

第Ⅰ部門 閉断面寸法とボルト本数が高力スタッドボルト一面当て板補強の荷重分担に与える影響

大阪公立大学大学院 学生員 ○石黒 陽菜 大阪公立大学大学院 正会員 山口 隆司
大阪公立大学大学院 正会員 林 巖 日本ファブテック(株) 正会員 山本 佑大
日本ファブテック(株) 正会員 鈴木 恵斗 日本ファブテック(株) 正会員 奥村 学

1. 研究背景と目的

近年トラス橋等の閉断面部材の補強において、削孔せずに部材に対して片側からの施工が可能な高力スタッド一面当て板補強が提案されている。しかし、母材と当て板の荷重分担率がそれぞれの断面積率に一致しない¹⁾ことや補強効果に影響を与える因子の定量的な評価には至っていないことから、適切なボルト本数およびその算出方法が確立されていない。本研究では、閉断面寸法とボルト本数 n 、導入ボルト軸力 N_{ind} をパラメータとしたFEM解析より、高力スタッド一面当て板補強におけるボルト本数と荷重分担の関係について検討することを目的としている。

2. 対象部材と解析モデル

汎用解析コード Abaqus/CAE2022 を用い、弾塑性有限変位解析を行った。解析モデルを図-1 に示す。箱断面辺長は、一般的なトラス橋断面を想定し、 400×400 、 600×600 の2種類とした。またX, Y 軸方向の対称性を考慮して1/8 をモデル化し、母材、当て板、高力スタッドをソリッド要素とした。設定した材料特性を表-1 に示す。材料構成則は加工硬化係数が $E/100$ のバイリニア型とした。表-2 に示すように、作用荷重は床版取替を想定し、B活荷重作用時の設計母材作用応力とした。高力スタッドにはF8T-M20 を使用し、当て板の孔径は、スタッドの溶接ビードを考慮し、拡大孔 32mm とした。またボルト間隔は 75mm である。解析ケースを表-3 に示す。解析ケースの名称は、解析パラメータであるボルト行数、列数、導入ボルト軸力 N_{ind} 、当て板厚 t_{pp} を表しており、計18 ケースである。設計ボルト本数 n_0 は式(1)より算出した。

$$4n_0 \geq \frac{P_{d2}}{\mu N_{ind}} \times \frac{A_{pp}}{A_{mp} + A_{pp}} \quad (1)$$

ここに μ :すべり係数($=0.4$)、 A_{mp} :母材総断面積、 A_{pp} :当て板純断面積である。

3. 解析結果と考察

3.1 ボルト本数やボルト軸力が荷重分担に与える影響

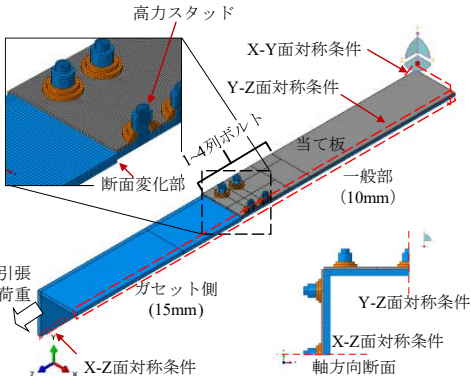


図-1 解析モデル (S-3×2-76-t6 を例に)

表-1 解析に用いた材料特性

部材	材料	弾性係数 E (MPa)	ポアソン比 ν	降伏点 σ_y (MPa)	加工硬化係数 H
母材、当て板	SS400	200,000	0.3	235	2,000
高力スタッド	F8T			640	2,000

表-2 荷重条件

断面寸法 (mm)×(mm)	当初設計		床版取替後*	
	母材応力 σ_{mp1} (MPa)	設計活荷重 (TL-20) P_{d1} (kN)	母材応力 σ_{mp2} (MPa)	設計活荷重 (B活荷重) P_{d2} (kN)
400×400	64.1	1,000	83.3	1,300
600×600	64.1	2,686	83.3	3,492

*解析モデルには床版取替後の荷重を作用させた

表-3 解析ケースの内訳

ケース名	箱断面辺長	母材板厚	当て板厚	当て板厚/ 母材厚比	導入ボルト軸力	設計ボルト本数	ボルト配置 (一面) 行数×列数	ボルト本数	ボルト本数比		
	(mm)×(mm)	t_{mp} (mm)	t_{pp} (mm)	t_{pp}/t_{mp}	N_{ind} (kN)	n_0 (本)	(本)×(本)	n (本)	n/n_0		
ORG			—	—	—	—	—	—	—		
S-3×2-76-t6	400×400	6	0.600		76	4.07	3×2	6	1.47		
S-3×2-50-t6					50	6.19	3×2	6	0.969		
S-3×3-76-t6					76	4.07	3×3	9	2.21		
S-3×1-76-t10		10	1.00		76	5.41	3×1	3	0.554		
S-3×2-76-t10							3×2	6	1.11		
S-3×3-76-t10							3×3	9	1.66		
S-3×4-76-t10							3×4	12	2.22		
S-3×4-50-t10							50	8.23	3×4	12	1.46
S-3×1-76-t17		17	1.70		76	6.79	3×1	3	0.442		
S-3×2-76-t17							3×2	6	0.883		
S-3×3-76-t17							3×3	9	1.33		
S-3×3-50-t17							50	10.3	3×3	9	0.871
S-3×5-76-t17							76	6.79	3×5	15	2.21
S-5×3-76-t12	600×600	18	12	0.667	76	11.7	5×3	15	1.28		
S-5×5-76-t12			18	1.00	76	14.6	5×5	25	2.14		
S-5×3-76-t18			30	1.67	76	14.6	5×3	15	1.03		
S-5×4-76-t30			30	1.67	76	18.2	5×4	20	1.10		

ボルト本数 n と設計ボルト本数 n_0 の比率 n/n_0 (以下、ボルト本数比)および母材荷重補正係数 φ の関係を図-2 に、当て板の各ボルト列に伝達される荷重 P_p を図-3 に示

す。図-3(a)はボルト配置，図-3(b)は n/n_0 を一定とし， N_{ind} が異なるケースを比較した。 φ は式(2)に示すように，断面積率から算出した P_{d2} 時の母材の分担荷重 S_d と解析から得られた母材の分担荷重 S_r の比率である。ここで，分担荷重の算出位置は当て板中央断面である。

$$\varphi = \frac{S_r}{S_d} \quad (2)$$

図-2より， n/n_0 が増加すると， φ は低下する傾向を示している。 $t_{pp}=10\text{mm}$ において，導入ボルト軸力 N_{ind} を50から76kNにすると（S-3×4-50-t10とS-3×4-76-t10）母材荷重補正係数 φ はほぼ一致する，一方， $t_{pp}=17\text{mm}$ においては（S-3×3-50-t17とS-3×3-76-t17）， φ は7%低下した。これは，図-3(a)に示すように，S-3×3-50-t17では $n/n_0 < 1$ であり，設計荷重時より前に局所すべりが発生することで1列目の伝達荷重が増加しないためである。また，直線の傾きは導入ボルト軸力 N_{ind} によらず一致しており，すべり耐力のみに影響を与えている。

ボルト列数が異なるS-3×3-50-t17とS-3×2-76-t17を比較すると， n/n_0 は同値だが， φ は3%増加している。これは，図-3(b)に示すように， N_{ind} の増加によるすべり耐力の増分より，列数を1列減少したことによる各ボルト列に伝達荷重の増加が大きくなったためと考えられる。

3.2 ボルト本数と荷重分担の関係

図-4に P_{d2} 時における母材-当て板間の相対変位分布，図-5に $N_{ind}=76\text{kN}$ での n/n_0 と φ の関係を示す。

図-4に示すように， n/n_0 が大きいほど相対変位が抑制されている。これは母材-当て板間に作用する摩擦力が大きくなるためだと考えられる。また，S-3×4-76-t10とS-5×5-76-t12（共に $n/n_0=2$ 程度）の相対変位がおおよそ一致していることから，本研究で対象としたようなボルト行数を密に配置している場合，閉断面寸法による影響は小さいと考えられる。また，図-5より t_{pp}/t_{mp} が小さいほど，母材と当て板の剛性差は小さくなるため， n/n_0 - φ 関係での傾きの変化は小さくなると考えられる。

4. まとめ

- 1) 本研究で対象とした高力スタッドボルト一面当て板補強においては，導入ボルト軸力 N_{ind} は，すべり耐力のみに影響を及ぼし，ボルト列数を増加させると各ボルト列の伝達荷重が小さくなる。よって，設計ボルト本数の算出には導入軸力の変化と列数の変化による各列の伝達荷重の関係を評価する必要がある。
- 2) n/n_0 - φ の関係は，ボルト列数のみ増加させた場合，

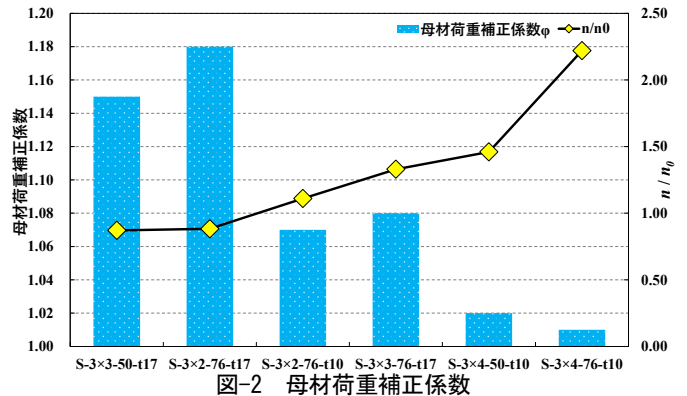
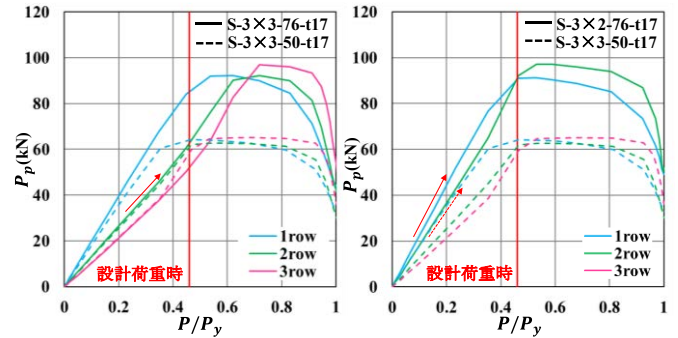


図-2 母材荷重補正係数



(a) ボルト配置が同じ場合 (b) ボルト配置が異なる場合

図-3 各ボルト列における伝達荷重

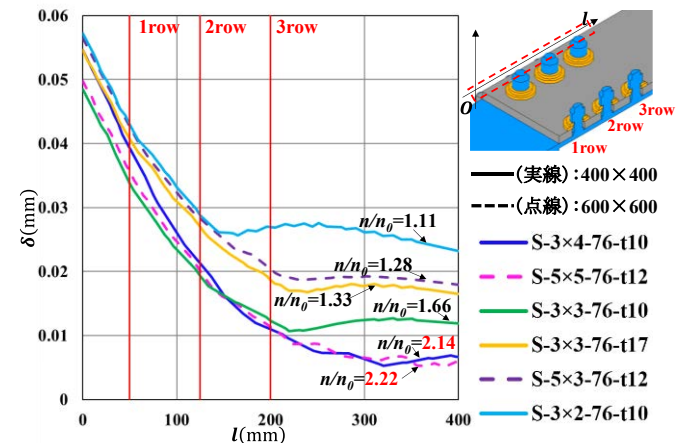


図-4 設計荷重時における当て板端部からの距離と相対変位

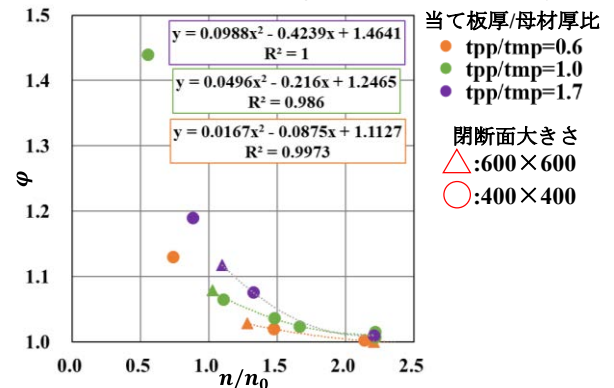


図-5 n/n_0 - φ 関係 ($N_{ind}=76\text{kN}$)

閉断面寸法によらず， t_{pp}/t_{mp} ごとに整理することができた。また $t_{pp}/t_{mp}=0.6$ と1.7を比較すると， $t_{pp}/t_{mp}=0.6$ の方が，母材と当て板の剛性差は小さくなるため，母材荷重補正係数 φ は，より1.0に近づいた。

<参考文献>

- 1) 永田和寿，町田幸大，小川麻美，山口隆司：引張を受ける高力ボルト鋼板当て板接合部の荷重伝達機構に関する解析的検討，鋼構造論文集，Vol.23，2016。