

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 20 日現在

機関番号：80122

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25450248

研究課題名(和文) 合理的な木質接合部を実現するための異種接合具併用接合に関する研究

研究課題名(英文) Study for timber joint combined with different type of fasteners to achieve a rational joint

研究代表者

戸田 正彦(Toda, Masahiko)

地方独立行政法人北海道立総合研究機構・森林研究本部林産試験場・主査

研究者番号：60446317

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、異なる種類の接合具を同時に用いた接合部を合理的に設計することを目的として、実験による性能検証および性能推定手法について検討を行った。その結果、個々の接合具での荷重-すべり曲線を加算することによって、併用時の挙動を推定することが可能であり、また鋼板先穴のクリアランスに依存する初期すべりも考慮することでより精度よく推定することが可能であった。また、個々の接合具の荷重変位曲線が完全弾塑性モデル化したバイリニア曲線で示されている場合に、それらを併用した場合の降伏耐力を推定する手法を提案した。

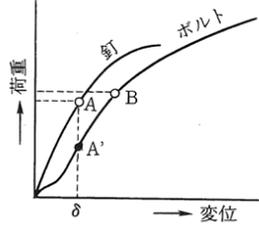
研究成果の概要(英文)：In this study, for the purpose of rational design of combined joint, performances of the combined joint consisting of different types of fasteners were verified by experiments, and estimation method for performances of the combined joint were examined. As a result, it was possible to estimate the behavior of combined joint by adding load-slip curves of the individual fastener. And consideration of initial slip of fasteners depending on the clearance of the steel plate hole improved the accuracy of estimation. Further, a method for estimating the yield strength of combined joint was proposed when load-slip curves of the individual fastener was shown in elasto-plastic modeled bi-linear curve.

研究分野：木質構造

キーワード：接合部 異種接合具

1. 研究開始当初の背景

一般に木質構造の接合部は 1 種類の接合要素で設計・施工されている。どの接合方法を選択するかは、要求される性能や使用箇所、使用部材、更にはコストなど様々な要件を勘案して決定されるが、複数の接合要素を併用して設計することは稀である。これは、併用した場合の許容耐力が容易には評価できないためである。例えば右図に示したように釘とボルトの許容耐力はそれぞれ A、B であるが、釘が許容耐力を発揮する変位に達したとき、ボルトは A ではなく A' の抵抗力しか発揮されないためである。



このため、現行の木質構造設計規準（日本建築学会）では、同一箇所の接合部に力学特性の異なる接合法を併用する場合の接合耐力は、実験結果に基づいて定めなければならないとされている。

近年、既存木造住宅の耐震補強などで、例えば筋かいと柱・土台とを釘打ちした接合部に、金物をビスで固定して補強するなど、異なる種類の接合具を併用する施工例が増えてきている。これは、最大耐力の向上もさることながら、部材同士の離脱を防止し、靱性（ねばり強さ）を付加させることへの期待が大きいと考えられる。特に釘接合部にボルトを併用することで、靱性が向上する報告は木質接合部の研究黎明期のころから多くなされている。このように、異なる接合要素を併用する必要性もしくはメリットはすでに知られている事実ではあるが、現状ではこのメリットを正當に評価して設計するには至っていない。現実には、どちらか性能の高い方の接合要素のみを対象として耐力や剛性を算定し、その他の接合要素については加算しない、という安全側ではあるが合理性に欠ける設計方法が採用されている。異種接合具の併用によるメリットを設計に反映することができれば、公共建築物の木造化の推進に繋がるのが可能となる。

2. 研究の目的

研究代表者は、これまでに釘、ボルト、ラグスクリューを併用した鋼板添え板集成材継手の引張試験を行い、荷重の上昇が微小な初期のすべり（以下、初期すべり）を無視できる場合は各接合部の変形挙動をある時点までは加算することが可能であることを明らかにした。一方、初期すべりが避けられない場合は、接合部の強度性能のうちの初期剛性については単純加算することは困難であると考えられた。しかし、建物の倒壊防止を担保するという視点で最重要な性能である大変形に至った後の靱性は、特にボルトの場合は初期すべりの有無や程度によらず安定したねばり強い挙動を示すため、これを無視して接合部性能を評価

するのは合理性に欠けると判断した。本研究では、初期すべりによる影響を考慮した上で加味可能な靱性成分に着目し、剛性・耐力・靱性を独立して担保させる合理的な接合部評価の検討を目的とする。

3. 研究の方法

まず釘・ボルト・ラグスクリューボルト接合について、(1) 単一接合具を用いた場合のせん断試験を行い、荷重-変形の関係を明確にモデル化する（単一接合具での接合性能の把握）。

続いて、(2) これら接合具を組み合わせた場合のせん断試験およびモーメント抵抗試験を行い、荷重と変形の間関係を把握するとともに初年度に得た単一接合具での変形挙動からの推定を試みる（異種接合具併用接合部の性能把握）。最後に、(3) 異種接合具を併用した接合部の初期剛性や降伏耐力、終局耐力を、個々の接合具の性能を用いて推定する手法について検討する（併用接合の性能評価手法の検討）

4. 研究成果

(1) 単一接合具での接合性能の把握

個々の接合具を用いた接合部の加力試験を行い、得られた種々の荷重-すべり曲線の重ね合わせを可能にするデータの蓄積を行った。

まず、トドマツ材（断面寸法 50mm×50mm）に CN50 釘（長さ 50mm、直径 2.87mm）を打ち付けた鋼板（厚さ 3.2mm）を添え板とする釘打ち接合部の一面せん断試験を行い、荷重-すべりの関係曲線データを蓄積した（図 1）。また木材の密度に基づく変形性能の推定を試みた。その結果、最大せん断耐力と密度との間には有意な相関関係が存在することを確認した（図 2）。一方、密度をパラメータとすることによって、降伏耐力をヨーロッパ型降伏理論から、また剛性（すべり係数）を弾性床理論から推定した（図 3、4）。その結果、初期剛性についての実験値と推定値との相関係数は最大耐力の場合に比べて低い結果となった。これは、今回のような径の細い釘の場合のせん断変形挙動は、密度だけでなく木材の年輪構成や材質の不均一性による影響を受けやすいためと考えられる。

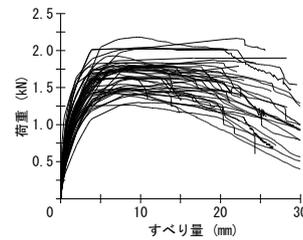


図 1 荷重-すべりの関係（鋼板添え板釘接合）

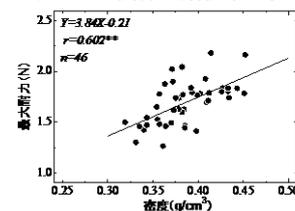


図 2 密度と最大せん断耐力の関係

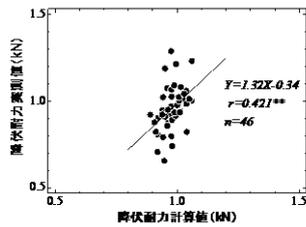


図3 降伏耐力の実験値と計算値の比較

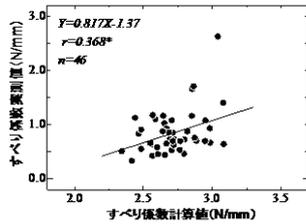


図4 すべり係数の実験値と計算値の比較

続いて スギ材 (断面寸法 38mm×89mm) を用いて CN50 釘の鋼板添え板釘接合部を対象に、加力方向を繊維方向に対して 0、45、90 度として 1 面せん断試験を行った (図 5)。その結果、最大耐力は角度が異なっても大きな差は認められなかったが、初期剛性 (1mm 時の荷重) は角度に依存するなどの変形挙動特性を把握した (図 6)。



図5 加力方向を変えた釘接合部の1面せん断試験

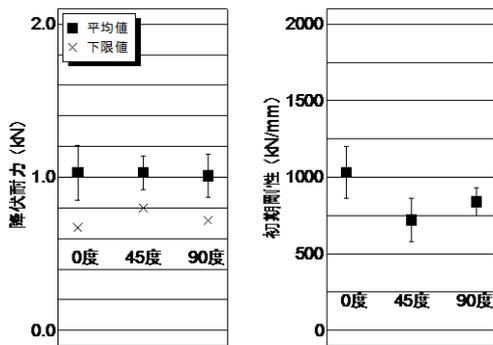


図6 釘接合性能の角度による違い

同様にボルト、ラグスクリューを単独で用いた接合部の 1 面せん断試験を実施し、密度と剛性や耐力との相関関係を把握した。

釘、ボルト、ラグスクリューでの一面せん断試験で得られた荷重-すべり関係は 3 パラメータの指数関数 (3p-Exp 関数) 曲線で近似することが可能であった (図 7)。また各パラメータと密度との間の相関関係を確認した。

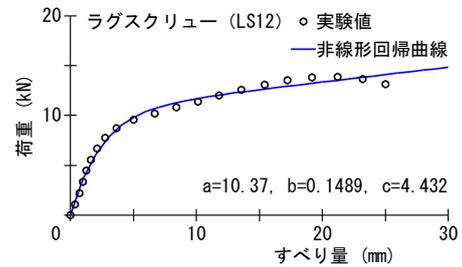
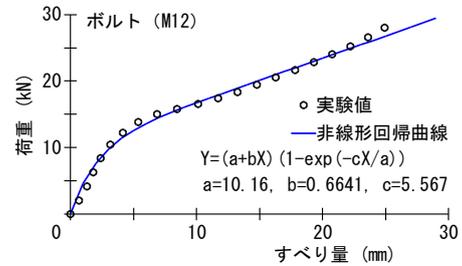
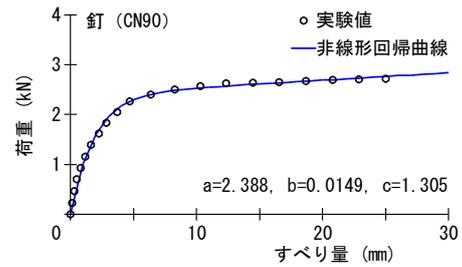


図7 荷重-すべり関係曲線の指数関数による近似

(2) 異種接合具併用接合部の性能把握

異なる接合具を同時に用いた接合部の加力試験を行い、変形挙動および耐力を把握した。また個々の荷重-すべり曲線を重ね合わせることによって、併用時の挙動の推定を試みた。

試験体は 105mm 角のスギ製材 (平均密度 0.35) に、厚さ 6mm の鋼板を釘 (CN90、先穴 4.5mm)、ボルト (M12、鋼板・木材とも先穴 13mm)、ラグスクリュー (LS12-110、鋼板先穴 13mm、木材下穴は 12mm と 8mm の 2 段穴) を用いて一面せん断で抵抗させる接合部モデルである。単独仕様は各接合具を 1 本ずつ、併用仕様は 1 本のボルトまたはラグスクリューの周囲に 5 本の釘を配置している。なお、ボルトとラグスクリューの単独仕様の試験体では、初期すべりが生じないように接合具と鋼板とをあらかじめ接触させて配置し、併用仕様では初期位置をコントロールせずに配置した。試験体数はボルト仕様各 16 体、ラグスクリュー仕様各 9 体である。なお単独仕様および併用仕様の試験体は、1 本の製材からマッチングさせて製作した。

加力試験は毎分 10mm の速度で単調に引張加力を行い、最大荷重の 80% に低下するか、すべりが 25mm を超えるまで実施した。試験実施状況の例を図 8 に示す。



図8 試験の様子

例として釘、ボルトの単独仕様および併用仕様の荷重—すべりの関係曲線を図9(上)に示す。

実験で得られた併用仕様の荷重—すべり曲線と、単独仕様の荷重—すべり曲線を加算した曲線とを比較すると、大まかな形状は一致しているが、先述したように併用仕様では初期すべりの発生が避けられないため実験曲線は加算曲線よりも初期の変形が大きくなる傾向が認められた。

また、図9(上)のボルトの曲線を初期すべりに相当する変位(ここでは2mm)だけシフトさせた補正曲線を用いて再度加算した結果(図9下)、曲線はほぼ一致したことから、初期すべりを適切に設定することによって変形挙動の推定精度を向上させることが可能であると考える。

このように、個々の接合具の変形や破壊が他の接合具の挙動に影響を及ぼさなければ、個々の荷重—すべり曲線を加算することによって、それらを併用した場合の挙動を推定し、降伏耐力を推定することが可能であることが明らかとなった。

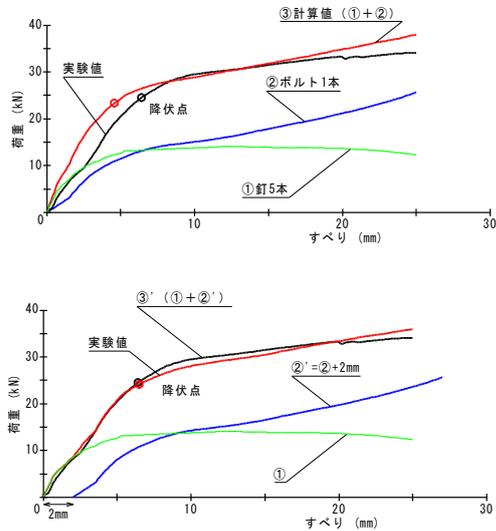


図9 釘・ボルトの単独仕様・併用仕様での荷重—すべりの実験曲線および推定曲線(上:補正前、下:補正後)

(3) 併用接合の性能評価手法の検討

併用接合の初期剛性・最大耐力・靱性の評価と、個々の接合要素の荷重変形曲線の加算による評価値を比較し、設計に反映可能な性能評価手法を検討した。

まず実験曲線と加算曲線それぞれについて、最大荷重の10、40、90%の点を用いる方法で降伏点を算出して比較した結果を表1に示す。

全体的に、ボルト併用仕様のほうが釘—ラグスクリュー併用仕様よりもばらつきが大きかったが、これは先穴径と接合具径の差がボルトのほうが大きかったためと考えられる。また両者とも降伏耐力の比は1.0に近かったのに対して降伏変位の比は1.4と大きかったことから、初期すべりは降伏耐力よりも初期剛性に大きく影響を及ぼすと考えられる。

表1 降伏耐力・変位の実験値と計算値の比較

		釘5本 +ボルト1本	釘5本 +ラグスクリュー1本
降伏耐力の	平均	0.94	0.99
実験値/計算値	変動係数	0.17	0.06
降伏変位の	平均	1.43	1.40
実験値/計算値	変動係数	0.46	0.19

一般に実験で得られた荷重—すべり曲線は、完全弾塑性モデル化したバイリニア曲線で表すことができる。したがって個々の接合具でのバイリニア曲線を加算することによっても、併用した接合部の変形挙動を表すことが可能である。しかしバイリニア曲線を加算した曲線はトリリニア曲線となり、直接的に併用接合部の荷重—すべり曲線を完全弾塑性モデル化する場合とは異なる評価となる懸念される。

そこで、併用した場合の終局耐力は、個々の終局耐力を加算したものに一致し、かつエネルギーも加算されると仮定することによって、トリリニア曲線のバイリニア化を行った(図10)。

接合具1での降伏点変位を δ_{v1} 、終局変位を δ_{u1} 、終局耐力を P_{u1} とすると、終局変位に至るまでのエネルギー E_{u1} は

$$E_{u1} = P_{u1} (\delta_{u1} - \delta_{v1} / 2)$$

となる。上述の仮定より、接合具1と接合具2を併用した場合の終局耐力は $P_u = P_{u1} + P_{u2}$ 、終局エネルギーは $E_u = E_{u1} + E_{u2}$ となり、また終局変位は単独でも併用でも同じ値 δ_u であるとみなすと、併用仕様での降伏点変位 δ_v は以下の式で計算される。

$$\delta_v = (\delta_{v1} P_{u1} + \delta_{v2} P_{u2}) / (P_{u1} + P_{u2})$$

一方、降伏点は、個々の接合具の降伏に至るまでのエネルギーの総和を求め、併用時のバイリニア曲線上の、このエネルギーに達する点を降伏点とみなすこととした。個々の接合具での降伏に要するまでのエネルギーは

$$E_{y1} = \delta_{y1} P_{y1} / 2, E_{y2} = \delta_{y2} P_{y2} / 2$$

より、併用時の降伏耐力・降伏変位は以下の式で求められる。

$$P_y = (2k (E_{y1} + E_{y2}))^{1/2}$$

$$\delta_y = P_y / k$$

ここで $k = P_u / \delta_v$

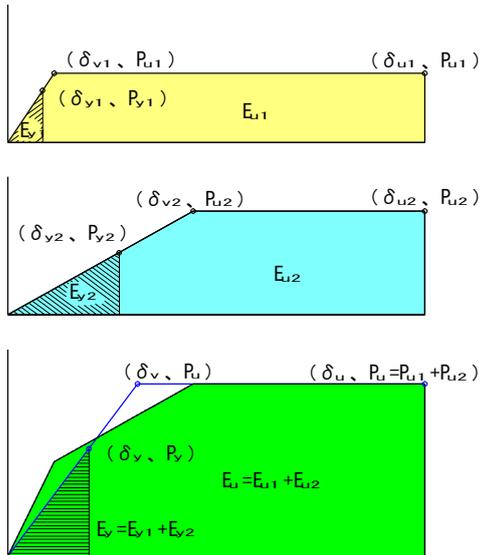


図 10 バイリニア曲線の加算と降伏点の導出方法

今回の実験で得られたデータを用いて、ボルトまたはラグスクリュー1本に釘を2~30本併用した場合のシミュレーションを行い、以下の2通りで降伏耐力・降伏変位を算出した(図11、12)。

方法 A: 個々の荷重-すべりの実験曲線を加算した曲線の、最大荷重の10、40、90%の点を用いて降伏点を算出する

方法 B: 個々の荷重-すべりの完全弾塑性バイリニア曲線を加算した曲線を再度バイリニア化して降伏エネルギーをもとに降伏点を算出する。

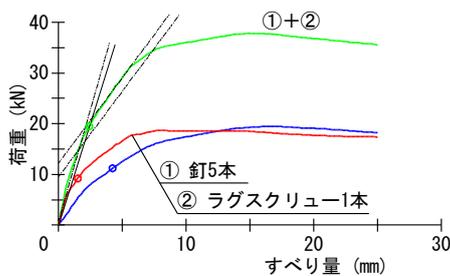


図 11 降伏耐力の算出方法 A

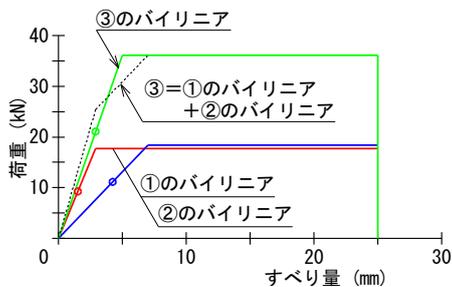


図 12 降伏耐力の算出方法 B

手法 A と B とでの降伏耐力の算定結果を図 13 に示す。ラグスクリュー併用の場合は、B が A をわずかに上回っているものの、ほぼ同等な計算値であった。一方、ボルト併用の場合は釘本数が 14 本までは誤差が増加し、16 本から急激に A での値が変化し、その後は一定の比率に収束している。これは図 14 に示すように、最大荷重の 90% に相当する点のすべりが、釘 14 本と 16 本とで大きく変化し、降伏耐力の大小が逆転したためである。したがって手法 B を用いて併用時の降伏耐力を精度よく推定するためには、個々のバイリニア曲線が実際の変形挙動を適切に表現している必要があると考えられる。

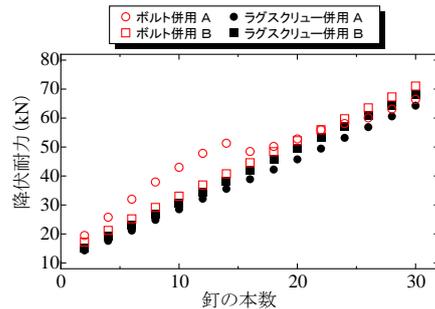


図 13 算出方法の違いによる降伏耐力の比較

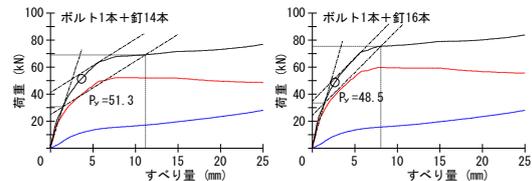


図 14 荷重-すべり曲線の変化

(4) まとめ

本研究では、異なる種類の接合具を同時に用いた接合部を合理的に設計することを目的として、実験による性能検証および性能推定手法について検討を行った。

その結果、個々の接合具での荷重-すべり曲線を加算することによって、併用時の挙動を推定することが可能であり、また鋼板先穴のクリアランスに依存する初期すべりも考慮することでより精度よく推定することが可能であった。

また、個々の接合具の荷重変位曲線が完全弾塑性モデル化したバイリニア曲線で示されている場合に、それらを併用した場合の降伏耐力を推定する手法を提案した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 件)

[学会発表] (計 4 件)

・野田康信、戸田正彦、藤原拓哉：2014 World Conference on Timber Engineering (H26年8月、カナダ)、RACKING PERFORMANCE OF SHEATHED SHEAR WALL FASTENED WITH NAILS AND SCREWS TOGETHER

・戸田正彦、古田直之、大橋義徳：日本木材加工技術協会 第33回年次大会 研究発表要旨集 (H27年9月)、北海道産枠組壁工法用製材の釘接合性能

・野田康信、戸田正彦：第66回日本木材学会大会研究発表要旨集 (H28年3月)、鋼板添板ボルト接合によるモーメント抵抗接合部にくぎを併用した場合の性能推定

・戸田正彦、野田康信、富高亮介：2016年度日本建築学会大会(九州)学術講演梗概集、(H28年8月)、異種接合具を併用した接合部の耐力推定手法

[図書] (計 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

国内外の別：

○取得状況 (計 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

戸田 正彦 (TODA MASAHIKO)

地方独立行政法人 北海道立総合研究機構
森林研究本部 林産試験場 主査

研究者番号：60446317

(2)研究分担者

野田 康信 (NODA YASUNOBU)

国立研究開発法人 森林総合研究所・構造
利用研究領域 主任研究員
研究者番号：30446322