

集成材および LVL における繊維平行方向の圧縮クリープ特性

Compression creep property in parallel to the grain of GLT and LVL

構造技術部 佐藤 希 NOZOMI SATO
 構造技術部 徳武 茂隆 SHIGETAKA TOKUTAKE
 構造技術部 白山 貴志 TAKASHI SHIRAYAMA
 技術企画部 新上 浩 HIROSHI SHINJO
 技術研究所 田野 健治 KENJI TANO

近年、木造建築物への関心が高まるなかで、中大規模木造建築物の建設が増加している。しかし、それらに使用されることが多い集成材や LVL などといった、エンジニアリングウッドのクリープ特性に関する研究はあまり行われておらず、特に繊維平行方向の圧縮力に対するクリープ特性についての実験データはほとんどない状況にある。そこで、集成材および LVL の繊維平行方向圧縮クリープ特性を把握するための実験を、約 2 年間にわたり実施した。その結果、実験結果は既往のクリープ近似曲線でおおむね近似できたが、クリープひずみの挙動が変化する期間が確認された。LVL においてその現象が顕著にみられ、クリープ係数は集成材より LVL の方が大きな値となった。

キーワード：圧縮クリープ，繊維平行方向，集成材，LVL，クリープ近似曲線

Recently, supported by the interest in timber structure, the construction of middle/large-scale timber structure is increasing. However, research on the creep property of engineering wood such as Glued Laminated Timber (GLT) and Laminated Veneer Lumber (LVL) which are often used for middle/large-scale timber structure has not been advanced enough. In particular, there is few experimental data of compressive creep in parallel to the grain. Therefore, the tests to understand creep property in parallel to the grain of GLT and LVL have been conducted for 2 years. As a results, the observed creep strain was able to be approximated by conventional creep approximate curve, however, the periods of the change of creep behavior were observed. This phenomenon was remarkable in LVL, and the creep coefficient of LVL was larger than that of GLT.

Key Words: compression creep, parallel to the grain, GLT, LVL, creep approximation curve

1. はじめに

近年、木造建築物への関心が高まる中で、中大規模の木造建築物も建設されるようになった。中大規模木造建築物には、構造用集成材（以下、集成材）や単板積層材（以下、LVL）などのエンジニアリングウッドが用いられることが多く、これらの研究データの蓄積が中大規模の木造建築物の普及には不可欠となる。

クリープ特性に関しては、これまでいくつかの研究が行われているが、その多くは製材を対象としたものであり^{1),2)}、また、集成材を対象としたものについては曲げクリープに関する研究は行われているものの³⁾、圧縮クリープに関してはほとんどない状況である。

そこで本研究では、集成材および LVL の繊維平行方向圧縮クリープ特性を把握するための実験を、約 2 年間にわたり行った。その結果について報告する。

2. 実験概要

実験計画を図-1 に、試験体概要を表-1 に示す。また、実験状況を写真-1 および写真-2 に示す。

試験体には、寸法 105×105×650mm の対称異等級構成集成材(ベイマツ：E120-F330)および LVL(ダフリカカラマツ:120E-1 級)を用いた。試験体 2 体を 1 組とし、繊維平行方向載荷となるように鋼板で試験体を挟みこみ、PC 鋼棒(B 種 1 号 Φ13×4 本)で締め付けて荷重を与えた。

また、木材のクリープによる載荷荷重の低下をできる限り抑えるため、写真-2 に示す位置に、皿ばねを介することとした。

初期導入力は集成材、LVLともに長期許容圧縮応力度相当(試験体名：G-A, L-A 各2体), 長期許容圧縮応力度の50%相当(試験体名：G-B, L-B 各2体), 無載荷(試験体名：G-N, L-N 各1体)としている。ロードセルにより載荷荷重を計測し、初期導入力に対して5%低下とな

った時点で PC 鋼棒の再緊張を行ない、初期値まで戻すこととした。

ひずみの計測は図-1 に示すように、木材中央部分の上下2面にて行なった。

実験は栃木県の施設内で行い、計測期間は 2017 年 2 月 17 日から 2019 年 2 月 5 日までの約 2 年間 (718 日) とした。計測は 1 時間に 1 回の間隔で行った。

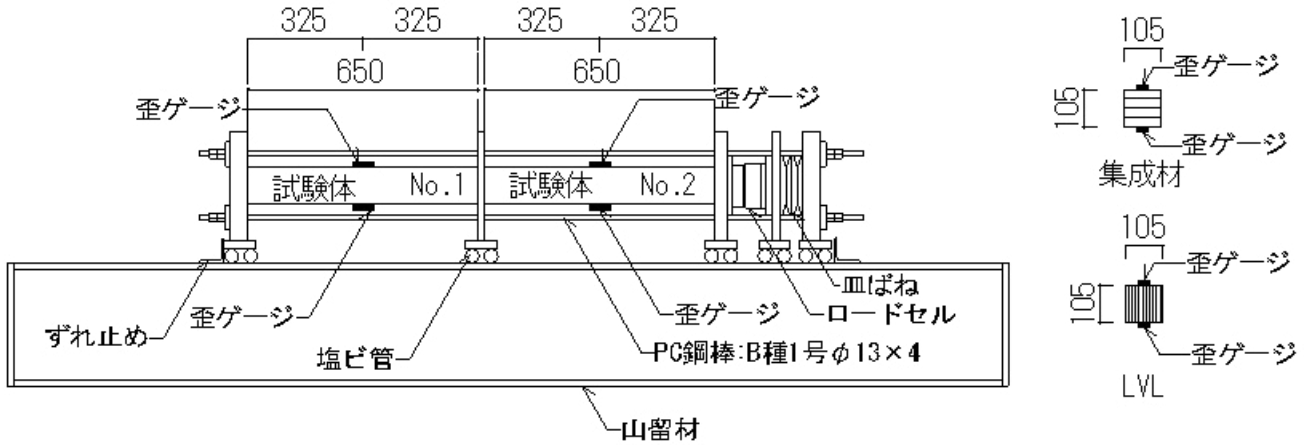


図-1 実験状況

表-1 試験体概要

試験体名	樹種	試験体寸法	載荷応力	載荷期間	試験体数
G-A	対称異等級構成集成材(ベイマツ：E120-F330) 基準強度 $F_c=25.9\text{N/mm}^2$	105×105×650 mm	長期許容圧縮応力度：9.5 N/mm ² (軸力：105kN)	2017年2月17日 ～ 2019年2月5日 (約2年間)	各2体
G-B			長期許容圧縮応力度の50%：4.75 N/mm ² (軸力：52kN)		
G-N			無載荷		1体
L-A	LVL(ダフリカカラマツ：120E-1級) 基準強度 $F_c=30.0\text{N/mm}^2$	105×105×650 mm	長期許容圧縮応力度：11.0 N/mm ² (軸力：121kN)		各2体
L-B			長期許容圧縮応力度の50%：5.5 N/mm ² (軸力：61kN)		
L-N			無載荷		



写真-1 実験状況(1)

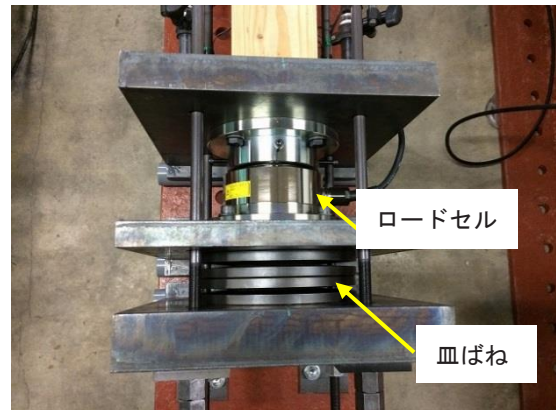


写真-2 実験状況(2)

3. 実験結果

(1) 計測結果

載荷荷重の推移を図-2 に示す。今回のデータ計測期間中では、実験開始から約1ヵ月後と約7ヵ月後に、載荷荷重が初期導入力に対して5%低下となったため、PC鋼棒の再緊張を行った。

集成材とLVLのひずみと経過日数の関係を、それぞれ図-3～図-5に示す。なお、図-3および図-4に示すひずみは、温湿度の影響を補正するため、それぞれの試験体の計測結果から図-5に示す無載荷試験体の結果を差し引いた、上下面2箇所のひずみの平均値としている。

ひずみの推移をみると、いずれの試験体も載荷200日を経過したあたりから横ばいとなり、その後のひずみの変動はほとんどみられなかった。それぞれ2体の試験体によりひずみを計測しているが、LVLにおいては2体の値はほぼ同程度となり、ばらつきはほとんどみられなかったものの、集成材においては載荷718日目のひずみをみるとG-A-No.1では約-1,000 μ 、G-A-No.2では約-1,400 μ となり、G-A-No.2の方が1.4倍程度大きい値を示し、ばらつきが大きい結果となった。

また、温湿度の推移を図-6に、含水率の推移を図-7に示す。含水率は、試験体と同一材から切り出した30×30×30mmの試験片を、集成材、LVLともにそれぞれ2体ずつ用意し、試験体と同一環境下においた際の重量変化から算出をした。含水率計測用試験体を写真-3に示す。なお、図-7に示す含水率の値は2体の平均値としている。

含水率は、集成材・LVLともにデータ計測期間中の変動はほとんどみられず、集成材では14%～17%程度、LVLでは11%～13%程度の値となった。

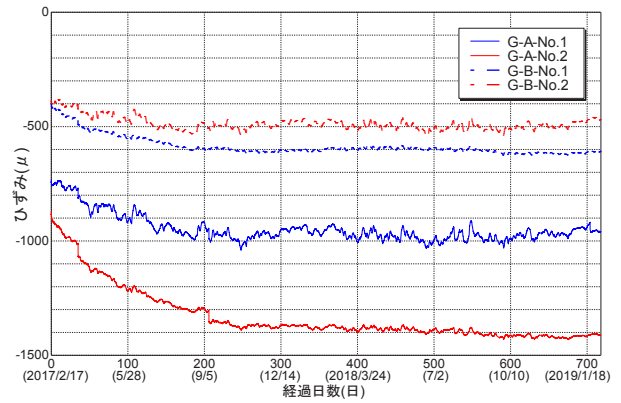


図-3 ひずみ-経過日数関係(集成材)

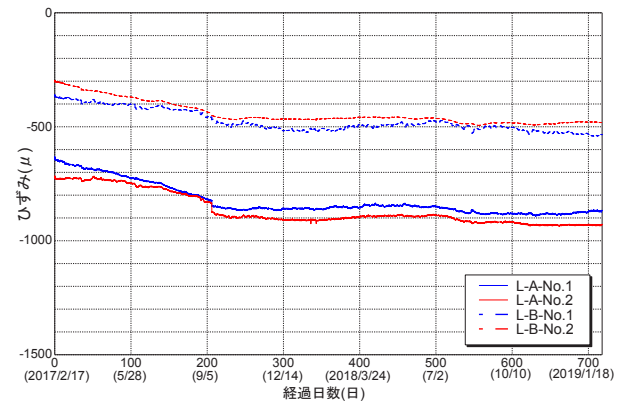


図-4 ひずみ-経過日数関係(LVL)

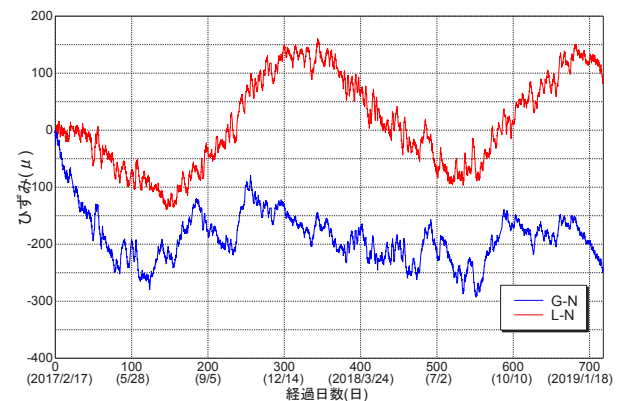


図-5 ひずみ-経過日数関係(無載荷)

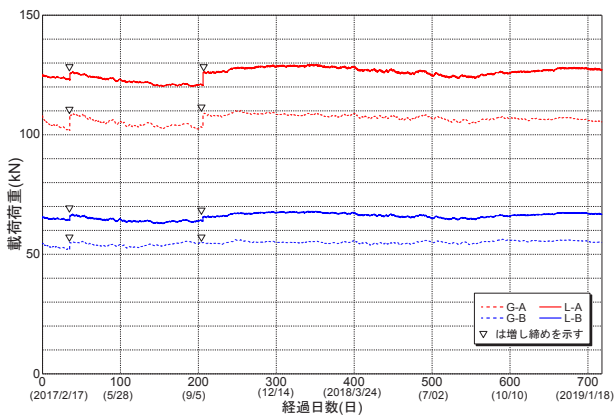


図-2 載荷荷重推移

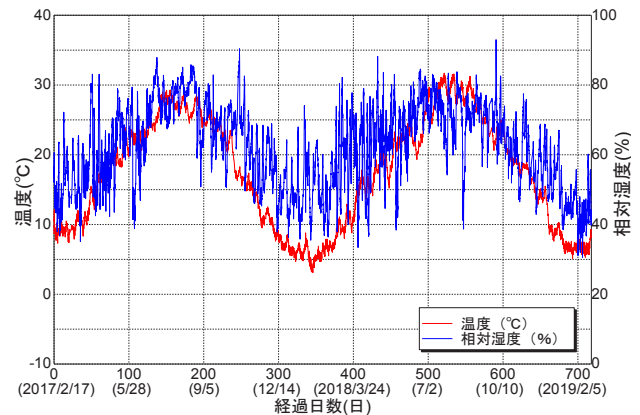


図-6 温湿度推移

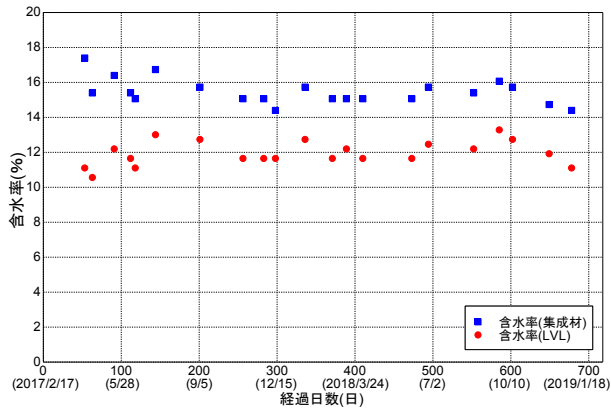


図-7 含水率推移



写真-3 含水率測定試験体

(2) クリープの検討

a) クリープ予測式

約2年間の実験より得られた計測結果よりクリープひずみに対する検討を行う。

木材のクリープを含めたひずみは一般的に式(1)で表される^{4),5)}。

$$\varepsilon_t = \varepsilon_0 + A \cdot t^n \quad (1)$$

ε_t : t日後のクリープひずみを含んだひずみ

ε_0 : 初期荷重による弾性ひずみ

A, n : 実験による定数

t : 荷重日数

本実験は荷重荷重の変動があるため、その変動による弾性変形と変動力分のクリープひずみについて計測データによる重ね合わせの原理を適用すると、式(1)は以下になる。

$$\varepsilon_t = \frac{\sigma_0}{E} + \frac{\sigma_0}{E} \varphi_t + \frac{1}{E} \sum_{i=1}^m \Delta\sigma_i + \frac{1}{E} \sum_{i=1}^m \Delta\sigma_i \cdot \varphi_{(t-t_i)} \quad (2)$$

σ_0 : 初期応力

m : t日までの計測データ数

E : ヤング係数

φ_t : t日間荷重したときのクリープ係数

$\Delta\sigma_{t_i}$: t_i 日目に計測された変動応力

式(2)よりクリープひずみの項だけを考慮すると、式(3)のように表すことができる。

$$\varepsilon_c = \varepsilon_0 \varphi_t + \sum_{i=1}^m \varepsilon_i \varphi_{(t-t_i)} \quad (3)$$

ここで式(1)よりクリープ係数の関数を

$$\varphi_t = A / \varepsilon_0 \cdot t^n \quad [\varphi_t = (\varepsilon_t - \varepsilon_0) / \varepsilon_0] \quad (4)$$

とする。

また、式(5)により実験結果からt日後のクリープひずみ ${}_e\varepsilon_c$ を算出する。なお、ヤング係数Eは試験体荷重時の応力-ひずみ曲線における、基準強度の10%から荷重応力までの傾きとしている。

$${}_e\varepsilon_c = {}_e\varepsilon_t - {}_e\varepsilon_0 - \frac{1}{E} \sum_{i=1}^m \Delta\sigma_{t_i} \quad (5)$$

${}_e\varepsilon_t$: t日後のクリープひずみを含んだひずみ(計測値)

${}_e\varepsilon_0$: 初期荷重による弾性ひずみ(計測値)

b) クリープひずみ予測

上述した予測式から、式(5)より算出した実験結果に対して式(3)を近似させることにより、定数 A/ε_0 と n を得る。クリープひずみと経過日数の関係について、実験結果と予測式による近似の結果を図-8～図-11に示す。また、式(5)で用いたヤング係数E、初期荷重による弾性ひずみ ${}_e\varepsilon_0$ および計測最終日である718日目の実験結果によるクリープひずみ ${}_e\varepsilon_c$ を表-2に示す。なお本研究では、目標荷重まで達した次の計測点を初期値とし、データ処理を行っている。

実験結果によるクリープひずみと計算結果の傾向は、試験体によりばらつきはあるものの、おおむね一致していることが確認できた。しかし、荷重200日および500日あたりで実験結果によるクリープひずみの挙動に変化

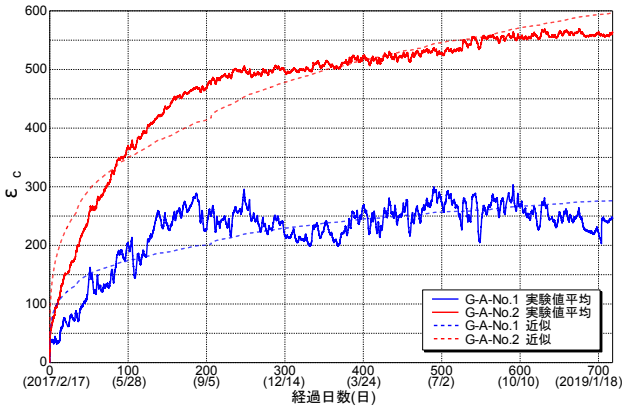


図-8 クリープひずみと近似曲線(G-A)

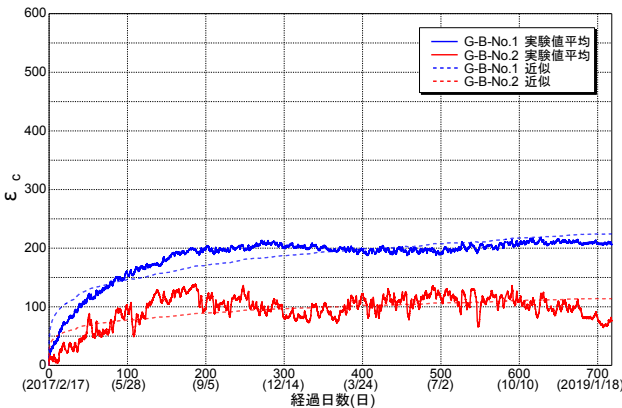


図-9 クリープひずみと近似曲線(G-B)

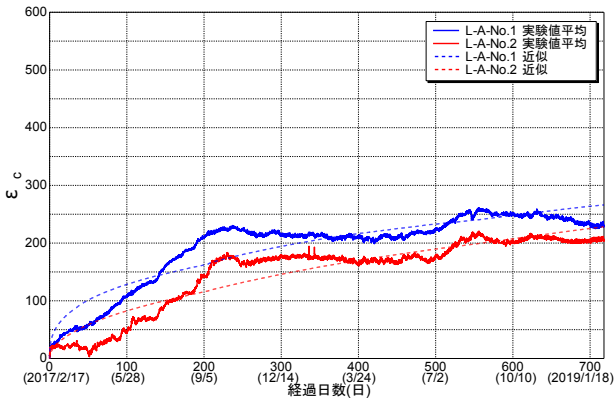


図-10 クリープひずみと近似曲線(L-A)

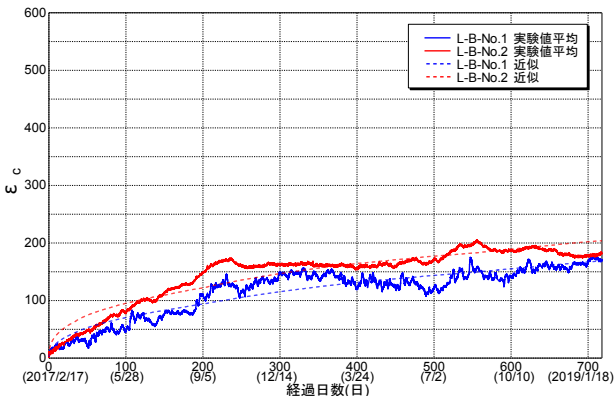


図-11 クリープひずみと近似曲線(L-B)

がみられ、特に LVL においてその変化が顕著であった。温湿度が最大から下降に入る時期あたりでその挙動がみられるため、無載荷試験体の値を差し引くことにより補正を行なっているものの、温湿度変化が実験結果に影響を与えている可能性もあると考えられ、今後さらに検討が必要である。

式(4)における実験定数と 50 年後のクリープ係数を表-3 に示す。集成材, LVL のそれぞれについて、50 年後のクリープ係数をみると、ばらつきはあるが、集成材では 0.5~1.7, LVL では 1.3~2.3 の範囲となり、LVL の方が大きな値を示した。また、一般的に t を日数とした場合には $A/\epsilon_0=0.2, n=0.2$ 程度を想定しておけばよいとされており^{4),5)}、その値を使用した際の 50 年後のクリープ係数は 1.4 程度である。今回の実験結果では、集成材においてはほとんどの試験体でその値を下回っていたが、LVL においては上回っているものが多かった。

表-2 諸元値および最終クリープひずみ一覧

試験体名	ヤング係数 $E(N/mm^2)$	初期荷重による 弾性ひずみ $\epsilon_0(\mu)$	最終(718日後) クリープひずみ $\epsilon_c(\mu)$
G-A-No.1	1.30×10^3	732	246
G-A-No.2	1.18×10^3	870	561
G-B-No.1	1.09×10^3	398	209
G-B-No.2	1.17×10^3	390	79
L-A-No.1	1.83×10^3	629	233
L-A-No.2	1.61×10^3	714	208
L-B-No.1	1.63×10^3	359	170
L-B-No.2	1.98×10^3	295	182

表-3 クリープ係数算出結果一覧

試験体名	A/ϵ_0	n	50年後 クリープ係数
G-A-No.1	0.085	0.230	0.8
G-A-No.2	0.121	0.267	1.7
G-B-No.1	0.147	0.203	1.1
G-B-No.2	0.087	0.183	0.5
L-A-No.1	0.040	0.358	1.3
L-A-No.2	0.011	0.506	1.6
L-B-No.1	0.027	0.432	1.9
L-B-No.2	0.059	0.374	2.3
一般 ⁴⁾⁵⁾	0.200	0.200	1.4

4. まとめ

本研究では、集成材および LVL の繊維平行方向圧縮クリープ特性を把握するための実験を行った。

その結果、以下の知見を得た。

- ①集成材，LVLともに載荷200日を経過したあたりからひずみは横ばいとなり，その後の変動はほとんどみられなかった。
- ②LVLにおいては2体の試験体のばらつきはほとんどみられなかったが，集成材においてはばらつきが大きい結果となった。
- ③集成材，LVLともに実験結果によるクリープひずみと近似曲線の傾向はおおむね一致することが確認できたが，クリープひずみの挙動が変化する期間が確認され，特にLVLにおいてその変化が顕著にみられた。
- ④今回の実験予測式を用いた場合，50年後のクリープ係数は集成材よりもLVLの方が大きな値となることが確認できた。

参考文献

- 1) 桑村仁：鉄骨木質構造の発展に向けた木材の粘弾性に関する研究（その3．縦圧縮クリープ限度と繊維座屈の関係），2011年度日本建築学会関東支部研究報告集，pp.457-460，2012.3
- 2) 桑村仁：木材の縦圧縮クリープ限度－鉄骨木質構造の研究 その14－，日本建築学会構造系論文集，第681号，pp.1691-1700，2012.11
- 3) 木村衛ほか：実大米松集成材の曲げクリープ性状，日本建築学会構造系論文集，第561号，pp.169-176，2002.11
- 4) 岡田恒男ほか：木質構造設計ノート，日本建築学会，pp.37-43，1995.1
- 5) 日本建築学会：木質構造設計基準・同解説-許容応力度・許容耐力設計法-，pp.165-168，2013.10