

砲台配置された高力ボルト摩擦接合継手のボルト配置が純断面降伏耐力に及ぼす影響

大阪公立大学大学院 学生員 ○銭 霖
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 学生員 佐倉 亮
大阪公立大学大学院 正会員 林 巖

1. 研究背景と研究目的

一般的に、引張力を受ける I 桁のフランジ連結部において、ボルト孔による断面欠損を減らす目的で千鳥配置と矩形配置を組み合わせた砲台配置された高力ボルト摩擦接合継手が多く採用される。道路橋示方書¹⁾より、矩形配置された継手の純断面降伏耐力の照査では、純断面積を 1.1 倍割増してもよいとされている。一方、部材軸方向にボルト行数が変化する砲台配置においても、同様の純断面降伏耐力の向上が見込めるかどうかは不明確である。

本研究では、砲台配置された継手を対象にボルト配置が純断面降伏耐力に及ぼす影響を解析的に検討する。

2. 解析手法

解析ソルバーには Abaqus/Standard2022 を用いて、境界非線形性を考慮した静的弾塑性有限変位解析を行った。解析モデルを図-1 に示す。構造対称性を考慮し、板幅中央位置を対称面とした 1/2 サイズでモデル化した。解析では、母板端部を固定し、ボルト軸力を導入した後に、母板端部に部材軸 (X 軸) 方向の強制変位を与えた。母板-連結板間、ボルトヘッド-座金間、ナット-座金間にはそれぞれ 0.45, 1.00, 1.00 の摩擦係数を与え、座金-連結板間、ボルト軸部-板部材の孔壁間、ボルト軸部-座金間は 0.01 の摩擦係数を与えた。

解析に用いた材料特性を表-1 に示す。母板および連結板は SM570、ボルトおよび座金には F10T を用いた。

解析ケースおよび構造諸元を表-2 および図-2 に示す。解析ケース名は、k (先端ボルト行数) -g (ゲージ) と

した。ボルトのピッチ、ボルト本数および縁端距離は、道路橋示方書を参考に設定し、全ケースで共通としている。本研究で着目した外側ボルトを図-2 に示す。

千鳥配置の純断面積算出に用いるボルト孔径控除 w は式(1)より求められる。 w が負となる場合、設計上の降伏線が矩形配置と同様であると見なせるが、実際の降伏挙動は未解明である。そこで本研究は w が負の場合について検討した。

$$w = d_0 - p^2 / (4g) \tag{1}$$

ここに、 d_0 : ボルト孔径(mm), p : ボルトピッチ (mm), g : ゲージ(mm)。

3. 解析結果と考察

3.1 純断面降伏荷重

既往研究²⁾を参考にして、せん断力を考慮した母板の設計純断面降伏耐力 P_{dym} は式(2)により算出される。

$$P_{dym} = 0.6f_yA_{av} + f_yA_{nt} + \sqrt{(0.6f_y \cos \alpha TL)^2 + (f_y \sin \alpha TL)^2} \tag{2}$$

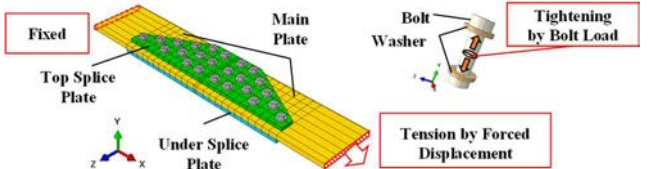


図-1 解析モデル

表-1 材料特性

Members	Type of Steel Material	Young's Modulus E (N/mm ²)	Poisson's Ratio ν	True Stress σ (N/mm ²)	Logarithmic Strain ϵ ($\times 10^{-5}$)
Main Plates, Splice Plates	SM570	200675	0.3	451	0
				573	4654
				904	0
				908	437
Bolts, Washers	F10T	201352	0.3	1047	4182

表-2 解析ケースおよび構造諸元

Specimen Name	Slip Coefficient μ_d	Designed Bolt Tensions N_d (kN)	Bolt Hole Diameter d_o (mm)	Width of Top Splice Plates W_{ts} (mm)	Width of Under Splice Plates W_{us} (mm)	Width of Main Plate W_m (mm)	Thickness of Splice Plates T_s (mm)	Thickness of Main Plate T (mm)	Bolt Pitch p (mm)	Number of Bolts in The Top Column k	Bolt Gauge g (mm)	Designed Slip/Yield Resistance Ratio β_d	Width of Strip w (mm)
k2-g40	0.45	205	24.5	480	540	550	18	24	75	2	40	0.79	-10.66
k4-g40						630				4		0.91	
k2-g50										2		0.70	

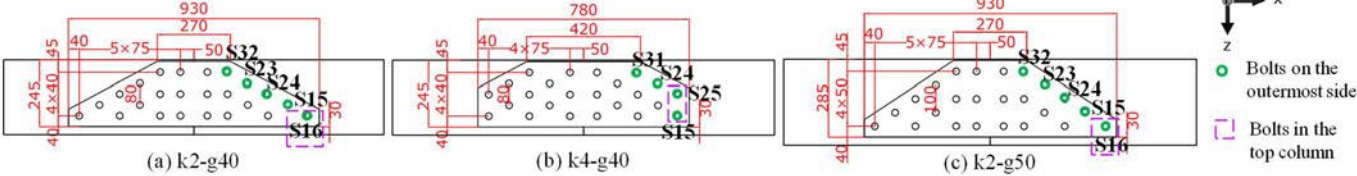


図-2 継手形状 (単位 : mm)

キーワード 砲台配置された高力ボルト摩擦接合継手, ボルト配置, 純断面降伏耐力, 摩擦力
連絡先 〒558-8585 大阪府大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪公立大学大学院 橋梁工学研究室 TEL06-6605-2765

ここに、 f_y ：降伏応力(N/mm²)、 A_{av} ：純せん断を受ける部分の純断面積(mm²)、 A_{nt} ：純引張を受ける部分の純断面積(mm²)、 α ：千鳥配置された孔の間の角度(°)、 T ：母板の厚さ(mm)、 L' ：千鳥配置された孔の間の実際降伏線の長さ(mm)。

表-3 に各ケースの母板設計純断面降伏耐力 P_{dym} および解析による母板純断面降伏荷重 P_{ym} を示す。先端2行のケース k2-g40 と k2-g50 の P_{ym}/P_{dym} はそれぞれ 1.01, 1.02 であり、1.1 を確保できてない。また、 P_{dym} と P_{ym} の差は、k2-g50 が k2-g40 に比べて 100kN 程度大きくなった。先端ボルトの本数がさらに 2 本多い k4-g40 は、先端ボルトの摩擦力が増加し、 P_{ym}/P_{dym} は 1.12 になったと考えられる。

3.2 最外縁ボルト列の伝達摩擦力

図-3 に荷重 P とボルト 1 本あたりの部材軸 (X 軸) 方向・部材軸直角 (Z 軸) 方向の摩擦力 f_i , f_3 の関係を示す (k2-g40 を例に)。図-4 に降伏線と降伏耐力時の最外縁ボルト列の摩擦力分担率 $f_i/\Sigma f_i$, $f_3/\Sigma f_3$ を示す。

図-3 より、すべり荷重 P_{sm} から P_{ym} において、すべてのボルト位置で部材軸方向の摩擦力 f_i は低下している。

図-4 より、k2-g40 と k4-g40 は先端ボルトのみが降伏線に重なったが、k2-g50 の降伏線は最外縁ボルト列と一致した。この時、ゲージが大きくなり、表-2 に示すように w が負側から 0 に近づいている。

各ボルトの摩擦分担率としては、最外縁ボルト列のうち、先端ボルトの部材軸方向の降伏が最も顕著とな

るため、先端ボルトの摩擦力分担率 $f_i/\Sigma f_i$ が最も小さくなる。k2-g40 のように、先端ボルトのみに降伏線が重なる場合、先端ボルト位置における板幅方向の変形が大きくなるため、先端ボルトの部材軸直角方向の摩擦力分担率 $f_3/\Sigma f_3$ が最も大きくなっている。一方、最外縁ボルト列に沿って降伏が発生する k2-g50 については、先端ボルトの $f_3/\Sigma f_3$ が小さくなっている。

以上より、 w の大きさと母板の構造諸元の関係によって変化する降伏線の変化に応じて、部材軸直角方向の摩擦力の寄与が大きいボルト位置が変化すると考えられる。また、ゲージ間隔 g が異なる k2-g40, k2-g50 における P_{dym} と P_{ym} の差は、降伏線上のボルト本数に支配され、その本数の多い k2-g50 では 100kN の違いが生じたと考えられる。

4. まとめ

砲台配置のボルト配置において、先端ボルトの本数が増えることで、矩形配置に近づくため、先端ボルトの摩擦力が増加した。また、本研究で対象とした継手形状においては、ゲージが大きいほど降伏線上のボルト本数が増加したため P_{dym} と P_{ym} の差が大きくなった。この時、ゲージが大きくなることでボルト孔径控除 w は負側から 0 に近づいている。

【参考文献】

- 1) 社団法人日本道路協会：道路示方書・同解説Ⅱ鋼橋編，2017.11.
- 2) Pham, V. B.; Pham, C., H.; Hancock, G., J., New design approach to high-strength steel staggered-hole bolted connections failing in block shear, Journal of Structural Engineering, Vol. 148, 2022.

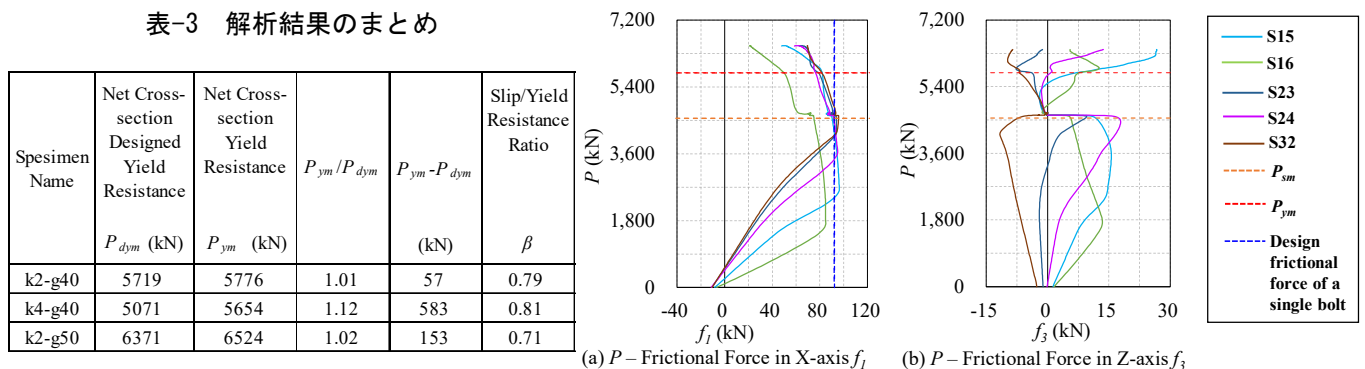


図-3 荷重—ボルト 1 本あたりの摩擦力(k2-g40)

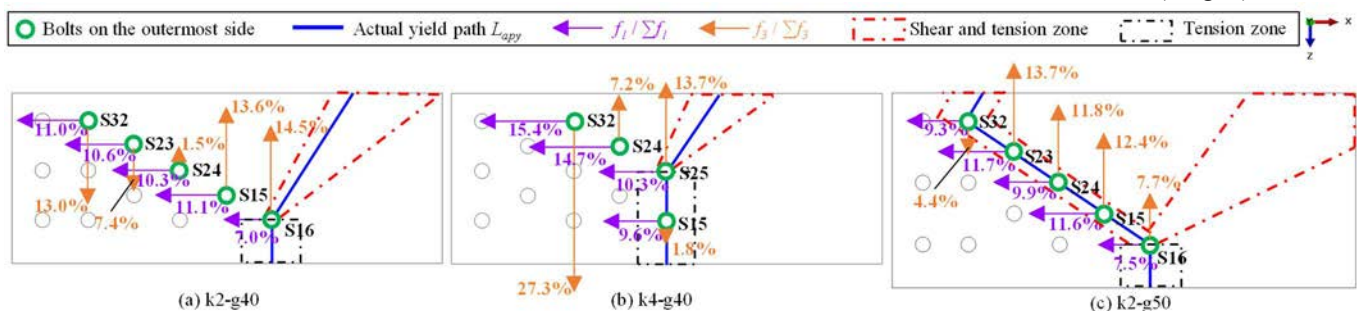


図-4 降伏線と外側ボルト 1 本あたりの摩擦力分担率