

奈良県産スギ材およびヒノキ材の寸法安定化技術の検討（第3報） —アジピン酸、コハク酸とアジピン酸塩による処理—

岩本頼子・矢杉瑠美*¹

アジピン酸(AA)およびコハク酸(SA)を、それぞれアジピン酸二アンモニウム(DA)と所定の割合により配合することで水に可溶化させ、奈良県産スギ材およびヒノキ材に加圧注入した。木口面試験体を用いて薬剤の組み合わせを検討したところ、AAはDAとの配合比を変えても、得られるバルキング率(B)、抗膨潤能(ASE)ともにあまり変化しないが、SAはDAに対する配合比を高めると、BおよびASEが向上することが明らかとなった。さらに、SAとDAを組み合わせた薬液により15mm厚さの板試験体に対する処理効果を検討した結果、特に低湿度下における寸法変化が低減することがわかった。このことから、SAとDAの混合は、床暖房設備のある床等、木材の寸法安定性が高く要求される用途へも利用可能な薬剤である可能性が示された。

1. はじめに

木材は、乾燥条件下では放湿し収縮する一方、高温条件下では吸湿し膨潤するという性質がある。このため、例えば無垢の板材を床暖房設備がある床に使用すると、冬季は暖房に伴い床材が乾燥し隙間や反りが発生する一方、夏季は多湿のため床材同士が突き上げて不陸になるなどのトラブルが生じるおそれがある。

これまでに、当センターでは木材への寸法安定性付与に関する研究を数多く実施してきた。その中で、ジカルボン酸を用いた研究も行われてきたが¹⁻⁵⁾、ジカルボン酸の1種であるアジピン酸は木材に高い寸法安定効果をもたらすものの⁴⁾、水に難溶であり、エタノール等を溶媒とする必要があるため、加圧注入処理には適さない等、実用化に課題が残っていた。前報⁶⁾では、アジピン酸の塩が水に溶けやすいことに着目し、その水溶液を溶媒にしてアジピン酸を溶解させ、木材中に含浸させることで、20°C59%RHの雰囲気下で高い寸法安定性が得られることを報告している。

そこで、本報では、アジピン酸塩を用いた処理の実用化に向けて、優れた寸法安定性が付与できる薬剤の組み合わせおよび配合比を検討し、県産スギ材およびヒノキ材における処理効果を検討したので報告する。

2. 材料と方法

2.1 材料

2.1.1 供試木材

薬剤の組み合わせの検討には、以下に示す(1)木口面試験体を、板材への処理効果の検討には(2)板試験体を使用した。

(1) 木口面試験体

気乾状態で放射方向(R)30mm×接線方向(T)30mmの大きさにプレナーで仕上げた、繊維方向(L)約1000mmのスギ辺材およびヒノキ辺材の二方桁の角材各6体を、繊維方向に連続して6mmの大きさに切断し、それぞれ100個以上の木口面試験体を作製した。処理条件ごとに、元の角材各6体からそれぞれ試験体を1個ずつ採り、合計各6個を使用した。全乾重量、寸法を測定した後、実験室内に平衡状態(含水率約11~12%)となるまで静置してから、注入処理に供した。

(2) 板試験体

気乾状態で放射方向(R)3.6mm、10mmおよび15mmの大きさにプレナーまたはモルダーで仕上げた、接線方向(T)約115mm×繊維方向(L)約1500mmのスギおよびヒノキの板目板材各6体を、繊維方向に連続して110mmの大きさに切断し、それぞれ12個の板試験体を作製した。処理条件ごとに、元の板材各6体からそれぞれ試験体を1個ずつ採り、合計各6個を使用した。両木口面をエポキシ樹脂で封じ、気乾(推定含水率約12~15%)状態のまま、注入処理に供した。

また、試験体作製時に、各試験体に隣接した位置で、繊維方向10mmの全乾測定用試片を併せて採取し、それらの試片の含水率を全乾法で求めることにより、処理に供する前の各試験体の含水率および全乾重量を推定した。同時に、それらの試片の乾燥前後の寸法を測定して、取

*1 奈良県 水循環・森林・景観環境部 奈良の木ブランド課

縮率を求めることにより、各試験体の無処理時の全乾寸法を推定した。

試験に用いたスギ材は概ね辺材であったが、ヒノキ材には部分的に心材が含まれていた。

2.1.2 処理薬液

薬剤の組み合わせの検討には、水への溶解度が低いアジピン酸(以下 AA と略す)およびコハク酸(以下 SA と略す)を、それぞれアジピン酸二アンモニウム(以下 DA と略す)と所定の割合により配合することで、それらを水に可溶化させて使用した。表 1 に、各薬剤の示性式、分子量および水に対する溶解度を示す。AA と DA の組み合わせについては、処理濃度を配合した薬剤の合計として、0.4、0.8、1.4、1.8mol/L を設定し、各配合比において溶解可能な濃度まで調整した(表 2 ①)。SA と DA の組み合わせについては、AA との比較のため、配合した薬剤の合計として 0.4、0.8、1.4mol/L を設定した。また、SA:DA=1:0 については、SA が単独で容易に溶解する 0.6 mol/L までとした(表 2 ②)。なお、表 2 ①AA:DA=0:1 と表 2 ②SA:DA=0:1 は、DA 単独で使用した同一の条件であるが、比較のため再掲した。

板材への処理には、薬剤の組み合わせの検討結果をふまえ、表 3 に示す SA と DA を用いて調整した薬液を使用した。

いずれの薬剤も、富士フィルム和光純薬(株)製の試験研究用を使用した。

2.2 方法

2.2.1 注入処理

試験体の処理前重量および寸法を測定した後、薬液に試験体を沈め、加減圧注入缶を用いて、-0.07~-0.10MPa の減圧下で 1 時間、続いて 1.0~1.2MPa の加圧下で 2 時間、さらに常圧に戻した後、薬液中に一晩静置した。その後、薬液中から試験体を取り出し、注入後の重量および寸法を測定した後、室内で 7 日間風乾した。続いて、送風乾燥機を用い、木口面試験体では 40°C で 24 時間、70°C で 6 時間、105°C で 36 時間以上乾燥後、板試験体では、40°C で 24 時間、70°C で 6 時間、105°C で 72 時間以上乾燥後、重量と寸法を測定した。

試験体ごとに、注入前後の重量および注入前の気乾寸法から注入量を、処理前後の全乾重量および寸法から重量増加率(以下 WPG と略す)およびバルキング率(以下 B と略す)を算出し、さらに同一条件で処理した 6 試験体の平均値を求めた。なお、木口面試験体の B は木口面積を用いて、板試験体の B は木口面積ならびに T 方向の寸法(以下 $l_{(T)}$ と略す)を用いて算出した。以降、本報では前者を B_A 、後者を B_T とする。

表 1 薬剤の分子量と溶解度

略号	薬 剤	分子量	溶解度 g/100gH ₂ O
AA	アジピン酸 HOOC(CH ₂) ₄ COOH	146	2.2 (20°C)
SA	コハク酸 HOOC(CH ₂) ₂ COOH	118	6.8 (20°C)
DA	アジピン酸二アンモニウム NH ₄ OOC(CH ₂) ₄ COONH ₄	180	水に易溶

表 2 薬剤の配合比と濃度(薬剤の組み合わせ検討)

①AAとDA					
配合比 AA:DA	濃度 mol/L	AA		DA	
		mol/L	(g/100ml)	mol/L	(g/100ml)
0:1	0.4	-	-	0.4	(7.2)
	0.8	-	-	0.8	(14.4)
	1.4	-	-	1.4	(25.2)
	1.8	-	-	1.8	(32.4)
1:2	0.4	0.13	(1.9)	0.27	(4.9)
	0.8	0.26	(3.8)	0.54	(9.7)
	1.4	0.47	(6.9)	0.93	(16.7)
	1.8	0.6	(8.8)	1.2	(21.6)
3:4	0.4	0.17	(2.5)	0.23	(4.1)
	0.8	0.34	(5.0)	0.46	(8.3)
	1.4	0.6	(8.8)	0.8	(14.4)
1:1	0.4	0.2	(2.9)	0.2	(3.6)
	0.8	0.4	(5.8)	0.4	(7.2)
4:3	0.4	0.23	(3.4)	0.17	(3.1)
②SAとDA					
配合比 SA:DA	濃度 mol/L	SA		DA	
		mol/L	(g/100ml)	mol/L	(g/100ml)
0:1	0.4	-	-	0.4	(7.2)
	0.8	-	-	0.8	(14.4)
	1.4	-	-	1.4	(25.2)
	1.8	-	-	1.8	(32.4)
1:2	0.4	0.13	(1.5)	0.27	(4.9)
	0.8	0.26	(3.1)	0.54	(9.7)
	1.4	0.47	(5.5)	0.93	(16.7)
1:1	0.4	0.2	(2.4)	0.2	(3.6)
	0.8	0.4	(4.7)	0.4	(7.2)
	1.4	0.7	(8.3)	0.7	(12.6)
2:1	0.4	0.27	(3.2)	0.13	(2.3)
	0.8	0.54	(6.4)	0.26	(4.7)
	1.4	0.93	(11.0)	0.47	(8.5)
1:0	0.4	0.4	(4.7)	-	-
	0.6	0.6	(7.1)	-	-

表3 薬剤の配合比と濃度（板材への処理効果検討）

配合比 SA:DA	濃度 mol/L	SA		DA	
		mol/L	(g/100ml)	mol/L	(g/100ml)
0:1	0.8	-	-	0.80	14.4
	0.4	0.2	(2.4)	0.2	(3.6)
1:1	0.8	0.4	(4.7)	0.4	(7.2)
	1.2	0.6	(7.1)	0.6	(10.8)
2:1	0.4	0.27	(3.2)	0.13	(2.3)
	0.8	0.54	(6.4)	0.26	(4.7)
3:1	1.2	0.8	(9.4)	0.4	(7.2)
	0.8	0.6	(7.1)	0.2	(3.6)

2.2.2 寸法安定性の評価

木口面試験体については、処理試験体および無処理試験体を 20°C59%RH および 20°C92%RH の条件下で順次調湿し、式(1)により各湿度条件下での平衡状態における吸湿時の抗膨潤能 (ASE_m) を求めた後、水を加圧注入して吸水させ、式(2)により吸水時の抗膨潤能 (ASE_w) を求めた。引き続き、吸水、乾燥操作をさらに 2 回繰り返して、寸法安定化効果の持続性を評価した。

$$ASE_m = \frac{S_m^c - S_m^t}{S_m^c} \times 100 \quad \dots (1)$$

S_m^c : 無処理試験体の吸湿による木口面積膨潤率 (%)

S_m^t : 処理試験体の吸湿による木口面積膨潤率 (%)

$$ASE_w = \frac{S_w^c - S_w^t}{S_w^c} \times 100 \quad \dots (2)$$

S_w^c : 無処理試験体の吸水による木口面積膨潤率 (%)

S_w^t : 処理試験体の吸水による木口面積膨潤率 (%)

板試験体については、3 種類の厚さの処理試験体および無処理試験体を、20°C59%RH および 20°C92%RH の条件下で、重量と寸法を 7 日間ごとに測定しながら、順次 28 日間ずつ調湿した。各測定値を用いて、式(3)により処理前の全乾重量を基準とした換算吸湿率（以下 M_R と略す）を求めるとともに、式(4)により換算抗吸湿能 (MEE_R)、ならびに式(5)により T 方向の抗膨潤能（以下 $ASE_{m(T)}$ と略す）を算出し、吸湿によるそれらの値の変化を調べた。

いずれの値も試験体ごとに算出した後に、同一条件下で処理した 6 試験体の平均値を求め、各条件の値とした。

$$M_R = \frac{W_2 - W_1}{W_0} \times 100 \quad \dots (3)$$

W_0 : 処理前の試験体の全乾推定重量 (g)

W_1 : 処理後の試験体の全乾重量 (g)

W_2 : 吸湿後の試験体の重量 (g)

$$MEE_R = \frac{M^c - M_R^t}{M^c} \times 100 \quad \dots (4)$$

M^c : 無処理試験体の吸湿率 (%)

M_R^t : 処理試験体の換算吸湿率(%)

$$ASE_{m(T)} = \frac{S_{m(T)}^c - S_{m(T)}^t}{S_{m(T)}^c} \times 100 \quad \dots (5)$$

$S_{m(T)}^c$: 無処理試験体の吸湿による $l(T)$ 膨潤率 (%)

$S_{m(T)}^t$: 処理試験体の吸湿による $l(T)$ 膨潤率 (%)

3. 結果と考察

スギ、ヒノキについて試験を行ったが、いずれの試験においても類似する結果が得られたことから、本報では代表してスギの結果について説明する。

3.1 薬剤の組み合わせ

各薬剤の組み合わせについて、木口面試験体に加圧注入した場合の結果を示す（図 1、図 2）。図 1 に示すとおり、AA は、DA との配合比を変化させても WPG あたりの B_A は変わらなかった。また、低濃度 (0.4mol/L) で処理した場合、AA の割合が高いほど 20°C59%RH 条件下での ASE_m が高まる傾向が見られたものの、その他の条件では、配合比を変化させても ASE_m 、 ASE_w は変わらなかった。一方、図 2 に示すとおり、SA と DA の組み合わせでは、SA の割合を高めることにより B_A 、 ASE_w が増加した。また、20°C59%RH および 20°C92%RH の条件下における ASE_m においても、 ASE_w ほど顕著ではないものの、同様の傾向がみられた。薬剤の組み合わせによって、このような差が生じたのは、SA は AA より分子量が小さいことから、細胞壁中への浸透が容易であるためと考えられる。SA 単独で溶解可能な範囲 (0.6mol/L) で処理した場合 (SA:DA=1:0 (×)) には、20°C59%RH 条件下における ASE_m が最大でも 36.9%であるのに対して、DA と組み合わせることにより、例えば SA:DA=1:1 (■) 0.8mol/L (SA0.4mol/L+DA0.4 mol/L) による処

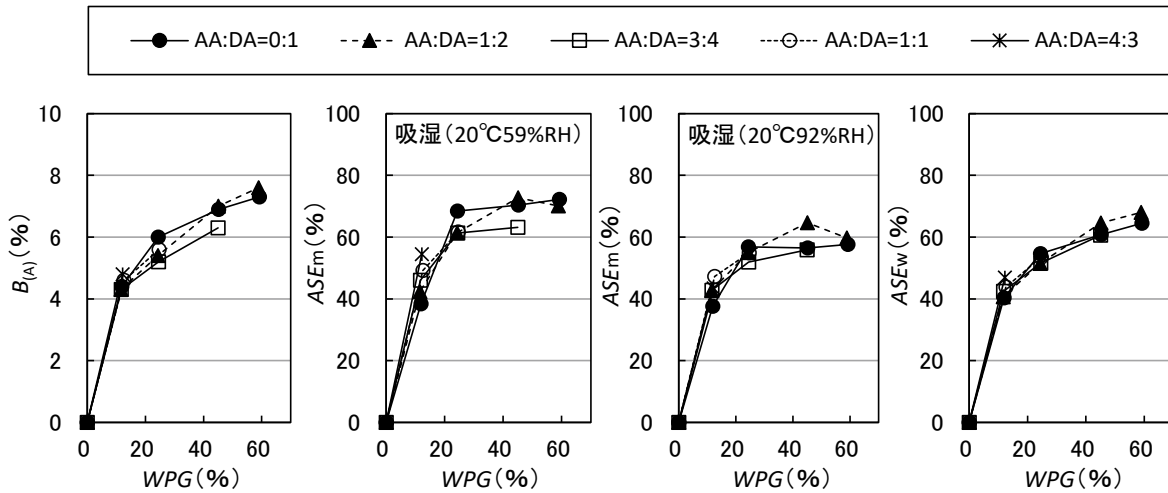


図1 AA と DA を配合した場合の WPG と $B_{(A)}$ および ASE の関係

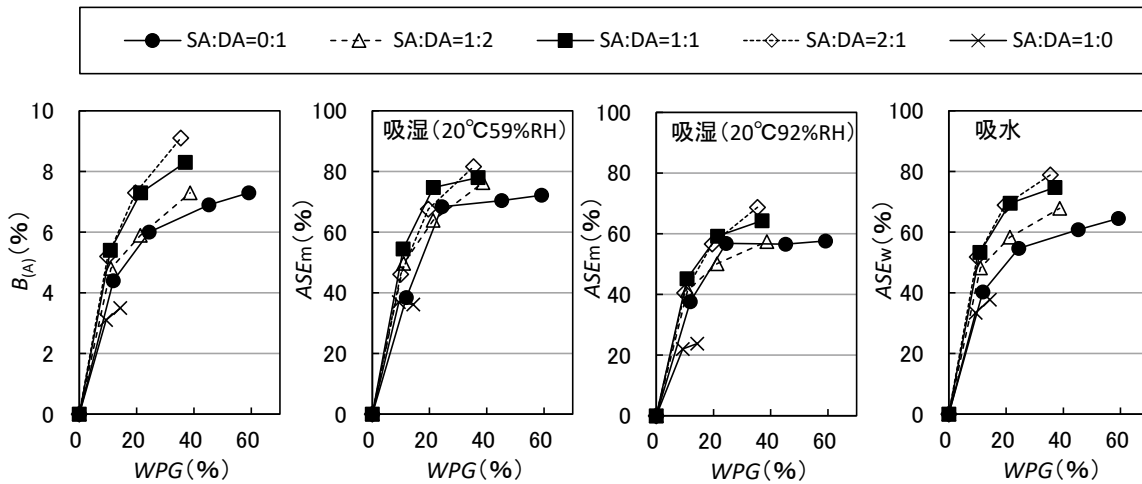


図2 SA と DA を配合した場合の WPG と $B_{(A)}$ および ASE の関係

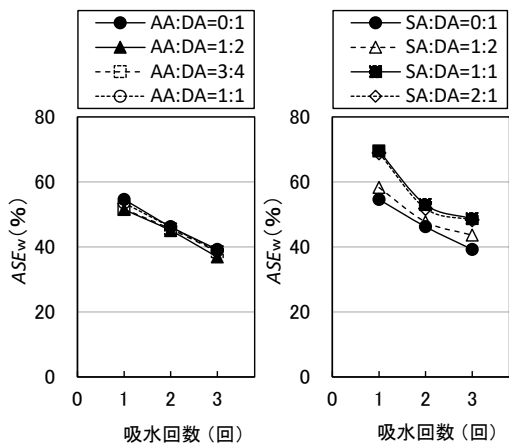


図3 吸水乾燥繰り返しによる ASE_w の変化
薬剤濃度 : 0.8mol/L (配合した薬剤の合計)

理で ASE_m が 74.7%、20°C92%RH 条件下においても 59.2%となり、高い寸法安定性が得られた。

図3に処理濃度 0.8 mol/L で処理した場合について、吸水乾燥を3回繰り返した際の ASE_w の変化を示す。AA と DA の組み合わせでは、配合比にかかわらず同様に ASE_w が約 40%まで低下した(図3左)が、SA と DA の組み合わせでは、SA が DA と同量か、それ以上である場合、 ASE_w の低下が低減する傾向がみられた(図3右)。本処理の寸法安定化は、主にバルキング効果によるものであり、木材と薬剤の間に化学的な結合が生じているわけではないことから、水に濡れるようなところではなく、むしろ、湿度の低いところで寸法変化を抑えたい用途に適していると考えられる。

以上の木口面試験体での結果から、SA と DA の組み

合わせ (表 3) について、板試験体への処理を行い、その効果を評価することとした。

3.2 板材への処理効果

表 4 に 15mm 厚さの板試験体へに処理した場合の、注入量、WPG、 $B_{(A)}$ を示す。木口面試験体への注入量を 100% とすると板試験体の注入量は 86~88%であったが、WPG、 $B_{(A)}$ については、同条件で処理した木口面試験体とほぼ同値を示した。

図 4 に板試験体を 20°C59%RH および 20°C92%RH の条件下で 28 日間ずつ調湿した際の、吸湿に伴う M_R および $l_{(T)}$ の変化を示す。

表 4 板試験体^{※1}への処理による注入量、WPG、 $B_{(A)}$ ^{※2}

樹種	配合比	濃度	注入量	WPG	$B_{(A)}$
	SA:DA	mol/L	g/cm ³	%	%
スギ	0:1	0.8	0.74	29	6.4
		0.4	0.71	10	5.1
	1:1	0.8	0.72	21	7.9
		1.2	0.73	32	9.8
		0.4	0.72	11	4.4
	2:1	0.8	0.73	21	6.9
		1.2	0.73	30	9.1
	3:1	0.8	0.73	20	7.2

※1 板試験体の厚さ (R 方向) : 15mm

※2 木口面積から算出したパルキング率

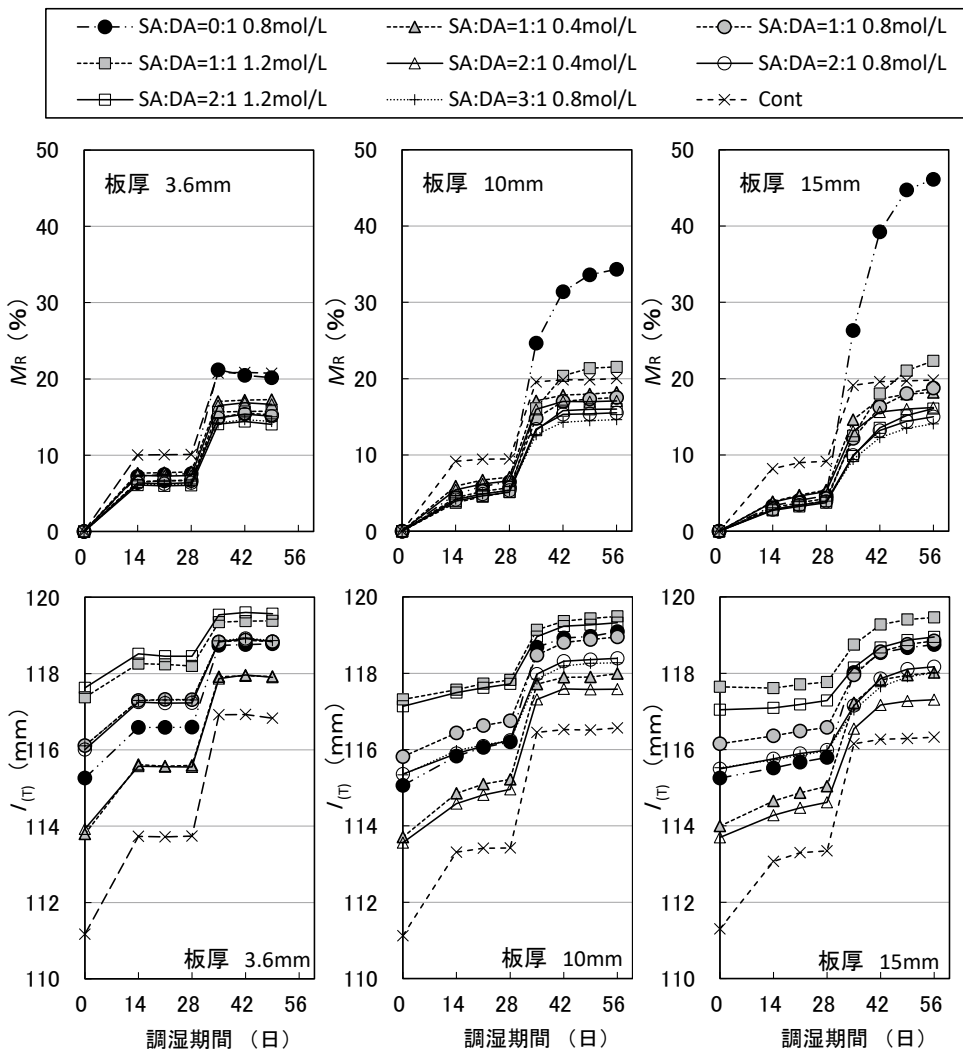


図 4 吸湿による M_R および $l_{(T)}$ の変化

調湿期間 0~28 日 : 20°C59%RH の雰囲気下に静置
 調湿期間 28~56 日 : 20°C92%RH の雰囲気下に静置

M_R についてみると、DA 単独 (SA:DA=0:1 0.8mol/L (●)) で処理した場合には、20°C59%RH 条件下では、他の条件と同様に緩やかに吸湿したのに対し、20°C92%RH に湿度を上昇させると吸湿量が急増し、板試験体表面に濡れや、水滴が発生する様子がみられた。前報⁶⁾においても、1.8mol/L の DA で処理した試験体で同様の現象が生じ、表面に高濃度で存在する DA の潮解性によると報告されている。今回は、前報⁶⁾ よりも低い濃度 (0.8mol/L) で処理を行ったが、3.6mm 厚さの試験体でも同様の現象がみられた。この現象は、板が厚いほど顕著であり、早材と晩材の境の目切れ部分に多く発生したことから、一旦注入された DA が、乾燥時に水とともに表面に移動、濃縮され、潮解したことによるものと考えられる。10mm、15mm 厚さの処理材では、DA の割合が多いほど、また、その濃度が高いほど吸湿量が増し、15mm 厚さでは 28 日間の調湿では平衡に達しない条件もみられたが、これについても、DA 自体の吸湿性によるところが大きいと考えられる。しかしながら、SA を配合した処理材については、いずれの処理条件においても木材の表面に水滴が発生することはなく、実際の使用には支障がないことが示唆された。

$l_{(T)}$ についても、10mm、15mm 厚さでは、 M_R の増加に伴って $l_{(T)}$ が徐々に増加したが、低湿度 (20°C59%RH) 下における $l_{(T)}$ の変化量は小さく、特に 15mm 厚さでは、1.2mol/L 濃度で処理した場合、SA:DA=1:1 (■) では 0.12 mm、SA:DA=2:1 (□) では 0.25 mm と極めて小さかった。冬場、床暖房やエアコンの稼働によって木材の含水率は 10%以下、特に加熱面と接する部位については数%まで低下すると推定される。そのような低含水率の範囲において、上述のように寸法変化が僅少であることは、床暖房設備のある床等に使用した際の隙間や反りの低減に優位に役立つものと期待される。

また、0.8mol/L 濃度での配合比による処理効果の違いを比較したところ、SA:DA=3:1 で処理した場合の吸湿に伴う M_R および $l_{(T)}$ の挙動は、SA:DA=2:1 で処理した場合とほぼ同一であることがわかった。

図 5 に SA:DA=1:1 および SA:DA=2:1 として、板試験体に加圧注入した場合の結果を示す。 MEE_R と $ASE_{m(T)}$ は、20°C59%RH および 20°C92%RH の雰囲気下でそれぞれ 28 日間調湿した後の値である。試験体の厚さ、配合比にかかわらず、WPG は濃度に比例して直線的に増加した。また、 B_T についても、WPG にほぼ比例して増加し、試験体厚さや配合比による差はみられなかった。それに対して、20°C59%RH の雰囲気下では、処理材が厚いほど MEE_R 、 $ASE_{m(T)}$ が増加した。特に 15mm 厚さで

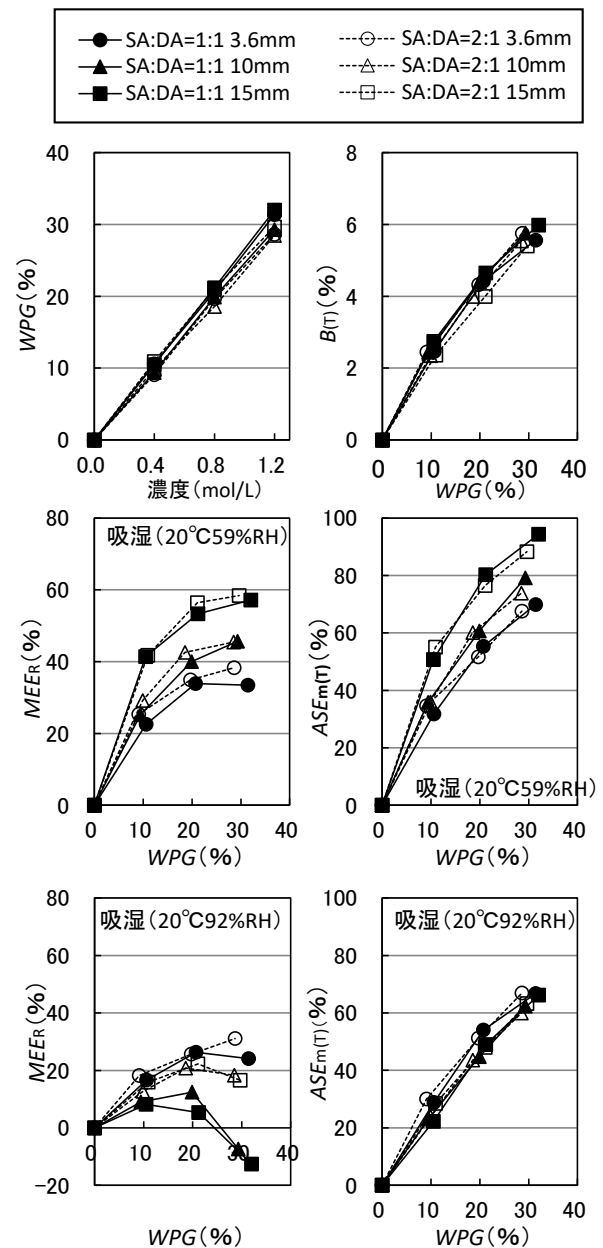


図5 板試験体に処理した場合の濃度と WPG ならびに WPG と MEE_R および $ASE_{m(T)}$ の関係

は、先に述べたとおり低湿度下における寸法変化が小さく、いずれの配合比においても、0.8mol/L 濃度では $ASE_{m(T)}$ が約 80%、1.2mol/L 濃度では約 90%となり、極めて高い寸法安定性を示した。材が厚いほど材自体の組織的な拘束が増すことに加え、材内での薬剤の濃度傾斜が大きくなり、表面近くでより多くの SA、DA またはそれらの由来物が、木材構成成分の水分吸着サイトを、水素結合により、あるいは物理的に占有することにより、水分吸着が妨げられるものと推定される。今回の試験条件では、上記のとおり高い寸法安定性が得られたが、今後、材内の濃度傾斜により割れ等の不具合が出ないか、

継続して確認していく予定である。

一方、20°C92%RH の雰囲気下では、全ての条件で低湿度（20°C59%RH）雰囲気下よりも MEE_R および $ASE_{m(T)}$ が低下した。配合比、材の厚さにかかわらず、 $ASE_{m(T)}$ は 0.8mol/L 濃度で約 50%、1.2mol/L 濃度で約 65%となった。高湿度下において MEE_R および $ASE_{m(T)}$ が低下する原因としては、既報⁶⁾でも考察されており、ジカルボン酸を用いた処理では、木材構成成分の水酸基との水素結合にとどまるため、高湿度下で起こる細胞壁内での水の多分子層吸着を抑制する効果が低いこと、また、細胞壁内に浸透した DA 自体も吸湿すること等が関与すると考えられる。処理材の吸湿性が高いほど、吸湿乾燥の繰り返しによる薬剤溶脱（しみだし）のおそれが高まることから、より安定した寸法安定性能を得るには、 MEE_R は高い方が望ましい。よって、 MEE_R の低下が少ない配合比、すなわち SA:DA=2:1 の方が実用に適していると考えられる。

なお、古くから各種木製品の寸法安定化や乾燥割れの防止などに広く実用化されている PEG 処理^{7,8)}と同様に、本処理による材色の変化は小さく、薬剤自体の毒性は低い。PEG 処理によるフローリング材の寸法安定化については、15mm 厚さのマカンバ板目板において、WPG 約 18%で $ASE_{m(T)}$ 約 50%（20°C85%RH の吸湿条件下）が得られるとの報告もあり⁹⁾、本処理による寸法安定化効果は、PEG 処理のそれと比較して遜色ないといえる。

また、PEG 処理では、高湿度下においては薬剤自体の吸湿性により薬剤がしみ出す恐れがあり、できるだけ吸湿性の低い高分子量の PEG を用いることが推奨されている⁷⁾。本処理においても、DA 自体の吸湿性が高いことから、今後、乾湿繰り返し操作により溶脱に関する確認を行うとともに、表面塗装等の工夫を検討する必要がある。また、材内に濃度傾斜があることで不具合が出ないか、床暖房設備のある床等に使用する場合を想定した実用上の性能確認も今後の課題である。

4. まとめ

アジピン酸(AA)およびコハク酸(SA)を、それぞれアジピン酸二アンモニウム(DA)と所定の割合により配合することで可溶化させ、県産スギ材およびヒノキ材に加圧注入した。得られた結果は以下のとおりである。

① 木口面試験体を用いた試験の結果、AA は DA との配合比を変えても、 B, ASE はあまり変化しないが、SA は DA との配合比を高めるとそれらの値が増加し、寸法安定性が向上することが明らかとなった。

例えば、配合比 SA:DA=1:1、処理濃度 0.8mol/L（SA0.4mol/L+DA0.4 mol/L）では、相対湿度 59%下における ASE は約 75%、相対湿度 92%下における ASE は約 60%となり、高い寸法安定性を示した。

- ② 15mm 厚さの板試験体を用いた試験の結果、今回の試験条件においては、相対湿度 59%下での ASE は、処理濃度 0.8mol/L では約 80%以上、処理濃度 1.2mol/L では約 90%と高い寸法安定性を示した。相対湿度 92%下における ASE は、処理濃度 0.8mol/L では約 50%、処理濃度 1.2mol/L では約 65%となった。
- ③ ただし、SA:DA=1:1 の場合、高湿度下においては、DA 自体の吸湿性による MEE_R の低下が顕著であったことから、SA の割合を SA:DA=2:1 以上とする方が、実用に適していると考えられる。

以上の結果のうち、②、③は、各湿度条件下で 28 日間調湿した場合の結果であり、各値は恒量に達していないが、今回供試した試験体の寸法形状であれば、上記の湿度環境で、概ねどれくらいの寸法安定性が得られるのか、実用に適した薬剤組み合わせを検討するにあたっての、今後の方向性を見出すことができた。

今後は、SA と DA を用いる処理を中心に、床暖房設備のある床等、木材の寸法安定性が高く要求される用途への実用化に向けて、検討を継続する予定である。

引用文献

- 1) 伊藤貴文. 奈良県：木材の寸法安定性を高める方法およびその方法による改良木材. 特開平 08-336812. 1996-12-24.
- 2) 伊藤貴文：不飽和ジカルボン酸による木材の寸法安定化. 奈良県林業試験場研究報告. 29, 8-14 (1999)
- 3) 岩本頼子, 伊藤貴文：アゼライン酸拡散処理による木材の寸法安定化 (第 1 報). 奈良県林試木材加工資料. 28, 25-29 (1999)
- 4) 伊藤貴文：アゼライン酸充填処理による木材の寸法安定化. 奈良県林業試験場研究報告. 25, 37-45 (1995)
- 5) 岩本頼子, 伊藤貴文：アゼライン酸拡散処理による木材の寸法安定化 (第 2 報). 奈良県林業試験場研究報告. 29, 41-48 (1999)
- 6) 矢杉瑠美, 愛須美紀, 有山麻衣子, 増田勝則, 伊藤貴文：奈良県産スギ材およびヒノキ材の寸法安定化技術の検討 (第 2 報). アジピン酸およびアジピン酸塩による処理. 奈良県森林技術センター研究報告. 48, 37-42 (2019)

- 7) 石丸優 : PEG と木材のお話. 木材保存. 19(5), 2-16 (1993)
- 8) 福山萬治郎, 浦上弘幸 : ポリエチレングリコール処理木材の寸法安定性. 京都府立大学学術報告. 農学. 35, 77-85 (1983)
- 9) 伊藤洋一, 菅谷恵美子, 中寫厚 : PEG 処理によるフローリングの寸法安定性. 林産試験場報. 10(6), 21-26 (1996)

(2021年4月8日 受理)