

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月15日現在

機関番号：82113

研究種目：基盤研究C

研究期間：2009～2011

課題番号：21580212

研究課題名（和文） 木質複合材料のクリープ破壊に及ぼす水分の影響の解明と予測

研究課題名（英文） Effect of Moisture on the Duration of Load Characteristics of Wooden Composite Materials

研究代表者

中島 史郎 (NAKAJIMA SHIRO)

独立行政法人建築研究所 建築生産研究グループ

研究者番号：00344010

研究成果の概要（和文）：

木材と木質複合材料のクリープ破壊に及ぼす水分作用の影響を明らかにすることを目的として、温湿度変動下において製材と木質複合材料に対して長期継続荷重を載荷する実験を行い、材が破壊に至るまでの時間と変形の仕方が材の水分状態によってどのように異なるかを確認した。また、水分作用を受ける木質材料が破壊に至るプロセスを推定するために、同材料をモデル化し、荷重載荷時間と材の変形量との関係を予測するための手法を作成した。

研究成果の概要（英文）：

The effect of the moisture on the creep fracture and the duration of load factor of ltimbers and particle boards were clarified through the test results of the long term loading tests on these two materials. The long term loading test was conducted in two different climates, the climate of the standard condition and the dry and humid cyclic climate. Common to the two materials larger deformation was observed for the test specimens loaded in the dry and humid cyclic climate. And the test specimens loaded in the dry and humid cyclic climate showed smaller duration of load factor.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
平成21年度	1,500,000	450,000	1,950,000
平成22年度	500,000	150,000	650,000
平成23年度	400,000	120,000	520,000
年度			
年度			
総計	2,400,000	720,000	3,120,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：森林学、強度・木質構造

キーワード：木質構造材料、物性実験、長期荷重載荷試験、水分作用、モデル化

1. 研究開始当初の背景

建築物を長寿命化し、低炭素社会の実現に寄与するためには、建築物の構造躯体の長期性能についてこれまで以上に適格に把握しておく必要がある。木造建築物の構造躯体を構成する木質系の梁などの横架材に長期間、継続的に荷重（以下、「長期継続荷重」と呼

ぶ）が作用すると、たとえその荷重の大きさが横架材の曲げ耐力よりも小さな値であっても、材の中で微視的な破壊が徐々に進行し、この微視的な破壊の蓄積量が一定レベルを超えた時点で材が破壊することが一般に知られている。この現象は一般に「クリープ破壊」と呼ばれている。

無垢の木材のクリープ破壊については、過去に多くの研究実績があり一定の知見が得られている。しかしながら、近年、木造建築物の構造材料として多用されている集成材、単板積層材、パーティクルボードなどの木質複合材料についてはクリープ破壊に関する既往の研究が少なく、明らかになっていない点が多い。

一方、木造建築物の構造躯体は様々な温湿度環境下にさらされるが、木質複合材料は単板や木片などのエレメントを接着して製造しているため、製材以上に水分による影響を受けやすい。したがって、木質複合材料のクリープ破壊性状は水分による影響を製材以上に受けることが想像される。しかしながら、クリープ破壊性状に及ぼす水分の影響については未だ明らかになっていない点が多い。

2. 研究の目的

本研究では、木材と木質複合材料のクリープ破壊に及ぼす水分作用の影響を明らかにすることを目的として、温湿度変動下において製材と代表的な木質複合材料に対して長期継続荷重を載荷する実験を行い、クリープ破壊に至るプロセスが材の水分状態によってどのように異なるかを確認した。また、水分作用を受ける木材と木質複合材料がクリープ破壊に至る過程を推定する理論について検討した。

3. 研究の方法

(1) 長期継続荷重載荷試験

水分の影響を比較的受けにくい製材（ヒノキ材の無欠点小試験片）と比較的受けやすい木質複合材料（パーティクルボード）について長期継続荷重載荷試験を行い、荷重載荷後からクリープ破壊が生じるまでの時間を計測した。載荷する荷重の大きさは、曲げ耐力の80%とし、標準状態と湿度変動下の2つの環境下でそれぞれ試験を行った。以下に、試験に供した製材とパーティクルボードの寸法と規格を示す。

① 製材 樹種：ヒノキ

規格：なし（無欠点材）

寸法：20×20×420mm

曲げ弾性係数：10.3kN/mm²

曲げ強度：79.6N/mm²

② パーティクルボード

規格：JIS 18M タイプ

寸法：20×20×600mm

曲げ弾性係数：3.32kN/mm²

曲げ強度：18.0N/mm²

また、図1に長期継続荷重載荷試験の様子を示す。長期継続荷重載荷試験は、以下に示す2つの環境下で行った。

① 標準状態

温度：20℃一定

相対湿度：65%一定

② 湿度変動下

温度：20℃一定

相対湿度：65%（10時間）

→湿度上昇（2時間）

→95%（10時間）

→湿度降下（2時間）

→65%（以下繰り返し）



図1 長期継続荷重載荷試験の様子

(2) クリープ破壊現象のモデル化

粘弾性モデルを用いたクリープ破壊現象に対するモデルを提案し、提案したモデルを使ったコンピュータシミュレーションを行い、木材と木質複合材料がクリープ破壊に至る過程を予測した。

4. 研究成果

(1) 変形性状と破壊に至るまでの時間

表1に破壊に至るまでの時間を示す。製材とパーティクルボードともに、破壊に至るまでの時間は、湿度変動下において試験を行った試験体の方が、標準状態において試験を行った試験体よりも短く、前者の方が短時間で破壊に至るといった結果が得られた。

表1

試験体種類	破壊に至るまでの時間 平均(分)
製材（標準状態）	50126
製材（湿度変動下）	6365
パーティクルボード（標準状態）	39299
パーティクルボード（湿度変動下）	3356

図2に荷重載荷後から試験体が破壊に至るまでの試験体の相対変形（ある時点のたわみ量を初期たわみ量で除した値）を示す。同図の横軸は時間経過であり、図2(a)は製材の相対変形、図2(b)はパーティクルボードの相対変形の代表的な例である。同図の下部には湿度変動環境下における湿度変動履歴も合わせて示す。

製材とパーティクルボードともに、湿度変動下において試験を行った試験体の相対変形の方が標準状態において試験を行った試験体の相対変形よりも大きかった。湿度変動

下における試験体の相対変形は、高湿環境と高湿環境から低湿環境に移行する過程において著しくなることが確認された。

また、前述のとおり、試験体が破壊に至るまでの時間は、湿度変動下において試験を行った試験体の方が短かった。すなわち、湿度変動下において長期継続荷重を作用させた試験体の方が、標準状態において長期継続荷重を作用させた試験体よりも、短期間で変形が増大し、破壊に至ることが確認された。

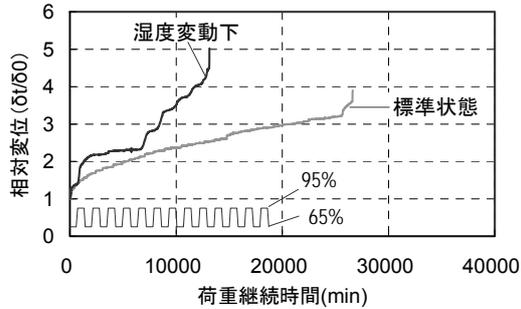


図 2 (a) 製材が破壊に至るまでの変形
(注) δ_t : t 分後のたわみ,
 δ_0 : 荷重載荷直後の初期たわみ

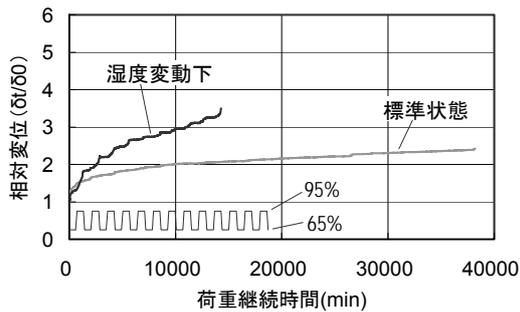


図 2 (b) パーティクルボードが破壊に至るまでの変形
(注) δ_t : t 分後のたわみ,
 δ_0 : 荷重載荷直後の初期たわみ

(2) 継続載荷荷重に対する強度の低減係数

継続載荷荷重に対する製材とパーティクルボードの強度低減係数（長期的に作用する荷重に対する強度を短期的に作用する荷重に対する強度で除した値。以下、「荷重継続時間の調整係数」と呼ぶ）を求めた結果を図 3 に示す。標準状態における荷重継続時間の調整係数と湿度変動下における荷重継続時間の調整係数を製材とパーティクルボードについて示す。

製材とパーティクルボードともに、荷重継続時間の調整係数は、湿度変動下において試験を行った試験体の方が小さくなることが確認された。この結果は、長期継続載荷荷重が作用する木材及び木質材料の強度性能に対する貴重な知見であり、同材料の強度評価

を考える上で有用な知見である。

一方、製材の荷重継続時間の調整係数の方が、パーティクルボードの荷重継続時間の調整係数より小さくなるという結果が得られたが、木材の小片を接着剤を用いて固めて成形したパーティクルボードの方が、製材よりも荷重継続時間の調整係数が大きくなることは、想定していた結果と異なるため、その原因を解明することは今後の課題である。

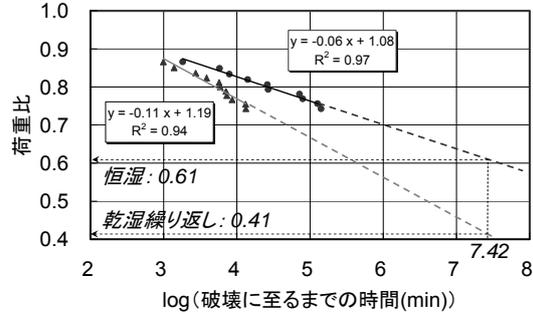


図 3 (a) 荷重継続時間の調整係数算定結果 (製材)

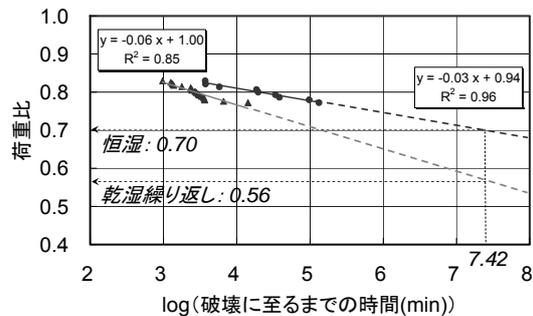


図 3 (b) 荷重継続時間の調整係数算定結果 (パーティクルボード)

(3) クリープ破壊現象のモデル化

図 4 (a) と図 4 (b) に示すモデル化を行い、長期継続荷重載荷時に製材とパーティクルボード（以下、「木質材料」と呼ぶ）が破壊に至る過程を再現した。図 4 (a) に示すように、木質材料を構成する木繊維の集合体（以下、「要素」と呼ぶ）をバネとダッシュポットからなる弾塑性体としてモデル化し、図 4 (b) に示すように、木質材料を要素の集合体が並列に結合されたものとした。

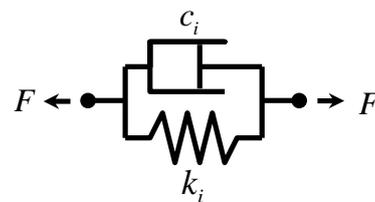


図 4 (a) 要素のモデル化

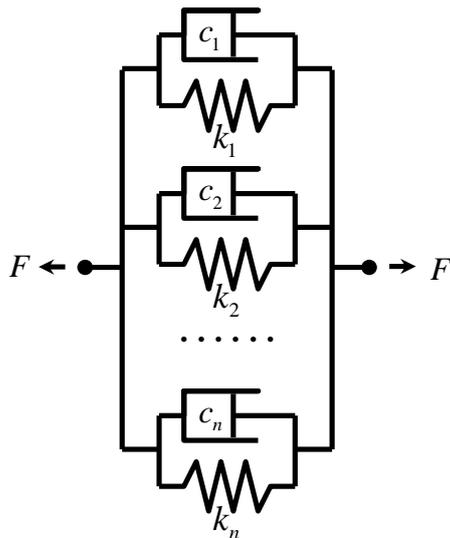


図4(b) 木質材料のモデル化

要素の両端に荷重 F_i が作用した際のバネの変形量を x_i 、ダッシュポットの変形速度を dx_i/dt とすると式1となる。

$$F_i = k_i x_i + c_i (dx_i/dt) \quad \dots(1)$$

ここで、 k_i はバネ定数、 c_i は粘性係数である。式1より、要素が所定の変形をしている際の要素の変形速度を求めることができる。木質材料を構成する個々の要素のバネ定数と粘性係数は、要素に固有であり、ばらつくものとして、所定の確率分布に基づく任意の値を与えた。木質材料を構成する1つの要素が所定の変形量に達すると破断し、荷重は残された要素に分配され、さらに次の要素が所定の変形量に達し破断すると、荷重が再分配されるという計算を繰り返し行い、木質材料の変形量と荷重継続時間との関係を求めた。また、全ての要素が破断した状態を木質材料の破壊とし、木質材料が破壊に至るまでの時間を計算した。

図5に標準状態におかれた木質材料の変形量（相対変形量）と荷重継続時間との関係を求めた結果と、湿度変動下におかれた木質材料の変形量（相対変形量）と荷重継続時間との関係を求めた結果を示す。作成した手法により、要素が順次破断し、最終的に木質材料が破壊に至る過程が概ね再現できた。

同手法により、温湿度が変化する環境下で長期継続荷重が作用する木質材料が破壊に至る過程を概ね予測することができ、この分野における研究と実務にとって有用な研究成果が得られた。

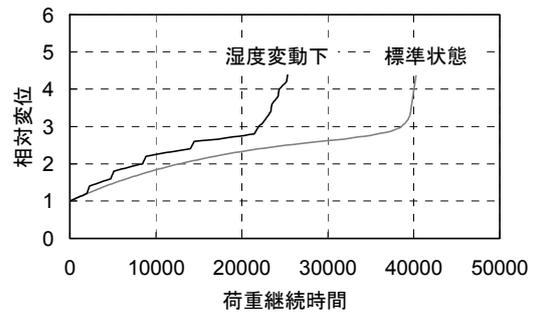


図5 計算により求めた木質材料の相対変位と荷重継続時間との関係

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計2件)

- ① Nakajima S, Matsuzato S, Yamaguchi N and Nakagawa T. Evaluation of Duration of Load Factors for Wooden Structural Materials. RILEM Conference on Advances in Construction Materials Through Science and Engineering. Hong Kong, China: 2011: CD-ROM.
- ② 中島史郎, 山口修由, 中川貴文: “木質構造材料の荷重継続時間の調整係数に及ぼす使用環境の影響に関する考察”, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2012.9, 発表予定.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中島 史郎 (NAKAJIMA SHIRO)

独立行政法人建築研究所・建築生産研究グループ・上席研究員

研究者番号: 00344010

(2) 研究分担者

山口 修由 (YAMAGUCHI NOBUYOSHI)

独立行政法人建築研究所・材料研究グループ・主任研究員

研究者番号: 10370701

中川 貴文 (NAKAGAWA TAKAFUMI)

独立行政法人建築研究所・材料研究グループ・主任研究員

研究者番号: 60414968