

**1. 研究背景および目的** 近年、高力ボルト摩擦接合継手は橋梁断面の大型化に伴い、ボルトが多列化する傾向にある。また、多列となる場合にすべり係数が低下することが分かっており、継手構造の合理化が求められている。これまでは、接合部強度を増加させるには接合面のすべり係数やボルト強度を大きくすることが考えられてきた。本研究では、すべり係数やボルト軸力には着目せず、Fig.1 に示す支圧ボルトを用いて母板のみを支圧化し、さらに Fig.2 に示す凹凸加工を施した特殊な座金を使用することで、座金と連結板もしくは座金とボルトヘッド・ナットとの摩擦面にも摩擦抵抗が生じ、摩擦面数を増やすことができる高力ボルト摩擦接合継手(以下、一部支圧接合継手)を提案し、FEM 解析により、その強度特性を検討した。なお、この提案した継手では、摩擦面数が 2 倍となることで、継手強度も 2 倍となることがわかる。

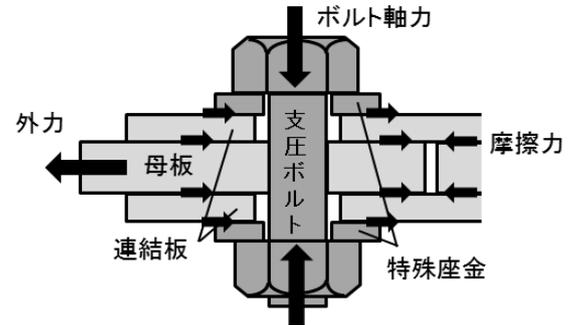


Fig.1 提案する高力ボルト継手

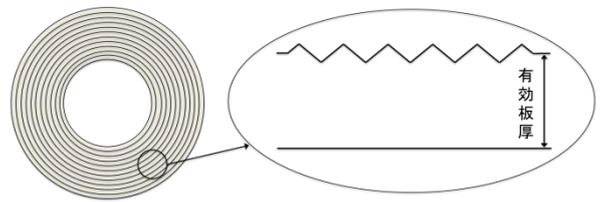


Fig.2 凹凸加工を施した特殊座金

**2. 解析モデル** FEM 解析には、汎用有限要素解析プログラム ABAQUS を用い、継手はソリッド要素(C3D8R 要素)でモデル化した。Fig.3 に解析モデルの全体図を示す。解析のベースとなるモデルは高力ボルト摩擦接合継手の標準試験体の 1/8 をモデル化対象とし、各対称面上に対象条件を設けている。母板と連結板は SS400 とし、基準降伏点は 235MPa と仮定する。また高力ボルトの材料である F10T の降伏点は 900MPa とし、六角ボルトを仮定している。なお簡単のため六角ボルト頭部と接触面積が等しくなる円形ボルトでモデル化を行っている。母板と連結板の境界面には摩擦係数 0.45 を与える。座金には油が塗布されており、摩擦係数は一般的に低くなるため、ボルトと座金、連結板と座金の境界面には摩擦係数 0.15 を与えている。また、一部支圧モデルでは摩擦係数 0.45 以上の特殊座金の使用を仮定する。導入ボルト軸力は 205kN とし、母板の引張荷重はボルト軸力導入後、端部に強制変位として与える。

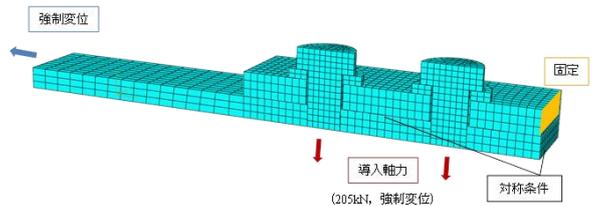


Fig.3 解析モデル

**3. 解析ケース** 解析ケース名は、継手タイプ(F:摩擦接合, B:支圧接合, Fb:一部支圧接合), 座金の孔径, 連結板の孔径, 座金境界面の摩擦係数を順に指している。座金の孔径は 22mm と 24mm の 2 パターンを設定しており、22mm の場合は座金によりボルトが支圧化されていることを示す。次に連結板の孔径は 22mm, 24mm, 26.5mm の 3 パターンを設定しており、22mm の場合は連結板によりボルトが支圧化されていることを示す。24.5mm は一般的な摩擦接合継手の連結板の孔径であり、26.5mm は実際の施工での実例や、摩擦面の表面処理を適切に行い、かつ、母板および連結板の降伏よりもボルトのすべりが先行する条件では、標準ボルト孔径 +2mm までの拡大孔についてのすべり係数の差異は微小であることから、施工性を考慮し設定している。最後に座金境界面の摩擦係数について、一般的な摩擦接合継手の値として 0.15 を設定しており、Fig.2 に示した特殊座金の使用を仮定して 0.45~1.0 までは 0.05 ずつ上昇させ、1.0~1.5 では 0.1 ずつ上昇させたものを設定した。

**4. 解析結果** Fig.4 には、各接合継手を比較するために、支圧接合継手、摩擦接合継手、および一部支圧接合継手（代表的な解析ケース）の 5 つの継手の荷重-変位関係を示している。支圧接合継手では、母板で全断面降伏が生じたときの荷重を継手耐力としており、摩擦接合継手および一部支圧接合継手では、すべりが生じたときの荷重を継手耐力としている。摩擦接合継手では座金境界面の摩擦係数を 0.15 から 0.45 に変更したことによる継手耐力への影響は微小であるが、一部支圧接合継手では 430.9kN から 553.8kN へと大きく上昇していることがわかる。Fig.5 には、一部支圧接合継手の座金部の支圧化の有無、連結板の孔径を変更し比較している。座金部の支圧化による継手耐力の上昇はあまり見られず、施工性を考慮した連結板の孔径を拡大した継手では 532.0kN へと若干耐力は減少している。これは連結板の孔回りの局所的な降伏や接触面積が減少したことですべりやすくなっていることが考えられる。Fig.6 には、座金によるボルトの支圧化の有無と座金境界面の摩擦係数の影響について示している。2 ケースの間にほとんど差は無く、ともに摩擦係数 0.7 付近で支圧接合継手の B-22-22-0.15 の継手耐力を超える結果となっている。また継手耐力の上昇率において、ともに摩擦係数 0.7 付近から小さくなっていることが分かる。

**5. 結論** 本研究で提案した高力ボルト一部支圧接合継手において、通常の高力ボルト摩擦接合と比較すると、約 1.6 倍の継手耐力となった。2 倍にならなかった要因としては、ボルトや母板の降伏による軸力抜けや、母板の降伏による主すべりの影響が考えられる。連結板の拡大による継手耐力の減少は 4% 程度となり、減少してはいるものの、通常の高力ボルト摩擦接合と比較すると、約 1.5 倍の継手耐力を確保している。座金境界面の摩擦係数 0.7 付近で支圧接合継手の耐力を超える結果となった。座金によりボルトを支圧化した継手において、継手耐力は上昇したが、微小なものであり、大きな変化は見られなかった。

今後は、実験供試体を製作し一部支圧接合継手の載荷実験を行い、力学的挙動を把握し、解析結果との比較検討を行っていく。さらに、すべり耐力/降伏耐力比を変化させたパラメトリック解析を実施し、その解析結果をもとに、提案した継手の適用範囲を検討する。

**参考文献**：土木学会：高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針(案), pp.17-56, 2006.12.

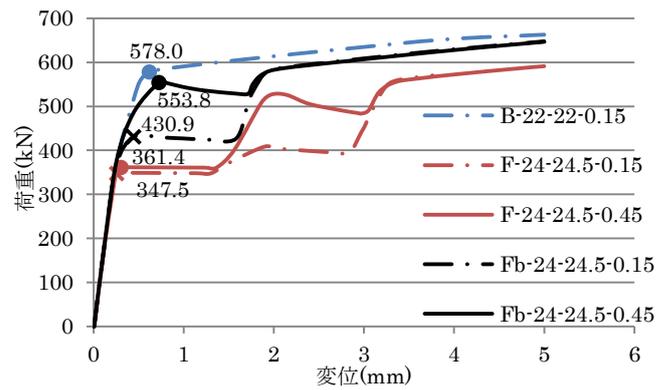


Fig. 4 各継手の荷重-変位関係

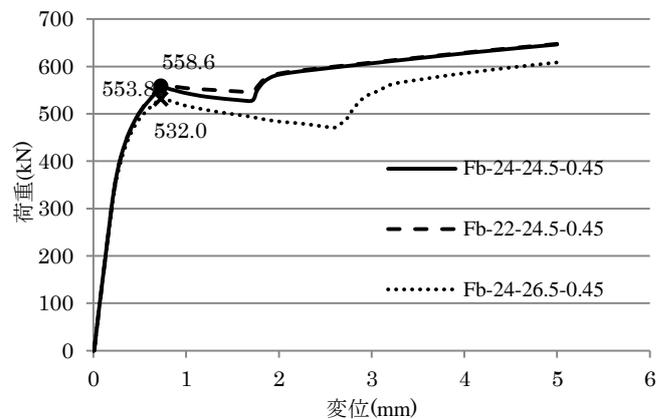


Fig.5 一部支圧接合継手の荷重-変位関係

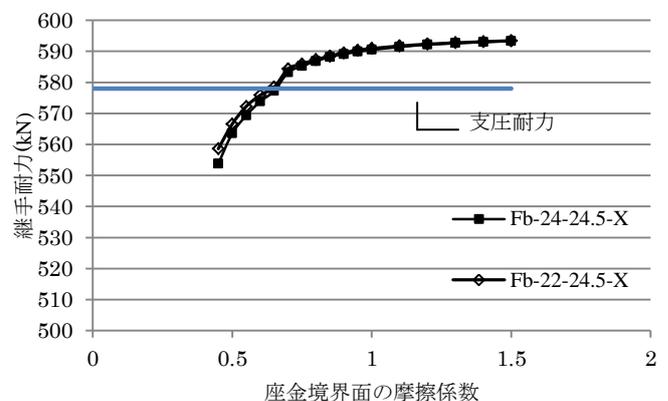


Fig.6 座金境界面の摩擦係数の影響