

山形鋼筋かい端接合部に対する乾式補強に関する実験 その 2 追加実験の計画

2. 構造-10. 鉄骨構造-s. ブレース

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

正会員 ○ 梶間夏美^{*1}

// 吉敷祥一^{*2}

// 薩川恵一^{*3}

1. はじめに

屋内運動場のような低層建築物は、災害時に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発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⁾など。したがって、耐震補強の早急な実施普及が必要であり、その促進には簡便かつ効果的な補強方法が求められている。

2. 補強概要

これまでに隅肉溶接の付加による補強³⁾において、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)を得られることが分かっている。しかし、溶接補強は火気の使用による危険性に加え、施工品質の確保が難しいといった問題がある。本研究では溶接を使用せずに、高力ボルト接合のみを用いた乾式の補強方法を提案し、その効果と設計法を検討する。

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る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) に示す背合わせタイプは、文献 4) を援用し、既存材の背面にスペーサーを介して補強材を取り付けて 2 面摩擦とする。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。

前報(その 1)⁵⁾では、並列タイプの補強方法を対象とした実験を行い、その補強効果を確認した。実験より第一連結ボルトをより前方に配置すると、より大きな耐力上昇を得られることが分かった。このことから、第一連結ボルトの位置が耐力に大きな影響を及ぼすことが考えられる。本報(その 2、3)では、補強効果に及ぼす連結ボルトの位置の影響に着目した追加実験を計画し、実

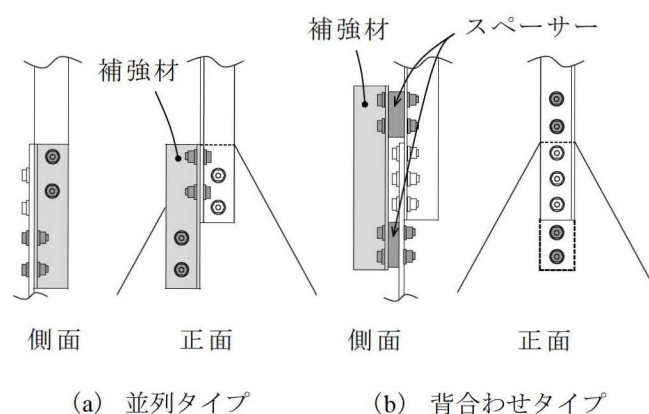


図 1 提案する補強方法

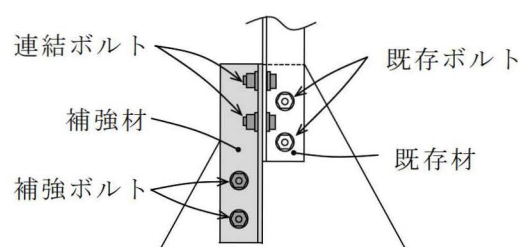


図 2 名称の定義

施する。また、以降は前報(その 1)の载荷実験を I 期、本報の追加実験を II、III 期と表記する。

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。試験体はブレース材軸方向を縦向きに設置し、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、接合部に破断が確認できるまで行った。

载荷中、荷重 P はオートグラフに内蔵されたロー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上下と裏表の絶対変位を計測し、両者の差分から算出した。

3.2 試験体

試験体の概要を図 4 に、山形鋼とガセットプレートの JIS-5 号試験片による材料試験結果を表 1 に示す。

I 期の一部の試験体では試験体接合部以外の箇所亀裂

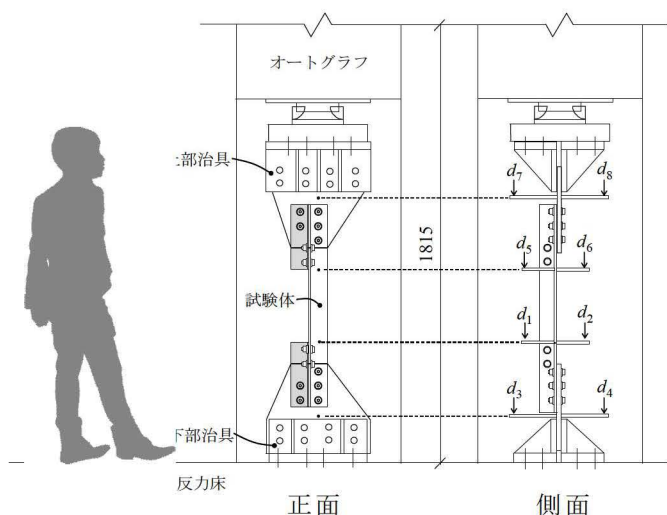


図3 セットアップ

表1 山形鋼の材料特性

	ロット	σ_y [N/mm ²]	σ_u [N/mm ²]	YR [%]	ϵ_u [%]
L75x6	I,II	316	447	71	36
	III	309	434	71	24
L65x6	III	322	415	77	26
L90x7	III	325	455	72	24
PL-9		284	422	67	45

が発生したため、載荷を断念した。そのため、II、III期の試験体は上下接合部ともに補強を施して試験対象とした。II、III期試験体は山形鋼(L75x6、L65x6、L90x7)の両端部にガセットプレート(SS400 $t=9$)を高力ボルト摩擦接合したものであり、ボルトはナット回転法によって締め付け、摩擦面は黒皮のままとした。また、いずれの試験体も補強材と既存材には同一ロットの山形鋼を使用している。なお、I期はガセットプレート間の距離を300mm、II、III期は補強材間の距離を300mmとした。

3.3 試験体の選定

次に、試験体の選定方法について説明する。無補強山形鋼における有効断面を図5に示し、補強後の有効断面を図6に示す。一般に山形鋼には図5に示すように突出脚に耐力算定上の無効部分(無効突出脚部)が生じる。これに対して、本補強では突出脚に連結ボルトを介して補強材を取り付けるため、連結ボルト孔欠損による有効断面Aと、連結ボルト孔と既存ボルト孔欠損による有効断面Bが考えられる(図6)。

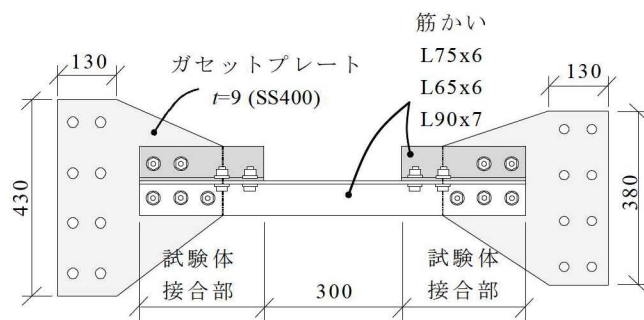
ここで、等辺山形鋼における板厚 t 、辺の長さ d 、ボルト孔欠損 ϕ 、使用鋼材の引張強さ σ_u 、および第一既存ボルトから連結ボルトまでの距離 x を用いれば、有効断面A、Bにおける破断耐力 $A P_u$ 、 $B P_u$ は、それぞれ次式で表せる。

$$[\text{有効断面A}]$$

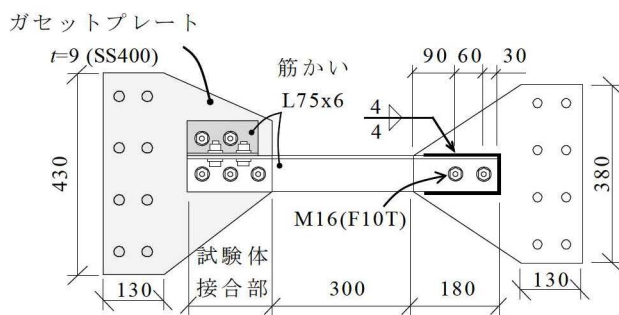
$$A P_u = t \cdot (2d - t - \phi) \cdot \sigma_u \quad \dots (1)$$

$$[\text{有効断面B}]$$

$$B P_u = t \cdot (l_1 \cdot \sigma_u^* + 2 \cdot l_2 \cdot \sigma_u) \quad \dots (2)$$



(a) II,III期試験体(追加実験)



(b) I期試験体⁵⁾

図4 試験体の概要

有効断面破断耐力 P_u は、補強後の(1)式と(2)式のいずれか小さい方で決定する。

$$P_u = \min \{ A P_u, B P_u \} \quad \dots (3)$$

なお、破断線と荷重軸が β の角度をもつ斜方線については、組み合わせ応力を考慮した引張強さ σ_u^* を用いる⁶⁾。

$$\sigma_u^* = \sqrt{1 + 2 \cdot \sin^2 \beta} \cdot \frac{\sigma_u}{\sqrt{3}} \quad \dots (4)$$

算出した有効断面破断耐力 $A P_u$ 、 $B P_u$ および P_u と、第一既存ボルトと第一連結ボルトの距離 x との関係を図7(a)に示す。(1)式と(2)式の交点が有効断面が変化する境界であり、連結ボルトが境界より前方のときはA断面にて、後方のときはB断面にて耐力が決定する。本実験では異なる有効断面破断が生じるよう、境界を跨ぐ範囲で x をボルトピッチごとに変化させてパラメータを振り分けて試験体の選定を行った。また、後方においても式の適用を確認するため $x = -30$ の試験体も用意した。さらに、他の断面サイズにおける式の適用を確認するため、L65x6(M16)とL90x7(M20)の断面の試験体も選定した。

3.4 試験体とパラメーター

試験体寸法の定義を図8に、また試験体接合部の詳細を図9に示し、試験体一覧を表2にまとめる。試験体の名称については頭文字に実験の実施時期(I、II、III期)、末尾に x の値を示す。試験体は第二既存ボルトと同じ位置に第一補強ボルトを配置したものを基準に x を変化させる。ただし、図9(d)75-3L-(-30)、(k)75-2S-30の既存ボルトと補強ボルトの位置関係は前述した位置関係とは異なる。具体的

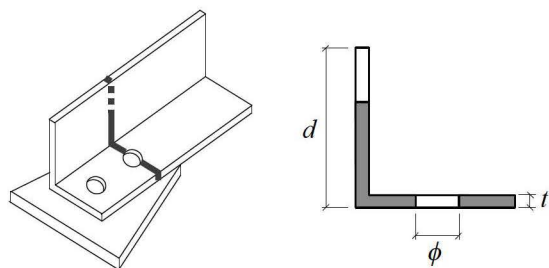
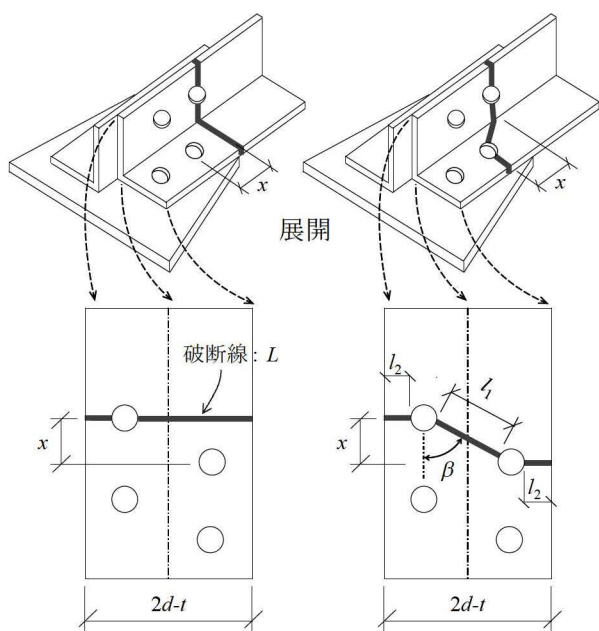


図5 無補強山形鋼における有効断面



(a) 有効断面:A (b) 有効断面:B

図6 補強後の有効断面

には、図9(d)では第一補強ボルトを第三既存ボルトから1ピッチ後方に配置し、図8(k)では第一既存ボルトと第一補強ボルトを同じ位置に配置した。

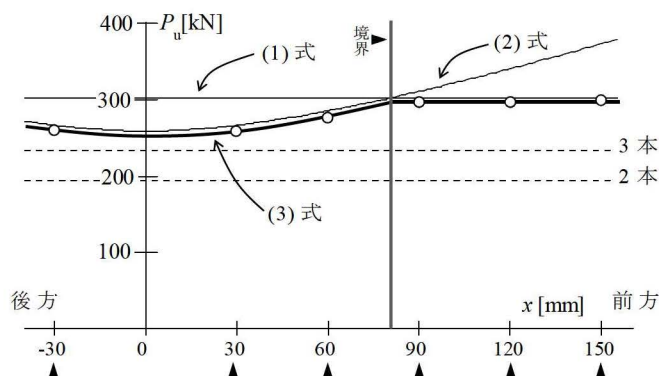
試験体はI期実験で荷重を中断した試験体を含めた、無補強の6体を含む計18体を用意した。

4. まとめ

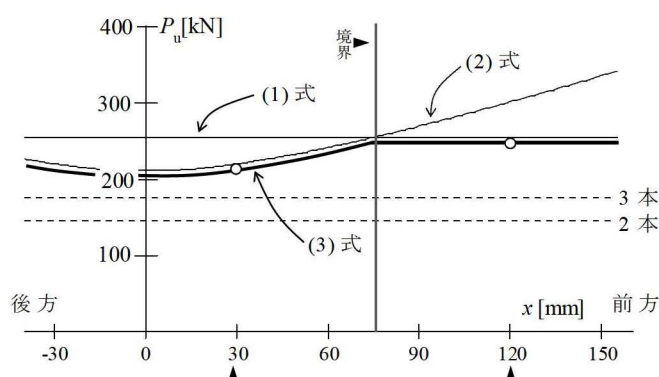
本報(その2)では、山形鋼筋かい端接合部に対する乾式補強実験の追加実験についての実験計画を示した。

参考文献

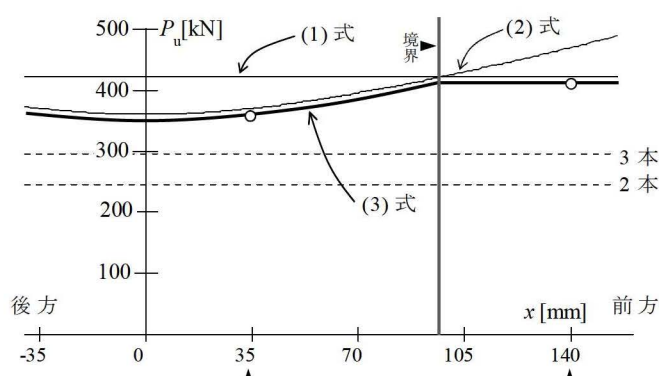
- 1) 日本建築学会：鋼構造接合部設計指針，2012
- 2) 伊山潤ほか：東北太平洋沖地震等による鉄骨造文教施設鉛直ブレースの震動被害，日本建築学会技術報告集，第19巻，第41号，pp.153-158，2013.2
- 3) 吉敷祥一，河野由佳：山形鋼高力ボルト接合部に対する隅肉溶接の付加による補強，日本建築学会構造系論文集，第719号，pp.111-121，2016.1
- 4) 石井大吾ほか：引張ブレース接合部の火無し耐震補強工法の提案，日本建築学会大会学術講演梗概集，



(a) L75x6(M16)



(b) L65x6(M16)



(c) L90x7(M20)

図7 試験体の選定

pp.743-744, 2016.8

- 5) 梶間夏美ほか：山形鋼筋かい端接合部に対する乾式補強に関する実験，関東支部研究報告集，2017.3
- 6) 吹田啓一郎，李相周，井上一朗：有孔鋼板の引張強さと変形能力(その1)，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.977-978，2001.9

*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)

表2 試験体一覧

試験体	既存の接合部構成					補強の接合部構成						x [mm]
	断面	ボルト	e_p [mm]	e_{e1} [mm]	e_{e2} [mm]	断面	ボルト	r_p [mm]	j_p [mm]	r_{e1} [mm]	r_{e2} [mm]	
I75-3												
I75-3(-30)												-30
I75-3L(-30)*	L75x6	3-M16	60	30	30	L75x6	2-M16	60	60	30	30	-30
I75-3-30												30
I75-3-90*												90
II75-2												
II75-2-30	L75x6	2-M16	60	30	30	L75x6	2-M16	60	60	30	30	30
II75-2-90												90
II75-3												
II75-3L(-30)	L75x6	3-M16	60	30	30	L75x6	2-M16	60	60	30	30	-30
II75-3-90												90
II75-2												
II75-2-30	L75x6	2-M16	60	40	30	L75x6	2-M16	60	60	30	30	30
II75-2S-30										40	30	30
II75-2-90										30		90
III75-2		2-M16										
III75-3												
III75-3-60	L75x6	3-M16	60	40	40	L75x6	2-M16	60	90	40	40	60
III75-3-120									60			120
III75-3-150												150
III65-3												
III65-3-30	L65x6	3-M16	60	40	40	L65x6	2-M16	60	60	40	40	30
III65-3-120												120
III90-3												
III90-3-35	L90x7	3-M16	70	50	50	L90x7	2-M16	70	70	50	50	35
III90-3-140												140

* は途中で荷重を中断した試験体

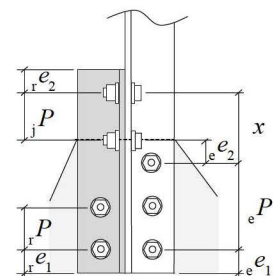


図8 試験体寸法の定義

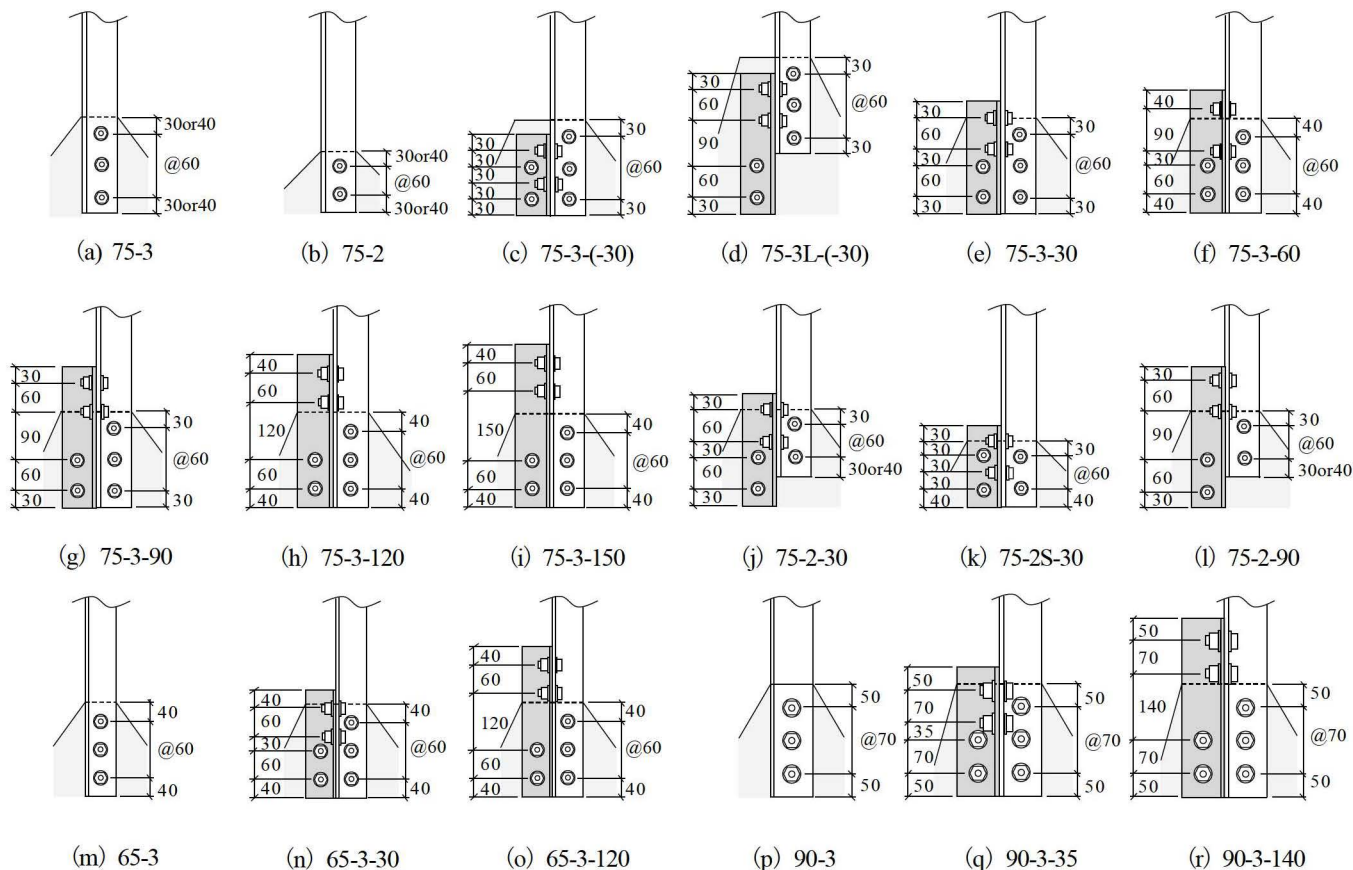


図9 試験体接合部の詳細