



山形鋼筋かい端接合部の背面付加材による乾式補強

梶間夏美¹⁾、吉敷祥一²⁾、薩川恵一³⁾

1) 学生会員 東京工業大学大学院 修士課程、学士(工学)

e-mail : kajima.0624@gmail.com

2) 正会員 東京工業大学 未来産業技術研究所、准教授 博士(工学)

e-mail : kishiki.s.aa@m.titech.ac.jp

3) 非会員 愛知工業大学 工学部建築学科、教授 博士(工学)

e-mail : k-satsu@aitech.ac.jp

要 約

高い耐震性能が要求される屋内運動場のような低層建築物では、山形鋼筋かいが耐震要素として広く使用されている。しかし、新耐震設計法以前の山形鋼筋かいは接合部の耐力が不足しているため、近年の地震被害調査でも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。耐震補強の早急な実施普及のためには、簡便かつ有効な補強が必要となる。本論では高力ボルト接合のみを用いた乾式の補強方法を提案し、実験からその補強効果を確認した。また、本論で提案した補強方法は概ね保有耐力接合を満たす程度の十分な補強効果が得られた。

キーワード： 山形鋼、耐震補強、高力ボルト、保有耐力接合

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⁾。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)が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と補強概念を図2に示す。図1(a)

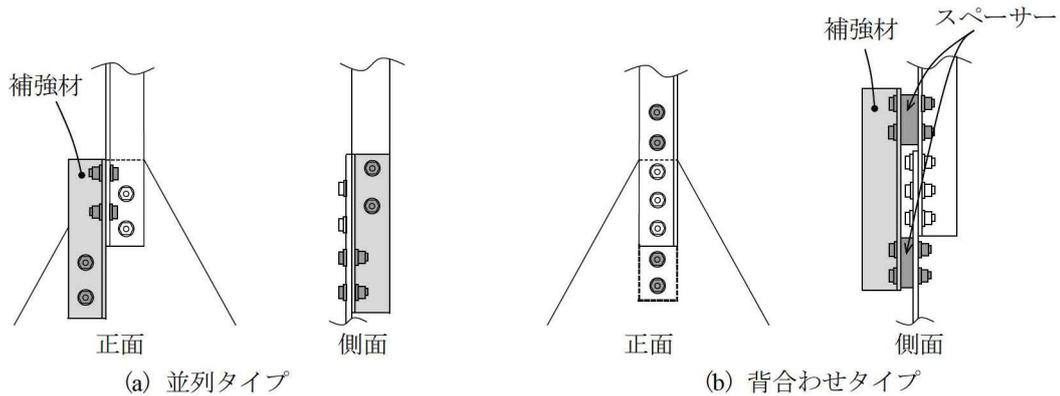


図1 提案する補強方法

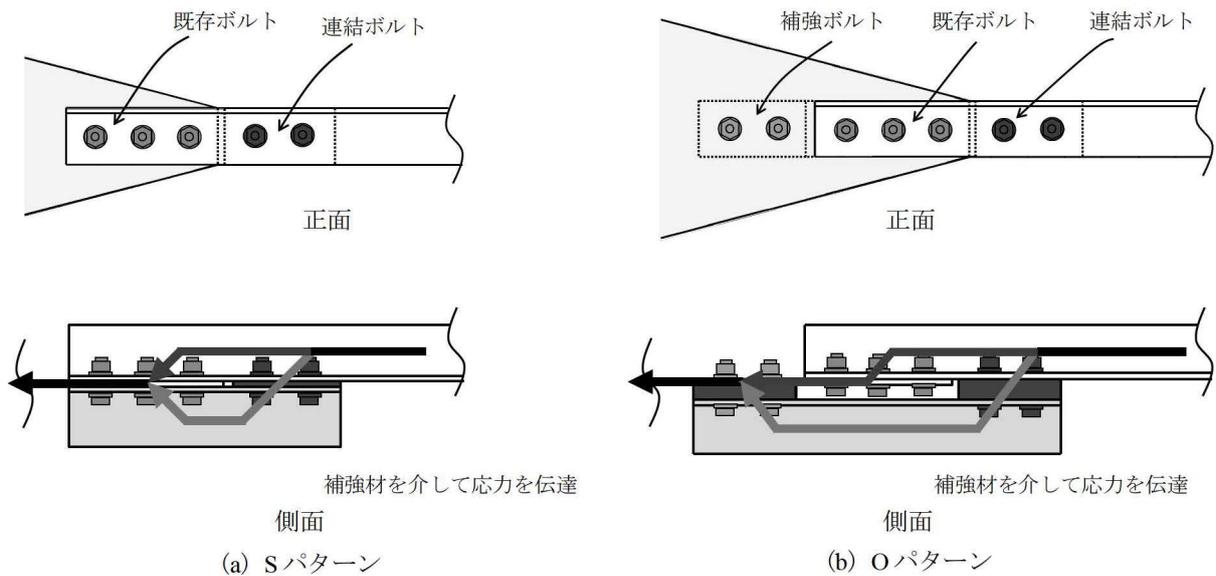


図2 接合部各部の名称の定義と補強概念

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。本論では、並列タイプを対象とした前報³⁾に引き続き、背合わせタイプの補強方法を対象とした実験を行い、その効果を把握する。

背合わせタイプの補強方法は、SパターンとOパターンの2種類が考えられ、どちらも補強材を介して応力を伝達している。図2(a)のSパターンは既存材と補強材の応力を既存ボルトだけでガセットプレートに伝達するのに対して、図2(b)のOパターンは既存材と補強材の応力を既存ボルトと補強ボルトに分散してガセットプレートに伝達し、ガセットプレートの応力集中を避ける。また、Sパターンは既存ボルトを取り外して補強を行うのに対して、Oパターンは既存ボルトを取り外さなくても補強可能である。ただし、Oパターンはガセットプレート後方に補強ボルトを追加するためその分材長が長くなる。

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

が確認できるまで载荷を行った。

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絶対変位を計測し、両者の差分から算出した。

3.2 試験体とパラメーター

試験体の概要を図4に、試験体接合部の詳細を図5に示す。さら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、試験体一覧と接合部耐力の計算値を表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したもので、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。接合部のボルトピッチは60mmとし、端あき距離は40mmを基本とし、A-3(無補強)のみ30mmとした。また、補強材間の距離を300mm、最後尾の既存ボルト位置のガセットプレートの板幅を160mmとし、3本ボルト以上の板幅長さを確保し上下部接合部をともに試験対象とした。また、試験体は比較用の無補強と、文献4)の試験体も含めた計6体とし、既存ボルトと連結ボルト、補強ボルトの本数と補強材の長さをパラメーターとした。

連結ボルトの本数に関しては、既存ボルトが2本のS-2とO-2の試験体では3本とし、既存ボルトが3本のS-3とO-3の試験体は2本とした。これはボルト5本で規定される突出脚有効率が保有耐力接合の条件を満足するためであり、既存ボルトと連結ボルトの合計本数が5本となるように連結ボルトの本数を決めた。

また補強ボルトの本数に関しては、Sパターンでは補強ボルトを取り付けないため、ガセットプレートのボルト本数が変化せず、さらに2章で想定したガセットプレートへの過大な応力集中のため、耐力の確保が難しい。したがって、ガセットプレートの耐力についても検討するためにプレートの厚さを6mm

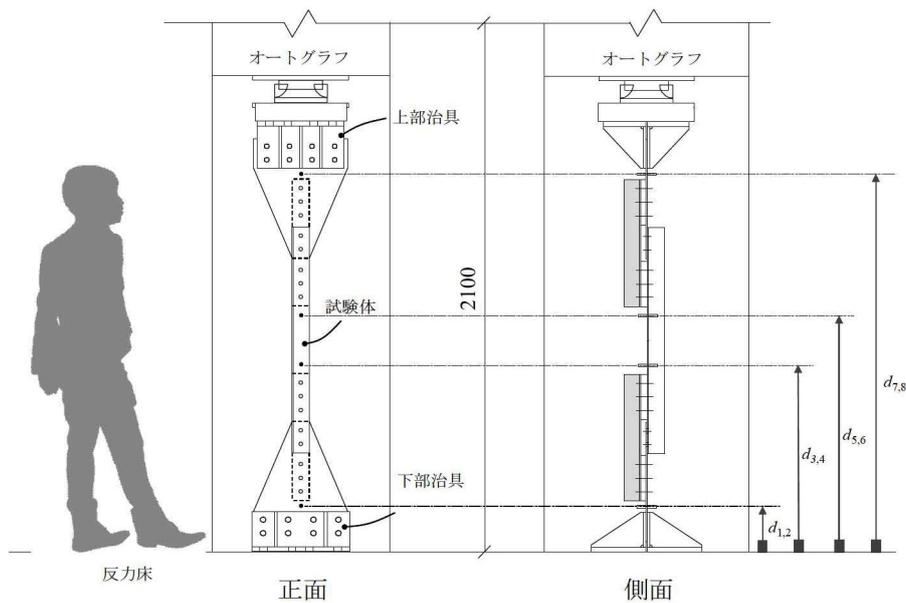


図3 セットアップ

表1 材料試験結果

	鋼種	σ_y [N/mm ²]	σ_u [N/mm ²]	YR [%]	ϵ_u [%]
L75x6	SS400	316	440	72	36
PL-6		276	407	68	40
PL-9		284	422	67	45

使用試験片: JIS-5号試験片

σ_y : 降伏点, σ_u : 引張強さ, YR: 降伏比, ϵ_u : 破断伸び

とし、ガセットプレートで破断するように設計した。

Oパターンは補強ボルトの本数をO-2は3本、O-3は2本とした。これは連結ボルトの本数分の応力をガセットプレートに伝達する必要があるため、補強ボルトと連結ボルトのボルト本数は同数とした。ガセットプレートのボルト本数はO-2とO-3いずれも5本に増加するため、ガセットプレートの耐力も上昇すると考えられ、Sパターンと比較するためプレートの厚さを6mmとした。

文献4)の補強パターンは、Sパターンと同様に既存材の前方に連結ボルトを追加して補強材を既存ボルトと連結ボルトで接合している。また、ガセットプレートの厚さは9mmとし、補強材はプレートとし

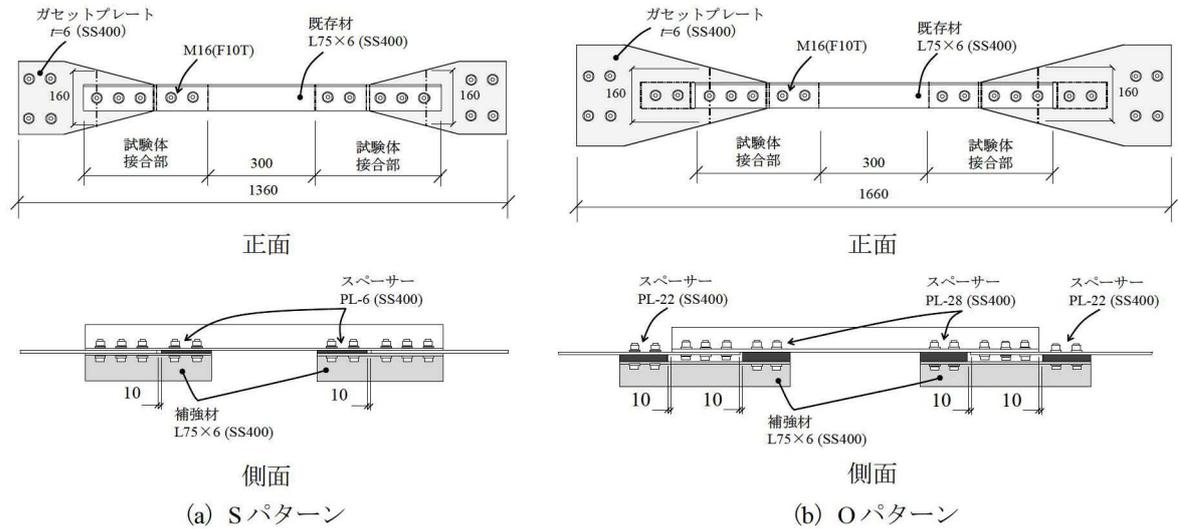


図4 試験体の概要

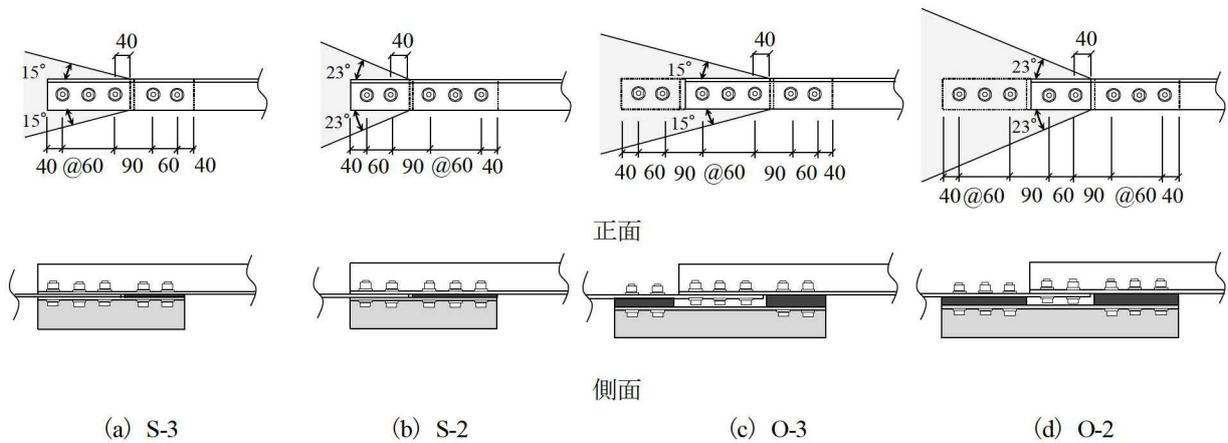


図5 試験体接合部の詳細

表2 試験体一覧と接合部耐力の計算値

試験体	既存の接合部構成			補強の接合部構成			cal P_u [kN]			
	断面	ボルト	ガセットプレート	断面	連結ボルト	補強ボルト	有効断面		はしめけ破断	
							筋かい	ガセットプレート	筋かい	ガセットプレート
A-3	L75x6	3-M16	$t=9$	-	-	-	237	477	238	475
S-3	L75x6	3-M16	$t=6$	L75x6	3-M16	-	287	318	528	317
S-2		2-M16			2-M16		287	135		211
O-3	L75x6	3-M16	$t=6$	L75x6	2-M16	2-M16	287	776	528	528
O-2		2-M16			3-M16	3-M16				
文献4)	L75x6	3-M16	$t=9$	PL-6	2-M16	-	287	477	528	475

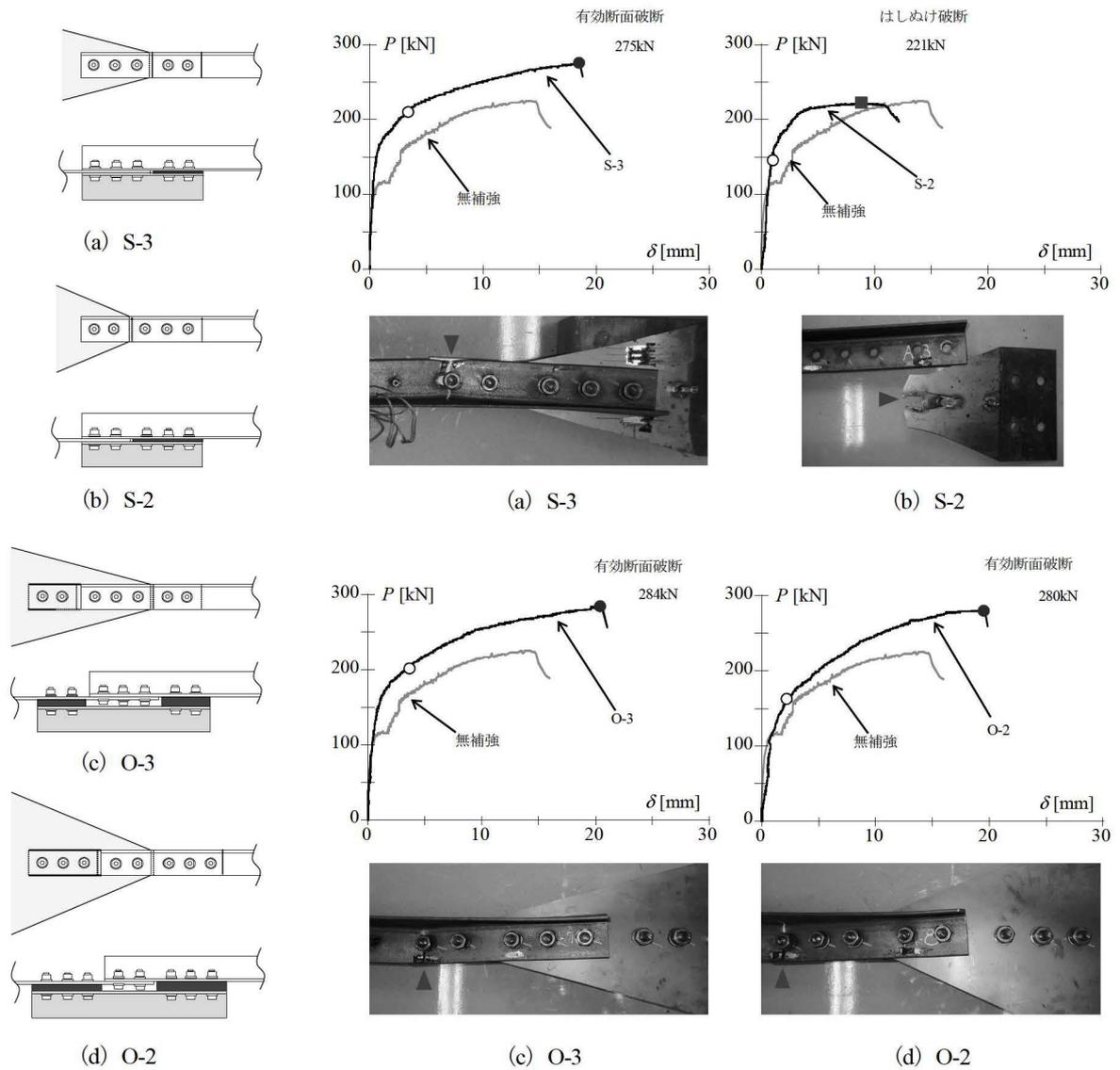


図6 接合部の荷重-変形関係と載荷後の様子

表3 実験結果一覧

試験体	cal P_u [kN]				exp P_u [kN]	γ_{exp} [-]	破壊形式	破壊位置
	有効断面		はしめけ破断					
	筋かい	ガゼットプレート	筋かい	ガゼットプレート				
A-3	237	477	238	475	225	0.46	有効断面破断	第一既存ボルト
S-3	287	318	528	317	275	0.71	有効断面破断	第一連結ボルト
S-2	287	135		211	221	0.44	はしめけ破断	ガゼットプレート
O-3	287	776	528		284	0.76	有効断面破断	第一連結ボルト
O-2					280	0.74		
文献4)	287	477	528	475	283	0.75	有効断面破断	第一連結ボルト

ている。補強材をプレート(PL-6)としており、アングルに比べて面外剛性や偏心が大きく影響するものと考えられる。

4. 実験結果と考察

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-変形関係と载荷後の様子を図6に示し、これら実験結果を表3にまとめる。図6中、第一連結ボルトにおける有効断面破断を●、ガセットプレートにおけるはしめけ破断を■にて示す。なお、高力ボルトのすべりが発生した部分を図から削除し、初期すべり発生点を○で示している。また、図中の灰色線はA-3(既存ボルト3本の無補強)の試験体であり、補強の有無による耐力の差を確認している。以下にパラメーターごとの試験体の結果と考察を示す。

Sパターンの最大耐力については、A-3(既存ボルト3本の無補強)が225kNであったのに対して、S-3で275kN、S-2で221kNとなった。S-3は無補強から50kN(22%)耐力上昇したが、S-2は4kN無補強時を下回っている。破壊形式は無補強は第一既存ボルトから亀裂が発生し破断に至ったが、補強を施したS-3は第一連結ボルトから亀裂が発生し破断に至った。一方、S-3と同様の補強を施したS-2は、ガセットプレートのはしめけ破断に至り、S-2の最大耐力は既存ボルトの本数分のはしめけ破断耐力と同程度であった。また、計算値ではガセットプレートの有効断面破断耐力のほうがガセットプレートのはしめけ破断耐力より小さかったが、後者の破断形式で最大耐力に至った。これは、応力が板幅長さまで広がり有効断面が増加したためと考えられる。Sパターンはガセットプレートのはしめけ破断耐力に対しては補強効果が得られないと言える。

Oパターンの最大耐力については、O-3で284kN、O-2で280kNとなり、それぞれ無補強からの耐力上昇はO-3は59kN(26%)、O-2は55kN(24%)である。破壊形式はO-3、O-2のいずれも第一連結ボルトから亀裂が発生して破断に至った。既存ボルトの本数に関係なく同程度の耐力上昇による補強効果が得られた。また、Sパターンと比べても同程度の補強効果が得られた。

さらに文献4)の試験体における最大耐力は283kNとなり、無補強からの耐力上昇は58kN(26%)である。

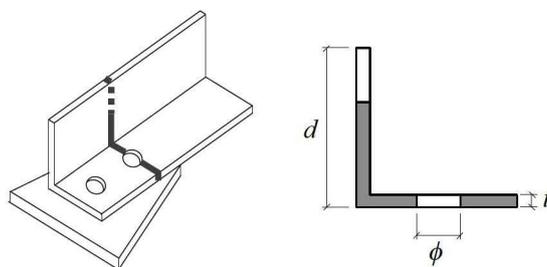


図7 無補強山形鋼における有効断面

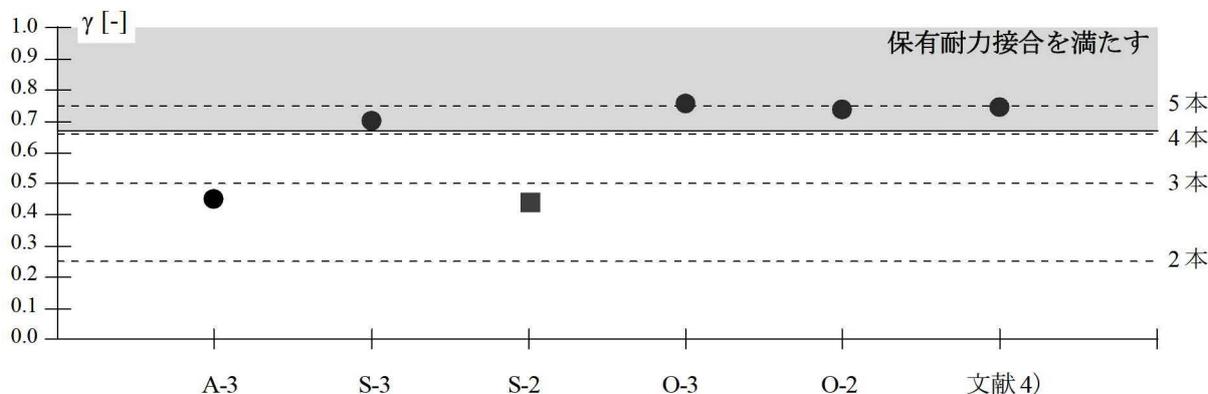


図8 突出脚有効率とその必要値の比較

破壊形式は第一連結ボルトに亀裂が発生して破断に至っている。こちらもS-2を除いた他の試験体と同程度の補強効果が得られたことから、補強材の形状は最大耐力への影響が小さいと言える。

4.2 突出脚有効率による保有耐力接合の検討

最後に、保有耐力接合の条件について検討する。突出脚有効率の算出は等辺山形断面を対象として、図7に示す簡略化された形状にて行う。実験より得られた突出脚有効率を、その必要値と併せて図8に示す。図中の実験結果に対する表現は図6と同様である。また、鋼構造接合部設計指針¹⁾のボルト本数で規定される突出脚有効率を破線で示す。

ここで保有耐力接合を満たすのに必要な突出脚有効率は、保有耐力接合の条件式を突出脚有効率について整理することで得られる³⁾。

$$\gamma \geq (\alpha \cdot YR_F - 1) \cdot (2 - \frac{t}{d}) + (1 - \frac{\phi}{d}) \quad \dots (1)$$

ここで、 YR_F : 鋼材の基準強度の降伏比

α : 接合部係数(1.2)

また、突出脚有効率の実験値 γ_{exp} は、最大耐力 P_u を次式を用いて変換することで得られる。

$$\gamma_{exp} = \frac{P_u \cdot 10^3}{\sigma_u \cdot t \cdot d} - (1 - \frac{\phi}{d} - \frac{t}{d}) \quad \dots (2)$$

本実験結果では、A-3(無補強)とS-2の試験体を除く、連結ボルトで有効断面破断した試験体が保有耐力接合を満たす結果となった。なお、S-2の試験体については必要な突出脚有効率まで上昇する前に、ガセットプレートではしめけ破断したため保有耐力接合を満たさなかったと考えられる。また、既存ボルトの本数に関係なく必要な保有耐力接合を満たすことから、保有耐力接合の条件を満たすには追加したボルトを含めた既存材のボルト本数を5本にしておく必要があると言える。

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、補強効果を載荷実験により確認した。本実験で得られた結果を以下にまとめる。

[1]Sパターンについては、ガセットプレートのはしめけ破断耐力に対する補強効果を得られなかった。

[2]補強を施すことで既存ボルトと連結ボルトの合計本数で規定される突出脚有効率が得られる。

[3]Sパターンにおける補強材の形状は、最大耐力への影響が小さい。

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) 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，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