

高力ボルト多列配置型引張継手の降伏耐力向上を目的とした 母材切り欠き形状に関する解析的研究

岩手大学 正会員 ○杉本 悠真

岩手大学 正会員 大西 弘志
大阪公立大学 正会員 山口 隆司

1. 研究目的

著者らは、過去に高力ボルト多列配置型引張継手でボルト本数分の最大耐力が確保できる補剛リブ諸元を提案した。しかし、補剛リブの設置のみではボルト本数分の降伏耐力（ボルトが降伏軸力に到達したときの荷重）を確保することが難しく、降伏耐力の向上にはさらなる構造改良が必要であることがわかった。そこで、本研究は多列配置型継手の降伏耐力向上を目的に、補剛リブの設置と母材切り欠きを併用した接合構造を提案し、母材切り欠きの効果を FEM 解析により確認する。

2. 解析方法と解析ケース

解析モデルを図-1 に示す。解析ソフトは Abaqus 2016 を使用し、境界非線形を考慮した弾塑性有限変位解析を実施した。解析モデルは対象とする継手の 1/4 範囲をモデル化しており、継手部から 400mm 離れた継手ウェブと補剛リブの一方の端部に完全固定の境界条件を、もう一方に Z 軸方向の強制変位を与えている。ボルトのモデル化、材料構成則（高力ボルト：F10T、鋼材：SM490）、接触条件、解析ステップは文献 1) の解析モデルと同様としている。なお、本研究では母材の切り欠きの影響のみに着目することから、補剛リブの長さは解

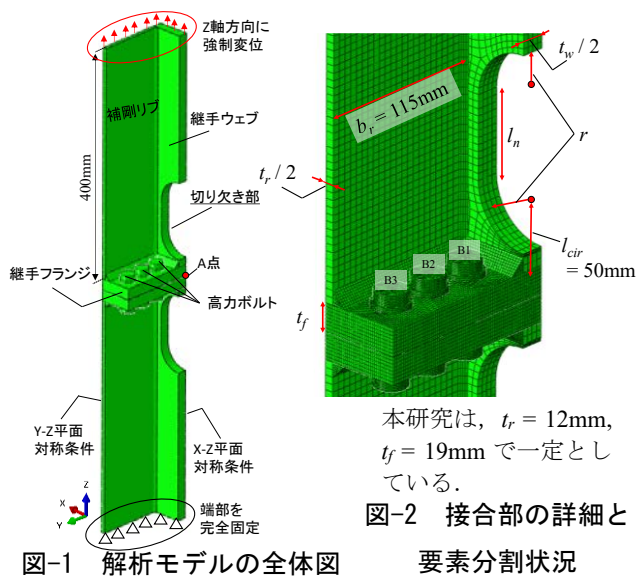
析変数に加え、継手ウェブ長さと同じとした。図-2 に接合部の詳細と要素分割状況を示す。解析モデルに使用した要素はすべて 8 節点 6 面体低減積分要素で、補剛リブと継手ウェブは 1 辺 5mm、継手フランジと溶接余盛部は 1 辺 2.5mm、高力ボルトは 1 辺 1mm としている。また、本研究ではボルト列数を 3 列に統一し、その他にも継手フランジ板厚 t_f 、補剛リブ板厚 t_r 、補剛リブ幅 b_r 、継手フランジ表面から切り欠き円中心までの距離 l_{cir} を図-2 に示す値で統一した。特に、補剛リブ板厚については、継手ウェブ断面を完全に切り欠いても母材の剛性を確保できるように、継手ウェブ断面よりも補剛リブ断面が大きくなるように設定した。表-1 に解析ケースを示す。補剛リブにより大きな荷重を伝達させるために、ウェブの最小断面を基本ケースである tw32_r0_ln0 よりも小さくする方針で、継手ウェブ板厚 t_w 、切り欠き半径 r 、切り欠き平行部長さ l_n を変化させ、8 個の解析ケースを用意した。表-1 に各ケースの基本ケースに対するウェブ断面積比を示している。

3. 解析結果

図-3 に荷重-離間関係を示す。荷重 P はボルト 1 本あたりの荷重とし、離間量は図-1 の A 点における接合面間の離間量を計測している。いずれのケースも最大耐力は約 90kN であり、継手ウェブ板厚の変化や切り欠きの有無による最大耐力の変化は見られなかった。また、ウェブ断面積比が小さいほど初期剛性が大きくなっている。これは、継手ウェブから接合部へ伝達する荷

表-1 解析ケース

解析ケース	継手ウェブ板厚 t_w (mm)	切り欠き半径 r (mm)	切り欠き平行部長さ l_n (mm)	ウェブ断面積比
tw32_r0_ln0 (基本ケース)	32	0	0	1
tw19_r0_ln0	19	0	0	0.59
tw32_r12.5_ln0	32	12.5	0	0.78
tw32_r37.5_ln0	32	37.5	0	0.33
tw32_r12.5_ln57.5	32	12.5	57.5	0.78
tw32_r37.5_ln57.5	32	37.5	57.5	0.33
tw32_r12.5_ln115	32	12.5	115	0.78
tw32_r37.5_ln115	32	37.5	115	0.33



キーワード 高力ボルト引張継手, 多列配置, 補剛リブ, FEM 解析

連絡先 〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5 Mail: ysugimot@iwate-u.ac.jp TEL: 019-621-6436

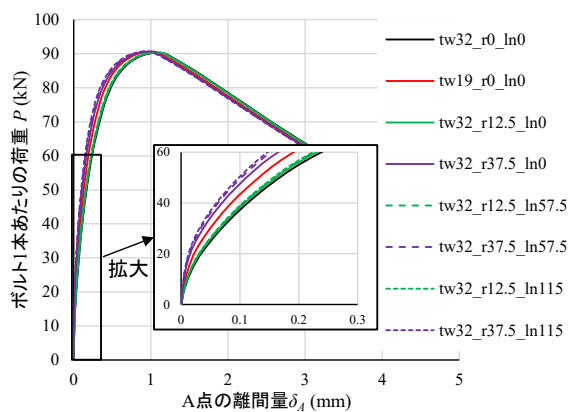


図-3 荷重-A点離間関係

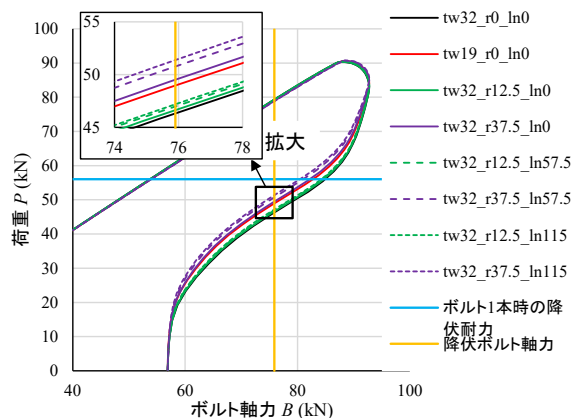


図-4 荷重-B1 ボルト軸力関係

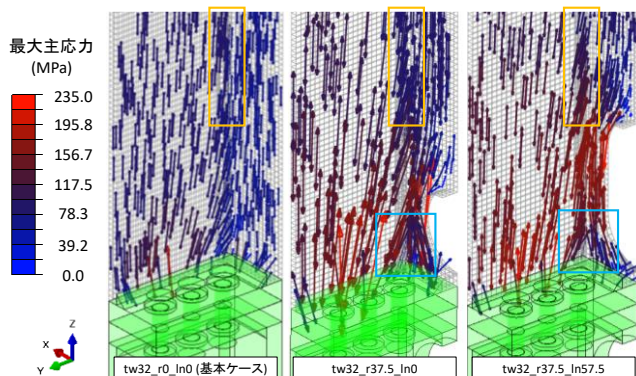


図-5 B1 降伏時における継手ウェブと補剛リブの最大主応力線図

重が減少したことで、A点位置の離間量が小さくなったためと考えられる。荷重-B1 ボルト軸力関係を図-4に示す。図中の黄線は降伏ボルト軸力 $B_y = 75.9\text{kN}$ を、青線は補剛リブなしの1列配置(スプリットティー)継手の降伏耐力 57.0kN を表している。図-4をみると、継手ウェブ板厚が小さいケースと切り欠きを有したケースは基本ケースよりも降伏耐力が大きくなるが、いずれのケースもボルト本数分の降伏耐力を確保できなかった。また、降伏耐力はr12.5シリーズ→tw19_r0_ln0→r37.5シリーズの順番に大きくなっており、表-1のウェブ断面積比が小さくなるほど高い降伏耐力が得られることがわかった。降伏耐力時における継手ウェブと補剛リブの最大主応力線図を図-5に示す。切り欠きを有したケースは基本ケースよりも接合部から離れた位置(橙枠部)で最大主応力方向が変化しており、これにより継手ウェブから補剛リブへ伝達する荷重が大きくなり、降伏耐力が向上したと考えられる。また、切り欠き平行部の長さに着目すると、r37.5シリーズでは、lnが57.5mmと115mmのケースでは降伏耐力の差は小さいものの、lnが0mmと57.5mmのケースの間では降伏耐力の増分が大きい。これについて図-5をみると、tw32_r37.5_ln0は、切り欠き部通過後のウェブからリブ

表-2 降伏耐力とボルト軸力比の一覧

解析ケース	降伏耐力 kN (tw32_r0_ln0との比)	降伏耐力時のボルト軸力比	
		B2 / B1	B3 / B1
tw32_r0_ln0	46.3 (1.00)	0.80	0.80
tw19_r0_ln0	49.0 (1.06)	0.82	0.83
tw32_r12.5_ln0	46.6 (1.01)	0.80	0.80
tw32_r37.5_ln0	49.5 (1.07)	0.83	0.84
tw32_r12.5_ln57.5	47.0 (1.01)	0.80	0.81
tw32_r37.5_ln57.5	50.8 (1.10)	0.84	0.86
tw32_r12.5_ln115	47.2 (1.02)	0.80	0.81
tw32_r37.5_ln115	51.4 (1.11)	0.84	0.87

への応力伝達箇所が接合部に近い青枠部に集中しており、これらの多くはB1ボルトに伝達する。対して、切り欠き平行部のあるtw32_r37.5_ln57.5は青枠部と切り欠き平行部で緩やかな応力伝達となっている。切り欠き平行部長さによる降伏耐力の変化はこの接合部近傍の主応力の伝達機構の違いによるものと考えられる。ただし、r12.5シリーズでは切り欠き長さを変化させても降伏耐力に違いはなく、切り欠き平行部が降伏耐力に与える効果は切り欠き半径に影響する。表-2に各ケースの降伏耐力とボルト軸力比の一覧を示す。ボルト軸力比は1に近ければボルト間で荷重の分配効率が低いことを示している。表をみるとウェブ断面積比が小さいほどボルト軸力比が大きくなっており、B2、B3ボルトにもより大きな荷重が分配されている。最後に、本研究で対象としたケースでは、継手ウェブを切り欠くことで降伏耐力が最大11%向上する結果となった。

今後は応力集中の低減や設計法の開発を検討に加えながら、引き続き切り欠き形状の改良に取り組む。

謝辞

本研究は日本鉄鋼連盟鋼構造研究・教育助成事業(2021年度)として助成を受けたものです。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 杉本悠真, 岑山友紀, 山口隆司: 高力ボルトエンドプレート接合における水平リブの荷重分担に関する解析的研究, 土木学会論文集, Vol. 77(1), pp.28-41, 2021.2