

第1部門

高力ボルト摩擦接合継手の板幅方向の連続性が母板の降伏挙動に与える影響

九州工業大学 正会員○高井 俊和
大阪市立大学大学院 正会員 山口 隆司

大阪市立大学大学院 正会員 森山 仁志
大阪市立大学大学院 学生会員 山本 佑大

1. 目的

高力ボルト摩擦接合継手の力学実験では、標準すべり試験[1]に代表されるようにボルトを1行配置した継手がよく用いられる。1行配置は、図1のように複数行にわたり群配置したボルトの1行ぶんを取り出した構造に相当する。作用荷重によって生じる母板・連結板のポアソン効果による板やせや、過大な荷重によるネッキングは板厚方向に生じる。加えて、図2のように1行配置では板幅方向にも生じるが、群配置では隣のボルト行と母板・連結板が連続しており生じないという違いがある。

本検討では高力ボルト摩擦接合継手のコバ面の板幅方向の拘束に着目し、ボルトの1行配置と群配置の違いによる母板の降伏挙動への影響をFEM解析により確認した。

2. 解析ケース

対象とした継手の諸元を表1にまとめる。着目パラメータは、ボルト列数（少数列の3列，多列の12列），すべり／降伏耐力比 β （すべり先行型の0.65，降伏先行型の1.2，中間の0.9）である。加えて，ボルト配置の違い（1行配置，群配置）を設定した。これらの組み合わせで合計12ケースを設定した。群配置の継手の1行ぶんと1行配置は同じ諸元である。

材料特性を表2に示す。ヤング係数 E は200,000 (N/mm²)，降伏以降の2次勾配は $E/100$ ，ポアソン比は0.3である。

3. 解析方法

解析プログラムはAbaqus Standard v6.13を使用し，解析手法は文献[2][3]を参考とした。解析モデルは図3に示すように3方向の対称性を考慮した8分の1モデルとした。群配置のケースは，1行配置のケースのコバ面に板幅方向の対称境界条件を与えることで，簡易的に群配置を模擬した。変位増分により母板端部に強制変位を与えて継手に引張荷重を作用させた。

降伏の定義は，既往の実験[4]を参考に純断面部のコバ面板厚中央の荷重方向の直ひずみが降伏ひずみに達した時点とした。母板厚と連結板合計厚が等しいため，ほぼ同時に降伏するが，本検討では母板の降伏に着目した。

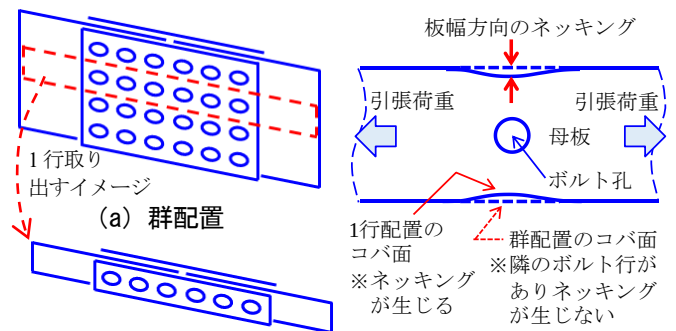


図1 ボルト配置

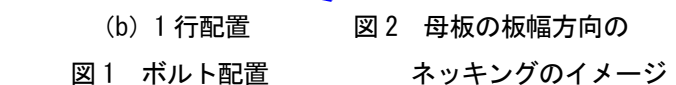


図2 母板の板幅方向のネッキングのイメージ

表1 継手諸元

設計条件	すべり/降伏耐力比 β		約0.65		約0.9		約1.2	
	ボルト本数		3本	12本	3本	12本	3本	12本
ボルト	等級・呼び	F10T M22						
	接合面数	2						
	設計ボルト軸力 (kN)	205						
	摩擦係数	0.5						
	すべり耐力 (kN)	615	2,460	615	2,460	615	2,460	
母板・連結板	鋼種	SM490Y						
	降伏点 (N/mm ²)	355						
	母板厚 (mm)	28	90	28	90	28	90	
	連結板厚 (mm)	14	45	14	45	14	45	
	縁端距離 (mm)	40						
	ピッチ (mm)	75						
	板幅 (mm)	120	144	94	112	76	90	
	ボルト孔径 (mm)	24.5						
	純幅 (mm)	95.5	119.5	69.5	87.5	51.5	65.5	
	純断面降伏耐力 (kN)	949	3,818	691	2,796	512	2,093	
	β すべり/降伏耐力比	0.648	0.644	0.890	0.880	1.201	1.176	

表2 材料特性（真応力-対数ひずみ）

	母板・連結板		ボルト・ワッシャー	
	σ (N/mm ²)	ϵ	σ (N/mm ²)	ϵ
降伏点・耐力	356	0.00178	905	0.00453
引張強さ	539	0.09328	1,119	0.11153

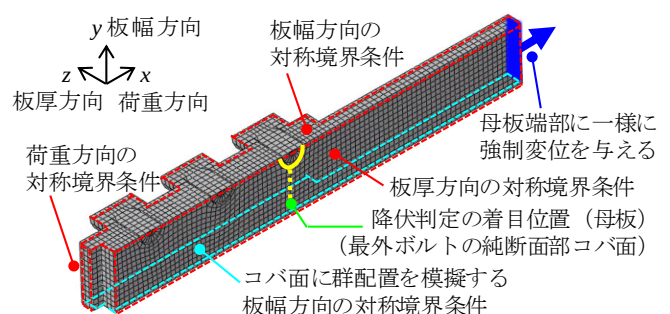


図3 境界条件および降伏判定の着目位置

Toshikazu TAKAI, Hisashi MORIYAMA, Takashi YAMAGUCHI, Yuta YAMAMOTO

takai@civil.kyutech.ac.jp

3. 解析結果および考察

図4に最外純断面の母板対称面の降伏領域(図の灰色)がコバ面に達した時点のミーゼス応力分布と、作用荷重が1,000 kN 時点の板幅方向の直応力 σ_{yy} 分布を示す。

純断面部ではボルト孔からコバ面に向かい 45° 程度の角度で3角状に高い応力の範囲が広がり、1行配置は降伏領域が斜めに進展するのに対し、群配置はコバ面まで最短経路で降伏領域が進展した。これは σ_{yy} の分布の違いにもみられるように、コバ面の板幅方向の拘束の有無の影響と考えられる。 σ_{yy} と載荷方向の σ_{xx} を除き、残りの4成分の応力には1行配置と群配置でほぼ差がなかった。

図5に各ケースの降伏荷重と、同じ諸元での1行配置と群配置の降伏荷重の比率を示す。

1行配置の降伏荷重は、群配置と同等か最大で30%程度高くなった。これは、図4(a)に示したように、1行配置は降伏が斜めに先に進展し、降伏判定の基準とした純断面部のコバ面が降伏に達するのが遅れるためである。

3列よりも12列の方が、また、 β が大きいほど、群配置に対して1行配置の降伏荷重が高くなる結果となった。 β が大きいほど板幅が小さく、1行配置で斜めに進展した降伏領域が広がりにくく、純断面位置のコバ面の降伏が遅れるためである。

図6に降伏時の継手のびを示す。解析モデルは荷重方向に半分のみモデル化しているため、母板端部の変位量を2倍した値を示している。比率が120~500%程度と、1行配置の方が降伏時の継手のびが大きくなった。この理由は降伏荷重と同様に、1行配置の純断面部のコバ面の降伏が遅れるためである。

図7に降伏時のボルト軸力を示す。全ボルト本数分の合計値である。降伏が遅れる1行配置の方がボルト軸力の低下が大きく、1行配置の降伏時のボルト軸力は群配置の72~91%と低くなった。

4. まとめ

本検討より、継手の母板の降伏を純断面部のコバ面の降伏ひずみで判定すると、1行配置と群配置で降伏領域の進展過程が異なり、1行配置の方が群配置よりも降伏荷重が高くなる結果が得られた。

謝辞 本検討は JSPS 科研費 JP16H04401 の助成を受けたものです。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 土木学会鋼構造委員会：高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針（案），鋼構造シリーズ15，2006.12

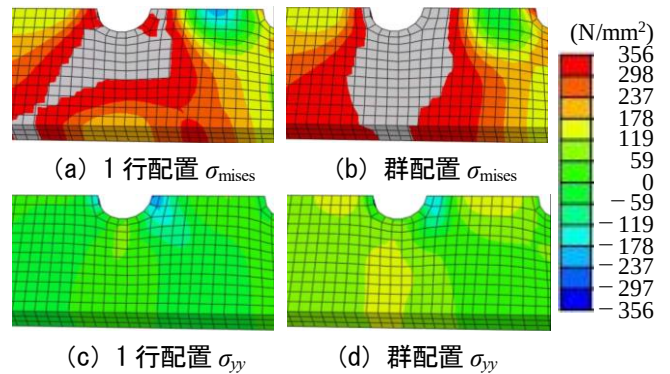


図4 母板対称面の応力分布（3列， $\beta=0.65$ ）

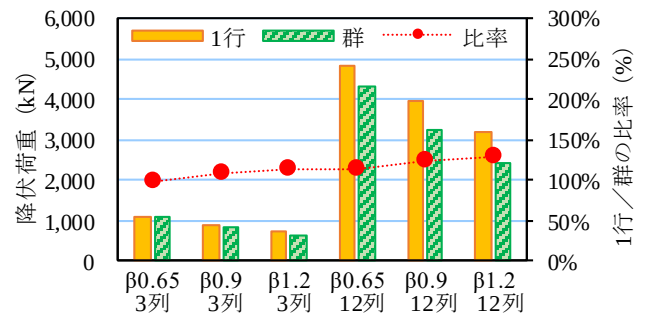


図5 降伏荷重

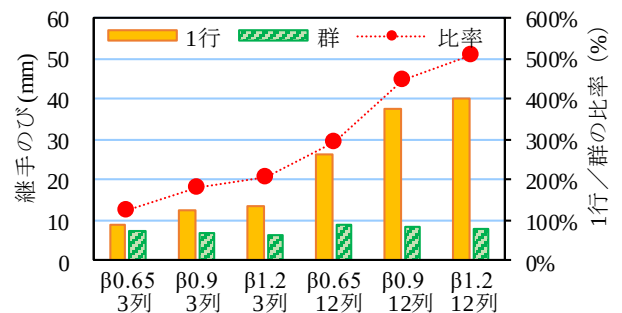


図6 降伏時の継手のび

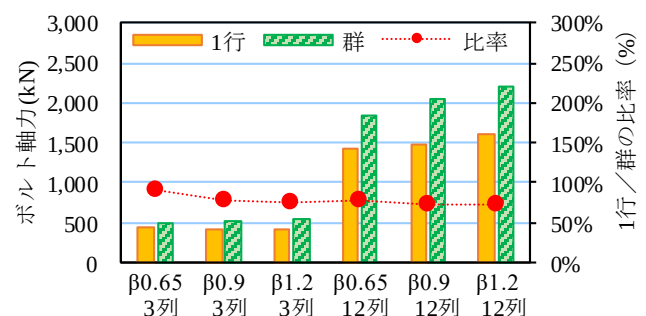


図7 降伏時のボルト軸力

- [2] 土木研究所，大阪市立大学：高力ボルト摩擦接合継手の設計法の合理化に関する共同研究報告書，共同研究報告書，第428号，土木研究所，2012.1
- [3] 彭 雪，山口 隆司，高井 俊和：厚板多列高力ボルト摩擦接合継手の母材純断面降伏挙動に関する解析的研究，土木学会論文集A1，Vol. 71，No. 1，pp. 47-54，2015.2
- [4] 例えば，秋山 寿行，西村 宣男：曲げを受ける鋼I桁高力ボルト継手のすべり機構と限界強度の評価，鋼構造年次論文報告集，Vol. 4，pp. 287-294，日本鋼構造協会，1996.11