

官能性樹脂によるWPC化(6)

- WPCの屋外耐候性 -

川上英夫 山科 創*
中野隆人*

1. はじめに

木材の欠点の一つとして耐候性の低いことがあげられる。木材は、とくに屋外において表面性能の劣化が著しいため、表面保護の目的で塗装が施されるのが常であるが、その塗膜は長くても1~2年以内に何らかの欠陥を生じる。したがって、木質材料の外装向け用途は一部に限定されており、表面保護及び基材保存の両機能を合わせ持った総合的な木材耐久化処理の技術開発が要望されている。

翻って、木材の耐久性を向上させる一つの方法として、従来からWPC化処理が注目されており、これは木材を合成ポリマーの注入含浸による複合化によって強度的に補強し、かつ寸法安定性、耐水性を改善して耐久化をはかるものである。しかしながら、WPCの耐候性に関して、これまで性能は握という観点から調べられていくつかの報告例^{1,2)}から知られるように、WPCは、確かに木材素材よりも表面割れ等の発生が少なく、耐候性がかなり高まるものの、長期にわたる耐候材料としての評価がなされているとは言えない。

結局、WPCは木材空こう内にポリマーが充てんしているにとどまっている材料であり、なおかなりの空気を保有することから、素材よりも水分、光、熱に対する抵抗性は大きいものの、そのままの屋外使用では劣化速度が遅延するだけに過ぎないと考えられている。

そこで、本報ではWPCを積極的に耐候材料に適合させていく観点に立ち、既報³⁾で報告している種々の官能性樹脂を用いて調製条件を異にして得られたWPCについて屋外暴露試験をおこない、それらの耐候性を木材とポリマーとの相互作用性及び塗装処理との組み合わせなどに関連させて検討した。

2. 実験

2.1 供試WPC

屋外暴露に供した試験材は既報³⁾において調製した重量増加率130~160%の範囲にあるシナノキのWPCである。すなわち、それらの調製条件を第1表に示したが、注入液の種類7条件(無処理を含めて8系統)

第1表 供試WPCの調製条件

注入前の材 含水率状態	① 絶乾近辺 (含水率 1~3%)	② 気乾 (含水率 12~13%)		
	注 入 液 の 組 成 (W/W)		重合触媒	[略 号]
注 入 液 の 種 類	①	メチルメタクリレート(MMA)	0.9% BPO	[MMA]
	②	MMA/2-ヒドロキシエチルメタクリレート (9/1)	"	[HEMA]
	③	MMA/2-ヒドロキシプロピルメタクリレート (")	"	[HPMA]
	④	MMA/グリシジルメタクリレート (")	"	[GMA]
	⑤	MMA/オリゴエステルアクリレート (単官能型) (")	"	[M-5700]
	⑥	MMA/オリゴエステルアクリレート (多官能型) (")	"	[M-8030]
	⑦	不飽和ポリエステル/スチレン (5/5)	0.5% MEKPO	[UPS]
	⑧ 無処理木材			
重 合 後 の ア ニ ー リ ン グ	① 加熱処理 120°C, 4時間, 熱風オープン中		② 蒸着処理 100°C, ステアミング, 4時間	

注) 注入処理 減圧(20mmHg, 30分) — 窒素ガスによる加圧(6kg/cm², 4時間)
重合処理 70°C, 24時間

注入前の材の含水状態2条件，重合後のアニーリング処理2条件をそれぞれ変化させた合計32条件により注入重合処理をおこなった。試験材は大きさが6.7^(T) × 1.1^(R) × 45^(L) cmの板状のもので，自動四面鉋盤によるフローリング加工を施したものである。1条件あて3個体，合計96片を用い，これらの表面の1/2面にポリウレタン塗装を施した。なお，塗装はサンドペーパー 240で素地調整後，2液性ポリウレタン樹脂塗料の吹付けによる3回重ね塗りによりおこなった。

2.2 屋外暴露

屋外暴露試験は当场庁舎2階屋上にて，東南面向きの45度傾斜の暴露台に塗装面を下側にして試験材をセットしておこなった。試験期間は昭和52年5月から同54年7月までの2カ年余で，6ヵ月と2カ年経過時に耐候性を評価した。なお，この暴露試験では，試験材の木口面，側面の樹脂等によるシール処理はおこなっていない。

2.3 耐候性の評価

暴露6ヵ月及び2カ年経過時に試験材を一度20℃，65%RHの恒温恒湿状態に1ヵ月間静置調湿したのち，次の項目について測定をおこなった。

(1) 表面割れ

未塗装面，塗装面について，暴露前に予め記してあった繊維方向と直交する標線(2本)と交差して発生する材表面の割れ(ひび割れを含む)を倍率30倍の実体顕微鏡で観察し，割れの本数を測定した。

(2) 色調

直読色差コンピューター(スガ試験機K製)を用いて，暴露前後の未塗装面，塗装面のL, a, b値を測定し，変色度(色差)を算定した。

(3) 曲げ弾性係数

島津オートグラフIS5000を用いて，スパン30cmにおける中央集中荷重5kgごとのたわみ量を数点測定して曲げ弾性係数を算出した。なお，荷重は暴露面が引張り側になるように裏面から負荷した。また，係

数算出の際の試験材の厚さについては，サネ部，裏ミゾ部の寸法を測定して求めた断面積から平均厚さを算出した。

(4) 外観の状態

暴露表面の外観を肉眼で観察するとともに必要に応じて写真撮影をおこなった。

(5) その他

暴露前後の試験材の重量及び寸法(幅，厚さ)を測定し，暴露前の値を基準とする重量変化率，寸法変化率を求めた。

3. 実験結果と考察

3.1 表面割れの発生状況

材料の劣化は表面から進行するので，耐候性において表面性能は最も重要なものであり，木材の場合，表面割れが問題となる。第2表には暴露6ヵ月経過後の塗装面，未塗装面における割れの発生状況を示した。数値は標線長さ6.7cm当りのこれと直交する割れの本数で，3個体，2カ所合計6標線における平均値である。まず，未塗装面であるが，割れの発生本数は平均値でみると無処理材で13.7本であるのに対して，WPCではM-8030系を除いては6~9本の範囲にあり，

第2表 暴露6ヵ月経過後における表面割れの発生状況(割れの本数/6.7cm・3個体各2標線における平均値)

注入液	材の含水状態	未塗装面			塗装面		
		加熱	蒸煮	全平均	加熱	蒸煮	全平均
MMA	D	9.0	9.2	8.4	0	0.2	0.1
	M	6.7	8.8		0	0	
HEMA	D	5.3	7.7	6.4	0	0	0
	M	5.3	7.3		0	0	
HPMA	D	8.0	8.1	7.2	0	2.0	0.8
	M	6.6	6.1		0	1.0	
GMA	D	10.2	5.3	8.8	0	0.5	0.2
	M	10.0	9.7		0	0.2	
M-5700	D	5.7	9.3	7.3	0.8	0	0.6
	M	6.3	7.8		0.7	0.7	
M-8030	D	15.3	10.3	14.2	0.7	0	2.8
	M	17.5	13.8		5.2	5.3	
UPS	D	12.2	12.5	9.3	1.0	0.5	0.8
	M	6.0	6.5		0.7	0.8	
無処理木材	D	12.0	12.5	13.7	7.5	6.0	5.1
	M	15.2	15.2		4.7	2.2	

注) D: 絶乾状態, M: 気乾状態

1/2~2/3に減少している。一方、ポリウレタン塗装面の割れは無処理-塗装材で5.1本に対して、WPC-塗装材ではほとんど発生していなく、塗装面におけるWPC化処理の効果が顕著に示されている。

割れの発生を注入液別にみると、HEMA、HPMA、M-5700のようなOH基を保有する注入液系で発生がやや少ない。先のM-8030系では割れが比較的多いが、これはこのオリゴマーは多官能性であり、架橋結合を生じるため材の収縮が大きく、収縮応力が材内に残留していることになっていると考えられる。これと同様にUPS系でもポリマーが三次元構造になるので、とくに絶乾材に注入した場合に割れが多い。

注入前の材含水状態、重合後のアニーリング処理の割れ発生への影響については概略次のようである。未塗装面においては、割れはMMA、HEMA、HPMA系では気乾材への処理及び蒸煮処理によって増加し、GMA系では蒸煮処理によって逆に減少する傾向にある；オリゴマーM-5700系では蒸煮処理によって増加するが、M-8030系では絶乾材-蒸煮処理で少ない；UPS系では気乾材への処理の方が抑制される。他方、塗装面においては、WPCの場合M-8030系の気乾材への処理塗膜において割れの発生が多いが、他の系では影響が小さい；無処理-塗装材の場合、蒸煮処理によって割れが減少している。

上記した未塗装面における割れの発生状況は既報³⁾でのWPC化処理に伴う材の変形挙動とよく対応しており、ねじれ、カップなどの発生量の小さな系で割れが少ない結果となり、屋外暴露によるWPCの割れは処理に伴う材内応力の残留程度と密接に関連していることが知られた。

また、塗装面において塗膜割れの発生が無処理木材塗膜に比べて著しく抑えられたことは、WPC自体の寸法安定性の向上とともに、WPCと塗膜との界面における物性のギャップが減少することになっていると考えられる。この樹脂含浸-塗装の組み

合わせは、前報⁴⁾のWPCオーバーレイ合板の表面性能の結果とも考え合わせると、木材塗膜耐久化の一つの方法として注目され、これについては現在、別の角度から検討を進めている⁵⁾。

なお、今回の表面割れの発生調査において、比較的大きな割れ(クラッキング)と細かな割れ(チェック)を込みにして測定したのであるが、暴露1年経過する頃から、人工乾燥過程でもみられるように、一度割れた箇所が見かけ上塞がって割れと判定し難くなる現象が起こり、さらに後述するような材面の毛羽立ちも生じて、割れについて定量的な測定が不能となったので暴露2カ年後における表面性能については写真観察によって考察する。

3.2 材色の変化

次に暴露6カ月経過後の材色変化を暴露前後の色差として第3表に示す。測色値は一般に表面割れの発生や面粗さの変化によって変動するが、この時点では外観上材面に極端な変化がなく、相対的な傾向の比較はなされることが考えられる。表によると、材色変化は未塗装面で著しく、色差は無処理木材29程度、WPCで12~17の範囲にあり、WPCの場合、UPS系の色差が他系よりもやや小さいほかは注入液等の条件の違いに

第3表 暴露6カ月経過後における表面材色の変化
(暴露前後の色差、3個体2測定点における平均値)

注 入 液	材 含 水 状 態	未 塗 装 面			塗 装 面		
		加 熱	蒸 煮	全 平 均	加 熱	蒸 煮	全 平 均
MMA	D	16.0	17.4	17.1	9.3	6.1	5.7
	M	18.1	16.9		3.9	3.6	
HEMA	D	16.5	15.7	15.6	6.3	8.5	5.9
	M	13.8	16.4		4.8	3.8	
HPMA	D	17.6	15.6	16.6	9.1	10.9	7.3
	M	18.2	15.1		3.9	5.1	
GMA	D	17.1	15.5	16.1	7.1	9.0	6.5
	M	15.3	16.3		6.4	3.5	
M-5700	D	14.6	15.7	15.3	4.5	7.0	5.0
	M	15.0	16.0		4.8	3.7	
M-8030	D	13.4	13.1	14.0	9.0	8.5	7.5
	M	15.4	14.1		5.2	7.4	
UPS	D	14.2	12.6	12.3	2.6	3.1	2.4
	M	11.9	10.3		1.2	2.5	
無 処 理 木 材	D	29.9	28.8	28.8	8.6	7.5	7.4
	M	28.2	28.4		5.2	8.3	

注) D: 絶乾状態, M: 気乾状態

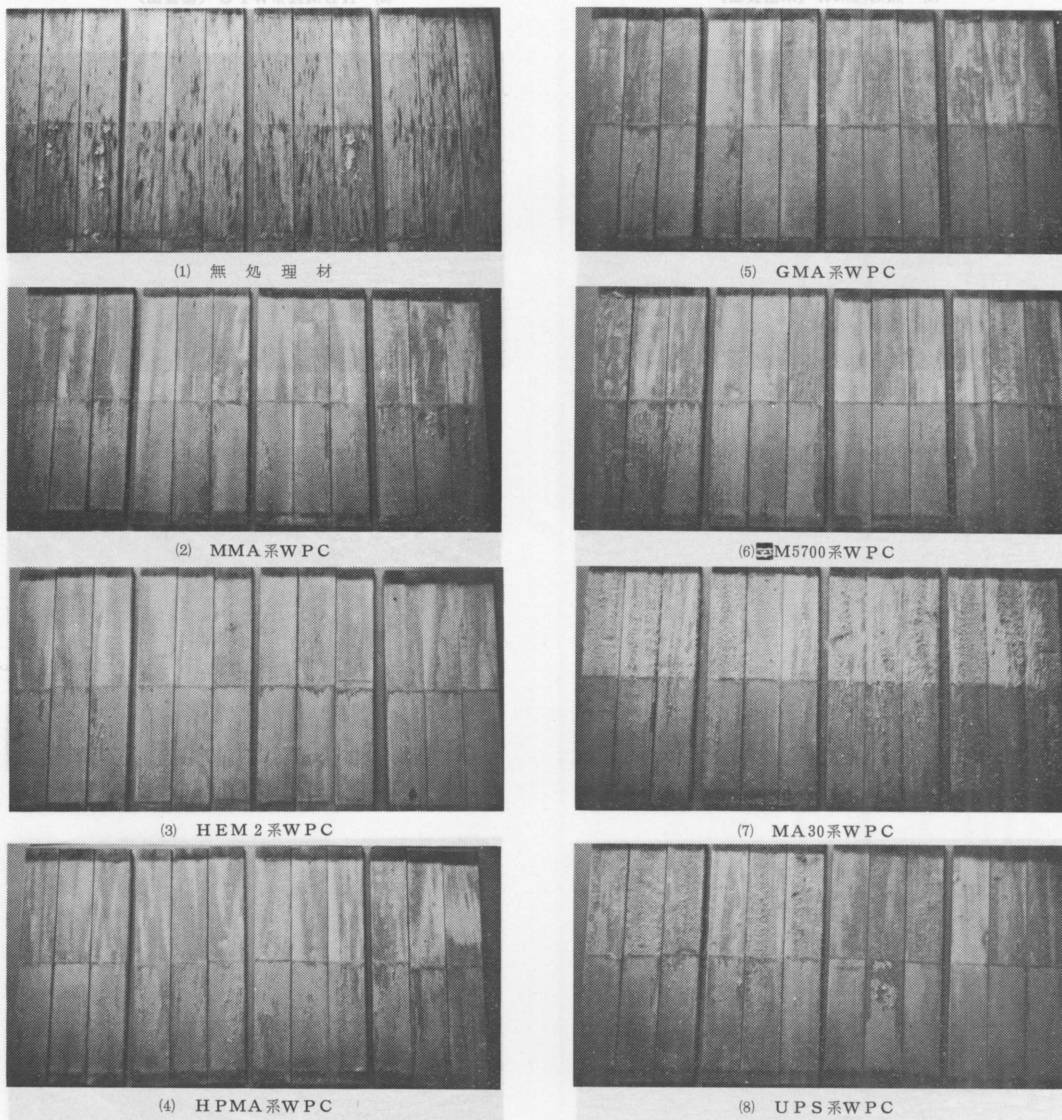
よってあまり変動がなかった。塗装面における材色変化は未塗装面に比べて1/2~1/4と小さく、WPC間ではUPS系の色差が低かった。

一方、色調の変化についてみると、未塗装面では全体的に白亜化が進み、いずれの系においても赤味指標a値、黄味指標b値両者ともに同じ程度減少する。明度指数L値もまた全系で減少するが、無処理木材とWPCの相違は主にL値の減少程度が前者で大きく、後

者で比較的小さいことである。他方、塗装面では全系においてL値、a値はほとんど変化しないのに対してb値が増加し、ポリウレタン塗膜の黄変化がみられた。

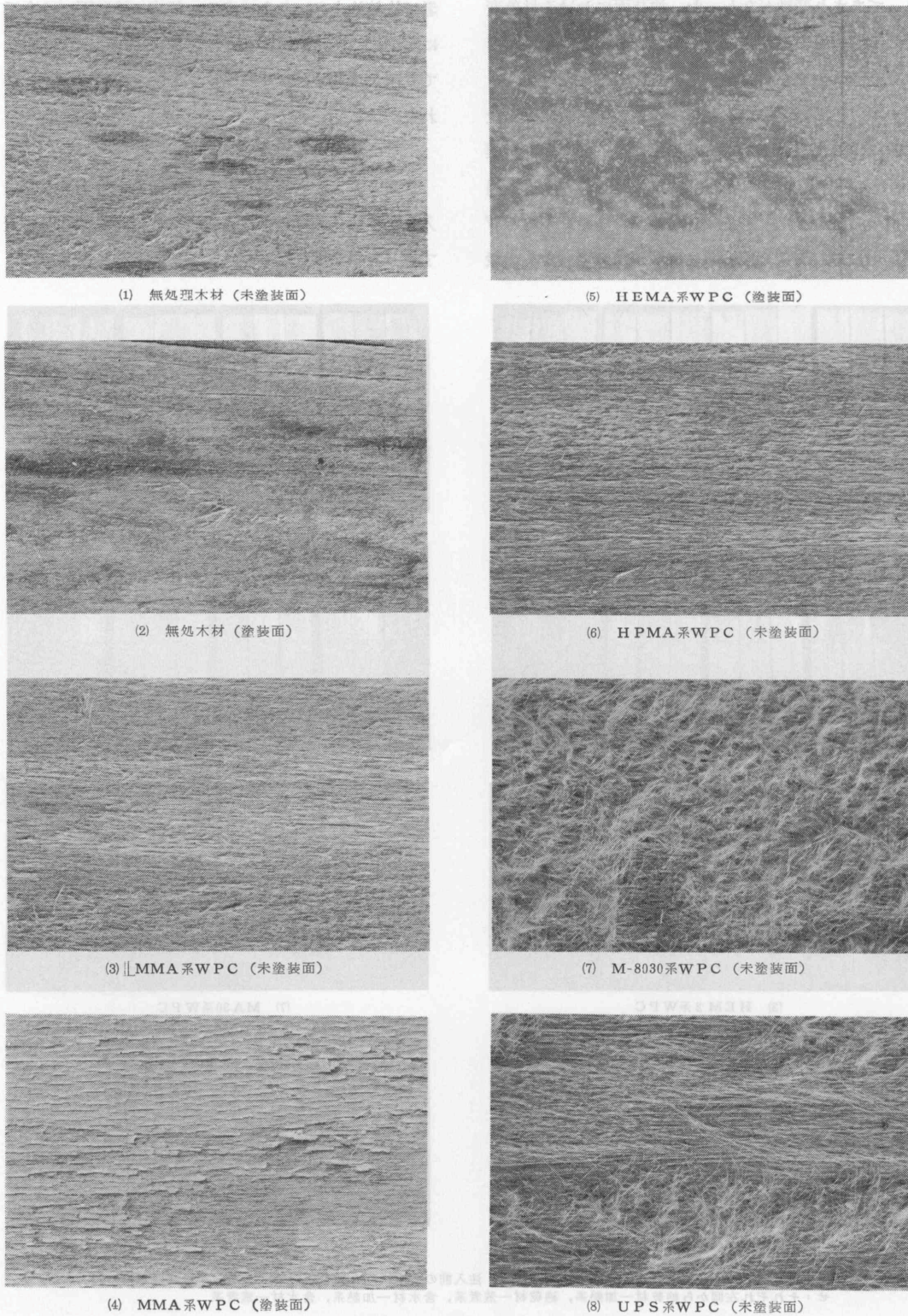
3.3 材面の写真観察

暴露2カ年経過後における全試験材の外観写真を注入液別に第1図に、また、代表試験材の表面状態を表す写真を第2図に示す。



上半面：未塗装面，下半面：ポリウレタン塗装面，注入前の含水状態と重合後のアニーリング処理の組み合わせ：それぞれ左側から絶乾材 - 加熱系，絶乾材 - 蒸煮系，含水材 - 加熱系，含水材 - 蒸煮系

第1図 暴露2カ年経過後における材の外観



第2図 暴露2ヵ年経過後における材面の状態

屋外暴露2ヵ年ともなるとそれぞれの材面はかなりの劣化を伴っている様相が観察されるが、各注入液系について表面状態の特徴を列挙すると以下のようである。

無処理木材：下半部の塗膜はほとんど全面にわたって離脱しており、材全面に黒カビの一種と思われる黒色斑点状のシミが付着し、大きな割れが観察された〔第1図 - (1), 第2図 - (1), (2)〕。

MMA系WPC：未塗装面では木質部が劣化して表面は粗くなっている。塗装面では塗膜割れが発達し、一部ははく離している〔第1図 - (2), 第2図 - (3), (4)〕。

HEMA系WPC：未塗装面にわずか毛羽立ちがみられる。塗装面は部分的なかすれがあるが、全系中塗膜劣化が最も小さい〔第1図 - (3), 第2図 - (5)〕。

HPMA系WPC：未塗装面には小さな割れが観察され、塗装面ではHEMA系よりも劣化がやや進んでいる〔第1図 - (4), 第2図 - (6)〕。

GMA系, M - 5700系WPC：未塗装面の状態はHEMA系に類似する。塗装面では絶乾材 - 蒸煮処理, 含水材 - 加熱処理系で劣化が小さい〔第1図 - (5), (6)〕。

M - 8030系WPC：本実験のWPCのうちで最も劣化が進行している。未塗装面では木質部の劣化に伴って内こうのポリマーが白色糸状に露出する現象がみられる。塗装面では絶乾材 - 蒸煮処理で塗膜の持ちが比較的よい〔第1図 - (7), 第2図 - (7)〕。

UPS系WPC：未塗装面のとくに絶乾材への処理系において, M - 8030系と同様に糸状ポリマーが露出している。塗装面では含水材 - 蒸煮処理で塗膜は安定している〔第1図 - (8), 第2図 - (8)〕。

これらの結果を総合すると、未塗装面において、WPCの材面状態はMMA, HEMA, HPMA, GMA, M - 5700系の間には大きな差異は認められなく、M - 8030及びUPS系は架橋型ポリマーで前者群とは相当な違いがある。一方、塗装面における材面状態は注入液のグループによって異なり、MMA単独の場合よりもMMAにHEMA, GMA, M - 5700など極性基をもつモノマー, オリゴマーを併用した場合の方が

塗膜の耐久性が相対的に向上する傾向を示すことがわかった。この結果は前報⁴⁾での結果とも相符合する。すなわち、極性基の共存によって含浸ポリマー自体が木材と親和性を保持し、かつ塗膜ポリマーとも親密であることから、木材 - 含浸樹脂 - 塗膜のより一体化した複合系が形成されることによるものと解釈される。

3.4 重量, 寸法の変化

20℃, 65%RHにて調湿した重量基準による減少率は全試験材で0~3.1%の範囲にあった。湿量基準の場合、暴露によって平衡含水率が増加する場合には、重量減少率としては小さく算出されるが、値の低いのはこのためではないかと考えられる。結果を細かくみると、重量減少率は無処理木材で最も高く、WPCではUPS系で最も低かった。アニーリングの影響はないが含水状態の違いによる影響がみられ、M - 8030系を除いて含水材へ処理したWPCの方が絶乾材への処理WPCよりも重量減少率が明らかに低い傾向が示された。

厚さ方向(半径方向)の変化率は未塗装面で-1.8~1.4%であり、収縮側のものが多く、塗装面では0.2~2.0%であり、すべて膨潤側にあり、他方、幅方向(接線方向)の変化率は未塗装面で-3.2~0.8%塗装面で-1.5~1.5%の範囲であるが、UPS系以外は塗装の有無によらず収縮側にあった。

3.5 曲げ弾性係数の変化

暴露2ヵ年経過後における曲げ弾性係数の残存率を第4表に示す。この結果、残存率は無処理木材で平均80%であるのに対して、M - 8030系が78%と無処理並みの値であるほかは85~88%であった。いずれの系も気乾材への処理の方が残存率が高くなっていることが注目されるが、とくにGMA, UPS系では気乾材と絶乾材への処理とでは10%ほど異なっている。これは、気乾材での処理では材水分によって木材組織が広げられており、注入液は細胞壁内部へ入り込む機会がより多く与えられ、ポリマーによる細胞壁の補強効果がより大きく、強度の低下程度にもそのことが反映しているものと考えられる。

第4表 曲げ弾性係数の残存率(屋外暴露2カ年後)

注入液	材の含水状態	残存率(%)		
		加熱	蒸煮	全平均
MMA	D	87	83	87
	M	93	86	
HEMA	D	85	88	88
	M	91	88	
HPMA	D	85	80	85
	M	87	86	
GMA	D	82	85	88
	M	92	94	
M-5700	D	84	82	85
	M	89	85	
M-8030	D	76	78	78
	M	84	73	
UPS	D	80	81	85
	M	91	90	
無処理木材	D	76	82	80
	M	82	81	

注) D: 絶乾状態, M: 気乾状態

4. まとめ

MMA及びMMAに極性モノマー(HEMA, HPMA, GMA), オリゴマー(オリゴエステルアクリレート)の含OH基単官能型M-5700, 多官能型M-8030)を添加したモノマーならびにUPSにより調製したシナノキWPCについて, 南面傾斜45度の条件下において屋外暴露をおこない, それらの耐候性を調製条件(注入前の材含水率, 重合後のアニーリング処理)の違い及びポリウレタンによる表面塗装の有無と関連させて調べた。結果を次のように総括する。

(1) 暴露6カ月後の表面割れはWPC面(未塗装)ではM-8030系を除き無処理材の1/2~2/3に減少する。この割れの発生状況はWPC化処理による材の変形挙動とよく対応し, 材内応力の残留程度が大きいと思われる系で割れは多発する。

(2) WPC-塗装面では割れの発生はほとんどなく,

無処理-塗装系に比べて塗膜の耐久性が著しく向上する。

(3) 暴露2カ年後のWPC表面は無処理木材に比べると劣化の程度は格段と小さいものの, 材の収縮を伴う多官能型の注入液系(M-8030, UPS)で木質部の劣化に伴い細胞内このポリマーが糸状に露出する場面もみられる。塗装面も劣化は進むが, この場合注入液によって相違し, HEMA系における塗膜が最も安定である。

(4) 材含水率, アニーリング処理の表面割れの影響は注入液で相違し, 概して, 割れはMMA, HEMA, HPMA, M-5700系では気乾材への処理, 蒸煮処理によって増大し, GMA系では蒸煮処理によって逆に減少し, UPS系では気乾材への処理で減少する。

(5) WPCの材色の変化は無処理材の1/2~1/4と小さく, 色調変化では, 未塗装面は白亜化が進むが, 無処理木材に比べて明度指数の低下が小さい。調製条件の違いによる影響はあまりない。

(6) 暴露2カ年後の曲げ弾性係数の残存率は, 全平均値として, 無処理材80%, WPC85~88%であり, 気乾材への処理における残存率が絶乾材への処理のそれよりもやや高い傾向にある。

文 献

- 1) T. Autio, J. K. Miettinen: F. P. J., **20**, (3)36(1970)
- 2) R. L. Desai, S. C. Juneja: F. P. J., **22**, (9)100 (1972)
- 3) 川上ほか4名: 林産試月報, **310**, 13 (1977)
- 4) 川上ほか3名: 同上, **334**, 7 (1979)
- 5) 中野ほか2名: 同上, **346**, 14 (1980)
- 6) 川上ほか3名: 同上, **306**, 10 (1977)

— 特別研究員 —

— *林産化学部 木材化学科—

(原稿受理 昭56.5.16)

林産試験場月報

(略号 林産試月報)

1981年6月号(第353号)

編集人 北海道立林産試験場編集委員会

昭和56年6月20日発行

発行人 北海道立林産試験場
郵便番号 070 旭川市緑町12丁目
電話 0166-51-1171番(代)

印刷所 植平印刷株式会社
郵便番号 070 旭川市9条通7丁目
電話 26-0161番(代)