

|             |                           |
|-------------|---------------------------|
| 氏 名         | 宇 野 のぶ よし 芳               |
| 学位(専攻分野)    | 博 士 (工 学)                 |
| 学 位 記 番 号   | 論 工 博 第 3678 号            |
| 学位授与の日付     | 平 成 14 年 7 月 23 日         |
| 学位授与の要件     | 学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当   |
| 学 位 論 文 題 目 | 鋼材の高摩擦係数化と高カボルト摩擦接合部の力学特性 |

|        |                      |             |             |
|--------|----------------------|-------------|-------------|
| 論文調査委員 | (主 査)<br>教 授 井 上 一 朗 | 教 授 渡 邊 史 夫 | 教 授 渡 邊 英 一 |
|--------|----------------------|-------------|-------------|

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、「溶接接合」とともに鋼構造部材の主要な接合法である「高力ボルト摩擦接合」を対象としている。「高力ボルト摩擦接合」は「溶接接合」に比べて接合部の品質確保が容易である反面、現行の高力ボルト摩擦接合部における高力ボルト1本当りの摩擦耐力はそれほど大きくないので厚肉・高強度部材の接合には適さず、また接合部のコンパクト化も図りにくい。したがって、高力ボルト1本当りの摩擦耐力の増大が求められている。本論文は、鋼材の高摩擦係数化の条件を明らかにすることにより、高力ボルト摩擦接合部の高力ボルト1本当りの摩擦耐力の大幅な増大を可能にするとともに、その高摩擦耐力を活用した高力ボルト摩擦接合部の設計法を提案することを目的として纏めたものである。本論文は序論と結論を含め、全9章で構成されている。

第1章は序論であり、本研究の背景と目的を記述するとともに、関連分野の既往の研究について概観している。

第2章では、硬さが異なる金属間に摩擦力が作用するときの摩擦面の破壊機構を検討し、既往の摩擦理論に新たに2つの破壊機構を導入して高摩擦係数化の条件を理論的に解明した。この条件は硬い方の金属の表面突起形状、硬い方の金属と軟らかい方の金属の硬さの比（硬さ比）、摩擦面の接触圧と軟らかい方の金属の引張強さの比（接触圧比）の3条件で構成される。これらの条件を実験で検証して、硬い方の金属の突起形状が頂角90°の波形で硬さ比が3.1以上かつ接触圧比が0.5以下の条件を満たす場合に1.2の摩擦係数が実現できることを明らかにしている。

第3章では、実際の高力ボルト摩擦接合部で1.2の摩擦係数を安定的に実現するために、摩擦面を波形に加工し、熱処理によって表面を硬くした特殊添板（HF添板）を開発した。HF添板の摩擦面仕様は、高摩擦係数化の理論的条件に基づくとともに経済性や加工性にも配慮して、頂角90°の波形突起で母材との硬さ比は3.1以上、突起高さは0.5 mm以上としている。

第4章では、HF添板を用いた高力ボルト摩擦接合部（HF接合部）を実際の鋼構造部材の接合部に適用するにあたり、母材の摩擦面仕様の違い・肌すき・繰返し荷重などがHF接合部のすべり耐力にどのような影響を及ぼすのかを実験的に検討した。その結果、建築鉄骨で一般に考えられる様々な母材摩擦面仕様に対してほとんど影響を受けず、安定して高すべり係数が得られること、1 mmの肌すきがある場合は肌すきがない場合に比べてすべり係数は15%低下すること、繰返し荷重は最大すべり耐力にほとんど影響しないことを確認している。しかし、一度すべりを生じた後は、繰返し载荷により各履歴のすべり耐力は最大時の3割程度にまで低下するので、HF接合部の設計では接合部を滑らせない配慮が必要である。

第5章では、母材が弾性域に留まる場合と骨組の終局限界状態で十分な塑性化が必要な場合のいずれの場合に対してもHF接合部を滑らせないことを設計方針に置いて、解明すべき設計上の2つの課題を抽出している。一つは母材の引張応力レベルを考慮した設計用すべり係数の設定、もう一つはボルト孔前面部の摩擦力による母材から添板への応力伝達を考慮したボルト孔欠損部における母材の有効断面積とHF接合部の最大耐力の算定である。

第6章では、すべり耐力時の母材の引張応力レベルをパラメータにして単一ボルトで構成されるHF接合部の単調引張载荷実験を行い、母材の引張応力レベルの増大にともなうボルト張力およびすべり係数の変動を明らかにしている。また、第

2章で導いた摩擦係数の算定式を母材の引張応力レベルの影響を考慮した形に修正し、上記実、験結果を利用してHF接合部における高力ボルト1本1面当りのすべり係数を定式化した。最後に、この定式化したすべり係数を基に、母材が弾性に留まる場合と母材が骨組の終局限界状態で十分な塑性化が必要な場合の2水準の設計用すべり係数を設定している。

第7章では、複数列ボルトで構成されるHF接合部の単調および繰返し引張載荷実験を行い、母材が弾性域に留まる場合と骨組の終局限界状態で十分な塑性化が必要な場合についてボルト孔前面部の応力伝達に關与する摩擦力の割合（摩擦力伝達係数）を定量化している。さらに、本結果と設計用すべり係数を用いて、ボルト孔前面部の応力伝達を考慮した場合のボルト孔欠損部における母材の有効断面積とHF接合部の最大耐力の評価式を提案している。

第8章では、第6章で設定した設計用すべり係数と第7章で設定した摩擦力伝達係数および正味断面の有効断面積と最大耐力の算定式を用いて、板要素で構成されるHF接合部とHF接合部で構成されるH形断面梁継手（HF梁継手）の設計法を提案している。さらに、この設計法を用いて設計されたHF梁継手の力学性能を実大繰返し曲げ載荷実験により調査し、設計法の妥当性とHF添板の性能を検証している。

第9章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

### 論文審査の結果の要旨

本論文は、溶接接合と並んで鋼構造部材の主要な接合法である高力ボルト摩擦接合を対象とし、高力ボルト摩擦接合部における摩擦係数の大幅な増大、すなわち高力ボルト本数の大幅な減少を可能とする摩擦面加工法を確立するとともに、その高摩擦係数を活用した高力ボルト摩擦接合部の設計法を提案したものである。得られた主な研究成果のは次のとおりである。

1. 硬さが異なる金属間の摩擦面における破壊機構を検討し、既往の摩擦理論に新たな破壊機構を追加して高摩擦係数を実現するための条件を理論的に解明した。この条件は、硬い方の金属と軟らかい方の金属の硬さ比、硬い方の金属の表面突起形状、摩擦面の接触圧の3条件で構成され、摩擦係数1.2を実現するための条件を理論的に設定して実験的に確認している。
2. 実際の高力ボルト摩擦接合部において使用される添板と母材間の摩擦係数1.2を安定して可能とする特殊な添板（HF添板）を開発した。経済性と加工性にも配慮し、この添板の摩擦面仕様として表面を頂角90°の波形突起、突起の高さは0.5mm以上、硬さ比は3.1以上としている。
3. 上記のHF添板を用いた高力ボルト摩擦接合部を実際の鋼構造部材の引張接合部に適用し、母材の摩擦面仕様の違い・肌すき・繰返し荷重などが接合部のすべり耐力に及ぼす影響を実験的に検討した。その結果、建築鉄骨で一般に用いられる様々な母材摩擦面仕様に対してすべり耐力はほとんど影響を受けず、安定して高摩擦係数が発揮されることを確認している。
4. 以上得られた知見に基づいて、HF添板を用いた高力ボルト摩擦接合部の設計法を提案するとともに、この設計法を用いて設計・施工された梁継手の力学性能を実大繰返し曲げ載荷実験により調査し、この設計法の妥当性とHF添板の性能を検証している。

以上要するに、本論文は、高力ボルト摩擦接合部の性能を格段に高めることによって鋼構造建築物の構造性能の向上や品質の安定化に貢献し、さらに従来は困難であった厚肉・高強度部材の高力ボルト接合を可能とするものであり、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成14年5月22日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。