

令和 6 年 6 月 26 日現在

機関番号：83207

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K05720

研究課題名（和文）温湿度環境を考慮した木製摩擦接合の解析モデルの提案と長期性評価

研究課題名（英文）Evaluation of long-term performance of wood friction-based connectors considering temperature and humidity environment by analytical model.

研究代表者

若島 嘉朗（Yoshiaki, Wakashima）

富山県農林水産総合技術センター・富山県農林水産総合技術センター木材研究所・副主幹研究員

研究者番号：10446635

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）：木材締付力の長期的な信頼性を明らかにするため、解析モデルに必要な材料係数を得る各種長期性能評価試験を実施した。各種環境下におけるクリープ係数が必要になることから、各機関において室内環境下でスギ材のクリープ試験を実施した。恒温恒湿下におけるクリープ係数は、応力緩和試験の結果から解析モデルを用いて逆算することによって求めた。別途実施した乾湿繰返しによる応力緩和試験よりメカノソープティブクリープに関する係数を求め、各係数を解析モデルに適用して温湿度変動下の応力緩和試験の結果を評価した結果、解析結果と試験結果はよく一致した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

木材締付力の長期的性能を解析的に評価することにより、様々な温湿度環境における木材摩擦接合部の性能をシミュレートすることができ、木材摩擦を構造利用することへの信頼性が向上する。木材の摩擦接合は高い減衰性能を有し、繰返しの加力に対しても高い性能を維持するため、木造建築にこれまでにない耐震性能を付与できる。

研究成果の概要（英文）：To clarify the long-term performance of wood clamping force, various long-term tests were conducted to obtain the material coefficients required for an analytical model. Since creep coefficients under various environments are required, creep tests were performed on Sugi and hardwood under indoor environments at each research institute. For the creep test under constant temperature and humidity, the creep coefficient was obtained by calculating backward from the stress relaxation test results using the analytical model. The coefficients related to mechano-sorptive creep were obtained from the stress relaxation test with cyclic humidity. These coefficients were applied to the analytical model to evaluate the results of stress relaxation tests under temperature and humidity fluctuations. The results showed good agreement between the analytical and test results.

研究分野：木質構造

キーワード：応力緩和 クリープ メカノソープティブ

1. 研究開始当初の背景

木質構造の新しい接合方法として、制振ダンパーとしても利用できるエネルギー吸収能力に優れた木材摩擦接合の開発を進めているが、その実現には摩擦力を発生させる木材締付力の長期的な緩和挙動に関する解析的評価が必要である。特に、木材の含水率変動に対する緩和挙動は他の建築部材には見られない挙動であり、その解析的評価が求められている。

2. 研究の目的

木材圧縮力による木製摩擦接合部の実用化を図るため、様々な温湿度条件下での摩擦接合部の長期性能を評価する。粘弾性体である木材の締付は時間の経過とともに緩和する。この緩和挙動は温度よりもむしろ水分の影響を顕著に受け、特に、水分非定常状態下に生じる特徴的な緩和挙動(メカノソープティブクリープ)は摩擦接合部においても摩擦力低下の大きな要因となっている。このような木材の性質を考慮して様々な温湿度環境下における木材圧縮力の長期性能評価を行うため、解析モデルを作成して各種シミュレーションを行い、摩擦接合部の長期性能評価を行うことを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 恒温恒湿環境下において木材縦圧縮のクリープ試験及び応力緩和試験を実施し、温湿度一定条件下におけるクリープ係数を得る。

(2) 環境試験機を用いて木材縦圧縮の応力緩和試験を乾湿繰り返し環境下で実施し、温湿度一定環境下のクリープとの比較よりメカノソープティブに関するクリープ係数を得る。

(3) 室内環境下において木材縦圧縮のクリープ試験を実施し、温湿度変動下における木材のクリープ挙動を(1)、(2)で得られたクリープ係数を用いて解析モデルにより評価する。

(4) 室内環境下でボルト締付けによる木材の応力緩和試験を実施し、温湿度変動下における木材接合部の緩和挙動を(1)～(3)で得られたクリープ係数を用いて評価する。

4. 研究成果

木材締付け力の変動 ΔP は以下の式で与えられる。

$$\Delta P(t) = \frac{-P_0 \left\{ \frac{l_{\parallel} \phi_{\parallel}(t) + l_{\perp} \phi_{\perp}(t)}{E_{\parallel} A_{\parallel} + E_{\perp} A_{\perp}} + \frac{l r_p(t)}{E_p A_p [1 - \chi_p r_p(t)]} \right\} + \Delta \varepsilon_{\parallel, in}(t) l_{\parallel} + \Delta \varepsilon_{\perp, in}(t) l_{\perp} - \Delta \varepsilon_{p, in}(t) l}{\frac{l_{\parallel} [1 + \chi_{\parallel} \phi_{\parallel}(t)]}{E_{\parallel} A_{\parallel}} + \frac{l_{\perp} [1 + \chi_{\perp} \phi_{\perp}(t)]}{E_{\perp} A_{\perp}} + \frac{l}{E_p A_p [1 - \chi_p r_p(t)]}} \quad (1)$$

ΔP : 低下締付力, P_0 : 初期締付力, $\parallel \perp$: 木材繊維方向, p : 鋼材, l : 木材長さ, E : ヤング係数, A : 断面積, ϕ : クリープ係数, r_p : 緩和係数, χ : エージング係数, $\Delta \varepsilon$: 環境変動によるひずみ

クリープ係数はピュアクリープ(ϕ_c)とメカノソープティブクリープ(ϕ_{ms})の和として以下の式で与えられる。

$$\phi(t) = \phi_c(t) + \phi_{ms,r}(t, U), \quad \phi_c = at^b, \quad \phi_{ms,r}(t, U) = \phi^{\infty} [1 - e^{-cUt/(100\Delta t)}] + m_{ms} \Delta U_m \quad (2)$$

$$U = \int_0^{\Delta t} |du(\tau)| \quad (3)$$

ϕ^{∞} , c , m_{ms} : 材料定数, U : Δt 期間の累積含水率, ΔU_m : 過去に到達していない含水率レベル
環境変動によるひずみは以下の式で表す。

$$\Delta \varepsilon_{in}(t) = \alpha_u [u(t) - u(t_0)] + \alpha_T [T(t) - T(t_0)] \quad (4)$$

(1) 式を用いるには上記各係数を求める必要がある。 ϕ_c を得るクリープ試験は、図1に示すように恒温恒湿内で試験材を積み重ねて強力ばねで締め付け、ロードセルによる締め付け力を管理し、マイクロメータで試験体変位を測定した。一方、恒温恒湿内で木材の応力緩和試験を実施し、(1)式から逆算することによりクリープ係数を求めた。ボルトの緩和係数についてもボルトの応力緩和試験により別途求めた。試験体はばね締め付けによるスギ材 (SU-SL:9MPa, SU-SM: 16MPa) およびホワイトオーク材 (WO-S)、応力緩和試験によるスギ材(SU-RL:9MPa, SU-RM:13MPa)およびホワイトオーク材(WO-R:10MPa)の6種類である。試験の結果、ばね締め付けによるクリープ係数は応力の大きさによる違いはほぼ無かった。SU-RL および WO-R のクリープ係数はばね締め付けによる結果をやや上回る程度で、応力緩和試験からも概ね妥当なクリープ係数が得られたと考えられる。SU-RM 試験体は初期応力をボルトのナット締め付けで与えていることからボルトにねじれが生じ、そのねじれが戻ることによってクリープ係数が大きめになったと考えられる(SU-RL・WO-R 試験体はジャッキでボルトを引張りナットを軽く締めることにより初期応力を与えた)。



図1 クリープ試験 (恒温恒湿環境)

メカノソープティブクリープに関する各係数は、乾湿繰り返し環境下で応力緩和試験を実施することにより得た。試験開始後 18 日間は 20°C65%の一定環境とし、それ以降温度 20°C一定で湿度 85%と 45%を 7 日間間隔で繰り返した。試験結果より、湿度変動の各サイクルにおける応力比の低下からメカノソープティブクリープに関する係数を求めた。得られた各係数を用いて(1)式により解析した結果は試験結果とよく一致した。

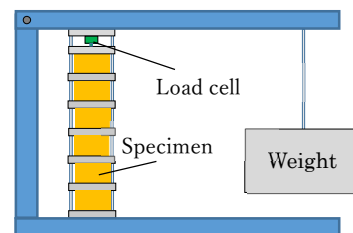


図2 クリープ試験(室内環境)

次に、実使用環境におけるクリープの挙動を把握するため、各機関において室内環境下でスギ材のクリープ試験を実施した(図2)。約 500 日以上の測定結果より、試験初期に大きな含水率変動があった試験体ではその後のクリープも大きい結果となった。乾湿繰り返し試験より求めたメカノソープティブに関する係数を用いて試験結果を算定したところ、 m_{ms} の影響が大きく過大評価となった。そこで試験結果に合うように m_{ms} を 1/10 程度に調整すると析結果と試験結果は概ね一致したが、初期の含水率変動が大きい試験体では初期のクリープ係数が過小評価となった。 m_{ms} の影響については実環境では無視される場合が多いが、初期に大きな含水率変動があった試験体では無視できず、さらなる検討が必要である。

次に、スギ材と広葉樹材 (JO : ナラ, WO : ホワイトオーク) の応力緩和試験を室内環境で実施し、解

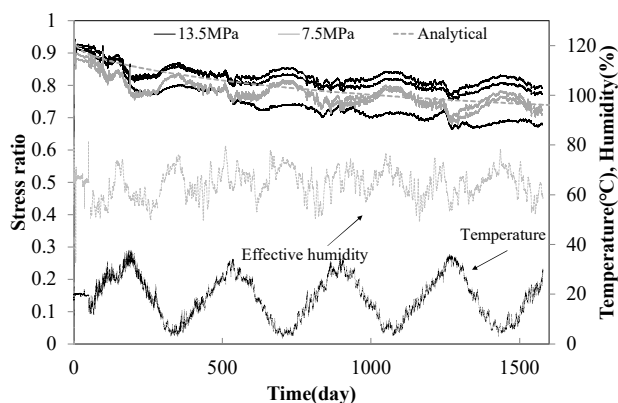


図3 スギ材の応力緩和(室内環境)

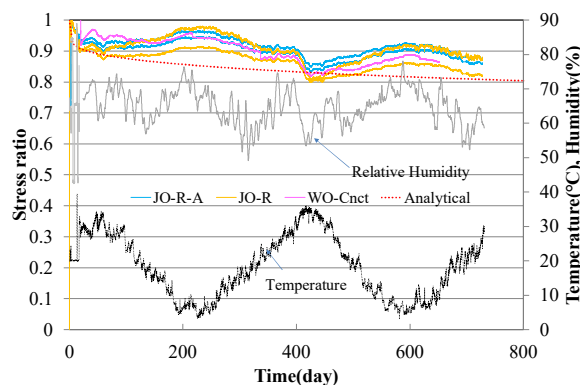


図4 広葉樹材の応力緩和(室内環境)

析モデルを用いて評価を試みた。スギ材の応力緩和試験は 4 年以上に及ぶもので、乾湿繰返し試験より得られたメカノソープティブ係数を用いて解析した結果とともに図 3 に示す。ただし、 m_{ms} は 0 とした。図をみると試験結果と解析結果はよく一致した。一方、広葉樹材の応力緩和試験と解析結果は図 4 に示す通りで、解析結果がやや過小評価となった。JO 試験体は締付 3 日後に再締め付けを行っていること、WO 試験体は 70°C で半日乾燥後の含水率が低い状態で締付けを行っていることが影響したものと思われる。

本解析は、木材を締付けることによって生じる摩擦を利用した接合部への適用を前提としており、締付長さは 100mm 程度と比較的短い。木材の繊維方向の圧縮は、木材端部に極端に弾性率が小さいダメージゾーンが 1mm 程度存在し、締付け長さが短いとその影響が大きくなる。そこで、ダメージゾーンのクリープ係数を求める圧縮クリープ試験を実施し、その影響を評価したところ、圧縮長さが半分になるとクリープ係数が 1.5 倍程度大きくなることが明らかになった。よって、クリープ係数を用いて解析を行う場合は、圧縮長さを考慮したクリープ係数の設定が必要である。

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 若島嘉朗、花島宏奈、清水秀丸、北守顕久、松原独歩
2. 発表標題 異なる応力レベル下における木材の長期的応力緩和挙動
3. 学会等名 木材学会
4. 発表年 2023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	北守 顕久 (Akihisa Kitamori) (10551400)	大阪産業大学・工学部・准教授 (34407)	
研究分担者	松原 独歩 (Doppo Matsubara) (10560154)	近畿大学・産業理工学部・准教授 (34419)	
研究分担者	清水 秀丸 (Hidemaru Shimizu) (70378917)	椋山学園大学・生活科学部・講師 (33906)	

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