

## ボルト接合した補剛材による鋼板パネルの座屈防止効果に関する圧縮力荷重実験

西日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○幸田 真也  
大阪大学大学院工学研究科 正会員 小野 潔

大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 松村 政秀  
大阪市立大学大学院工学研究科 正会員 山口 隆司

## 1. はじめに

地震荷重の作用により局部座屈が発生すると急激な耐力低下が懸念される。鋼板パネルの局部座屈強度を向上させる手法としては、鋼板パネルに補剛材を追加する手法があり、現場で溶接品質を確保することが難しい場合には、溶接接合ではなくボルト接合により補剛材が追加される。しかし、軸力等の断面力が作用している鋼部材に補強部材を追加する場合には、追加した補強部材がどの程度の断面力を負担するか不明であり、補強部材を接合した補強後の鋼部材の耐力および変形能は必ずしも明確ではない。

そこで、本研究では、鋼板パネルからなる柱部材およびそれを補強した柱部材を対象として純圧縮力荷重実験を実施し、初期応力が導入された鋼板パネルへのボルト接合による補強部材の追加・設置効果を明らかにする。

## 2. 実験供試体

実験供試体の一覧を図-1に示す。補強前を想定した実験供試体 UR は、図-1 (a) に示すとおり、 $R_R = 0.949$  の4枚の板パネルを溶接組立てた無補剛中空正方形断面柱である。この実験供試体を基準として、縦補剛材間の板パネル、補剛板全体、および縦補剛材の各幅厚比パラメータに関して、 $R_R < 0.4$ 、 $R_F < 0.4$  および  $R_S < 0.5$  の寸法制限<sup>1)</sup>を参考に、補剛設計を行う。設計には、使用鋼材の SS400 の公称値を用いる。

補強後に相当する実験供試体は、板中央に縦補剛材を溶接接合する RR\_SS および L 字形材をボルト接合する AR\_□ である。実験供試体 AR\_□ は、L 字形材の突出板が板中央に位置する AR\_R、ボルト孔が板中央に位置する AR\_B であり、初期応力を導入する場合は実験供試体名の末尾に F を付けている。実験供試体の形状と実験方法を図-2に示す。

実験供試体 RR\_SS の縦補剛材の寸法は、 $R_S < 0.5$  および補剛材の剛比と必要最小剛比の比  $\gamma_s/\gamma_s^*$  が 1.0 以上<sup>1)</sup>となるように設計すると、 $48 \times 6 \text{ mm}$  である。縦補剛材をボルト接合する場合には、この縦補剛材に高力ボルト M20・F10T を接合するためのボルト孔を設けた平板を溶接組立した L 字形材を用いる。この平板の板幅は、最小縁端距離<sup>2)</sup>およびボルト締付作業を考慮して 75 mm とした。着目範囲におけるボルト孔間隔

は、最大中心間隔<sup>2)</sup>の 72 mm とした。

実験供試体 AR\_RF および AR\_BF には、実験供試体 UR の最大荷重の 50% に相当する初期軸力を載荷した状態を保持し、ボルトを締付し補強部材を接合する。その後、一旦除荷し、圧縮変位を漸増させる。

## 3. 実験結果

図-3 には荷重-軸方向変位関係を、表-1 には主な実験結果を示す。図-4 および表-2 には無次元化した  $P/P_y - u/u_y$  関係を示す。降伏開始荷重  $P_{ys}$  および降伏開始変位  $u_{ys}$  は、ひずみ計測により、最も早くに降伏ひずみに達したときの荷重および変位である。 $k$  および  $k'$  は、 $P-u$  関係および  $P/P_y - u/u_y$  関係における弾性範囲内での初期剛性を示す。 $P_y (= \sigma_y \times A)$  は補強前の矩

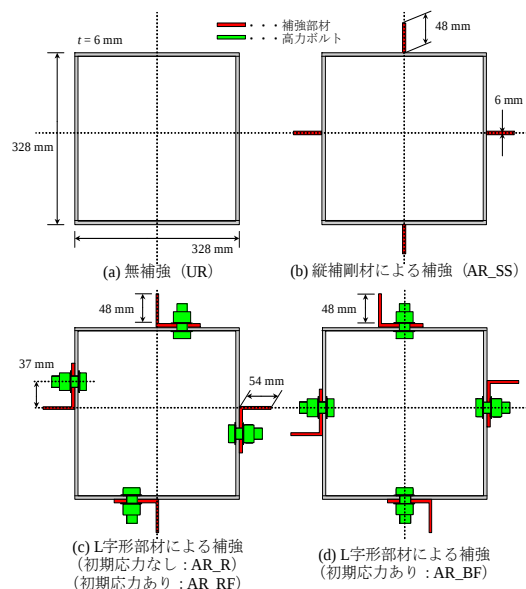
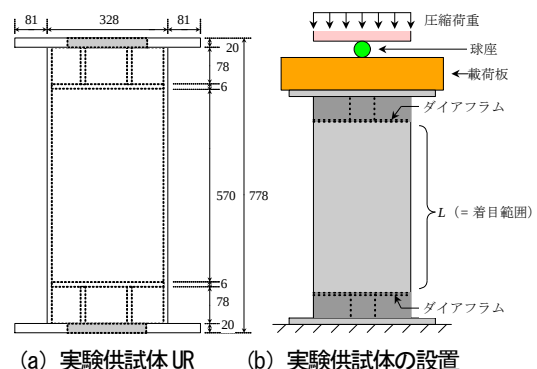


図-1 実験供試体の断面



(a) 実験供試体 UR (b) 実験供試体の設置

図-2 実験供試体の形状と実験方法 (単位: mm)

キーワード: 局部座屈, 高力ボルト, 鋼板パネル, 補剛材, 純圧縮力荷重実験

連絡先 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪市立大学大学院 工学研究科 都市系専攻 橋梁工学分野 Tel:06-6605-2765

表-3 主な実験結果

| 実験<br>供試体 | 初期剛性<br>$k$ (kN/mm) | 最大荷重<br>$P_u$ (kN) | 最大荷重時の<br>変位 $u_u$ (mm) | 降伏開始荷重<br>$P_{ys}$ (kN) | 降伏開始変位<br>$u_{ys}$ (mm) |
|-----------|---------------------|--------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| UR        | 1,723               | 1,364              | 1.66                    | 1,274                   | 0.84                    |
| RR_SS     | 2,532               | 2,702              | 3.25                    | 1,327                   | 0.61                    |
| AR_R      | 2,114               | 2,599              | 3.62                    | 2,176                   | 1.31                    |
| AR_RF     | 2,198               | 2,540              | 4.08                    | 1,883                   | 1.07                    |
| AR_BF     | 2,067               | 2,661              | 3.93                    | 1,948                   | 1.08                    |

表-4 主な実験結果 (無次元化)

| 実験<br>供試体 | $k'$ | $P_u/P_y$ | $u_u/u_y$ | $P_{ys}/P_y$ | $u_{ys}/u_y$ |
|-----------|------|-----------|-----------|--------------|--------------|
| UR        | 1.00 | 0.60      | 1.25      | 0.56         | 0.63         |
| RR_SS     | 1.47 | 1.08      | 2.25      | 0.53         | 0.42         |
| AR_R      | 1.23 | 1.00      | 2.41      | 0.84         | 0.87         |
| AR_RF     | 1.28 | 1.11      | 3.07      | 0.82         | 0.80         |
| AR_BF     | 1.20 | 1.09      | 2.78      | 0.80         | 0.76         |

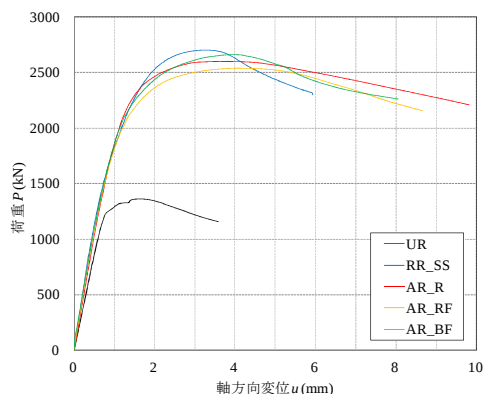
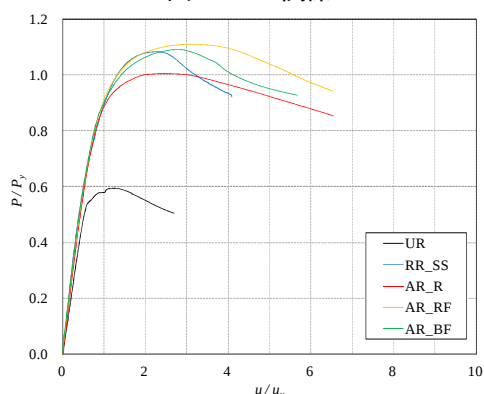
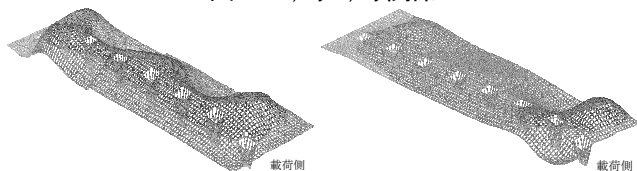
図-3  $P$ - $u$ 関係図-4  $P/P_y$ - $u/u_y$ 関係

図-5 実験終了後の残留変形

形断面柱の降伏荷重,  $u_y$  ( $= P_y/k$ ) は  $P_y$  と実験供試体 UR の  $k$  を用いて算出される降伏変位である。実験より得られた結果を以下に示す。

#### (a) 溶接接合 (RR\_SS) とボルト接合 (AR\_R) の比較

補強部材の接合法によらず補強後の初期剛性が向上する。L 字形材をボルト接合する場合には、縦補剛材に座屈が発生するまで圧縮力が L 字形材に分担されにくいため、溶接接合に比べ  $k'$  は小さくなった。降伏開始荷重は、縦補剛材を溶接

接合する場合には、溶接時に導入される圧縮残留応力により若干低下し、ボルト接合する場合には L 字形材の平板に載荷初期の状態から荷重が分担されるため向上した。また、板パネルの局部座屈はボルト接合では最大荷重付近で、溶接接合では早期に発生した。補強後の最大荷重は、接合法によらず向上するが、ボルト接合の方が低くなった。一方、最大荷重後の耐力低下はボルト接合の方が緩やかであった。以上は、ボルト接合と溶接接合とで補強部材による圧縮力の分担効率が異なるためである。

#### (b) 初期応力の有無 (AR\_R と AR\_RF) の比較

AR\_R および AR\_RF の座屈挙動は同様な傾向であったが、初期応力を導入するとしいない場合に比べ最大荷重が上昇した。ただし、図-4 に示す実験終了後の変形によると、AR\_R に比べ AR\_RF の局部座屈の波数が少なく、初期応力の導入の有無による初期たわみ形状の差が実験結果に影響していたと考えられる。また、初期応力を導入するとしいない場合に比べ初期剛性が若干向上する一方で、降伏開始荷重は若干低下した。これは、初期応力を導入すると、荷重が小さい段階から L 字形材の縦補剛材による荷重分担が期待できる一方で板パネルへ作用するひずみが大きくなるためである。

#### (c) L 字形材の接合位置 (AR\_RF と AR\_BF) の比較

ボルト孔を板中央に配置すると、板パネルの局部座屈が早期に発生したため、初期剛性、降伏開始荷重、最大荷重、変形性能が縦補剛材を板中心に配置する場合と比較して低下した。ただし、両者の差は小さかった。

### 4. 結論

本研究では、初期応力を有する鋼板パネルに、補強部材をボルト接合あるいは溶接接合する場合の補強効果を、圧縮力載荷実験により明らかにした。主な結果を以下に示す。

- 1) 溶接接合、ボルト接合により追加する縦補剛材が板パネルの局部座屈の防止に有効であり、補強後は初期剛性、最大荷重、および、変形性能が向上した。ただし、ボルト接合と溶接接合とで補強部材への圧縮力の作用や分担が異なるため、解析により検討する必要がある。
- 2) L 字形材をボルト接合する場合、縦補剛材を板パネル中央に配置する方が若干ではあるが良好な補強効果を示した。
- 3) 初期応力が導入された鋼板パネルに補剛材を追加すると、降伏開始荷重が低下し、最大荷重が上昇したが、この影響を解析等により検討する必要がある。

### 参考文献

- 1) 阪神高速道路(株): 既設鋼製橋脚の補強設計要領, 2000.3
- 2) (社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, II.鋼橋編, 2012.3