

ボルト配置間隔と板厚が高力ボルト摩擦接合継手のすべり後耐力に与える影響

大阪市立大学大学院 学生会員 ○森山 仁志
大阪市立大学大学院 正会員 山口 隆司

阪神高速道路株式会社 正会員 杉山 裕樹
大阪市立大学大学院 学生会員 郎 宇

1. 研究背景および目的

著者らは、高力ボルト摩擦接合継手への限界状態設計法の導入を見据えて、摩擦接合継手のすべり後挙動を実験的に把握し、設計終局限界状態を設定するための基礎データを収集している¹⁾。文献1)では、支圧状態のボルト孔の変形量を定量的に計測し、それに限界値を与えることで、破断に対して一定余裕のある設計終局限界状態（以下、変形支圧限界）を提案している。

本研究はボルト配置間隔や板厚がボルト孔の変形量と支圧応力の関係に及ぼす影響を定量化するために、1行1列継手を対象にパラメトリック解析を実施した。

2. 解析概要

本解析では1行1列継手を対象とし、ボルト呼び径は、文献¹⁾に合わせて、同一のM16ボルトとした。

試験体形状を図-1、構造寸法を表-1にそれぞれ示す。連結板の板厚は母板と同厚とし、母板が最大荷重を迎えるまでに連結板が降伏しないようにした。

パラメータは、図-1と表-1に示すように、端しあき距離 e_1 、縁りあき距離 e_2 、母板の板厚 t_m である。端しあき距離と縁りあき距離は、24, 40, 56, 72, 88 mmと変化した。母板の板厚は9, 14, 19, 25 mmと変化した。

解析ソルバーはAbaqus/standard 6.13を用いた。図-1の試験体は、板幅方向の対称性を考慮して図-2(a)のようにモデル化した。接触条件は、図-2(b)に示すように、クーロン摩擦モデルにより静止摩擦のみを考慮している。接触面の静止摩擦係数は、母板-連結板間は黒皮状態のすべり係数の下限値である0.20、連結板-座金間は0.01とした。また、ボルト頭部と座金間は接触面に存在する両方の要素節点の自由度を共有させた。

3. 解析結果

変形支圧限界状態は、ボルト孔の変形量 δ_b の軸平行部径 $d(\%)$ に対する割合によって決定している。例えば、 $\delta_b/d=5\%$ のときは5%変形支圧限界状態である。また、このときの支圧応力は5%変形支圧限界応力と呼び、式(1)で算出している。

$$\sigma_s = \frac{P_5}{dt_m} \quad (1)$$

ここに、 P_5 : 5%変形支圧限界状態の荷重、 d : ボルト軸平行部径、 t_m : 母板の板厚である。なお、ボルト孔の変

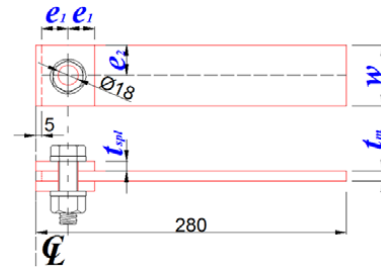


図-1 試験体の形状および寸法(単位: mm)

表-1 試験体の構造寸法(青字はパラメータ)

ボルト 孔径 d_0 mm	ボルト軸 平行部径 d mm	端しあき 距離 e_1 mm	端しあき距離 /軸平行部径 e_1/d	縁りあき 距離 e_2 mm	縁りあき距離 /軸平行部径 e_2/d	母板および 連結板の板厚 t_m, t_{sp} mm
18	16	24, 40, 56, 72, 88	1.5, 2.5, 3.5, 4.5, 5.5	24, 40, 56, 72, 88	1.5, 2.5, 3.5, 4.5, 5.5	9, 14, 19, 25

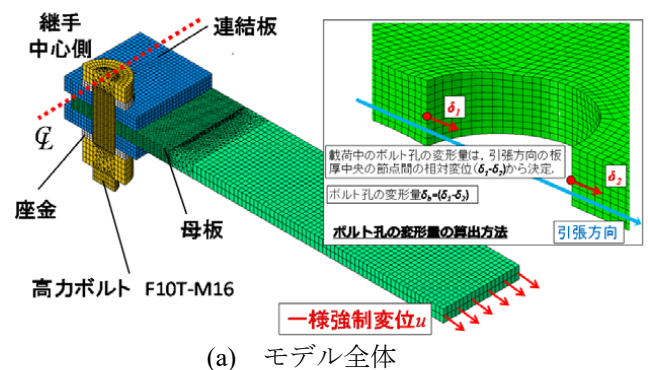
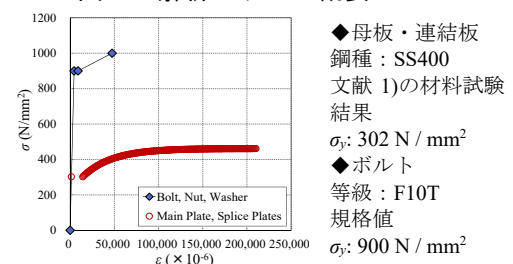


図-2 解析モデルの概要

図-3 解析で導入した σ - ϵ 関係

キーワード: 高力ボルト摩擦接合継手, 支圧耐力, すべり後挙動

連絡先 〒558-8585 大阪市住吉区杉本3-3-138 大阪市立大学大学院 工学研究科 都市系専攻 橋梁工学分野 TEL&FAX 06-6605-2765

形量 δ_b の算出方法は図-2(a)に示すとおりである

5%変形支圧限界応力と端しあき距離 e_1 および縁りあき距離 e_2 との関係を図-4に示す。図中の縦軸は、5%変形支圧限界応力を図-3の降伏点で無次元化している。また、道示の許容支圧応力度に安全率 1.7 を割り戻した支圧応力 $1.7\sigma_y$ を平面として示した。

5%変形支圧限界応力は、図-4に示すように、板厚によって程度は異なるものの、端しあき距離および縁りあき距離の増加に伴って増加した。支圧応力の増加率は、縁りあき距離よりも端しあき距離の影響が大きく、また、これらのボルト配置が支圧応力に及ぼす影響は、板厚が小さいほど大きくなった。

5%変形支圧限界応力を現状の道示の設計支圧応力 $1.7\sigma_y$ と比較すると、 $e_1/d=1.5$ かつ $t_m=25$ mm の場合、あるいは $e_1/d=e_2/d=1.5$ かつ $t_m=19$ mm の場合以外では、5%変形支圧限界応力は $1.7\sigma_y$ より大きくなった。これは、図-5に示すように、端しあき距離および縁りあき距離が非常に小さい場合では、母板の塑性域が5%変形支圧限界の時点で大きく広がっており、ボルト孔周辺の支圧応力が上昇しないことが原因である。しかしその一方で、端しあき距離および縁りあき距離を道示の最小縁端距離 ($e_1=e_2=1.68d$) よりも大きく確保すれば、設計終局限界状態の支圧応力は $1.7\sigma_y$ 以上確保できることも明らかとなった。

$t_m=9$ mm かつ $e_2/d=2.5, 4.5$ の場合の変形支圧限界応力と端しあき距離の関係を図-6に示す。変形支圧限界状態は 5, 10, 20, 30%変形までを対象とした。

端しあき距離の増加に伴う変形支圧限界応力の増加率は、図-6に示すように、 $e_2/d=2.5$ の場合、 $e_1/d \leq 3.5$ の範囲ではボルト孔の変形量が大きくなるにつれて上昇し、その傾きは線形となった。 $e_1/d > 3.5$ の範囲での増加率はボルト孔の変形によらず、直線の傾きはほぼ横ばいとなった。これは、端しあき距離 e_1 が縁りあき距離 e_2 より大きくなることで、ボルト孔の変形が純断面降伏によって支配され、支圧部周辺の塑性域が進展せず、支圧力が上昇しないためである。一方、 $e_2/d=4.5$ の場合、5%変形を除く 10, 20, 30 %変形支圧限界応力は端しあき距離に対して非線形性に増加し続けている。したがって、変形支圧限界応力を大きくするためには、端しあき距離を縁りあき距離の同等以上とするのが望ましい。

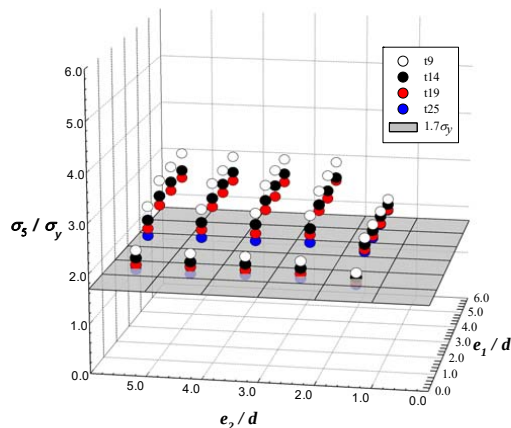


図-4 5%変形支圧限界応力とボルト配置間隔の関係

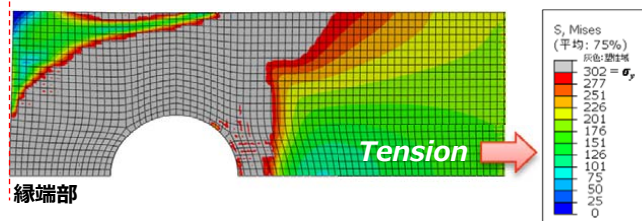


図-5 5%変形支圧限界状態における母板のミーゼス応力分布

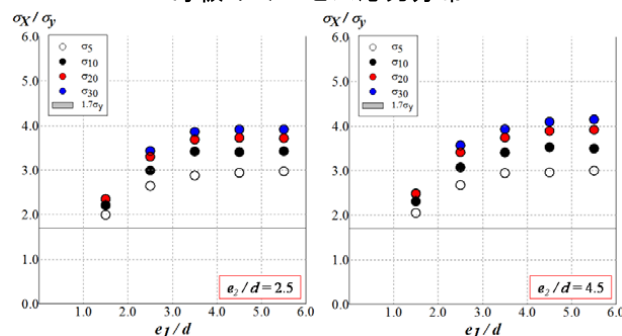


図-6 5, 10, 20, 30 %変形支圧限界応力と端しあき距離の関係 ($t_m=9$ mm かつ $e_2/d=2.5, 4.5$)

4. まとめ

本研究は1行1列摩擦接合継手を対象にFEAを行い、ボルト配置間隔や板厚がボルト孔の変形量と支圧応力の関係に及ぼす影響を考察した。以下に、得られた結果をまとめる。

- 1) 端しあき距離および縁りあき距離の増加に伴って、変形支圧限界応力は増加した。その増加率は端しあき距離の影響が大きく、また、薄板ほど大きい。
- 2) 端しあき距離および縁りあき距離を道示の最小縁端距離よりも大きく確保すれば、ボルト孔の変形量 δ_b が軸径 d の5%に到達した時点の支圧限界応力が $1.7\sigma_y$ 以上となることを示した。また、支圧応力を大きくするためには、端しあき距離を縁りあき距離の同等以上とするのが望ましい。

参考文献

1. 戸田圭彦, 山口隆司, 岑山友紀, 直江康司: 高力ボルト摩擦接合継手の孔変形に基づいた支圧耐力に関する実験的研究, 土木学会論文集 A1, Vol.70, No.3, pp.333-345, 2014.