

山形鋼筋かい端接合部に対する乾式補強に関する実験

2. 構造-10. 鉄骨構造-s. ブレース

正会員 ○ 梶間夏美*1
// 吉敷祥一*2
// 薩川恵一*3

山形鋼 筋かい端接合部 耐震補強
高力ボルト 乾式補強 最大耐力

1. はじめに

屋内運動場のような低層建築物は、災害時避難所として使用されるため、高い耐震性能を確保する必要がある。筋かいは主要な耐震要素の一つであり、特に山形鋼筋かいはこの種の建築物に広く使用されている。筋かいの耐震性能を確保するためには軸部降伏耐力を發揮するまで接合部を破断させない保有耐力接合を施す必要がある¹⁾。しかし、新耐震設計法以前の山形鋼筋かいは無効突出脚部分を有効断面積に算入しているため、接合部の耐力が不足しており、近年の地震被害調査では山形鋼筋かい端接合部の破断被害が多く報告されている。

2. 補強概要

過去に著者らが行った隅肉溶接の付加による補強²⁾では、突出脚側に溶接補強を行うことで十分な耐力上昇(補強効果)が得られた。しかし、溶接補強は火気を使用するだけでなく、溶接姿勢によっては施工品質の確保が難しくなる。そこで、本研究では溶接を使用しない高力ボルト接合を用いた乾式の補強方法を提案する。

本研究で提案する2種類の補強法を図1に、接合部各部の名称の定義を図2に示す。図1(a)に示す並列タイプは補強材と既存材の突出脚側を接合することで突出脚の拘束によって有効突出脚部の増大を図るとともに、突出脚部から補強材に応力を伝達することで既存材の応力負担を低減して耐力上昇を図る。図1(b)の背合わせタイプは、ガセットプレートを挟んで、スペーサーで既存ボルトをかわして補強材を取り付ける。こちらも背面から補強材に応力を伝達することで既存材の応力負担を低減して耐力上昇を図る。本論文ではまず、並列タイプの補強方法の実験結果を示す。

3. 実験計画

3.1 载荷計画

試験体のセットアップを図3に示す。試験体は山形鋼の上下端をガセットプレートで接合したものである。試験体を縦向きに設置し、ガセットプレートを上部治具と下部治具と接合し、試験機とは上部治具と下部治具を介して接続する。载荷は試験体の上部に引張力を与える単調载荷とし、接合部に破断が観察されるまで行った。

载荷中、荷重 P はオートグラフに内蔵されているロー

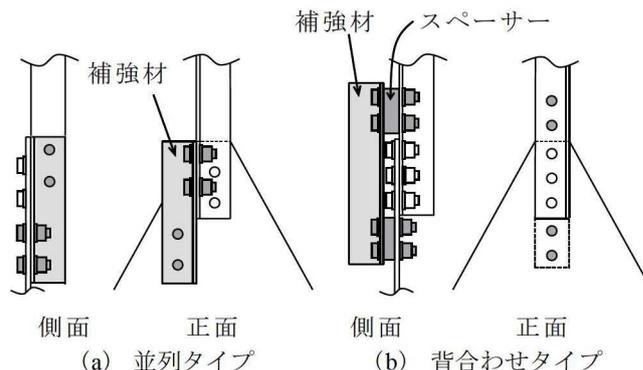


図1 提案する補強方法

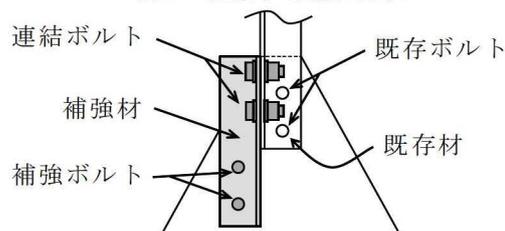


図2 名称の定義

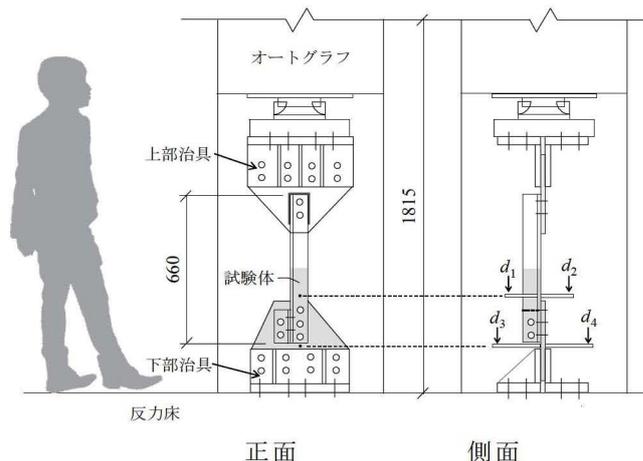


図3 セットアップ

表1 山形鋼の材料特性

| | 降伏点 [N/mm ²] | 引張強さ [N/mm ²] | 降伏比 [%] | 破断伸び [%] |
|---------------------|-----------------------------|------------------------------|------------|-------------|
| 山形鋼 $t=6(SS400)$ | 316 | 440 | 72 | 36 |

表2 試験体一覧

| 試験体名 | 既存の接合部構成 | | 補強の接合部構成 | |
|---------|----------|-------|----------|-------|
| | 断面 | 高力ボルト | 断面 | 高力ボルト |
| L75-3 | L75x6 | 3-M16 | - | - |
| L75-3-N | | | L75x6 | 2-M16 |
| L75-3-F | | | | |
| L75-3-C | | | | |
| L75-3-L | | | | |
| L75-2 | L75x6 | 2-M16 | - | - |
| L75-2-N | | | | |
| L75-2-F | | | | |

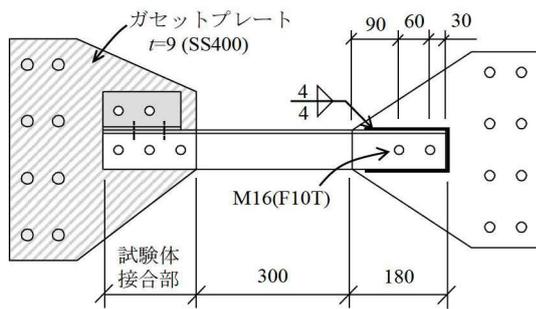


図4 試験体の概要

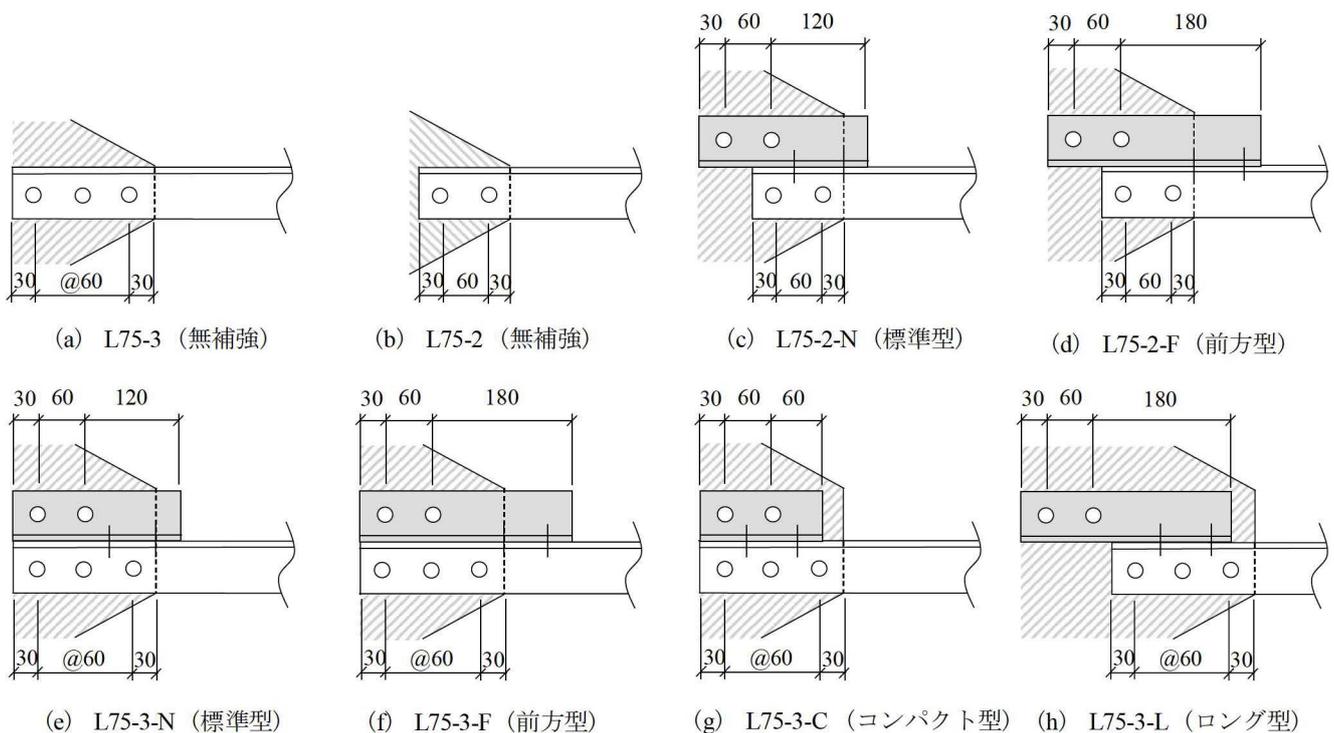


図5 試験体接合部の詳細

ドセルにより計測した。また、接合部変形 δ は、反力床から接合部とガセットプレートの絶対変位を表裏から計測し、それら平均値の差分から算出した。さらに、接合部近傍のひずみ分布を把握するため、ひずみゲージを危険断面を中心に貼付した。

3.2 試験体とパラメーター

試験体の概要を図4に、接合部詳細を図5に示す。また、山形鋼の材料特性を表1に、試験体一覧を表2に示す。試験体は山形鋼(L75x6)の両端部にガセットプレート(SS400 $t=6$)を高力ボルト摩擦接合を用いて接合したものであり、ガセットプレート間の距離は300mmとしている。試験対象としない上部の接合部については、高力ボルトを2本用いてガセットプレートと接合し、全周に隅肉溶接を施すことで保有耐力接合を満たすように設計した。隅肉溶接のサイズは4mmとし、溶接は高力ボルトの締め付けを行った後に施工をしている。

試験対象となる下部接合部は、ボルト間隔60mmで高力ボルト摩擦接合を用いてガセットプレートと接合した。また、補強材は、既存材と同一ロットの山形鋼(L75x6)を用いている。

試験体は比較用の無補強も含めて計8体とし、既存ボルトの本数と位置、連結ボルトと補強ボルトの位置、補強材の長さを変化させた。試験体は、既存の第1ボルトの半ピッチ前方から連結ボルトを、また既存の第2ボルトと同じ位置から補強ボルトを並列に配置したものを標準型とする。これに対して、連結ボルトを1ピッチ後方に配置したものをコンパクト型、その反対に連結ボルトを1ピッチ前方に配置したものを前方型と呼ぶ。さらに、補強ボルトを2ピッチ後方に配置したものをロング型と呼ぶ。コンパクト型は、ボルト孔欠損が近接しているため断面欠損が過大になると予想される。一方の前方型は、連結ボルトを既存ボルトより前方にすることで補強材への応力伝

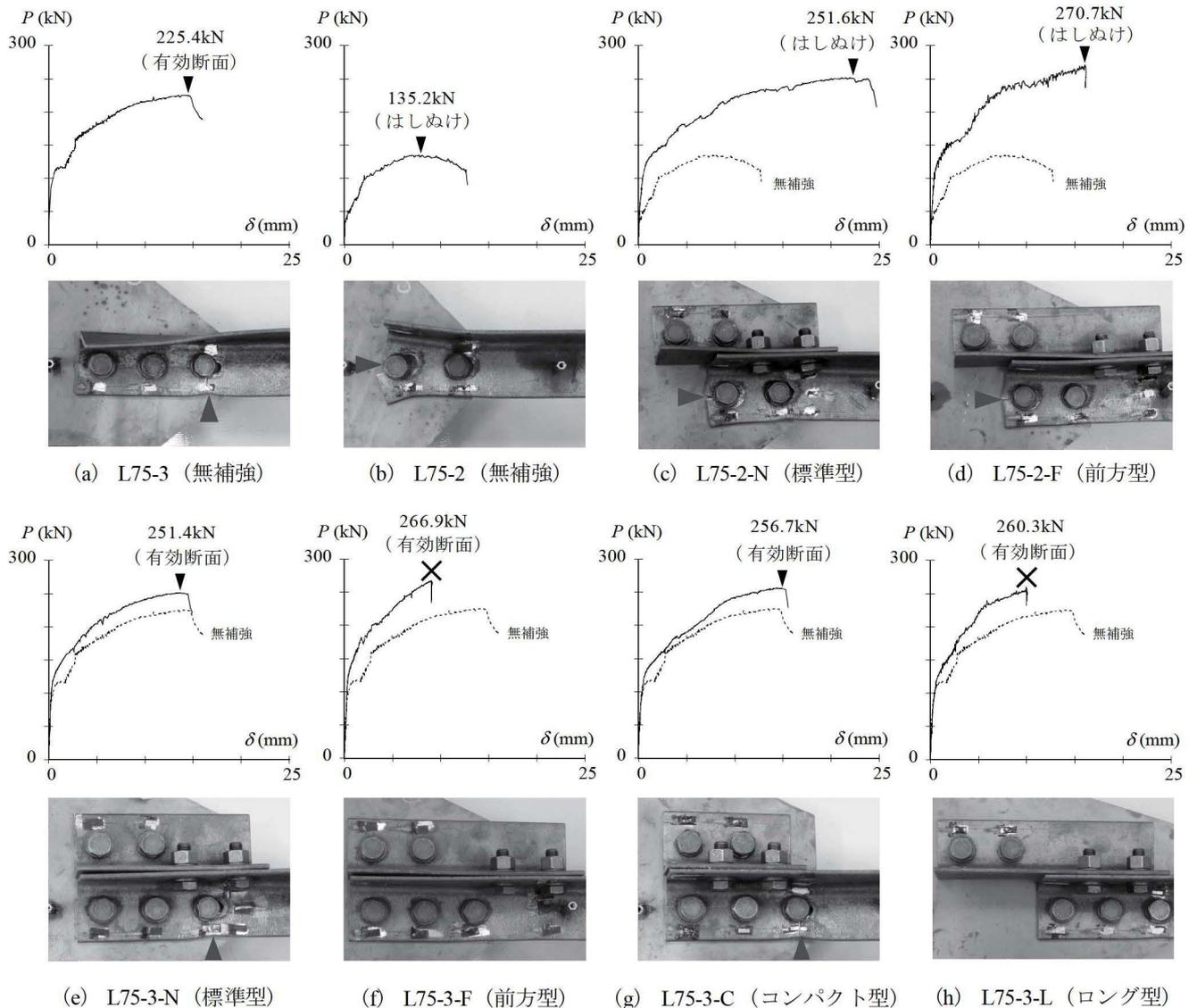


図6 接合部の荷重-変形関係と載荷後の様子

表3 実験結果一覧

| 試験体名 | 最大耐力 [kN] | 有効突出脚率 [-] | 破壊モード |
|----------|-----------|------------|--------|
| L75-3 | 225.4 | 0.44 | 有効断面破断 |
| L75-3-N | 251.4 | 0.60 | |
| L75-3-F* | 266.9 | 0.65 | |
| L75-3-C | 256.7 | 0.57 | |
| L75-3-L* | 260.3 | 0.62 | |
| L75-2 | 135.2 | 0.05 | はしぬけ破断 |
| L75-2-N | 251.6 | 0.57 | |
| L75-2-F | 270.7 | 0.67 | |

* 載荷途中で破断した試験体

達が円滑になることを期待する。ロング型についても補強ボルトの位置を既存ボルトとずらすことにより、接合部周辺での補強材への応力伝達が円滑になることを期待する。

4. 実験結果

4.1 荷重-変形関係と破断状況

実験より得られた、接合部の荷重-変形関係と載荷後の

接合部を図6に示す。また、実験結果一覧を表3に示す。なお、L75-3-L(ロング型)とL75-3-F(前方型)は試験対象でない上側の接合部の溶接部分周辺から破断したため、載荷を途中で中断している。また、図中の最大耐力は▼で示し、途中で載荷を中断したところを×で示している。

図中の破線は無補強の試験体であり、既存材ボルトの本数ごとに比較として示している。荷重-変形関係から補強を施すと大小の差はあるものの耐力が上昇しており、補強効果がみられた。既存ボルト3本のL75-3シリーズでは、最大耐力が標準型で251kN、コンパクト型で256kN、前方型で267kN、ロング型で260kNとなり、それぞれL75-3の無補強(225kN)に対して26kN、31kN、41kN、35kNの耐力上昇がみられた。また、連結ボルトを前方に位置するほうが補強材に流れる応力が大きくなり、他の補強タイプと比べて耐力の上昇が大きくなっていることが分かる。一方、既存ボルト2本のL75-2シリーズでは、最大耐力が標準型

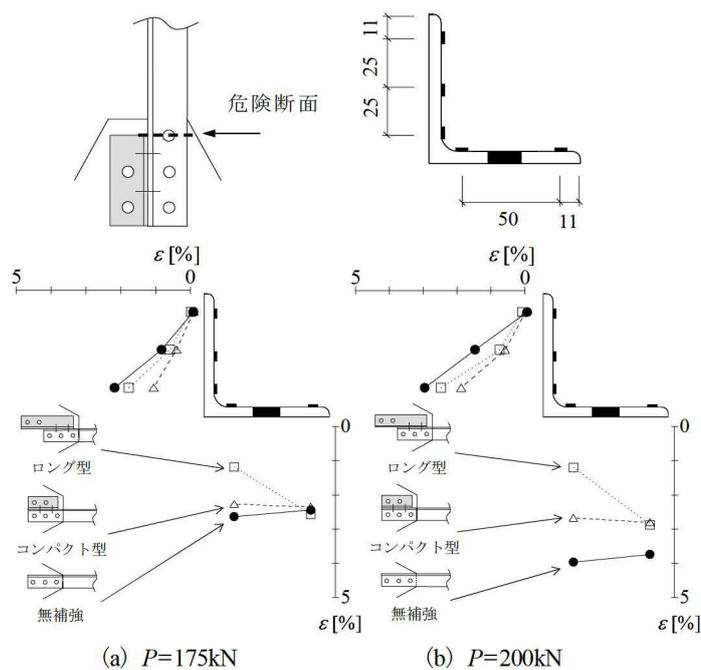


図7 危険断面に生じる歪み分布

で251kN、前方型で270kNとなり、それぞれL75-2の無補強(135kN)に対して116kN、135kNの耐力上昇がみられ、無補強の2倍近く耐力が大きく上昇した。L75-3シリーズよりも耐力の上昇は大きくなったが、最終的な最大耐力はL75-3シリーズと同程度であった。

载荷後の接合部の様子から補強を行うことにより、突出脚の面外変形が小さくなっていることが分かる。L75-2シリーズではすべてはしめけ破断に至っている。はしめけ破断耐力は有効突出脚部によらないため、無補強の最大耐力と補強試験体の最大耐力の差分が補強材への応力伝達の効果と考えることができる。

4.2 ひずみ分布

亀裂の発生が予想される既存ボルトの第1ボルト部分を危険断面位置とし、断面内に生じるひずみ分布を図7に、各既存ボルト近傍のひずみ分布を図8に示す。危険断面におけるひずみ分布は、L75-3シリーズの無補強とコンパクト型、ロング型を比較している。P=175kN、200kN時ともに補強試験体のひずみが無補強に比べて小さくなっていることが分かる。これは、突出脚における応力伝達による有効断面積の上昇と、補強材に応力伝達された効果であると考えられる。また、P=175kN、200kN時の破断位置と対応する平板部のひずみを比較すると、無補強のひずみに比べて、補強試験体は荷重の増加に対するひずみの変化が小さいことが分かる。このことから、P=175kN周辺で補強材に応力が伝達し始めたものと考えられる。

次に、既存ボルト近傍のひずみ分布(図8)をみると、ひずみ分布が偏っており、第1ボルト近傍のひずみは非常に大きい、第3ボルト近傍のひずみはほとんど発生していない。このことから、第1ボルト近傍にひずみが集中した

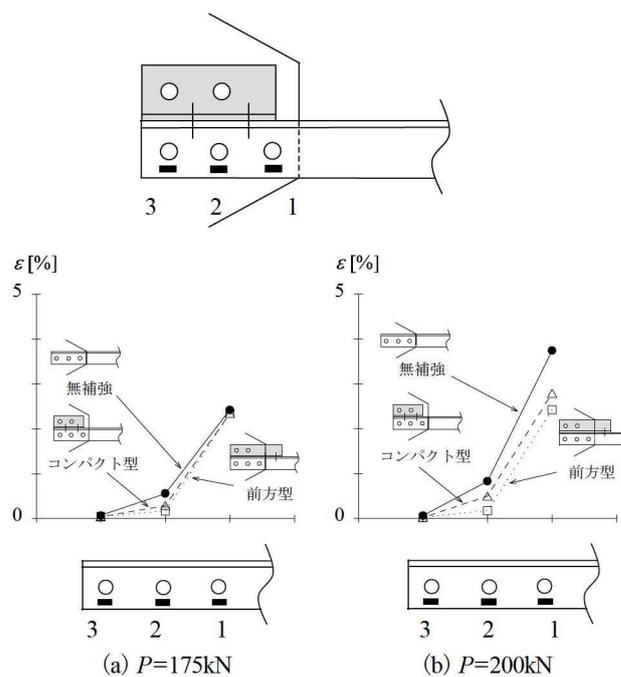


図8 既存ボルト近傍のひずみ分布

ため亀裂が発生したことが分かる。

無補強と比較すると補強試験体の第1ボルトと第2ボルト近傍のひずみは小さいが、第3ボルト近傍のひずみは変わらない。さらに、補強試験体を比較すると、前方型のひずみはコンパクト型と比べてわずかに小さいので、連結ボルトを前方に配置したほうが補強材への応力伝達によって、各ボルト近傍のひずみが小さくなると言える。また、コンパクト型のように連結ボルト位置を既存ボルトの近傍についても、既存ボルトへの応力伝達の効果はボルトを前方に配置したのと比べてあまり大きくないことが分かる。

5. まとめ

本研究では山形鋼筋かいに対して乾式の補強方法を提案し、補強効果を载荷実験により確認した。

謝辞

本研究は日本鋼構造協会平成28年度鋼構造研究助成事業による成果です。

ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 日本建築学会: 鋼構造接合部設計指針, 2012
- 2) 吉敷祥一, 河野由佳: 山形鋼高力ボルト接合部に対する隅肉溶接の付加による補強, 日本建築学会構造系論文集, 第719号, 2016.1

*1 東京工業大学大学院 修士課程

*2 東京工業大学 未来産業科学技術研究所 准教授・博士(工学)

*3 愛知工業大学 教授・博士(工学)