

令和 5 年 4 月 26 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K06157

研究課題名（和文）大規模木造接合部のせん断メカニズムと振動特性の解明

研究課題名（英文）Clarification of shear mechanism and vibration properties of large timber joints

研究代表者

澤田 圭（Sawata, Kei）

北海道大学・農学研究院・准教授

研究者番号：10433145

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：鋼板の配置と枚数を変化させた鋼板複数枚挿入ドリフトピン接合部の静加力試験および仮動的試験を行い、接合部のせん断挙動および振動特性を調べた。単位ドリフトピン接合およびモーメント抵抗型接合部の静加力試験の結果より、鋼板枚数を増やすと接合性能を向上させることができることが分かり、鋼板の間隔を変化させると向上する接合性能の種類も変化することが明らかとなった。モーメント抵抗型接合部の仮動的試験の結果より、モーメント抵抗型接合部は周波数の変化に応じて異なる応答を示し、静加力試験より得られた初期剛性から算出した固有振動数と仮動的試験で大きな応答変形を示した周波数は近くなることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、鋼板の配置と枚数が鋼板複数枚挿入ドリフトピン接合部のせん断挙動および振動特性に与える影響を調べた。その結果、この接合部のせん断挙動を、降伏理論および弾性床上の梁理論を用いて定性的に評価することができた。また静的性能と仮動的性能の関係性も明らかとなり、学術的に意義深い。この成果は、大規模木造接合部へこの接合法を適用する可能性を開くことになり、社会的意義も大きい。

研究成果の概要（英文）：The static lateral loading test and pseudo dynamic loading test were conducted on the multiple shear drift-pinned timber joints, and the shear behavior and vibration properties were investigated on the joints with different steel plate arrangement and number of steel plate. The structural performance of drift-pinned joints and moment resisting joints were increased when the number of inserted steel plate increased. The type of increased structural performance depended on the arrangement of steel plates. From the pseudo dynamic loading test, the response of moment resisting joints depended on the input frequency. The frequency that exhibited large response obtained from the pseudo dynamic loading test was close to that calculated from the initial stiffness obtained from the static lateral loading test.

研究分野：木質構造

キーワード：ドリフトピン 仮動的試験 モーメント抵抗型接合 固有周波数 鋼板間隔

1. 研究開始当初の背景

近年、中大規模な木造建築物の建設が増えてきている。広い活動空間を確保する必要がある木造建築物では、ポスト&ビーム形式を採用することが多く、接合部にはせん断抵抗型の鋼板挿入ドリフトピン接合部がよく使われる。その利点として、この接合部は「木質構造設計規準」に明記されており、接合寸法が分かればせん断耐力を推算できること、鋼板を柱・梁部材の内部に配置するため木材が表面に現れ、外観を損なわないことが上げられる。「木質構造設計規準」では鋼板 1 枚挿入接合部の耐力計算式が記載されているが、木造建築物が大規模化されると部材断面も大型化し、大きな部材断面に対して鋼板を 1 枚挿入するのみでは接合性能は十分に発揮できないことが知られていた。鋼板を複数枚挿入すると接合耐力を上昇させることはできるものの、耐力の計算式がなかったためにこの接合法の普及に難があった。そこで鋼板複数枚挿入ドリフトピン接合部のせん断耐力計算式を導出し、実験値との整合性について研究を行ってきた。

この式から計算できるのは接合部の降伏せん断耐力であった。ここで木造建築物においては、大地震を受けても使用性に支障がないことを確認する設計や、大地震を受けた場合も倒壊しないように安全性を確認する設計がある。降伏せん断耐力は前者の設計時に使われ、後者の設計には終局せん断耐力が使われる。終局せん断耐力は接合部が降伏状態から終局状態に向かってどのようなせん断挙動を示すかで変わるが、鋼板複数枚挿入ドリフトピン接合部のせん断メカニズムに関しては、まだ不明な点が多かった。

そして木造建築物が地震力を受けるときには、終局せん断耐力の他に、建築物の周波数依存性にも注意を払う必要がある。木造建築物が受ける地震波は地盤によって固有周波数が異なり、建築物にも固有周波数がある。互いの固有周波数が近ければ大きな揺れとなり、建築物に被害が生じる危険性があるため、建築物の周波数依存性を把握することは非常に重要となる。木造住宅や住宅に使われる接合部の地震時挙動や周波数依存性に関する研究は行われているが、ポスト&ビーム形式の建築物や接合の研究は少なく、鋼板複数枚挿入ドリフトピン接合部の振動特性に関してはこれまで全く資料がなかった。そこで、中大規模木造建築物の接合法として期待される鋼板複数枚挿入ドリフトピン接合部が、受ける荷重の大きさや周期性を持つ外力によって、どのようなせん断メカニズムが発現するか明らかにすることが重要である。このことが明らかになれば、接合部の静的および動的なせん断メカニズムが解明される。せん断メカニズムが解明されれば、地震に対して安全性を有しながら、接合性能が最大となる接合寸法を提示することが可能となる。

2. 研究の目的

鋼板複数枚挿入ドリフトピン接合部がせん断力を受けると、ドリフトピンが木材にめりこみ、且つドリフトピンが曲げ変形を起こして、接合部が降伏に達する。この状態までの降伏メカニズムは過去の研究から明らかであるが、降伏状態からさらにせん断力を作用させると木材の破壊によって接合部は終局状態になり、木材の破壊形態が接合部の終局せん断耐力を決定づけると予想される。そして終局せん断耐力より低い荷重だとしても、それを繰り返し作用させると接合部が破壊に達することもある。こうした外力の種類によって接合部がどのようなせん断メカニズムを発現するか調べた研究は少なく、これまでは静加力時のせん断性能や地震荷重を受けたときのせん断挙動が報告されてきた。しかし地震波形に含まれる周波数成分は地域によって異なるため、接合部の周波数応答を明らかにしてその振動特性を普遍化することが、有効な地震対策の実施に繋がると考えた。そこで、一定振幅を持つ正弦波である調和外力を接合部に作用させて、その振動特性を把握する方法に着目し、静加力試験と調和外力を与えた試験を通して、鋼板複数枚挿入ドリフトピン接合部の静的せん断性能と振動特性の関係性を調べ、外力の種類によってせん断メカニズムがどのように変化するか解明する。

任意の波形を持つ外力を試験体に与えるには振動台試験がよく用いられる。様々な波形を入力して振動台を動かすことで、試験体の振動性状を直接測定できる。しかし、振動台を設置している機関に限られること、試験体設置に伴う労力がかなり必要となること等から簡便に試験を実施することが難しい面がある。こうした点を克服し、静的加力試験機で振動特性を調べることができる試験方法として、仮動的試験がある。仮動的試験は、静加力で試験体を微小変形させる、運動方程式を計算して次に生じる変形量を求める、この 2 つのステップを繰り返し行うことで、動的応答を静加力によって再現する試験法である。仮動的試験による既往の研究は、仮動的応答と動的応答の比較に関するものが多く、振動特性把握のために使われた例は木造壁の研究がある程度で、接合部に対しては行われていない。そこで、これまでデータの蓄積がまったくなかった鋼板複数枚挿入ドリフトピン接合部の振動特性を仮動的試験によって明らかにする。

これらの試験を通して、鋼板の配置と枚数を変化させた鋼板複数枚挿入ドリフトピン接合部に静加力および周期的外力を与え、接合部のせん断挙動および振動特性を解明し、せん断性能が最大となる接合寸法を明らかにする。

3. 研究の方法

鋼板の配置と枚数を変化させた鋼板複数枚挿入単位ドリフトピン接合に対して、静加力試験を行った。単位ドリフトピン接合は、E105-F300 カラマツ集成材に 9mm 厚鋼板を 1 枚または 2 枚挿入して、直径 12mm のドリフトピン 1 本で接合した。材厚は 150mm と 210mm の 2 種類とした。材厚 150mm の場合、鋼板 2 枚挿入時の鋼板間隔は 40mm、80mm、110mm の 3 種類とし、材厚 210mm の場合、鋼板間隔は 40mm、80mm、120mm、170mm の 4 種類とした。試験体数は各仕様 3 体ずつとした。試験は正負繰り返し加力とし、繰り返し履歴は予備試験で得られた終局変位の 0.0125 倍、0.025 倍、0.075 倍、0.1 倍の正負変位を 1 サイクル、0.2 倍、0.4 倍、0.6 倍、0.8 倍、1.0 倍、1.2 倍の正負変位を 3 サイクル与えた。

モーメント抵抗接合部は、単位ドリフトピン接合同様に E105-F300 カラマツ集成材に 9mm 厚鋼板を 1 枚または 2 枚挿入して、直径 12mm のドリフトピン 8 本で接合した。ドリフトピンは円形配置とし、回転中心からドリフトピンまでの距離は 112mm とした。材厚は 150mm とし、鋼板 2 枚挿入時の鋼板間隔は 40mm、80mm、110mm の 3 種類とした。試験体数は各仕様 3 体ずつとした。静加力試験は正負繰り返し加力とし、繰り返し履歴は 1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50、1/30rad の正負変形角を 3 サイクル与え、その後 1/10rad を超えるまで一方向加力を行った。

モーメント抵抗型接合部に対しては、入力波を正弦波とした仮動的試験も行った。静加力試験より得られたモーメント抵抗型接合部の初期剛性より、固有振動数は 1~2Hz 程度と算出された。そこで仮動的試験の入力波は 5Hz から 1Hz まで 1Hz ずつ変化させた。入力波の振幅は、静加力試験の結果より長期許容耐力相当の値から算出した加速度 60gal とした。

4. 研究成果

単位ドリフトピン接合の静加力試験から荷重 - 変位曲線を得た。材厚 150mm の場合、鋼板 1 枚挿入仕様は降伏後も荷重が漸増した。鋼板 2 枚挿入仕様で鋼板間隔 30mm の接合は、降伏後も荷重が漸増し、鋼板 1 枚のときより最大荷重は若干大きかった。鋼板間隔 100mm の接合は最大荷重が更に大きく、終局変位は最も大きい値を示した。鋼板間隔 70mm の接合は最大荷重が最も大きくなったが、終局変位は一番小さかった。このことより、鋼板間隔 70mm の接合は最大せん断耐力が最も大きく、鋼板間隔 100mm は終局時までの吸収エネルギーが最も大きくなった。材厚 210mm の場合、鋼板 1 枚挿入仕様は降伏後の荷重はほぼ横ばいとなった。鋼板 2 枚挿入仕様で鋼板間隔 30mm の接合は、鋼板 1 枚のときよりも最大荷重は若干大きかったが、終局変位は鋼板 1 枚のときよりも小さくなった。鋼板間隔 160mm の接合は、最大荷重は鋼板間隔 30mm の接合同程度だったが、終局変位は最も大きい値を示した。鋼板間隔 70mm の接合と鋼板間隔 110mm の接合の最大荷重は同程度で、最も大きな値を示し、終局変位は鋼板間隔 30mm の接合同程度であった。鋼板間隔を 70mm や 110mm とすると最大せん断耐力が最も大きくなり、鋼板間隔を 160mm とすると終局時までの吸収エネルギーが最も大きくなった。鋼板枚数を増やすと接合性能を向上させることができることが分かり、鋼板の間隔を変化させると向上する接合性能の種類も変化することが明らかとなった。

モーメント抵抗型接合部の静加力試験からモーメント - 回転角曲線を得た。鋼板 1 枚挿入仕様は降伏後もモーメントが漸増し続けた。鋼板 2 枚挿入仕様は、鋼板間隔 40mm の接合部では降伏後段階的に荷重が低下し、鋼板間隔 80mm の接合部では他仕様と比較すると脆性的な挙動を示した。鋼板間隔 110mm の接合部は降伏後荷重がほぼ一定で推移した。モーメント - 回転角関係曲線において、最大モーメントの 10% と 40% の点を結び初期回転剛性を得た。また、完全弾塑性解析により降伏モーメントを求めた。鋼板を 2 枚挿入した場合、いずれの鋼板間隔の仕様でも、鋼板 1 枚挿入接合部の初期回転剛性および降伏モーメントを上回った。鋼板 2 枚挿入接合で最大を示した鋼板間隔 80mm の接合部は、鋼板 1 枚挿入接合部に対して初期回転剛性が 2.26 倍、降伏モーメントが 1.91 倍大きな値を示した。

鋼板 1 枚挿入接合部および鋼板 2 枚挿入接合部について、弾性床上の梁の曲げ理論ならびにヨーロッパ型降伏理論により、単位鋼板挿入ドリフトピン接合の初期剛性ならびに降伏耐力を求めた。得られた単位接合の計算値を用い、鋼板挿入ドリフトピン接合で構成されるモーメント抵抗型接合部の回転剛性および降伏モーメントを計算した。計算には、面圧試験で得た集成材の支圧強度実測値と、曲げ試験で得たドリフトピンの降伏曲げ強さおよびヤング係数を用いた。初期回転剛性について、鋼板 1 枚仕様の接合部および鋼板 2 枚挿入仕様で鋼板間隔 80mm の接合部の計算値は実験値と概ね一致した。一方、鋼板間隔 40mm の接合部および鋼板間隔 110mm の接合部の計算値は実験値に対して平均で 1.21 倍および 1.46 倍の値を示した。また、降伏モーメントについては、いずれの仕様も計算値と実験値は概ね一致した。計算により、鋼板 2 枚挿入ドリフトピン接合からなる柱脚接合部の初期回転剛性および降伏モーメントを概ね妥当に推定できることを確認できた。

モーメント抵抗型接合部の仮動的試験に先立ち自由振動試験を行い、対数減衰率は 5% 程度であることが分かった。振幅は一定で周波数を変化させた仮動的試験より、周波数 5Hz のときが応答変形が一番小さく、4Hz、3Hz と周波数を変えるほど、応答変形は大きくなり、周波数 1Hz のときが最も大きな応答変形を示した。モーメント抵抗型接合部は周波数の変化に応じて異なる応答を示し、静加力試験より得られた初期剛性から算出した固有振動数と仮動的試験で大きな応答変形を示した周波数は近くなることが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 富高亮介、澤田圭
2. 発表標題 鋼板2枚挿入ドリフトピン接合からなる柱脚接合部の構造性能
3. 学会等名 日本建築学会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	富高 亮介 (Tomitaka Ryosuke) (40782545)	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 (80122)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------