### 1. はじめに

ブレース付鋼架構の弾塑性挙動は、ブレース接合部の性能に強く影響されることが分かっている¹)。北米ではブレース端部を構面外にピンとする設計が主流だが、日本ではブレース端部の回転拘束に関する意識が比較的薄い。ブレース付鋼架構の耐震性能について、日米の設計思想の優劣は明らかにされていない。そこで、本研究では、米国式にブレース接合部を構面外にピンとした K 形ブレース付鋼架構の弾塑性挙動を実験的に検証した。

#### 2. 試験体の設計

図1に試験体と載荷装置を示す。一層-スパンのラーメンに円形鋼管ブレースを K 形に配した架構で、実大建

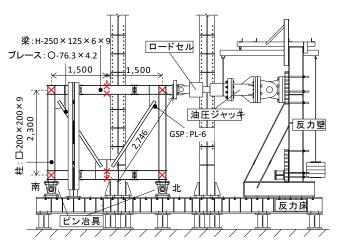


図1 試験体と載荷装置

表 1 鋼材の機械特性

鋼材	材種	$\sigma_y$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\frac{\sigma_u}{(\text{N/mm}^2)}$	破断伸び (%)
ブレース	STK400	374	447	39
梁フランジ	SS400	257	436	24
柱	BCR295	378	443	24
PL-6	SS400	324	455	27

表 2 溶接接合部の破壊モードと耐力

破壊モード	日本(kN)	米国(kN)
ブレース材とガセット板間の破断	662	748
溶接に沿ってブレース材の破断	811	811
ブレース材の引き抜き破断	887	887
溶接に沿ったガセット板の破断	590	590
ガセット板の有効断面の降伏	552	552
ガセット板の有効断面の破断	775	775
ガセット板の座屈	552	484
ブレース材の欠損断面での破断	403	403

物を60%縮小した寸法であった。表1に、引張試験に基づく各鋼材の機械特性を示す。図2にブレース接合部の詳細を示す。ブレース接合部にはRoederら<sup>2)</sup>が提唱する米国式の設計を採用し、現場溶接条件を模擬して、骨組みを組み立てたあとで、ブレースをガセット板に立向き姿勢で溶接した。薄いガセット板が曲がることにより、ブレース端部の構面外回転を許容する。可撓領域を材端とした材長2162 mmを有効長さとしたブレースの細長比は85で、引張と圧縮両方の耐力に期待できた。表1に示す降伏強さを用いたブレースの引張耐力は356 kNで曲げ座屈耐力<sup>3)</sup>は200 kNであった。表2にブレース接合部に考えられる破壊モードと、鋼構造限界状態設計指針<sup>3)</sup>(日本)とAISC規準(米国)に基づいて算定した耐力を示す。ただし、母材の材料強度には、表1に示す測定値を、溶接(YGW18)にはJIS規格強度を用いた。

# 3. 実験計画

図1中『×』の位置で、試験体の構面外変形を拘束した。北側の柱頂部に連結した油圧ジャッキで試験体を繰返し載荷した。層間変形角を振幅0.002、0.00375、0.005、0.0075、0.01、0.015、0.02、0.03、0.04 radで漸増し、振幅0.01 radまでは振幅ごとに3回、以降は2回繰返し、振幅0.04 radは一方のブレースが破断するまで継続した。

油圧ジャッキとピン冶具で荷重と反力を測定した。変位計測器を配置して、層間変形角、ブレースの材長変化、下梁のたわみなどを測定した。また、各部材に貼付した歪ゲージから、架構全体の断面力分布を測定した。

# 4. 実験結果

図3に、架構に生じた層せん断力と層間変形角の関係を示す。図中に、弾性計算に基づく弾性剛性、圧縮ブレースが曲げ座屈耐力に達した時点の耐力 $H_1$ 、架構の塑性

耐力 $H_2$ を示す。いずれも、可撓領域間の距離 2162 mm をブレースの有効長さとし、余長部分を剛棒として算定した。ブレースの曲げ座屈と座屈後の耐力は、限界状態設計指針 $^{3}$ ) に基づいて算定した。

振幅 0.002 rad では架構は弾性応答し、振幅 0.00375 rad の 1 サイクル目で北ブレースが座屈した(図 3 の①)。ブレースが座屈した際に、設計の意図通り、可撓領域で折れ曲がり線を形成した。振幅 0.02 rad で下梁のねじれが顕著になり(同②)、振幅

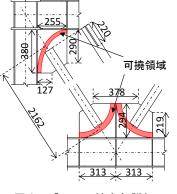


図2 ブレース接合部詳細

Cyclic Loading Tests of Steel Chevron Braced Frames Employing Flexible Bracing Connections

0.03 rad で圧縮側ブレースの屈服座屈し(同③)、座屈 変形が進行したあと引張側ブレースに亀裂が確認され たが、架構は安定した挙動を示した。最大変位時の耐力 は、振幅 0.03 rad まで正・負載荷でほぼ等しかったが、 振幅 0.04 rad では、正載荷側だけ耐力が低下した。正 載荷側で柱のねじれがより顕著であったことが原因だ と考えられる。振幅 0.04 rad の 3 回目の負載荷時に、 北側ブレースが中央で破断し、耐力が 48 kN 低下したと ころ(同④)で載荷を終了した。

図 4 に北側ブレースの軸方向力と軸方向変形の関係 を示す。軸方向力は各部材に貼付した歪ゲージから測定 し、軸方向変形は円形鋼管の部材長変化を直接測定した。 図中には本実験と同一ブレースの単体実験<sup>4)</sup>から得た履 歴も併せて示す。本試験体で得たブレースの最大圧縮耐 力は210 kN、ブレース単体実験は199 kNで、いずれも 曲げ座屈耐力 200 kN に極めて近かった。振幅 0.02 rad を超える大変形領域でも、ブレース単体実験とほぼ同じ 応答履歴を示したことは、ブレースが周辺部材の干渉を あまり受けなかったことを示唆する。

## 5. 考察

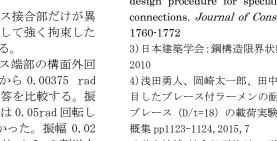
本実験(以後試験体4)と、ブレース接合部だけが異 なり、ブレース端部を構面外回転に対して強く拘束した 試験体 5) (試験体 3) の挙動を比較する。

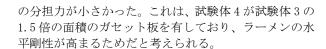
図 5 にブレース軸方向力とブレース端部の構面外回 転角の関係を示す。(a)は振幅 0.002 から 0.00375 rad まで、(b) は振幅 0.02 rad での履歴応答を比較する。振 幅 0.00375 rad で試験体 4 のブレースは 0.05rad 回転し たが、試験体 3 はほとんど回転しなかった。振幅 0.02 rad では、試験体 4 の方が試験体 3 に比べて、2 割以上 大きく回転した。

図6に各振幅の最大正側変位で計測した、架構の層せ

ん断力と、ブレースと ラーメンが分担する層 せん断力を示す。両試 験体ともに振幅 0.00375 rad でブレー スが座屈したあと、ブ レースの分担力は低下 したが、ラーメンの分 担力は振幅 0.02 rad ま で上昇し続けた。両試 験体を比較すると、履 歴を通じて、試験体 4 の方がラーメンの分担 力が大きく、ブレース

軸方向力(kN)





## 6. まとめ

ブレース接合部を構面外にピンとしたブレース付鋼 架構について繰返し載荷実験を行った。架構は振幅 0.04 rad まで安定した履歴を示し、ブレース接合部は設計通 りに可撓領域で折れ曲がり線を形成した。大変形領域で、 架構内のブレース応答は、ブレース単体実験とほぼ同じ 履歴を示した。ブレース接合部を構面外に強く拘束した 試験体と比較したところ、ブレース接合部を構面外にピ ンとした本試験体は、ラーメンの分担力が大きく、ブレ ースの分担力が小さかった。

## 参考文献

1) 岡崎太一郎、井上桂輔、浅田勇人、緑川光正、麻里哲広:接 合部がK形ブレース付鋼架構の繰り返し水平載荷挙動に及ぼす 影響、日本建築学会北海道支部研究報告集 No. 89(2016年6月) 2) Roeder CW, Lumpkin EJ, Leman DE (2011): A balanced design procedure for special concentrically braced frame connections. Journal of Constructional Steel Research, 67,

3)日本建築学会:鋼構造限界状態設計指針・同解説、丸善出版、

4) 浅田勇人、岡崎太一郎、田中剛、橋岡昇吾:接合部性能に着 目したブレース付ラーメンの耐震性能評価 その2 円形鋼管 ブレース (D/t=18) の載荷実験、日本建築学会大会学術講演梗

5) 井上桂輔:接合部形状が K 形ブレース付鋼架構の繰り返し水 平載荷挙動に及ぼす影響、平成27年北海道大学修士論文

