

# 軽量座屈拘束ブレースの研究開発

名城大学 学生会員 ○清水 俊彦  
名城大学 正会員 渡辺 孝一

## 1. はじめに

座屈拘束ブレース(以下 BRB と記載)は、地震に対して橋梁等の主構造の損傷を制御する制震ダンパーとして多くの研究が行われている。BRB は既設橋梁等の制震デバイスとして様々な形状のものが研究開発され、実用化に至っている。

著者らはこれまでに形鋼を拘束部材として適用した軽量座屈拘束ブレースの研究開発を行っている<sup>1)</sup>。形鋼を BRB の拘束部材に適用することで軸方向断面積を小さく、断面二次モーメントを大きく設計可能である。著者らの行った実験では既往の高機能座屈拘束ブレース<sup>2)</sup>の要求性能と比較して、BRB の性能を概ね満たすことが確認されたが、最大圧縮载荷付近において拘束部材端部で損傷が見られた。

## 2. 拘束部材端部破壊形式の考察

写真 1 に示すように拘束部材端部において拘束部材の変形及びボルトのせん断破壊が確認された。ブレース芯材が拘束部材を面外に押し出す力(以下補剛力と記載)がボルトの滑り耐力を上回った事により発生したと考えられる。また、拘束材端部には軸方向の伸縮に対応するためのスリットを設けており、この断面欠損が拘束力の低下の要因となった可能性がある。以上を踏まえ、本論文では BRB 端部構造の部分载荷実験を行い、ボルトの破断を含めた拘束材の変形プロセスを考察する。

## 3. 実験概要

### 3.1 実験供試体

実験用供試体は図 1 に示すように溝形鋼を適用した軽量 BRB の二分の一部分模型である。供試体には溝形鋼側の各ボルト付近に 6 ヶ所、形状保持プレート側の各ボルト付近に 6 ヶ所、载荷地点に 2 ヶ所の計 14 ヶ所にひずみゲージを貼り付けた。

### 3.2 载荷方法

本実験では写真 2 の破壊状況を再現するため、ブレース芯材との局所的な接触力を模した载荷を行った。载荷方法は万能試験装置に载荷ヘッドを取り付け、実験で得られた座屈モード 1 波目にあたる位置において局所的に荷重を与えた。

## 4. 補剛力 $B$ の算定

文献 3) には座屈拘束ブレースの局部崩壊(局部座屈)に関する設計指針が提案されている。指針によれば、補剛力  $B$  は式(1)で与えられる。

$$B = \frac{4 \cdot d N_{max} \cdot s}{l_n} \quad (1)$$

$B$  は補剛力、 $d N_{max}$  は設計用軸力、 $s$  はブレースと拘束部材との合計隙間量、 $l_n$  は芯材の高次座屈モードの波長である。ここで、設計軸力  $d N_{max}$  は実験で求めた最大荷重  $P_{max}=456\text{kN}$ 、芯材の高次座



写真 1 端部損傷状況

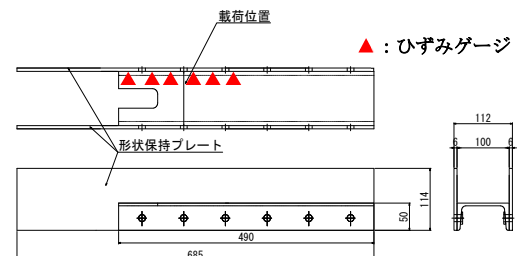


図 1 実験供試体

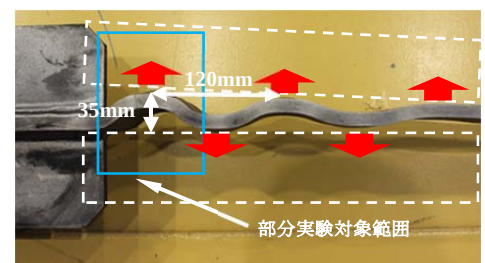


写真 2 ブレースの高次座屈モード

表 1 実験パラメータ

| $P_{max}$ (kN) | $l_n$ (mm) | $s$ (mm) | $B$ (kN) |
|----------------|------------|----------|----------|
| 456            | 120.0      | 14.5     | 220.0    |

屈モードの波長  $l_n$  は写真 2 に示すように 120mm とおき式(1)に代入し、補剛力  $B$  を算定した。ただし隙間量  $s$  は変形前の 2mm を採用する。表 1 に算定結果を示す。

## 5. 実験結果

実験で得られた荷重－変位曲線を図 2 に示す。ここで、 $0 \leq \delta \leq 1.18$  ( $0 \leq P \leq 73.32$ ) を Phase I,  $1.18 \leq \delta \leq 3$  ( $73.32 \leq P \leq 104.06$ ) を Phase II,  $3 \leq \delta$  ( $104.06 \leq P$ ) を Phase III とする。Phase I では荷重と変位の関係が線形であり弾性範囲であることがわかる。Phase II では荷重が一定になった後、非線形挙動を示している。図 3 に示す溝形鋼側の各ひずみゲージの荷重－ひずみ曲線から、 $P=73\text{kN}$  付近においてひずみが一時的に低下しており、ボルトがすべりはじめたことが推察できる。Phase III では荷重の低下とともにボルトの破断が確認された。供試体に使用されているボルトは M10 でありボルト孔直径が 13mm であることから  $\delta=3\text{mm}$  地点においてボルトが支圧接合へ移行し、最終的にボルトがせん断破壊に至ったことが推察できる。

## 6. 考察

弾性範囲である Phase I での実験結果をもとに補剛力  $B$  が拘束部材に与える影響を考える。図 4 は Phase I での荷重－変位曲線である。

4. で算定した補剛力  $B=30.04\text{kN}$  は想定する拘束力の範囲内であることがわかる。しかし図のとおり強制変位により隙間量  $s$  を変化させると、式(1)から推定される補剛力  $B$  を大きく上回る。実際に Phase I での最大変位量  $\delta=1.18\text{mm}$  が上下の拘束部材で発生したと考えると補剛力  $B$  は約 2.1 倍になる。以上より既報告の破壊状況は写真 2 のように隙間量  $s$  が想定外に上がったことで補剛力が過大になった結果、ボルトのせん断破壊が発生したことが確認された。

写真 3 は実験終了後の供試体破壊状況である。載荷位置付近の拘束部材が大きく変形しており、形状保持プレートのボルト接合部付近が支圧力によって大きく湾曲している。これらの破壊状況から、ブレースの拘束力は十分でなかったことが、考えられるため形状保持プレートの設計の見直しを検討する必要がある。以下に本実験で得られた知見をまとめる。

①BRB 端部構造の部分載荷実験を行った結果、既報告の端部損傷を再現できた。②実験によりボルトの破断を含めた拘束部材の変形プロセスを確認し、補剛力  $B$  は弾性範囲内であることがわかった。③式(1)はブレースの軸力載荷時の隙間量  $s$  の変化が考慮されておらず、拘束力の算定はさらに厳密に検討する必要がある。今後の課題として文献

3) の補剛力  $B$  の妥当性を実験により検証し、軽量 BRB の設計に用いるための適切な断面諸元を決定する。

## 参考文献

- 1) 清水俊彦, 渡辺孝一: 拘束部材に溝形鋼を使用した BRB の変形性能に関する実験的検討, 平成 27 年度全国大会第 70 回年次学術講演会概要集, I-029, 2015.9.
- 2) 宇佐美勉, 佐藤崇, 葛西昭: 高機能座屈拘束ブレースの開発研究, 構造工学論文集 Vol.55A, pp719-729
- 3) 一般社団法人 日本建築学会編著: 鋼構造制震設計指針, 丸善出版株式会社, 2014.11

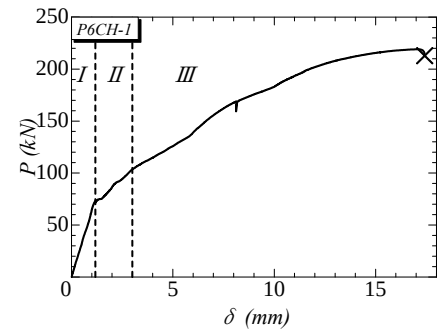


図 2 荷重－変位曲線

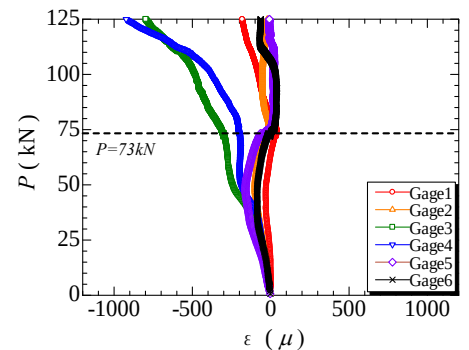


図 3 荷重－ひずみ関係  
(溝形鋼側)

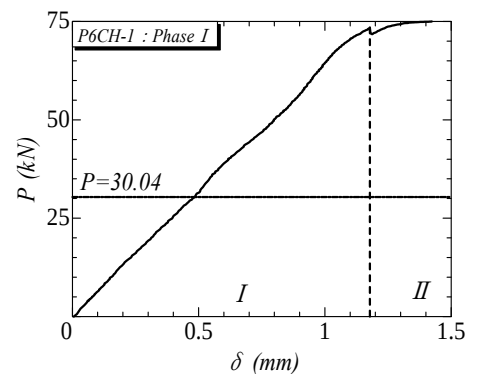


図 4 荷重－変位曲線  
(図 2 での Phase I)



写真 3 拘束部材の破壊状況