

[I-45] 高力スタッドボルト接合に関するボルト軸力の基礎的研究 Basic study on bolt axial force of high strength stud bolt connection

○山本 佑大¹、彭 雪¹、奥村 学¹、山口 隆司²（1.日本ファブテック株式会社、2.大阪市立大学大学院）

○Yuta Yamamoto¹, Setsu Hou¹, Mnabu Okumura¹, Takashi Yamaguti²（1.FaB-Tec Japan Corporation, 2.Osaka City University）

キーワード：高力スタッドボルト、ボルト軸力、引張試験、せん断降伏、スタッド溶接

High strength stud bolt, Bolt axial force, Tensile test, Shear yield, Stud weld

近年、経年劣化による既設トラス橋の閉断面部材を対象とした片面当て板補修・補強が増加している。閉断面部材であるということから、孔あけが不要の高力スタッドボルト（以下：スタッド）を用いた片面当て板工法の適用が考えられる。しかし、既設部材（板厚9～12 mm程度）でスタッドに高軸力を導入すると、スタッド直下の局部降伏が懸念される。そこで、引張試験とFEM解析を実施し、スタッドの導入軸力について検討した。母材厚9, 12 mmの場合、母材のせん断破断が生じ、ねじ部での破断は生じなかったため、スタッドのボルト軸力 N は母材のせん断降伏荷重と設定することが適切であると考えられる。

高力スタッドボルト接合に関するボルト軸力の基礎的研究

日本ファブテック 正会員 ○山本 佑大, 彭 雪, 奥村 学

大阪市立大学 正会員 山口 隆司

1. はじめに

近年、経年劣化による既設トラス橋の閉断面部材を対象とした片面当て板補修・補強が増加している。著者らは孔あけが不要の高力スタッドボルト（以下：スタッド）による片面当て板工法の適用を検討している。既設部材の板厚が9～12 mm の場合、スタッドに高軸力を導入すると、母材のせん断降伏が懸念される。

そこで、スタッドの導入軸力を検討するため、母材のせん断降伏が考えられる板厚を対象に引張試験と FEM 解析を行った。

2. 試験方法

図-1 に試験体形状、表-1 に試験体の構造諸元を示す。試験体は 100×100 mm の鋼板 (SM400) にスタッド (F8T) を溶植したものである。試験ケースは、スタッド径 (M16, M20) と母材厚 (9, 12 mm) の計 4 ケースである。

引張試験の実施状況を写真-1 に示す。計測項目は引張荷重 P 、スタッド軸ひずみ S 、母材ひずみ B である。

3. 試験結果

表-2 に試験結果のまとめを示す。母材のせん断破断荷重の推定値 P_{BU} は、せん断抵抗面積 ($\pi \cdot D \cdot t$) と鋼材の引張強さ $\sqrt{3}$ の積より算出した。

試験体の破断状況を写真-2 に示す。S20-t9 は母材が完全にせん断破断 (Type1) した。S20-t12 はせん断破断が進行してから板厚の中ほどで剥離破壊 (Type2) した。両者とも、母材表面とせん断抵抗面との角度は約 75° であった。破断荷重は、母材のせん断破断荷重の推定値に比べて 1.0～1.2 倍であった。S16-t12 の破断荷重の推定値は、スタッドの引張破断荷重 P_{SU} の方が P_{BU} より約 7%低いが、引張試験の破断モードは推定値の大小関係と異なり母材のせん断破断 Type2 であった。

図-2 に荷重とスタッド軸ひずみ S の関係を示す。縦軸は引張荷重 P をスタッド破断荷重 P_{SU} で無次元化したもので、横軸はスタッド軸ひずみ ε を降伏ひずみ ε_y で無次元化したものである。全てのケースで、荷重とひずみは線形挙動を示している。母材破断時において、S16-t12 の引張荷重は、スタッド破断荷重まで到達しているが、軸ひずみは降伏ひずみまで達していないこと

表-1 試験体諸元

試験体名	高力スタッド (F8T)	母材 (SM400)		
		板厚 t (mm)	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)
S16-t9	M16	9	301	455
S16-t12		12	313	439
S20-t9	M20	9	301	455
S20-t12		12	313	439
※S20-t19		19	272	434

※既往研究¹⁾の試験体

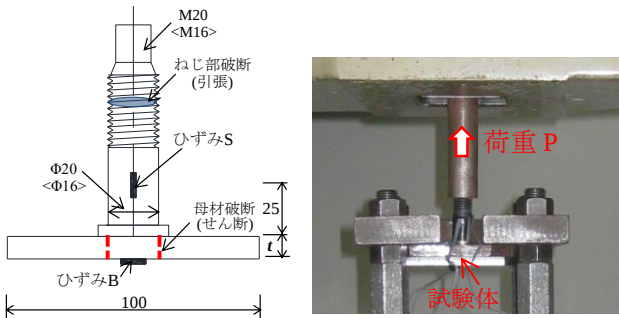


図-1 試験体形状 (単位: mm) 写真-1 引張試験実施状況

表-2 試験結果のまとめ

試験体名		破断荷重 (kN)		破断荷重の推定値 (kN)				破断 モード
				母材破断 P_{BU} ②	①/②	スタッド破断 P_{SU} ③	①/③	
			平均①					
S16-t9	1	145.5	144.2	119	1.21	143	1.01	母材 Type2
	2	144.5						
	3	142.7						
S16-t12	1	159.6	157.9	153	1.03	143	1.10	母材 Type2
	2	155						
	3	159.2						
S20-t9	1	156.2	164.5	149	1.10	222	0.74	母材 Type1
	2	166.2						
	3	171.0						
S20-t12	1	198.2	190.0	191	0.99	222	0.86	母材 Type1 Type2
	2	182.0						
	3	189.7						
S20-t19	1	224.5	222.1	299	0.74	222	1.00	スタッド ねじ部
	2	219.7						
	3	220.0						

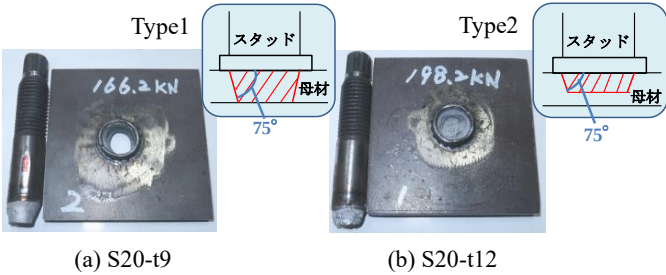


写真-2 試験体の破断状況

キーワード 高力スタッドボルト, ボルト軸力, 引張試験, せん断降伏, スタッド溶接

連絡先 〒550-0001 大阪市西区土佐堀 1-3-7 肥後橋シミズビル 11 階 TEL:06-7730-9120

から、母材のせん断降伏が先行し破断に至った。母材表面とせん断抵抗面の角度 75° を考慮した母材のせん断破断荷重の推定値は 126.5 kN となり、スタッドの引張破断荷重の推定値に比べて約 12% 低くなる。よって、破断モードの判定が引張試験と整合する。

図-3 に荷重とスタッド直下の母材ひずみ B の関係を示す。縦軸は引張荷重 P を母材破断荷重 P_{BU} で無次元化したものである。引張荷重 P/P_{BU} が約 0.4 で、スタッド直下の母材裏面が降伏ひずみに到達している。これは、引張荷重に伴う母材の板曲げによる面外変形の影響と考えられる。母材のせん断降伏時 ($P/P_{BU}=0.7$) では、圧縮ひずみが $\varepsilon/\varepsilon_y = 2 \sim 3$ 程度となった。

4. FEM 解析結果

引張試験時の母材応力分布を FEM 解析により検証した。解析モデルは、母材厚が 12 mm 、スタッド径を $M20$ とした。当て板表面を固定し、スタッドに引張荷重 P を載荷した。母材の降伏応力は $\sigma_y = 272 \text{ N/mm}^2$ とした。

図-4 に Mises 応力コンター図を示す。 P_{By} は母材のせん断降伏荷重の推定値である。せん断降伏時 (P_{By}) は、スタッド側の母材表面に局部的な降伏が見られるが、スタッド直下の母材裏面応力は約 $0.7\sigma_y$ で降伏していない。一方、せん断破断時 ($1.5P_{By}$) はせん断抵抗面の全域で降伏し、母材裏面の圧縮降伏も進行している。

引張試験と解析結果より、高力スタッドのボルト軸力 N は、母材のせん断荷重による軸力とスタッドねじ部の引張荷重による軸力の小さい方とする。

$$N_B = \tau_y \cdot \pi \cdot (D - t \cdot \tan 15^\circ) \cdot t / \sin 75^\circ$$

$$N_S = \alpha \cdot \sigma_{yk} \cdot A_e$$

ここで、

N_B : 母材のせん断荷重による軸力 (抵抗面 75°)

N_S : スタッドねじ部の引張荷重による軸力

τ_y : 母材のせん断降伏強度の特性値, D : スタッド径

t : 母材厚, α : 降伏点に対する比率

σ_{yk} : スタッドの引張降伏強度の特性値

A_e : ねじ部の有効断面積

5. まとめ

高力スタッドのボルト軸力 N は、母材のせん断荷重による軸力とスタッドの引張荷重による軸力の小さい方とする。今後、母材のせん断降伏が先行する母材厚ですべり試験を実施し、継手性能を検証する予定である。

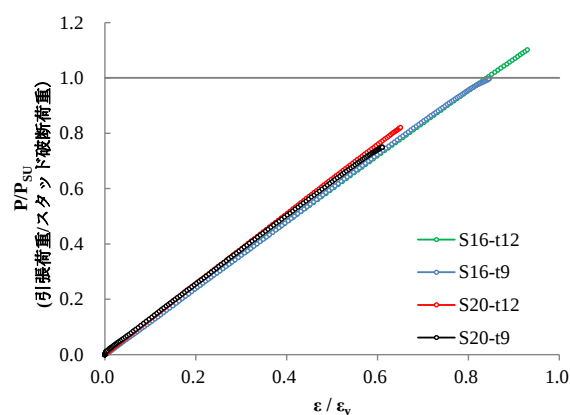


図-2 荷重とスタッド軸ひずみ S の関係

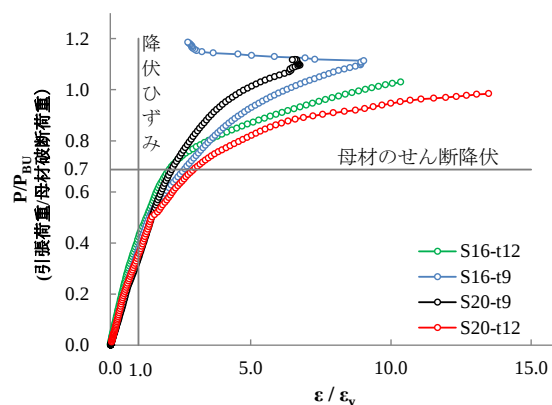
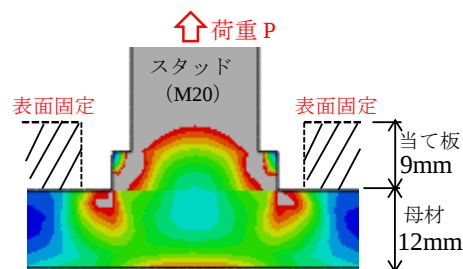
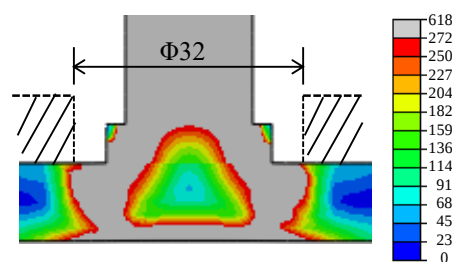


図-3 荷重と母材ひずみ B の関係



(a) 母材のせん断降伏時 (P_{By})



(b) 母材のせん断破断時 ($1.5 P_{By}$)

図-4 Mises 応力コンター図

謝辞 引張試験は、ダイヘンスタッド 石井 博幸氏にご協力を賜りました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献 1) 彭, 奥村, 長沼, 山本: 高力スタッドボルトを用いた片面当て板工法の開発と実橋への適用, 日本構造物診断技術協会, 第 31 回構造物の診断と補修に関する技術・研究発表論文集, PP.47~54, 2019.10