曲げセット材の吸湿時復元曲線の重ね合わせ[†]

徳 本 守 彦* 阪 田 武**

Superposition of Restoration Curves of Bending Set Wood During Adsorption

by

Morihiko TOKUMOTO* and Takeshi SAKATA**

Firstly, we investigated the effect of reverse load on creep of wood during drying. Secondly, we examined the restoration during adsorption of bending set wood, which had been dried under three different loading conditions: ① normal bending-load was applied in the range of 30~17% moisture contents (MCs), ② reverse bending-load was applied in the range of 17~7% MC, ③ normal bending-load and then reverse bending-load were applied.

The results are summarized as follows.

(1) When the reverse bending-load was applied during drying, creep became greater than that in the condition when the normal bending load was applied again. This suggests that the reverse load stimulated the recovery of the normal set developed just before in the limited narrow range of MC.

(2) When the restoration curves of bending set wood during adsorption under loading conditions (1), (2) and (3) are referred to as M, P and K, respectively, the curve K was closely similar to the resultant curve by the superposition of the curves M and P. Therefore, the set developed at the higher levels of MC and that at the lower level of MC are almost independent each other, although not completely independent from the result of (1).

Key words: Normal load, Reverse load, Superposition, Restoration,
Bending set loading history

1 緒 言

前報¹⁾において、異なる負荷条件の下で乾燥した曲げセット材の負荷履歴と吸湿時の復元の関係を検討し、曲げセットの復元が乾燥過程で負荷を加えた含水率域で最も顕著であることを明らかにした。また、はじめは正方向曲げ負荷を加え、ある含水率で除荷し、試片を反転して逆負荷を加えて乾燥した正逆負荷曲げセット材では、吸湿に際して曲げセットは単調に復元せず、乾燥過程におけるセット発生²⁾の道筋を逆にたどる経過を示した。これらの結果から、同一の試片に順次重ね合わされた正および負のセットは基本的に独立で、木材細胞壁内の異なる場所に発生していることが示唆された。

本論文の目的は、この問題をさらに検討し、次の2つの問題を明らかにすることである。

(1) 正負荷に続いて逆負荷を加える時、負のセットが予想以上に大きく発生した。おそらく、正負荷によって生じたセットが逆負荷によって復元したためと

考えられる。このことは、正と負のセットの独立性にかかわる問題であるので、さらに検討が必要である。

(2) それぞれ単独に正および負のセットを発生させた曲げセット試片の吸湿時復元曲線を重ね合わせて合成曲線を求め、前報で検討した正逆負荷曲げセット材の特有の吸湿時の復元曲線と比較し、1本の試片に重ねられた正と負のセットが相互にどの程度影響しているかを明らかにする。

2 実験方法

2・1 試験材料

気乾状態のブナおよびヒノキ材から、長さ120 mm、幅10 mm、厚さ3 mmの放射(R)方向、接線(T)方向および繊維(L)方向試片(それぞれ長さ×幅×厚さが、 $R \times L \times T$ 、 $T \times L \times R$ および $L \times R \times T$ である)を作製し、曲げ弾性率のそろった試片を選択した。その後は前報に準じて、試片を30°Cでほぼ繊維飽和点に近い含水率(ブナ:32%、ヒノキ:28%)に調製し、実験に供した。

[†] 本報を「曲げセット材の負荷履歴と吸湿時の復元(第2報)」(Loading History and Restoration of Bending Set Wood During Moisture Adsorption, II)とする。また、前報は木材学会誌37巻6号505頁(1991年)に掲載済である。

原稿受理 平成4年4月30日 Received Apr. 30, 1992

* 正会員 信州大学農学部森林科学科 〒399-45 長野県上伊那郡南箕輪村, Dept. of Forest Sci., Shinshu Univ., Kamiina-gun, Nagano, 399-45

** 信州大学農学部森林科学科 〒399-45 長野県上伊那郡南箕輪村, Dept. of Forest Sci., Shinshu Univ., Kamiina-gun, Nagano, 399-45

2・2 逆負荷の影響について

放射方向試片を用いて、前報と同様に恒温恒湿器内のスパン 10 cm の曲げ試験台で、試片中央に集中荷重（これを正負荷とよぶ）を加えて所定の含水率まで乾燥した。その後、除荷して 24 時間その含水率で放置したのち、一方では同じく正負荷を加えて、また一方では、試片を反転して曲げ負荷を加えて（これを逆負荷と呼ぶ）乾燥過程のクリープを測定し、正負荷と逆負荷によるクリープ経過を比較した。乾燥途中で除荷した含水率は約 25, 20, 15, 10% で、正負荷および逆負荷ともにブナ材で 120 g, ヒノキ材で 80 g とした。

正負荷を加えると試片は下にたわみ、逆負荷を加えると試片のたわみは上向きに発生するものとする。1 日あたり含水率が 2～3% 減少するように、相対湿度を段階的に変えて乾燥した。

2・3 曲げセット材の作製

初期含水率を約 30% に調製した、放射、接線および繊維方向試片を用いて、次の 3 とおりの方法で乾燥過程で曲げ負荷を加えた。乾燥方法は 2・2 節と同様である。

(1) 正負荷セット材：正負荷を加えて、含水率 17% まで乾燥し、続く含水率 17～7% 区間はフリーで乾燥した。

(2) 逆負荷セット材：含水率 17% までフリーで乾燥し、続く 10～7% 区間は逆負荷を加えて乾燥した。

(3) 正逆負荷セット材：正負荷を加えると同時に乾燥を開始し、含水率 17% に達した時点で除荷した。除荷後 24 時間放置したのち、含水率 17～7% 区間では逆負荷を加えた。

なお、正と逆の曲げ荷重は等しく、ブナ材、ヒノキ材の順に、放射方向試片では 120 g, 80 g, 接線方向試片では 80 g, 50 g, 繊維方向試片では 1.0 kg, 0.8 kg とした。

2・4 吸湿時の復元の測定

恒温恒湿器内のスパン 10 cm の曲げ試験台に曲げセットを生じた試片を置いて、1 日あたり含水率が 2～3% 増加するように制御した。その間、含水率約 1.5% おきに、読み取り顕微鏡を用いて残留たわみを測定すると同時に、試片重量を測定した。

なお、試片が上に凸の曲がりを示す時、負のセット状態にある。

3 結果と考察

3・1 逆負荷の影響

Fig. 1 に、放射方向試片について、正負荷の下で乾燥して含水率 25, 20, 15, 10% 付近で除荷し、24 時間後に一方は同じく正負荷を加え（図の一点鎖線）、一方は試片を反転して、逆負荷を加えた場合（図の実

Fig. 1. Effect of the reverse bending-load on creep of wood during drying after the first normal bending-load was unloaded at the points denoted by the arrows.

Notes: A: continuous normal bending-load.
B, D, F, H: reverse bending-load.
C, E, G, I: normal bending-load applied again.

線)を比較して示した。この図では、所定含水率で除荷した 24 時間後を始点としてたわみを表すとともに、逆負荷によるクリープ曲線を反転して、正負荷および逆負荷によるクリープ曲線の始めの点をそろえて、容易に比較できるようにした。

また、参考として含水率 32% で正負荷を加えて 10% まで乾燥した場合のクリープ経過 (A) を示したが、これは直線で近似できる。なお、この曲線に沿って示した記号 ●, △, ▲ および □ はそれぞれのポイントで除荷したことを表し、除荷後には点線であつないだ同一記号の点まで回復したことを示す。

この直線的なクリープ経過 (A) と比較する時、いったん除荷した後に同じく正負荷を加えた場合（図の曲線 C, E, G および I）、負荷後に曲線の立ち上がり部分が生じるが、間もなく直線的なクリープ経過へと復帰することがわかる。すなわち、正負荷の場合、乾燥途中で除荷した影響は小さいと判断してよい。

これに対して、除荷後に逆負荷を加えた場合（図の B, D, F および H）、負荷直後の立ち上がり部分でのクリープ発生が大きく、同時に直線的なクリープ経

過への復帰がかなり遅れる。とくにこの傾向は、含水率 20% 付近で除荷した場合に顕著であった。

この結果から、次のことが考えられる。

乾燥途中で、負荷方向を逆にする時、すでに正負荷によって発生したセットの部分的な回復が生じたものと推定される。久田²⁾によると、発生したセットが完全に固定されるには、さらに今少しの含水率変化が必要である。おそらく、除荷直前の狭い含水率域で、最も新しく発生したセットがこれに寄与しているものと推定される。

したがって、正と負のセットは完全に独立でなく、負荷方向を変えた点を挟む、狭い含水率領域における相互作用を無視できない。

従来、水分非定常過程においては、クリープを含水率の関数として近似する考え方があるが、ある含水率状態にある木材のクリープ挙動は、その点に先行する含水率域での変形の履歴（負荷の大きさ）の影響をうけるものと考えられる。

このような逆負荷の影響を考慮する時、木材の人工乾燥過程において、応力逆転後にテンションセットが圧縮応力によって回復する可能性が指摘できよう。

3・2 曲げセット材の吸湿時の復元曲線

3・2・1 曲げセット材の吸湿時の復元曲線 Fig. 2 は、含水率 32~17% 区間は正負荷を、17~7% 区間では逆負荷を加えた場合（放射方向試片）のセットの発生経過（J）を示す。正負荷のもとではたわみが直線的に増加しているが、除荷後に加えた逆負荷によるたわみの変化はより曲線的で、これは 3・1 節で述べ

Fig. 2. The course of creep during drying (J) and that of restoration during adsorption (K) of bending-set wood in loading condition (3).

た逆負荷によるたわみの回復と通常的非定常のたわみ変形が加算された結果と考えられる。このように、正負荷に続いて逆負荷を重ねて加えた曲げセット材を含水率 7% で除荷して、十分長い時間おくと、軽度

に負のセットを生じて、試片は上に凸の状態となる。さて、ここから徐々に吸湿させると、すでに述べたように、図の K で示した経過をたどって、試片はいったん上に凹の状態に転じた後に次第に通直の状態に復元した。このように、正逆負荷セット材の吸湿時の復元は、単調でなく、あたかもセット発生順序の記憶をたどるように復元していく。

この場合、セット発生のだ筋 J と比較する時、復元経過 K はかなり鈍な曲線を描いており、その記憶の度合いは比較的鮮明ではない。この点において、逆負荷が記憶の度合いを薄めるように影響した可能性が残る。

同じく、接線方向および繊維方向試片について、正逆負荷セット材の吸湿時の復元経過を示すと Fig. 4 (b), (c) の○で示した曲線のとおりである。明らかに、放射方向試片の場合と同様の傾向が認められた。したがって、このセットの記憶現象はすべての構造方向に共通するものと結論できる。

3・2・2 吸湿時の復元曲線の重ね合わせ Fig. 3

Fig. 3. The resultant curve (Q) by the superposition of the restoration curves during adsorption (M and P) of bending-set wood dried under loading conditions (1) and (2).

Notes: L, N: Creep curves during drying in loading conditions (1) and (2), respectively.

Fig. 4. Comparison of the resultant curves with the observed restoration curves during adsorption of bending set wood dried under loading condition (1).

Legends: ○: Observed curves.
●: Resultant curves.

に、高含水率側（32～17% 区間）で正の負荷を加えて、17～7% 区間ではフリーで乾燥した正負荷セット材（曲線 L）および 32～17% 区間はフリーで、17～7% 区間は逆負荷を加えて乾燥した逆負荷セット材の乾燥過程のたわみの変化（曲線 N）を示した。

図から明らかなように、正負荷を除いた後のフリー乾燥によってかなりのたわみが回復していることがわかる。さて、最終的に 5% の正のセットを生じた状態から、吸湿させるとき、復元曲線 M のように、フ

リー乾燥の区間で復元傾向が弱く、負荷を加えた含水率区間で復元傾向が強く現れた。

一方、逆負荷曲げセット材の吸湿時の復元曲線 P は、低含水率側で復元が顕著で、高含水率側に向かってその傾向が弱くなった。これはすでに前報で述べた通りで、曲げセット材は乾燥過程で負荷を加えられた区間を記憶していて、吸湿に際して当該含水率区間で回復が最も顕著に起こるためである。

ここで、Fig. 3 の復元曲線 M と P に注目すると、復元が顕著に起こる含水率域が明らかにずれているので、この 2 本の復元曲線を重ねあわせると、Fig. 2 に見られた正逆負荷セット材の特有の復元経過に類似の曲線が合成される可能性がある。

これを検討するために、Fig. 3 の曲線 M と P を重ね合わせて、合成曲線を求めて、正逆負荷セット材の復元曲線と比較してみると、Fig. 4(a) のとおりである。同様に、接線および繊維方向試片についての比較も示してある。

明らかに、両曲線の復元経過はよく類似しており、1 本の試片に正負荷と逆負荷を重ねた曲げセット材の吸湿時の復元曲線は、それぞれ単独に正負荷のみおよび逆負荷のみを加えて乾燥した曲げセット材の 2 本の復元曲線が重なったものであると説明できる。

このように、吸湿時の復元曲線に基づいて判断するとき、1 本の試片で高含水率側で発生した正のセットと、それに重ねて発生した低含水率側の負のセットは、基本的に、互いに独立であると考えられる。

ただし、3・1 節の検討から明らかなように、正から負へセットが変わる部分で両者の相互作用が認められたので、両セットは完全に独立とはいえない。

今後の課題は、このセットの記憶現象がみかけなのか実体なのかを明らかにすることである。

参 考 文 献

- 1) 徳本守彦, 木材学会誌, **37**, 505 (1991).
- 2) 久田卓興, 木材学会誌, **26**, 233 (1980).