屋外暴露した中質繊維板の耐久性^{*1}

高麗秀昭^{*2}

Durability of Medium Density Fiberboard Subjected to Outdoor Exposure^{*1}

Hideaki KORAI^{*2}

MDI-bonded MDF (MDF(MDI)) and phenol formaldehyde resin bonded particleboard (PB(PF)) were subject to outdoor exposure to investigate their durability. The retention of modulus of rupture, internal bond, nail-head pull-through, and lateral nail resistance of PB(PF) was 46.5, 16.9, 60.9, and 28.0%, respectively, and for MDF(MDI) was 77.1, 96.7, 86.4, and 87.8%, respectively, during a five-year outdoor exposure test at Tsukuba. For the same tests at Miyakonojo, the retention of modulus of rupture, internal bond strength, nail-head pull-through, and lateral nail resistance of PB(PF) was 24.1, 6.73, 52.5, and 22.6%, respectively, and for MDF(MDI) was 75.1, 100, 87.9, and 66.8%, respectively. All retentions of PB(PF) at Miyakonojo, subject to high temperature and precipitation, exceeded those at Tsukuba, but there were no differences between MDF(MDI) at Tsukuba and Miyakonojo. The high durability of MDF was attributable to its smoother surface compared to PB(PF), which prevented rainwater from remaining on the surface and infiltrating into the board due to fiber intertwining.

Keywords: outdoor exposure, medium density fiberboard, particleboard, durability, biodegradation.

接着剤としてMDIを用いたMDF(MDI)とフェノール樹脂を用いたパーティクルボード(PB(PF))を屋外に暴露し、その耐久性を調べた。つくばに5年間暴露したPB(PF)の曲げ強さ、剥離強さ、釘頭貫通力、側面抵抗力の残存率は46.5、16.9、60.9、28.0%であり、MDF(MDI)は77.1、96.7、86.4、87.8%であった。都城では、PB(PF)のこれらの残存率は24.1、6.73、52.5、22.6%であり、MDF(MDI)では75.1、100、87.9、66.8%であった。気温と降水量がつくばより高い都城のPB(PF)のすべての残存率がつくばより低下したが、都城のMDF(MDI)とつくばには大きな差異はなかった。MDFは表面の平滑性が高く、雨水が表面に滞留しにくい、さらに、繊維の絡み合いの効果により内部に雨水が浸透しにくいため高い耐久性があると考えられる。

1. 緒 言

木質パネルの耐久性評価試験方法の一つに屋外暴露試験がある¹⁻³⁾。特に外国では木質ボードの屋外暴露試験の報告は多かった⁴⁻⁶⁾。しかし、国内では合板の屋外暴露試験に関しての実施例はあるが、ボ

ードの実施例は少なかった⁷⁾。そこで、本研究では国内8地域(旭川、盛岡、能代、つくば、静岡、岡山、真庭(岡山北部)、都城)に木質ボードを屋外暴露し、その耐久性を解析した⁸⁾。その結果、屋外暴露によりパーティクルボードなどは性能の低下が認められたが、MDF(Medium density fiberboard)は大きな性能の低下が認められなかった。以前より、MDFの性能は屋外暴露により低下しないことが報告されていた。しかし、それは一部の地域の報告であり^{9,10)}、本研究のように様々な気象条件下で暴露した場合のMDFの高い耐久性を報告した例はない。このような大きな規模で木質ボードの

^{*1} Received May 25, 2012; accepted June 27, 2012.

^{*2} 森林総合研究所 Forestry and Forest Products Research Institute, Tsukuba 305-8687, Japan
Corresponding author: H. Korai (korai@ffpri.affrc.go.jp)

屋外暴露試験を実施したのは日本でははじめてである。また、従来の屋外暴露試験では曲げ強さや剥離強さなどの基本的な性能の解析が中心であったが、本研究では、釘頭貫通力、側面抵抗力などの釘接合性能試験も実施し、その性能を解析した。MDFは面材料として住宅の壁などに使用されることが多いが、その場合、釘で接合される。したがって、釘接合性能試験を実施することは重要である。本研究は、曲げ強さや剥離強さに加えて釘頭貫通力、側面抵抗力を解析し、MDFの高い耐久性を明らかにすることを目的とした。

2. 実 験

2.1 屋外暴露

屋外暴露したMDFには接着剤の異なる2種類のボードを供試した。一つはMDI (Methylene diphenyl diisocyanate : MDI) を用いた厚さ9mmのMDF (MDF(MDI)) であり、もう一つはメラミン・ユリア共縮合樹脂 (melamine-urea-formaldehyde resin : MUF) を用いた厚さ12mmのMDF (MDF(MUF)) である。比較としてフェノール樹脂 (Phenol-formaldehyde resin : PF) を用いたパーティクルボード (PB(PF)) も屋外暴露した。これらのボードは工場で製造された市販品であり、接着剤やワックスの添加率などの詳細な情報はわからない。JIS規格の分類では、MDF(MDI) は30M⁽¹⁾、MDF(MUF) は30M⁽¹⁾、PB(PF) は18P⁽²⁾ である。これらのボードの基本的な性能をTable 1に示すが、詳細は文献⁸⁾を参照していただきたい。これらのボードの原板 (900×1800 mm) から300×300 mmの寸法の試験体に裁断した。300×300 mmの試験体を曲げ試験用と釘接合性能用に分け、前者は端部を防水剤でコーティングし、後者はコーティングをしなかった。釘接合性能用の試験体にステンレス釘を打ち込み、それを屋外に暴露した⁸⁾。暴露角度は地面に対して90度 (垂直)、南向きに暴露した。屋外暴露

は2004年から2009年の5年間実施した。1年ごとに各ボード2枚の試験体を採取し、その性能を評価した。

2.2 性能試験

暴露架台から採取された試験体を温度20℃、相対湿度65%の恒温恒湿室に約1ヶ月間養生した。JIS A 5905⁽¹⁾ およびJIS A 5908⁽²⁾ に準じて、曲げ強さ試験、剥離試験を実施した。曲げ強さ試験の試験体の寸法は275×50 mm、スパン長は180 mmとした。曲げ強さの算出に際して、屋外暴露したボードを恒温恒湿室で養生後の厚さを用いた。剥離強さ試験の試験体の寸法は50×50 mmとした。剥離強さ試験の試験体の表面が荒れていたため、両表面を3 mm程度研磨して、表面の荒れている箇所を取り除き剥離強さ試験を実施した。曲げ強さ試験および剥離強さ試験の試験体数はそれぞれ8および13とした。曲げ強さ試験と剥離強さ試験の暴露前の初期値の試験体数はそれぞれ30と30とした。また、JIS規格^{(1), (2)}の吸水厚さ膨張率試験に準じて5年目のボードを水中に浸せきし、吸水率を求めた。吸水率試験の試験体数は13とした。さらに暴露試験前のボード重量と5年目のそれより、重量減少率を求めた。重量減少率が負の値となった場合は0%とした。

また、ASTM D 1037-96a⁽³⁾ に準じて、釘頭貫通力試験および側面抵抗力試験 (縁端距離12 mm) を実施した。釘を打ちこんだ試験体 (300×300 mm) から釘頭貫通力試験用および側面抵抗力試験用の試験体を切り出した。それぞれの寸法を50×50 mmと50×90 mmとし、試験体数をそれぞれ6と6とした。釘頭貫通試験および側面抵抗試験の初期値の試験体数はそれぞれ30および30とした。

曲げ強さ試験と剥離強さ試験は8地域すべて実施したが、釘頭貫通力試験と側面抵抗力試験は盛岡、つくば、岡山、都城の4地域でのみ実施し、他の4地域では実施しなかった。曲げ強さ試験と剥離強さ試験はPB(PF)、MDF(MDI)、MDF(MUF) で実

Table 1. Abbreviations and basic properties of boards before outdoor exposure.

Abbreviations	Board type	Adhesive	Classification	MOR		IB		NHPT		LNR	
				Mean (MPa)	CV (%)	Mean (MPa)	CV (%)	Mean (kN)	CV (%)	Mean (kN)	CV (%)
PB(PF)	PB	PF	18P ^{a)}	20.3(2.29)	11.3	0.830(0.09)	10.8	1.70(0.15)	8.82	1.74(0.24)	13.8
MDF(MDI)	MDF	MDI	30M ^{b)}	36.1(2.44)	6.76	1.22(0.19)	15.6	1.85(0.13)	6.89	1.34(0.11)	8.35
MDF(MUF)	MDF	MUF	30M ^{b)}	45.4(2.94)	6.48	0.620(0.11)	17.7				

PB, particleboard; MDF, medium density fiberboard; PF phenol formaldehyde resin; MDI, methylene diphenyl diisocyanate; MUF, melamine urea formaldehyde resin; a), in compliance with JIS A 5908; b), in compliance with JIS A 5905; MOR, modulus of rupture; IB, internal bond; NHPT, nail-head pull-through; LNR, lateral nail resistance; the numbers in the parentheses indicate standard deviations; CV, coefficient of variation

施した。釘頭貫通力試験と側面抵抗力試験はPB(PF)およびMDF(MDI)で実施し、MDF(MUF)では実施しなかった。

3. 結果および考察

3.1 各屋外暴露地の気象

屋外暴露によるボードの耐久性に影響を与える気象要因として気温、降水量、日照時間などが考えられるが、Kojimaらは夏季の平均気温と降水量が高い地域のボードが激しく劣化するとしている¹⁴⁾。そこで、本研究では年平均気温と年間降水量に着目し、各試験地の2004年4月から2009年3月までのこれらをTable 2に示す¹⁵⁾。8地域の暴露地の中で、旭川が最も北に位置するため、平均気温も最も低く7.2℃であった。それに対して、最も南に位置する都城のそれは17.0℃であった。旭川は降水量が最も少なく、946 mmであった。それに対して、都城は降水量も最も多く、2550 mmであった。気温と降水量は北にある旭川が最も低く、南にある都城が最も高かった。旭川に暴露したMDFの劣化が穏やかであり、都城に暴露したMDFが激しく劣化することが予想される。

3.2 曲げ強さ

旭川、つくば、都城のMDF(MDI)およびPB(PF)の曲げ強さの残存率の変化をFig. 1に示す。なお、暴露地は8地域であったが、平均気温と降水量が最も低い旭川、これらが最も高い都城、これら2地域と比べて中間に位置するつくばの3地域の残存率を示した。

旭川のPB(PF)の残存率は1年目で73.4%に低下し、4年目まで穏やかに低下した。そして5年目に31.2%に急激に低下した。つくばのPB(PF)の残存率は旭川より低く、1年目の残存率は69.2%であったが、5年目には46.5%へ減少した。都城のPB(PF)の残存率はつくばより低下した。1年目

Fig. 1. Relationships between years of exposure and MOR retention of MDF(MDI) and PB(PF). MOR, modulus of rupture. See Table 1 for the abbreviations.

の残存率は38.9%であり、5年目には24.1%へ減少した。都城の気温と降水量は旭川やつくばより高く、屋外暴露の気象条件としては8地域の中で最も厳しい。その結果、都城のPB(PF)の残存率は大きく低下したと考えられる。それに対して、3地域のMDF(MDI)の残存率に差異はなく、1年目で約90%の残存率が5年目で約75%へ穏やかに低下した。8地域のMDF(MDI)の曲げ強さの平均をTable 3に示すが、厳しい気象条件である都城を含めたすべての地域でMDF(MDI)の曲げ強さの低下の傾向がほぼ同じであった。

旭川、つくば、都城のMDF(MUF)の曲げ強さの残存率の変化をFig. 2に示す。旭川のMDF(MUF)の残存率だけ4年目および5年目で低下しなかったが、つくばと都城のMDF(MUF)に差異はなく、緩やかに低下した。8地域のMDF(MUF)の曲げ強さの平均をTable 3に示すが、基本的には旭川も含めて、MDF(MDI)と同様にMDF(MUF)でも8地域の差異はなかった。しかし、旭川の除く他の地域のMDF(MUF)の残存率はMDF(MDI)のそれより低下した。先述したようにMDF(MDI)の残存率は5年目でも約75%であった。それに対して、MDF(MUF)の残存率は1年目で約90%であったが、5年目で約65%に低下した。MDF(MUF)は耐水性の低いMUFを接着剤に用いたためと考えられる¹⁶⁾。

Table 2. Annual mean temperature and annual precipitation of 8 areas for outdoor exposure from 2004 to 2009.

Area	Temperature(°C)	Precipitation(mm)
Asahikawa	7.2	946
Morioka	10.5	1315
Noshiro	11.5	1470
Tsukuba	14.3	1396
Shizuoka	16.9	2304
Okayama	16.7	1057
Maniwa	14.1	1385
Miyakonojo	17.0	2550

Table 3. Modulus of rupture of MDF (MDI) and MDF (MUF) subjected to outdoor exposure.

	Years of exposure	Modulus of rupture			
		MDF (MDI)		MDF (MUF)	
		Mean (MPa)	CV (%)	Mean (MPa)	CV (%)
Asahikawa	1	30.4 (1.51)	4.96	39.4 (0.86)	2.17
	2	29.8 (0.95)	3.18	39.9 (1.15)	2.88
	3	29.7 (1.82)	6.11	35.2 (3.78)	10.7
	4	28.6 (1.97)	6.88	35.5 (2.95)	8.31
	5	27.9 (2.08)	7.47	40.1 (2.52)	6.28
Morioka	1	35.3 (4.02)	11.4	42.9 (5.07)	11.8
	2	29.9 (2.66)	8.90	41.0 (1.83)	4.46
	3	30.5 (1.26)	4.12	35.9 (2.64)	7.35
	4	30.1 (2.17)	7.22	34.6 (2.70)	7.78
	5	25.9 (1.51)	5.85	34.7 (2.57)	7.39
Noshiro	1	31.8 (1.90)	5.97	38.2 (3.40)	8.90
	2	31.4 (1.28)	4.06	41.2 (1.71)	4.15
	3	31.0 (3.39)	10.9	42.9 (1.32)	3.08
	4	31.2 (2.16)	6.94	37.2 (4.13)	11.1
	5	29.4 (1.19)	4.03	31.5 (3.04)	9.66
Tsukuba	1	32.4 (1.74)	5.36	39.8 (4.39)	11.0
	2	29.3 (0.97)	3.32	40.1 (1.17)	2.91
	3	28.8 (1.36)	4.72	32.2 (0.73)	2.26
	4	29.0 (1.20)	4.15	31.1 (2.93)	9.44
	5	27.8 (1.82)	6.54	28.2 (3.96)	14.0
Shizuoka	1	41.6 (3.93)	9.46	45.4 (3.53)	7.78
	2	34.8 (1.02)	2.93	41.0 (2.38)	5.80
	3	26.2 (1.23)	4.69	31.9 (2.14)	6.71
	4	33.2 (2.28)	6.87	36.7 (3.56)	9.69
	5	31.1 (2.52)	8.12	26.9 (1.57)	5.84
Maniwa	1	33.2 (3.14)	9.46	44.9 (3.29)	7.33
	2	28.7 (1.58)	5.51	36.2 (3.26)	9.00
	3	30.0 (0.83)	2.75	39.3 (6.31)	16.1
	4	27.5 (2.09)	7.59	32.9 (5.08)	15.5
	5	27.7 (1.41)	5.11	27.8 (3.77)	13.5
Okayama	1	33.2 (3.81)	11.5	41.7 (2.01)	4.83
	2	26.9 (1.33)	4.94	37.5 (3.11)	8.28
	3	29.9 (0.69)	2.31	34.0 (3.35)	9.85
	4	25.5 (1.05)	4.13	30.0 (5.09)	17.0
	5	26.4 (1.01)	3.82	31.9 (4.63)	14.5
Miyakonojo	1	32.0 (3.30)	10.3	39.6 (1.87)	4.73
	2	30.6 (0.92)	2.99	42.3 (4.82)	11.4
	3	30.4 (1.95)	6.42	34.6 (3.75)	10.8
	4	28.1 (2.31)	8.21	29.8 (4.31)	14.5
	5	27.1 (1.89)	6.97	29.1 (2.11)	7.27

See Table 1 for the abbreviations; the numbers in parentheses indicate standard deviations; CV, coefficient of variation

以上より、両 MDF の曲げ強さは、気象条件にかかわらず屋外暴露試験で PB(PF) に比べて低下しないことが明らかになった。一般的に接着剤の耐水性は、MUF<PF≒MDI と考えられている¹⁶⁾。先述したように本研究では市販品を使用したため、接着剤の種類等を統一することが困難であったが、耐水性接着剤を使用した PB(PF) の残存率が耐水性の低い接着剤を使用した MDF(MUF) のそれより低

いことは、残存率の低下は接着剤が原因ではなく、他に原因があることが考えられる。

MDF(MDI) および MDF(MUF) の曲げ強さの変動係数も Table 3 に示してあるが、8 地域の両 MDF の変動係数は一部の地域を除いて10%以下の低い値であった。Table 1 より初期の変動係数も低く、屋外暴露によって変動係数が高くならなかった。それに対して、PB(PF) の曲げ強さの初期の変動

Fig. 2. Relationships between years of exposure and MOR retention of MDF(MUF). MOR, modulus of rupture. See Table 1 for the abbreviations.

Fig. 3. Relationships between years of exposure and IB retention of MDF(MDI) and PB(PF). IB, internal bond. See Table 1 for the abbreviations.

係数は11.7%であるが (Table 1), 旭川, つくば, 都城のPB(PF)の曲げ強さの変動係数 (Table 4)は屋外暴露により増加し, 両MDFのそれより高かった。両MDFは屋外暴露によって大きな劣化は生じなかったが, PB(PF)は屋外暴露により劣化した。特に, 局所的により大きな劣化が生じた。その結果, 曲げ強さが極端に低い箇所が局所的に生じ, 変動係数が高くなったと考えられる。

3.3 剥離強さ

旭川, つくば, 都城のMDF(MDI)およびPB(PF)の剥離強さの残存率の変化をFig. 3に示す。剥離強さはボードの結合力が最も低い箇所が生ずるため, ボードの中心層で破壊することが一般的である¹⁷⁾。しかし, ボードを屋外暴露した場合, 表層の劣化が激しいため, 中心層で破壊せずに表層で破壊する可

能性が高い。そこで, 本研究では, 先述したようにボードの表面は削除し, 中心層で破壊するようにした。

MDF(MDI)の曲げ強さの残存率は暴露期間が長くなるとともに穏やかに低下したが (Fig. 1), MDF(MDI)の剥離強さの残存率はほとんど低下しなかった。また, 8地域のMDF(MDI)の剥離強さの平均をTable 5に示すが, 8地域とも差異はなかった。それに対して, PB(PF)の剥離強さの残存率は低下し, 暴露期間が長くなるにしたがってさらに低下した。一方, 5年目の旭川, つくば, 都城のPB(PF)の曲げ強さの残存率はそれぞれ31.2, 46.5, 24.1%であったが (Fig. 1), これらの剥離強さの残存率はそれぞれ43.4, 16.9, 6.73%であった。つくばと都城では剥離強さの残存率が曲げ強さのそ

Table 4. Coefficient of variation of MOR, IB, NHPT and LNR of PB (PF) subjected to outdoor exposure.

Years of exposure	Coefficient of variation (%)												
	Asahikawa		Morioka			Tsukuba				Miyakonojo			
	MOR	IB	IB	NHPT	LNR	MOR	IB	NHPT	LNR	MOR	IB	NHPT	LNR
1	11.0	9.08	13.4	5.63	20.1	11.4	14.3	9.76	26.7	24.1	19.5	5.00	7.84
2	8.03	8.77	24.1	11.2	14.9	8.08	37.7	7.55	23.7	33.9	55.6	9.22	14.1
3	14.5	15.5	26.3	12.1	16.2	21.9	39.6	17.3	8.32	25.8	48.8	18.7	10.4
4	14.8	21.8	29.9	7.69	25.7	37.8	58.5	13.2	9.21	8.81	37.7	11.7	20.3
5	23.7	68.5	57.3	18.9	15.8	27.1	81.9	7.55	12.4	15.0	37.5	7.16	13.4

MOR, modulus of rupture; IB, internal bond; NHPT, nail-head pull-through; LNR, lateral nail resistance; See Table 1 for the abbreviations

Table 5. Internal bond of MDF(MDI) and MDF(MUF) subjected to outdoor exposure.

	Years of exposure	Internal bond			
		MDF(MDI)		MDF(MUF)	
		Mean (MPa)	CV (%)	Mean (MPa)	CV (%)
Asahikawa	1	1.39 (0.23)	16.5	0.70 (0.04)	5.29
	2	1.53 (0.05)	3.32	0.83 (0.04)	5.24
	3	1.37 (0.13)	9.60	0.76 (0.06)	7.53
	4	1.15 (0.23)	20.0	0.81 (0.05)	5.77
	5	1.24 (0.11)	8.92	0.77 (0.06)	7.76
Morioka	1	1.49 (0.29)	19.5	0.72 (0.17)	23.7
	2	0.96 (0.32)	33.2	0.56 (0.13)	23.8
	3	1.36 (0.13)	9.67	0.70 (0.12)	17.2
	4	1.33 (0.17)	13.1	0.69 (0.09)	13.8
	5	1.26 (0.17)	13.6	0.74 (0.15)	20.3
Noshiro	1	1.44 (0.14)	9.73	0.83 (0.09)	10.7
	2	1.00 (0.36)	36.2	0.57 (0.20)	35.6
	3	1.13 (0.28)	24.9	0.65 (0.13)	19.9
	4	1.28 (0.26)	20.4	0.60 (0.13)	21.1
	5	1.30 (0.28)	21.2	0.70 (0.11)	15.6
Tsukuba	1	1.14 (0.16)	13.8	0.66 (0.11)	16.1
	2	1.15 (0.27)	23.7	0.64 (0.10)	15.0
	3	0.99 (0.32)	32.3	0.78 (0.08)	10.6
	4	1.12 (0.25)	22.3	0.61 (0.13)	21.2
	5	1.18 (0.09)	7.39	0.54 (0.09)	17.3
Shizuoka	1	1.44 (0.11)	7.68	0.79 (0.05)	5.76
	2	1.27 (0.08)	6.30	0.60 (0.06)	9.46
	3	1.19 (0.09)	7.38	0.63 (0.09)	14.9
	4	1.32 (0.30)	22.4	0.70 (0.09)	13.6
	5	1.19 (0.09)	7.27	0.59 (0.08)	13.1
Maniwa	1	1.30 (0.19)	14.4	0.75 (0.20)	26.2
	2	1.22 (0.10)	8.27	0.59 (0.08)	13.4
	3	1.03 (0.24)	22.8	0.60 (0.11)	17.9
	4	1.05 (0.07)	6.48	0.65 (0.10)	14.7
	5	1.37 (0.12)	8.93	0.70 (0.13)	18.7
Okayama	1	1.48 (0.19)	12.7	0.69 (0.13)	19.5
	2	1.23 (0.09)	7.55	0.70 (0.15)	21.3
	3	1.39 (0.19)	13.7	0.65 (0.11)	17.5
	4	0.90 (0.06)	6.70	0.52 (0.10)	19.5
	5	1.23 (0.05)	3.99	0.69 (0.09)	13.5
Miyakonojo	1	1.49 (0.19)	12.7	0.93 (0.07)	7.85
	2	1.43 (0.11)	7.43	0.88 (0.08)	8.63
	3	1.52 (0.10)	6.56	0.76 (0.07)	9.14
	4	1.31 (0.17)	13.2	0.68 (0.12)	17.0
	5	1.32 (0.14)	10.3	0.74 (0.05)	7.15

See Table 1 for the abbreviations ; the numbers in the parentheses indicate standard deviations ; CV, coefficient of variation

れより低下した。特に都城の剥離強さの残存率は1年目から大きく低下し、4、5年目で約7%であった。この点からも都城の気象条件が厳しいことがわかる。

旭川、つくば、都城のMDF(MUF)の剥離強さの残存率の変化をFig.4に示す。MDF(MUF)の剥離強さの残存率もMDF(MDI)と同様に高かった。また、8地域のMDF(MUF)の剥離強さの平

Fig. 4. Relationships between years of exposure and IB retention of MDF(MUF). IB, internal bond. See Table 1 for the abbreviations.

均を Table 5 に示すが、MDF(MDI) と同様に 8 地域とも差異はなかった。曲げ強さの残存率では、MDF(MUF) の方が MDF(MDI) より低かったが、剥離強さの残存率では両者とも非常に高く、約 100% であった。接着剤の耐久性は MUF の方が MDI より低い^{16, 18)}、MDF(MUF) の剥離強さの残存率が約 100% であったことは特筆に値する。

3.4 MDF の耐久性

先述したように、MDF(MDI) および MDF(MUF) の曲げ強さの残存率は、暴露期間が長くなると穏やかに低下したが、両者の剥離強さの残存率は、気象条件にかかわらず、暴露期間が長くなっても低下することなく、約 100% であった。曲げ強さは表層が劣化すれば低下するが¹⁹⁾、剥離強さは中心層で破壊するため、中心層の劣化の指標となる¹⁷⁾。ボードを屋外暴露すれば、その表層は日射や雨水により激しく劣化する。そのため、両 MDF の曲げ強さは緩やかに低下したと考えられる。それに対して、両 MDF の剥離強さが低下しなかったことより、ボード中心部に雨水が浸透せず、劣化しなかったことが考えられる²⁰⁾。一方、5 年目のつくばと都城における PB(PF) の剥離強さの残存率は曲げ強さのそれより低かった。ボードの表層は日射と雨水を直接受け、表層の劣化は中心層より激しいはずである。そのため、PB(PF) の曲げ強さの残存率は剥離強さのそれより低下するはずであるが、実際には、剥離強さの残存率が曲げ強さのそれより低下した。

MDF とパーティクルボードの相違は原料の形状である。前者は繊維であり、後者はパーティクルである。さらに後者の表層は微細なパーティクルである。原料の密着性の点では、繊維はパーティクルより高いと考えられる。さらに、繊維には繊維同士の絡み合いの効果があり、いっそう、それらの密着性が高くなると考えられる^{9, 10)}。この繊維の高い密着性が MDF の中心層への水の浸透を防ぐ。また、高い密着性が、MDF の表面をパーティクルボードよりも平滑にする。その結果、MDF に雨水がかかってもすぐに流れ落ちるため、雨水が MDF の内部までいっそう浸透しにくいと考えられる。Table 6 に 5 年目の吸水率を示すが、実際に MDF の吸水率はパーティクルボードのそれより低かった。そのため MDF の中心層は劣化しなかったと考えられる。一方、パーティクルボードの表層の密着性は MDF のそれよりも低く、パーティクルボードの表面に雨水がかかると表面が荒れて、毛羽立つ²¹⁾。その結果、パーティクルボードの表面には雨水が滞留しやすく、その中心層にまで水が浸透しやすくなる²¹⁾。そのためパーティクルボードの中心層は劣化した。Table 6 より実際に PB(PF) の吸水率は高く、しかも、都城の吸水率は旭川やつくばの約 2 倍であった。結果として、パーティクルボードの剥離強さの残存率は大きく低下したが、MDF のそれは高い残存率を維持した。

さらに PB(PF) の剥離強さの残存率が曲げ強さのそれより低かった理由に生物劣化が考えられる。生物劣化の指標に重量減少率があるが、Table 7 に 5 年目の重量減少率を示す。旭川およびつくば、都

Table 6. Water absorption after five-year outdoor exposure.

	Water absorption (%)		
	MDF(MDI)	MDF(MUF)	PB(PF)
Asahikawa	11.6 (1.19)	7.64 (0.79)	47.9 (27.3)
Tsukuba	21.4 (0.85)	20.0 (1.36)	42.0 (16.2)
Miyakonojo	20.5 (1.71)	30.3 (2.03)	88.9 (7.87)

See Table 1 for the abbreviations

Table 7. Mass loss after five-year outdoor exposure.

	Mass loss (%)		
	MDF(MDI)	MDF(MUF)	PB(PF)
Asahikawa	3.27	1.20	4.11
Tsukuba	3.42	2.81	8.98
Miyakonojo	4.39	2.66	10.1

See Table 1 for the abbreviations

城のPB(PF)の重量減少率はMDFのそれより高かった。さらに、都城のPB(PF)の重量減少率は10.1%となり、旭川やつくばのそれより高かった。PB(PF)は雨水の浸透により膨張し、その中心層に空隙が多く生じた。そこに生物劣化が生じたと考えられる^{9, 10)}。特に気温と降水量が高い都城のPB(PF)の劣化が激しかった。ボードの表層は日射や雨水の影響を直接受けるので中心層より劣化しやすいが、一方で、表層は風通しが良く、雨水でぬれても乾きやすい。それに対して、ボードの中心層は乾きにくく、生物劣化が生じやすいと考えられる。そのため、PB(PF)の表層より中心層がより劣化し、PB(PF)の剥離強さの残存率は曲げ強さのそれより低下したと考えられる。

MDF(MDI)およびMDF(MUF)の剥離強さの変動係数をTable 5に示す。PB(PF)の剥離強さの変動係数(Table 4)は、両MDFの剥離強さのそれより高かった。特に、旭川およびつくばのPB(PF)の5年目の変動係数は、それぞれ68.5および81.9%であり、非常に高かった。これはボードに局所的なより大きな劣化が生じたため極端に低い剥離強さが混在し、変動係数が高くなったと考えられる。それに対して、両MDFはボードの局所的な劣化が一切生じず、ボード全体の健全さを維持したため、変動係数が低かったと考えられる。一方、都城のPB(PF)の5年目の剥離強さの変動係数はつくばや旭川より低く、37.5%であった。都城の剥離強さの残存率が6.73%と非常に低いことより(Fig. 3)、ボードの剥離強さが偏りなく、全体的に大きく低下した。そのため、局所的に剥離強さが高い箇所がなく、すべての剥離強さが低くなり、変動係数も低下したと考えられる。

3.5 釘頭貫通力および側面抵抗力

盛岡、つくば、都城のMDF(MDI)およびPB(PF)の釘頭貫通力の残存率の変化をFig. 5に示す。曲げ強さおよび剥離強さの残存率では旭川のデータを使用した。先述したように、釘接合性能試験は旭川では実施しなかったため、その代わりに盛岡のデータを示す。また、曲げ強さと剥離強さはMDF(MDI)およびMDF(MUF)の両MDFで実施したが、釘接合性能試験はMDF(MDI)のみで実施したため、MDF(MDI)のデータのみを示す。盛岡のPB(PF)の釘頭貫通力の残存率は暴露期間にかかわらず高かったが、つくばと都城では暴露期間が長くなるにつれ、釘頭貫通力の残存率は穏やかに低下した。5年目のつくばと都城のPB(PF)の残存率はそれぞれ60.9と52.5%であった。これらの残存率は曲げ強さ

Fig. 5. Relationships between years of exposure and NHPT retention of MDF (MDI) and PB (PF). NHPT, nail-head pull-through. See Table 1 for the abbreviations.

や剥離強さのそれより高く、PB(PF)の釘頭貫通力は屋外暴露で大きく低下しなかった。また、曲げ強さや剥離強さと同様にMDF(MDI)の釘頭貫通力の残存率は地域間の差異はなく、さらに、5年目でも残存率は低下しなかった。

盛岡、つくば、都城のMDF(MDI)およびPB(PF)の側面抵抗力の残存率の変化をFig. 6に示す。3地域のPB(PF)の側面抵抗力の残存率は暴露期間が長くなると大きく低下し、5年目の盛岡、つくば、都城の残存率はそれぞれ27.6, 28.0, 22.6%であった。それに対して、この3地域のMDF(MDI)の側面抵抗力の残存率は、PB(PF)のそれより高く、それぞれ74.7, 87.8, 68.8%であった。

以上より、MDF(MDI)の釘頭貫通力および側面抵抗力は曲げ強さや剥離強さと同様に気象条件にかかわらずPB(PF)に比べて低下しないことが明らかになった。先述したようにMDFはボード内部に雨水が浸透しにくいために釘頭貫通力および側面抵抗力も大きく低下しなかったと考えられる。

PB(PF)の釘頭貫通力および側面抵抗力の変動係数をTable 4に示す。盛岡、つくば、都城のこれらの変動係数は剥離強さのそれに比べて低かった。また、MDF(MDI)の釘頭貫通力および側面抵抗力の変動係数をTable 8に示す。ここでも地域に差異はなく、変動係数は低かった。地域にかかわらず、釘頭貫通力および側面抵抗力の変動係数は、PB

Fig. 6. Relationships between years of exposure and LNR retention of MDF(MDI) and PB(PF). LNR, lateral nail resistance. See Table 1 for the abbreviations.

(PF) および MDF(MDI) の両方で低いことが明らかとなった。

4. 結 論

MDF(MDI), MDF(MUF), PB(PF) を屋外に暴露し、以下の結論を得た。

1. MDF(MDI) および MDF(MUF) の曲げ強さは、気象条件にかかわらず、暴露期間が長くなると緩やかに低下したが、PB(PF) のそれは大きく低下した。
2. MDF(MDI) および MDF(MUF) の剥離強さは、気象条件にかかわらず、暴露期間が長くなってもほとんど低下しなかったが、PB(PF) のそれは大きく低下した。
3. MDF(MDI) の釘頭貫通力および側面抵抗力は、気象条件にかかわらず、屋外暴露試験であまり低下しなかったが、PB(PF) のそれらは低下した。特に PB(PF) の側面抵抗力は大きく低下した。
4. PB(PF) に比べて MDF はボード内部に雨水が浸透しにくいために曲げ強さおよび剥離強さ、釘頭貫通力、側面抵抗力が大きく低下しなかったと考えられる。
5. MDF の耐久性が高いことが明らかとなり、

Table 8. NHPT and LNR of MDF(MDI) subjected to outdoor exposure.

	Years of exposure	NHPT		LNR	
		Mean (kN)	CV (%)	Mean (kN)	CV (%)
Morioka	1	1.41 (0.08)	5.68	1.23 (0.07)	5.74
	2	1.39 (0.10)	7.04	1.12 (0.06)	5.62
	3	1.42 (0.08)	5.64	1.29 (0.08)	5.98
	4	1.47 (0.08)	5.69	1.21 (0.18)	14.6
	5	1.54 (0.05)	2.95	1.00 (0.20)	20.3
Tsukuba	1	1.41 (0.06)	4.07	1.54 (0.09)	5.82
	2	1.51 (0.06)	3.93	1.43 (0.14)	9.80
	3	1.32 (0.05)	4.08	1.30 (0.06)	4.45
	4	1.36 (0.07)	5.01	1.43 (0.10)	7.00
	5	1.32 (0.06)	4.37	1.18 (0.23)	19.6
Okayama	1	1.40 (0.07)	4.82	1.09 (0.19)	17.3
	2	1.47 (0.13)	8.65	1.13 (0.16)	14.4
	3	1.44 (0.12)	8.60	1.05 (0.21)	20.3
	4	1.36 (0.10)	7.49	0.98 (0.27)	27.5
	5	1.24 (0.15)	11.7	1.04 (0.09)	8.19
Miyakonojo	1	1.34 (0.08)	6.24	1.29 (0.09)	6.83
	2	1.41 (0.07)	4.71	1.16 (0.10)	8.24
	3	1.46 (0.17)	12.0	1.25 (0.15)	11.7
	4	1.35 (0.07)	5.07	1.08 (0.10)	9.62
	5	1.34 (0.07)	5.55	0.90 (0.03)	3.68

NHPT, nail-head pull-through; LNR, lateral nail resistance; See Table 1 for the abbreviations; the numbers in parentheses indicate standard deviations; CV, coefficient of variation

MDF の新たな可能性が示された。

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」の一部として実施したが、参加メンバーに感謝の意を表す。江間忠木材・江間忠合板研究補助（H15-16）および日本学術振興会の科学研究費助成事業（21380108）の助成を受けた。これらの研究補助に感謝の意を表す。

文 献

- 1) Kojima, Y., Norita, H., Suzuki, S.: *Forest Prod. J.* **59**(5), 35-41 (2009).
- 2) Kojima, Y., Suzuki, S.: *J. Wood Sci.* **57**, 7-13 (2011).
- 3) Kojima, Y., Suzuki, S.: *J. Wood Sci.* **57**, 126-133 (2011).
- 4) River, B. H.: *Forest Prod. J.* **44**(11/12), 55-65 (1994).
- 5) Hann, R. A., Black, J. H., Blomquist, R. F.: *Forest Prod. J.* **12**(12), 577-584 (1962).
- 6) Okkonen, E. A., River, B. H.: *Forest Prod. J.* **46**(3), 68-74 (1996).
- 7) 鈴木滋彦：木材工業 **56**(1), 7-12 (2001).
- 8) 関野 登, 高麗秀昭：*J. Timber Engineering* **18**(4), 110-117 (2005).
- 9) 関野 登：岩手大学農学部演習林報告 **29**, 39-53 (1998).
- 10) 池田正行, 鈴木滋彦：静岡大学農学部演習林報告 **23**, 25-35 (1999).
- 11) JIS A 5905：“繊維板日本工業規格”，日本工業規格 (2003).
- 12) JIS A 5908：“パーティクルボード”，日本工業規格 (2003).
- 13) ASTM D1037-96a: Standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials, Accelerated Aging, American Society for Testing and Materials (2010).
- 14) Kojima, Y., Shimoda, T., Suzuki, S.: *J. Wood Sci.* **57**, 408-414 (2011).
- 15) 気象データベース・地上観測：(財)気象業務支援センター
- 16) 高麗秀昭：接着学会誌 **48**(1), 30-35 (2012).
- 17) 川井秀一, 須田久美, 佐々木光：木材学会誌 **33**(5), 385-392 (1987).
- 18) Kajita, H., Mukudai, J., Yano, H.: *Wood Sci. Tech.* **25**(3), 239-249 (1991).
- 19) Wong, E. D., Zhang, M., Wang, Q., Kawai, S.: *J. Wood Sci.* **44**, 287-295 (1998).
- 20) 高麗秀昭, 関野 登：第61回日本木材学会大会研究発表要旨集, 京都, 2011, I20-05-0900 (CD-ROM).
- 21) 林 知行, 宮武 敦, 川井秀一：材料 **49**(4), 384-389 (2000).