

# カラマツCLTの曲げクリープ性能

技術部 生産技術グループ 高梨隆也

## 1. はじめに

欧州で開発された新しい木質材料であるCLT (Cross Laminated Timber, 日本農林規格では直交集成板)は、木材の強度と寸法変化の異方性を大幅に改善できること、従来の木材や木質材料と比較して大断面で分厚い材料であり大きな荷重に耐えられることなどが評価され、中高層建築物への活用など日本でも急速に普及が進んでいます。

林産試験場でも北海道産木材を用いたCLTの製造条件、材料性能、構造性能などについて様々な研究を進めており<sup>1)</sup>、その成果は様々な基準や規格整備に活用されています。これまで行ってきた道産材CLTに関する研究の中から、本稿ではカラマツCLTの曲げクリープ性能についてご説明します。

## 2. クリープとは

構造物の建築設計を行うときには、部材の初期のたわみに変形増大係数を乗じて長期たわみを計算する必要があります<sup>2)</sup>。部材の自重や荷物などによる荷重が継続的に生じる床部材では、この計算は重要です。これは、長期間にわたって荷重を受ける部材では時間の経過に伴い変形が増加する現象が起こるためです。

木材はセルロースなどの高分子材料で形成されています。高分子は分子鎖が長いと粘弾性を示し、荷重をかけた直後に、荷重に比例する変形が生じる(弾性)に加え、その荷重が継続したときには時間と共に変形が増大するという性質(粘性流動)も持ちます。

例えば、一定の荷重が継続的にかかっている梁を考えます。荷重が生じた直後は材料固有の比例定数に荷重をかけた値 $\delta_0$ という変形が生じます。そして、この荷重が継続すると時間 $t$ の関数で表される変形 $\delta_{f(t)}$ が付加されます(図1)。すなわち、荷重が継続した時間を $t$ とすると、 $t$ の時の梁の変形 $\delta_t$ は以下の式で表すことができます。

$$\delta_t = \delta_0 + \delta_{f(t)} \quad (1)$$

このように、荷重を継続させた時間に伴って変形が増大する現象をクリープ現象といいます。クリープ変形量 $\delta_{f(t)}$ は荷重の大きさに左右され、ある限界以上の荷重をかけ続けると、ある時に大変形が生じ

てクリープ破壊という破壊が生じます(図2A)。また、その限度未満の荷重をかけ続けた場合には、やがてクリープ変形が収束して、材料は破壊されないまま保たれます(図2B)。

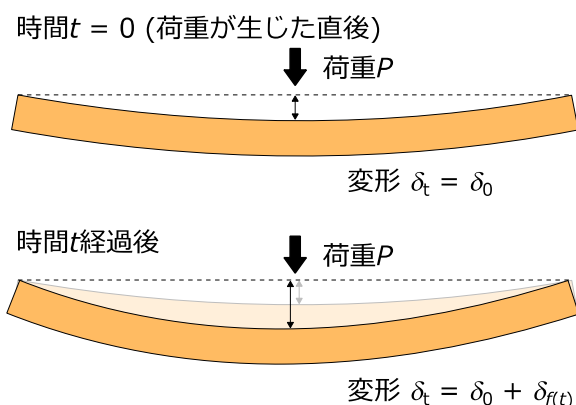


図1 クリープ現象の模式図

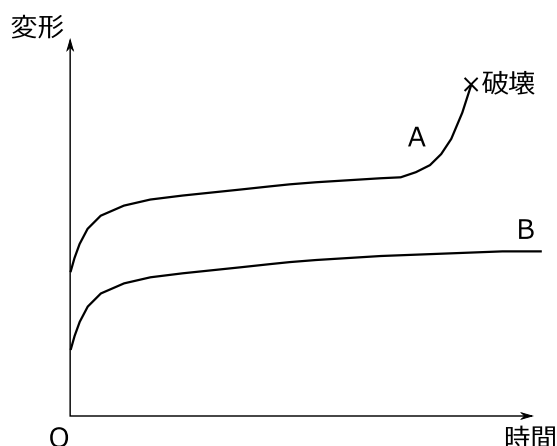


図2 経過時間とクリープによる変形の関係

## 3. 強度試験—道外産スギとの比較—

構造物の設計時には、部材に継続的にかかる荷重を計算して、クリープ破壊が生じないように部材の性能や断面寸法を決める必要があるとともに、クリープ変形後の部材の変形量を基準以下にする必要があります。例えば、木質構造設計規準<sup>3)</sup>では、梁のクリープ変形後のたわみは部材長さの300分の1以下とすることが定められています。このとき必要となる部材のクリープ変形性能は材料の種類に固有のものであり、その値を実験的に求める必要があります。

す。林産試験場では様々な木質材料を対象としてクリープ変形性能を調べる実験を行っており、そのうちカラマツCLTの曲げクリープ変形性能を調べた実験<sup>4)</sup>についてご説明します。

#### 4. 実験方法

この実験で使用した試験体は7層7プライのカラマツCLTで、強度等級は直交集成板の日本農林規格で規定されているMx120としました。試験体寸法は幅300mm×厚さ210mm×長さ4610mmとし、はじめに11体の試験体で短期曲げ強度試験を行いました。短期強度試験とは、材料試験機を用いて載荷開始から破壊までをおおむね10分以内で行う試験のことです。この短期曲げ強度試験での最大荷重の平均値は76.4kNでした。

曲げクリープ試験は温度20°C、相対湿度65%に設定した恒温恒湿室内に設置した長期荷重装置（図3）を用いて行いました。この装置は、この原理によってモーメントアーム先端に吊り下げたおもりの重量の約17倍の荷重が試験体に載荷される装置で、装置機構を模式的に表すと図4のようになります。この装置を用いて、試験体にかかる荷重が

$$76.4\text{kN} \times 37\% = 28.3\text{kN} \quad (2)$$

となるような条件で11体の試験体に荷重をかけ続けました。荷重をかけ続けた期間は試験体ごとに異なり最短で48日間、最長で183日間とし、その間、試験体中央のたわみを1分間隔で自動収集しました。



図3 実験で使した長期荷重装置

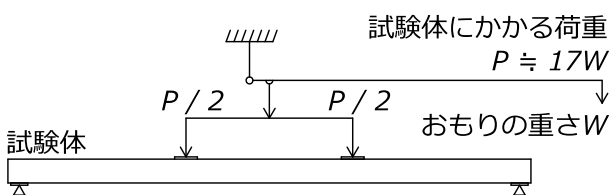


図4 長期荷重装置の載荷装置機構

#### 5. 実験結果

荷重を継続させた期間と変形の関係（時間-たわみ曲線）を図5に示します。設計に必要となる値は、設計者が任意に設定した期間が経過した後のたわみの値です。そのため、時間-たわみ曲線を任意の時間 $t$ の関数で表す必要があります。ここでは、時間-たわみ曲線を以下の式で近似することとしました。

$$\delta_t = \delta_0 + At^N \quad (3)$$

ここで、 $t$ は任意の時間、 $\delta_t$ は時間 $t$ のときのたわみ、 $\delta_0$ は試験開始直後のたわみ、 $A$ と $N$ は定数です。この式は、時間 $t$ が大きくなるにつれてたわみの変化量が小さくなっていくという曲線（図2B）を表現するのに適しています。

得られた時間-たわみ曲線を式(3)に近似させ（図5の点線）、ここに $t = 50$ 年を代入して50年後のたわみを予測しました。最初のたわみに対する50年後のたわみの比（ $\delta_{50\text{年}} / \delta_0$ ）を計算すると、試験体11体の最大値で1.56、最小値で1.33、平均値で1.48という結果となりました。乾燥された一般的な木材や木質材料のクリープ変形性能として、最終的なたわみは最初のたわみの2倍程度となると言われており、カラマツCLTのクリープ変形性能はこの値と比較して小さな値となりました。すなわち、カラマツCLTは長期間の荷重に対して変形が進みにくく安定した材料である、という結果が得られました。ただし、この結果は恒温恒湿状態で得られた結果です。温湿度変動環境下や、部材の含水率が高い状態でのクリープ変形

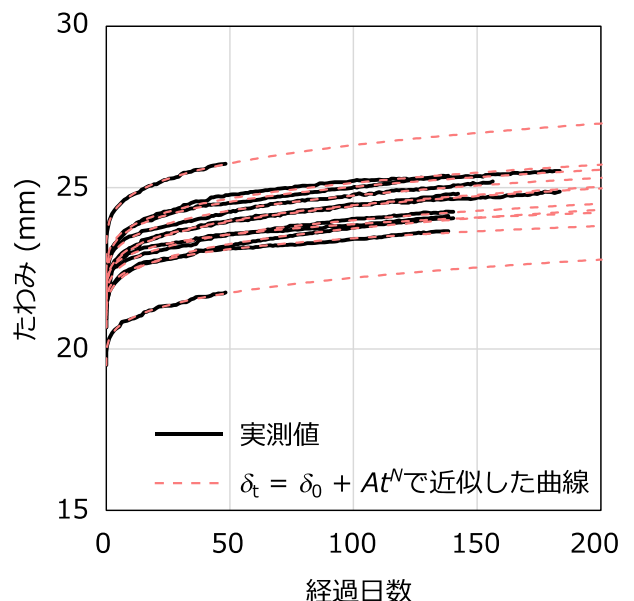


図5 カラマツCLT試験体の時間とたわみの関係

性能を確かめるためには別途実験を行う必要があります。

## 6. おわりに

カラマツ材は他の樹種に比べてヤング係数が高く変形しにくいなど、構造材料として有利な点が多くあります。それに加えてこの実験から、温湿度定常下でのカラマツCLTはクリープ変形量が小さいという性質も明らかになりました。このようなカラマツCLTの優れた性質を活かすことで、道産材CLTを用いた建築物の普及がさらに進むことが期待されます。

## 7. 参考文献

- 1) 大橋義徳: 道産CLT (直交集成板)の開発状況. 林産試だより 2016年12月号, pp. 1-5 (2016)
- 2) 戸田正彦: Q&A 先月の技術相談から [変形増大係数について]. 林産試だより 2005年2月号 (2005)
- 3) 日本建築学会編: 木質構造設計規準解説 5.部材の設計. “木質構造設計規準・同解説 -許容応力度・許容耐力設計法-”, pp. 169-209, 日本建築学会, 東京, (2006)
- 4) Ryuya Takanashi, Yoshinori Ohashi, Wataru Ishihara, Kazushige Matsumoto: Long-Term Bending Properties of Cross Laminated Timber with Japanese Larch. The 15th World Conference on Timber Engineering, Seoul, Republic of Korea (2018)木構造振興株式会社編: 木材の強度等データおよび解説, 木構造振興株式会社 (2011)