

アルミ溶射添板を用いた高力ボルト摩擦接合部のすべり挙動に関する研究

東, 清三郎

<https://doi.org/10.15017/1807136>

出版情報：九州大学, 2016, 博士（工学）, 論文博士
バージョン：
権利関係：全文ファイル公表済

氏 名：東 清三郎

論 文 名：アルミ溶射添板を用いた高力ボルト摩擦接合部のすべり挙動に関する研究

区 分：乙

論 文 内 容 の 要 旨

鋼構造物では、高力ボルト摩擦接合は広く利用されている接合法である。高力ボルト摩擦接合では、要求される接合耐力に見合うボルト本数が必要であるが、近年、鋼部材の高強度化、大断面化に伴って、従来の方法ではボルト本数が増大するため製作や施工の効率が著しく低下することになり、その対策が喫緊の課題となっている。接合部のせん断耐力はボルト張力と鋼材の接触面のすべり係数の積で決定される。したがって、ボルト本数を減らすには、ボルトを高強度化する方法と接触面のすべり係数を増大する方法の二通りがあるが、前者はほぼ限界に達しているため、後者に期待が集まっている。鋼材同士のすべり係数は 0.45 とされているが、近年、添板となる鋼材の接触面にアルミニウムを溶射するアルミ溶射法によって、すべり係数を最大で 1.0 程度まで増大できることが報告されている。ただし、アルミ溶射の摩擦接合のすべり係数は、添板の板厚や、ボルトの張力、配置に影響を受けるが、これらの定量的評価法は開発されていない。

本論文は、母材（被接合鋼材）の接触面をブラスト処理とし、添板にアルミ溶射した場合の高力ボルト摩擦接合部を対象として、添板の板厚と、ボルトの張力、配置を変数とした実験を行い、すべり係数に対する各因子の定量的評価法を開発し、高すべり係数化に向けた接合部仕様を提示することを目的としている。本論文は 6 章から構成され、各章の概要は以下のとおりである。

第 1 章「序論」では、本研究の背景および目的を述べ、既往の研究についてまとめた。

第 2 章「アルミ溶射摩擦面の力学特性に関する基礎実験」では、摩擦係数と接触圧の関係を調査した。基礎実験は、厚さ 30mm の鋼板（母材）を二つの鋼板（添板）で挟んで側圧を加え、均一な接触圧（7 水準、 $37.5 \sim 350 \text{N/mm}^2$ ）の状態を母材を押し抜くものである。摩擦係数はすべり耐力を側圧で除したものである。アルミ溶射皮膜の断面ミクロを様々な段階で多数調査することで、溶射直後には皮膜に気孔が無数に分布しこれらがクッションとなって母材表面と馴染むことで摩擦係数が高められること、一方、接触圧が高くなるとすべり荷重も増大することから、アルミ溶射皮膜自体のせん断破壊が支配的になって、摩擦係数が低下することなどを明らかにした。また、摩擦係数の評価法も提案した。アルミ溶射法は、溶線式フレーム溶射法、高速フレーム溶射法、アーク溶射法、プラズマ溶射法など各種あるが、これらの比較試験から、すべり係数を高める上ではアーク溶射法が最適であることを明らかにし、第 3 章以降はすべてアーク溶射法を採用している。

第 3 章「1 行 1 列配置での高力ボルト摩擦接合部の平均摩擦係数と平均接触圧に関する検討」では、高力ボルト摩擦接合による二面せん断の実験と解析を行っている。この場合の接触圧は、ボルト近傍で最大となり、外側へ向かって低くなる不均等分布になる。そこで、ボルト張力を想定され

る接触面積で除したものを平均接触圧として定義した。また、摩擦係数についても接触領域の各所で異なるので、すべり耐力をボルト張力で除したものを平均摩擦係数として定義した。高力ボルトによる接触領域はボルト孔を除いたドーナツ状の形状であり、その外径は、鋼材同士の場合はボルト頭部の添板に接触する部分の外径に添板の板厚の2倍を加えたものとされている。これに対して、アルミ溶射を行った場合の接触領域の外径は、すべり試験後の摩擦面や残存皮膜厚の調査、ならびに FEM 解析結果から、鋼材同士の場合の 1.3 倍になることを明らかにした。また、接触領域において、接触圧が半径方向へ距離に比例して減少すると仮定して、第 2 章で得た接触圧と摩擦係数の関係を利用して、平均摩擦係数の算定式を導出した。この算定式を用いてパラメトリックスタディを行い、平均摩擦係数が平均接触圧でほぼ一義的に決定できることを示した。この平均摩擦係数と平均接触圧の関係式は実験結果とよく一致した。

第 4 章「1 行 2 列配置での高力ボルト摩擦接合部の平均摩擦係数と平均接触圧に関する検討」では、複数のボルトを配置した場合について、ボルト孔のピッチとはしあきなどを変数とした 2 面せん断の実験を行った。実験から、ボルト孔のピッチやはしあきが小さくなると、平均摩擦係数が低下することがわかった。これは、複数ボルトの場合は、隣接するボルトの接触領域が重なって接触面積が減少して平均接触圧が高くなるためである。はしあきが小さくても接触面積は低下する。そこで、実験後の摩擦面の観察から、複数ボルトの接触領域は、第 3 章で得られたボルト単体の接触領域の形状を使用して、重なりやはしあきによる制限を考慮することで評価できることを明らかにした。この接触面積に対する平均接触圧を第 3 章で提案した平均摩擦係数と平均接触圧の関係式に適用することで、複数ボルト配置の場合の平均摩擦係数の実験値を精度よく評価できた。

第 5 章「高すべり係数化に向けた接合部仕様選定の考え方」では、すべり係数と平均接触圧の関係性を明らかにし、高すべり係数が期待できる接合部仕様を例示した。すべり係数は、実務設計で使用されるもので、すべり耐力を初期のボルト張力で除したものである。ボルト張力はすべり耐力時には初期張力より低下する。そこで、ボルト張力の低減率について、これまでの実験結果を分析した結果、平均接触圧によってほぼ一義的に予測できることを明らかにした。第 3 章と第 4 章で得られた平均摩擦係数と平均接触圧の関係式、ならびに本章で得られたボルト張力の低下率と平均接触圧の関係式から、高精度のすべり係数と平均接触圧の関係式を導出した。この関係式を用いてパラメトリックスタディを行い、すべり係数が 0.70~0.89 の接合部仕様の例を示した。アルミ溶射の高力ボルト摩擦接合については、すべり係数が 0.70 以上確保できるとする接合部仕様が既に提案されているが、本研究はその範囲をさらに拡大している。また、本研究は、すべり係数を 0.7 に固定するものではなく、さらに高いすべり係数に対して接合部仕様を示している。

第 6 章「結論」では、本論文で得られた結論を示し、今後の課題について言及した。