

# 建築鋼構造物高力ボルト接合の高耐力化・施工性向上について

地球総合工学専攻 建築工学コース  
教授 桑原 進

## 1. はじめに

この度、2023年4月1日付けて工学研究科地球総合工学専攻建築工学コースの教授を拝命し、鉄骨系構造学領域を担当することになりました。1989年に学部4年生として配属されて以降（途中3年半ほど他大学にて勤務をいたしました）、現在の研究室において建築鋼構造に関する研究・教育に従事してまいりました。これまでに鋼構造骨組の耐震安全性を向上させるため、地震エネルギーを吸収する制振デバイスの開発や各種接合部の挙動の解明、また、それらを組み込んだ鋼構造骨組の応答の検討、設計法の提案を行ってきましたが、以下では15年ほど前から手掛けている高力ボルトを用いた接合部に関する研究をご紹介します。

## 2. 高力ボルト接合の高耐力化

高力ボルト接合は、溶接接合と並び鋼構造物を構築するために重要な接合方法の一つです。溶接技能者の技能、施工環境・条件によって接合部の性能に大きな影響を及ぼす溶接接合と比較すると、高力ボルト接合部は比較的経験の浅い技能者でも施工環境・条件によらず安定した高い接合部性能を実現しやすい施工方法であると位置づけられます。近年の技能者の不足・高齢化や、少子化に伴う新規技能者の減少を鑑みれば、鋼構造接合部における高力ボルト接合部の重要性は今後も変わらないと思われまます。日本での高力ボルト接合の使用は1950年代後半からで、当時用いられていたリベット接合に置き換わる形で普及が進みました。その後、鋼構造建築物の高層化・大型化に伴う部材の厚肉化・高強度化に対して、高力ボルト接合にも高耐力化が求められるようになりました。高力ボルト接合では、高力ボルトの高い材料強度（一般的なもので $1000\text{N}/\text{mm}^2$ ）を利用した締付け力により被接合材間に摩擦力を発生させて力を伝達する摩擦接合が多く用いられます。そのため、高耐力化を実現するためには高い締付け力と高いすべり係数（摩擦係数に対応する値）が必要となります。

高い締付け力を得る方法として高力ボルトの高強度化、締付け施工法の改善などが考えられます。高強度化の阻害要因である遅れ破壊を解決するため、応力集中を小さくする検討を行ったねじ形状はF14T超高力ボルト（ $1400\text{N}/\text{mm}^2$ ）に採用され、現在、多くの建築物に使用されています。締付け施工法では、ボルトの一部塑性化を電動レンチが検知し、自動的に締付け制御を行うOS法と呼ばれる施工法を検討中です（図1）。この方法ではボルトセットのトルク係数、被締付け材の剛性によらず、従来よりも高い締付け力を安定して導入できること、ボルト種類によらず同施工法を適用できること、トルシア形高力ボルトと同様、片側からの施工が可能であることが特徴であり、数千本の締付け試験によりその優位性を検証しています。

高いすべり係数を得るため、建築分野では鋼材の摩擦面処理として赤錆処理面・ブラスト処理面の使用が認められています。現在のところこれらの摩擦面の定量的な管理手法が確立されておらず、施工法などの違いにより得られるすべり係数にはばらつきが生じることを広範なすべり実験により明らかにし

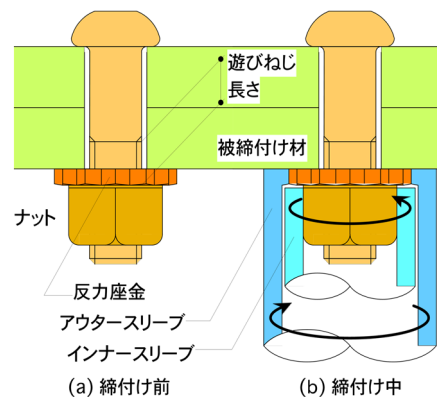


図1 OS法締付け施工

## 新任教授紹介

ています。写真比較など主観的な判断により管理されている赤錆処理面に対し、当研究室では測色計を用いた定量的な管理方法の提案なども行っており、安定したすべり係数の確保が高耐力での接合部設計に寄与すると考えています。高力ボルト黎明期には想定していなかった超高強度鋼材（800～1000N/mm<sup>2</sup>）への適用にも注意が必要です。被締付け材が超高強度であった場合、ブラストによる表面処理が十分に施工できず、従来鋼よりも高い硬度の研削材を高速で投射するなどの特別な施工条件が必要であること、赤錆の場合は従来鋼と同様の処理で良いことも明らかにしています。

### 3. 高力ボルト接合の施工性向上

建築鋼構造物の製作・施工には不可避な製作誤差・施工誤差が伴います。これに対し高力ボルトを用いた接合部ではボルト孔のクリアランスを利用し誤差を吸収することで構造物としての施工精度を確保してきました。しかし構造物が巨大化・長スパン化することにより、製作・施工精度を高めても一般的なボルト孔ではその誤差を吸収できない場合が生じ始めています。これを解決するため、ボルト孔に拡大孔（通常よりも大きな孔径）やスロット孔（長孔）の適用が考えられます。建築基準法では高力ボルト孔径はボルトの呼び径+2mmと決まっており、拡大孔やスロット孔の適用には個別に国土交通大臣の認定が必要となるため、建築分野においては一般的に用いられておらず、潜在的な需要は大変高くなっています。当研究室では施工性向上と同施工法の実用化を目的として、スロット孔・拡大孔を用いた接合部の性状について実験・解析（図2）にて検討を進め、孔形・方向・すべり耐力と被接合材の降伏耐力の比などがすべり係数に及ぼす影響を明らかとしています（図3）。また、同ボルト孔を接合部に適用した場合、ボルトとボルト孔側面が接触、支圧状態となって耐力が上昇するまでに構造物には従来孔よりも大きな変形が生じることが懸念事項となります。実大梁接合部による実験やすべりを伴う変形を考慮した接合部を組み込んだ骨組応答解析により、骨組の性状を明らかにしています。一方に静的に加力した場合の変形の簡易推定法の提案、また、動的な地震応答解析では、一定の上限ではすべりによる地震エネルギー収集により応答が小さくなることもわかっています。

上記以外にも極厚・高強度の被接合材を用いた場合の肌すき（摩擦面の隙間）に対する検討、雨濡れによるトルク係数の変化に伴う締付け力の変化などについても検討を行っており、高力ボルト接合の広範な適用に寄与する研究を行っています。

### 4. おわりに

高力ボルトの研究では、摩擦面のすべり現象を対象としているため、近年は解析精度も上がっているが、実験による検討は必要不可欠です。学生諸氏の協力を得ながら今後も丁寧な研究を今後も進め、学会基準、建築工事標準仕様書などで社会に研究成果を還元していきたいと考えています。



図2 すべり試験体例

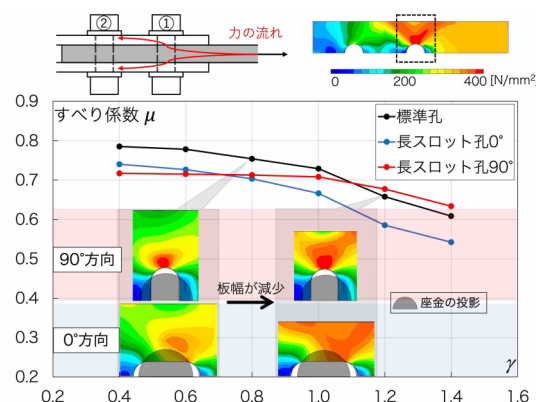


図3 スロット孔すべり係数の解析例

(大阪大学工学部建築工学科 1990年卒業 大阪大学工学研究科建築工学専攻 1992年修了  
京都大学工学研究科 2001年博士(工学)取得)