

ノート

木材—ボルト接合時における破損防止を考慮した締付け条件

松原 独歩*¹⁾ 中野 貴啓*²⁾ 島田 勝廣*³⁾

Tightening conditions in consideration of the damage prevention on bolted timber joints

Doppo Matsubara*¹⁾, Takahiro Nakano*²⁾, Masahiro Shimada*³⁾

キーワード：木材，ボルト接合，締付け，締付け軸力

Keywords：Wood, Bolted joint, Tightening, Clamp force

1. はじめに

木材のボルト接合はあらゆる製品や構造物に応用されている。例えば，木造在来軸組工法住宅においては，土台と基礎の緊結（アンカーボルト接合），耐力壁の柱・梁接合部（ホールダウン金物などで緊結），梁と梁の緊結（羽子板ボルトなど）などである。木質構造物において地震力などの外力が加わる場合における弱点は接合部であることがよく知られている。鉄骨構造や鉄筋コンクリート構造は，外力が加わっても柱や梁などの部材が壊れるように設計する事が可能である。しかし，木質構造の場合は接合部が先行破壊することがほとんどであるため，接合部の性能を高めること及び適切な設計施工が構造物全体の性能を高める上で重要となる。

しかし，木材のボルト接合はワッシャー（あるいは鋼板）とボルト及びナットで構成される簡易な接合法であるが，ナットをどのくらいのトルクで締付けるべきか，の基準が曖昧で現場毎に任されているのが実状である。これは，木材は乾燥収縮や応力緩和を起すことから，ナットを締付けたとしても時間経過で緩んでしまうと考えられていることが背景にあり，厳密に締付けることにあまり意味がないと考えられているからである。そのため，実際の現場では締付け過ぎ（木材の破壊や座金などの変形）や締め忘れなどが指摘され，接合部の品質及び安全性の低下が懸念される。日本建築学会の木質構造設計基準・同解説⁽¹⁾では，ナットの締付けについて座金が木材にわずかにめり込む程度とする，と規定しているが，樹種によってどのくらいめり込ませることが適切なのか，など不明な点が多い。

本報告では，筆者らが実施した木材のボルト接合の締付け試験結果⁽²⁾をもとに，締付け時の木材や座金，ボルトの破損を防止するための締付け条件について検討した結果を報告する。

事業名 平成25年度 基盤研究

*¹⁾ 城東支所*²⁾ 実証試験センター*³⁾ 交流連携室

2. 木材—ボルト接合における締付けの力学メカニズム

図1に示したように，木材のボルト接合においてナットを締付けると，木材には部分圧縮応力が，ボルトにはそれと釣り合う引張応力が生じる。ここで，部分圧縮応力はナットの締付け回転角が同じでも樹種によって異なる。更に余長 e が大きくなれば，部分圧縮応力は大きくなることが知られている。木材のめり込み理論³⁾によれば，この余長 e がわずかでも部分圧縮応力増大に大きな効果があるが，余長 e が長くなるにつれて頭打ちとなる。余長 e の効果は繊維方向の場合，ほぼ材厚 H の1.5倍程度とされている。したがって，余長 e の増加により締付け時の部分圧縮応力は増大し，その分だけ締付け力は大きくなることになる。またそれと釣り合う引張応力がボルトには生じているので，ボルト径によってはボルトの破断点に達しボルト破断に至る可能性がある。更に，座金の厚さが小さく，木材側の部分圧縮強度が高い場合（例えば広葉樹材）においては締付けによって座金が荷重と逆方向に反り上がることが想定される。この座金の変形については，辻野，平井ら⁽⁴⁾が有限要素法解析にて弾性剛性の推定に成功している。この締付け時の座金の変形は，例えばアンカーボルト接合では座金の接触面積が小さくなり，座金が木材にめり込みやすくなる要因となる。

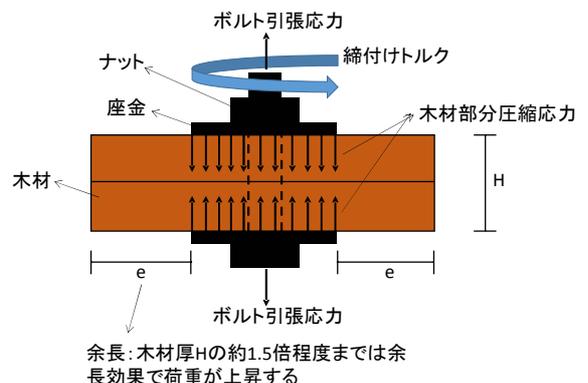


図1. 締付け時の力の釣り合い

3. 木材-ボルト接合の締付け試験⁽²⁾

構造材として広く用いられている 4 種の木材を用いて締付け試験を実施した。図 2 に試験方法を示した。試験にはねじ締付け試験機（日本計測システム株式会社製、NST-500NM）を用いた。試験に供した木材は、スギ、ツガ、ヒバ、カラマツの 4 種とした。ボルトは M12 の強度区分 4.8 の半ねじとした。座金は Z マーク角座金とし、40mm×40mm×t4.0mm であった。木材には先穴φ13mm をあけた。木材は、無節で、板の表裏面が通直な供試材を選別した。また、コントロールとして木材を挿入しない金物のみの締付け試験も併せて実施した。

図 3(a)にヒバの締付けトルクと締付け軸力及び回転角の関係の一例を示した。また併せて金物のみの関係も示した。ヒバは、100 deg 付近にてスナグ点を向かえ、締付けトルク及び締付け軸力が直線的に上昇して降伏を経た後、再び上昇するというバイリニア型の挙動を示した。これは、締付けにより座金が木材にめり込むことにより、余長効果によって部分圧縮力が上昇し続ける木材特有のめり込み現象である。一方、図 3(b)のように金物のみの場合は、バイリニア型の挙動を示さず、ボルト破断に至った。ヒバ及びカラマツについてはボルト破断及び座金の変形が顕著に確認された。図 4 にカラマツにおける座金の変形及び座金の木材へのめり込み状況を示した。スギ及びツガについては、座金の木材へのめり込みが顕著であり、ツガについては座金の変形が確認された。これらの結果を整理すると、表 1 のようになる。このように、樹種によって締付け破壊性状が異なることが明らかになった。したがって、実際の締付けを行う場合には、本実験の範囲内では、①スギ及びツガは座金のめり込みが顕著であるので、適切な締付け軸力を得るためには、木材のめり込み降伏荷重以下に締付け軸力を設定することで過剰な締付けを防止することができる。②ヒバ及びカラマツは木材、座金、ボルトそれぞれの降伏荷重よりも低い締付け軸力を設定することで、座金の変形及び木材のめり込みに対する過剰な締付けを防止することができるものと思われる。

4. まとめ

木材のボルト接合において締付け時の木材や座金、ボルトの破損を防止するための締付け条件は、既報⁽²⁾の範囲では、以下ようになる。

- (1) スギ、ツガは木材のめり込み降伏荷重以下に締付け軸力を設定する。
- (2) ヒバ及びカラマツは木材、座金、ボルトそれぞれの降伏荷重よりも低い締付け軸力を設定する。

謝辞

本研究は東京農工大学 服部順昭 名誉教授にご助言を頂きました。ここに記して感謝申し上げます。

(平成 26 年 7 月 7 日受付, 平成 26 年 8 月 7 日再受付)

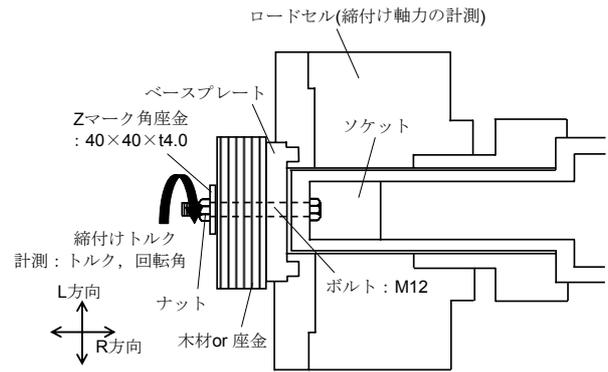
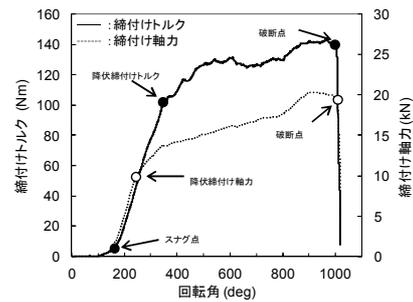
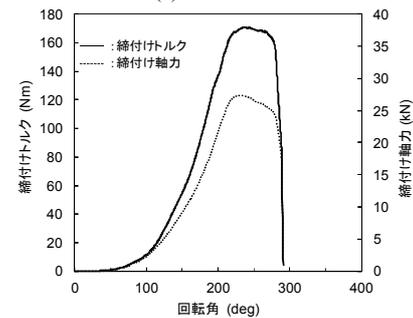


図 2. 締付け試験方法⁽²⁾



(a) ヒバ



(b) 金物

図 3. 締付けトルクと締付け軸力及び回転角の関係一例⁽²⁾



図 4. カラマツにおける座金の変形性状⁽²⁾

表 1. 破壊状況一覧

樹種	破壊分類			○破壊顕著 △顕著でない ×破壊無し
	めり込み	座金の変形	ボルト破断	
スギ	○	×	×	
ツガ	○	△	×	
ヒバ	○	○	○	
カラマツ	○	○	○	

文 献

- (1)日本建築学会編：「木質構造設計基準・同解説」, p.41 (2006)
- (2)松原独歩, 島田勝廣, 西川康博, 中野貴啓, 服部順昭：「木材のボルト接合部における締付けトルクと締付け軸力の関係」, 木材工業, Vol.69, No.1, pp.19-23 (2014)
- (3)日本建築学会編：「木質構造基礎理論」, pp.98-103 (2010)
- (4)辻野哲司, 平井卓郎, 竹内則雄：「木材上座金の線形曲げ解析」, 岩手大学教育学部教育年報, Vol.65, pp.121-128 (2006)