

山形鋼筋かい端接合部に対する乾式補強法  
その8 数値解析による面内応力の検証

正会員 ○平田 博宗\*1 同 須崎 由也\*1  
同 薩川 恵一\*2 同 鈴木 壮\*3  
同 吉敷 祥一\*4

山形鋼 高力ボルト摩擦接合 筋かい  
保有耐力接合 突出脚

1. はじめに

前報(その7)に引き続いて、本報(その8)では、提案している試験体について、有限要素法を用いた数値解析により面内の応力伝達を検討する。

2. 解析概要

図1に解析モデルを示す。解析で使用する要素は、八節点立体要素であり、山形鋼、ガセットプレート、ボルト、ワッシャーの各部材をそれぞれモデル化する。各モデル間の相互作用は、接触を考慮する。接触方向の挙動は各モデル間で剛とし、接触接線方向の挙動は摩擦を与えている。摩擦は、クーロン摩擦として接触面に摩擦係数を与えている。各モデル間の摩擦係数(すべり係数)は、0.23とする。初期導入ボルト張力は、標準ボルト張力を用い、Pretension機能で入力している。載荷は下部ガセットプレート端を固定し、上部ガセットプレート端を部材軸方向に強制変形を加える。

図2に解析で使用した材料特性を示す。ガセットプレート、山形鋼の材料特性は、載荷実験で使用した材料試験を真応力度と対数ひずみ度関係に変換して多直線近似したものをを用いている。

3. 解析結果

表1に解析対象一覧を示す。既存材となる山形鋼は、L65x6、L75x6、L90x7を対象とし、既存ボルト2本、3本に連結ボルト本数を加えた計5本を既存材に接続する。な



図1 解析モデル

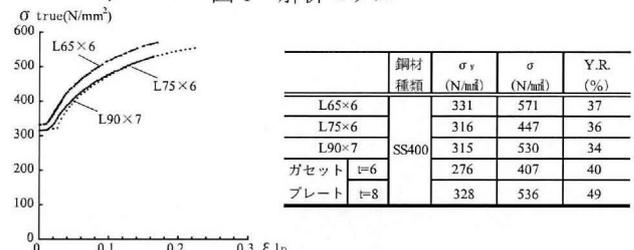


図2 材料データ

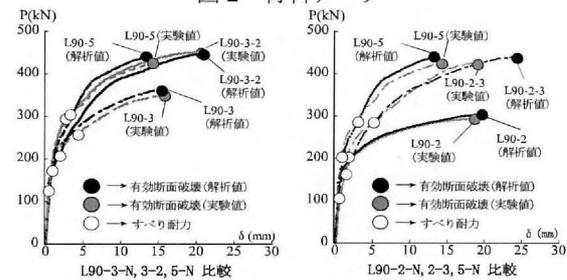


図3 解析-載荷実験結果比較

$$\gamma_{exp} \sigma_{y_{max}} = \frac{\sigma_{exp} P_u}{\sigma_s \cdot t \cdot d} = \left( I - \frac{\phi}{d} - \frac{t}{d} \right) \dots (a) \quad \gamma = \frac{d-d_s}{d} \dots (b)$$

保有耐力接合を満たす条件式( $\gamma_{req}$ )<sup>4)</sup>

$$\gamma \geq \sigma \cdot YR_p - I \cdot \left( 2 - \frac{t}{d} \right) + \left( I + \frac{\phi}{d} \right) = \gamma_{req} \dots (c)$$

α: 接合部係数(1.2)<sup>3)</sup>  
Y.R.F: 鋼材の基準強度の降伏比

表1 解析対象一覧

モデル名称	既存材	ボルト本数		最大耐力		突出脚有効率			破断パターン	破断パターン表示				
		既存ボルト	連結ボルト	expPu 実験値	anaPu 解析値	pyexp (a)式	pyana (a)式	γreq						
L65-2-N	L65x6	2	3	193	203	0.44	0.40	0.71	(E)	既存ボルト有効断面破壊 (E)				
L65-3-N		3		232	247	0.66	0.65							
L65-5-N		5		259	280	0.81	0.83							
L65-2-3		2		266	282	0.85	0.85							
L65-3-2		3		268	287	0.86	0.87							
L75-2-N	L75x6	2	3	157	223	0.11	0.34	0.67	(C)	連結ボルト有効断面破壊 (C)				
L75-3-N		3		220	281	0.43	0.64							
L75-5-N		5		325	325	0.86	0.86							
L75-2-3		2		280	319	0.73	0.83							
L75-3-2		3		284	325	0.75	0.86							
L90-2-N	L90x7	2	3	294	306	0.34	0.41	0.68	(E)	既存ボルト有効断面破壊 (E)				
L90-3-N		3		350	366	0.53	0.62							
L90-5-N		5		426	440	0.79	0.89							
L90-2-3		2		427	440	0.79	0.89							
L90-2-3(M16)		2		3(M16)	454	447	0.89				0.87	0.63	(C)	既存ボルト有効断面破壊 (E)
L90-3-2		3		2	452	447	0.88				0.91	0.68		
L90-3-2(M16)	3	2(M16)	465	458	0.92	0.91	0.63							

お、連結ボルトサイズを1サイズ小さくしたモデルも解析対象とする。図3に一例として、解析結果と载荷実験結果から得られた荷重-変位関係を合わせて示す。解析結果の最大耐力は、既存材ボルト孔へりあき端における要素のミーゼス応力が解析で使用した材料の引張強さに到達した時点での耐力を最大耐力と定義する。なお、荷重変位関係は、耐力の差異を明確にするため、接合部のすべりによる進行を除去している。本解析で行った数値解析による荷重変位曲線は载荷実験による結果と良い対応を示している。表1中に解析対象とした全モデルの最大耐力及び有効突出脚率の解析結果を示す。最大耐力、有効突出脚率、破断状況ともに実験結果と解析結果が良い対応を示している。

図4(a)にL90-3-2を対象に最大耐力時およびL90-3-Nの最大耐力時の既存接合部と連結接合部の負担耐力を支圧力とすべり耐力に分けて示し、図4(b)に各ボルトの支圧力を示す。図4(a)より、L90-3-Nの最大耐力時と比較するとL90-3-2の既存接合部が負担する耐力が減少し、連結ボルト接合部が耐力の減少分を負担している。また、L90-3-2の最大耐力時とL90-5-Nの最大耐力時を比較するとボルトの支圧力の合計はほぼ等しい。図4(b)に示す各ボルトの支圧力を見ると、L90-5-Nはほぼ均等に支圧力が加わっているのに対して、L90-3-2の既存ボルトではL90-3-Nよりも既存ボルトの支圧力が若干減少しているものの、連結ボルトの支圧力はL90-5-Nの連結ボルト相当位置のボルトの支圧力の半分程度であり、L90-5-Nのように各ボルトには均等に支圧力が加わっていないことがわかる。

図5(a),(b)にL90-3-2の最大耐力時の既存ボルト孔断面のミーゼス応力分布状況を示す。図5(a)は、はしあき端から5本目のボルト孔鋼断面を示し、図5(b)にはしあき端から3本目のものを示す。なお、図中には比較として、L90-3-NとL90-5-Nの状況も合わせて示している。

図5(a)をみると、補強した際の連結ボルト位置の断面の応力負担は、L90-5-Nとほぼ等しい。一方、補強した際の既存ボルト位置の断面の応力負担は、L90-3-Nと比較して減少しているがL90-5-Nの応力負担までには至っていない。

図6にL90-3-2の連結ボルトのサイズを変更した場合を比較した最大耐力時のミーゼス応力分布を示す。図6より、連結ボルトのサイズを小さくすることで、表1より、ボルト孔欠損に相当する耐力分は上がるが、既存接合部への負担が大きくなる傾向にあることがわかる。

#### 4. まとめ

本報(その8)は、有限要素法を用いた数値解析により、本研究で提案する試験体の面内の応力伝達を確認した。

#### 参考文献

前報(その6)にまとめて示す。

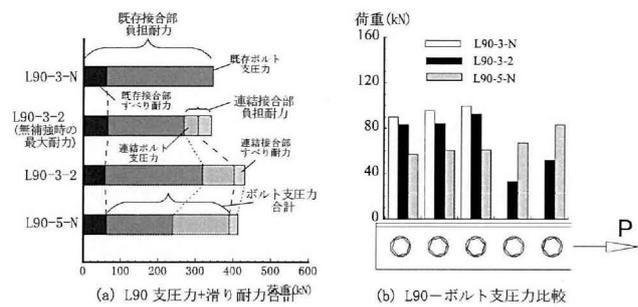
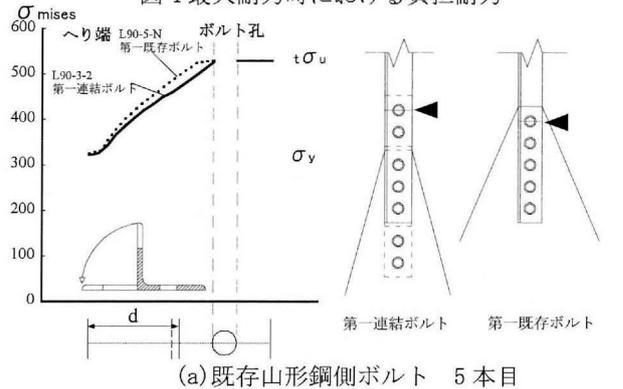
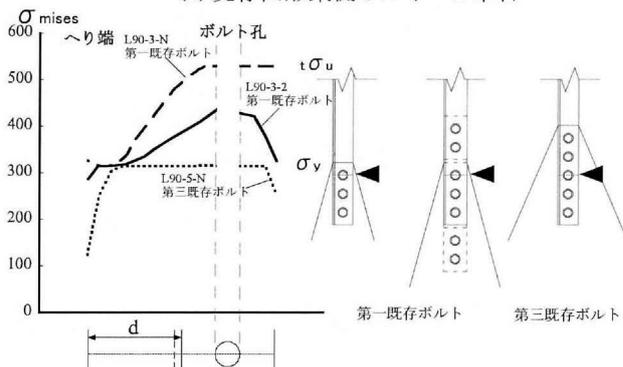


図4 最大耐力時における負担耐力



(a) 既存山形鋼側ボルト 5本目



(b) 既存山形鋼側ボルト 3本目

図5 最大耐力時のミーゼス応力分布

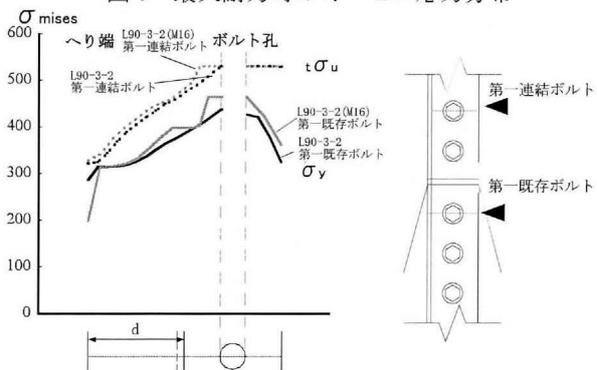


図6 最大耐力時のミーゼス応力分布 (M16)

\*1 愛知工業大学 元学生  
 \*2 愛知工業大学 教授 博士(工学)  
 \*3 愛知工業大学 大学院生  
 \*4 東京工業大学 准教授 博士(工学)

\*1 Aichi Institute of Technology  
 \*2 Professor, Aichi Institute of Technology Dr.Eng.  
 \*3 Aichi Institute of Technology  
 \*4 Associate Professor, Tokyo Institute of Technology Dr.Eng.