

令和 3 年 6 月 29 日現在

機関番号：87601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K05773

研究課題名(和文)中・大規模木造建築物における接合部の長期性能の解明

研究課題名(英文)Elucidation of long-term performance of LSB and GIR joints in medium- and large-scale wooden buildings

研究代表者

中谷 誠 (NAKATANI, MAKOTO)

宮崎県木材利用技術センター・その他部局等・研究員

研究者番号：90433143

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、中大規模建築物の接合部に使用される大型のネジ接合具であるラグスクリーボルト(以下、LSB)及び接着剤と鋼棒を用いたグルードインロッド(以下、GIR)について、長期的な引張性能の解明を試みた。その結果、長期的な引張強度は、安全評価のベースとなっているマディソンカーブとの比較で実験値の多くが危険側となり、安全性に配慮するには現行の長期荷重に低減を設けることが推奨される結果となった。長期的な引張変形量は、LSBは50年後の推定変形量が微小となり接合部の安全性に問題がない結果となった。GIRは夏季ごとに変形増大が見られ、接着剤の温度特性を詳細に検討する必要がある結果となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球環境への配慮と地域社会の活性化のため、公共建築物の木造化の法律制定など、中大規模建築物を木造で建築する事例が増えている。これらの建築物は長期間安全に用いることが求められるが、接合部の長期性能の研究は皆無である。本研究では、これらの建築物に用いられる大型のネジ接合具であるLSB及び接着剤と鋼棒を用いたGIR接合について検討を行った。その結果、長期間の強度性能は現行の規準では危険側の可能性があることが判明し、本研究では適切な安全係数を乗じることを推奨した。また、長期間の変形性能ではGIR接合で高温時の変形増大が確認されたことから、接着剤の温度特性について適切に評価することの重要性を提言した。

研究成果の概要(英文)：In this study, the long-term tensile performance of lag screw bolts (LSB), that are large screw joints, and glue-in rods (GIR) that use adhesives and steel rods, used in medium- and large-scale buildings was elucidated in long-term tests. As the test results, many of the experimental values of long-term tensile strengths are not on the safety side compared to the Madison curve, which is the basis of the evaluation. Therefore, it is necessary to reduce the sustained loading compared with current reference values in order to use for long-term in safety. Regarding the long-term tensile deformation of LSB joints, the estimated deformation after 50 years is very small under 0.22mm. The deformation of GIR increased with each summer, and it was necessary to examine the temperature characteristics of the adhesive in detail.

研究分野：木質構造

キーワード：LSB GIR 長期性能 クリープ試験 DOL試験

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

公共建築物の木造化に関する法律が制定されるなど中・大規模建築物を木造で建築する事例が増加している。これらの建物は、一般住宅と比較して長期間にわたり安全に使用できることを求められるケースが多い。一方、一定の荷重が木質部材に長期間作用すると、変形量は初期の2倍になるとされている(クリープ調整係数と言い、同値を求めるための試験をクリープ試験という)。また、同部材の強度は、50年後には初期の55%(0.55倍)程度に低減するとされている(荷重継続時間の調整係数と言い、同値を求めるための一般的な試験をDOL試験という)。これらのうち、後者については米国のFPLで実施されたベイマツ無欠点小試験体から得られたマディソンカーブがベースとなっており、我が国でも木質材料を中心に関連データが収集され始めたところである。しかしながら、接合部の長期性能に関する研究事例は極めて少なく、これら木質部材の長期性能が接合部に適応できるか否かについて検証が行われた事例は皆無である。特に、木造建築物の地震などによる被害要因が接合部の損傷にあることを考えると、建築物の長期利用に関する信頼性を高めるためには、接合部の長期性能を明らかにすることが極めて重要である。

2. 研究の目的

本研究では、中・大規模木造建築物の接合部において使用実績のあるラグスクリーューボルト(以下、LSB)とグルードインロッド(以下、GIR)について、実際の使用条件(一般的な室内の温湿度条件)における長期性能の解明を目的とした。LSBとは大型のネジ系接合具であり(図1参照)先穴をあけた木材に埋め込み使用し、その引抜き抵抗及び押し込み抵抗に期待するものである。既往の研究においてその耐力発現機構と最適な使用方法が明らかとなっている。GIRとは鋼製のロッドを先穴に差し込み接着剤を流し込み固めた構法で(写真2参照)LSB同様の引抜き抵抗及び押し込み抵抗に期待する。これらの接合具の長期性能は、他の接合形式と同様に、木材の長期性能に基づいて定めているが検証を行った事例はほとんど皆無である。そこで、これら接合部の引抜け変形及び強度に関する長期性能について実験により明らかにした。



写真1 ラグスクリーューボルト



写真2 グルードインロッド

3. 研究の方法

長期的な変形を解明するクリープ試験、長期的な強度性能を解明するDOL試験を、以下に示す試験方法により実施した。

供試材料について、木質材料はスギ異等級対称構成構造用集成材(強度性能:E65F225)を用いた。LSBはネジ山径が25mm、ネジ谷径が20mm、ネジ山ピッチが10mm、全長250mm(ネジ有効長さが190mm)LSB内部の雌ネジの直径が12mmを用い、木材中央部に空けた直径22mmの先孔に深さ180mm(ネジの有効長さ150mm)打ち込んだ。GIRは、直径18mmの中空型全ねじボルトを用い、木材中央部に空けた直径21mm、深さ100mmの先穴に差し込み、その隙間を接着剤で完全に充填することで部材と一体化した。両接合具ともに、木材の木口面に埋め込んで使用した場合を想定し、接合具としての主な抵抗要素である引抜きに性能について検討を行った。

(1) クリープ試験(長期的な変形性能の解明を目的とする試験)

図1に試験方法を示す。1本の木質部材の上下に測定用の接合部を設け、テコの原理により長期荷重を各接合部に負荷し、経過時間と接合部の変形挙動を測定した。

試験体数は、LSBとGIRともに試験体数を各2体、試験対象接合部を4箇所(試験体1体につき上下2箇所測定)とした。載荷する荷重レベルは、LSBはマッチング試験により算出した最大荷重の1.1/3とし、同一材料の上側の長さをマッチング試験と同様の150mm、下側の長さを220mmとすることで最大荷重の1/4相当の荷重レベルにした。GIRは全ての試験体でマッチング試験における最大荷重の1.1/3とした。試験は2018年8月に開始し、2年6ヶ月間にわたり変形挙動を測定した。マッチング材(静的試験体)とクリープ試験体の採取方法について、同一材料で隣合う場所から採取した(図2参照)。

2) DOL試験(長期的な強度性能の解明を目的とする試験)

試験方法はクリープ試験の図1と同様の形式とし、反力側である下側の強度を上げることで試験対象となる上側の接合部が常に破壊するようにした。

試験条件は、LSB と GIR の 2 つの接合具、そして荷重レベルを 3 条件（マッチング試験体の最大荷重の 90%、80%、70%）の 6 条件とした。試験体数は各 10 体、合計 60 体とした。試験は、試験条件の荷重レベルに相当する荷重を試験体に負荷し、破壊に至るまで経過時間を測定した。マッチング材（静的試験体）と DOL 試験体は、図 2 に示す通り、同一材料から採取した（図 2 参照）。各荷重レベルの載荷荷重は、同一材料の 3 体のマッチング試験体の最大引張荷重の平均値を用いて設定した。

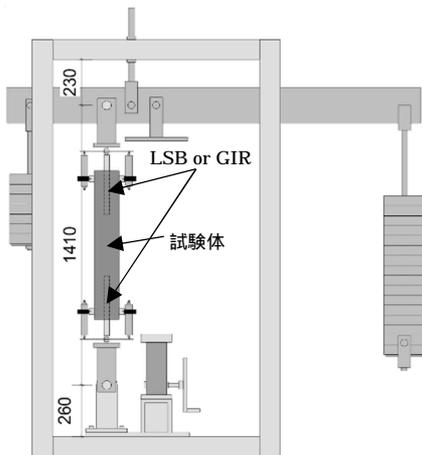
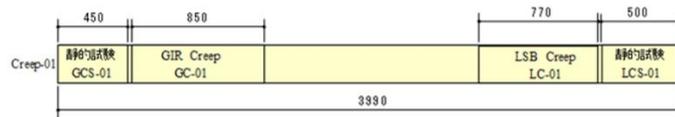


図 1 長期試験方法



(1) クリープ試験



(2) DOL 試験

図 2 マッチング（静的試験）及び長期試験体の採取方法

4. 研究成果

(1) クリープ試験結果（長期変形性能）

図 3 に試験開始後 2 年 6 ヶ月間の各接合部の変形推移を示す。LSB 及び GIR 試験体各 1 体（測定各 2 箇所）は 2 年 3 ヶ月間の時点で試験を終了し、強度試験に供して残存性能を確認した。

LSB の長期変形の推移について、変形量は一年間を通じて湿度変動による部材の膨張収縮による影響を受けて微小な増減を繰り返した。そして、季節変動として梅雨時期に変形が増大し、その後に回復する傾向が見られた。長期変形の推定として、平成 12 年 5 月 31 日建設省告示第 1446 号により求めた変形増大係数は平均で 2.10 となり、木材の特性よりも大きな値となった。しかしながら、50 年後の推定変形量は表 1 に示す通り、平均で 0.22mm と接合部として微小範囲となること分かった。図 4 に実験値と告示法による推定値を示す。

表 1 LSB の変形推定量と変形増大係数

試験体名	50年後の変形量 (mm)	変形増大係数
LSB1 上部	0.28	2.99
LSB1 下部	0.03	0.48
LSB2 上部	0.36	3.17
LSB2 下部	0.22	1.76
平均値	0.22	2.10

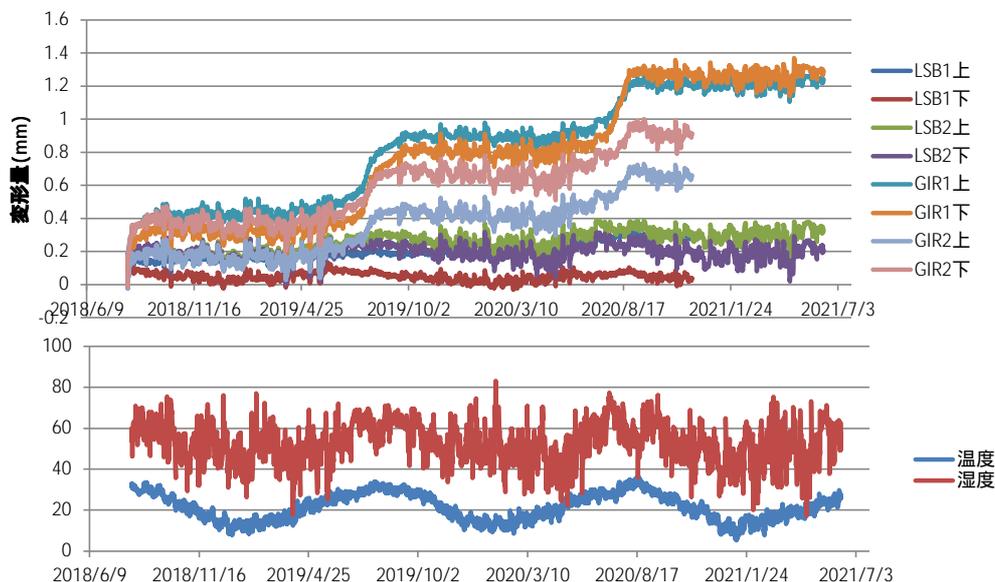
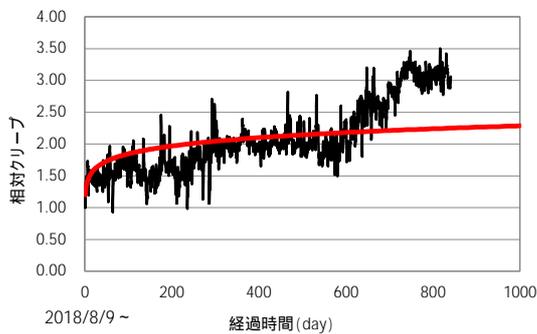
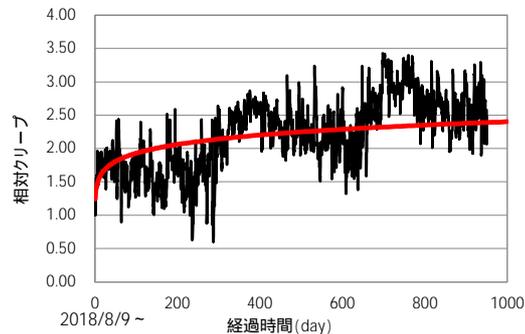


図 3 クリープ試験結果



(i) LSB1 上部測定結果



(ii) LSB2 上部測定結果

図4 LSBの変形挙動と告示法による推定結果
注) 黒線：実験値、赤線：告示法による推定値

GIRについて、夏季において変形が大きく進展する傾向となった。図3における試験室の温度と変形量の推移の関係より、気温が30以上になると変形が増大する傾向が見られ、試験を行った2年間では毎夏において変形が蓄積される結果となった。本研究では、接着剤の特性を精査するため、4種類の接着剤について常に引張力を負荷する試験方法で、20、30及び40と温度を変化させて変形量を計測する実験を実施した。その結果、接着剤による性能差はあるものの、全ての接着剤で温度の上昇と共に変形が増大する傾向が見られた。このことから、GIR接合に用いる接着剤は使用温度域での温度特性を検討する重要性が確認された。

(2) クリープ試験後の強度性能

長期荷重を2年3ヶ月間負荷した試験体の強度性能を確認するため、荷重除去後に強度試験を実施した。また、荷重を除去したことによる変形の回復量、そして長期試験開始時からの変形量の推移を実験により確認した。

荷重除去直後に回復した変形量はLSBが0.105mm(長期変形の36%、初期変形量の1.1倍)、GIRが0.052mm(長期変形の7.8%、初期変形量の1.2倍)であり、その後2時間の間に約0.01mmと微小な変形回復が見られた。

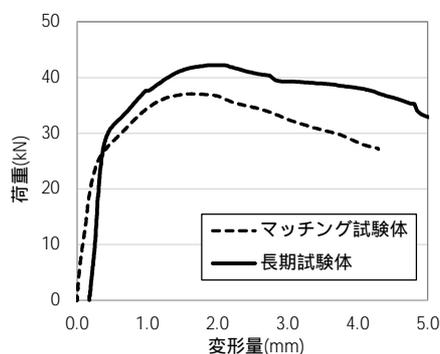
表2、3及び図5に、長期荷重を受けた試験体とマッチング試験体の引張試験結果を示す。長期試験体の変形量は、長期試験開始時からの変形を引き継いだ値である。ただし、長期試験機から万能試験機への入れ替えの際にLSB試験体で0.003mm、GIR試験体で0.05mm程度のズレが生じている。LSB及びGIRともに、最大荷重は長期試験体がマッチング試験体より若干高い値となり、長期荷重を受けたことによる耐力低下は認められない結果となった。最大荷重時の変形量は長期試験体がマッチング試験体よりも僅かに大きくなり、剛性は長期試験体が1.6倍程度高くなる傾向となった。

表2 LSBの長期試験体 vs. マッチング試験体

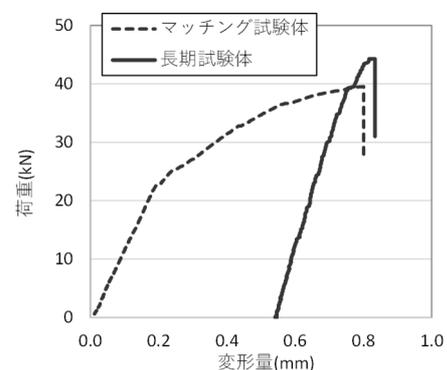
	マッチング試験体	長期試験体
最大荷重(kN)	37.1	42.3
最大荷重時の変位(mm)	1.63	1.97
初期剛性K(kN/mm)	100	159

表3 GIRの長期試験体 vs. マッチング試験体

	マッチング試験体	長期試験体
最大荷重(kN)	39.6	44.3
最大荷重時の変位(mm)	0.80	0.82
初期剛性K(kN/mm)	122	205



(i) LSB 試験体



(ii) GIR 試験体

図5 長期荷重後の試験体とマッチング試験体の荷重と変形量の関係

3) DOL 試験結果（長期強度性能）

DOL 試験により得られた荷重レベルと破壊までの荷重継続期間の関係を接合具ごとに図 6 と図 7 に示す。図中の各プロットは試験結果であり、黒太線は試験結果から平成 12 年 5 月 31 日建設省告示第 1446 号に則り導いた回帰直線、赤線は現行規準の基礎となっているマディソンカーブを示している。

試験体に負荷する荷重レベルが 90%、80%、70%と低下するごとに荷重継続時間は長くなる傾向が見られたが、90%において試験開始直後に破壊する試験体があるなど荷重継続期間に大きなバラツキが見られた。マディソンカーブと測定値の分布を比較すると、LSB ではマディソンカーブで予想される荷重継続期間より短時間で破壊する試験体が多く見られた。これは、ほぼ全ての試験体の破壊性状が LSB のネジ山による木部のせん断よる引抜け破壊であったため、マディソンカーブによる曲げ強度との特性の差違が考えられる。告示に則り説明変数を荷重継続期間とする回帰直線から推定される 50 年後の破壊荷重レベルは、LSB がマッキング試験結果の 0.64 倍、GIR が 0.69 倍となり、木材の 0.55 と比較して安全側の結果であった。ただし、図 6 および図 7 において説明変数を負荷荷重レベルとした場合の回帰直線である点線は、試験結果をより適切に評価できていると考えられるが、50 年度の破壊荷重レベルは LSB がマッキング試験結果の 0.44 倍、GIR が 0.48 倍となり、木材の 0.55 よりも小さい危険側の値となった。

本試験の結果、LSB ではマディソンカーブよりも短時間で破壊に至る試験体が多いこと、そして LSB および GIR とともに試験結果を適正に評価できている回帰直線では現行規準よりも危険側の評価となったことから、長期荷重については適切な低減係数を乗することが望まれる結果となった。

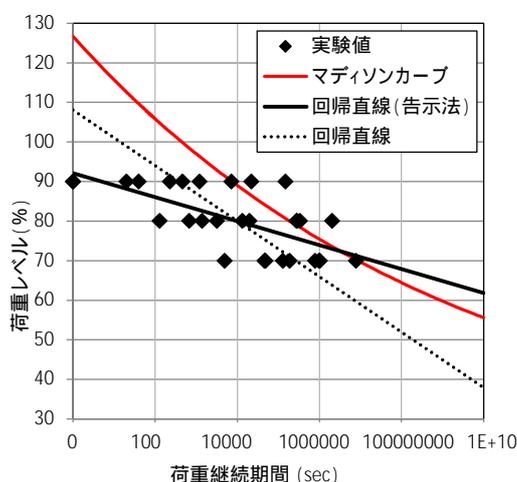


図 6 LSB の DOL 試験結果

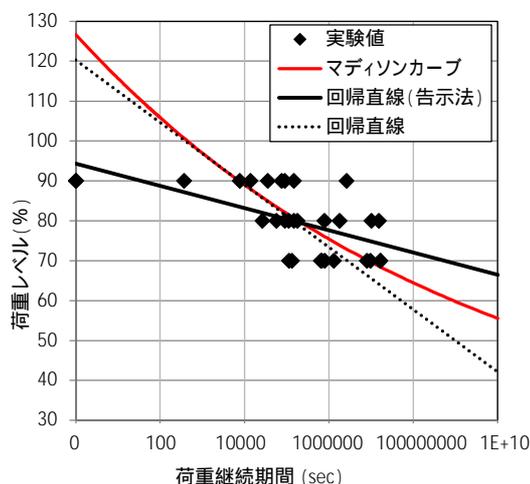


図 7 GIR の DOL 試験結果

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 中谷 誠、荒武志朗、森 拓郎、田中 圭
2. 発表標題 長期荷重を受けたLSB及びGIRの強度特性
3. 学会等名 第71回日本木材学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 豊岡 佳樹、森 拓郎、中谷 誠、大坪裕介、大倉憲峰
2. 発表標題 ラグスクリューボルト接合部の長期性能に関する実験的研究
3. 学会等名 2020年度日本建築学会大会（関東）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 黒塚 ひとみ、森 拓郎、北守 顕久、中谷 誠
2. 発表標題 乾湿繰返しによる実大CLTの含水率変化とそれによる寸法変化 その3 LSB接合の長期計測結果
3. 学会等名 2020年度日本建築学会 中国支部研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中谷 誠、荒武志朗、大坪裕介、森 拓郎、田中 圭
2. 発表標題 ラグスクリューボルト接合の長期強度性能の解明 - 引張強度と荷重継続時間の関係 -
3. 学会等名 第70回日本木材学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中谷 誠、荒武志朗、大坪祐介、森 拓郎、田中 圭
2. 発表標題 ラグスクリューボルトの引張クリープ性能
3. 学会等名 第69回日本木材学会大会
4. 発表年 2019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	田中 圭 (Tanaka Kei) (00325698)	大分大学・理工学部・准教授 (17501)	
研究分担者	森 拓郎 (Mori Takuro) (00335225)	広島大学・先進理工系科学研究科(工)・准教授 (15401)	

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
---------	---------