

エネルギー吸収性能を付加した高力ボルト摩擦接合継手の構造検討

(公財) 鉄道総合技術研究所
神戸大学大学院工学研究科

正会員 ○二宮 僚
正会員 橋本 国太郎

正会員 小林 裕介

1. はじめに

近年、大規模地震等を考慮して、高力ボルト摩擦接合継手のすべり後の挙動に関する研究が進められている¹⁾など。ここで、すべり時のエネルギー吸収を見込むことで、構造物や耐震デバイス(図1)の小型化や高性能化が可能になると考えられる。

そこで本稿では、ボルト孔をスリット形状とした継手をFEMによりモデル化し、エネルギー吸収性能に寄与するボルト軸力や荷重抵抗に着目した評価を実施した。ボルト孔をスリット形状とすることで、すべり時にボルト軸が支圧状態に移行せず、鋼材の損傷を最小限に留めたうえでエネルギー吸収量を増大させることが可能と考えられる。

2. FEM 解析諸元

解析には汎用非線形有限要素解析プログラムAbaqus/Standardを用い、境界条件非線形性を考慮した静的解析を行った。材料特性はバイリニアとし、ボルト・ナットはF10TM22、鋼板はSS400相当の値を入力した。摩擦係数はクーロン摩擦とし、母板と添接板間の接触面には0.45、そのほか座金等の接触面には0.1を与えた。载荷は、母板端部に対して強制変位を20mm与えることにより行なった。

3. ボルト孔をスリット形状とした2面摩擦継手

図2に解析モデルを示す。ケース①、③は母板端部を開口させているが、これは耐震デバイス等で想定以上のストロークが生じた場合にボルト軸と母板が接触することによる損傷、あるいは支圧による過大な反力の発生を防ぐことを念頭に置いたケースである。ケース③、④は外側ボルトと孔壁の間に離隔を有しているが、これは内外の両ボルトの接触圧を同程度にし、円滑にすべらせることを念頭に置いたケースである。

図3に各ボルトの軸力残存率－変位関係を示す。なお、本稿では摩擦面をすべて同一の条件としているため、エネルギー吸収に寄与する荷重抵抗も軸力

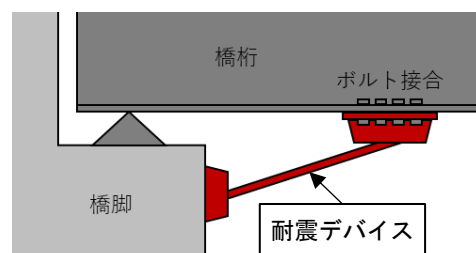


図1 耐震デバイス例

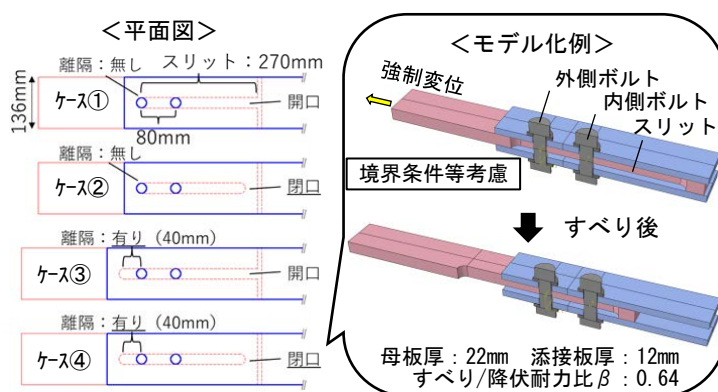


図2 ボルト孔をスリット形状とした2面摩擦継手モデル

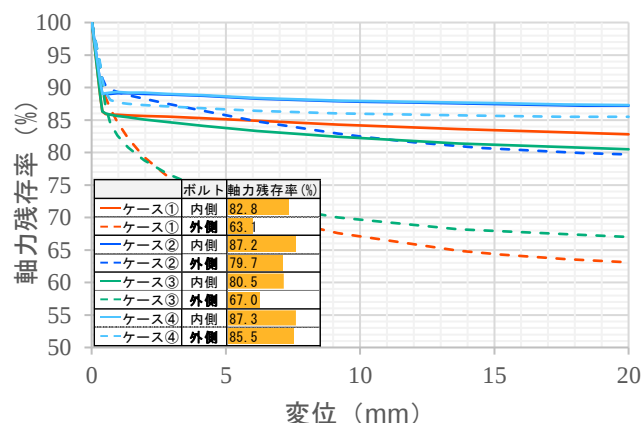


図3 各ボルトの軸力残存率－変位関係

残存率と概ね同様の傾向を示す。ボルト孔壁の離隔が無いケース②は、離隔のあるケース④よりも、外側ボルトの軸力残存率が小さくなっている。これは、図4(a)に示すように、ボルト締付時における孔壁部近傍の塑性領域の違いによるものと考えられる。また、母板端部が開口しているケース③では、内側・外側ボルトともに、閉口しているケース④よりも軸力残存率が小さくなっており、くわえて、内側ボルトと外

キーワード 高力ボルト摩擦接合継手, ボルト孔形状, 長孔, 1面摩擦継手

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 TEL042-573-7280

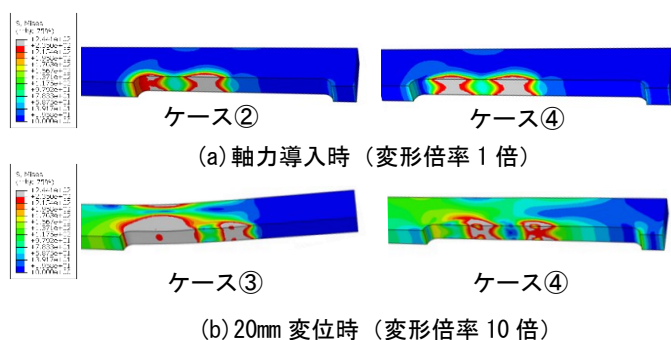


図4 母板の mises 応力コンター図

側ボルトの軸力残存率の差異が顕著となっている。これは、図4(b)に示すように、端部が開口している継手では、外側ボルト近傍部を基点に母板が外側へ開くように変形したことが要因と考えられる。

4. ボルト孔をスリット形状とした1面摩擦継手

既設構造物に対しては、図1に示す構造のように1面摩擦継手を用いる場合もある。そこで、ボルト孔をスリット形状とした1面摩擦継手(図5)のエネルギー吸収性能について、摩擦面数に着目して評価した。その際、疑似的に摩擦面数を増加させるため裏当て板を付加した継手もモデル化した。孔形状は軸力残存率の最も大きいケース④と同様とした。なお、1面摩擦継手の場合、荷重偏心に伴う面外曲げが生じる²⁾が、本稿では考慮しないものとし、母板の面外方向変位を拘束した解析モデルを用いた。すべり/降伏耐力比 β は、2面摩擦継手と同程度となるように板形状を調整した。

図6に2面摩擦継手、1面摩擦継手(裏当て板無し)、および1面摩擦継手(裏当て板有り)の荷重および軸力残存率-変位関係を示す。1面摩擦継手(裏当て板有り)について、変位3mm付近以降から荷重抵抗が上昇し、1面摩擦継手(裏当て板無し)よりも大きい値を示している。これは、1面摩擦継手(裏当て板有り)は、初期すべり時は1面摩擦となる一方、ボルト軸と裏当て板の接触後は2面摩擦となるためである。しかしながら、裏当て板により2面摩擦状態になったにもかかわらず、荷重抵抗は2面摩擦継手より小さい値に留まっている。これは、図6および図7に示すように、ボルト軸や母板の塑性化による軸力抜けが要因であると考えられる。ボルト軸の塑性化は、裏当て板によってボルト軸が押し出され、ボルト軸に曲げが加わることで生じている。母板の塑性化は、初期状態ではすべり/降伏耐力比 β

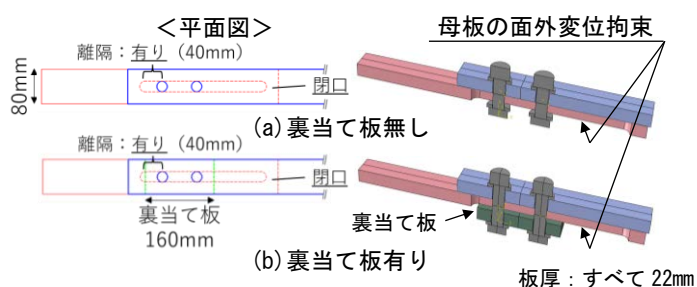


図5 ボルト孔をスリット形状とした1面摩擦継手モデル

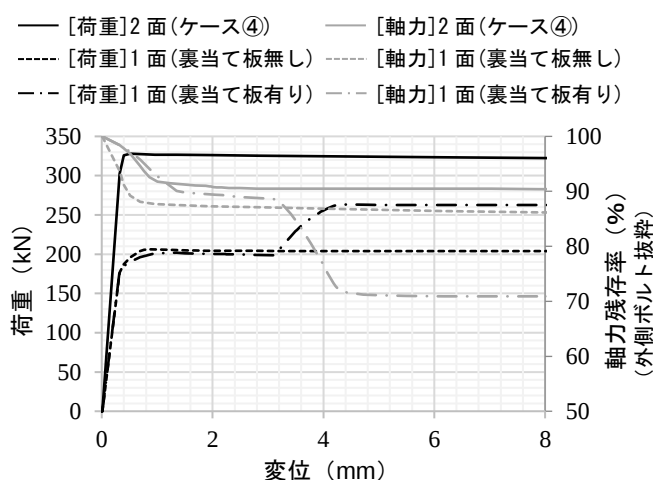


図6 継手の荷重および軸力残存率-変位関係 (変位 8mm まで抜粋)

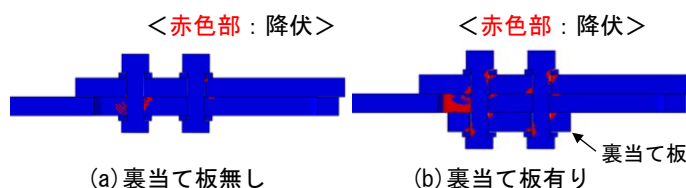


図7 1面摩擦継手の塑性領域 (3mm すべり時)

が1面摩擦継手と2面摩擦継手で同程度であったものが、裏当て板による摩擦面の増加により β 値が大きくなったため生じたものと考えられる。

5. おわりに

本稿では、ボルト孔をスリット形状とした場合に、ボルト孔壁との離隔や縁端部の開口の有無により軸力残存率が大きく異なることを示した。また、1面摩擦継手の場合、裏当て板を付加することにより、ボルト軸や母板の応力が増加する一方で、初期すべり以降の荷重抵抗の上昇が図れることを示した。

参考文献

- 森山ら: 高力ボルト摩擦接合継手の断面構成およびボルト配置間隔がボルト孔の変形量で規定したすべり後の支圧耐力に及ぼす影響, 構造工学論文集, Vol.66A, 2020.3.
- 高井ら: 1面摩擦高力ボルト摩擦接合継手の荷重作用時の面外変形に注目した力学的挙動に関する解析的研究, 構造工学論文集 Vol.64A, 2018.3.