

継手長さの異なる山形鋼筋かい接合部に関する研究

Study on angle brace connections with different splice length

○神谷 勇成*1 木藤 一輝*1 薩川 恵一*2 吉敷 祥一*3
Yusei KAMIYA*1 Kazuki KITO*1 Keiichi SATSUKAWA*2 Shoichi KISHIKI*3

ABSTRACT The joint strength of angle brace with high-tension bolted friction connections has been proposed to evaluate based on the number of bolts or focusing on factors other than the number of bolts. In the study, the ultimate strength is organized in splice length through loading tests and numerical analysis using the finite element method. In addition, it is verified whether the ultimate strengths of angle brace can be grasped from the stress distribution of the angle brace in the axial direction. According to the results of loading tests and analysis, it is shown that when the splice length is equal, ultimate strengths is also approximately the same. It was also found that the ultimate strengths can be grasped from the stress distribution in the axial direction.

Keywords:山形鋼筋かい, 無効突出脚, 有効断面積, 継手長さ, 応力度分布
angle brace, invalid protrusion leg, effective cross-section area, leg splice length, stress distribution

1. はじめに

桁行方向でブレース構造が適用される体育館等の低層鉄骨建物は、災害時に避難所として利用されることから高い耐震性能が必要とされる。主要な構造部材である筋かいは、耐震性能を発揮させ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。

鋼構造接合部設計指針[1]では、表1に示すように接合ボルト本数（以下、ボルト本数）に応じた無効突出脚が提示されており、山形鋼の最大引張耐力と引張降伏耐力は式(1)(2)を用いて算出している。

文献[2][3]では、単一山形鋼を対象とした多数の実験結果に対する統計的分析から作用応力方向のボルト本数以外にも接合面の幅、ボルト孔径、面

外偏心量、へりあき距離、継手長さ、突出部のせいが有効断面積に大きく影響を与えていることを明らかにして、精度の良い接合部有効断面積の評価式を提示している（式(3)）。

文献[4]では、ボルト本数、ボルトピッチ（以下、ピッチ）、ボルト孔径、面外偏心量、面内偏心量の5変数を挙げ、継手長さ、面外偏心量、面内偏心量の3変数が接合部の有効断面積に大きく影響を与えるとして簡易化した評価式を提案している。

そこで本研究では、文献[4]と同じ考え方に立ち、単一山形鋼接合部の継手長さに着目して、載荷実験と有限要素法を用いた数値解析を通して、引張最大耐力と有効断面積を継手長さで整理することを目的とする。載荷実験では、山形鋼3種の断面

*1 非会員（学生）

学士（工学）愛知工業大学大学院 工学研究科
建設システム工学専攻

（〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草 1247）

*2 第2種正会員

博士（工学）愛知工業大学 工学部建築学科
教授

（〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草 1247）

*3 第2種正会員

博士（工学）東京工業大学 科学技術創成研究院
未来産業技術研究所 教授

（〒226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田 4256）

表1 突出脚の無効部分の長さ（文献[1]）

応力方向のボルト本数	1	2	3	4	5
突出脚の無効部長さ	h-t	0.7h	0.5h	0.33h	0.25h

$$cP_u = A_e \cdot \sigma_u \quad (1)$$

$$cP_y = A_e \cdot \sigma_y \quad (2)$$

cP_u : 引張最大耐力 cP_y : 引張降伏耐 A_e : 有効断面積

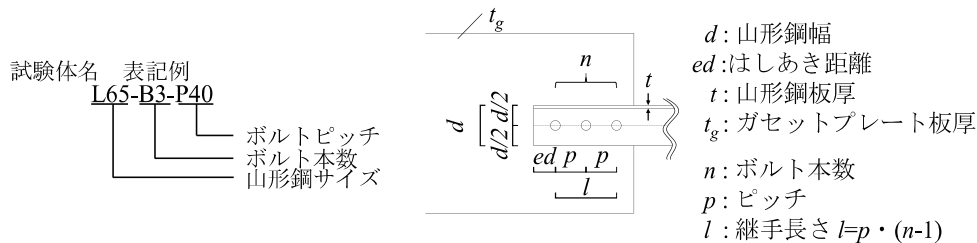
$$\sigma_u: \text{引張強さ} \quad \sigma_y: \text{降伏応力度}$$

$$A_e = 3.14A_n \left(1 - \frac{0.24}{n}\right) \left(1 - 0.64 \frac{\omega - d}{\omega}\right) \left(1 - \frac{0.23e_x}{l_1}\right) \cdot \left(1 - \frac{0.76e_y}{l_1}\right) \left(1 - \frac{0.12\omega}{e_2}\right) \left(1 - \frac{0.23h}{\omega}\right) \quad (3)$$

表 2 試験体一覧

試験体名	山形鋼断面 $d \times t$	GPL板厚 t_g [mm]	GPL鋼材	ボルト本数 n [本]	ボルトサイズ	はしあき ed [mm]	ピッチ p [mm]	継手長さ l [mm]	eP_u (kN) 実験	eP_y (kN) 実験	aP_u (kN) 解析	aP_y (kN) 解析								
L65-B3-p40	65 x 6	9	SS400	3	M16	40	40	80	216	147	※193	※142								
L65-B3-p60							60	120	237		※232									
L65-B5-p40				5			40	160	250		※251									
L65-B5-p60							60	240	265		※262									
L75-B3-p40	75 x 6			9			SS400	3	M16	40	40	80	235	172	284	172				
L75-B3-p60											60	120	265		309					
L75-B3-p120								120			40	160	287		280					
L75-B5-p40											5	40	160		287		280			
L75-B5-p60								60				240	308		309					
L75-B5-p120								120			480	321	322							
L90-B3-p50	90 x 7							9			SS400	3	M20	50	50	100	339	281	※301	※240
L90-B3-p70															70	140	374		※339	
L90-B3-p140												140			50	280	435		※418	
L90-B5-p50															5	50	200		416	
L90-B5-p70												70				280	441		※404	
L90-B5-p140												140			560	456	※448			
			SM490																	

※ 数値解析では、L75x6の鋼材を使用している



を対象にボルト本数、ピッチをパラメータとして引張降伏耐力及び引張最大耐力を検証する。数値解析では、載荷実験で行っていないボルト本数を対象加えて、ピッチを変数として、引張降伏耐力および引張最大耐力を検証する。そして載荷実験と数値解析結果より得られる有効断面積について、文献[1][3]との比較検証と文献[4]と同様に継手長さで整理できることを確認する。

2. 載荷実験

2.1 試験体

表2に試験体一覧を示す。表の下には試験体表記名を示す。表の右側には、載荷実験と数値解析から得られた引張降伏耐力と引張最大耐力を示している。載荷実験では、計16体の試験体を用意した。試験体パラメータは山形鋼断面、ボルト本数、ピッチとした。ガセットプレートは長方形型とし、板厚はすべての試験体ともに9mmとした。山形鋼断面はL65x6、L75x6、L90x7の3種類とした。ボルト本数は、ガセットプレートと山形鋼を接合するボルトが3本、5本の試験体を対象とした。また、ピッチは高力ボルトの呼び径に応じた標準

表 3 鋼材の機械的性質

鋼材	鋼種	σ_y [N/mm ²]	σ_u [N/mm ²]	Y.R. [%]	ϵ_u [%]
L65x6	SS400	334	462	72	27
L75x6		324	456	70	29
L90x7		379	476	80	30
ガセット	SS400	325	445	73	30
	SM490	401	548	73	25

値[1] (以下、標準ピッチ) を基準とし、最小値[1] (以下、最小ピッチ)、標準ピッチの2倍の3種とした。接合に用いる高力ボルトの呼び径は、L65x6とL75x6ではM16(F10T)、L90x7ではM20(F10T)とした。ボルト孔の位置は、山形鋼幅の中心位置として、はしあき距離はM16では40mm、M20では50mmとした。高力ボルトの締め付けは、トルクレンチで100N・mの一次締めを行い、山形鋼、ワッシャー、ナットおよびボルトにマーキングしてナットを120度回転させて締め付けるナット回転法により行った。山形鋼とガセットプレートの摩擦接合面は黒皮のままとした。

表3に鋼材の機械的性質を示す。表中には、試験体を使用した山形鋼について JIS Z 2241 における5号試験片より得られた鋼材の機械的性質を示している。

2.2 実験方法と載荷計画

図1に載荷実験のセットアップを示す。試験体は、上下のガセットプレートをそれぞれリブ付きL字型治具に挟み込んで載荷装置へ固定している。載荷は試験体上部に強制変形を与え、引張最大耐力を發揮してからき裂の進展などに伴って耐力の低下が確認できるまで行った。荷重は試験機に設置したロードセルより軸方向力 P を取得する。

試験体の変形は、上下接合部のガセットプレート、山形鋼の表裏にターゲットを設け、計8台のばね式変位計にて絶対変位を測定し、図中に示す

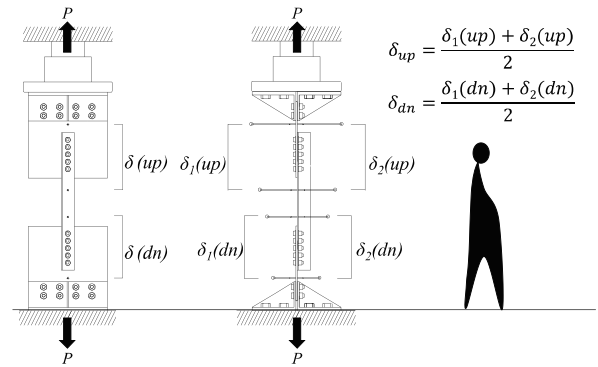
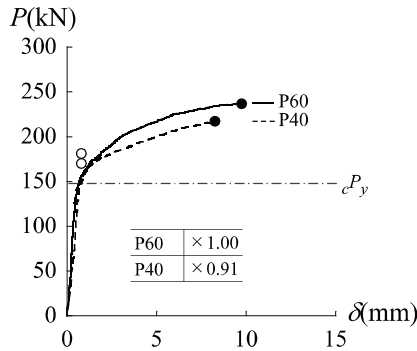
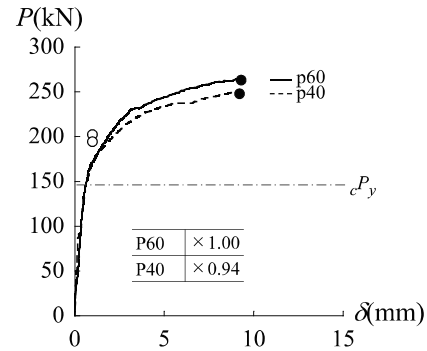


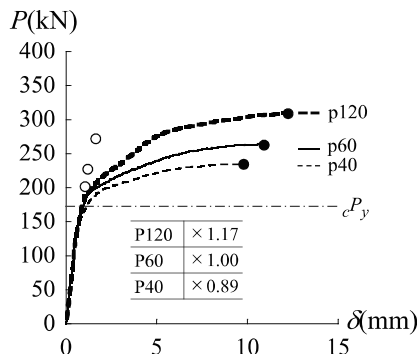
図1 セットアップ



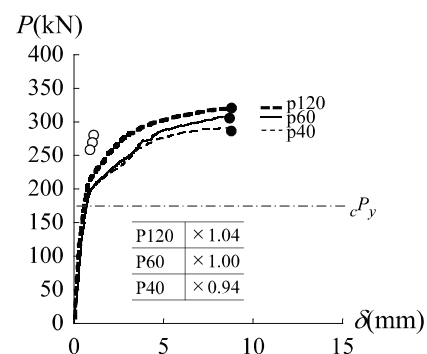
(a) L65-B3



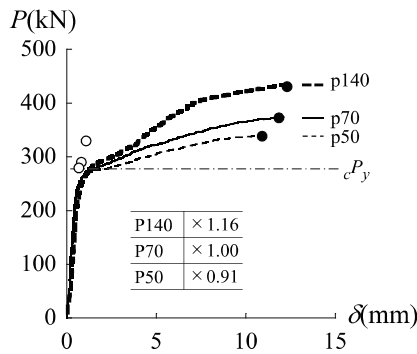
(b) L65-B5



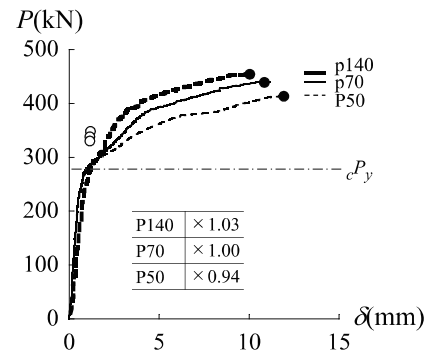
(c) L75-B3



(d) L75-B5



(e) L90-B3



(f) L90-B5

図2 載荷実験におけるボルト本数、山形鋼サイズごとの荷重変形関係

式で各計測区間の変位計の差分から上下接合部の相対変位 δ_{up} , δ_{in} を取得した. 上下接合部のうち, へりあき部が破断した一方を変形量 δ として採用した. 変形量 δ は, 表裏の平均値とした.

2.3 実験結果

図2に荷重実験の荷重変形関係を示す. 荷重変形関係は, 耐力の差異を明確にするために, 高力ボルト摩擦接合のすべりによる変形進行を除去し, 引張最大耐力発揮以降の耐力低下も除去して示している. 写真1に試験体の破断性状を示す. 全ての試験体の破断性状は, 第一ボルト孔位置でへりあき破断に至った.

図2(a)から(f)は, 山形鋼のサイズ別と各ボルト本数別に示している. 図2(a)(b)は山形鋼断面がL65×6, (c)(d)はL75×6, (e)(f)はL90×7とし, (a)(c)(e)はボルトが3本, (b)(d)(f)はボルト5本の場合の結果を示している. 各図中の●印は引張最大耐力(eP_u)を示している. 図中の表は, 標準ピッチを基準とし, 最小ピッチ, 標準ピッチの2倍の引張最大耐力が標準ピッチの引張最大耐力に対して何倍であるかを示している.

引張降伏耐力について検証する. 図中に示す赤破線は文献[1]で与えられる引張降伏耐力の計算値(eP_y)を示している. 引張降伏耐力の算出方法は, 突出脚長さの1/2を無効突出脚として, 山形鋼断面の全断面積から無効突出脚断面積とボルト孔の断面積を除いた断面積を表3に示す降伏応力度を乗じることにより引張降伏耐力(eP_y)を算出した. 荷重実験の引張降伏耐力(eP_y)は, 5mm変形時以降の近似直線を二次剛性とし, 一次剛性との交点と定義した. 文献[1]による引張降伏耐力(eP_y)と荷重実験の降伏耐力(eP_y)を比較すると, 実験値が計算値を超え, 安全側に評価できているといえる.

引張最大耐力について検証する. 図2(a)(c)(e)のボルト3本について, ピッチの長さが引張最大耐力に与える影響について確認する. 最小ピッチの引張最大耐力は, 標準ピッチの引張最大耐力に比べて低くなっている. 3種の山形鋼断面を比較すると, 最小ピッチの引張最大耐力は標準ピッチの引張最大耐力から約10%低下している. 標準ピッチの2倍の引張最大耐力は, 標準ピッチの引張最大耐力から約16.5%上昇している. 図2(b)(d)(f)のボルト5本について, 最小ピッチの引張最大耐力は, 標準ピッチの引張最大耐力より6%低下し, 標準ピッチの2倍の引張最大耐力は, 標準ピッチの引張最大耐力から4%上昇している. 以上のことから, 引張最大耐力はボルト本数だけ

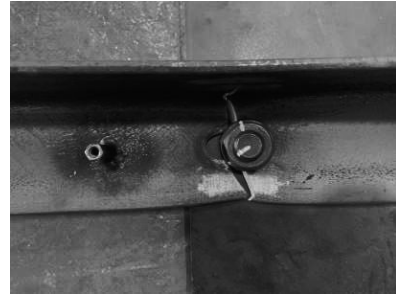


写真1 破断性状

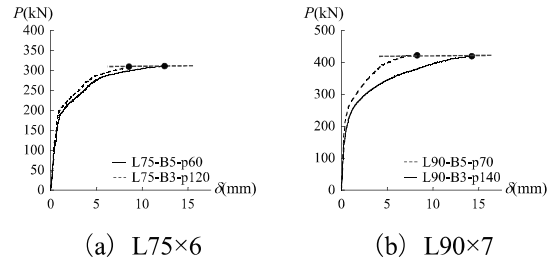


図3 継手長さが同一の荷重変形関係 (実験)

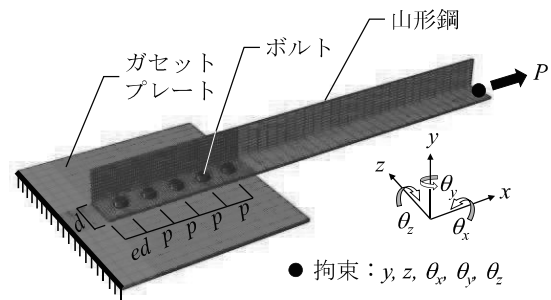


図4 解析モデル概要

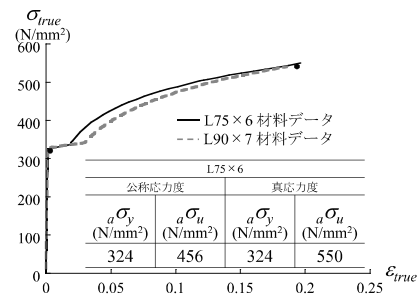


図5 数値解析で使用する材料特性 (真応力度-対数ひずみ度関係)

ではなく, ピッチが長くなるにつれて大きく上昇するが, ボルト本数が多い場合は, 引張最大耐力の上昇度合いは小さくなる傾向が見られた.

図3の(a)にL65×6の継手長さ l が240mm, (b)にL75×6の継手長さ l が280mmとなる試験体の荷重変形関係を合わせて示す. 継手長さ l は, 式(4)により定義している.

$$l = p \cdot (n - 1) \quad (4)$$

赤破線で示す通りボルト本数，ピッチを問わず継手長さが同一であれば引張最大耐力はおおむね一致していることがわかる。

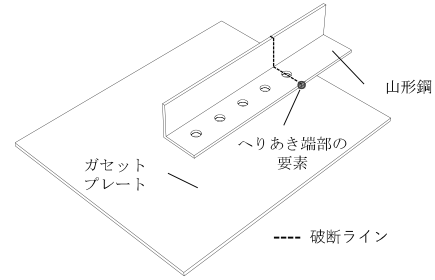


図6 引張最大耐力の定義

3. 数値解析

3.1 モデル概要

前章では，荷重実験を通してピッチやボルト本数が山形鋼接合部の引張降伏耐力と引張最大耐力におよぼす影響について検証した．本解析では，荷重実験で実施していないボルト本数が2本，4本を解析変数に加えて，ボルト本数とピッチをパラメータとして引張降伏耐力と引張最大耐力を検証する．

図4に解析モデルを示す．本解析では，Abaqus6.19[5]を使用した．解析に使用する要素は，6面体要素とする．山形鋼，ガセットプレート，高力ボルトの各部材をモデル化して，山形鋼とガセットプレートの要素分割は板厚方向を2分割した．山形鋼，ガセットプレートは弾塑性体とし，ボルトは弾性体とした．各モデル間の相互作用は，接触を考慮している．接線方向は剛接触とし，接

表4 解析パラメータ

山形鋼サイズ $d \times t$	GPL板厚 t_g [mm]	ボルトサイズ	ボルト本数 n [本]	はしあき ed [mm]	ピッチ p [mm]	継手長さ l (mm)
65x6	9	M16	2~5	40	40~160	40~500
75x6					40~160	40~500
90x7		M20	2~5	50	50~140	40~580

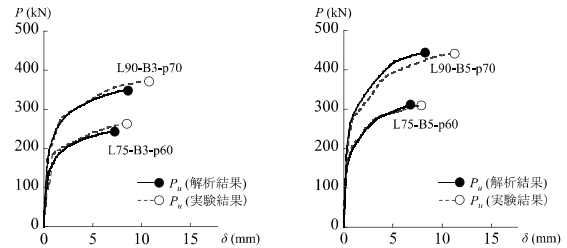


図7 荷重実験結果と数値解析結果との対応

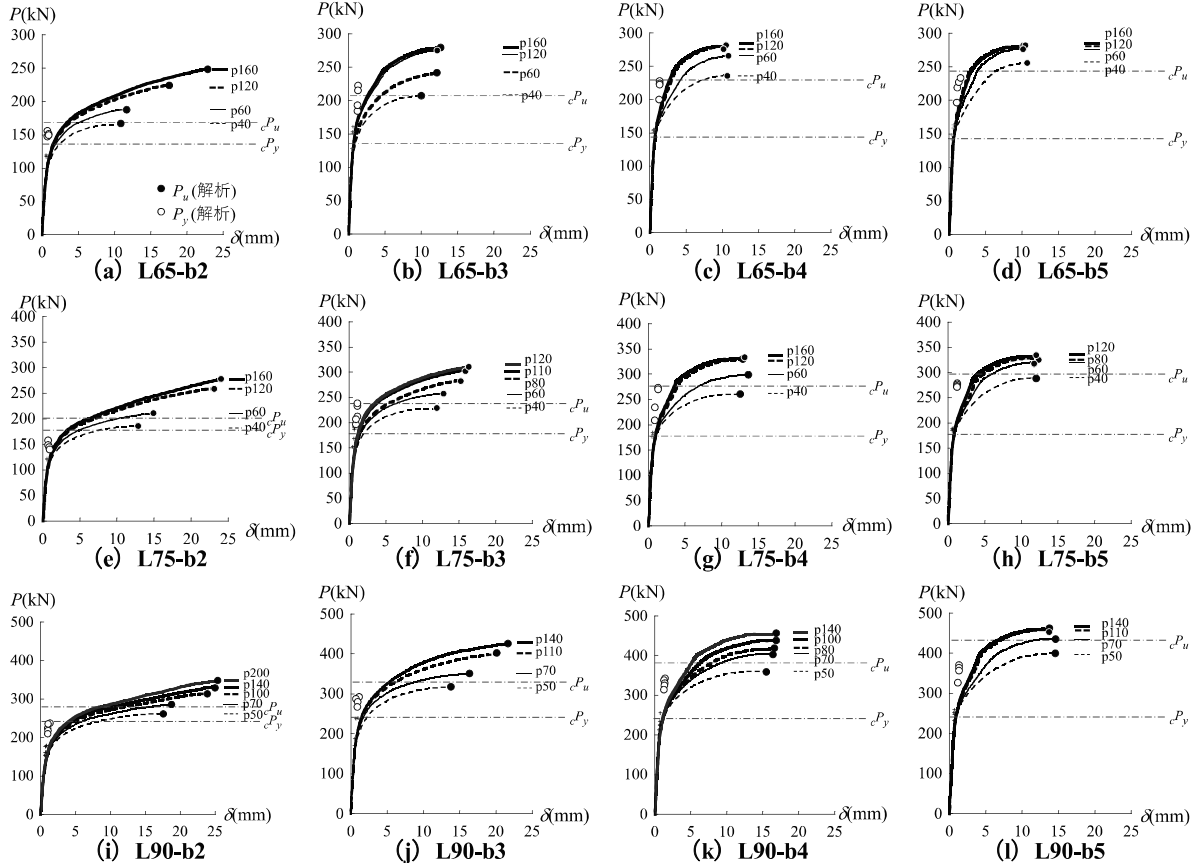


図8 数値解析におけるボルト本数，山形鋼サイズごとの荷重変形関係

線方向の摩擦は考慮していない。対象とする接合部の引張最大耐力は支圧状態となることから、各モデルの配置は、支圧状態から始まるように設定している。ボルト孔径は、試験体と同様にボルト軸部直径に2mmを加えた値とした。境界条件は、ガセットプレート端部を固定端とし、荷重点はボルト位置の作用軸上に設定し、強制変形を与えている。

図5に解析で使用した真応力度-対数ひずみ度関係を示す。数値解析で使用する材料特性は、引張試験より得られた応力度-ひずみ度関係を真応力度-対数ひずみ度関係に変換して入力している。ガセットプレートの材料特性は、ガセットプレートのSS400の材料特性を使用する。図7の数値解析で用いた山形鋼の材料特性は、すべてL75×6を使用している。

図6に数値解析における引張最大耐力の決定方法を示す。数値解析における引張最大耐力は、へりあき端部の要素のMises応力度が引張強さ(σ_u)に到達した時点での荷重点の荷重としている。

表4に解析パラメータを示す。ガセットプレートは、全てのモデルに対して板厚9mmとし、山形鋼断面はL65×6, L75×6, L90×7とした。ボルトサイズは、L65×6, L75×6ではM16とし、L90×7ではM20とした。ボルト本数は、2本から5本までとした。ピッチは、最小ピッチ200mmまでの範囲と設定した。

図7に荷重実験結果と数値解析結果との対応を示す。荷重実験と数値解析結果の荷重変形関係の対応を確認する。各山形鋼サイズに対応した材料特性を用いて行った。数値解析の結果、荷重実験の荷重変形関係とおおむね良い対応を示している。

3.2 解析結果

図8に解析により得られた荷重変形関係を示す。図(a)から(i)は、山形鋼断面とボルト本数ごとの引張最大耐力に到達するまでの荷重変形関係を示している。図の配列は、上から順にL65×6, L75×6, L90×7とし、左から順にボルト2本, 3本, 4本, 5本とした。各図中の●印は引張最大耐力(aP_u)を示し、赤破線の引張最大耐力(cP_u)、引張降伏耐力(cP_y)は、それぞれ文献[1]で示されている式(1)(2)を用いて算出している。数値解析の引張降伏耐力(aP_y)は、荷重実験と同様に荷重変形関係の5mm変形時以降の接線近似直線と一次剛性との交点と定義した。各山形鋼サイズにおけるボルト2本の引張降伏耐力では、文献[1]により算出した引張降伏耐力(cP_y)よりも少し低い傾向がみられた。一方、その他すべてのモデルにお

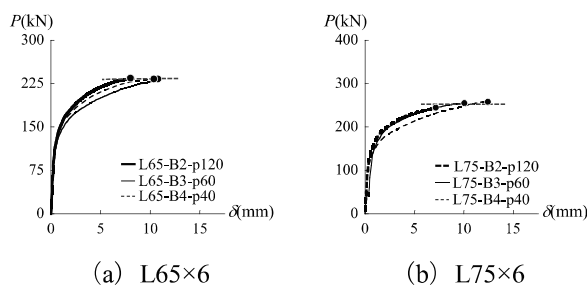


図9 継手長さが同一の荷重変形関係(解析)

ける引張降伏耐力は文献[1]により算出した引張降伏耐力(cP_y)より上回っていることから安全側に評価できていることがわかる。

ピッチが引張最大耐力に与える影響について検証する。山形鋼断面L75×6(図7(e)(f)(g)(h))について、標準ピッチの60mmから標準ピッチの2倍120mmの間で標準ピッチの引張最大耐力に対する上昇倍率を比較すると、ボルト2本では1.36倍、ボルト3本では1.25倍、ボルト4本では1.06倍、ボルト5本では1.04倍となる。L65×6, L90×7についても同様の傾向が見られた。以上より、ボルト本数が少なくなると、ピッチが引張最大耐力に及ぼす影響は大きくなっている。

図9(a)にL65×6の継手長さ l が240mm、(b)にL75×6の継手長さ l が280mmとなるモデルの荷重変形関係を合わせて示す。荷重実験と同様に引張最大耐力は赤破線で示すようにおおむね対応している。以上のことから各山形鋼断面について、継手長さが同一であれば、引張最大耐力はおおむね一致することがわかる。

3.3 破断面の応力度分布

本節では、破断面の応力度分布を検証する。図10に応力分布を取得する位置と方法を示す。図10左に示すように応力分布を取得する位置は、へりあき端部の要素が破断した第一ボルト孔の断面を取り出している。図10右に示すように破線で示す山形鋼板厚の中心線を中心として回転させたものを仮想平板とする。図中の斜線部で示す仮想平板の図心側に近い要素について、作用軸力方向の真応力度を取り出す。なお、得られる軸力方向の真応力度は、公称応力度に変換して破断面の応力度分布を描く。また、圧縮応力度はゼロと表記している。

図11に破断面の応力度分布を示す。図11上段(a)(c)(e)はL75×6, 下段(b)(d)(f)はL90×7の応力度分布を示し、左側はボルト3本, 中央はボルト5本, 右側は継手長さの等しいモデルの一例としてL75-B5-p60とL75-B3-p120, L90-B5-p70

と L90-B3-p140 を示す. 図 11 (a) (b) (c) (d) について, ピッチの違いによる破断面の応力度分布を検証する. 全てのモデルにおいて, へりあきから突出脚下端までは, 引張強さ ($a\sigma_u$) に到達している. 突出脚下端から突出脚上端へ向かって応力度が低下している. ピッチが大きくなるにつれて突出脚上端まで応力負担をしていることがわかる. 図 11 (e) (f) について, 同一断面で継手長さが同じである応力度分布を示す. ボルト本数, ピッチによらず, 継手長さが同一の場合, 仮想平板の応力度分布はおおむね良い対応を示している. 継手長さが等しければ引張最大耐力と破断面の応力度分布も等しくなる.

4 考察

4.1 ピッチで整理した有効断面率の検証

図 12 に実験結果と解析結果の有効断面率-ピッチ関係を示す. 有効断面率 (A_e/A_n) は, 有効断面積 (A_e) の値をボルト孔を控除した全断面積 (A_n) で除して定義をする. 有効断面積 (A_e) は, 式 (5) により算出した.

$$A_e = eP_u / e\sigma_u \text{ or } aP_u / a\sigma_u \quad (5)$$

載荷実験の有効断面率は, 載荷実験の引張最大耐力を表 3 に示す試験体の各山形鋼断面に対応する機械的性質の引張強さ ($e\sigma_u$) で除している. また,

数値解析の有効断面積は, 数値解析の引張最大耐力を図 5 に示す解析で使用した材料特性の引張強さ ($a\sigma_u$) で除している. 図 12 (a) は L65×6, (b) は L75×6, (c) は L90×7 の結果を示している. 図 12 の破線は, 文献[1]で示されるボルト本数ごとの有効断面積を有効断面率に変換して示し, 実線は文献[3]のボルト本数ごとの有効断面積を有効断面率に変換した結果である. ■, ▲は載荷実験によって得られたボルト 3 本, 5 本の有効断面率を示し, ○, □, ◇, △は数値解析によって得られたボルト 2 本, 3 本, 4 本, 5 本の有効断面率を示している. ピッチによる有効断面率の変化を検証する. すべての山形鋼断面の有効断面率について, ボルト 2 本の有効断面率は, ピッチが最小ピッチから標準ピッチの 2 倍の間で約 60%から約 80%まで上昇しているのに対し, ボルト 5 本の有効断面率は, ピッチが最小ピッチから標準ピッチの 2 倍の間で約 80%から約 90%まで上昇している.

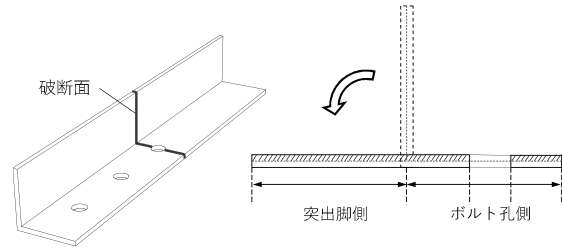


図 10 断面応力度分布の取得方法

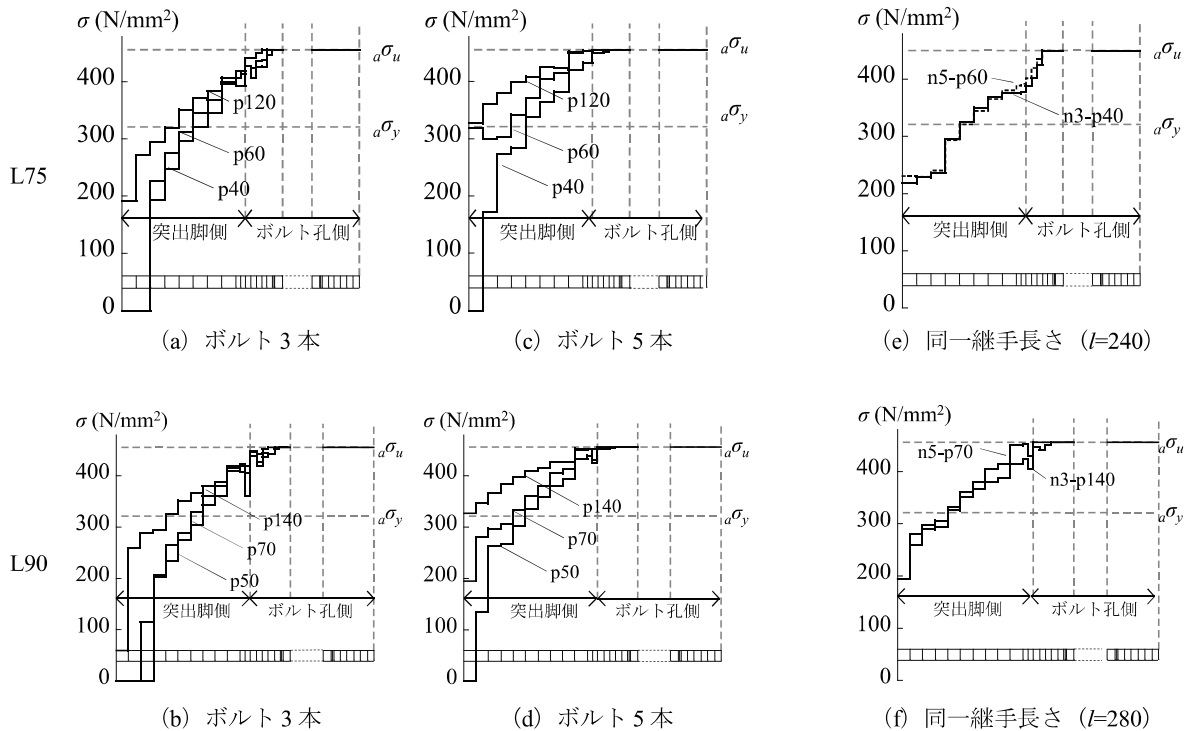


図 11 断面応力度分布

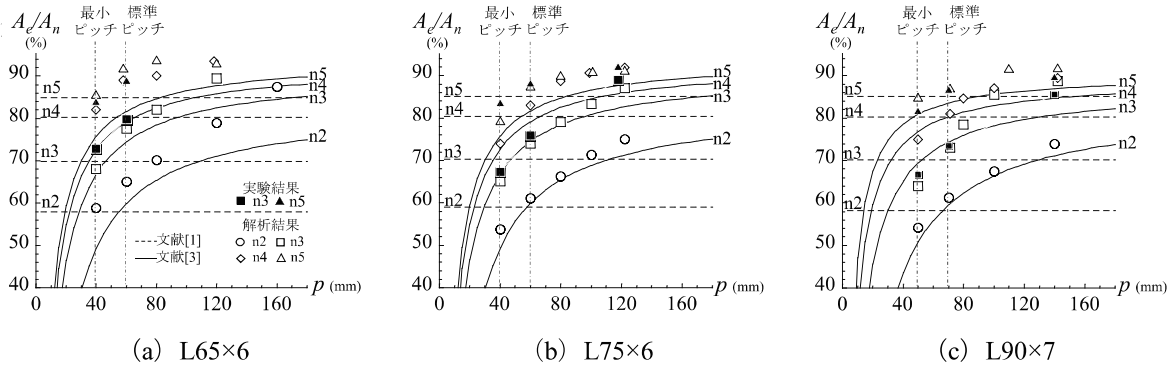


図 12 ピッチで整理した有効断面率

このことから、ピッチが長くなるにつれて有効断面率は、ボルト本数が少ないほど大きく上昇し、ボルト本数が多くなるにつれて、上昇しにくい傾向にあることがわかる。

文献[1]の評価式(式(1))と載荷実験結果および数値解析結果との比較を行う。図12(a)(b)(c)について、最小ピッチの有効断面率は、評価式を下回っている。一方、標準ピッチ以上の有効断面率は評価式に対して同程度あるいは大きく上回っている。以上の結果より、ピッチを長くすることによって表1に示すボルト本数は少なくすることが可能であると考えられる。

文献[3]の評価式(式(3))と載荷実験結果および数値解析結果との比較を行う。図12(a)について、ボルト2本、3本の有効断面率は、最小ピッチからピッチが長くなるにつれて評価式よりも大きく上昇している。一方、ボルト4本、5本の有効断面率は、最小ピッチの有効断面積が評価式よりも大きく上回っているが、ピッチが長くなるにつれて評価式と同程度で上昇している。図12(b)について、ボルト2本、3本では、おおむね良い対応を示している。ボルト4本では、評価式と最小ピッチの有効断面率がおおむね良い対応を示している

が、ピッチが標準ピッチ以上になると評価式に対して有効断面率は上昇している。ボルト5本では、最小ピッチから標準ピッチの2倍の有効断面率は評価式に対して全体的に上回っている。

図12(c)について、ボルト2本では、図12(b)のボルト2本と同様に有効断面率が評価式とおおむね良い対応を示している。ボルト3本では、標準ピッチの有効断面積は評価式より少し下回っているが、ピッチが標準ピッチより短くなる場合には評価式をより下回り、標準ピッチより長くなる場合には評価式に対して大きく上昇している。ボルト4本、5本では、図12(b)のボルト5本と同様に最小ピッチから標準ピッチの2倍の有効断面率は評価式に対して全体的に上回っている。

4.2 継手長さにおける有効断面率の検証

図13に図12の横軸であるピッチを継手長さに変更して有効断面率を再整理して示す。図中の赤線は文献[4]で提案されている式(6)により得られた有効断面積(A_e)を有効断面率(A_e/A_n)に変換して示している。

$$A_e = A_n \cdot \left(1.04 - \frac{2.15}{l} - 0.006e_x - 0.10e_y \right) \quad (6)$$

式(6)は、ボルト本数、ピッチを問わず継手長さ

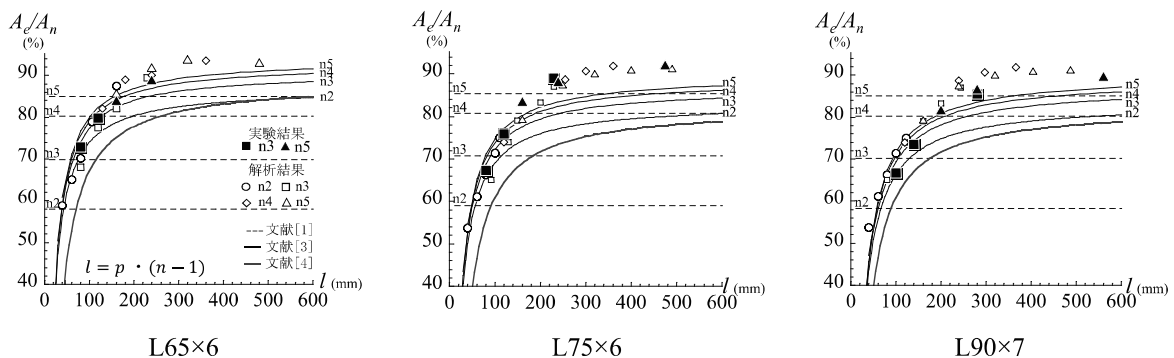


図 13 継手長さで整理した有効断面率

($l=p \cdot (n-1)$) と面外偏心量 (e_x), 面内偏心量 (e_y) により有効断面積を算出している. 各山形鋼断面について, 有効断面率と継手長さとの関係に対数関数のような曲線に近似が可能であることがわかる. ボルト本数, ピッチによらず有効断面率は継手長さで整理することにより統一的な評価が可能であると考えられる.

文献[4]により得られた曲線と本研究により得られた有効断面率を比較すると, 有効断面率は文献[4]の評価式よりも全体的に上回っていることから安全率を見込んでいることがわかる.

5. まとめ

本研究では, 単一山形鋼の継手長さに着目して, 載荷実験と数値解析を通して, 有効断面率を継手長さで整理した.

本研究より得られた結果を以下にまとめる.

- ・単一山形鋼断面の剛性低下が始まる点は, 文献[1]により算出される引張降伏耐力に対して一部低い結果が見られたがおおむね良い対応を示している.
- ・山形鋼の引張最大耐力はボルト本数が少ないほどピッチの影響を受けやすくなる.
- ・同一断面でボルト本数, ピッチによらず継手長さが等しい場合, 引張最大耐力と破断面の応力度分布は一致する.
- ・有効断面率を継手長さで整理することによってボルト本数, ピッチによらず統一的な評価が可能である.

今後は, 載荷実験においてボルト本数をパラメータとしてさらに実験を行う予定である. また, 数値解析ではボルト本数, ピッチに加えて, 鋼材の機械的性質をパラメータとして解析を行う予定である.

謝辞

本論文の研究成果は, 2020年度東京工業大学 科学技術創成研究院 フロンティア材料研究所 共同利用研究を利用して得られたものです. また本実験を遂行するにあたり, 愛知工業大学の飯島海渡君, 高木嶺於君, 辻翔太郎君に協力いただきました. 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, pp.237-238,2021.2
- [2] 田沼吉伸, 加藤勉, 森田耕司:山形鋼筋違接合部の耐力に関する研究, 日本建築学会論文報告集 No.325,pp.32-39,1983.3
- [3] 日本建築学会:高力ボルト接合設計施工ガイドブック,pp.39-46,2016.5
- [4] 藤本盛久, 難波恒夫, 中込忠男, 西山隆志, 下川弘海, 久保田一男:鋼構造筋かい接合部の耐震安全性に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文報告集.No.445,1993.3
- [5] ABAQUS6.19 USER'S MANUAL