

ブレース付ラーメン鋼構造の日欧比較を目的とした実験計画

小柏 雛音

1. はじめに

わが国では、ブレース付ラーメン鋼構造が広く用いられているが、柱と梁、ブレースで構成される架構全体のバランスのとり方に関する設計法は確立されておらず、設計者の判断に委ねられている。欧州では、設計基準 EC8 に、梁とブレースの耐力比や剛性比に関する規定が設けられており、個々の部材にとどまらず、架構全体のバランスを考慮した設計法が提供されている。そこで、日本と欧州のブレース付ラーメン鋼構造を比較する実験を計画している。本論は、日本と欧州の設計法を比較し、実験計画を述べる。

2. 実験計画

欧州では、建築構造設計規準 EC8 の全面改訂の一環で、耐震規定 EN1998-1²⁾の改訂案も、“pr”版としてパブリックコメントを募るために公開されている。ブレース付ラーメン鋼構造の設計においても大幅な改訂がなされている。

設計体系は、ブレース・柱・梁および各接合部を含む網羅的なデザインガイドとして確立されており、設計者は規定の形式から条件に応じた手法を柔軟に選択することができる。また、接合部に関しては設計法に従えば、DC2、3として使用できるような公的に認められた標準的な設計図が存在する。

欧州基準は、鋼構造物を、塑性変形能力に応じて、低 (DC1)、中 (DC2)、高 (DC3) の3つの性能等級に分類する。日本の建築基準法は、ラーメンを構成する柱や梁を FA から FD の4等級に、ブレースを BA から BC の3等級に分類し、こうした部材の組合せに応じて、骨組みの性能を細かく評価する。

ブレースに注目すると、欧州基準は、幅厚比と細長比に基づいて等級を分類するが、建築基準法は、幅厚比に依存せず、細長比だけで分類する。図1に、欧州基準が規定するブレースの径厚比・幅厚比制限を、図2に、ブレースの細長比制限を、日欧比較で示す。試験体2つとも DC3 を満たしている。ここで C は内法、 D は外法、 t は断面厚、 f_y は鋼材の降伏強度、 ω_{rm} は材料のばらつきを考慮した係数、 $\bar{\lambda}$ は細長比を限界細長比で除した量である。断面分類は塑性変形能力による幅厚比の規定で、DC3 はそこに追加の規定が入り、条件を厳しくしている。図3に、Marino ら³⁾を参照に算定した、日欧のブレースの水平耐力比を示す。欧州基準の挙動係数 q が、建築基準法の D_s の逆数に相当すると仮定し、論文で用いられた当時の値 $q = 2.5$ を用いている。 $\bar{\lambda} = \lambda^*$ を境に中程度の地震レベル1と大程度のレベル2に分けられる。欧州のブレース付ラーメン鋼構造の水平耐力は、細長いブレースが使用される場合、日本よりも大幅に大きい。これは、今回の改訂を経てさらに顕著になっておりレベル2の1.0以上では細長比が大きいほど両者の差が開いている。

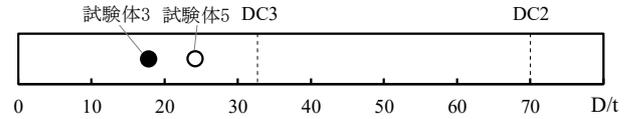


図1 EC8におけるブレースの幅厚比規定

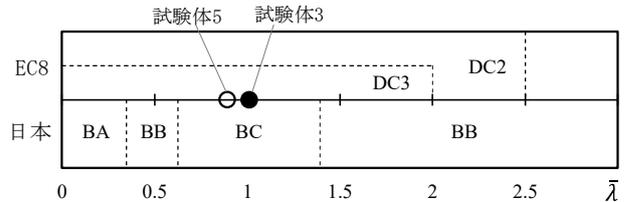


図2 無次元化細長比比較

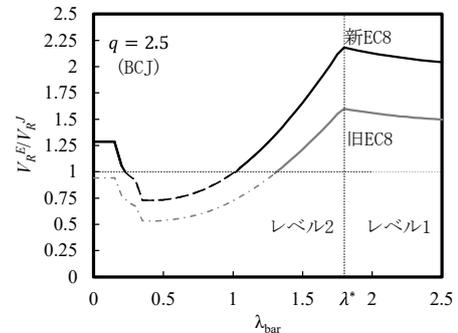


図3 日欧のブレース水平耐力比

図4に、計画している試験体5体のうちの、試験体3と5を示す。試験体は、高さ2.85m、スパン5.5mで、低層建物のほぼ実大に相当する。柱と下梁の節点にピンを仕込み、一对のブレースをK形に、46°で配置する。柱と梁の構面外変形とねじれを制御するために、構面外補剛を設ける。実験では、上梁の軸線に設置した、最大容量2,000kNの油圧ジャッキを用いて、層変形角に基づく繰返し載荷を、最大で0.05radまで与える。

日本式の試験体は4つ設計され、試験体1は近年実験を行った。日本式については、柱・梁の断面が異なる場合における挙動を理解するために、日本の実務に基づき、米国規格および日本のランクに準拠してブレースの延性を中程度から高延性まで変化させ設計を行った。試験体5については、試験体3と比較できるように、ヨーロッパ式の設計手法であるEC8に基づき、柱と、梁、ブレースの断面寸法を定めた。試験体5のブレースについては、試験体3の断面設計ではEC8を適用するとブレースが梁に対して剛性が高すぎたため、梁断面幅は変えずに、ブレース厚さを薄くした。

以下に、今回の試験体における日欧の違いを述べる。大きな違いとしては柱が日本では角形鋼管であることに対して、ヨーロッパはH形鋼であることが挙げられる。柱梁接合部

は、日本式はコラムツリーと呼ばれる、通しダイアフラムで、完全溶込溶接だが、ヨーロッパ式はエンドプレートでボルト接合されており、梁に継手はもたない。ただし、どちらも剛接合である。ブレース接合部に関しては、日本式では継手を用いて、ガセットプレートとブレースを高力ボルト摩擦接合しているが、ヨーロッパ式ではガセットプレートを山形鋼とボルトを用いて柱梁に接合している。また、Fold line とよばれるブレースが座屈した時に回転性能を持たせる箇所がヨーロッパでは考慮されている。

図 4(b)に、変位計の設置箇所を示す。各変位計で、層変形角、ブレースが取り付く梁の部材回転角、同梁の鉛直変位、ブレースの軸方向変形と面内変形、面外変形、接合部パネルのせん断変形、ブレース接合部の構面外回転を測定する。

支点反力をピン支承に設置したロードセルで計測する。内力分布を、各部材に設置した歪ゲージに基づいて、断面保持の仮定と釣合条件から算出する。柱と下梁に貼付する歪ゲージは、端部から十分な距離を確保し、载荷を通して弾性域を維持すると予想される位置に配置する。ブレースにも歪ゲージを貼付するが、弾性座屈したあと断面が部分降伏すると予測される。座屈後のブレースの軸方向力は、支点まわりの釣合条件から、支点反力や柱や梁の内力に基づいて間接的に算出する。ブレースが取り付く上梁も、载荷途中で全長にわたって降伏すると予測されるので、その時点以降は、柱やブレースの内力と釣合条件から、その内力を間接的に算出する。

ブレース付ラーメン鋼構造は、福田ら、関ら⁴⁾を参照し、図 5 のように簡単なモデルと式で表すことができ、全体のせん断力 H は式(1)のように表せる。

$$H = H_f + H_b \quad (1)$$

これに基づいて求めた i) 座屈直前 H_1 ii) 塑性状態 H_2 におけるせん断力を表 2 に示す。同等の水平耐力を有するフレームを選択したため、EC8 で設計したブレースの方が、細長比が短い結果となった。これは、図 2 で示した通り、欧州と日本における水平耐力の規定の違いに起因するものである。

3. まとめ

新しい EC8 においてブレースの設計は、架構全体を考慮した網羅的なデザインガイドとして確立されている。また、欧州の方がブレース強度は保守的に推定されるが、今回の試験体においては日本の方が高いことが読み取れる。今後試験を実施予定だが、試験体計算から試験体 3 の方が 5 よりもブレースが性能を発揮することで、大きい水平力に耐えるのではないかと予想できる。

参考文献

- 1) Mamani.R et al “An Experiment on Steel Chevron Braced Moment Resisting Frames”
- 2) EN-1998-1-2, Section 11: Specific Rules for Steel Buildings
- 3) Marino.EM et al “Comparison of European and Japanese seismic design of steel building structures”
- 4) A.Seki et al “Seismic performance of steel chevron braced frames designed according to Japanese practice,” J Constr Steel Res, vol. 189, p. 107066, Feb. 2022, doi: 10.1016/J.JCSR.2021.107066.

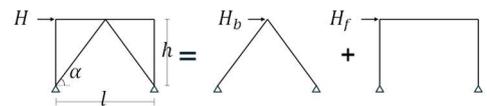


図 5 ブレース付ラーメン鋼構造の分解モデル

表 2 試験体

ID	柱	梁		ブレース	$\frac{D}{t}$	$\bar{\lambda}$	$H_{1f} + H_{1b} = H_1$ [kN]	$H_{2f} + H_{2b} = H_2$ [kN]
		上側	下側					
1	□-250×250×12 (BCR295)	H-300×150×6.5×9 (SN400B)	H-294×150×6.5×9 (SN400B)	O-101.6×5.7 (STK400)	17.8	1.05	28 + 487 = 515	188 + 334 = 522
3	□-300×300×12 (BCR295)	H-400×200×8×13 (SN400B)	H-294×200×8×12 (SN400B)	O-101.6×5.7 (STK400)	17.8	1.01	59 + 519 = 578	346 + 531 = 877
5	H-300×300×10×15 (SN400B)	H-400×200×8×13 (SN400B)	H-294×200×8×12 (SN400B)	O-101.6×4.2 (STK400)	24.2	0.89	64 + 451 = 515	347 + 407 = 754

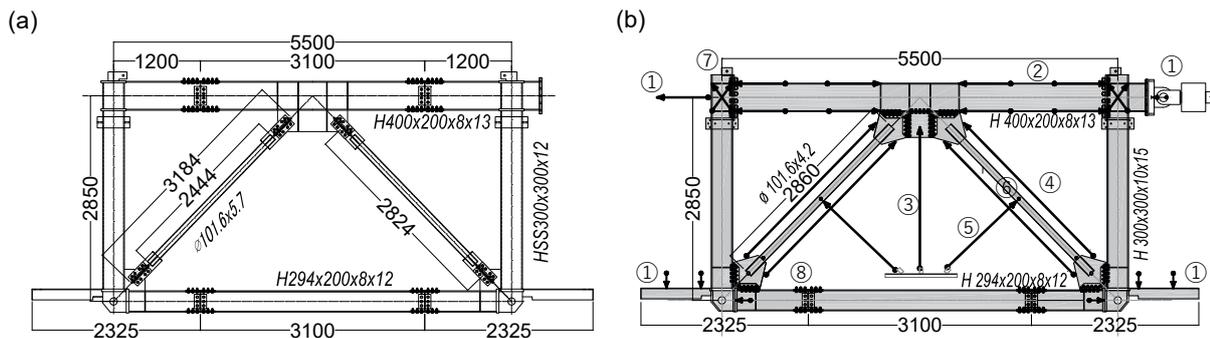


図 4 (a)試験体 3 (b)試験体 5 (変位計記載)