

# 地域産材による高耐久性新素材の開発

—前処理としての寸法安定化処理の検討—

柴田直明・吉野安里

カラマツ材を屋外で使用する場合について、干割れ等を抑制するために、水溶性樹脂液による化学的な前処理を検討した。その結果、水溶性低分子量フェノール樹脂を用いれば、寸法安定性が大幅に高まり、かつ樹脂がほとんど溶脱しないことが確認された。また、材色の変化もわずかであった。従って、本樹脂による前処理は、十分に実用化が可能であると思われた。

キーワード：フェノール樹脂処理，寸法安定化，高耐久性，カラマツ

## 1 緒言

カラマツ等の木材を屋外で使用すると、木材保護塗料等が塗ってあっても干割れ等を発生しやすく、十分な耐久性を付与し得ない。

そこで、化学的な前処理として、カラマツ材に適した寸法安定化処理を検討することにした。

なお、カラマツ材を処理対象とするため、樹脂液としては比較的注入性のよい、水溶性のものが望まれた。また、屋外で使用することから、木材と何らかの反応をし、溶脱しないことも必要であった。

これらの条件を満たす樹脂としては、従来からフェノール樹脂が知られていた<sup>1)</sup>。特に、近年は無色に近い低分子量の樹脂が開発されたことから、あまり材色を変えることなく、高寸法安定性と耐腐朽性の付与が可能となり、改めて注目を集めていた<sup>2)</sup>。

この他、一般的にその有効性が報告されている樹脂としては、水溶性のアクリレート樹脂 (PEGMA 等)、イソシアネート樹脂等もあった<sup>3,4)</sup>。

そこで、これらの樹脂液を集めて、いくつかの予備試験を試みた。

まず、初年度には水溶性のイソシアネート樹脂 2 種とアクリレート樹脂 5 種について検討した。その結果、これらの樹脂を注入した試験片では、樹脂の重合・硬化処理直後にかなりのバルキング効果 (寸法安定性の付与に有効とされる膨潤効果) を示すものもあった。しかし、その後の吸放湿処理等では十分な寸法安定性を示さなかった。また、一部はかなり溶脱した<sup>5)</sup>。

次年度には、水溶性の低分子量フェノール樹脂 1 種とメラミン樹脂 1 種について検討した。その結果、水溶性低分子量フェノール樹脂については良好な結果を得た。

従って、最終的にはこの水溶性低分子量フェノール樹脂と水溶性メラミン樹脂について本試験を

実施し、それらの評価を試みた。

## 2 試験の方法

### 2.1 試験体の作製

人工乾燥済みのカラマツ正角から、一辺が 40 mm の 2 方柱材 (心材のみ) を 1 本作製した。次いで、繊維方向を 10 mm に鋸断し、40(T)×40(R)×10(L)mm の試験体 31 枚 (No.0~30) を得た。

ここで、T は接線方向 (板目方向)、R は半径方向 (柁目方向)、L は軸方向 (繊維方向) を示す。以下、本報では T 寸法、T 方向等と記す。

試験に当っては、31 枚の試験体の内、節の影響等で年輪に乱れのあるものを除外して、図-1 のように供試した。

### 2.2 樹脂液の調製

本試験では、表-1 に示した 2 種の樹脂液を用いた。これらの樹脂液は水で希釈し、試験時の処理液濃度 (不揮発分) をそれぞれ 10, 20, 30% とした。なお、LK-103 には硬化促進剤 (A-2) を不揮発分に対して 0.15% 添加した。

表-1 本試験に用いた水溶性の低分子量樹脂液

樹脂名	LK-82	LK-103
タイプ	UV <sup>9</sup> -M型フェノール樹脂	メラミン樹脂
外観	黄褐色液体	微黄色液体
粘度 (25℃)	20mPa·s (cP)	100mPa·s (cP)
不揮発分	48.2% (135℃)	66.1% (105℃)
比重 (25℃)	1.15	—
pH (25℃)	6.3	9.6
水混和性 (25℃)	10 倍	20 倍以上
数平均分子量	290	450

### 2.3 樹脂液の注入・加熱硬化と性能評価

予備試験の結果を踏まえ、図-1 のような方法で試験を実施した。以下、本報では「処理条件」を図-1 の上部に記したように略記する。

樹脂液および水を注入する際には、あらかじめ処理液に試験体を浸漬した状態で、0.003MPa 前後までの減圧処理を行った。また、処理液から取り出した試験体は、表面に付着した液を拭き取ってから重量を測定した。なお、これらの注入処理はすべて常温下で実施した。

処理時間は原則としてそれぞれの処理条件に到達してからの時間としたが、恒温器内での乾燥に限っては、昇温に要する時間（数～十数分）を含めた。

試験体の性能評価等に関する各種の計算方法は、表-2の上を示した。

なお、含水率用試験体4個から求めた含水率が最小11.7～平均11.9～最大12.2%であったため、鋸断直後の試験体の初期含水率はすべて11.9%として計算した。また、樹脂液注入直前における試験体の気乾密度は、最小0.537～平均0.543～最大0.548 g/cm<sup>3</sup>であった。

### 3 結果と考察

本試験では1条件当りの試験体数を3個としたが、同一処理条件下の試験体は、各処理においてほぼ同様の結果を示した。そこで、本報では各処理条件ごとに試験体3個の平均値を求め、その値で評価した。

まず、試験体の重量増加率(WPG)の変化を、図-2にまとめて示す。各処理段階には、図-1の測定No.①～⑳を添えて表示した(以下、同様)。

ここで、「cont.水注入」と「cont.無注入」の重量増加率が水の注入・全乾後あるいは溶脱処理後にマイナスになっているのは、アラビノガラクトン等の冷水・温水抽出物が溶出したためである。

また、これらの測定値をもとに樹脂成分の注入・残存量を算出すると表-2のようになった。

LK-82の場合は、WPG1と比較して、WPG3は多少減少した。ただし、上述の「cont.水注入」における冷水・温水抽出物の溶出率を用いて補正したWPG2'やWPG3'は、WPG1よりかなり大きな値となった。このことは、LK-82で処理すると、アラビノガラクトン等の冷水・温水抽出物の溶出も抑制されることを示している。また、若干であっても冷水・温水抽出物が溶出したであろうことを考慮に入れると、溶脱処理時におけるLK-82の溶出はごくわずかであったと思われる。

LK-103の場合は、WPG1と比較して、WPG2'およびWPG3'とも減少しているため、LK-103自体の溶

脱も確実にあったものと思われる。

次に、「㉑硬化・全乾後」の重量を基準とした含水率の変化と、それらの値をもとに算出した抗吸湿能(MEE)および抗吸水能(RWA)の値を表-3に示す。

本試験では「㉑硬化・全乾後」の調湿を12日間で打ち切ったため、完全な平衡状態にまでは達していないが、一応の傾向は読み取れると思われる。

「㉒溶脱・全乾後」の含水率がマイナスになっているのは、前述のとおり、冷水・温水抽出物の溶出と樹脂の溶脱の双方が関係していると思われる。

図-2の「㉑硬化・全乾」～「㉒調湿12日」の間を見ると、コントロールと比較して、LK-82では樹脂処理により吸湿量(WPGの増加幅)が若干減少していた。これに対し、LK-103では吸湿量の減少がほとんど認められなかった。しかし、樹脂を注入した分だけ全乾重量が増加しているため、抗吸湿能はともにプラスに現われた(表-3)。

また、いずれの樹脂処理の場合も、抗吸水能はかなり大きな値になった。

本試験におけるT・R方向の寸法変化を、図-3に示す。

また、「㉑硬化・全乾後」と「㉒溶脱・全乾後」のバルキング効果、および「㉑硬化・全乾後」～「㉒調湿12日後」間と「㉑硬化・全乾後」～「㉓注水・浸漬後」間における抗膨潤能(ASE)を表-4～6に示す。

LK-82およびLK-103とも、樹脂注入量が多いほどバルキング効果が高く、抗膨潤能の値も大きかった。特に、LK-82では高い性能が得られた。

なお、「㉒溶脱・全乾後」におけるR方向のバルキング効果では、樹脂注入量の多い方が小さな値になる傾向が認められた。この理由については不明である。

また、「cont.水注入」とLK-103の10、20%試験体の一部において、⑥⑦の40℃乾燥中に板目面から小さな割れが発生した(⑰～⑱でも同様の割れが一部に発生した)。従って、試験体の乾燥条件等についても、今後検討が必要なものと思われる。

最後に材色の変化について観察したところ、樹脂液注入時には水注入の場合と大差なかった。しかし、LK-82を注入した材では、「㉑硬化・全乾」工程において多少の暗褐色化が認められた。ただし、カラマツ材はもともと褐色系であるため、この変化は実用上問題にならないものと思われた。

試験片 No. 0, 12, 19, 30 : 103℃恒温器内全乾 (循環式) 25hr [鋸断直後の初期含水率の測定用]  
 [試験片 No. 1, 8, 9 は使用せず]

処理条件の略号

LK-82 10%	LK-82 20%	LK-82 30%	LK-103 10%	LK-103 20%	LK-103 30%	cont. 水注入	cont. 無注入
--------------	--------------	--------------	---------------	---------------	---------------	--------------	--------------

試験片 No.

2, 13, 22	3, 14, 23	4, 15, 24	5, 16, 25	6, 17, 26	7, 18, 27	10, 20, 28	11, 21, 29	測定 No.	
重量測定：鋸断直後 (全数)								①	
水溶性フェノール樹脂 LK-82 10%    20%    30%		水溶性メラミン樹脂 LK-103 10%    20%    30%			水		恒温恒湿 室内保管	②	
注入：減圧 (水封ポンプ) 0.25hr + 加圧 (1.0 MPa) 1hr + 常圧浸漬 1hr								③	
重量・寸法測定：減圧前, 浸漬後 (初回のみ 3 寸法, 以後 2 寸法)									
恒温恒湿室内風乾 (20℃, 65%) 40hr				重量測定：16hr, 40hr				④ ⑤	
40℃恒温器内乾燥 (完全送風式) 2.5hr				重量測定：1.5hr, 2.5hr				⑥ ⑦	
80℃恒温器内乾燥 (完全送風式) 1hr				重量測定：1hr				⑧	
130℃恒温器内乾燥 (完全送風式) 1hr									
150℃恒温器内乾燥 (完全送風式) 1hr									
170℃乾燥 (同上) 1hr									
103℃恒温器内全乾 (循環式) 18hr + α									
重量・寸法測定：シリカゲル入り密封小容器内で 1hr 冷却後								⑨	
恒温恒湿室内調湿 (20℃, 65%) 12 日						重量測定：2, 4, 7, 10, 12 日		⑩~⑭	
						寸法測定：12 日			
注水：減圧 (水封ポンプ) 0.5hr + 常圧浸漬 (20℃) 16hr						重量・寸法測定：浸漬後		⑮	
水中煮沸 (溶脱処理) 5hr									
恒温器内送風乾燥 (室温, 完全送風式) 22hr				重量測定：22hr				⑯	
30℃恒温器内乾燥 (完全送風式) 3hr				重量測定：1hr, 3hr				⑰ ⑱	
40℃恒温器内乾燥 (完全送風式) 2hr				重量測定：2hr				⑲	
103℃恒温器内全乾 (循環式) 16hr									
重量・寸法測定：シリカゲル入り密封小容器内で 1hr 冷却後								⑳	

図-1 試験の方法と測定 No. ①~⑳

本報における計算方法

推定初期全乾重量 (g) = 鋸断直後の初期重量 / 1.119

重量増加率 (WPG, %) = (各処理後の試験体重量 - 推定初期全乾重量) / 推定初期全乾重量 × 100

樹脂処理材の含水率 (%) = (各処理後の試験体重量 - ⑨硬化・全乾後の全乾重量) / ⑨硬化・全乾後の全乾重量 × 100

抗吸湿能 (MEE, %) = (cont. 無注入の平均吸湿率 - 各試験体の吸湿率) / cont. 無注入の平均吸湿率 × 100

ここで、各吸湿率は「⑨硬化・全乾後」の全乾重量基準。「⑨硬化・全乾後」～「⑭調湿 12 日後」の間で算出。

抗吸水能 (RWA, %) も MEE と同様。「⑭調湿 12 日後」～「⑮注水・浸漬後」の間で算出。

寸法増加率 (%) = (各処理後の寸法 - ②樹脂液注入直前の初期気乾寸法) / ②樹脂液注入直前の初期気乾寸法 × 100

「⑨硬化・全乾後」および「⑳溶脱・全乾後」のバルキング効果 (B, %)

= {各試験体の全乾寸法 (%表示) - cont. 無注入の平均全乾寸法 (%表示)} / cont. 無注入の平均全乾寸法 (%表示) × 100

ここで、各寸法は試験体作製時の寸法の差を除外するため、初期気乾寸法を 100 とする % 表示とした。

「⑨硬化・全乾後」寸法を基準とした抗膨潤能 (ASE, %)

= (cont. 無注入の平均膨潤率 - 各試験体の膨潤率) / cont. 無注入の平均膨潤率 × 100

表-2 種々の計算法による樹脂成分の注入・残存量 [WPG(%)として表示]

処理条件	樹脂液注入量×樹脂濃度		「⑨硬化・全乾後」の重量		「⑳溶脱・全乾後」の重量	
	から求めた樹脂注入量		から求めた樹脂注入量		から求めた樹脂残存量	
	WPG1 <sup>1)</sup>	WPG2	WPG2' <sup>2)</sup>	WPG3	WPG3' <sup>3)</sup>	
LK-82 10%	11.4	11.3	13.7	8.3	16.5	
LK-82 20%	24.5	25.1	27.5	21.8	30.0	
LK-82 30%	38.6	40.2	42.5	36.4	44.6	
LK-103 10%	11.9	8.4	10.7	3.4	11.6	
LK-103 20%	24.4	19.4	21.7	13.8	22.0	
LK-103 30%	36.4	30.4	32.7	23.5	31.7	
cont. 水注入	0.0	-2.3	0.0	-8.2	0.0	

1) WPG1 のみは、次式によった。

WPG1 = (③樹脂液注入後の重量 - ②樹脂液注入前の重量) × 樹脂濃度 (%表示) / 推定初期全乾重量

2) 「cont. 水注入」の冷水抽出量を考慮に入れた補正值。WPG2' = WPG2 + 2.3

3) 「cont. 水注入」の冷水・温水抽出量を考慮に入れた補正值。WPG3' = WPG3 + 8.2

表-3 「⑨硬化・全乾後」の調湿・注水・溶脱過程における含水率の変化と抗吸湿能・抗吸水能

処理条件	含水率 (%)					抗吸湿能 (%) 抗吸水能 (%)	
	⑩調湿 2 日	⑫同 7 日	⑭同 12 日	⑮注水浸漬	⑳溶脱全乾	⑨～⑭	⑭～⑮
LK-82 10%	5.4	6.5	6.9	73.4	-2.7	34.3	21.6
LK-82 20%	4.6	5.5	5.8	49.8	-2.7	44.4	48.2
LK-82 30%	3.9	4.9	5.3	38.5	-2.7	49.2	60.9
LK-103 10%	7.9	8.9	9.3	83.3	-4.6	10.8	12.9
LK-103 20%	6.9	7.9	8.3	57.2	-4.7	20.9	42.4
LK-103 30%	5.8	7.1	7.5	46.4	-5.2	28.7	54.2
cont. 水注入	9.7	10.1	10.6	107.5	-6.0	-0.7	-14.3 <sup>1)</sup>
cont. 無注入	9.2	10.0	10.5	95.3	-7.8	0.0	0.0

1) この値がマイナスになったことは、水の注入 (②～③) により、浸透性が改善されたことを示す<sup>6)</sup>。

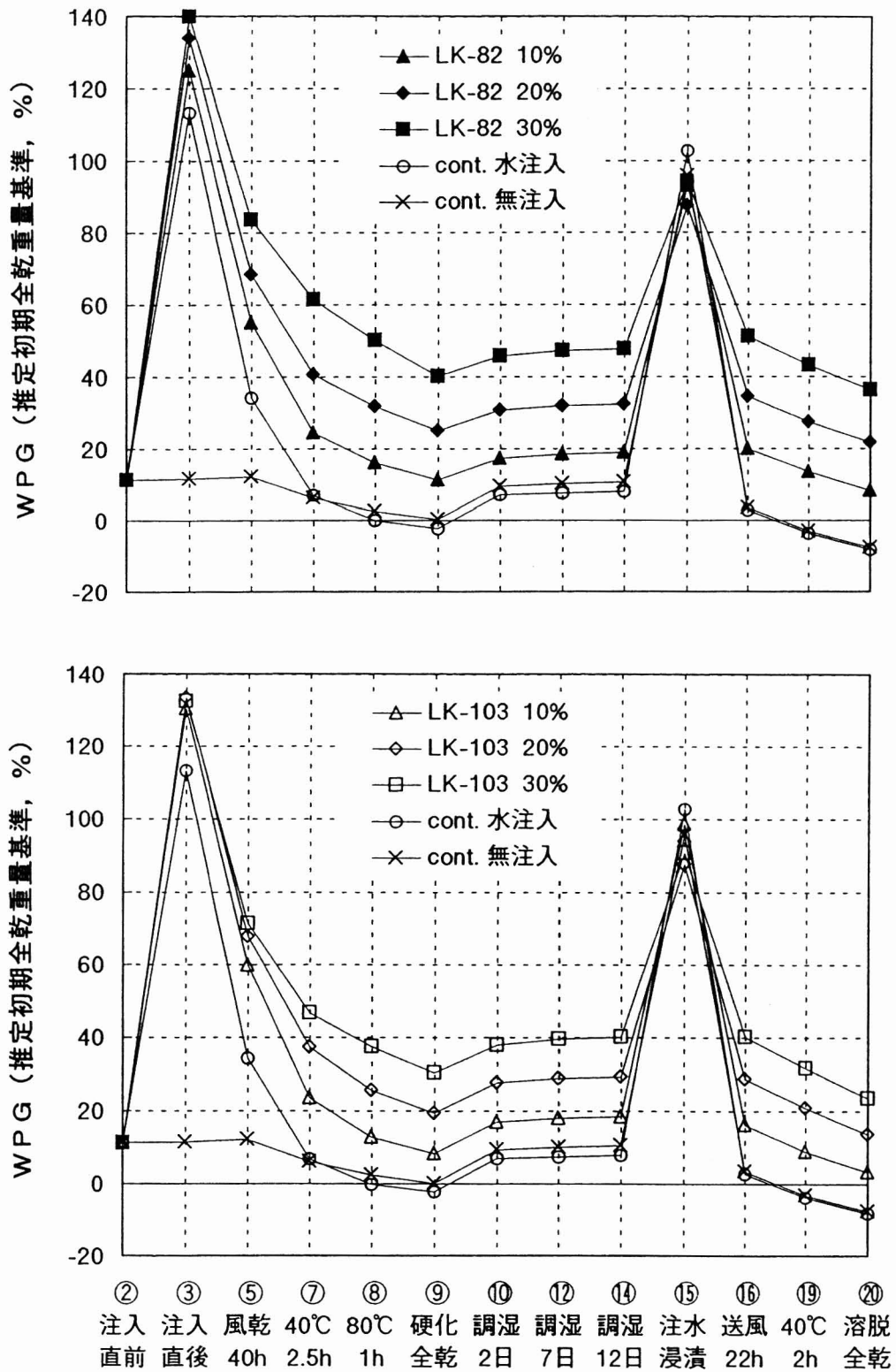


図-2 処理条件別の平均重量増加率 (WPG) の変化

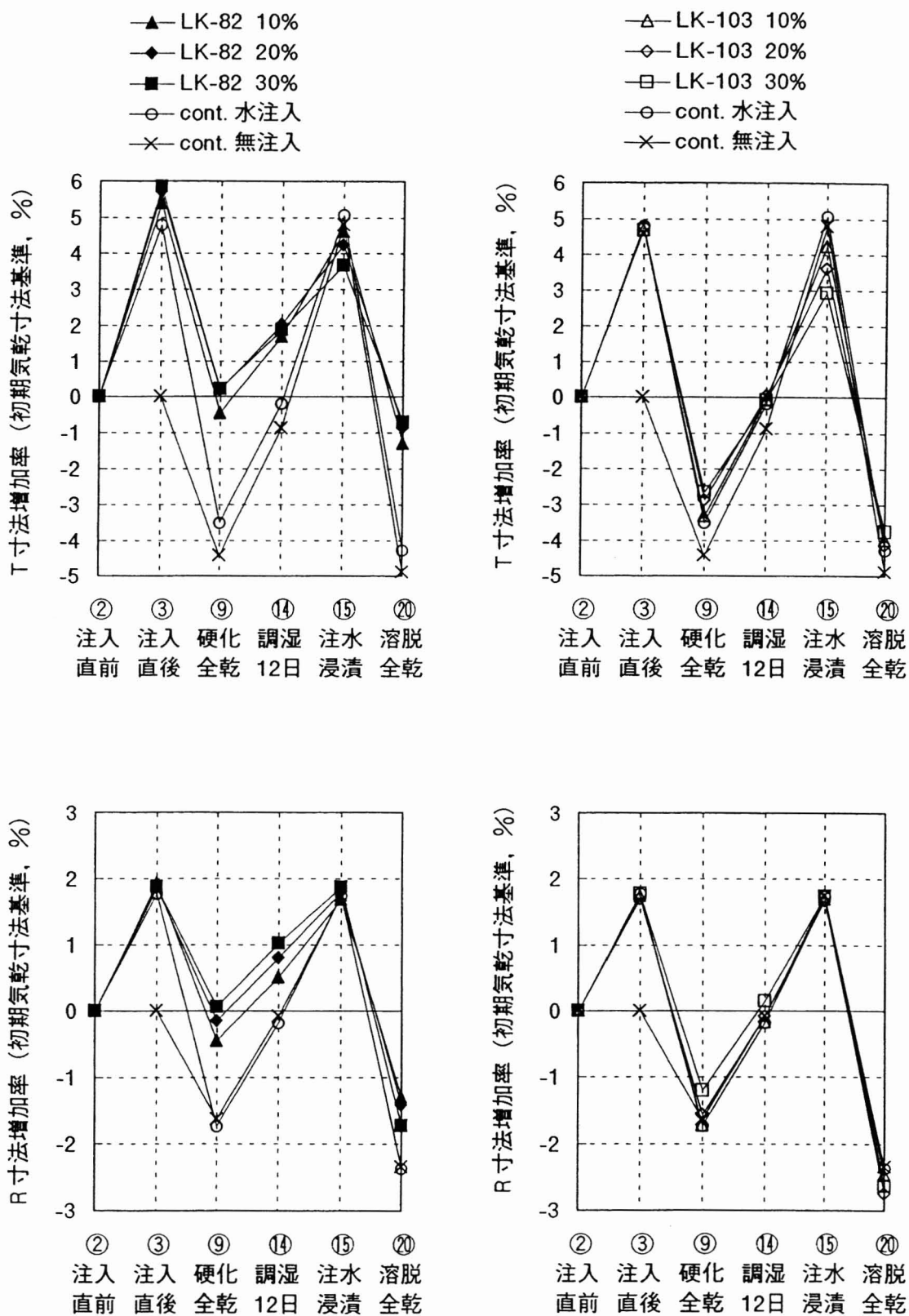


図-3 処理条件別のT・R寸法増加率の変化

表-4 試験体のT方向におけるバルキング効果および抗膨潤能

処理条件	バルキング効果 (%)		「⑨硬化・全乾後」の抗膨潤能 (%)	
	⑨硬化・全乾後	⑩溶脱・全乾後	⑨～⑭調湿 12 日後	⑨～⑮注水・浸漬後
	4.15	3.78	39.5	45.0
LK-82 20%	4.81	4.24	47.7	56.0
LK-82 30%	4.84	4.40	53.2	62.5
LK-103 10%	1.14	0.97	7.8	18.0
LK-103 20%	1.61	0.81	17.4	29.6
LK-103 30%	1.85	1.20	27.5	39.5
cont. 水注入	0.95	0.65	6.1	6.8

表-5 試験体のR方向におけるバルキング効果および抗膨潤能

処理条件	バルキング効果 (%)		「⑨硬化・全乾後」の抗膨潤能 (%)	
	⑨硬化・全乾後	⑩溶脱・全乾後	⑨～⑭調湿 12 日後	⑨～⑮注水・浸漬後
LK-82 10%	1.20	1.07	37.7	36.8
LK-82 20%	1.51	0.95	38.2	42.3
LK-82 30%	1.72	0.63	37.7	46.2
LK-103 10%	-0.09	-0.12	0.0	-1.4
LK-103 20%	0.07	-0.41	4.3	4.0
LK-103 30%	0.44	-0.29	12.9	12.8
cont. 水注入	-0.10	-0.02	0.0	-3.0

表-6 試験体のTR面積におけるバルキング効果および抗膨潤能

処理条件	バルキング効果 (%)		「⑨硬化・全乾後」の抗膨潤能 (%)	
	⑨硬化・全乾後	⑩溶脱・全乾後	⑨～⑭調湿 12 日後	⑨～⑮注水・浸漬後
LK-82 10%	5.40	4.90	37.9	42.3
LK-82 20%	6.39	5.22	43.7	51.7
LK-82 30%	6.64	5.06	47.3	57.6
LK-103 10%	1.05	0.85	5.2	12.8
LK-103 20%	1.68	0.40	13.1	22.7
LK-103 30%	2.29	0.90	22.6	32.2
cont. 水注入	0.84	0.64	4.1	4.1

#### 4 結言

本試験の結果、LK-82 のような水溶性低分子量フェノール樹脂で処理を行うと、寸法安定性が大幅に高まり、かつその処理薬剤がほとんど溶脱しないことが確認された。また、材色の変化もわずかであった。従って、本処理を前処理として実施すれば、木材を屋外で使用する場合にも、その耐久性を高められるものと思われた。

なお、フェノール樹脂以外についても、処理条件をさらに検討すれば、それらの性能をより発現

させ得た可能性は残る。機会を見て、再度検討してみたいと考えている。

#### 謝辞

本試験に用いた樹脂液の内、水溶性イソシアネート樹脂は第一工業製薬(株)から、水溶性の低分子量フェノール樹脂とメラミン樹脂はリグナイト(株)から、それぞれ提供していただいた。

ここに記して、感謝の意を表します。

## 引用文献

- 1) 後藤輝男(1983) フェノール樹脂処理. (木材利用の化学. 今村博之・岡本一・後藤輝男・安江保民・横田徳郎・善本知孝編, 422pp, 共立出版, 東京). 261-263
- 2) 今村祐嗣・梶田熙・樋口尚登(1998) 低分子量フェノール樹脂含浸処理による木材材質の改善 (1)中性およびアルカリ性樹脂の影響. 日本木材学会大会研究発表要旨集: 322
- 3) 後藤輝男(1983) イソシアネート処理. (木材利用の化学. 今村博之・岡本一・後藤輝男・安江保民・横田徳郎・善本知孝編, 422pp, 共立出版, 東京). 274-276
- 4) 往西弘次・坂本仁雄・中嶋力(1994) 透明塗装系処理による木材の耐候性能向上技術の開発. (木材性能向上技術研究成果集. 木材性能向上技術研究組合編, 400pp, 木材性能向上技術研究組合). 335-364
- 5) 柴田直明・吉野安里(1997) 地域産材による高耐久性新素材の開発 - 寸法安定化処理 -. 長野県林業総合センター業務報告: 75
- 6) 柴田直明(1993) 熱水処理によるカラマツ心材の浸透性改良. 日本木材学会 生物劣化研究会シンポジウム要旨集: 26-31