

プレストレス木床版の湿度変化特性に関する実験的研究

Laboratory Tests About the Behavior of Stress-Laminated Timber Deck Influenced by Humidity

○成田圭介*・米谷裕**・堀江保**

NARITA Keisuke, YONEYA Hiroshi, HORIE Yasushi

In this research, in case of using cedar lamina as Stress-Laminated Timber (SLT), the influence of SLT caused by the change of humidity was evaluated by measuring stress. The loss of stress stems from relaxation of the steel rod and creep of the lumber. The result of the test indicates that the value of moisture content influences the stress level: the reduction of humidity and release of moisture of timber decreases the stress level; whereas, the rise of humidity and absorption of moisture of timber give rise to increase of the stress level. It is confirmed that the condition on humidity and an early stage of the stress condition play an important role of performance of SLT.

Keywords: プレストレス木床版、含水率、湿度変動、応力度

Stress Laminated Timber, moisture content, humidity change, stress level

1. 緒言

木橋の問題点となる耐久性能は、架設地の環境要因にも左右されることが多い。影響要因は種々あるが、特に、湿度の変動による影響は重要視されている。

プレストレス木床版のプレストレスは、架設の後徐々に緩んでいくが、この変動は含水率の変化によっても影響を受ける。床版のプレストレスと含水率の関係を研究した例は諸外国にいくつもあり、含水率の大小によりプレストレスの減少傾向に大きな差が生じたことなどが報告されている。¹⁾

このため、周囲の環境の変化による影響を把握することは、長期間にわたる構造性能を解明する上で必要不可欠であり、耐久性向上の技術開発や、維持管理のために極めて重要である。

本研究では、プレストレス木床版の各種の湿度・応力条件のもとでの、クリープ挙動などの性状変化特性を明らかにすることを目的として、プレストレスの経時変動を測定する実験から検討を行った。

2. 実験概要

2. 1 試験体

本研究の対象となるプレストレス木床版の試験体を図2-1に示す。

床版を構成する部材は、長さ 200cm、幅約 2.5cm、高さ約 10.0cm の杉の板を 30枚敷き並べ、その両側に定着板に対する支圧強度を高めるために同サイズの松の板を配置し、図のような間隔で 4本の鋼棒を通した。この鋼棒の中央にはひずみゲージが 2枚対称的に貼り付けてあり、これにより鋼棒のプレストレスを測定する。そして鋼棒に取り付けたナットを締め付けることでプレストレスを発生させ、調節する。

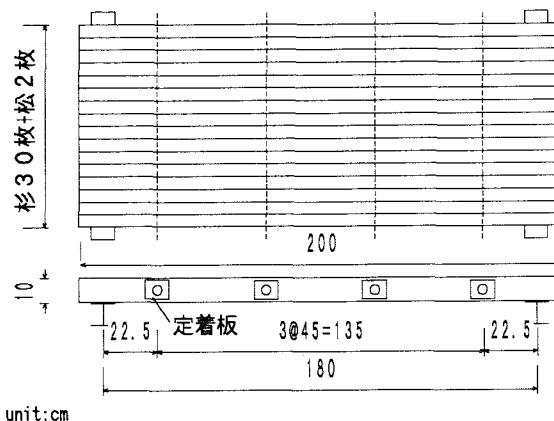


図 2-1 プレストレス木床版図

*秋田工業高等専門学校 専攻科 環境システム工学専攻 (〒011-8511 秋田市飯島文京町 1-1)

**秋田工業高等専門学校 環境都市工学科

(〒011-8511 秋田市飯島文京町 1-1)

2. 2 湿度条件

恒温恒湿室に与えた湿度条件は次の通りである。また、気温は全て 20°Cで一定とした。

- (1) 低湿度状態：湿度 30%で 30 日間一定とする
- (2) 高湿度状態：湿度 90%で 30 日間一定とする
- (3) 湿度上昇過程：湿度を 30~60~90%と 10 日ごとに上昇させる
- (4) 湿度減少過程：湿度を 90~60~30%と 10 日ごとに減少させる

2. 3 応力条件

床版に作用しているプレストレスの違いによる挙動を確認するため、本試験体に 2 種類のプレストレスを与えた。1 回目は鋼棒 1 本につき 2000kgf、2 回目は 3000kgf である。

一般的に、プレストレスは応力度で表現する。応力度は、鋼棒に与えているプレストレスを作成している面積で除して求められる。今回の場合はそれぞれ 4.0 kgf/cm^2 、 6.0 kgf/cm^2 である。

2. 4 含水率の測定

木材の含水率の変動とプレストレスの変動との関連性を確認するため、一部の測定において含水率を測定した。木材の含水率を知るためにには、木材の絶対乾燥状態の重量を知らねばならないが、大きな床版を乾燥させることは不可能である。そこで本研究においては、木材の電気抵抗を利用して含水率を測定する木材水分計を利用した。これを用いて床版表面の 15箇所の含水率を測り、その平均値を利用した。

2. 5 試験方法

実験では図 2-1 の試験体を恒温恒湿室に設置し、2.2 の湿度条件を与える。含水率の変動がなくなったところで 2.3 の応力条件のプレストレスを導入し、その後の一ヶ月間に渡りプレストレスの変動を定期的に測定した。プレストレス導入直後と、湿度を変化させた直後は細かく測定した。

3. 実験結果及び考察

3. 1 プレストレスからの比較

床版に作用している応力度の違いによる挙動を比較することを目的として、各種湿度条件別に、プレストレス導入時から 30 日間のプレストレスの変化率を示す。変化率とは、ある時間のプレストレスの、導入プレストレスに対する百分率である。プレストレスの損失は主に木材のクリープと鋼棒のリラクセーションによって生じる。さらには木材の含水率が平衡含水率（材料が放湿も吸湿もしない状態の含水率）以下の場合は、床版の膨張によりプレストレスは増加し、また、平衡含水率以上の場合は収縮によるプレストレスの損失がある。

(1) 低湿度状態

図 3-1 に湿度を 30 日間 30%で一定とした場合の結果を示す。また図 3-2 にプレストレスの大きいケースのプレストレスの変動と含水率の変動を併せて示す。

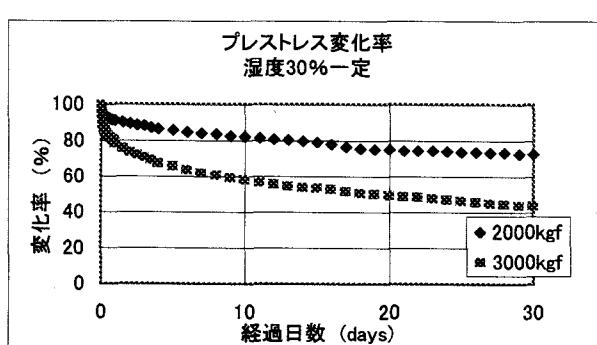


図 3-1 低湿度状態下的緊張力変動

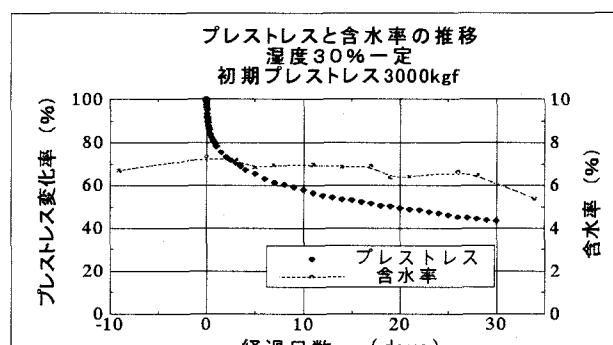


図 3-2 低湿度状態下的含水率変動

含水率の変動は微小で、プレストレスは 10 日以降からほぼ一様な下降をたどっている。一般に、

プレストレスの大きい場合は、その変動も大きい。この結果もそれを示しており、低湿度状態における両者の差はプレストレスの違いによって生じているといえる。

(2) 湿度上昇過程

次に湿度を10日毎に上昇させた場合の変化率を図3-3に、含水率の変動を図3-4に示した。

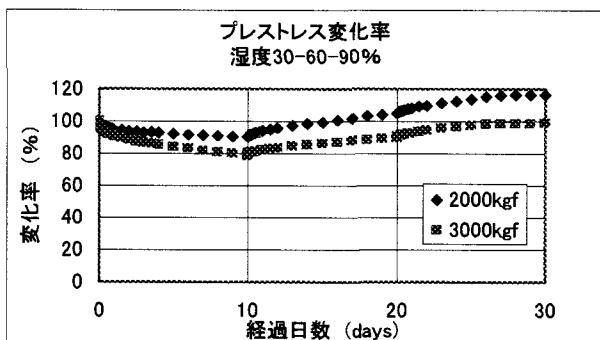


図3-3 湿度上昇過程の緊張力変動

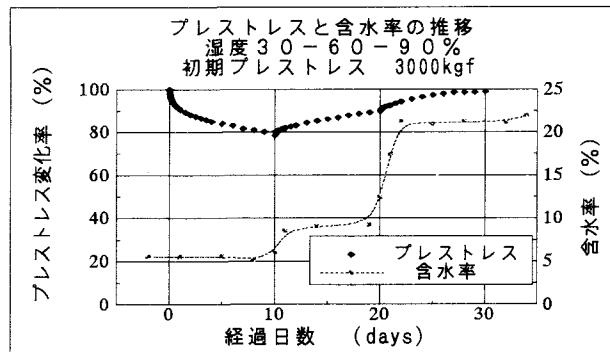


図3-4 湿度上昇過程の含水率変動

含水率の増加は材料の膨張につながり、床版のプレストレスの増加につながる。この場合、含水率の上昇中はプレストレスも増加し、含水率が一定になったところでプレストレスの増加も一樣になっている。プレストレスが小さい場合は、初めの10日間の損失は小さく、湿度上昇後、最終的には初期プレストレスを上回っている。このことから、床版に作用しているプレストレスが小さい場合は、湿度の上昇に伴う膨張が大きいといえる。すなわち、作用しているプレストレスと湿度環境条件によっては、予定以上の力で床版を締め付ける可能性もあることを示している。

(3) 高湿度状態

次に湿度を90%一定とした場合の結果を図3-5に示す。また、図3-6にプレストレス2000kgfとした時の含水率の変動を示した。

図3-5から、プレストレス導入直後からの損失は両者ともほぼ同じであるが、5日以降の傾向に、初期プレストレスの大小による違いが現れている。プレストレスの大きい場合は初期の損失の後、一定の力を維持しているが、小さい場合は緩やかに上昇している。図3-6を見ると、初期のプレストレスの急激な損失の後、含水率がやや上昇し、その後一定となっている。プレストレスが小さい場合では、このときに増加した水分で床版が膨張し、低下したプレストレスを回復させたと考えられる。また、プレストレスの大きい場合では、減少したとはいえた床版が膨張するほどの損失ではなかったものと考えられる。

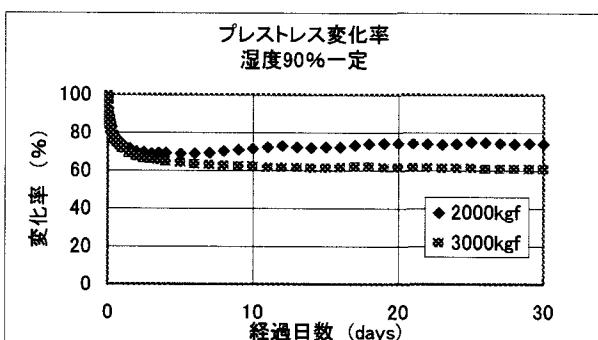


図3-5 高湿度状態下の緊張力変動

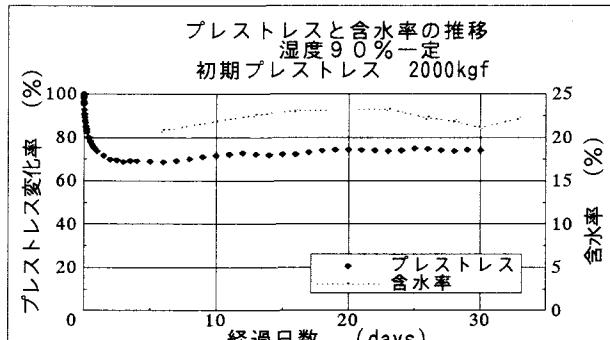


図3-6 高湿度状態下の含水率変動

(4) 湿度減少過程

図3-7は湿度が減少した場合の結果である。両者とも最後まで同様な減少をたどっており、導入プレストレスの違いによる影響はみられなかった。また、図3-8の含水率の変動を見ると、90%

から 60%に変化した時は、プレストレスと含水率の減少は大きいが、60%から 30%に変化した場合では、プレストレスの減少がほぼ一様となり、含水率の減少も小さい。含水率は低くなるほど変化しにくいと考えられる。この現象は、湿度が上昇する過程でも起きている。図 3-4 を見ると、湿度が 30%から 60%へ変化するときの含水率の変化量と、60%から 90%へ変化するときの変化量は異なっている。木材の含水率は低いほど変化しにくい傾向があると考えられる。

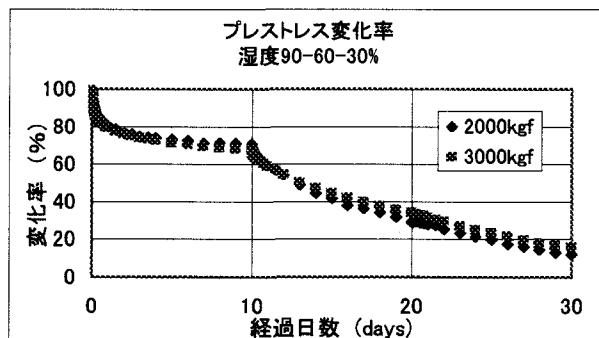


図 3-7 湿度減少過程の緊張力変動

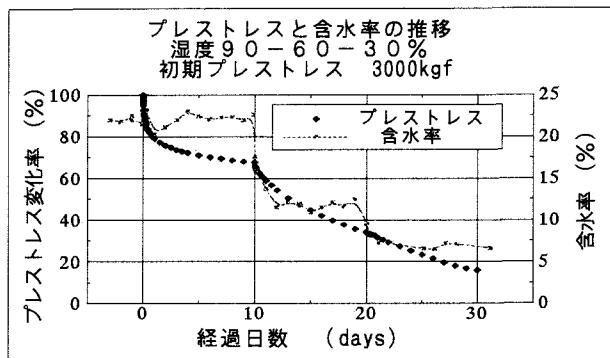


図 3-8 湿度減少過程の含水率変動

3.2 湿度からの比較

次に、プレストレス導入時の湿度の違いから比較する。図 3-9 に湿度 30% と 90% で 30 日間一定とした場合の結果を示した。湿度を 10 日ごとに上昇、または減少させた場合のプレストレス変化率を図 3-10 に示す。導入プレストレスは 3000kgf である。

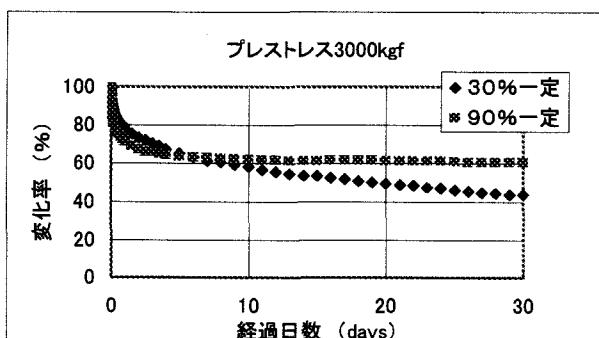


図 3-9 湿度の影響

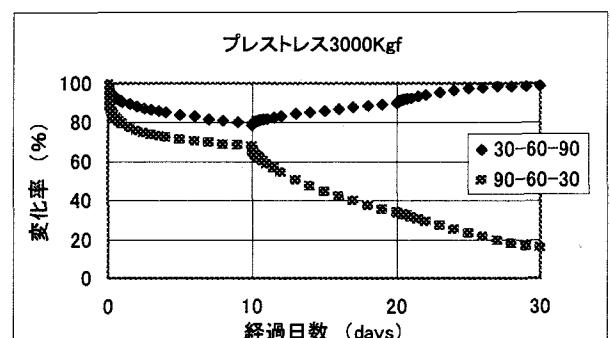


図 3-10 湿度変化の影響

一般に、木材の含水率が高いと力学的性能などは低下することから、湿度が高い場合はクリープによる損失が大きくなると予想された。しかし図 3-9 からは、逆に湿度が低い場合のプレストレスの損失が大きくなっているとわかる。

図 3-10 における、最初の 10 日間の傾向が前述の一般論と一致する。これらの違いの原因は現在検討中だが、湿度一定の環境下でも微妙に変動する含水率や、後述するプレストレス導入に要する時間などがクリープ挙動に影響を与えていていると考えられる。

湿度の減少によるプレストレスの減少量は湿度上昇によるプレストレスの増加量よりも多く²⁾、湿度変化後の最終的な差は約 80%に広がっている。これが、湿度の変動による影響といえる。

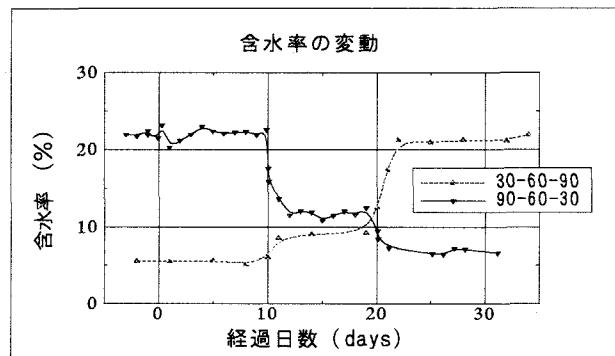


図 3-11 湿度変動過程の含水率変動

さらに、10日ごとに湿度を変化させているため、この図からは湿度を変化させてから10日以降の床版の挙動が明らかではない。プレストレスの増加にも限りがあり、ある程度時間が経てば減少に転ずると予想されるが、これについては今後確認する必要がある。これにクリープによる損失も加わり、湿度変動環境下では、プレストレス木床版に作用している応力は徐々に減少していくと考えられる。

また、木材の含水率は低いほど変化しにくい傾向があることは先に述べた。図3-11を見ると、ある湿度のときに吸湿も放湿もしなくなる含水率、平衡含水率に差がある。木材の平衡含水率は乾燥過程から達する場合と吸湿過程から達する場合では異なる性質があり、木材特有の水分挙動である。³⁾この性質が、木材の膨張と収縮の程度に影響を与えているといえる。

4. 初期クリープ

図4-1に、導入プレストレスを3000kgf、湿度を30%として測定を開始した2つの実験結果を比べてみる。最初の10日間は同じ条件であるが、10日目の差は20%に開いている。この原因はプレストレスの導入作業に要する時間にあると考えられた。木材のクリープ変形はプレストレス導入直後から始まるため、導入から測定開始までに時間がかかるとその分だけすでに損失が始まっている。また、目標とするプレストレス力への到達がすばやい場合には導入時の損失は少なく抑えられる。今回の実験では、プレストレス導入の際に時間を計っていたわけではなく、目標のプレストレス力にすばやく達した場合はよいが、そうでない場合は微調整を繰り返していた。

このため、計測開始までに時間がかかりクリープ変形が進み、同じ湿度とプレストレス条件の下でもこのような差が生じると考えられた。

この現象を確認することを目的として、プレストレス導入開始から測定開始までの時間を変え、初期のクリープを比較した。実験は、プレストレスの導入開始から5分、7分、10分、20分後のプレストレス力を初期値として計測を開始し、7日間測定した。導入プレストレスは2000kgfである。また、湿度は30%と90%で一定とした。湿度を30%とした測定の結果は図4-2、湿度を90%とした時の測定結果を図4-3に示した。

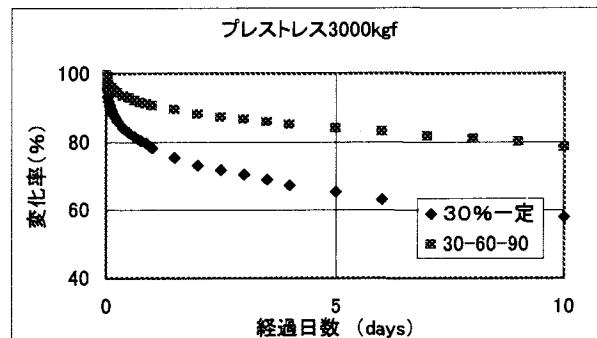


図4-1 同湿度・同応力からの緊張力変動

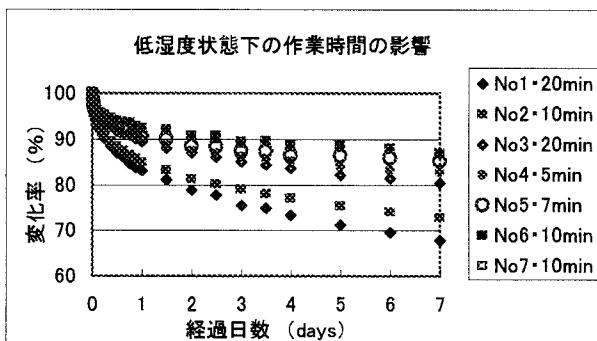


図4-2 低湿度状態下的作業時間の影響

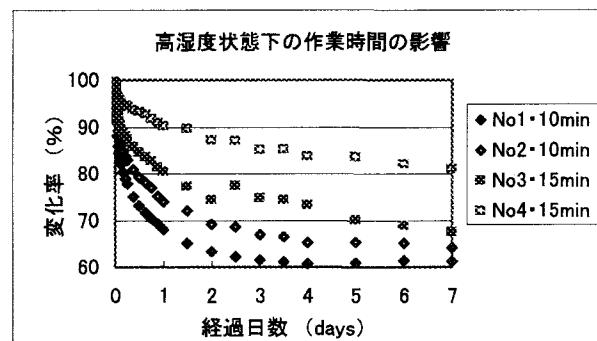


図4-3 高湿度状態下的作業時間の影響

作業時間同じにしても、7日後のプレストレスの値は異なることがわかる。また、実験回数を重ねるごとに損失量は小さくなっている。また、図4-3では導入開始から15分後を初期値として測定を開始したケースが2つあるが、2回目の測定は1回目の測定終了後30分後に作業を始めたものである。2回目の応力損失は1回目の損失より10%以上小さくなった。このことからも、

床版のクリープ損失のバラツキはプレストレスの導入に要する作業時間によるものではなく、実験を重ねたことによるラミナのクリープ変形の回復程度が影響を与えていると考えられる。

5. まとめ

プレストレス木床版のクリープ挙動、及び湿度の変動が与える影響を評価することを目的として、杉を用いた床版を恒温恒湿室に設置し、2種類の応力条件と各種の湿度条件を与えてプレストレスの変動を測定した。また、プレストレスの導入に要する時間が初期クリープ損失の程度に与える影響を評価することを目的として、プレストレスの導入開始から測定開始までの時間を数パターンとり、比較検討した。得られた知見をまとめると以下のようになる。

- (1) 床版の初期応力が大きいほどクリープによる損失も大きいことが確認されたが、高湿度状態の初期クリープについては、慎重に再確認する必要がある。
- (2) 鋼棒のプレストレスは床版の含水率および周囲の湿度の変動と高い相関があり、吸湿過程では増加の傾向にあり、乾燥過程では減少の傾向を示す。湿度上昇過程では、初期プレストレスの違いで、含水率の上昇によるプレストレスの増加に差が生じることが確認された。これにより、床版の初期応力と周囲の湿度環境条件によっては予定以上の力で床版を締め付ける可能性があることが示唆された。
- (3) 床版を締め付ける際の含水率が高いほど強度性能は低下するといわれている。応力の大小を問わず、含水率の高いほうが初期クリープによる損失の大きいことが確認されたが、初期の損失のあとで床版が膨張する傾向がみられた。
- (4) 木材の含水率について、乾燥過程からと放湿過程からでは平衡含水率が異なり、乾燥過程からのほうが若干高くなる。これが木材の収縮と膨張に影響を与え、プレストレスの変動に影響を与えていると考えられる。
- (5) 同じ湿度と応力条件下でも床版は異なった損失傾向を示すことが確認された。この現象については、実験を重ねることによるラミナの損傷が影響を与えていることが示唆された。今後はこのような実験の再現性について検討する必要がある。

以上のように、プレストレス木床版の基礎的性質と、その性能は周囲の湿度環境条件と初期応力条件が重要な要素であることが確認された。また、実際の供用下における挙動の評価や、木質構造物の主要部材である集成材の特性との比較検討なども重要な課題である。

このようなプレストレス木床版の挙動と湿度変動との関係を把握しておくことは、木橋の耐久性向上の技術開発や、維持管理においてきわめて重要であると考えられる。

参考文献

- 1) Ritter, M.A. : Timber Bridges-Design, Construction, Inspection, and Maintenance, Forest Service, USDA, Washington, D.C., 1990.
- 2) Michael G. Oliva : Stress-Laminated Wood bridge Decks Experimental and Analytical Evaluations, pp15, 1997 年
- 3) 秋田県木材加工推進機構：コンサイス木材百科, pp.120-123, 1998 年