

第 I 部門

追加近接孔を有する高力ボルト摩擦接合継手のすべり挙動に関する解析的研究

大阪市立大学工学部

学生員 ○池田 勇士

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

1. 研究背景および研究目的

高力ボルト摩擦接合継手において、ボルト孔周辺に追加近接孔を有する場合、追加近接孔による純断面積あるいは接触面積の減少がすべり挙動に影響を及ぼすと考えられ、すべり耐力の低下が懸念される。

これまで、拡大孔やスロット孔を対象に、多くの研究が実施されている。田中らの実験によると、スロット孔では、標準孔に比べすべり耐力が 15%まで低下することが報告されている¹⁾。

一方で、追加近接孔がすべり耐力に及ぼす影響は定量的に明らかにされておらず、追加近接孔に関する規定も国内外に存在しない。追加近接孔に関する報告は、著者の調べた限りでは、追加近接孔の影響をすべり試験により検討した山本らの先行研究²⁾のみである。

そこで、本研究では、追加近接孔を有する高力ボルト摩擦接合継手に着目し、すべり耐力低下メカニズムの解明を目的に、FEM 解析を実施する。

2. 解析手法

FEM 解析には、Abaqus/standard 2016 を用いた。解析対象は、1 行 2 列の高力ボルト摩擦接合継手とし、高力ボルトは F10T(M22)を想定した。解析モデルは図-1 に示すように、対称性から 1/2 モデルとした。要素は 8 節点ソリッド要素とし、要素分割は母材厚を 12 分割、添接板厚を 4 分割する大きさとした。境界条件は、添接板の対称面に対称条件を与えている。载荷は、母材外側縁

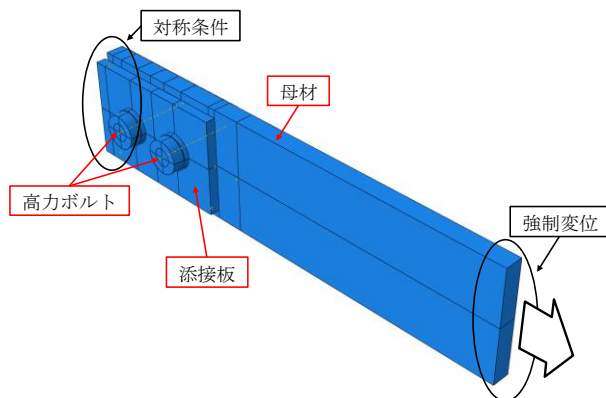


図-1 解析モデル

端面において強制変位による変位制御で与えた。相互作用は、接触境界を母材-添接板間及び添接板-座金間に加え、母材-添接板間では摩擦係数を 0.5、添接板-座金間では 0.01 と設定した。また、座金-ボルト間は節点結合により拘束している。表-1 に材料特性を示す。なお既設孔-追加近接孔の孔軸間距離は先行研究と同じ 29mm とした。

3. 解析ケース

解析パラメータは表-2 に示すように、鋼種、板厚、追加近接孔の位置とした。解析ケースは、鋼種、板厚によりすべり/降伏耐力比 β を変化させ、すべり先行領域 ($\beta < 0.7$)、遷移領域 ($0.7 < \beta < 1.0$)、降伏先行領域 ($1.0 < \beta$) の 3 領域に設定した。追加近接孔の位置は図-2 に示すように、N、V、L の 3 タイプとした。高力ボルトは板幅方向中央の既設孔に配置した。

すべり/降伏耐力比 β は、式 (1) を用いて算出する。

$$\beta = \frac{\mu \cdot m \cdot n \cdot N}{(W-d) \cdot t_l \cdot \sigma_y} \quad \text{式 (1)}$$

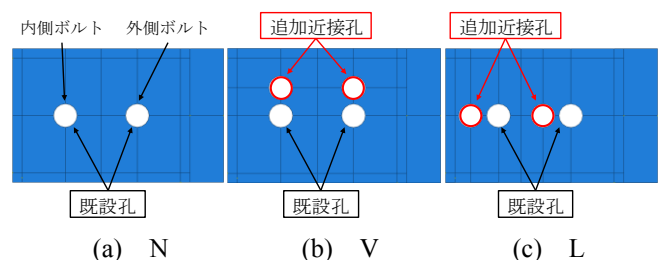
ここに、 μ : すべり係数 m : 接合面の数 (=2) n : ボルト本数 (=2) N : 設計ボルト軸力 W : 板幅 d : 孔径 t_l : 母材厚 σ_y : 鋼材の降伏点 (規格値)

表-1 材料特性

	鋼種	ヤング率 (N/mm ²)	ポアソン 比	降伏点 (N/mm ²)	構成則
母材・添接板	SM490Y	200,000	0.3	360	降伏棚のある ひずみ硬化型 ³⁾
	SM570			460	
高力ボルト	F10T			900	トリリニア型
座金	—				

表-2 解析パラメータ

鋼種	母材厚 [mm]	添接板厚 [mm]	追加近接孔の位置
SM490Y ・ SM570	9	6	N: Normal
	12	9	
	14	9	V: Vertical
	22	12	
			L: Longitudinal



(a) N

(b) V

(c) L

図-2 追加近接孔の位置

4. 解析結果と考察

(1) すべり係数低下率 λ と β の関係

図-3 にすべり係数低下率 λ と β の関係を示す。 λ は、 $\beta=0.35$ における N ケースのすべり係数で、各ケースのすべり係数を除して算出した。図中には、文献³⁾⁻⁴⁾が提案する λ - β 関係式を併せて示した。図-3 から、 $\beta < 0.7$ では、N, V, L の各ケースで差はなく、 $0.8 < \beta$ では、V, L で N と比べて λ が減少している。V, L のケースでは β が同程度であれば λ も同程度の値を示している。

(2) すべり耐力低下メカニズム

すべり耐力の低下メカニズムを検討するため、 $\beta=1.1$ における N, V, L のケースを比較した。鋼種は N, L を SM490Y, V を SM570 である。すべり発生以前の荷重 350kN 時点における、母材の Mises 応力分布を図-4、摩擦せん断応力分布を図-5 に示し、荷重 P -ボルト軸力残存率関係を図-6 に示す。

V のケースは、図-6 より、外側ボルトの軸力低下が N に比べて大きい。これは、N より純断面積が小さいため、図-4 に示すように、外側ボルト位置の応力が N と比べて高く、同荷重での板厚減少が大きくなったためと考えられる。このことは、図-5 より、V の外側ボルト位置の既設孔-追加近接孔間において、応力集中による局所的な板厚減少が生じ、摩擦せん断応力が生じていないことから確認できる。

一方、L のケースは、図-6 より、内側ボルトの軸力低下が N に比べて大きい。これは、外側ボルト位置の追加近接孔の影響で内側ボルト孔周辺に応力が流れることで、図-5 のように内側ボルト周辺の摩擦せん断力の分担が大きくなったためと考えられる。このことは、図-4 における L の内側ボルト孔周辺で、N と比べて応力が高くなっていることから確認できる。

5. 結論

本研究により得られた結果を示す。

- 1) $\beta < 0.7$ では、N, V, L の各ケースで λ の差はなく、 $0.8 < \beta$ では、V, L で N と比べて λ が減少している。
- 2) V におけるすべり耐力の低下は、N より純断面積が小さいため外側ボルト周辺の応力が N と比べて高く、板厚減少が大きくなったためと考えられる。
- 3) L におけるすべり耐力の低下は、追加近接孔の影響により、内側ボルト孔周辺の応力が N と比べて高くなったためと考えられる。

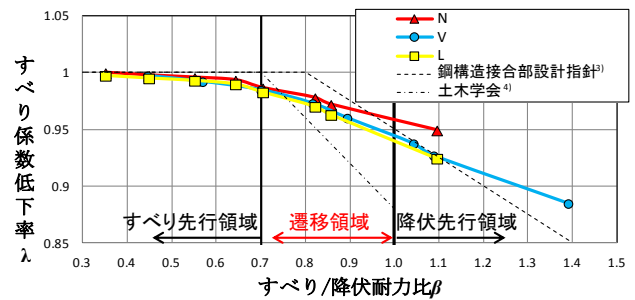


図-3 すべり係数低下率 λ -すべり/降伏耐力比 β 関係

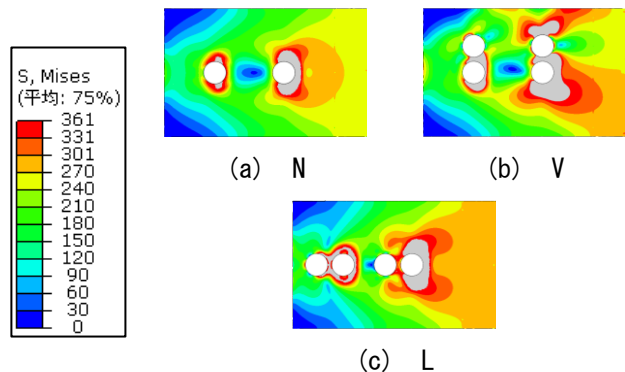


図-4 Mises 応力分布 (単位: N/mm²)

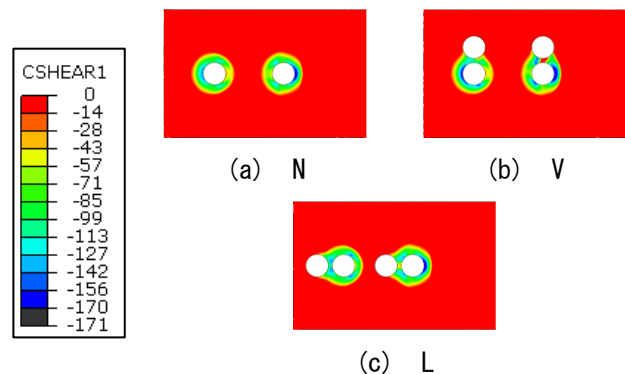


図-5 摩擦せん断応力分布 (単位: N/mm²)

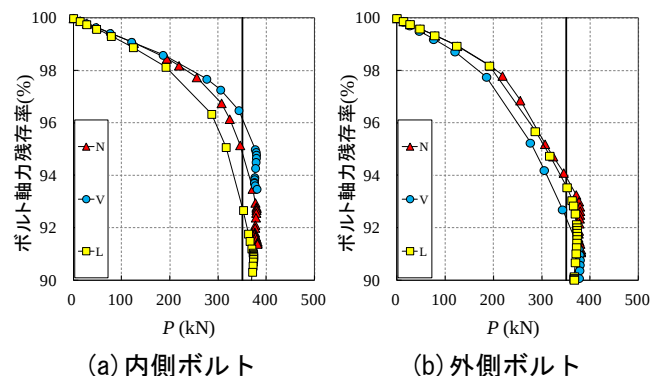


図-6 荷重 P -ボルト軸力残存率関係

<参考文献>

- 1) 田中敦夫, 増田浩志, 脇田廣三, 辻岡静夫, 平井敬二, 立山英二: 過大孔・スロット孔を有する高力ボルト摩擦接合部の力学性状, 鋼構造論文集, 第5巻, 第20号, pp. 34-44, 1998.12.
- 2) 山本淳史, 中川翔太, 山口隆司, 桑山豊六, 山内幸政, 寺田能通: 追加孔を有する高力ボルト摩擦接合継手のすべり耐力試験, 鋼構造年次論文報告集, Vol24, pp.37-44, 2016.
- 3) 日本建築学会: 鋼構造接合部設計指針, 2001.
- 4) 社団法人土木学会: 高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指標 (案), 2006