1 Test program and results-, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Structural III, 2022, 981-982.
- 2) R Matsui, Z Yiyue, T Okazaki, T Takeuchi (2022) A Database for Steel Braces with Respect to Inelastic Strength and Ductility Capacity
- 3) 日本建築学会(2010) 鋼構造限界状態設計指針・同解説, 丸善出版

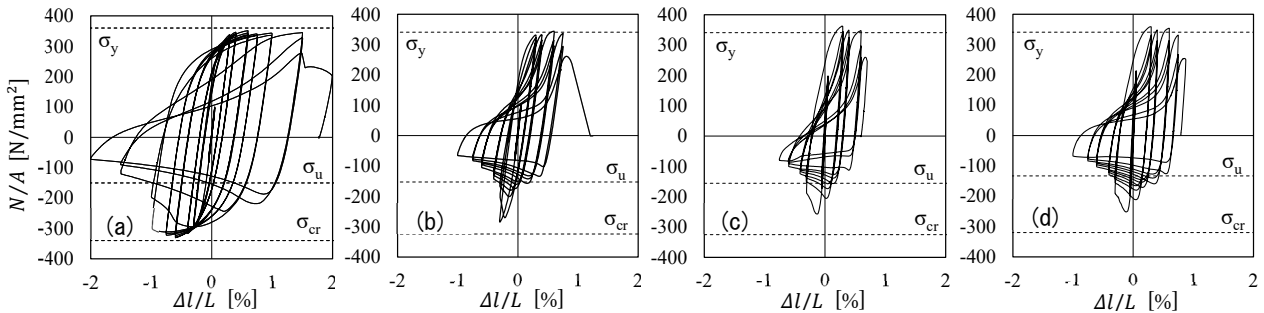


図2 軸方向応力と等価軸ひずみの関係 (a)試験体12 (b)試験体14 (c)試験体19 (d)試験体20

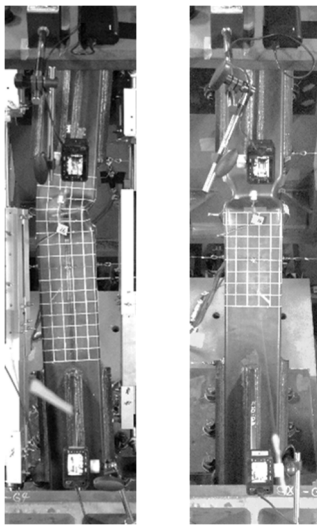


図3 最大短縮時の試験体 (a)試験体19 (b)試験体20

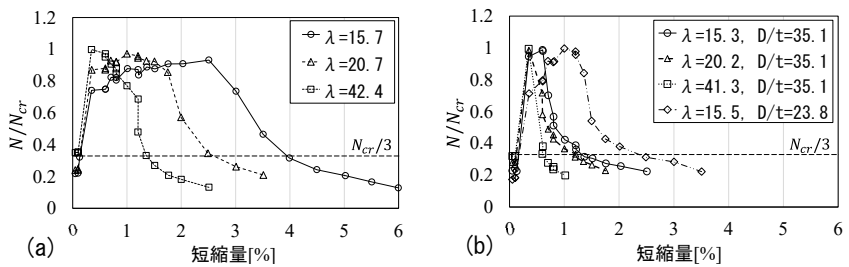


図4 短縮量と圧縮耐力比 (a)円形鋼管 (b)角形鋼管

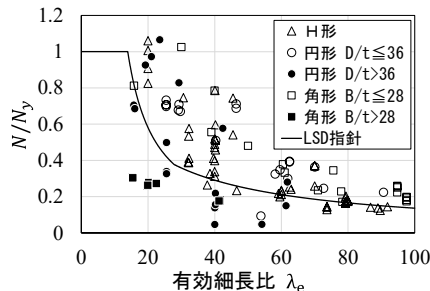


図5 細長比・幅厚比と座屈後耐力

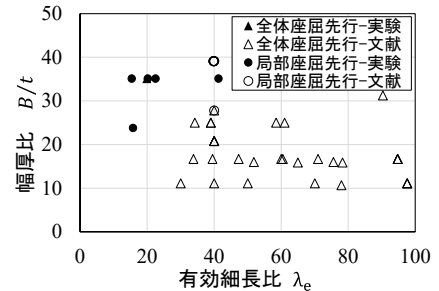


図6 細長比・幅厚比と破壊モード