

注入性改善処理による道産針葉樹材への薬液含浸(第1報)

- 材表層部の部分的な圧縮による注入性改善効果 -

長谷川 祐 本間 千晶 東 智則 重枝 哲夫

Improvement of Liquid Penetrability of Softwood (I)

- Effect on liquid penetrability using partial compression treatment -

Yuu HASEGAWA Sensho HONMA Tomonori AZUMA Tetsuo SHIGEEDA

To improve the penetrability of Japanese larch (*Larix leptolepis* Gordon) which is well-known to be difficult to penetrate with liquid chemicals, partial compression treatment was examined. When the partial compressed area acted as incisions, it was expected that liquid would penetrate into not only the compressed area but also the non-treatment area.

The results obtained were as follows:

- 1) In this study, the amount and area of penetration did not depend on the degree of compression curvature but on compression depth.
- 2) Liquid penetration associated with partial compression extended to longitudinally and radially beyond the original compressed area.
- 3) Liquid impregnation almost recovered the deformation caused by partial compression. From all appearances, transverse checking occurred in the partial compression treatment turned to be a few traces.
- 4) Although occurrence of the transverse checking decreased by the using of compression die which had more large radius of curvature, the modulus of rupture was not following. The reason for this seemed that the invisible damage due to partial compression were occurred.

Key words: softwood, partial compression, liquid penetrability, transverse checking, modulus of rupture

針葉樹材, 部分圧縮, 注入性, 横割れ, 曲げ強さ

難注入性の針葉樹材であるカラマツについて 材表面を部分的に圧縮し,そこを起点として必要な部分へ薬剤を浸潤させる方法を試みた。圧縮された部分がインサイジング処理における刺傷と同様に働くと,薬液は圧縮部分だけでなく,そこを起点として非圧縮部分へも浸潤することが期待される。結果は以下のとおり。

- 1) 注入量や浸潤面積は,本試験の条件下では圧縮金型の曲率には影響されず,圧縮した深さによって差が生じた。

- 2) 圧縮部分を起点とする材内への浸潤は、繊維方向だけでなく半径方向(深さ方向)にも広がった。これは材内への浸潤が横割れだけでなく、これまで報告されているような圧縮に伴う閉鎖壁孔の破壊や仮道管に生じる微細なひび割れによる効果が考えられた。
- 3) 圧縮時の変形は注入後ほぼ痕跡が残らない程度に回復した。圧縮に伴う横割れも外観上は目立たなくなった。
- 4) 圧縮によって、材が目視で確認できる横割れ以外にも強度低下を生じるような影響を受け、そうした部分が浸潤経路としても働いた可能性がある。

1. はじめに

木材に各種の薬液を含浸することで耐朽性や難燃性、寸法安定性など、木材に不足している性能を補い新たな機能を与えることは、高付加価値化・用途拡大を図る上で有効な手法である。この場合もっとも基本となるのが、処理薬液を効率よくかつ確実に木材内に行き渡らせるための薬液含浸技術である。

しかし、カラマツやトドマツなど道産針葉樹材の心材部は薬液の注入が著しく困難な、いわゆる難注入性の材であり、そのままでは減圧・加圧注入装置を用いても必要とする量の薬液を含浸できない場合がある。

これらの材の注入性が低くなる原因としては、辺材から心材に移行する際に、仮道管同士の連絡路である有縁壁孔が閉鎖することと、そこへ抽出成分などが固着して塗り固められることによって、いわゆる閉塞が生じるためと考えられている¹⁻⁴⁾。こうした原因を物理的⁵⁻⁸⁾、化学的⁹⁾あるいは生物学的¹⁰⁾などの方法によって取り除いたり緩和したりする試みは数多く報告されており、特に建築土台などの防腐処理については、材表面に人為的に刺傷を施すインサイジング処理が実用的な方法として行われている。インサイジング処理は必要な薬剤処理層を形成するのに有効な処理であるが、材表面に明瞭な刺傷^{りょう}痕^{あと}が残る、処理によって強度が低下するなどの理由から、使用する場所や用途に制約がある。

また新しい手法として、木材を平板あるいはロールプレスにより横圧縮し、その際の仮道管の変形によって壁孔を選択的に開裂させたり、仮道管自体に微小なクラックを発生させることで材の強度低下を抑えつつ注入性を改善する手法が報告されている^{1, 7, 11)}。この処理は、刺傷せずに注入性を改善する方法として期待されるが、処理面全体を圧縮するには大きなエネルギーコストがかかること、ロールプレスによ

る連続処理では加工していく際に端部が裂けるといった課題も指摘されており¹²⁾、これらを抑えるための取り組みが行われている。

本研究では、こうした既往の処理の利点と課題を踏まえ、インサイジング処理の実用性と圧縮処理の美観や強度を損なわない特長を活かした注入性改善処理として、刺傷の代わりに部分的な圧縮を施し、そこを起点として材内へ薬剤を浸潤させることを試みた。刺傷の代わりに部分的な圧縮を行うことで、材表面に傷痕を残すことなく、また圧縮に要するエネルギーコストを軽減できる可能性があり、処理装置の簡易化などのメリットも期待される。

本報告では、圧縮部分を起点としてどの程度液体が材内に注入しうるのか、カラマツ心材の小試験体を用い検討した。また、それに伴い強度がどの程度低下するかも併せて検討した。

2. 材料と方法

2.1 供試材

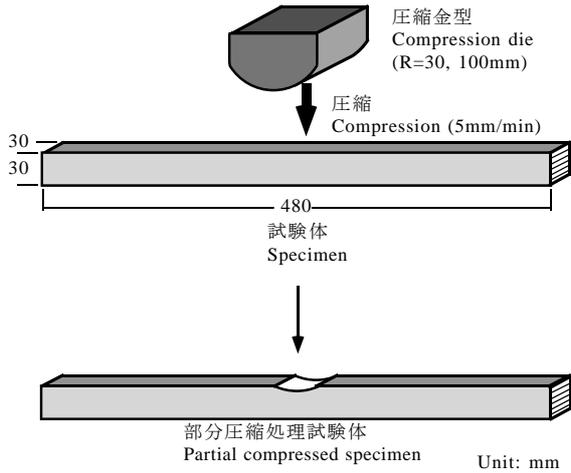
カラマツ (*Larix leptolepis* Gordon) を用い、すべて同一個体の心材部から調製した。試験体寸法は 30 (R) × 30 (T) × 480mm (L) の二方桁とした。含まれる年輪数に応じて、N (年輪数 7 ~ 8), M (同 5 ~ 6), W (同 3 ~ 4) に区分し、N と W は注入性試験、M は曲げ強度試験にそれぞれ供試した。いずれも 20 ・ R.H.60% で調湿後、試験に用いた。繰返し数は 4 本 / 条件とした。

2.2 試験方法

2.2.1 部分圧縮処理

材表層部の注入性改善方法として、半円筒形の鉄製金型により、材表層部を部分的に圧縮する方法を試みた。その概要を第 1 図に示す。

金型の曲率半径は、R=30, 100mm の 2 種類とし、これをオートグラフ (島津製作所製) に取り付け、速



第1図 部分圧縮処理の概要

Fig. 1. Outline of method for the partial compression treatment.

度5mm/分により圧縮した。圧縮する部分は試験片の板目面の木表側中央部一点とし、圧縮深さは2.5、5.0mmとした。なお、圧縮時に試験体に発生した横割れについて、その発生率（横割れ長の合計/試験体の横幅長）を算出した。ここでいう横割れとは、材表面の繊維方向に直交する方向（この試験体では接線方向）に発生し、目視によって確認できる割れを意味するものとする。

2.2.2 注入処理

(1) 注入条件

圧縮時に金型に密着した部分以外をすべてシリコンシーリング剤によりシールした後、注薬缶にて食用色素（赤色2号）の0.8%水溶液を注入した。比較として用いた非圧縮材についても、圧縮面積に相当する部分以外はすべてシールした。

注入は油回転真空ポンプによる減圧1時間、加圧(1.2Mpa)6時間とし、常圧に戻してからそのまま16時間常圧浸漬した。

(2) 注入性評価

注入処理した試験体について、注入量を測定後60℃で乾燥を行い、乾燥後の寸法を測定して圧縮部分の変形の回復率を求めた。その後、N・Wに区分した試験片については縦割りにして、その割断面を画像解析することで圧縮部分からの浸潤面積を算出した。浸潤面積は、圧縮部分を起点とした繊維方向への浸潤と半径（この場合深さ）方向への浸潤とに区分して評価を行った。具体的には、圧縮深さまでの

浸潤を繊維方向への浸潤とし、それ以降の深さの浸潤を半径方向への浸潤と見なした。加圧注入時に試験体の木ロシールの一部が破れ、そこから染料の浸潤する場合があったが、こうした浸潤は評価対象から除外した。

注入量および浸潤面積の各平均値の差は、FisherのLSD法により検定を行った。

2.2.3 曲げ強度試験

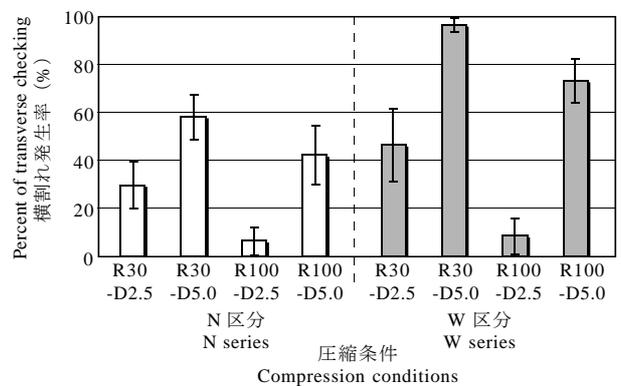
前述した条件で部分圧縮・注入処理を行ったM区分試験片について、曲げ強度試験を実施した。注入処理を行った試験片を60℃で乾燥し、20℃・R.H.60%で調湿後、オートグラフを用いてJIS Z 2101に準拠して2等分点1点荷重方式（スパン420mm、クロスヘッドスピード1mm/分）により行った。荷重点は圧縮部分とは反対側とした。

3. 結果と考察

3.1 圧縮部分に発生する横割れについて

部分圧縮の過程で、圧縮部分と非圧縮部分の境界付近において横割れが発生した。その発生率を第2図に示す。横割れの発生率は圧縮深さが深いほど高くなっており、また、年輪幅の広い材の方が高くなっている。圧縮時の曲率半径が大きくなると、発生は抑制された。

横割れは、その部分で木繊維や仮道管が寸断されるため、強度低下の原因になるとともに、刺傷によるインサイジングと同様に繊維方向への浸透性に大



第2図 部分圧縮による横割れ発生率

Fig. 2. Percent of transverse checking due to partial compression treatments.

R: 圧縮の曲率半径, D: 圧縮深さ
 注) 線は標準偏差を示す
 R: Radius of curvature, D: Compression depth
 Note) Error bars indicate the standard deviation.

大きく関与すると考えられる。今回の部分圧縮による横割れがどの程度の深さまで切れ込んでいるのか、注入処理後の材の断面を實體顕微鏡により観察した(第3図)。その結果、最大で深さ5mm程度の切れ込みが生じていることが観察された。

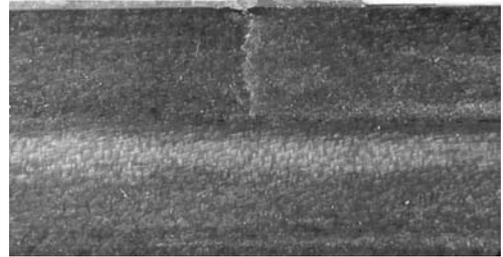
3.2 圧縮条件と注入量との関係

各圧縮条件による注入量の平均値を第4図に、それらの差の検定結果を第1表に示す。注入量は、単位体積あたりで表されるのが一般的であるが、今回の実験は試験体全体にどれだけ注入されたかではなく、一つの圧縮処理部分を起点としてどれだけ材内部に浸潤しうるかを把握することが目的である。そのため、ここでは単に注入前後の重量差を注入量とした。また、ここでの無処理材の値は、N・Wそれぞれでの非圧縮材の平均値を示す。

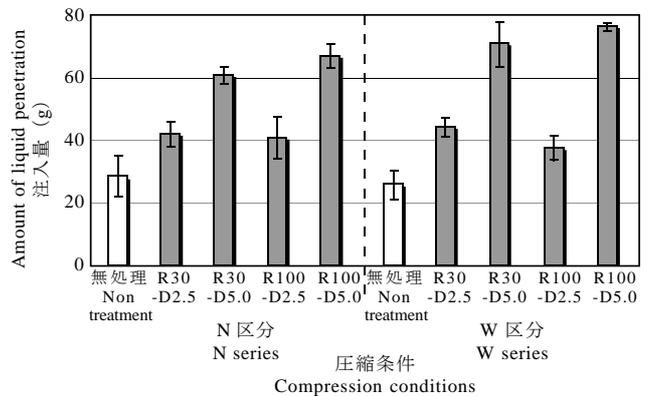
N区分の深さ2.5mmの圧縮では無処理材との有意差は認められなかったが、それ以外の条件では無処理材に比べて有意に注入量は増加した。前項では、注入性に影響すると考えられる横割れの発生率が圧縮金型の曲率を大きくすることで軽減されたが、これに対して注入量は今回用いた圧縮金型の曲率の範囲内では有意差は認められず、圧縮深さの違いによる有意差が認められた。

圧縮変形によって注入性を改善する試みについては、その処理条件や改善メカニズム等について詳細な報告がなされており、圧縮による壁孔の破壊や仮道管に生じた微細なひび割れによるものと推察されている^{1,7)}。本実験では圧縮による変形と同時に横割れも生じたため、どのような浸潤経路で材内へ注入したかを考慮する必要があるが、曲率の異なる金型での圧縮で注入量に差が生じなかったことは、圧縮された部分への注入だけでなく、むしろそこを起点とした周辺部分への注入が多かったことを示している。

刺傷によるインサイジングの場合、刺傷部を起点とした周辺部分への浸潤が、刺傷を施していない部位へ薬液を行き渡らせるために重要な役割を果たしている^{13,14)}。今回の部分的な圧縮においても圧縮部分を起点とした周辺部分への浸潤が観察されたことから、材全面を圧縮せずとも必要な部位へ薬液含浸しうる手法の開発につながる可能性がある。



第3図 横割れの材内部への切れ込み
Fig. 3. Radially split surface of transverse checking.



第4図 圧縮条件ごとの注入量
Fig. 4. Amounts of liquid penetrated by vacuum/pressure impregnation for partially compressed wood.

凡例) □: 無処理材, ■: 圧縮処理材, R, D: 第2図参照
注) 線は標準偏差を示す
Legend) □: Non treatment, ■: Compressed wood, R, D: See Fig.2
Note) Error bars indicate the standard deviation.

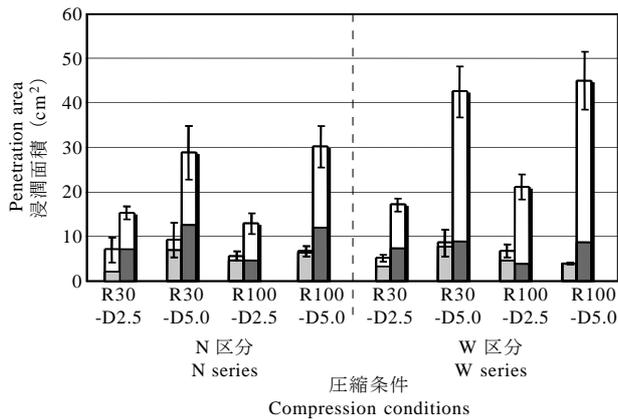
第1表 注入量の平均値の差の検定結果
Table 1. Multiple comparison of average values of compress conditions.

N series					
	無処理	R100-D2.5	R30-D2.5	R30-D5.0	R100-D5.0
Non treatment					
R100-D5.0	**	**	**	n.s.	—
R30-D5.0	**	*	*	—	—
R30-D2.5	n.s.	n.s.	—	—	—
R100-D2.5	n.s.	—	—	—	—
無処理	—	—	—	—	—
Non treatment					
W series					
	無処理	R100-D2.5	R30-D2.5	R30-D5.0	R100-D5.0
Non treatment					
R100-D5.0	**	**	**	n.s.	—
R30-D5.0	**	**	**	—	—
R30-D2.5	**	n.s.	—	—	—
R100-D2.5	*	—	—	—	—
無処理	—	—	—	—	—
Non treatment					

R, D: 第2図参照
注) FischerのLSD法による
R, D: See Fig.2
Note) Significant differences were determined with Fischer's LSD test.

3.3 圧縮条件と浸潤面積との関係

前項において、圧縮部分あるいは圧縮時に生じた横割れを起点として周辺部分へ浸潤していることが示唆された。そこで、材内にどのように浸潤しているか、その浸潤パターンを把握するために注入後の材を縦割りにして浸潤面積の算出を行い、圧縮部分から繊維方向に浸潤したものと深さ方向に浸潤したものとに区分した（第5図、第2表）。



第5図 圧縮条件ごとの浸潤面積

Fig. 5. Areas of liquid penetrated by vacuum/pressure impregnation for partial compressed wood.

凡例 ■: 無処理材 (繊維方向への浸潤), ■: 圧縮処理材 (繊維方向への浸潤), □: 深さ方向への浸潤
 R, D: 第2図参照
 注) 線は標準偏差を示す
 Legend ■: Non treatment (Permiate in longitudinal direction), ■: Compressed wood (Permiate in longitudinal direction), □: Permiate in radial direction, R, D: See Fig. 2
 Note) Error bars indicate the standard deviation.

第2表 浸潤面積の平均値の差の検定結果

Table 2. Multiple comparison of average values of compress conditions.

N series					
	無処理	R100-D2.5	R30-D2.5	R30-D5.0	R100-D5.0
Non treatment					
R100-D5.0	**	**	**	n.s.	—
R30-D5.0	**	**	*	—	—
R30-D2.5	n.s.	n.s.	—	—	—
R100-D2.5	n.s.	—	—	—	—
無処理	—	—	—	—	—
Non treatment					
W series					
	無処理	R100-D2.5	R30-D2.5	R30-D5.0	R100-D5.0
Non treatment					
R100-D5.0	**	**	**	n.s.	—
R30-D5.0	**	**	**	—	—
R30-D2.5	*	n.s.	—	—	—
R100-D2.5	**	—	—	—	—
無処理	—	—	—	—	—
Non treatment					

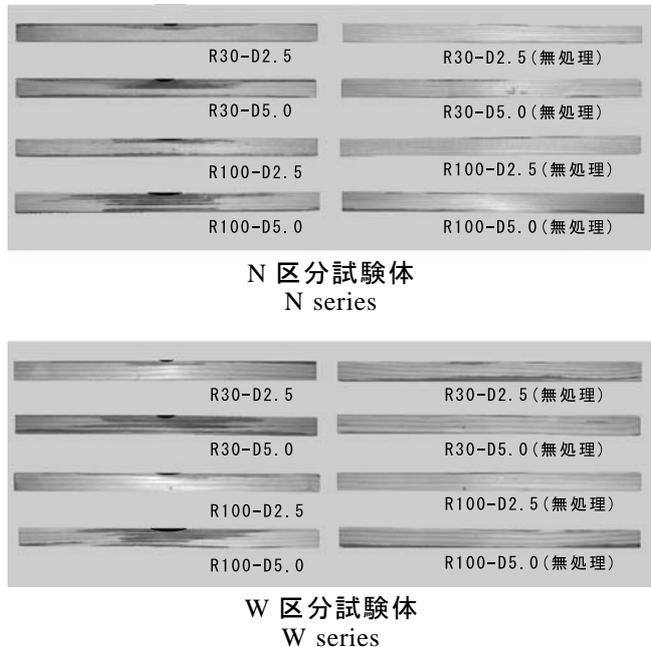
R, D: 第2図参照 **): p<0.01, *): p<0.05, n.s.): Not significant
 注) Fischer のLSD法による
 R, D: See Fig.2
 Note) Significant differences were determined with Fischer's LSD test.

浸潤面積も前項の注入量の場合と同様、N区分の深さ2.5mmの圧縮では無処理材との有意差は認められなかったが、それ以外の条件では無処理材（非圧縮材）に比べて有意に増加した。また、今回用いた圧縮金型の曲率の範囲内では有意差は認められず、圧縮深さの違いによる有意差が認められた。

材内への浸潤パターンは、繊維方向と深さ方向への浸潤が同等か、むしろやや深さ方向に多く浸潤した。この傾向は特に年輪幅が広い材（W）で大きく現れた。

実際に切断面の写真（第6図）によっても、こうした浸潤の様子は確認される。

無処理材では染料液はほとんど材内に浸潤していないが、部分圧縮した材では材中央部の圧縮部分を起点として、そこから繊維方向と深さ方向へそれぞれ浸潤している。特に深さ5mm圧縮した材では、晩材部を越えて深さ方向へ浸潤している。試験体の下部（木裏側）に一部浸潤が見られる試験体があるが、これは加圧時の圧力によりシールが破れた部分からの浸潤である。また、前述した横割れ部分での浸潤状況の観察においても（第3図）、染料液は横割れに



第6図 材内部への浸潤の様子

Fig. 6. Radially split surfaces of partially compressed wood after liquid impregnation.

注) 圧縮部分（黒色部分）の位置表示は目安
 Note) Black pattern area indicates approximate location of the original compressed area.

よる切れ込みよりもさらに深い領域に浸潤していることが確認できる。

木材では、一般に繊維方向の通導性が半径方向や接線方向に比較してはるかに高い。カラマツの心材も、難注入性ではあるが、それでも加圧注入の場合、圧力や材の寸法にもよるが木口面から数mm～数cm程度は浸潤する。また、今回の圧縮では材に横割れが発生しており、こうした横割れからも繊維方向へ浸潤していると考えられる。

今回の浸潤パターンで、浸潤が繊維方向だけでなく深さ方向へも生じていることが観察されたことは、今回の部分圧縮による材内への浸潤が横割れだけではなく、それ以外の圧縮による材組織の変化にも起因していることを示唆している。

繊維方向だけでなく晩材部を越えて深さ方向へもかなりの浸潤があった理由としては、材の圧縮時に上層で圧縮され密度を増した材が順次下層の材を圧縮していくなど、これまで報告されているような圧縮による壁孔の破壊や仮道管に生じる微細なひび割れが、実際に圧縮金型が到達した深さよりもさらに下層部まで生じた可能性がある。

圧縮による浸透改善効果については、平板プレスによる全面圧縮の場合には高圧縮時に顕著に生じることが報告されている¹⁵⁾。また、ロールプレスによる圧縮では、厚さ30mmのカラマツ心材部ラミナ材を圧縮した場合に圧縮率20%（変形量としては6mm）が最適であったとの報告もあり¹⁶⁾、ロールプレスによる剪断変形の効果も示唆されている。今回の部分圧縮による下層部への浸潤がどのような経路をとるかについては、さらに検討する必要がある。

3.4 圧縮部分の変形の回復について

液体注入後、60℃で乾燥した際の圧縮部分の回復率は初期寸法と比較して、いずれの圧縮条件でも99%以上となり、ほぼ痕跡が残らない程度まで回復した。圧縮に伴い発生した横割れについても、外観上はほとんど目立たなくなった。処理による寸法変化が小さいことは寸法の再調整といった手間を省くことができ、薬剤処理層の歩留まりも向上するなど、実用上有利な点と考えられる。

3.5 曲げ強度試験

部分圧縮を行い注入処理したM区分試験体につい

て、曲げ強度試験を行った。横割れ発生率を第3表に、曲げ強度試験の結果を第7図に示す。

横割れの発生は、前述したN・W区分試験体の結果と同様に圧縮深さが深いほど高くなっており、圧縮金型の曲率が大きくなると抑えられている。

一方、曲げ強度は無処理材に比べ、曲率30mmでは圧縮深さ2.5mmで約21%、5.0mmでは約45%、曲率100mmでは2.5mmで12%、5.0mmでは約44%と低下し、横割れの発生率に関わらず圧縮した深さによって強度値は低下した。横割れの発生がない条件（曲率半径100mmで深さ2.5mm圧縮した材）でも、無処理材と比べて有意に強度の低下が認められた。

先に述べた注入量や浸潤面積の観察においても、この結果と同様に曲率半径による差は見られずに圧縮した深さによる差が生じており、浸潤は横割れによる切れ込みよりもさらに深い領域へ達することが観察されている。

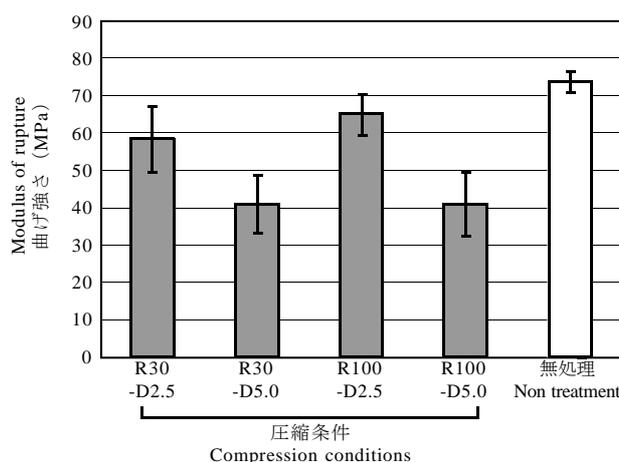
第3表 圧縮処理材の横割れ発生率 (%)

Table 3. Percent of transverse checking.

圧縮条件 Compression conditions	R30 -D2.5	R30 -D5.0	R100 -D2.5	R100 -D5.0	無処理 Non treatment
平均値 Ave.	56.9	97.8	0.0	61.6	0.0
標準偏差 S. D.	17.6	4.3	0.0	25.7	0.0

R, D: 第2図参照

R, D: See Fig. 2



第7図 圧縮処理材の横割れ発生率と曲げ強度

Fig. 7. Percent of transverse checking and results of bending test.

R, D: 第2図参照

注) 線は標準偏差を示す

R, D: See Fig. 2

Note) Error bars indicate the standard deviation.

これらの結果は、今回の部分的な圧縮によって材が目視で確認できる横割れ以外にも強度低下を生じるような影響を受け、そうした部分が深さ方向への浸潤経路としても働いている可能性を示している。

4. まとめ

今回、難注入性の材について、その美観性や強度をできるだけ損なわずに、効果的に薬剤を注入するための新しい注入性改善処理として、材表層部を部分的に圧縮する方法を試みた。その結果、以下の点が明らかとなった。

- 1) 部分圧縮の過程で、圧縮部分と非圧縮部分の境界付近において横割れが発生した。その発生率は圧縮深さが深いほど高くなり、圧縮時の曲率半径が大きくなると抑制された。また、年輪幅の広い材の方が発生率は高くなった。
- 2) 圧縮部分を起点とする材内への浸潤は、繊維方向だけでなく、晩材部を越えた半径方向(深さ方向)にも広がった。これは、材内への浸潤が横割れだけではなく、それ以外の圧縮による材組織の変化にも起因していることを示唆している。
- 3) 圧縮時の変形は、注入処理後いずれの圧縮条件でも99%以上の回復率となり、ほぼ痕跡が残らない程度まで回復した。圧縮に伴う横割れも外観上は目立たなくなった。
- 5) 曲げ強度は、注入量や浸潤面積と同様に、圧縮金型の曲率ではなく圧縮した深さに応じて低下した。このことから、目視で確認できる横割れ以外にも材が強度低下を生じるような影響を受け、そうした部分が浸潤経路としても働いた可能性がある。

今回の部分圧縮試験では圧縮部分だけでなく、そこを起点とした周辺部分(非圧縮部分)および材内部への浸潤が確認された。この浸潤を利用することで、材全体を圧縮しなくても部分的な圧縮によって材全体に薬剤の含浸が行われる可能性が示された。

その一方で、圧縮に伴う横割れの発生や強度低下が生じた。今後は、板材など比較的浅い圧縮深さでの処理に適した材料や、逆に圧縮部分が相対的に小

さくなるような大きな断面形状の材料など、処理材料の厚さによる部分圧縮の効果について検討を行う予定である。

文 献

- 1) 酒井温子：奈良県林試木材加工資料 第21号，31-33(1992)。
- 2) 酒井温子：木材保存 20(3)，22-28(1994)。
- 3) 小林好紀：奈良県林試研究報告 No.5，123-132(1974)。
- 4) 松村順司，堤壽一，小田一幸：木材学会誌 41，433-439(1995)。
- 5) Cech, M. Y., Goulet, M : *Forest Prod. J.* 18 (5), 90-91 (1968).
- 6) 佐藤真由美，西川介二，森満範，土居修一：第43回日本木材学会大会研究発表要旨集，岩手，1993 p.366。
- 7) 飯田生穂，高山知香子，宮川修，今村祐嗣：木材学会誌 38，233-240(1992)。
- 8) 金川靖，林和男，渋谷昌資，安島稔：木材工業 47，363(1992)。
- 9) Krahmer, R. L., W. A. Cote Jr., C. Skaar. : *Tappi* 46 (1), 42-49 (1963).
- 10) Bauch, J., W. Liese, H. Berndt. : *Holzforchung* 24 (6), 199-205 (1970).
- 11) 足立幸司，井上雅文，金山公三，川井秀一：木材学会誌 49，416-422(2003)。
- 12) 岩内俊隆，塩崎宏行，河瀬忠弘：第53回日本木材学会大会研究発表要旨集，福岡，2003 p.85。
- 13) 中村嘉明，西本孝一：木材学会誌 34，618-626(1988)。
- 14) C. T. Keith, G. Chauret : *Wood and Fiber Sci.* 20 (2), 197-208 (1988).
- 15) 飯田生穂，今村祐嗣，柏直樹，中村嘉明：木材保存 18，31-37(1992)。
- 16) (社)木材保存協会：「環境適合木材製品製造システム技術の開発」報告書，2000 pp.109-128。

- 利用部 化学加工科 -
(原稿受理：05.11.4)