

令和元年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：2016～2018

課題番号：16K07815

研究課題名(和文)木質構造の最適な接合具配置に関する研究

研究課題名(英文)A Study of optimal fastener locations for timber structure joints

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) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、釘やボルトなどの接合具を複数本用いた接合部を合理的に設計するために、木材の強度特性を考慮した最適な接合具の配置を求める手法について検討した。その結果、木材の繊維方向に平行に加力する場合は、接合具を千鳥状に配置することによってじん性および終局耐力が向上することが明らかとなった。さらに縁端距離や間隔を基準よりも小さくした場合でも、千鳥配置によって降伏耐力や初期剛性を向上させることが明らかとなった。またモーメント加力する場合は、木材の異方性を考慮して配置することによって、降伏耐力や剛性を向上させることが可能であり、その性能を計算によって推定することも可能であった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって、木質構造物の接合部を合理的に設計する手法を示し、実験によって検証した。これにより接合部の低コスト化や部材断面のコンパクト化が可能となり、建築物の低コスト化に繋がり、ひいては建築物の木造化の推進に寄与できるものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：It was found that to locate some fasteners of timber joints with steel-plate in zig-zag line increased the ductility and the ultimate strength loaded parallel to grain, but the yield strength and the initial stiffness were not affected. In moment-resisting joints, the yield strength and the initial stiffness were increased with consideration of the anisotropy of wood.

研究分野：木質構造

キーワード：接合部 モーメント抵抗接合 千鳥配置

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

中大規模の木質構造物の建築が促進される中、より普及を進めるためには、接合部の設計や施工にかかる労力や時間、コストを低減することが必要と考えられる。評定を受けた金物は、実験によって許容耐力を決定するため、釘やボルトの配置は木質構造設計規準（建築学会）を必ずしも満たす必要はない。これに対して、確認実験を行わずに接合部を設計する場合は、設計規準で定められた縁端距離や接合具間隔に則って格子状に配置するため、接合部の面積が大きくなる傾向がある。また釘のように先穴をあけずに施工する接合具の場合は、木材の割裂による影響を軽減させるために千鳥に配置することが望ましいが、どの程度ずらせば効果があるのか、具体的な数値が規準には示されていない。

このように、格子状の制約を受けずに接合具を配置することができれば、接合部面積の肥大化を抑制したり、性能を向上させることが可能となるが、その配置を合理的に求める手法は整理されていないのが現状である。

### 2. 研究の目的

本研究では、木質構造における接合部の合理的な設計手法の確立をめざして、釘やボルトなどの接合具を、与えられた接合スペースのどこに配置するのが最も効果的なのかを明らかにすることを目的とする。特に木材の異方性を考慮した基本的な強度特性と、接合具の変形特性に着目し、接合部全体の耐力や剛性、ねばり強さが最適となるような配置を求める手法について検討する。

### 3. 研究の方法

まず（1）鋼板を木材に留めつけた接合部モデルの軸方向の加力試験を行い、縁端距離が異なる配置での接合性能の変化を把握するとともに、木材の異方性との関係を整理する（縁端距離が接合性能に及ぼす影響の把握）。その後、（2）規準を遵守した状態で直線配置と千鳥配置とした場合の接合性能の差異について実験的に検証するとともに、最適な接合具配置を求める手法を検討する（最適な接合具配置を求める手法の検討）。次に、（3）モーメント抵抗性能に着目し、木材の異方性を考慮した最適な接合具配置を求める手法および性能推定手法を検討するとともに、加力試験によって推定手法の妥当性を検証する（接合具の配置がモーメント抵抗性能に及ぼす影響の把握）。

### 4. 研究成果

#### （1）縁端距離が接合性能に及ぼす影響の把握

##### ①試験の目的

鋼板添え板釘打ち接合部を対象に、スギ製材（平均比重）と CN90 釘を用いて、木質構造設計規準に定められた縁端距離または間隔の基準値をもとに、距離を狭めた条件での加力試験を行い、基準距離に対する比と接合性能との関係を求めた。

##### ②試験体と試験方法

試験体の主材にはスギ製材（断面寸法 105×120mm、平均比重 0.35）を用いた。側材には鋼板（SS400、厚さ 8mm）、釘は CN90（直径 4.11mm、長さ 90mm）を用いた。加力方向は木材の繊維方向に平行とし、端距離は釘径の 20、15、10、7、4 倍に、縁距離は 10、5、4、3 倍に設定した。強度試験は油圧シリンダを使用した試験機を用いて、ロードセル（容量 100kN）で荷重値を検出するとともに、定格容量 50mm の変位変換器を使用して鋼板と主材間の変位を計測した。加力は 5mm/分の単調増加式とし、最大荷重の 80%に低下するまで加力した。得られた荷重-変位曲線を完全弾塑性モデル化し、降伏耐力を算出した。試験体数は各 10 とした。試験状況を図 1 に示す。

##### ③試験結果と考察

試験終了後の状態を図 2 に示す。試験の結果、釘 1 本の場合、端距離を基準値の半分にするると降伏耐力は平均で 85%、下限値で 75%まで低下したが、縁距離の影響はそれほど大きくなかった（図 3、4）。

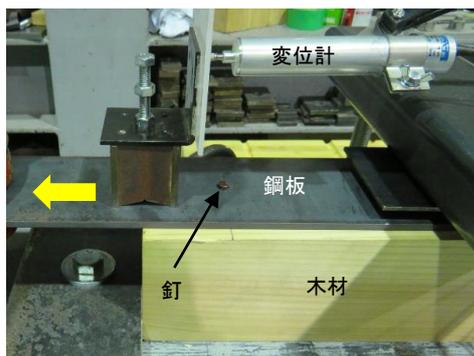


図 1 試験実施状況

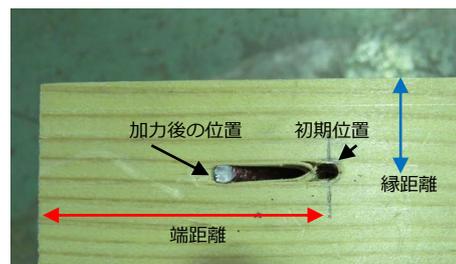


図 2 試験終了後の状態

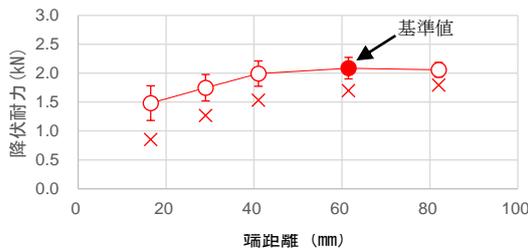


図3 端距離と降伏耐力の関係

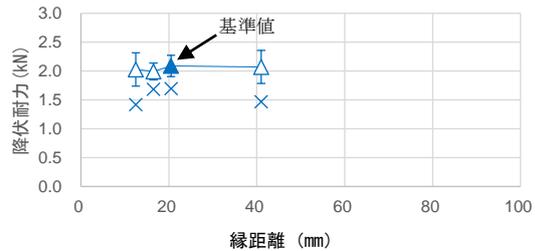


図4 縁距離と降伏耐力の関係

(2) 最適な接合具配置を求める手法の検討

①試験の目的

複数本の接合具を一行に配置した場合、終局的には個々の接合具周辺で発生した割裂がつながるため脆性的な性状を示すことが懸念される。配置を千鳥状とすることで、割裂の連結が回避され、終局耐力の向上が期待できる。しかし千鳥の幅をどの程度にすれば有効なのかを実験で検証した事例がないことから、ここではラグスクリューを4本配置した場合を対象に実験を行い、千鳥配置の影響を検討した。

②試験体と試験方法

試験体の主材にはカラマツ集成材（同一等級 E85-F300、断面寸法 105×120mm、平均比重 0.55、平均含水率 12%）を用いた。側材には鋼板（SS400、厚さ 12mm）、ラグスクリューは直径 12mm、長さ 110mm のものを用いた。先孔径は、鋼板に 13mm、主材には 8mm の 1 段穴とした。ラグスクリューはインパクトレンチを用いて打ち込んだ後、摩擦が生じないように調整した。

ラグスクリューの配置のうち、端距離および間隔は設計規準を満たす 7d（直径の 7 倍）仕様と、それを下回る 5d 仕様の 2 種類とし、千鳥幅はラグスクリューの直径の 0、0.5、1.0、1.5 倍の 4 種類とした。試験体の形状を図 5 に示す。強度試験は油圧シリンダを使用した試験機を用いて、ロードセル（容量 200kN）で荷重値を検出するとともに、定格容量 50mm の変位変換器を使用して鋼板と主材間の変位を計測した。加力は単調増加式とし、最大荷重の 80% に低下するまで加力した。試験体数は各 6 とした。試験の実施状況を図 6 に示す。

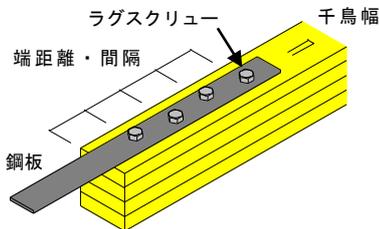


図5 試験体の仕様



図6 試験実施状況

③試験結果と考察

代表的な破壊形態を図 7 に、代表的な荷重-変位曲線を図 8 に示す。概ね最大荷重の 20%~40%間で比例関係が認められたため、これを弾性域とみなして完全弾塑性モデル化を行い、降伏耐力、初期剛性、塑性率、終局耐力を算定した。このうち千鳥幅と降伏耐力、終局耐力との関係を図 9 に示す。

破壊形態

いずれもすべての接合部分で割裂が発生しており、ラグスクリューは概ね曲げ降伏し、破断したものはなかった。図 7 に示すように、繊維傾斜によっては径と同じ千鳥幅としても割れにつながる場合が見られた。

接合具間隔と千鳥幅との関係

7d 仕様の場合、降伏耐力および初期剛性は千鳥幅を大きくしても差は認められなかったが、塑性率および終局強度比は千鳥幅に応じて大きくなる傾向が認められた。ただし、千鳥幅がラグスクリューの径より大きくなると効果は頭打ちになる傾向がうかがえた。

5d 仕様の場合、初期剛性および塑性率は千鳥幅との間に明確な関係は認められなかったのに対して、降伏耐力および終局強度比は千鳥幅に応じて向上す

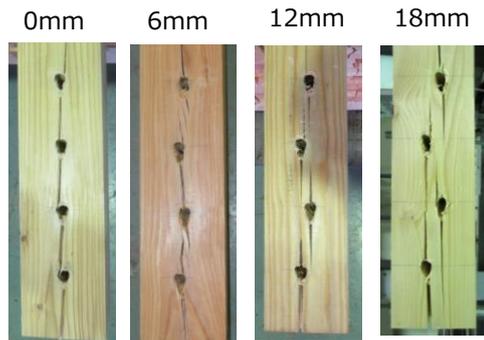


図7 代表的な破壊形態（7d仕様）

る傾向が見られた。特に降伏耐力についてみると、千鳥幅が 0mm の場合は 7d 仕様の 8 割程度だったが、18mm の場合は 7d 仕様と同等の性能が得られた。

このように、千鳥配置にすることによって、降伏耐力や初期剛性は変化しないが、じん性および終局強度比が向上する傾向が認められた。また端距離や間隔が不足している場合には、千鳥配置することで降伏耐力が向上する場合があることが認められた。

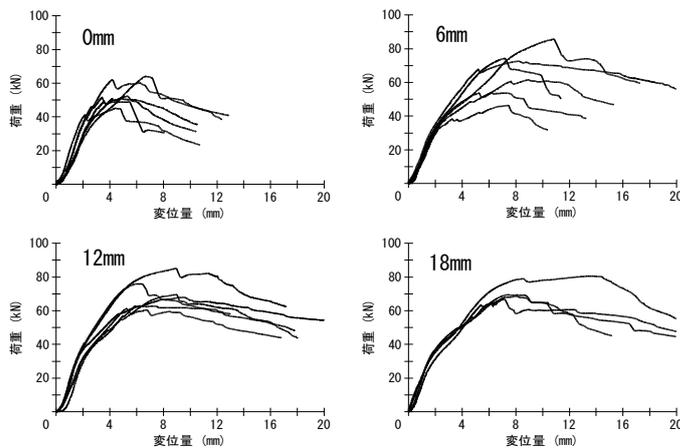


図 8 代表的な荷重－変位量の関係曲線（7d 仕様）

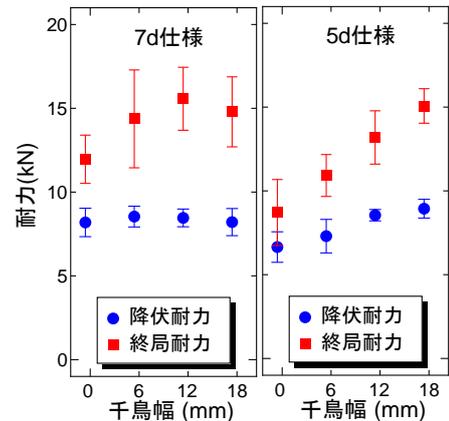


図 9 千鳥幅と耐力の関係

### (3) 接合具の配置がモーメント抵抗性能に及ぼす影響の把握

#### ① 試験の目的

筆者はこれまでの研究で、異なる種類の接合具が混在した場合の接合部が軸方向（木材の繊維に平行な方向）の荷重を負担する場合について、個々の接合具を単独で用いた場合の荷重－変形曲線を重ね合わせることで全体の変形挙動を精度良く推定できることを明らかにしている。

同様の考え方は、モーメント抵抗接合にも適用できると考えられる。すなわち回転を伴う場合、荷重を負担する方向と木材の繊維方向とが成す角度は接合具の位置によって異なるため、個々の接合具の荷重－変形曲線は異なる。しかし回転によって生じる変位は回転中心からの距離と回転する角度によって一意に決まるため、この変形曲線を加算することによって接合部全体のモーメント－回転角の関係が推定可能である。

そこで、本項では接合具を環状に配置した場合の接合性能の推定手法を検討するとともに、配置の違いによる性能変化を実験によって明らかにし、推定手法の妥当性の検証を試みた。

#### ② 試験体と試験方法

試験体の主材にはカラマツ集成材（同一等級 E85－F300、断面寸法 105×330mm、平均比重 0.55、平均含水率 12%）を用いた。接合部は鋼板挿入ドリフトピン接合とし、鋼板は（2）と同様であり、ドリフトピンは SS400、φ12、先穴径は鋼板が 13mm、集成材が 12mm である。ドリフトピンは半径 117mm の円周上に A 仕様、B 仕様の 2 種類に配置した。試験体の仕様を図 10 に示す。

強度試験は油圧シリンダを使用した試験機を用いて、ロードセル（容量 200kN）で荷重値を検出するとともに、定格容量 50mm の変位変換器を使用して鋼板と主材間の変位を計測した。加力は正負交番繰り返し式とし、設定回転角は 1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50、各 1 回ずつとした。試験体数は各 3 とした。試験実施状況を図 11 に示す。

#### ③ 試験結果と考察

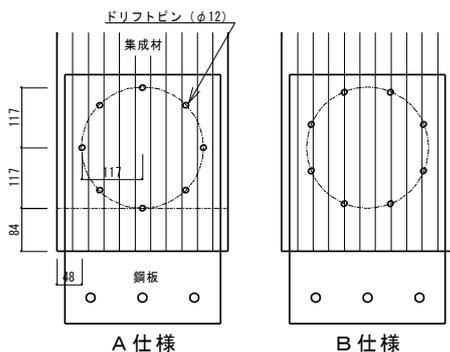


図 10 試験体の仕様

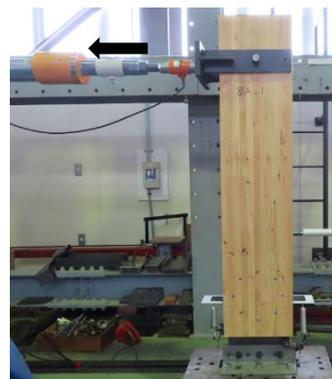


図 11 モーメント抵抗試験実施状況

代表的な破壊状況を図12に、モーメントと回転角の関係曲線を図13に示す。また正方向に加力した部分の関係曲線を包絡処理し、最大荷重の10%、40%、90%を用いた一般的な方法で降伏点を求め完全弾塑性モデル化を行ったのち3体を平均化した曲線を図14に示す。



図12 破壊状況の比較

同じ円周上に配置した場合でも変形挙動に差異があり、B仕様のほうがA仕様よりも初期剛性、降伏耐力、終局耐力が大きいことが確認された。逆にB仕様では図12に示すように割れが繋がることによる荷重低下の発生およびじん性の低下が認められた。これは(2)で検証したように、木材の繊維方向に沿って直線上に並んでいる最縁部のドリフトピンの間隔がB仕様のほうが狭いためであると考えられる。

次に、接合部全体のモーメント-回転角の関係の推定を行った。まず円周上に配置された各ドリフトピンが荷重を負担する方向は図15のようになる。個々のドリフトピンの回転剛性および降伏モーメントは弾性床理論とヨーロッパ型降伏理論を用いて推定可能である。計算に必要なパラメータである面圧剛性および面圧強度は、カラマツラミナ(L90)を用いた繊維方向の面圧試験によって得た。また繊維直交方向の性能は繊維方向の値の1/2とし、その中間の角度についてはハンキンソン式を用いて算出した。さらに終局モーメントは、降伏モーメントの1.2倍とした。その結果、個々のドリフトピンの変形挙動は図16のように推定された。これらを上述したように加算することによって得られた全体のモーメント-変形角の推定曲線を図17に示す。評価の結果、初期剛性、降伏耐力、終局耐力ともにB仕様のほうが性能が高い結果となり、推定方法の妥当性が確認された。

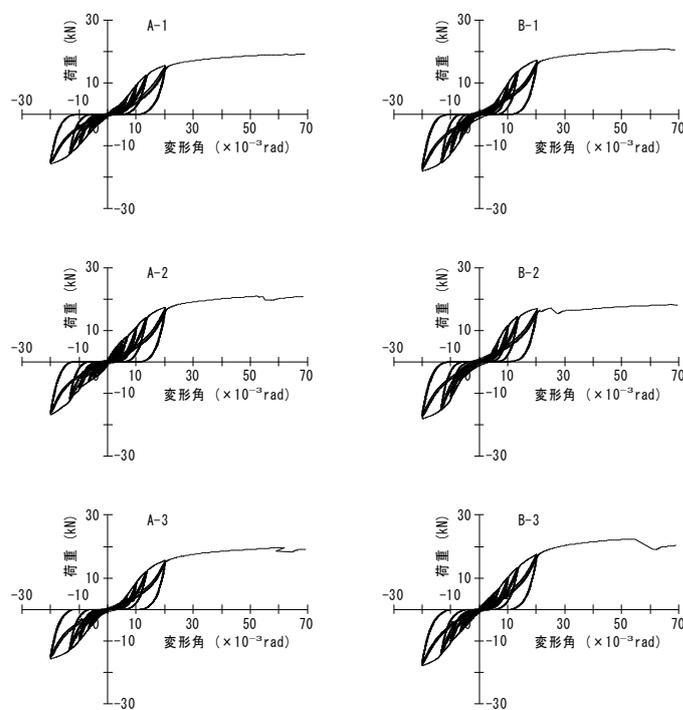


図13 荷重と変形角の関係曲線

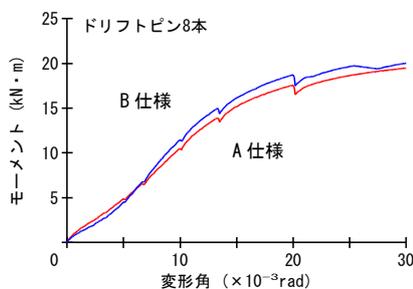


図14 モーメント-変形角の関係曲線 (3体の平均)

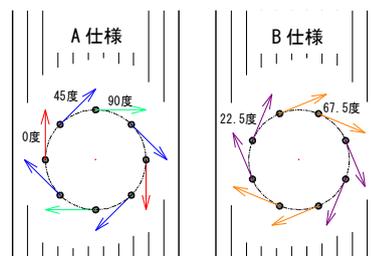


図15 各ドリフトピンが荷重を負担する方向

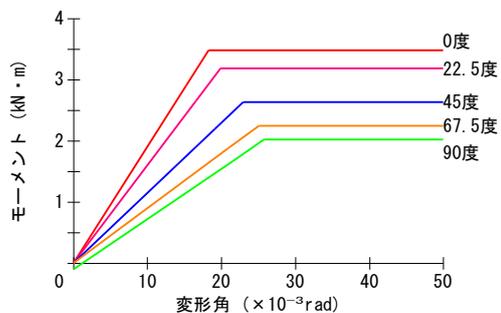


図16 荷重を負担する角度ごとのモーメント-変形角の関係曲線

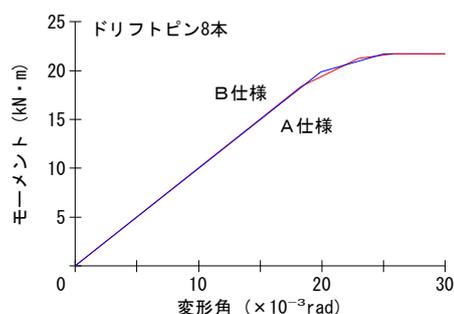


図17 モーメント-変形角の関係曲線の推定

(4) まとめ

本研究では、釘やボルトなどの接合具を複数本用いた接合部を合理的に設計するために、木

材の強度特性を考慮した最適な接合具の配置を求める手法について検討した。

その結果、木材の繊維方向に平行に加力する場合は、接合具を千鳥状に配置することによってじん性および終局耐力が向上することが明らかとなった。さらに縁端距離や間隔を基準よりも小さくした場合でも、千鳥配置によって降伏耐力や初期剛性を向上することが明らかとなった。

またモーメント加力する場合は、木材の異方性を考慮して配置することによって、降伏耐力や剛性を向上させることが可能であり、その性能を計算によって推定することも可能であった。一方、剛性や耐力を優先させた場合は逆にじん性が低下する危険性も認められたことから、適切な接合具配置を求めるためには、接合部に求める性能を明確にする必要があることが明らかとなった。

## 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 2 件)

・戸田正彦、野田康信、富高亮介：2018 World Conference on Timber Engineering (H30年8月、韓国)、ESTIMATION METHOD FOR YIELD STRENGTH OF TIMBER JOINTS COMBINED WITH DIFFERENT TYPES OF FASTENERS

・戸田正彦、富高亮介、村上了：第69回日本木材学会大会 (H31年3月、北海道)、鋼板添板ラグスクリュー接合における千鳥配置の影響

[図書] (計 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

## 6. 研究組織

(1)研究分担者

村上 了 (MURAKAMI SATORU)

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 研究職員

研究者番号： 40718582

植松 武是 (UEMATSU TAKEYOSHI)

北海学園大学 工学部 教授

研究者番号： 60462347

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。