

# 屋外暴露試験による中密度繊維板（MDF）の耐久性評価

関野 登\*・佐藤 春菜\*\*

Evaluation of the durability of medium-density fiberboard by outdoor exposure testing

Noboru SEKINO\* and Haruna SATO\*\*

## 1. はじめに

住宅の構造用面材には、合板やOSBといった木質系パネルが多用されているが、近年では耐水性を高めたパーティクルボード（PB）や中密度繊維板（MDF）などの木質ボードも徐々に使用され始めた。しかし、木質ボードの場合、構造用合板に比べて耐久性の根拠となる使用実績が少なく（1, 2）、それが用途拡大を阻む一因となっている。そこで、日本木材学会木質パネル研究会およびその前身である「木質ボード懇話会」では、日本木材加工技術協会木質ボード部会ならびに日本繊維板工業会の協力を得て、1991年に「木質パネル耐久性評価プロジェクト」を開始した（以下、これを第1次プロジェクトと呼ぶ）。その主な内容は10年にわたる国内3地点の屋外暴露試験であり、2003年には合板、OSB、PB、MDFなどの強度劣化の特徴をはじめ、屋外暴露試験における各種の課題が整理された（3）。その成果を基に、2004年には第2次の「木質パネル耐久性評価プロジェクト」が開始された。第2次では、耐水性の高い接着剤を用いた合板、OSB、PB、MDFを対象に、国内8地点での屋外暴露試験、各種の屋内暴露試験および促進劣化試験が実施されており、耐久性評価手法の提案が目指されている（4）。

さて、木質繊維を原料とするMDFは、木質ボードの中でも表面の緻密性が高く水分浸透が遅いため、耐久性に優れる材料と言える。たとえば、メラミン・ユリア共縮合接着剤を用いたMDFについて、屋外暴露で曲げ強度が半減する期間は、盛岡で52年、静岡と鹿児島で14年を要することが第1次プロジェクト結果から試算された（3）。また、第2次プロジェクトの中間

---

Received March 1, 2013

Accepted May 13, 2013

\* 岩手大学環境学系

\*\* 岩手大学技術補佐員

本研究は、日本木材加工技術協会第30回記念年次大会（2012年10月、東京）において発表した。

報告として、高麗 (5) はPBと比べたMDFの耐久性の高さを、国内8地点における屋外暴露5年間の解析結果より指摘している。

本研究では、第1次プロジェクトにおいて、岩手の試験地（盛岡市：岩手大学構内）で独自に実施したMDFの長期屋外暴露試験より、暴露16年目の劣化状態を分析した。一方、これと同種のMDFが第2次プロジェクトにおいて岩手県林業技術センター（盛岡市近郊）にて5年間、屋外暴露された。そこで本研究では、これら2類の試験結果を用い、5年間という比較的短期の暴露試験結果から、16年という比較的長期の性能劣化が推定できるかどうか、その推定方法と推定の可能性を検討した。

## II. 実験方法

### 1. 供試MDF

供試MDFの仕様および初期物性値 (6) を表1に示す。ロットAは第1次プロジェクトで、ロットBは第2次プロジェクトで使用された公称厚さ12mmの市販のMDFで、国内の同一工場で製造された。いずれもJIS A5905で規定する30Mタイプ、すなわち曲げ強度が30MPa以上、その耐水性は建築下地に適するMタイプ（メラミン・ユリア共縮合樹脂系の接着剤：MUF）に属する (7)。ただし、製造年はロットAが1995年、ロットBが2003年と異なる。以下、両者の物性値の相違を示すと、ロットAはBよりも比重が1割程度小さく、それが曲げ強度（MOR）や曲げ弾性率（MOE）の差にも表れている。ただし、はく離強度（IB）はロットAの方が大きく、これより厚さ方向の密度分布においてロットBの方がAよりもコア比重が低いことが示唆される。このことは24時間吸水における吸水率がロットBの方がAより大きいこと

表1 供試MDFの仕様と初期物性値（厚さ12mm：JIS 30Mタイプ）

		ロットA	ロットB
仕 様	レジンタイプ	MUF	MUF
	原料樹種	ラワン系	ラワン系
	比重	0.69	0.76
強度物性	曲げ強度 (MPa)	38.6 (n=24)	45.4 (n=30)
	曲げ弾性率 (GPa)	3.64 (n=8)	4.23 (n=30)
	はく離強度 (MPa)	1.03 (n=12)	0.62 (n=30)
	釘側面抵抗 (kN) <sup>1)</sup>	2.02 <sup>3)</sup>	2.38 (n=30) <sup>4)</sup>
	釘頭貫通抵抗 (kN) <sup>2)</sup>	1.57 <sup>3)</sup>	1.85 (n=30) <sup>4)</sup>
耐水性 (24時間吸水) <sup>5)</sup>	吸水率 (%)	6.8 (n=12)	8.0 (n=30)
	厚さ膨張率 (%)	1.9 (n=12)	4.1 (n=30)

注：1) N50釘を用いて縁端距離12mmで測定 2) N50釘を使用  
 3) ロットBの値の85%（曲げ性能の比率）として算出した推定値  
 4) 厚さ9mmのJIS 30MタイプMDFから得た値  
 5) JIS A5905に準拠

からも推測できる。

なお、表1の釘側面抵抗および釘頭貫通抵抗は、ロットBでは同時期に屋外暴露された9mm厚のMDF（12mmと同じJIS 30Mタイプで釘接合性能専用の試験体）で得た値が記載されている。また、ロットAでは初期値としての釘側面抵抗および釘頭貫通抵抗が欠測のため、ロットAとBの曲げ強度の比率を釘性能の比率と同等であると仮定して、ロットAの値を推定した。

以上のように、ロットAとBの物性値は詳細に見ると種々の相違がある。しかし、JIS規格上は30Mタイプという同一グループに属し、様々なMDF製品がある中では類似製品と扱うことができる。そこで、本研究では屋外暴露におけるロットAとロットBの物性の劣化が同等の速さで生じると仮定し、耐久性の解析を進めた。

## 2. 屋外暴露試験

ロットAの供試MDFは、写真1のように平屋RC造の建物（岩手大学農学部林産加工棟）の屋根南側のパラペット側面に設置された（地上高は約4m）。この写真には1991年から暴露開始した他の多数の試験体が写っている。試験体寸法は300mm×300mm×12mmであり、14枚の試験体が1996年3月中旬に暴露開始された。写真2（暴露16年目の回収時の様子：2012年4月上旬）に示すように、試験体は上下2段張りとし、厚さ4cm×幅10cmの栈木に四隅木ネジ留めで固定された。この方法では、北側からの風雨の当たり方はかなり緩和されるが、パラペット側面と試験体に4cmの間隔があるため、試験体の裏面（北面）は雨水に濡れる。試験体は暴露半年、1年、2年目に各2体が、そして暴露16年目に残り8体（No.7～14）が回収された。回収後の試験体を60℃で24時間乾燥した後、20℃60%RHで約1週間養生して含水率状態を暴露前の気乾状態と同等に調整した後、後述する各種の物性測定に供した。

ロットBの供試MDFは、写真3に示すように地上高1.0～2.8mの位置で南面垂直に屋外暴露された。写真では同時に暴露された他の多数の試験体が写っている。屋外暴露は盛岡市の南約



写真1 MDFロットA試験体の屋外暴露の様子（岩手大学構内）



写真2 MDFロットA試験体の回収時の様子（暴露16年目）



写真3 MDFロットB試験体の屋外暴露の様子（岩手県林業技術センター構内）

20kmに位置する岩手県林業技術センター構内で、2004年3月上旬に開始された。試験体寸法は $300\text{mm} \times 300\text{mm} \times 12\text{mm}$ であり、四隅をアルミニウム製の治具で挟んで暴露架台に固定された。暴露5年間、1年ごとに12mm厚試験体2枚と9mm厚試験体（釘試験用）2枚が回収され、上述と同様の含水率調整を行い、後述する各種の物性試験に供した。

なお、暴露試験地（盛岡）の気象条件は、過去30年の平均値で年平均気温が $10.0^{\circ}\text{C}$ 、年間降水量が1254mm、年間日照時間が1740時間である。また、試験体（ロットBの釘試験用を除く）の4つの側面には暴露前に保護塗装を施したが、暴露後に塗膜亀裂等が生じて再塗装は行わなかった。

### 3. 各種の物性試験

ロットAの回収試験体では、暴露2年までは、初期厚さを基準とする厚さ変化率、初期重量を基準とする重量減少率、曲げ強度、曲げ弾性率、はく離強度（試験体端面から5cm以上離れ

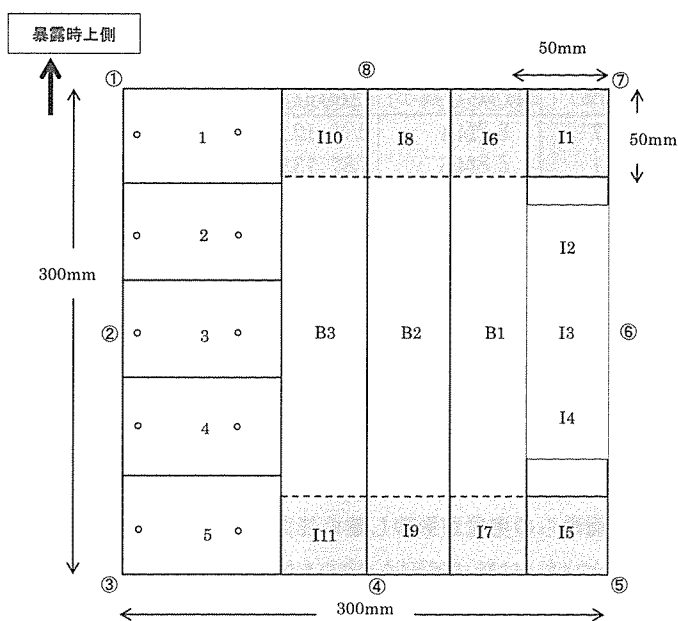


図1 暴露16年目の試験体からの各種試験片の採取位置

注) 丸数字：厚さ計測箇所（計8点），B1～B3：曲げ試験片（3片/枚）。

I1～I11：はく離試験片（11片／枚）。左側の6片（58mm×88mm）は釘試験片

た部分)が測定された。曲げ試験およびはく離試験はJIS A5905に準じて行い、試験体寸法はそれぞれ5 cm×26 cm(中央集中荷重, スパン18 cm), 5 cm×5 cmである。曲げ試験では、屋外暴露の南面(劣化が進行しやすい面)を引張側に向けた。暴露16年目の試験体では、これらに加えて、N50釘を用いた釘側面抵抗試験(縁端距離は12 mm)と釘頭貫通抵抗試験を、ASTM D1037に準じて行った。試験方法の詳細は既報(6)のとおりである。図1は、暴露16年目の回収試験体(8体)からの各種試験片の採取位置などを示す。生物劣化の有無やカビ、亀裂などの表面観察を行った後、重量測定および厚さ測定(図1に示す8点)を行い、重量減少率と厚さ膨張率を求めた。その後、各種の試験片を採取し、計24片の曲げ試験、計40片の釘側面抵抗試験(縁端距離12 mm)と釘頭貫通抵抗試験、計88片の試験体端面を含むはく離強度試験(試験片の一部は曲げ試験後に採取)を行った。また、曲げ試験後の試験片の健全部より、はく離強度試験片(端面より5 cm以上離れた部分)を1片ずつ計24片採取し、劣化端面を含まない部分でのく離強度を求めた。

ロットBの回収試験体でもロットAと同様、初期厚さを基準とする厚さ変化率、初期重量を基準とする重量減少率、曲げ強度、曲げ弾性率、はく離強度が測定された。試験片の採取方法および試験片数は次のとおりである。毎年回収された2枚の厚さ12mmMDFからは、四周約15mmを切り落とした後、幅5cm×長さ26cmの曲げ試験片が4片ずつ計8片採取され、曲げ試験に供された。さらに、試験体中央部および曲げ試験後の試験片の健全部より計13片のはく離試験

表2 暴露16年目の試験体（ロットA）の性状

試験体No	重量減少率 WL (%)	厚さ変化率 TC (%)			外観の観察結果
		①③⑤⑦平均	②④⑥⑧平均	8点平均	
上段	7	11.7	14.4	12.2	上端面に激しい亀裂。表面が軟化、全面にカビ発生。
	9	11.1	14.6	13.9	
	11	10.2	23.2	17.3	
	13	15.3	18.6	12.8	
	平均	12.1	17.7	14.0	
下段	8	7.4	14.6	12.2	四端面に多少の亀裂の発生、局部的なカビ発生。
	10	7.8	15.0	7.9	
	12	6.6	15.4	9.9	
	14	8.9	16.8	13.8	
	平均	7.7	15.5	11.0	

片を採取し、試験体端面からの劣化が影響し難い部位ではなく離強度を測定した。一方、釘試験用の厚さ9mmMDFからは、試験体端面を含むはく離強度試験片と釘側面抵抗試験片をそれぞれ8片と6片、試験体中央（端面からの劣化が影響し難い部位）より寸法50mm×50mmの釘頭貫通抵抗試験片が6片採取され、試験に供された。

### Ⅲ．結果と考察

#### 1. 暴露16年目の各種物性

##### 1) 重量減少と厚さ変化

表2に回収養生後の試験体（No.7～14）の外観観察結果、重量減少率（WL）および試験体周辺部の厚さ変化率（TC）を示す。写真2から分かるように上段に設置された試験体の上端面は下段の上端面（上方約3cmの位置に上段試験体の下端が存在する）に比べて雨水が直接に作用しやすい。そこで、暴露16年目の各種物性に関しては、上段と下段で区別して解析を進める。

試験体の外観は上段と下段で多少異なった。すなわち、試験体端面の亀裂は上段の上端面で激しく、また表面の毛羽たち（軟化）やカビ発生の程度も上段で大きかった。上段の方が劣化は進んでおり、重量減少率に4%程度の差が現れた。重量減少の要因には、雨水による木質の水溶性成分の溶脱、表面の風化および生物劣化が挙げられる。上段試験体の一部（No.13）ではWLが15%にも達しており、生物劣化（木材腐朽）の可能性もある。

さて、MDFやPBのようなマット成形パネルは、接着剤を添加した木材の繊維や小片でマットを成形し、これを板状に熱圧して得られる。合板とは異なり、この種のパネルが吸脱水の繰り返しを受けると、原料の圧縮状態が解放されて元のマット状に戻るプロセスを取り、その過程で強度劣化が生じる（8）。表2の厚さ変化率（8点平均）を見ると、上段で平均16%、下段で平均13%であった。試験体周囲の厚さ膨張は、重量減少と同様に上段の方が大きく、この

表 3 屋外暴露16年目の曲げ性能とその関連物性

試験体No		重量減少率 WL (%)	厚さ変化 TC (%)	MOR		MOE	
				MPa	残存率(%)	GPa	残存率(%)
上段	7	10.6	5.8	17.5	45.3	1.16	31.8
	9	11.7	4.9	18.7	48.5	1.22	33.7
	11	8.4	8.7	15.1	39.2	0.96	26.4
	13	15.1	4.6	19.5	50.6	1.32	36.3
	平均*	11.5±2.6	6.0±1.8	17.7±1.8	45.9±4.8	1.16±0.14	32.0±3.9
下段	8	5.5	3.7	28.8	74.6	2.02	55.4
	10	8.2	1.8	24.8	64.3	1.83	50.5
	12	7.9	3.3	28.4	73.7	1.99	54.6
	14	8.6	4.0	19.8	51.4	1.52	41.7
	平均*	7.5±1.5	3.2±1.0	25.4±4.0	66.0±10.3	1.84±0.22	50.6±6.0

\*平均値±標準偏差

部分で強度低下が大きいことが示唆される。なお、厚さ変化率は、測定位置でも異なった。試験体周囲の辺の中央部（偶数番号）に比べて角部（奇数番号）で値が大きいが、これは二方向からの雨水浸透の影響と考えられる。

## 2) 曲げ性能（MORとMOE）の劣化

表 3 に曲げ試験の結果を示す。記載のWLは、試験後にスパン中央付近の破壊部を含む幅 5 cm×長さ 7 cm 程度のブロックを採取し、その重量と面積按分による推定初期重量から得たものあり、また、TCはスパン中央部の厚さと暴露前の試験体平均厚さから算出された。表 2 に示した30cm角の試験体と比較すると、WLはほぼ同等であるが、TCでは1/3程度となった。これより、雨水の浸透しやすい試験体端面の方が、劣化は進行しやすいことが再確認できる。

さて、MORの残存率（初期値に対する比率）に着目すると、上段で平均46%、下段で平均66%となり、上段の方が劣化は進行していた。MOEの残存率に関しても同様の傾向が認められ、また、MOE残存率はMOR残存率よりも値が小さくなった。その要因の一つとして、以下の算出式に見られるように、MORが厚さ（h）の2乗、MOEがhの3乗に影響されるため、同じ厚さ変化に対してMOE残存率の方が理論上小さいことが挙げられる。ここで、 $P_{max}$  は破壊荷重、Lはスパン、bは試験体の幅、 $P_p$  は比例限度荷重、 $Y_p$  は比例限度たわみ。

$$MOR = 3P_{max} L / (2bh^2) \quad MOE = P_p L^3 / (4Y_p bh^3)$$

さて、一般にマット成形パネルの強度劣化は厚さ膨張を伴って進行する、と前述した。ここでは、個々の曲げ試験片の厚さ変化率とMORおよびMOE残存率との関係を調べることで、曲げ性能の劣化要因について考察する。図 2（左）より、MORは厚さ変化率が高いほど、すなわち厚さが膨張している部位ほど、低下していることが確認できる。圧密されていた木質繊維が膨張して繊維間の接着が部分的に破壊され、その量および程度が高いほど強度低下が大きいという劣化メカニズムの現れである。一方、曲げ性能は、試験片の引張側表面の劣化（風化）に大きく依存する。風化の程度は試験片の重量減少と関係すると考えられるため、曲げ試

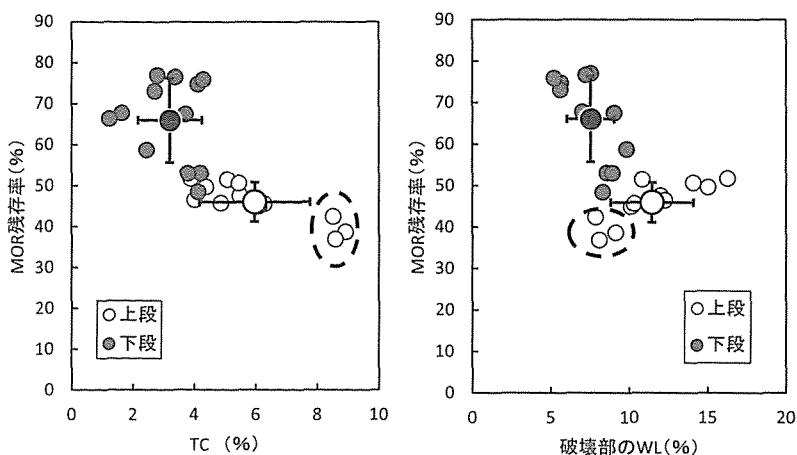


図2 暴露16年目のMOR残存率と厚さ変化率(TC)および重量減少率(WL)の関係  
 注) 破線で囲んだプロットは試験体No.11の3試験片。  
 平均値のプロットには標準偏差を併記。

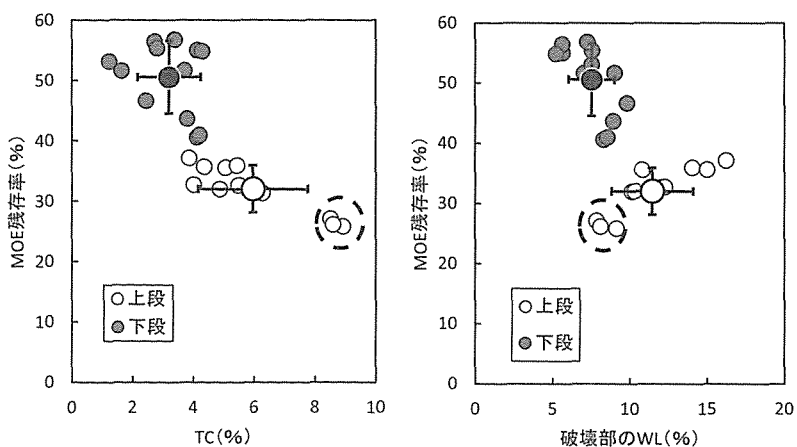


図3 暴露16年目のMOE残存率と厚さ変化率(TC)および重量減少率(WL)の関係  
 注) 破線で囲んだプロットは試験体No.11の3試験片。  
 平均値のプロットには標準偏差を併記。

試験片の破壊部の重量減少率とMOR残存率の関係を求め、図2(右)に示した。重量減少が大きいほどMOR低下は大きい傾向にあるが、その相関性は厚さ膨張との関係よりも低い。これは前述のように、重量減少の要因には表面の風化のみならず、雨水による木質の水溶性成分の溶脱などが含まれるためと言える。

一方、図3はMOE残存率との関係について、上記と同様の検討を行ったものである。厚さ膨張に伴って表層の低密度化が進行し、表層の弾性率が低下することがパネル全体の弾性率低下に影響すると考えられる。重量減少との関係は、MORの場合と同様の理由で相関性は低かった。

3) はく離強度 (IB) の劣化



表4 暴露16年目のはく離強度（IB：採取位置別）および関連する物性値

採取部位		IB (Ave.±std)		TC (%)	WL (%)
		kPa	残存率 (%)	(Ave.±std)	(Ave.±std)
上段	上端 (n=16)	144±54	14.0±5.2	8.0±2.2	17.7±3.9
	側端 (n=12)	229±99	22.4±9.7	6.9±1.0	12.4±4.4
	内部 (n=12)*	212±63	20.7±6.2	6.1±1.3	6.7±1.8
	下端 (n=16)	180±63	17.5±6.2	8.6±2.2	12.4±3.0
下段	上端 (n=16)	367±135	35.8±13.2	5.3±1.7	10.2±2.8
	側端 (n=12)	438±140	42.7±13.6	4.6±1.7	7.7±1.8
	内部 (n=12)*	485±55	47.3±5.3	3.6±0.9	4.7±1.3
	下端 (n=16)	362±140	35.3±13.7	6.1±2.1	10.2±3.5

\* 曲げ試験後の健全部より採取し、パネル端部より5 cm以上内部の位置

表4にはく離強度（IB）の試験結果を示す。雨水浸透の度合いは試験パネルの上端、側端、下端および内部（パネル端部より5 cm以上の位置）で異なると考えられるため、試験結果は上下段別に、上端・側端・下端・内部の4つの部位に区分して示してある。また、記載のTCとWLは、それぞれ、はく離試験片の中央部厚さと初期厚さ（試験パネルの平均厚さ）から算出した厚さ変化率、はく離試験片の重量と初期重量（試験パネルの初期重量の面積按分）から算出した重量減少率である。

IB残存率は上段で14～22%、下段で35～47%の範囲に分布し、上段の方が下段よりも劣化は明らかに大きかった（上下段の同じ位置での残存率は危険率1%で有意差あり）。特に上段の上端部でWLが最大かつTCも8%と大きく、IB残存率は14%と最低であることから、この部位が雨水の浸透と日射の影響を最も受けた部位と考えられる。また、上下段ともに、側端に比べて下端の方が残存率の平均値は低い、有意な差はなかった。内部のIB残存率は上段で21%、下段で47%であり、それぞれ最も劣化した部位である上段の上端、下段の下端と比べて有意（危険率1%）に高い残存率であった。下段の内部のように雨水の浸透を最も受けにくい部位では、16年の屋外暴露を受けてもIBすなわちボードの厚さ方向の最弱の接着強度は、初期値の半分程度を保持することが分かった。

図4は、IBの劣化をTCおよびWLとの関係から見たものである。上述のようにIB劣化は採取位置で異なるが、TC－IB残存率の関係には負の相関（ $R^2=0.490$ ）が認められた。すなわち、IB劣化の大きな部位はTCの大きな部位であり、圧密されていた木質繊維が膨張して繊維間の接着が部分的に破壊され、その量および程度が大きいほど強度低下が大きいという劣化メカニズムの現れである。TCが6%以上で残存率は概ね3割以下となることが分かる。一方、WL－IB残存率関係を見ると、相関性はTC－IB残存率に比べて弱かった（ $R^2=0.401$ ）。その要因の一つに、上段の内部試験片のプロットが挙げられる。端面の風化を含まないためWLが相対的に少なく、平均値のプロットは、負の相関の帯の下方に位置するという採取部位の特徴が現れている。また、暴露16年で残存率5割以上を示すのは、下段に配置されたパネル試験体の一部分

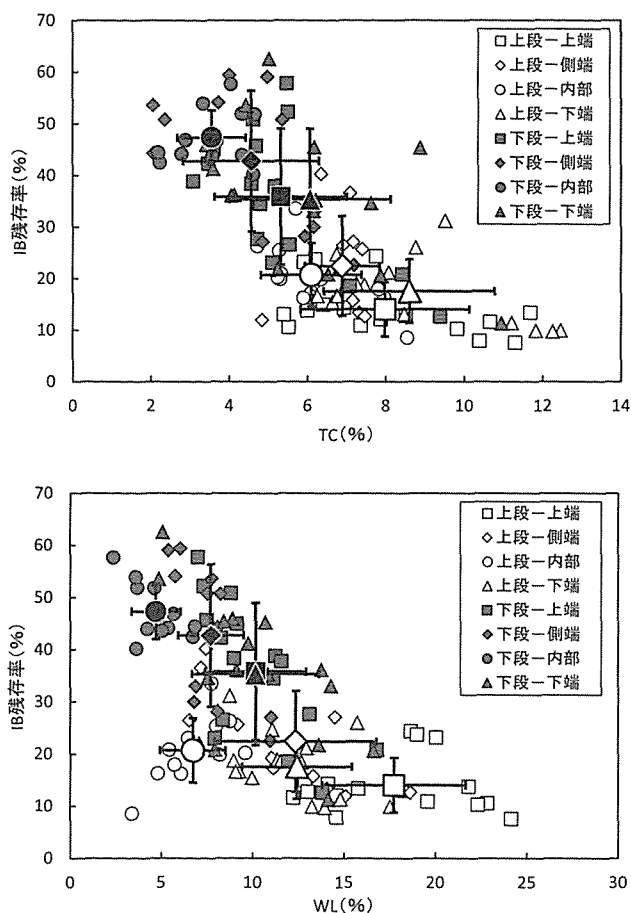


図4 暴露16年目のはく離強度 (IB) 低下に及ばず厚さ変化率 (TC: 上図) および重量減少率 (WL: 下図) の影響

注: 図中の大きなプロットは凡例の採取位置における平均値および標準偏差

であることが両図から読み取れる。

#### 4) 釘接合性能の劣化

表5に釘側面抵抗と釘頭貫通抵抗の試験結果を示す。また、同表には関連物性として当該試験片のWLおよび釘打ち近傍で測定したTCも示してある。まず、釘側面抵抗の残存率を見ると、上段で40%、下段で51%となり、下段の方が有意に高かった。この要因としては、表4に示したようにパネル側端のIB劣化が下段の方が小さいことが挙げられる。一方、釘頭貫通抵抗の残存率は上段で77%、下段で86%であり、釘側面抵抗の残存率に比べて高かった。この要因として、貫通抵抗はパネル端面から25mm以上離れた位置で測定されており、TCも小さく端面劣化が影響し難い部位であることが挙げられる。いずれにしても、暴露16年目においても側面抵抗で4～5割、貫通抵抗では8割程度の釘接合性能が残存したことは、釘接合性能が耐震

表5 暴露16年目の釘側面抵抗、釘頭貫通抵抗、関連物性値の一覧（平均±標準偏差）

		上段 (n=20)	下段 (n=20) **は上段との有意差 (1%)
重量減少率 (WL: %)		13.3±3.8	8.0**±2.5
側面抵抗	測定値 (kN)	0.81±0.21	1.03**±0.22
	残存率 (%)	39.9±10.5	51.0**±11.1
	厚さ変化率 (TC: %)	13.6±2.7	10.8**±3.3
貫通抵抗	測定値 (kN)	1.21±0.13	1.34**±0.13
	残存率 (%)	77.0±8.5	85.5**±8.4
	厚さ変化率 (TC: %)	7.0±2.1	3.7**±1.2

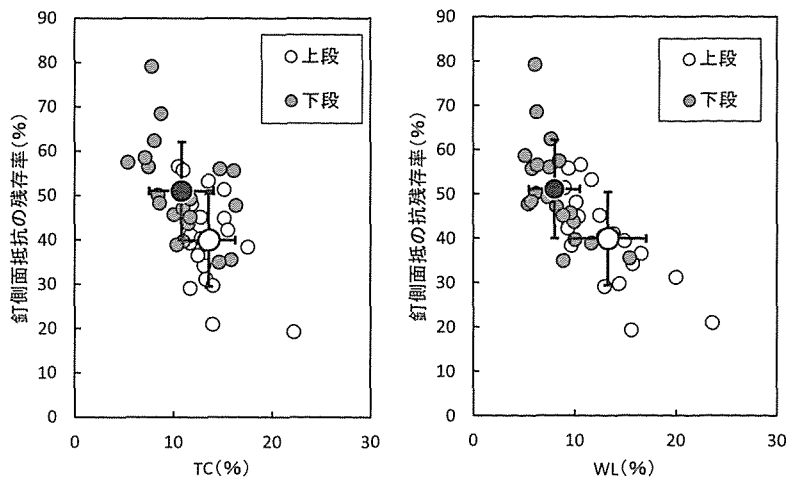


図5 暴露16年目の釘側面抵抗の低下に及ぼす厚さ変化率（TC：左図）および重量減少率（WL：右図）の影響

注： 図中の大きなプロットは凡例の採取位置における平均値および標準偏差

性に大きく関わる耐力壁の面材として、MDFは優れた材料であることを示唆している。

図5は、釘側面抵抗の劣化をTCおよびWLとの関係から見たものである。TC、WLともに釘側面抵抗の劣化と有意な負の相関（それぞれ、 $R^2=0.348$ ,  $R^2=0.583$ ）があった。TCが概ね10%になると、釘側面抵抗が半減することが分かる。また、上段の釘側面抵抗の劣化が下段よりも大きな理由として、図4で示したように厚さ増加が進み接着劣化（IB低下）が進んでいるためと言える。一方、WLと釘側面抵抗劣化の有意な相関は、TC増加により雨水浸透経路が拡大し、それが重量減少の一因である成分溶脱を助長するというTC-WLの正の相関性に帰着すると言えよう。

図6は、釘頭貫通抵抗をTCおよびWLとの関係から見たものである。TC、WLともに貫通抵抗の劣化と有意な負の相関（それぞれ、 $R^2=0.284^{**}$ ,  $R^2=0.306^{**}$ ）があった。ただし、相関係数は釘側面抵抗の場合よりも小さく、釘頭貫通抵抗がこれらの関連物性に対して鈍感な性質と言える。たとえば、釘側面抵抗ではTCが10%に達すると概ね半減したが（図5左）、釘頭貫通抵抗では半減には至らない傾向にある（図6左）。この要因として、釘頭がボード厚さ中

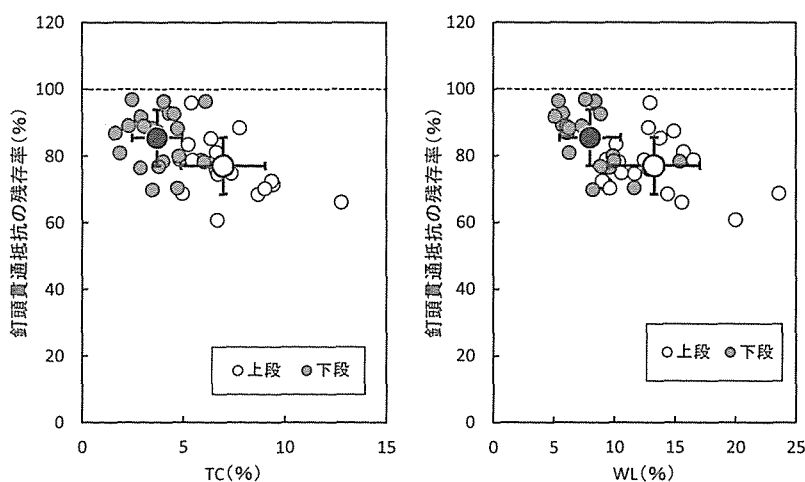


図6 暴露16年目の釘頭貫通抵抗の低下に及ぼす厚さ変化率 (TC:左図) および重量減少率 (WL:右図) の影響

注: 図中の大きなプロットは凡例の採取位置における平均値および標準偏差

中央付近を通過するとき最大抵抗が生じるという現象, その際, 厚さ中央付近は劣化の程度が表層に比べて小さいことが挙げられる。

## 2. 暴露5年間からの16年目の劣化推定

一般に, 材料の耐久性評価は使用実績で行うのが最善であるが, 評価の基準となる初期値が不明な場合が多く, 木質材料関連では活用できる調査事例が少ないのが実情である。そこで, 初期値の明確な試験体を用いる屋外暴露試験が第二の方法となる。ただし, 屋外暴露試験には, ①長期間を要するため継続が困難, ②試験材料が時代遅れになる懸念, ③結果が試験地の気象条件に依存, ④実際の使用環境との劣化機構の差異, などの課題が指摘されている (3)。このうち本研究では, 課題①に着目した。すなわち, 耐久性の比較的高い材料に対しては, なるべく長期の屋外暴露試験が望ましいものの, 試験場所の確保や担当者の継続性などの困難を伴う。したがって, 比較的短期間の屋外暴露試験から長期暴露後の劣化状態が推定できることが望ましい。本研究では, JIS規格 30MタイプのMDFに関して, ロットBからは暴露5年間のデータが, ロットAからは暴露0.5, 1, 2年, そして16年目のデータが得られている。そこで, 暴露5年までの比較的短期の劣化進行の挙動から暴露16年目の劣化状態を推定し, その推定値と実測値を比較することで, 推定の可能性を検討した。

推定する物性は, TC, WL, MOR, MOE, IB (内部), IB (端部), 釘側面抵抗, 釘頭貫通抵抗の8種類とした。暴露16年目の推定値は, 暴露5年までの回帰直線の外挿により求めるが, その際, 時間軸の取り方を3種類に設定した。一つ目は暴露期間 (年) そのものである。二つ目, 三つ目は, それぞれ暴露期間 (月) の対数と平方根である。これは, 木質材料の接着性能

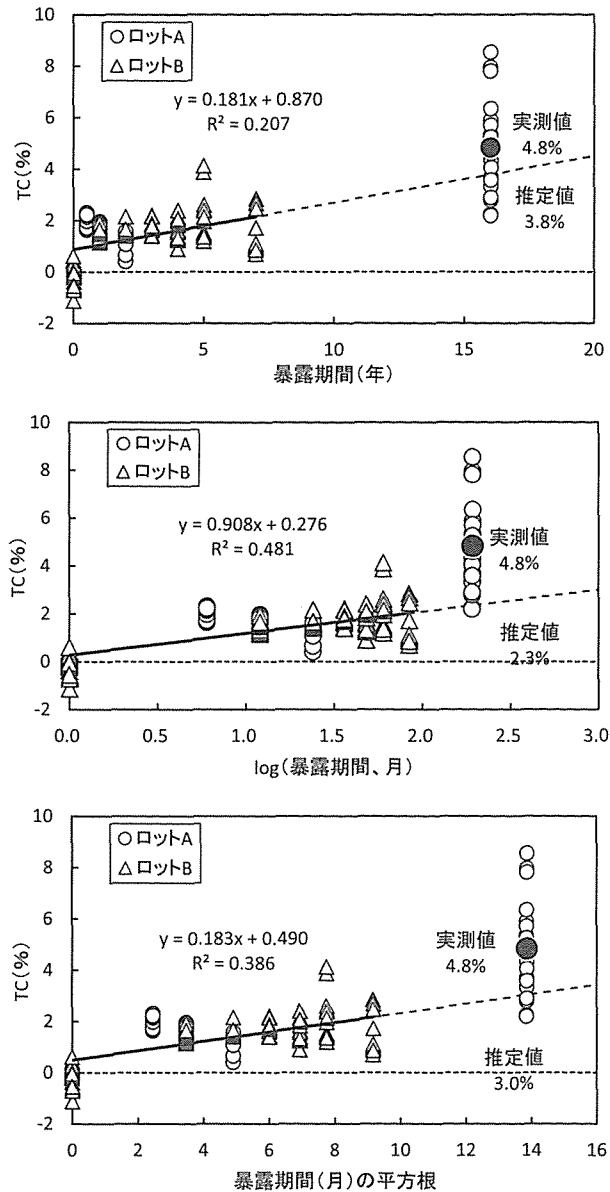


図7 暴露5年までの厚さ変化率（TC）の回帰直線による暴露16年目の推定  
（上・中・下図は、それぞれ時間軸に暴露期間そのもの、対数、平方根を採用）

が暴露時間の対数や平方根に対して直線的に低下する傾向が指摘されていること（9,10）を参考にした。以下、物性ごとに推定の可能性を見ていく。

#### 1) 厚さ増加（TC増加）と重量減少の推定

図7に3種類の時間軸に対する回帰式、直線外挿による16年目のTC推定値および実測値を示す。実測値4.8%に対して、時間軸に暴露期間そのものを取ると、推定値は3.8%となり、実

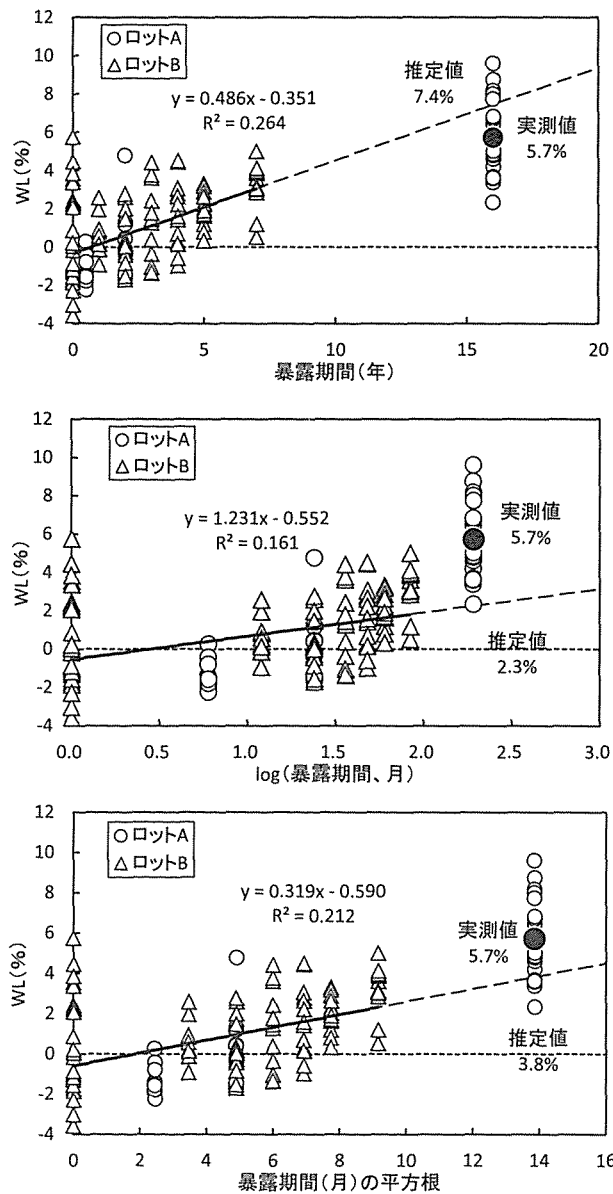


図8 暴露5年までの重量減少率(WL)の回帰直線による暴露16年目の推定  
(上・中・下図は、それぞれ時間軸に暴露期間そのもの、対数、平方根を採用)

測値には近いものの、危険側の推定となった。時間軸を対数や平方根にすると、推定値は実測値よりもさらに低くなり、一層危険側の推定となった。この結果より、厚さ増加の推定は、時間軸を暴露期間そのものとした場合に、ある程度可能であると言える。

同様の形式で、図8に重量減少(WL)の推定結果を示した。実測値5.7%に対して、時間軸に暴露期間そのものを取ると、推定値7.4%となり、実測値に比較的近く、かつ、安全側の推

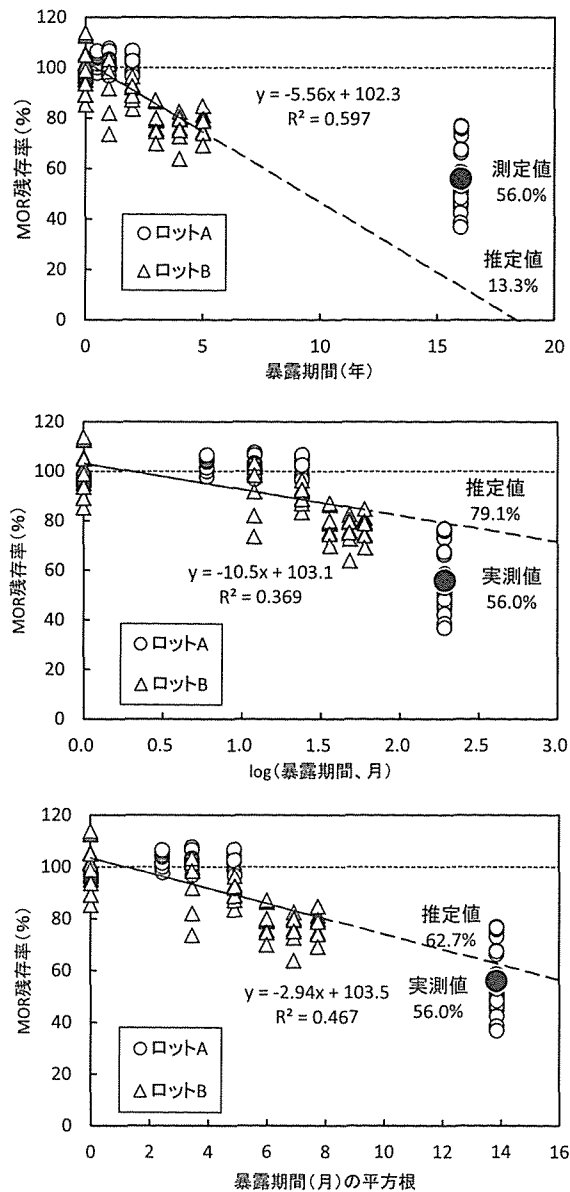


図9 暴露5年までのMOR残存率の回帰直線による暴露16年目の推定  
(上・中・下図は、それぞれ時間軸に暴露期間そのもの、対数、平方根を採用)

定となった。一方、時間軸を対数や平方根にすると、推定値は実測値を大きく下回った。この結果より、重量減少の推定は、時間軸を暴露期間そのものとした場合に可能と言える。

## 2) 曲げ性能（MORとMOE）の推定

MOR残存率の推定の様子を図9に示す。実測値56%に対して、時間軸を暴露期間そのものとした場合は推定値が13.3%となり、かなりの過小評価となった。対数をとると推定値79.1%

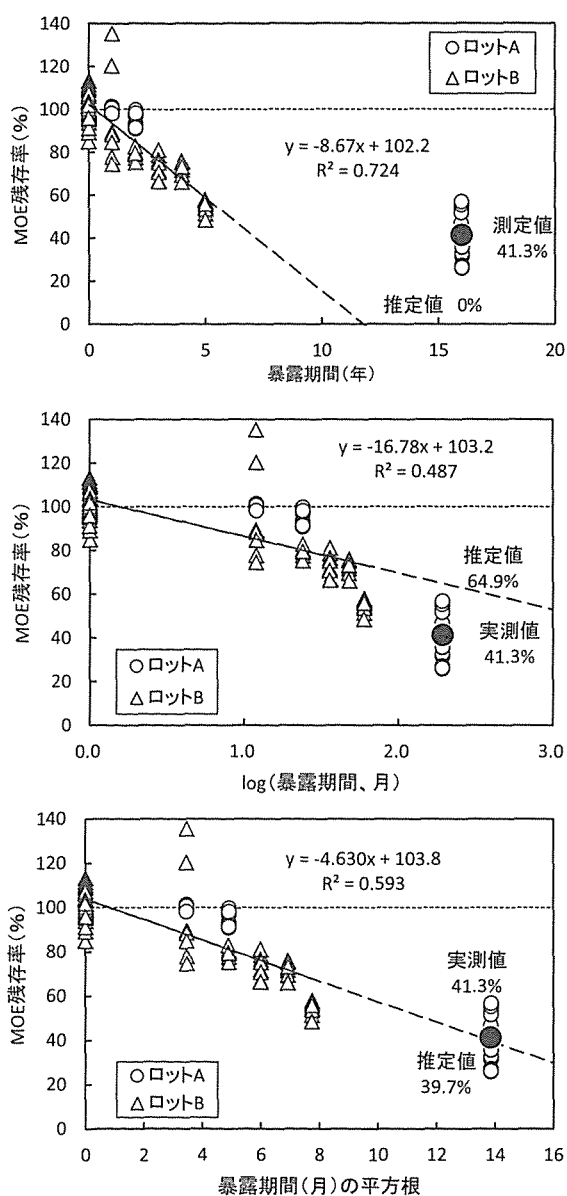


図10 暴露5年までのMOE残存率の回帰直線による暴露16年目の推定  
 (上・中・下図は、それぞれ時間軸に暴露期間そのもの、対数、平方根を採用)

と大きく危険側の推定となった。一方、平方根では推定値62.7%となり、危険側ではあるが実測値に最も近かった。MOE残存率の推定を図10に示すが、MOR残存率の場合とほぼ同様の傾向が見られた。ただし、平方根を取った場合は実測値に極めて近く、かつ、安全側であり、良好な推定が可能と判断できる。これらの結果より、曲げ性能に関しては暴露期間の平方根を時間軸とすることで、比較的精度の高い推定が可能と考えられる。



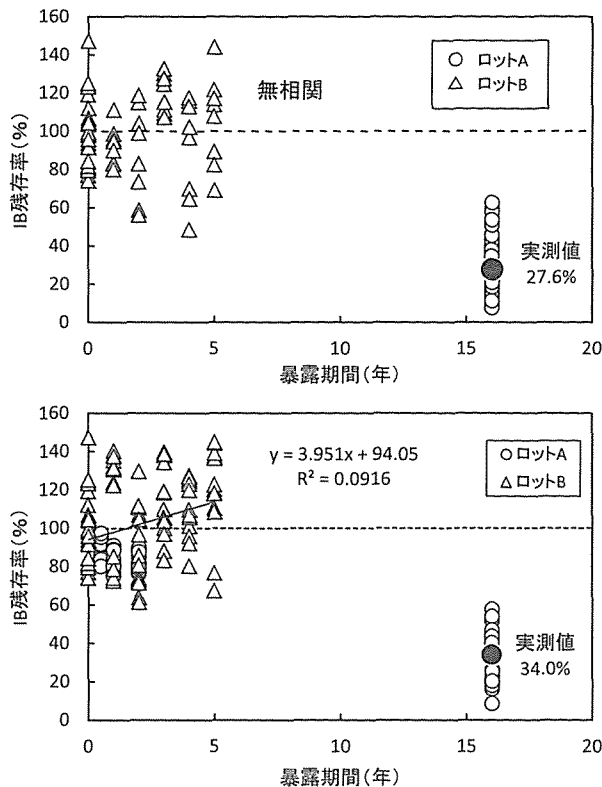


図11 暴露5年までのIB残存率の回帰直線による暴露16年目の推定  
(上・下図は、それぞれIB試験片がパネル端面を含むもの、含まないもの)

### 3) はく離強度（IB）の推定

前述のように、はく離強度（IB）は試験片の採取位置がパネル端面を含むか否かで異なった。そこで、IBの推定は端面を含む場合と含まない場合の2通りで行った。端面を含む場合、3種類の時間軸のいずれにおいてもIB残存率との関係は無相関となり、回帰直線が得られなかった（図11上を参照）。また、端面を含まない場合、時間軸を対数にすると無相関、暴露期間そのものおよび平方根では正の相関（図11下を参照）となり、いずれの時間軸の取り方でも推定は不可能であった。推定不可の要因の一つは、図11からも分かるように、IBが暴露5年まで低下しなかったことにある。通常、IBはボード厚さ中央付近に現れる最小密度部分の接着強度を示すが、耐水性の高いMタイプの接着剤が使用されていることに加え、MDFは表面の緻密性に富むために水分浸透が抑制された結果であると解釈できる。しかしながら、16年目にはIBが3割程度に劣化したのも事実であり、IBの劣化挙動を知るには10年程度の屋外暴露試験が必要と思われる。

### 4) 釘接合性能の推定

釘側面抵抗の推定の様子を図12に示す。残存率の実測値45.5%に対して、時間軸を暴露期間

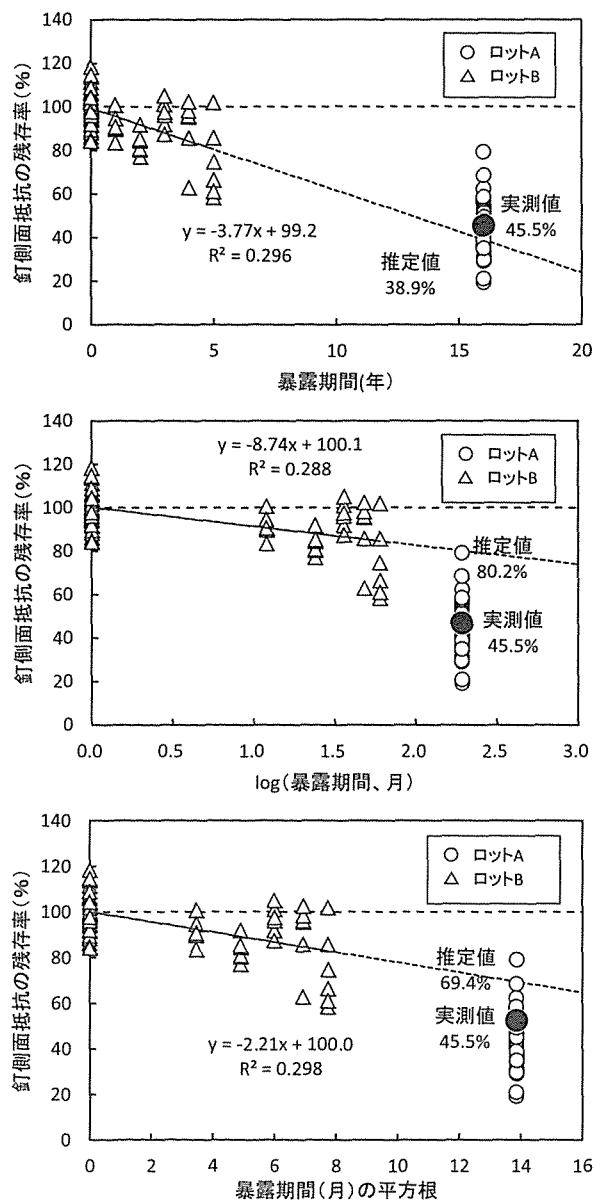


図12 暴露5年までの釘側面抵抗残存率の回帰直線による暴露16年目の推定  
(上・中・下図は、それぞれ時間軸に暴露期間そのもの、対数、平方根を採用)

そのものとした場合、推定値38.9%となった。実測値に近く、安全側の推定と言える。一方、時間軸に対数または平方根をとると、釘側面抵抗の劣化はかなり過小評価された。この結果より、釘側面抵抗では時間軸を暴露期間そのものとする場合に推定可能と言える。一方、図13には釘頭貫通抵抗の推定の様子を示した。時間軸を暴露期間そのものとした場合、無相関となり推定は不可であった。対数または平方根をとると相関は有意となり、推定値はそれぞれ、92.7%，

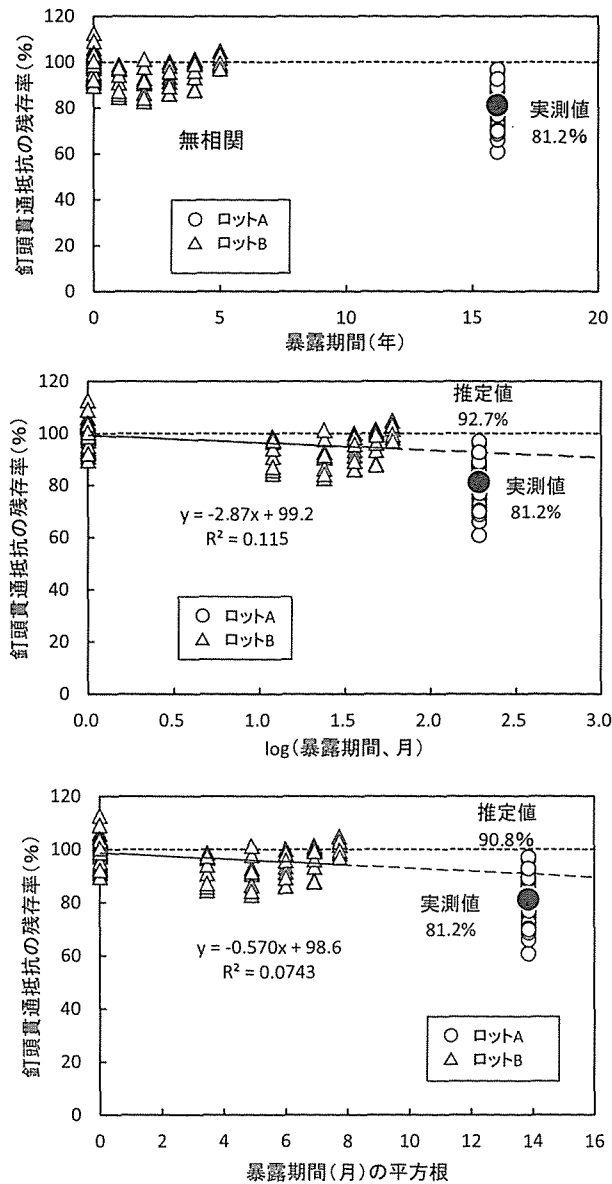


図13 暴露5年までの釘頭貫通抵抗残存率の回帰直線による暴露16年目の推定  
(上・中・下図は、それぞれ時間軸に暴露期間そのもの、対数、平方根を採用)

90.8%であった。実測値81.2%に対して10%程度高い値となり、かつ、危険側の推定となった。前述のIBと同様に、釘頭貫通抵抗も暴露5年までの劣化が少なく、それが推定を困難にしている要因の一つと言える。

表 6 短期暴露結果（５年）からの長期性能（16年）の推定可能性の評価

時間軸の取り方	物性の種類						
	TC	WL	MOR	MOE	IB	釘側面抵抗	釘頭貫通抵抗
暴露期間	3	4	2	2	0	4	0
暴露期間の対数	1	1	1	1	0	1	1
暴露期間の平方根	1	3	3	4	0	1	1
評点合計	5	8	6	7	0	6	2

数値は評点

4：実測値に近く、やや安全側の推定  
 3：実測値に近いが、やや危険側の推定  
 2：実測値に近いと言えないが、安全側の推定  
 1：実測値に近いとは言えず、かつ、危険側の推定  
 0：無相関または正の相関で推定不可

#### IV. ま と め

本研究では、盛岡市およびその近郊で実施した屋外暴露試験より、メラミン・ユリア樹脂接着剤を用いたMDF（JIS規格30Mタイプ）の耐久性に関して、次の二つの項目でいくつかの知見が得られた。

第1の項目は、比較的長期と言える暴露16年目の物性劣化である。16年にわたる長期の暴露では、暴露架台における試験体の位置が劣化進行に影響した。すなわち、雨がかりの影響が大きい架台上段の試験体は、下段よりも劣化の程度が大きかった。劣化の基本要素である重量減少率は、上段で12%，下段で8%であった。また、試験体の四周は雨水浸透の影響を受けやすいため内部に比べて厚さ膨張率が大きく、上段で16%，下段で13%となった。曲げ性能は、劣化の大きいパネル四周を避けて測定されたが、MOR残存率は上段で46%，下段で66%，MOE残存率は上段で32%，下段で51%となり、16年の屋外暴露を受けても初期値の3～7割を保持した。また、曲げ性能は、厚さ膨張が大きいほど低下する関係が明確に認められた。はく離強度の残存率は、上段で14～22%，下段で35～47%に分布し、試験片の採取位置の影響が現れた。下段の内部のように最も雨水の浸透を受けにくい部位では、はく離強度、すなわちボードの厚さ方向の最弱の接着強度は、初期値の半分程度を保持した。釘側面抵抗は劣化の大きなパネル端面付近（縁短距離12mm）で測定されたが、その残存率は上段で40%，下段で51%であり、同一部位のはく離強度の残存率（それぞれ、22%，43%）よりも高いことは興味深い。また、釘頭貫通抵抗の残存率は上段で77%，下段で86%であり、劣化の程度は他の物性に比べて小さかった。

第2の項目は、比較的短期の暴露試験からの長期性能劣化の推定可能性の検討である。表6に、前節で論じた結果を取りまとめた。推定可能性を評価するため、表6の欄外に記載した内容に評点を設け、物性および時間軸の取り方で評点を付け、さらに評点合計を算出した。評点合計の序列は、以下のようになった。

重量減少＞MOE＞MOR／釘側面抵抗＞厚さ膨張＞釘頭貫通抵抗＞はく離強度はく離強度や釘頭貫通抵抗の評点が低い要因は、暴露 5 年間では明確な劣化傾向が現れ難いためである。これらの劣化挙動を推定するには10年程度の屋外暴露試験が必要と思われる。また、最も良好な推定（評点 4）となる組み合わせは、時間軸を暴露期間そのものとした場合の重量減少と釘側面抵抗、暴露期間の平方根とした場合のMOEであった。

## 謝 辞

本研究は日本木材学会木質パネル研究会「木質パネル第 2 次耐久性プロジェクト」の一部として行った。関係諸氏のご協力に厚く御礼申し上げます。

## 引用文献

- (1) 日本住宅・木材技術センター (1984) 床用パーティクルボードの手引き, その品質と性能. 昭和59年3月, p70-79.
- (2) 鈴木滋彦 (2001) 木質ボード類の耐久性能評価. 木材工業56: 7-12.
- (3) 関野 登 (2003) 木質ボードの屋内外暴露試験. 木材工業58: 298-304.
- (4) Noboru SEKINO (2012) How durable are wood-based mat-formed panels? Bond durability evaluated by the weathering intensity under outdoor exposure. BIOCOMP2012 Workshop-The 21<sup>st</sup> Wood Based Panel Symposium, Nov. 27, Shizuoka, Japan, p63-72, ISBN978-4-88962-004-7
- (5) 高麗秀昭 (2012) 屋外暴露した中質繊維板の耐久性. 木材学会誌58: 347-356.
- (6) 日本木材学会木質パネル研究会 (2005) 木質パネル第 2 次耐久性プロジェクト中間報告書 (その 2), 日本木材加工技術協会第14回木質ボード部会シンポジウム要旨集. p1-68.
- (7) 日本規格協会 (2003) 日本工業規格 繊維板JIS A5905
- (8) 関野 登 (2003) マット成形パネルの接着耐久性. 木材工業技術短信21(2): 17-28.
- (9) 堀岡邦典 (1971) 木材および木質材料の接着耐久性. 木材学会誌17: 315-325.
- (10) 関野 登, 大熊幹章 (1986) 構造用パーティクルボードの耐久性能 (第 2 報) 床下地として実際使用した場合の曲げ性能について. 木材学会誌32: 163-169.

## 要 旨

メラミン・ユリア樹脂接着剤を用いたMDF（JIS規格30Mタイプ）が盛岡市内で16年間屋外暴露され、その劣化状態が調べられた。重量減少率は 8～12%，曲げ強度の残存率は46～66%，

曲げ弾性率の残存率は32～51%であった。また、はく離強度の残存率は、試験片採取位置に応じて14～47%に分布した。劣化の大きなパネル端面付近で測定された釘側面抵抗（縁短距離12 mm）は、残存率が40～51%であり、同一部位のはく離強度の残存率よりも高かった。また、釘頭貫通抵抗の残存率は77～86%であり、劣化の程度は他の物性に比べて小さかった。

一方、同種の市販MDFを用いた盛岡近郊における短期の屋外暴露試験（5年間）の結果を用いて、暴露16年目の各種物性の劣化状態が推定できるかを検討した。推定は時間軸を暴露期間そのもの、暴露期間の対数および平方根の3種類に対する回帰直線式の外挿で行った。最も良好な推定の組み合わせは、時間軸を暴露期間そのものとした場合の重量減少と釘側面抵抗、暴露期間の平方根とした場合のMOEであった。はく離強度や釘頭貫通抵抗は、暴露5年間で明確な劣化傾向が現れ難いため推定不可能であった。これらの長期の劣化挙動を推定するには10年程度の屋外暴露試験が必要と思われる。

The deterioration of melamine-urea-formaldehyde resin-bonded medium-density fiberboard (MDF; 30M-type in compliance with JIS A 5905) was analyzed after exposure to an outdoor environment for 16 years in Morioka, Japan. The mass loss was 8-12% and retained modulus of rupture and modulus of elasticity were 46-66% and 32-51% of the initial values, respectively. The boards retained 14-47% of the initial internal bond strength (IB), depending on the in-plane position of the test specimen. The lateral nail resistance 12 mm from the edge was 40-51%, which was greater than the IB retention measured at the same position. The nail-head pull-through resistance was 77-86% of the initial value and deteriorated least among mechanical properties tested.

Another outdoor exposure test was conducted using 30M-type MDF in a suburb of Morioka for 5 years. Methods of estimating deterioration after 16 years of exposure were investigated by analyzing deterioration for up to 5 years. Various board properties after 16 years of exposure were estimated by extrapolating regression equations obtained for three time scales: the year of exposure and the logarithm and square root of the exposure period. The validity of each method was evaluated by comparing estimated and measured values. The best estimations were obtained for mass loss and lateral nail resistance on a 1-year exposure time scale, whereas estimation of the modulus of elasticity was best on the square-root time scale. The IB and nail-head pull-through resistance could not be estimated because these properties did not show distinct trends over 5 years, suggesting that ~10 years of exposure are required to estimate the deterioration of these properties.