

木質パネル第二次耐久性評価プロジェクト

研究成果報告書

平成 28 年（2016） 8 月

日本木材学会木質パネル研究会

刊行のことば

“OSB って、合板なみの耐久性があるのですか？”

“パーティクルボードって、何年もつんですか？”

このような質問は 30 年以上も前から出されている。しかし、合板やボード類の耐久性に関して、明快に答えられる専門家は殆どいないのではないか？ 無垢の木材であれば、シロアリや腐朽といった生物劣化を防げば、半永久的な寿命にもなり得る。ところが接着製品である合板やボード類は、生物劣化と接着劣化の両方を防がなければならない。木材腐朽に関しては菌が繁殖する水分条件と温度条件を回避することで何とか防げるが、実際使用中の接着劣化ほどの程度の水熱作用の繰り返して始まるかは不明な点が多く、木材接着製品の耐久性予測を難しくしている。

しかし、木質パネルの劣化メカニズムが明らかになれば、耐用年数の予測はある程度可能と思われる。そこで日本木材学会木質パネル研究会の前身である「木質ボード懇話会」は、1991 年に「第一次木質パネル耐久性評価プロジェクト」を開始し、市販の合板と木質ボード（OSB, PB, MDF, 木片セメント板）を対象に、10 年間の屋外暴露試験を実施した。屋外暴露は当該地域での最も過酷な使用環境であり、試験を通じて各種の木質パネルの劣化メカニズムの概要と屋外暴露での耐用年数に関する基礎知見が得られた。しかし、暴露地は国内 3 地域のみで、試験結果は地域限定データの域を超えられず、また、構造用パネルの耐震性能評価に必要な釘接合性は未検討であった。さらに、住宅等の構造用下地としての耐久性と屋外暴露における耐久性との関係性も未検討であった。

そこで、第一次プロジェクトの知見と反省をもとに、第二次プロジェクトが 2003 年にスタートした。第二次では、①屋外暴露試験地を国内 8 箇所に増やし、気象因子をベースとする劣化外力指標を求めて地域に限定されない劣化のマスターカーブを得る、②水分レベルが異なる屋内での暴露試験を行って劣化の有無を調べる、③各国で規定されている各種の促進劣化試験を行って、屋外暴露結果および屋内暴露結果との対応を明らかにする、などの目標を立て、20 名以上の方にプロジェクト参加を頂き、2013 年までに大方のデータ収集が終了した。ここ数年はプロジェクト幹事を中心に、得られた膨大なデータを如何に活用するかが議論され、ようやくこの報告書にたどり着いた次第である。正直なところ所期の目標達成までは道半ばという状況であるが、課題は課題として整理し、ここに報告書として第二次耐久性評価プロジェクトの結果を集約させていただく。

耐久性プロジェクト幹事を代表して

岩手大学 関野 登

目 次

1. 背景とこれまでの取り組み	1
1.1 背景	1
1.2 木質パネルの耐久性評価に関する既往の取り組み	1
1.2.1 促進劣化試験と屋外暴露試験の対応	1
1.2.2 気候指数	2
1.3 本研究に至る経緯	3
2 第二次プロジェクトの実施計画	5
2.1 第二次プロジェクトの概要	5
2.1.1 屋外暴露試験の設定条件と試験期間	5
2.1.2 屋内暴露試験の設定条件と試験期間	7
2.1.3 促進劣化試験の設定条件	8
2.2 基礎物性評価の実験方法	8
2.2.1 供試材料と調整	8
2.2.2 屋外暴露試験の暴露方法	8
2.2.3 屋外暴露試験における試験項目	9
2.2.4 木質パネルの初期値の測定と材質バラツキの把握	9
2.2.5 試験体採取方法	10
2.2.6 材質試験方法（基礎物性）	10
2.3 釘接合耐力評価の実験方法	11
2.3.1 暴露サンプルの調製	11
2.3.2 側面抵抗試験	13
2.3.3 釘頭貫通試験	13
2.3.4 一面せん断試験	14
2.3.5 初期値の測定（釘接合）	14
2.3.6 他の暴露試験における釘接合部の試験	14
2.4 研究体制と役割分担	15
3. 屋外暴露の試験結果	16
3.1 地域別の試験結果	16
3.1.1 暴露地“旭川”における基礎物性の劣化	17
3.1.2 暴露地“盛岡”における基礎物性・釘接合性能の劣化	21
3.1.3 暴露地“能代”における基礎物性の劣化	30
3.1.4 暴露地“つくば”における基礎物性・釘接合性能の劣化	35
3.1.5 暴露地“静岡”における基礎物性の劣化	40
3.1.6 暴露地“岡山”における基礎物性・釘接合性能の劣化	44
3.1.7 暴露地“都城”における基礎物性・釘接合性能の劣化	52
3.2 地域データの統合化	61
3.2.1 劣化外力の試算と強度劣化の推定	61
3.2.2 気象要因と強度劣化の関係	67
3.2.3 接着劣化と生物劣化の分離評価	72
3.2.4 実験室製パネルの屋外暴露	79

3.2.5	高耐候性パネルに関する所見	83
3.2.6	まとめ	89
4.	屋内暴露の試験結果	93
4.1	各種水分レベルの結果	93
4.1.1	室内最長 10 年放置（水分レベル I）	94
4.1.2	水分レベル II に関する所見.....	99
4.1.3	屋根鼻隠しへの 6 年暴露	101
4.1.4	軒天および野地板 10 年使用（水分レベル III）	105
4.1.5	水分レベル V に関する所見.....	110
4.2	各種屋内暴露試験結果の統合化	116
4.3	屋内使用における劣化外力の導入と強度劣化の推定.....	123
5.	促進劣化試験の結果と考察.....	129
5.1	促進劣化試験の結果	129
5.2	促進劣化試験と屋外暴露試験の対応	137
5.3	促進劣化試験データの統合化	141
6.	総 括	144
謝 辞	147
木質パネル第二次耐久性プロジェクトの研究成果・業績リスト		148

1. 背景とこれまでの取り組み

1.1 背景

木質パネル（合板・マット成形パネル）の原料は、大径木から小径木へ、優良材から未利用低質材へ、さらに解体材や廃材へとシフトし、接着剤も室内空気汚染への対応として、ユリア・メラミン樹脂やフェノール樹脂系の低ホルムアルデヒド化やイソシアネート系等への脱ホルムアルデヒドに転換している。原料事情の変化に加え、配向性ストランドボード（oriented strand board, OSB）、パーティクルボード（particleboard, PB）、中密度繊維板（medium density fiberboard, MDF）など木材小片（小片寸法の大きい順に、ウエファー、ストランド、フレーク、シェービング、ハンマーミルドチップと呼ばれる）や木繊維に接着剤を噴霧/混合して熱圧成形されるマット成形パネルに対しても、強度、寸法安定性、長期耐久性、施工性等で合板代替性能が求められるようになってきた。特に、長期耐久性は構造用途を前提としたときに最も懸念されているが、原料木材や使用接着剤の変化に由来する信頼性判断の難しさがボード類の需要拡大を阻む一因となっている¹⁾。これまで、種々のボード原料や製造条件に対応して、JISやASTM等に規定される促進処理試験と数年にも渡る長期暴露試験結果などを総合して耐久性が判断されている²⁻⁷⁾。耐久性評価の究極な目標は、実際の使用環境において要求性能がどの程度の期間保持されるかを予測すること、すなわち、耐用年数を推定することであるが、特に、屋外暴露試験には、①長期間を要するため継続が困難であると同時に試験材料が時代に遅れになる恐れを含む、②地域性（気候）がデータに反映する、③再現性に乏しい、④実際使用環境との劣化メカニズムの相違、⑤促進劣化試験との対応性など種々の問題点が指摘されており⁸⁾、今後も多様に変化する原材料や社会制度に対応可能な、評価方法の整備が期待される。

1.2 木質パネルの耐久性評価に関する既往の取り組み

1.2.1 促進劣化試験と屋外暴露試験の対応

一般に、木材接着製品の耐久性を評価する場合、長期間の使用実績があれば、最も説得力のあるデータとなる。しかし、新たな接着剤や製法による製品は使用実績に乏しく、その他の方法で判断せざるを得ない。そこで、主な劣化因子である水熱条件を組み合わせた促進劣化試験を行い、数十年の使用実績のあるフェノール樹脂接着剤等と比較し、新たな接着剤の耐久性を短時間に判定する方法が採られている⁹⁾。しかし、煮沸や乾燥繰り返し等、実際の使用環境との隔たりが大きい促進劣化試験では、劣化メカニズムの同一性が明確に説明されておらず、「劣化外力に対する反応を観察する期間の短縮化を目的とした加速試験」≡「寿命予測試験」として、素直に導入することには懸念が多い¹⁰⁾。そのため、北米や欧州の規格に定められた促進劣化処理は、促進劣化結果を屋外暴露結果と比較することで、その処理の妥当性を検証する試みが行われてきた。

古くは、1958年に米国林産試験場（FPL）で着手されたバイマツのフレークボードの屋外暴露試験では、8年間の屋外暴露結果に相当する促進劣化条件として、ASTM6 サイクル試験および70°C-相対湿度20%と27°C-相対湿度90%の繰り返し試験を挙げている²⁾。また、フェノール樹脂で作製した各種木質パネルの屋外暴露試験では、FPLにて最長12年間の屋外暴露結果とASTM6 サイクルおよび10分間煮沸-3.75時間107°C乾燥試験の間に相関性があることが報告されている^{3,4)}。他にも、市販のアスペンウェハーボードを対象としたカナダのプレーリーや沿海部を含む3地点の屋外暴露試験では、5年間の屋外暴露後の曲げ性能に相当する促進劣化条件として、ASTM6 サイクルと2時間連続煮沸試験を挙げている⁵⁾。一方で、メラミン樹脂系接着剤で作製し、オーバーレイ加工等の二次加工した木質パネルの屋外暴露試験では、米国4地点での屋外暴露試験結果と促進劣化結果には十分な相関が認められなかったことを報告している⁶⁾。いずれにしても、木質パネルの長期屋外暴露試験に関して、合板に関しては海外・国内共に多数の実績例がある¹¹⁻¹⁷⁾一方で、マット成形パネルに関しては、報告事例は少なく、暴露地も北米が中心であり、国内の検討事例は本研究にあたる「木質パネル耐久性評価プロジェクト」^{1,7,18)}の他には極めて少ない。

また、研究で供試された木質パネルのほとんどが屋外用途で製造されたものではなく、実際の製品寿命を考える上で議論の余地があること等が課題として挙げられる。

1.2.2 気候指数

木質パネルは主として屋内用途に用いられるものであり、使用環境下における耐久性と気候に直接的な関係を求めることは難しいが、屋内の温湿度環境の地域差を理解することには大きな助けとなる。外構用木材の耐久性の地域差を説明する統一指標として地域劣化外力を表す気候指数の重要性は、長谷川¹⁹⁾の総説に詳しい。

木材の耐久性に関する気候指数は、Schffer²⁰⁾が提案した気候指数 Climate Index (CI) が最も知られている^{19,21,22)}。Scheffer は、気象局から入手可能な月単位の気象データを用いて、以下の式に示す CI を提案した。

$$\text{Climate index} = \frac{\sum_{\text{Jan.}}^{\text{Dec.}} [(T - 2) (D - 3)]}{16.7}$$

ここで、T は月平均気温、D は 0.25 mm 以上の降雨があった月平均日数であり、主要な腐朽菌は 2°C 付近に増殖限界があるという実験的な推定値から T から 2 を減じ、米国の各地域の CI を 0 から 100 の間にできるだけ収めるために D から 3 を減じて調整している。CI < 35, 35 ≤ CI < 65, 65 ≤ CI の 3 区分し、数字が大きくなるごとに木材腐朽のリスクが高いことを示した。日本における CI をマップ化した例を図 1-1 に示す¹⁹⁾。また、日本版の作成に際し、CI の算定根拠は、米国内の降水日数や降水量を元に基準化されているため、数値 0 の地域がないこと等、最適化に向けた課題も指摘されている。

また、厚さ 0.3mm のスギ薄単板を全国 6 地点で垂直暴露し、重量減少率と暴露期間中の気象データから気象劣化インデックスを算出し、図 1-2 に示すような劣化マップが提案されている²³⁾。ここでは、月単位の気象データを用い、平均最高気温、降水量、日照時間、降水日数、全天日射量の 5 因子からなる重回帰式を求め、寄与率が最も高い因子は平均最高気温であったことを報告している。

木材・木材接着製品の外構用途が志向されている中で、塗装性能や防腐性能、接着性能に対応した気候指数または劣化マップの検討、加えて、屋内用途の場合においても地域特性や住宅内の環境特性に関する知見の蓄積や整理が期待される。

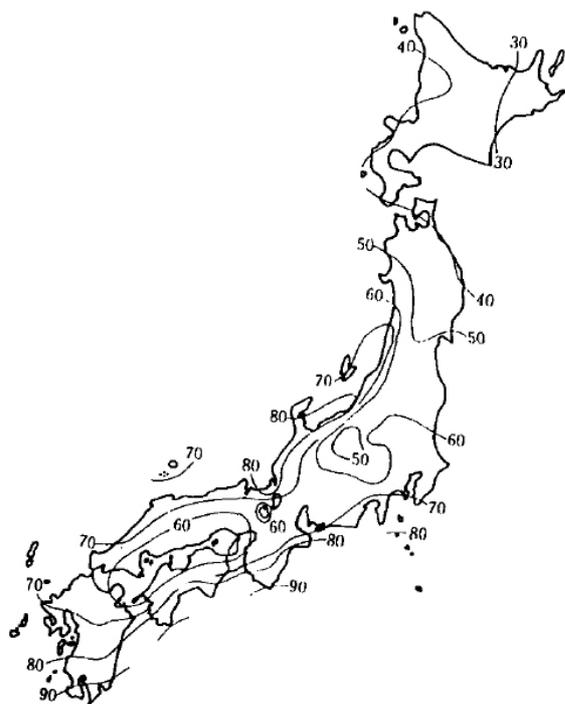


図1-1. 日本のClimate Index(Scheffer)分布図¹⁹⁾



図1-2. 単板重量減少率による気象劣化マップ²³⁾

1.3 本研究に至る経緯

木質パネルの耐久性評価を取り巻く一連の課題への対応に向けて、日本木材学会木質パネル研究会の前身である「木質ボード懇話会」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「第一次木質パネル耐久性評価プロジェクト」を開始し、市販の合板と木質ボード（OSB、PB、MDF、木片セメント板）を対象に、屋内および 10 年間の屋外暴露試験、促進劣化試験を実施した¹⁾。その成果を活かしつつ、1990 年代の合板原料のラワンから針葉樹へのシフト、マット成形パネル原料の製材廃材から解体材等リサイクル資源へのシフト、低/非ホルムアルデヒド接着剤の主流化に代表される原料事情の変化や欧州産 OSB や構造用 MDF の市場化などに対応させるべく、日本木材学会木質パネル研究会は「第二次木質パネル耐久性評価プロジェクト（第二次プロジェクト）」を 2004 年に開始した。このプロジェクトは江間忠研究助成金（第 1 期）の支援を受けて実施したものであり、2004 年 2～4 月に図 1-3 に示すように全国 8 カ所（旭川、能代、盛岡、つくば、静岡、岡山北、岡山南、都城）で開始した 7 年にも及ぶ屋外暴露試験、2003 年 11 月に実験住宅などを用いて開始した屋内暴露試験、さらに各国の試験規格に準じた促進劣化試験、という一連の木質パネル耐久性評価試験のほとんどを 2011 年 3～4 月に終了し、これまでに多数の研究成果が得られている。



図1-3. 屋外暴露試験地の所在

構造用途の合板、OSB、パーティクルボード（PB）、MDF などの木質パネルには、確かな接着耐久性が求められており、国産木質パネルの利用促進には接着耐久性の不安を払拭することが欠かせない。木質材料の耐久性評価手法の確立には、膨大なデータ蓄積に支えられた科学的根拠が必要である。しかし、耐久性のデータ集積の困難さゆえに研究が遅れていた。それらを踏まえて、第二次プロジェクトでは同一ロットの市販パネル材料を多種多様な試験に供試し、系統的な実験計画が準備され、貴重なデータが蓄積されてきた。本研究は、そこで得られた膨大なかつ貴重な耐久性データを最大限に活用することが特色である。具体的には、屋外暴露試験では地域の気象条件が結果に影響するが、気象因子をベースとする劣化外力指標の提案によって国内 8 地点の結果を標準化することに既に成功している。このモデルの採用により、世界各地での屋外使用での最短寿命の推定が可能となりつつある。本研究では、さらに、この手法を実際の使用環境（野地板、床下地、壁下地など）に展開し、実際使用環境での寿命推定を試みるとともに、促進劣化試験結果との対応を見出すことで、簡易な促進劣化試験により使用環境での寿命推定方法の確立を目的としている。

文献

1) 関野登，木材工業，58，298（2003）。

- 2) R. Jokerst, *USDA Forest Service, Forest Products Laboratory Research Note FPL0199* (1968)
- 3) B. H. River, *Forest Products Journal* 44 (11/12) , 55 (1994)
- 4) E. A. Okkonen and B. H. River, *Forest Products Journal* 46 (3) , 68 (1996)
- 5) J. Alexopoulos, *Forest Products Journal* 42 (2) , 15 (1992)
- 6) R. L. Geimer, B. G. Heebink and F. V. Hefty, *USDA Forest Service, Forest Products Laboratory Research Note FPL0212* (1973)
- 7) N. Sekino and S. Suzuki, *In: Proceedings, 6th Pacific Rim Bio-based Composites Symposium,* (2002)
- 8) 鈴木滋彦, 木材工業, 56, 7 (2001)
- 9) 鈴木正治, 他編著, 木質資源材料, 海青社, 132 (1999)
- 10) 柿谷朋, 木材保存, 35, 2 (2009)
- 11) M. M. Carroll, E. G. Bergin and A. O. Fiehl, *Forest Products Journal* 19 (5) , 43 (1969)
- 12) J. M. Black, J. F. Lutz and E. A. Mraz, *Forest Products Journal* 26 (4) , 24 (1976)
- 13) R. H. Gillespie and B. H. River. *Forest Products Journal* 26 (10) , 21 (1976)
- 14) E. Biblis, *Forest Products Journal* 50 (5) , 47 (2000)
- 15) 金田弘, 木材工業, 32, 387 (1977)
- 16) 吉田弥明, 田口崇, 木材学会誌, 23, 547 (1977)
- 17) 井上明生, 木材学会誌, 38, 923 (1992)
- 18) 林知行, 宮武敦, 川井秀一: 材料, 49, 384 (2000)
- 19) 長谷川益夫, 木材保存, 22, 246 (1996)
- 20) T. C. Scheffer, *Forest Products Journal* 21 (10) , 25 (1971)
- 21) S. Cornick, *J Therm Envel Build Sci*, 27, 151 (2003)
- 22) C. Brischke and A. O. Rapp, *Wood Science and Technology*, 42, 507 (2008)
- 23) 木口実, 片岡厚, 森満範, 土井修一, 長谷川益夫, 森田慎一, 金城勝, 今村祐嗣, 日本木材学会年次大会発表要旨集, 46, 433 (1996)

2 第二次プロジェクトの実施計画

2.1 第二次プロジェクトの概要

本プロジェクトでは、表 2-1 に示した合板、OSB、PB、MDF を対象として、以下に示す試験を実施する。

- 1) 気象条件を考慮して全国 8 カ所に暴露試験地を設け、屋外暴露試験により基礎物性および釘接合性能の劣化を調べる。
- 2) 住宅等の温湿度環境をモデル化した屋内暴露試験および実験住宅への施工による屋内暴露試験を行い、基礎物性及び釘接合性能の劣化を調べる。暴露期間の温湿度変動スケジュールを示す。
- 3) 国内外で規定される促進劣化試験方法を参考に各種の促進劣化試験を実施する。その試験結果を屋内および屋外暴露試験のそれと比較検討する。
- 4) 屋外暴露後の各種パネルを小片化して PB を製造し、劣化原料の状態とボード諸性能の関係を調べる。

なお、屋外暴露の期間は当初 10 年を予定したが、試験状況から 7 年目で終了の目途が立った。データ解析は数年ごとに整理・累積することで行い、図 2-1 に示すように促進劣化試験や屋内暴露試験との対応についても同時に検討を進める。

表 2-1. 供試木質パネルの仕様

呼称	分類	種類	仕様
合板 12	合板	構造用合板 12mm	特類・PF・2 級・5ply・F☆☆☆☆
合板 9		構造用合板 9mm	特類・PF・2 級・3ply (3mm 等厚)・F☆☆☆☆
アスペン OSB	OSB	北米産	JAS 構造用パネル 3 級 F☆☆☆☆, 12mm, PF レジン
パイン OSB		欧州産	JAS 構造用パネル 3 級 F☆☆☆☆, 11.5mm, PF レジン
PB (PF)	PB	PF レジン	Recycle 小片 3 層ボード・12mm・18PF☆☆☆☆ (品種: HPYB12mm, No. 20751822)
PB (MDI)		MDI レジン	Recycle 小片 3 層ボード・12mm・18PF☆☆☆☆
MDF9	MDF	構造 (耐力壁) 用	JIS 30・M・F☆☆☆☆ (MDI, P 相当) 9mm
MDF12		非構造用	JIS 30・M・F☆☆☆☆ (MUF) 12mm

2.1.1 屋外暴露試験の設定条件と試験期間

将来的に気候指数や断熱地域区分¹⁾を反映させた木質パネルの地域別劣化指数を当該地域の気象条件や使用環境から求めることを念頭に置いている。そのため、表 2-2 の関口・福井の気候区分^{2,3)}でも区分されるように気象条件が様々な全国 8 地域を、本プロジェクトの暴露地域として設定した。参考までに、フラット 35 技術基準で規定されている戸建て住宅の断熱地域区分と照らし合わせると、I から IV までの地域が対象となる。

図 2-2 に示すように木質パネルの外壁使用を想定した南面垂直型暴露試験を全国 8 地域で 2004 年 2~4 月に開始し、つくばでは、南面仰角 45 度型暴露試験を併せて行った。なお、暴露架台数の都合上、つくばの暴露 3 年目および 4 年目の開始時期はそれぞれ 2005 年 2 月、2006 年 2 月とした。暴露終了後には、基礎物性試験 (外観変化, 厚さ変化, 吸水厚さ膨脹, 配向方向の曲げ性能, はく離強度) を行った。また、つくばでは、合板・OSB の曲げ試験体に関して、配向直交方向の曲げ試験も行った。また、全国 4 地域 (盛岡, つくば, 岡山南, 都城) では、南面垂直型暴露試験体の釘接合耐久試験 (側面抵抗, 釘頭貫通力, 一面せん断性能) を行った。暴露開始 5 年目までは毎年試験体を採取し、6 年目は、前年までに暴露試験前の強度を 100% とする強度残存率が 50% を下回った木質パネルを対象にして採取した。最終年の 7 年目 (2011 年 1~4 月) で残りのパネルを全て採取して、試験を完了した。

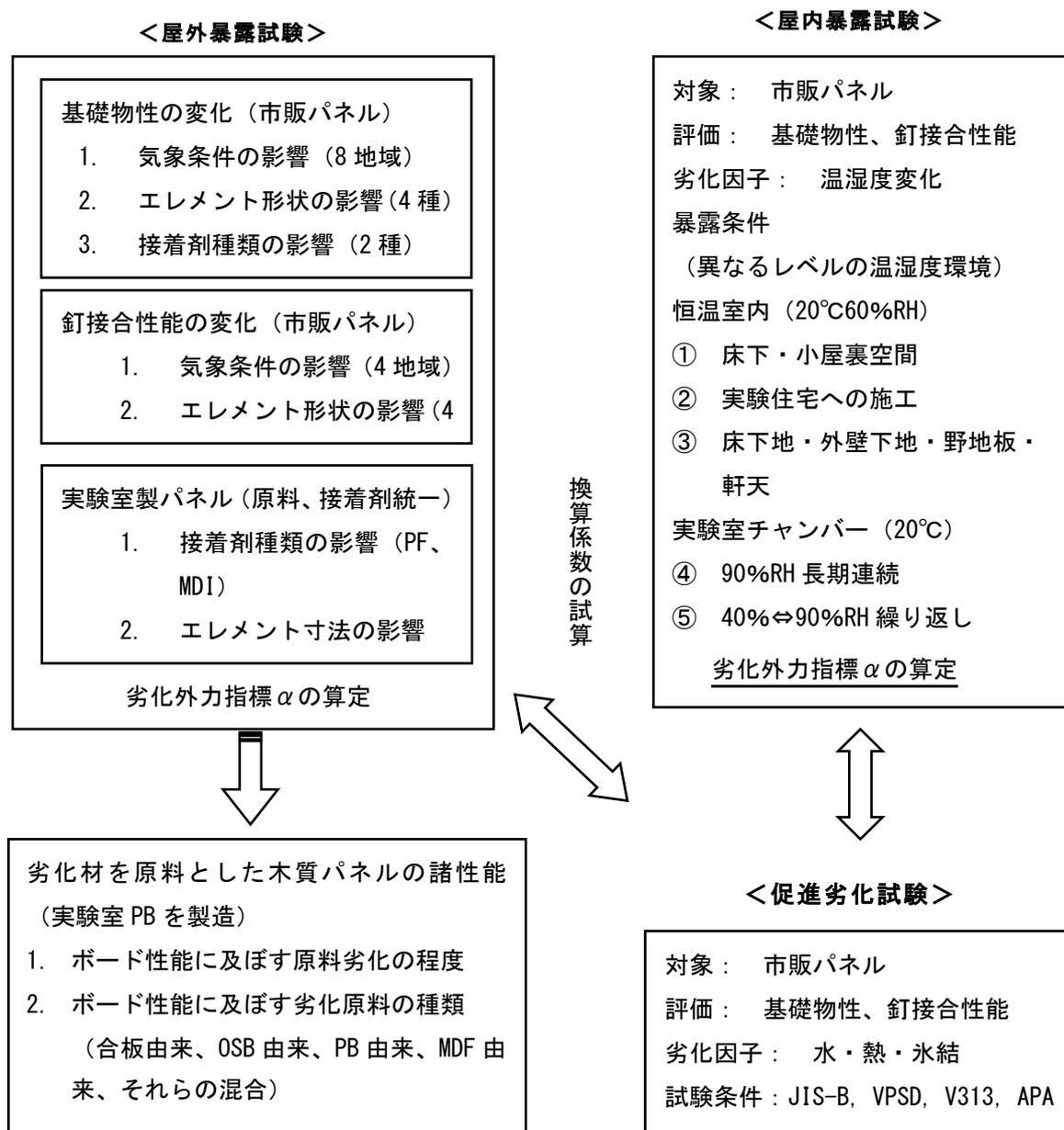


図 2-1. プロジェクトの構成概念図

表2-2. 屋外暴露試験地の気象条件と気候区分

試験地	所在	平均気温 (°C/年)	降水量 (mm/年)	日照時間 (時間/年)	気象データ 観測地	関口・福井の 気候区分	フラット35Sの 断熱地域区分
旭川	北方建築総合研究所	7.3	1001	1570	旭川市	日本海・北海道型	I
盛岡	岩手県林業技術センター	10.5	1338	1677	盛岡市	東日本・三陸型	II
能代	秋田県立大学木材高度加工研究所	11.5	1488	1450	秋田市	日本海・東北型	III
つくば	森林総合研究所	14.3	1378	1974	つくば市	東日本・常磐型	IV
静岡	静岡大学	16.9	2347	2129	静岡市	東日本・東海型	IV
岡山北	岡山県農林水産総合センター森林研究所	13.9	1412	1574	真庭市	日本海・山陰型	III
岡山南	岡山県立大学	16.6	1070	2043	岡山市	瀬戸内型	IV
都城	宮崎県木材利用技術センター	17	2447	1988	都城市	南海型	IV

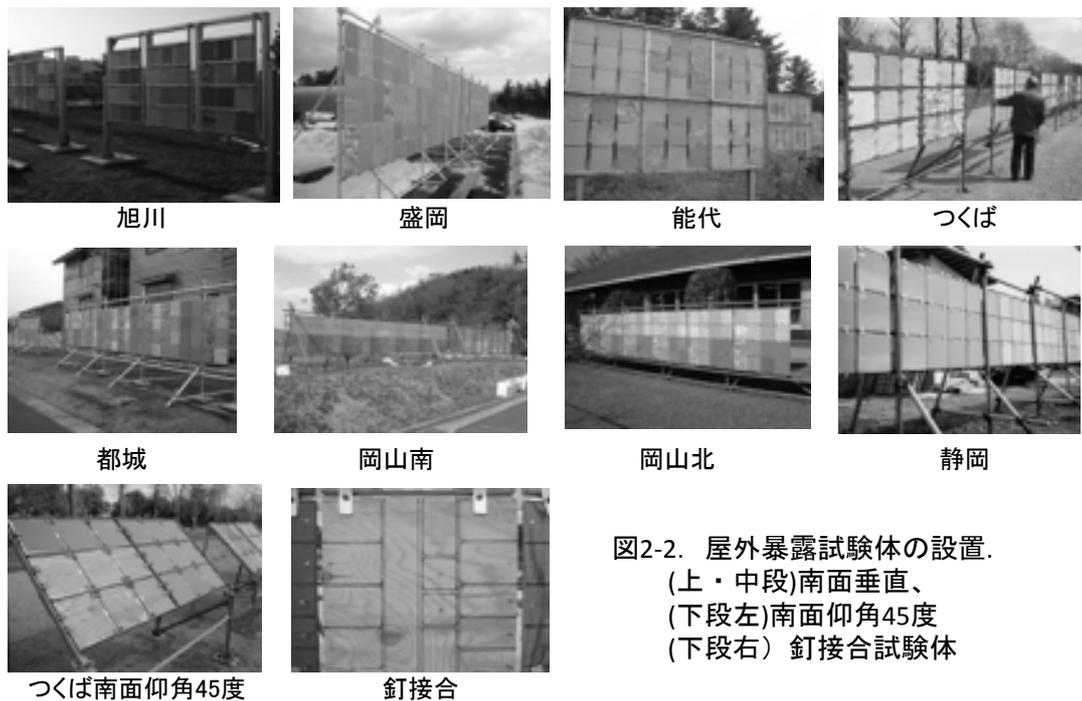


図2-2. 屋外暴露試験体の設置.
 (上・中段)南面垂直、
 (下段左)南面仰角45度
 (下段右) 釘接合試験体

2.1.2 屋内暴露試験の設定条件と試験期間

木質パネルの実際の使用環境である住宅等の屋内の温湿度変化を想定し、以下に示すような 5 つの水分レベルを設定して屋内暴露試験を行った。

水分レベル I：標準湿度（20℃・60%RH）下で静置

全供試パネルについて、恒温恒湿室で暴露し、屋外暴露と同期間を暴露し、基礎物性および釘接合試験を岩手大学において調査した。

水分レベル II：モデル住宅の床下に静置

2005 年 3 月につくば市内の住宅メーカーのモデル住宅の床下に全供試パネルを静置し、暴露 5 年後（2010 年 4 月）に試験体を採取し、基礎物性および釘接合試験を森林総合研究所において調査した。

水分レベル III：実験住宅の野地板・軒天・床下地・外壁下地に使用

岩手県林業技術センター内の実験ハウス(4.5 畳 2 部屋程度の規模)の部材として供試パネルを使用し、2003 年 11 月に着工した。床下地に OSB1 種類、野地板・軒天に全供試パネル、外壁下地に構造用 MDF を使用した。暴露開始 6 年目（2009 年）に外装材（鼻隠し：軒先の垂木先端を覆う部材）を回収し、岩手県林業技術センターにおいて性能評価試験を行った。2011 年度以降に解体して残りの試験体を採取する予定となっている。

水分レベル IV：低中湿度（20℃・40%RH）と高湿度（20℃・90%RH）下の繰り返し

全供試パネルについて、低中湿度（40%RH）3 ヶ月間と高湿度（90%RH）3 ヶ月間を 1 サイクルとした暴露試験を行った。1, 2, 3, 4, 5, 10 サイクル毎に試験体を採取し、基礎物性および釘接合試験を森林総合研究所において調査した。

水分レベル V：高湿度（20℃・90%RH）

全供試パネルについて、高湿度（90%RH）下で暴露した。暴露開始後 3, 6, 12, 24, 36, 60 ヶ月毎に試験体を採取し、基礎物性および釘接合試験を森林総合研究所において調査した。

2.1.3 促進劣化試験の設定条件

JIS-B, APA D-1, V313, ASTM 6 サイクル, VPSD の 5 種類の木質パネル促進劣化試験を規定回数に加えて複数のサイクル数で行い、試験後の基礎物性を検討した。以下に促進劣化試験の詳細を示す。(繰り返し回数の下線は規格に基づく回数)

JIS-B 処理繰り返し (繰り返し回数: 1回, 3回, 6回)

1 サイクル: 沸騰水 2h→常温水 1h→乾燥 60°C21h

APA D-1 処理繰り返し (繰り返し回数: 1回, 3回, 6回)

1 サイクル: 温水 66°C8h→乾燥 82°C14.5h→室温 1.5h

V313 処理繰り返し (繰り返し回数: 1回, 3回, 6回)

1 サイクル: 常温水 72h→凍結-12°C24h→乾燥 70°C72h→調湿 4h

ASTM 6 サイクル処理繰り返し (繰り返し回数: 1回, 3回, 6回)

1 サイクル: 温水 49°C1h→蒸気 93°C3h→凍結-12°C2h→乾燥 99°C3h
→蒸気 99°C3h→乾燥 99°C18h

VPSD 法 (繰り返し回数: 1回, 3回, 5回, 10回)

1 サイクル: 減圧吸水 0.5h→加圧吸水 1h→乾燥 60°C22h)

2.2 基礎物性評価の実験方法

2.2.1 供試材料と調整

標準サンプルのうち、合板を除く 6 種類は日本繊維板工業会の協力により無償提供され、合板は購入した。原板サイズは 3×6 尺 (構造用 MDF のみ 3×10 尺) で、各 25 枚 (OSB (pine) と MDF9 は 35 枚) を入手した。原板重量を測定して密度のバラツキを確認後、実験住宅施工用の原板を各 3 枚 (OSB (pine) は 14 枚, MDF9 は 21 枚) を抜き取った。抜き取りに際しては、原板密度が母集団の中庸となるよう留意した。続いて、残りの原板をすべて尺角に鋸断して重量を測定した。後述するように屋外暴露試験では尺角 12 枚をサンプル単位としている。そこで、尺角 12 枚を 1 セットと扱い、各パネル原則 33 セット分を各セットの平均密度がほぼ同一となるように準備した。

2.2.2 屋外暴露試験の暴露方法

方位と仰角: 高分子関係の屋外暴露試験における方位および角度は、JIS Z2381 の屋外暴露方法通則、JIS K7219 および ISO 877 のプラスチックの直接屋外暴露、JIS K7081 の炭素繊維強化プラスチック、JIS K5600-7-6 の塗膜の耐候性などに規定されており、方位は南、仰角は 30 または 45° が原則である。第 1 次プロジェクトで実施した南面垂直の条件は、実用 (外壁を想定) に即した特別の角度と位置付けられる。第 2 次プロジェクトでは、第 1 次との直接比較のために南面垂直を原則とするが、つくばでは仰角 45° も実施し、暴露方法の差異の影響を検討する。

端面の防水処理: プラスチック材料では暴露面の紫外線劣化が主体となるが、低密度内層部が端面に露出する木質ボードでは、端面からの水分進入が問題となる。第 1 次屋外暴露試験では端面の防水処理を行ったが、厚さ膨張が大きいボードでは暴露開始数年以内に防水効果が失われた。しかし、今回の供試パネルは比較的耐久性の高いパネルを対象としているため、端面防水処理効果の持続がある程度期待できる。そこで、8 地域共通の標準サンプルでは、第 1 次プロジェクトと同様にサンプル端面を防水処理し、前回のデータとの直接比較を可能とさせる。

端面防水の塗料には、外装用油性塗料 (SI25FC-1 あるいは RE17FC-1, ニッペホームプロダクツ) を用いる。また、暴露開始後、原則として年に 1~2 回、サンプル端面を観察して、亀裂等の有無を確認する。さらに、2 年に一度、再塗装を行ない、防水機能を回復させる。

釘接合耐久性試験における端面処理の有無: 基礎物性測定サンプルでは、端面からの劣化を極力排除する方法をとった。すなわち、表面からの劣化進行によるパネルの物性変化を調べることを目的とする。一方、釘接合は、現実的には端部の劣化が重要であり、かつ、パネルが施工される際、通常は十分な端面防水は行われない。そこで、釘接合の

耐久性を屋外暴露により調べる場合、端面を露出して暴露する。その意味付けとしては、施工後の事故的な漏水等によって端面劣化が進行し、かつメンテナンスが全く無い場合に、パネルの釘接合性能がどのように劣化していくか、その最悪のケースを屋外暴露により検証することになる。

2.2.3 屋外暴露試験における試験項目

暴露開始は、2004年1月下旬～4月上旬とする。サンプル採取時期は、基礎物性サンプルおよび釘接合サンプルとも同様である。試験方法の詳細は後述する。

基礎物性サンプル：尺角2枚を採取して、以下の物性試験を行う。

- ① 外観の観察（変色，変形，生物劣化など）
- ② 重量変化，厚さ変化
- ③ 曲げ性能（MOE，MOR，比例限度応力）
- ④ はく離強度
- ⑤ 吸水厚さ膨張

暴露スペースの制約から、配向性の持つパネルの曲げ性能は、配向方向のみを原則とするが、つくばでは配向直交方向の曲げ性能の劣化も検討する。

釘接合耐力試験：

構造用木質パネルでは、釘接合耐力の劣化が重要となる。本来はパネルを主材（木材）に釘着した試験体を屋外暴露すべきであるが、木材の腐朽，釘自体の腐食など、考慮すべき課題も多い。釘を打ち込んだパネルのみを暴露し、パネル劣化に伴う保持力の変化を把握するだけでも貴重なデータとなり得ると考え、側面抵抗試験，釘頭貫通力試験，一面せん断試験（採取後のサンプルを木材に接合）を実施する。また、釘はステンレス製を用いる。実験計画の詳細は後述のとおりである。

暴露地と試験対象パネル（原則として4部類各1種類）の組み合わせは下記の通り。

盛岡： 合板12mm・合板9mm・OSB北米産・PB（PF）・PB（MDI）・構造用MDF

つくば： 合板12mm・OSB北米産・OSB欧州産・PB（PF）・構造用MDF

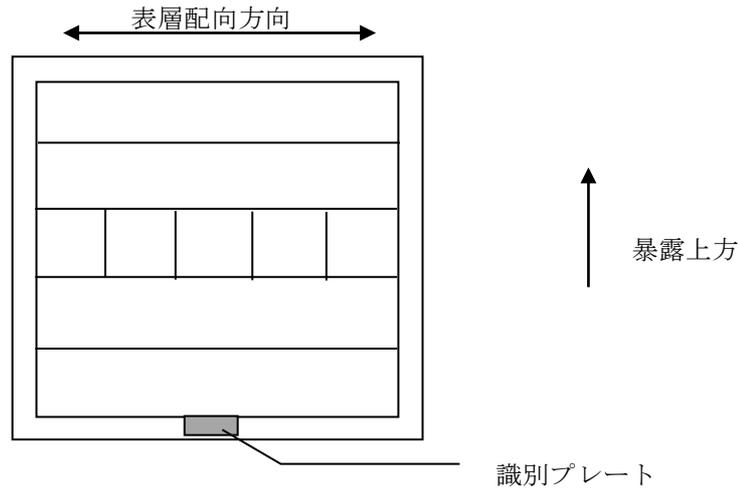
岡山（瀬戸内）： 合板12mm・OSB北米産・PB（PF）・構造用MDF

宮崎： 合板12mm・OSB北米産・PB（PF）・構造用MDF

2.2.4 木質パネルの初期値の測定と材質バラツキの把握

同一ロット中の材質バラツキを確認するため、木質パネル1種につき、30cm×30cm原板を最大2.5セット（12枚×2.5=30枚）準備し、下記の項目に関して測定した。

- ・ パネル厚さおよび密度（N=30）： 曲げ試験体の厚さおよび密度とする。
- ・ 曲げ性能（N=30）： MOR，MOE，比例限度応力を算出。合板・OSBでは面内2軸方向のデータを採取する。
- ・ 24時間吸水厚さ膨張（N=30）： 試験体は曲げ試験終了後に採取，方法は暴露後と同様。ただし，試験後に気乾に戻し（60℃24時間乾燥+20℃60%RH2週間程度養生），スプリングバックを測定。
- ・ 離強度（N=30）： 暴露後と同様の方法。
- ・ JIS湿潤時曲げ試験（B試験またはA試験，N=30）
→促進劣化試験と共通データ
- ・ インターラミナせん断試験
- ・ 釘側面抵抗
- ・ 釘頭貫通抵抗
- ・ 一面せん断剛性・耐力



2.2.5 試験体採取方法

- ① 5×30cm の曲げ試験体を各パネル 60 片採取（合板、OSB では配向垂直 30 片を加える）
- ② 上記 60 片を常態曲げ試験用 30 片と予備 30 片に区分
- ③ 常態曲げ試験（スパン：厚さの 15 倍）終了後、両端部より 5×5cm 試験体を計 60 片採取
- ④ 5cm 角試験体は、30 片を IB 測定に、残り 30 片を TS 測定に用いる
- ⑤ 予備 30 片を 5×5cm、5×25cm に切断し、前者は釘頭貫通力試験に、後者は湿潤曲げ試験に用いる
- ⑥ 尺角 6 枚から釘側面抵抗試験体（50mm×90mm）を 30 片、一面せん断試験片（65mm×90mm）30 片を採取
- ⑦ 残りの原板からインターラミナせん断試験片（30×40mm）30 片を採取

2.2.6 材質試験方法（基礎物性）

試験項目は、外観の観察（変色、変形、生物劣化など）、重量変化、厚さ変化、曲げ性能（MOE、MOR、比例限度応力）、はく離強度、吸水厚さ膨張とし、オプションとしてインターラミナせん断強度、釘側面抵抗などを設ける。材質試験の手順、各試験の方法および意義は、以下のとおりである。

- ① 暴露前の準備：全試験体の気乾状態（20℃60%RH 程度での養生が望ましい）の重量（識別ラベル重量を含む）を精度 0.1g で、厚さ（四隅から 25mm 程度内側の 4 点、平均値を算出）を精度 1/100mm で測定しておく。
- ② 試験体の養生：暴露後の試験体を 60℃で 24 時間乾燥したのち、20℃60%RH 程度で 7 日以上養生する。この間、試験体の損傷、変形、変色、生物劣化の有無等を観察し、その内容を記録する。養生終了後、試験体重量を測定し、初期値を基準とした重量変化率を算出する。
- ③ 試験片の採取：下図のように曲げ試験体 4 片（5cm×26cm）、はく離または吸水 TS 用試験体（5×5cm）5 片を採取する。周囲トリミングは 15mm 程度となる。また、曲げ試験体のスパン方向は合板・OSB では表層繊維配向方向とし、他のパネルでは製造ライン方向とする。また、曲げ試験終了後に試験体両端部より 5cm×5cm の試験体を採取（8 体×2 パネル=16 体）して、はく離または吸水 TS 試験体とする。
- ④ 曲げ試験（4 片×2=8 片）：JIS A5908 に準じて 3 点曲げ試験を行う。スパンは 18cm（厚さの 15 倍以上）とし、試験時のスパン中央部の幅と厚さを用いて MOR・比例限度応力・MOE を算出する。なお、JIS 湿潤時曲げ試験では MOR 算出に浸漬前の寸法を用いており、この定義による MOR の低下は破壊荷重の低下率に等しい。
- ⑤ 前述した 5cm×5cm の試験体を採取した後、その残部（スパン中央部）を用いて全乾法により養生後の含水率（残部 8 体の平均値）を算出する。
- ⑥ 厚さ変化率：曲げ試験体 4 体の平均厚さを用い、暴露前の厚さを基準として厚さ変化率を算出する。

- ⑦ 吸水厚さ膨張試験：曲げ試験体端部の未破壊部より得た 5cm×5cm の試験体 8 片に原板中段両端の 2 片を加えた 10 片（端面からの劣化を受け易い部分）および原板中央部から得た 3 片に対し、JIS A5908 に準じて吸水厚さ膨張試験を行う。中央部 1 点の厚さを精度 1/20mm 以上で測定し、24 時間吸水後（水面下約 3cm、JIS では 25℃であるが、室温でも可）の TS を吸水前の厚さを基準に算出。また、吸水前の重量を基準として、吸水率 WA を算出する。この試験の目的は、暴露による劣化進行に伴って寸法安定性がどのように変化するかを調べることにある。暴露中に湿潤時の厚さを計測すれば同様の目的が達成できるが、この方法では湿潤状態にバラツキ（天候に左右される）があるため、試験体採取後に行うのが適切と考えた。
- ⑧ はく離強度：曲げ試験体端部の未破壊部より得た 5cm×5cm の試験体 8 片に原板中段両端の 2 片を加えた 10 片（端面からの劣化を受け易い部分）および原板中央部から得た 3 片に対し、JIS A5908 に準じた試験を行う。ただし、劣化したパネル表面は、試験ジグへの接着が困難なため、これを除去してから接着する。暴露後のはく離試験の問題点は以下のとおり。はく離試験は、パネル厚さ方向で最弱の接着強度を評価するもので、通常は密度最小となるコア中心部の接着強度が評価される。しかし、屋外暴露ではパネル表層部の劣化が先行するため、試験の破壊部は必ずしもコア中心部とはならず、しかも表層劣化部の除去の程度に依存する。したがって、試験片の破断位置を観察し、破断がコア部分となるデータを採用する必要がある。表層付近でははく離強度データが含まれると、残存率の評価を適切に行うことが難しい。

2.3 釘接合耐力評価の実験方法

2.3.1 暴露サンプルの調製

供試パネルの種類及び数量：釘接合耐力試験用暴露サンプルには、基礎物性用暴露サンプルと同様の 300mm×300mm のパネルを用いる。供試するパネルの種類および試験地を表 2-3 に示す。供試パネルは基本的には PW12、OSB (aspen)、PB (PF) 及び MDF9 であり、盛岡またはつくばではこれに加え、PW9、OSB (pine) 及び PB (MDI) を用いる。各種供試パネルの数量は、基本的には 2 枚×6（暴露期間種類）＝12 枚であるが、合板及び OSB については、要素の配向方向に対して 2 種類の試験を行うため、数量は 2 倍となる。

表 2-3 釘接合耐力試験用暴露サンプルの種類と試験地

パネル分類	種類	試験地
合板	PW12	盛岡, つくば, 岡山, 都城
	PW9	盛岡
OSB	OSB (aspen)	盛岡, つくば, 岡山, 都城
	OSB (pine)	つくば
PB	PB (PF)	盛岡, つくば, 岡山, 都城
	PB (MDI)	盛岡, つくば
MDF	MDF9	盛岡, つくば, 岡山, 都城

※各木質パネルの略称は表 3.2 を参照

各種試験体の木取り：釘接合耐力試験用暴露サンプルからの各種釘接合試験体の木取方法を、要素に方向性が無い PB 及び MDF については図 2-3 に、要素の配列に方向性がある合板及び OSB については図 2-4 に示す。各試験対の寸法は、暴露パネルの寸法が 300×300mm であることから、切断時の鋸身の幅等を考える必要がある。釘頭貫通試験体を 50×50mm とし、釘側面抵抗試験体を幅 50mm、長さ 90mm とすると、一面せん断用試験体は幅 65mm、長さ 90mm 程度となる。試験体は、PB 及び MDF では暴露パネル 2 枚から釘頭貫通試験体 8 体、釘側面抵抗試験体 6 体及び一面せん断試験体 6 体（12 枚）、合板及び OSB では暴露パネル 4 枚から釘頭貫通試験体 8 体、釘側面抵抗試験体 12 体（直

交，平行方向各 6 体）及び一面せん断試験体 12 体（直交，平行方向各 6 体）を採取する。また，合板及び OSB では，繊維直角方向の曲げ試験体を 4 体採取する。

初期重量と厚さの測定 尺角パネルは，釘打ちの前後に重量を 0.1 g 精度で測定する。また，四隅（25mm 内側）の厚さ（0.01mm 精度）を測定して，パネル自体の密度を求めておく。釘打ち後の重量は，暴露後の重量変化の基準値とする。

釘打ち方法：釘はパネルを暴露する以前に打ち込む。使用する釘は，ステンレス製で長さ 50mm，直径 2.7mm（N50 相当）とする。釘打ちの場所は，釘側面抵抗試験体及び一面せん断試験体では試験体幅中央で，暴露端面から 12mm の位置とする。釘頭貫通試験体では，端面からの暴露の影響をなくするために，試験体の採取位置を暴露パネルの中央部分とし，釘打ち場所は試験体の中央とする。（釘頭貫通試験ではボード表面の状況の影響を考慮し，端面からの影響を考えない。端面の影響は，一面せん断試験において現れるのではないかと考える。）釘打ちにはオートグラフ等の強度試験機を用い，釘が試験体表面に直角に，一定速度で打ち込まれるようにする。打ち込み速度は 50～100mm/min とし，釘側面抵抗試験体では釘頭から 20mm を残した位置まで打ち込み，その他の試験体では釘頭が試験体表面と同じになるまで打ち込む。釘打ちに際しては案内穴を設けず，例えば図 2-5 に示すような治具等を用いて，釘打ち込み面の反対側の面におけるパネルの盛り上がり防止する。この治具は，強度試験機の位置決め用の穴を利用して試験機に取り付けるものであり，暴露パネルへの釘打ちの位置決めにも利用できる。釘貫通部裏面の損傷は，カラー等の適当なジグで埋め戻し，シリコンコーキングして損傷部を防水処理する。

試験体の採取後の測定事項：基礎物性測定用の暴露試験体と同様に，暴露後のパネルを 60℃で 24 時間乾燥したのち，20℃60%RH 程度で 7 日以上養生する。この間，試験体の損傷，変形，変色，生物劣化

の有無等を観察（必要に応じて写真撮影）し，その内容を記録する。養生終了後，試験体重量を測定し，パネル自体の重量初期値を基準とした変化率を算出する。その後，各種の釘接合耐力試験体を丸鋸盤，あるいはパネルソー等を用いて切削加工するが，このとき，側面抵抗試験用試験体には釘胴部の中程までしか釘を打ち込んでいないため，切削加工時に材料が不安定にならないように，当板を用いるなどの工夫が必要である。

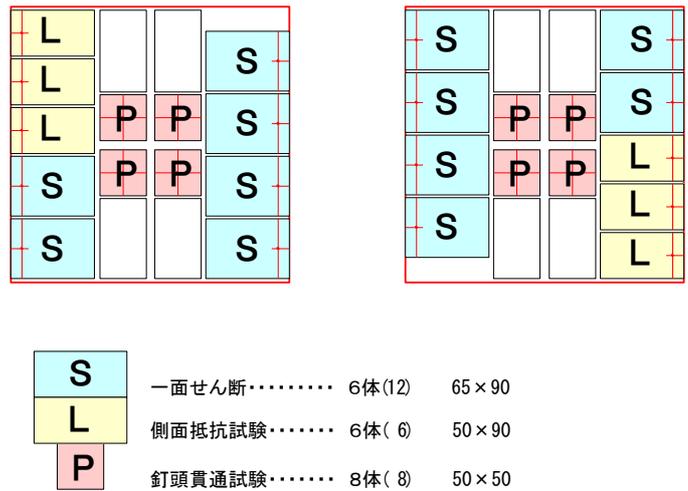


図 2-3 暴露パネルからの試験体の木取方法（PB，MDF）

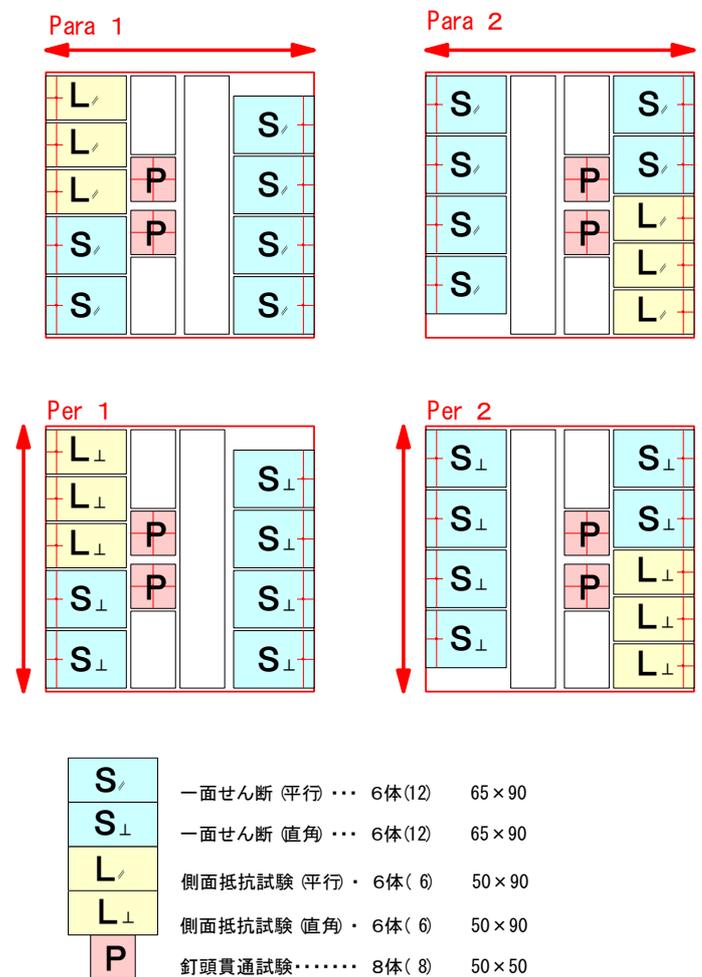


図 2-4 暴露パネルからの試験体の木取方法（合板，OSB）

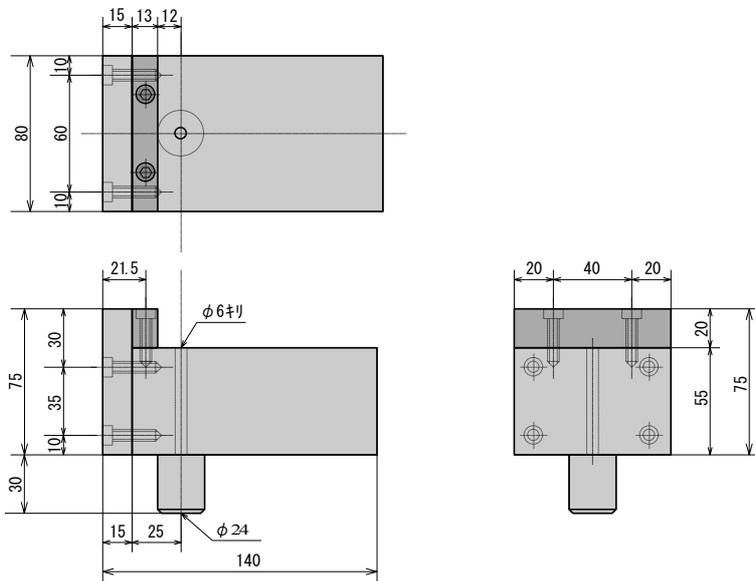


図 2-5 釘打ち込み用治具

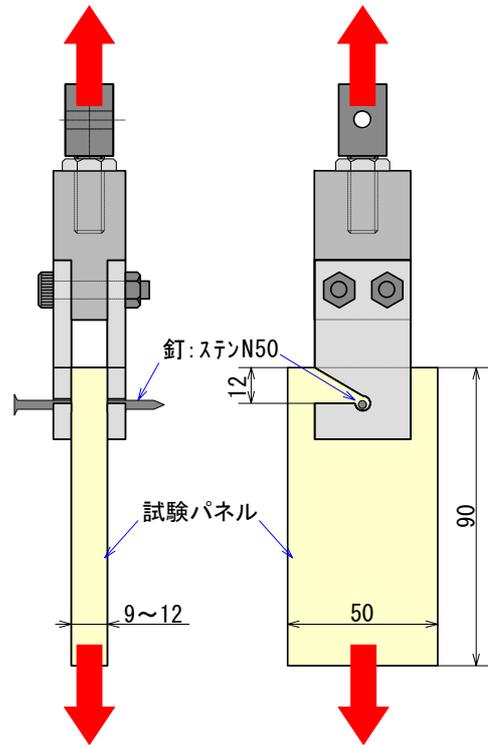


図 2-6 釘側面抵抗試験の概略

2.3.2 側面抵抗試験

試験体の調整：試験体は幅 50mm，長さ 90mm であり，幅方向の中央で暴露端面から 12mm の位置に，釘が頭部から 20mm のところまで打ち込んである．各種パネル，繊維方向に対し各 6 体を試験する．

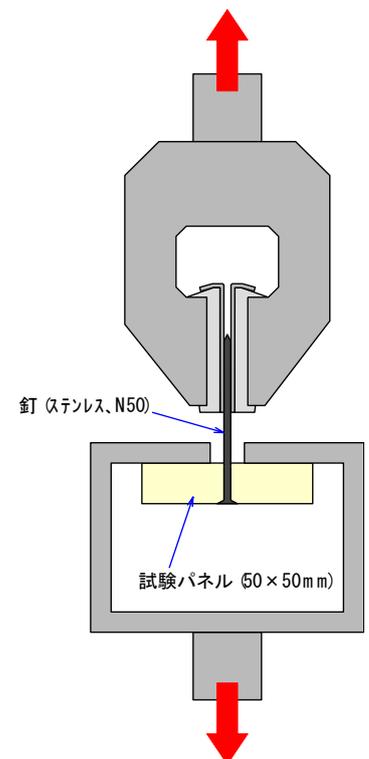
試験方法：釘側面抵抗試験は，ASTM D-1037 に準じて行う．試験の概略を図 2-6 に示す．釘への加力治具と試験体との間隙はパネルの厚さに応じ調節できるようにし，間隙を最小限（0.3~0.5mm）に抑え，曲げモーメントによる釘の変形を極力防ぐ．試験体の釘打ち部と反対側の端部を引張チャックにより保持し，加力治具を介して引張力を与えることにより，試験を行う．負荷速度は，6mm/min とする．ただし，6mm/min の試験速度が設定不可能な場合には，5mm/min とする．

測定項目：最大荷重をもって側面抵抗とする．また，荷重-変形量曲線の立ち上がり部分の傾きから，めり込み剛性を求める．この値は，弾性床土理の梁理論を用いた一面せん断試験における釘の変形を計算する際の基礎入力データとして使用する．なお，パネルの厚さにより単位厚さ当たりの荷重値は異なるものと考えられるが，本研究では暴露前との比較検討を目的とするため，荷重をパネルの厚さで除することは行わない．なお，暴露によるパネルの厚さ変動も釘側面抵抗及びめり込み剛性の算出には考慮しない．

2.3.3 釘頭貫通試験

試験体の調整：試験体は幅 50mm，長さ 50mm であり，試験体中央の位置に釘の頭部が試験体表面と同じになるまで打ち込まれている．各種パネルに対し各 8 体を試験する．

試験方法：釘頭貫通試験は，ASTM D-1037 に準じて行う．試験の概略を図 2-7 に



示す。試験体は下部保持治具により保持され、釘幹を引張チャックにより挟み込み、頭部がパネルに食い込む方向に引張ることにより試験を行う。引張チャックでは釘幹部を鉛直に保持できるようにチャックの当板に若干のV溝を加工する。下部保持治具における試験体保持板の間隔は10mmとする。当板の寸法形状は、強度試験機の引張チャックの形状・寸法等を考慮し設計する。負荷速度は、1.5mm/minとする。ただし、1.5mm/minの試験速度が設定不可能な場合には、1.0mm/minとする。

測定項目：最大荷重をもって釘頭貫通力とする。

2.3.4 一面せん断試験

試験体の調整：試験体の形状を図2-8に示す。試験体は2×4材から得られた枠材と暴露パネルから得られた面板2枚とからなる。枠材には気乾のSPF材を用いる。枠材による影響を極力抑えるために、比重の測定値が一定範囲にとどまるものを使用する。面材には釘を打ち込まれた状態で暴露された各種木質パネルを所定の寸法に加工して用いる。面材は枠材の両側へ打ち付ける。枠材での端距離は30mmとする。枠材においては、直径2mm、深さ30mmの案内孔を設け、枠材の割れを防止し、釘が面材に垂直に打ち込まれるようにする。面材の供試釘が打ち込まれた反対側は、別の枠材に、N50釘3本により接合する。この接合部は、供試釘による接合部より遙かに高い接合強度が得られていることを確認する。各種パネルに対し各6体を試験する。合板、OSBについては、表層の繊維方向に対し、荷重方向が平行及び直交の2方向について試験を行う。

試験方法：釘一面せん断試験は引張により行う。すなわち、試験体の両枠材の端から50mmの位置に設けられた穴を利用し、これを通したピンにより引張力を与える。負荷速度は、2mm/minとする。

枠材と面材との相対変位をひずみゲージ式（或いは差動トランス式）変位変換器により測定する。可能であれば、両側の面材で測定を行い、両者の平均値を得る。なお、加力は最大荷重に到達後、数mm変位するまで続ける。

測定項目：実験により得られた荷重-相対変位曲線から、最大荷重及び相対変位0.4, 1.0, 2.0mmの時の荷重を得る。ただし、値は釘1本当たりの（測定値を単純に2で除した）値として求める。

2.3.5 初期値の測定（釘接合）

屋外暴露前のサンプルの初期値を得るために、側面抵抗試験、釘頭貫通試験、一面せん断試験を行う。試験方法は上記の各試験方法に従う。釘側面抵抗試験は岩手大学（関野）で行い、各種パネルにつき30体を試験する。釘頭貫通試験は森林総合研究所（高麗）で行い、各種パネルにつき30体を試験する。

2.3.6 他の暴露試験における釘接合部の試験

釘接合部の性能評価は、屋外暴露試験の他にも、促進処理試験、屋内暴露試験を行ったパネルについても行う。促進劣化処理試験においては、合板、OSBについては各種4セット、PB,MDFについては各種2セットのパネルを準備する。屋内暴露については、各種屋内暴露条件、各種パネルに対して0.5セット（6枚）のパネルを供試する。なお、屋内暴露に関しては、合板、OSBの方向性については検討を行わない。表層の要素の繊維方向が荷重方向と平行になる場合についてのみ検討を行う。

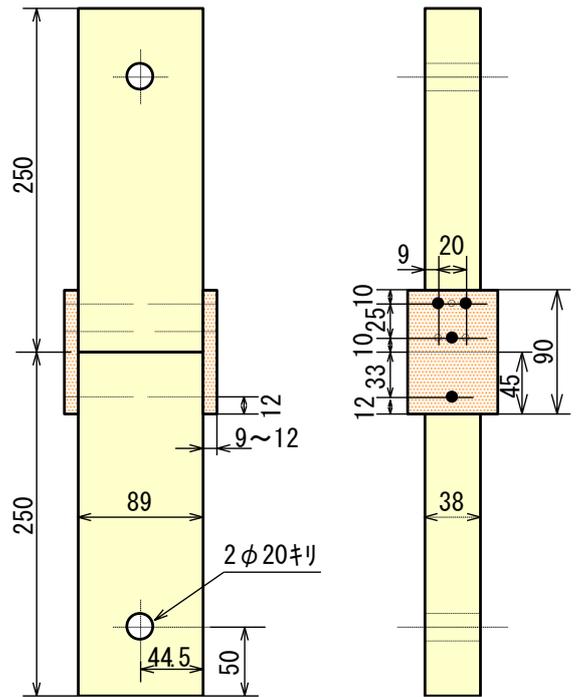


図2-8 釘一面せん断試験体の概略

2.4 研究体制と役割分担

本研究に際しての研究体制と役割分担を表 2-4 に示す。

表 2-4. 研究体制と役割分担

試験地	氏名	所属	役割分担
旭川	吹野 信* 戸田正彦	北海道立総合研究機構森林研究本部 林産試験場	<ul style="list-style-type: none"> ・屋外暴露試験（基礎物性） ・釘接合の促進劣化試験の解析
能代	山内秀文*	秋田県立大学 木材高度加工研究所	<ul style="list-style-type: none"> ・屋外暴露試験（基礎物性） ・実験室製パネルの屋外暴露
	梅村研二	京都大学生存圏研究所	<ul style="list-style-type: none"> ・実験室製パネルの屋外暴露（能代）
盛岡	関野 登* 佐藤春菜	岩手大学農学部	<ul style="list-style-type: none"> ・研究総括 ・供試パネル初期物性 ・屋外暴露試験（基礎物性・釘接合） ・屋内暴露試験（恒温恒湿室内放置） ・釘接合の促進劣化試験
	東野 正 大橋一雄 鹿野厚子 阿部一成	岩手県林業技術センター	<ul style="list-style-type: none"> ・供試パネル初期物性 ・屋外暴露試験（基礎物性・釘接合） ・屋内暴露試験（実験住宅への施工） ・促進劣化試験（釘接合）
つくば	高麗秀昭*	森林総合研究所	<ul style="list-style-type: none"> ・供試パネル初期物性 ・屋外暴露試験（基礎物性・釘接合） ・暴露方法の差異の影響（傾角） ・屋内暴露試験 中湿度3ヶ月⇔高湿度3ヶ月 Cycle 高湿度下連続暴露 住宅内（床下・小屋裏等）の暴露
静岡	鈴木滋彦* 小島陽一 池田正行	静岡大学農学部	<ul style="list-style-type: none"> ・屋外暴露試験（基礎物性） ・各種促進劣化試験 ・屋外暴露と促進劣化処理との相関
岡山北	野上英孝*	岡山県農林水産総合センター 森林研究所	<ul style="list-style-type: none"> ・供試パネル初期物性 ・屋外暴露試験（基礎物性・釘接合）
岡山南	小川 裕		
都城	藤元嘉安*	宮崎大学教育学部	<ul style="list-style-type: none"> ・供試パネル初期物性 ・屋外暴露試験（基礎物性・釘接合）
	岩崎新二 森田秀樹 松元明弘	宮崎県木材利用技術センター	
	足立幸司	秋田県立大学木材高度加工研究所	<ul style="list-style-type: none"> ・研究のとりまとめ

*：各試験地の責任者

文献

- 1) 住宅金融公庫，フラット 35 技術基準等の解説，2006，住宅金融普及協会
- 2) 関口武，東京教育大学地理学研究報告，3，65（1959）
- 3) 福井英一郎，地理学評論，4，841（1928）

3. 屋外暴露の試験結果

3.1 地域別の試験結果

屋外暴露試験における木質パネルの基礎物性および釘接合性能の劣化に関して、地域毎の試験結果をまとめた。暴露開始5年目までは全地域において毎年試験体を採取し、5年目に暴露試験前の強度を100%とする強度残存率が50%を下回った木質パネルは6年目に採取し、7年目(2011年1~4月)で残りのパネルを全て採取して、試験を完了した。各地域の試験結果は、以下の項目でまとめた。

- ・ 気象条件：暴露期間中の平均気温、降水量、日照時間。

<基礎物性>

- ・ 目視観察および重量・厚さ変化率：暴露最終年における屋外暴露試験した尺角パネルの目視観察における損傷や腐朽の確認、尺角サイズでの重量及び厚さ変化率。
- ・ 暴露最終年における木質パネルの曲げ性能
- ・ 暴露最終年における木質パネルのはく離強度
- ・ 暴露最終年における木質パネルの吸水厚さ膨張率
- ・ 総合考察

<釘接合性能>

- ・ 目視観察および重量変化率
- ・ 暴露最終年の釘側面抵抗と釘頭貫通抵抗
- ・ 総合考察

3.1.1 暴露地“旭川”における基礎物性の劣化

北林産試：吹野 信，小川尚久

1. 気象条件

旭川での屋外暴露は2004年4月14日に開始し，7年目のサンプルを2011年4月14日に採取した．この間の気象条件は表1のとおりであった．

表1 暴露期間における気象条件（出典：旭川地方気象台）

月	平均気温 (°C)										降水量 (mm)										日照時間 (h)									
	4年度	5年度	6年度	7年度	8年度	9年度	10年度	4年度	5年度	6年度	7年度	8年度	9年度	10年度	4年度	5年度	6年度	7年度	8年度	9年度	10年度									
4	4.5	4.2	3.2	4.5	7.5	5.6	3.7	49	44	30	41	11	31	60	159	122	131	183	180	220	134									
5	13.5	9.5	12.1	11.5	11.5	13.3	11.3	107	94	85	37	74	56	54	183	155	238	182	165	237	217									
6	18.3	18.6	16.1	18.6	16.1	16.8	19.5	56	57	91	45	52	94	99	191	232	132	223	198	117	200									
7	21.0	19.8	20.6	19.2	21.0	18.9	22.1	81	83	133	54	71	305	100	166	119	197	236	154	108	103									
8	20.5	22.3	23.4	22.0	19.8	20.7	23.3	75	197	213	94	64	75	161	172	178	149	148	172	148	141									
9	16.3	16.1	16.2	16.7	16.8	15.2	17.3	119	101	58	207	77	112	89	152	142	175	103	187	162	152									
10	9.2	10.4	9.2	8.9	10.0	9.4	9.9	66	75	110	94	73	109	91	138	156	151	134	129	108	136									
11	4.4	2.9	3.7	1.8	1.0	2.1	2.9	105	77	114	101	144	92	105	79	64	65	81	80	61	66									
12	-4.2	-6.8	-3.4	-4.1	-1.7	-4.4	-2.4	147	66	70	63	110	85	60	45	86	55	51	50	66	59									
1	-7.7	-8.5	-5.6	-8.4	-5.2	-5.1	-7.8	60	60	75	36	50	79	83	87	79	69	73	73	48	60									
2	-7.4	-5.9	-4.8	-7.3	-5.4	-6.2	-4.6	50	74	47	51	70	39	49	102	66	112	116	79	92	107									
3	-1.8	-1.1	-1.5	0.6	-1.0	-2.6	-2.1	73	66	29	19	70	99	35	125	100	145	178	101	93	164									
年平均 推算	7.2	6.8	7.4	7.0	7.5	7.0	7.8	984	990	1053	838	863	1174	982	1598	1499	1618	1708	1567	1461	1538									
平年*	6.7										1074										1615									

*30年間（1971-2000）の平均値

2. 観察結果および重量・厚さ変化率

尺角パネルの材面割れ等の状況と重量変化率（2枚平均），およびIB試験全13片から得た厚さ変化率の平均値とパネル密度の平均値を表2に示す．

表2 暴露終了時の材面観察および厚さ変化など（左から1, 2, 3, 4, 5, 6, 7年目）

分類	表面の観察結果	重量変化率 (%)							厚さ変化率 (%)							密度 (g/cm ³)						
		1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
合板12 (7年目終了)	端面一部 程度(小-中)、表面多数損傷、生物劣化有り	-4.3	-4.0	-5.0	-6.6	-8.9	---	-7.7	1.5	1.3	0.3	-0.1	0.5	---	2.4	0.66	0.59	0.65	0.62	0.62	---	0.57
合板9 (7年目終了)	端面一部 程度(小-中)、表面多数損傷、生物劣化有り	-5.9	-4.2	-4.4	-6.7	-9.9	---	-6.2	3.1	2.1	2.9	2.1	-0.9	---	-0.3	0.60	0.56	0.56	0.55	0.61	---	0.57
アスペン OSB (6年目終了)	端面多数損傷 程度(大)、表面一部はく離、生物劣化有り	-0.5	-1.5	-3.2	-5.2	-8.8	-14.2	---	11.0	11.0	7.6	10.4	13.3	20.4	---	0.60	0.58	0.57	0.57	0.53	0.43	---
パイン OSB (6年目終了)	端面多数損傷 程度(中)、表面一部はく離、生物劣化有り	-0.7	-0.9	-2.3	-2.5	-2.8	-4.1	---	4.0	4.2	3.9	7.0	7.5	13.2	---	0.64	0.66	0.62	0.63	0.62	0.58	---
PB (PF) (6年目終了)	端面一部損傷 程度(大)、表面損傷なし、生物劣化有り	-0.5	-1.2	-2.3	-3.0	-4.1	-5.0	---	2.7	2.1	2.6	2.6	9.4	8.7	---	0.75	0.72	0.73	0.72	0.68	0.64	---
PB (MD) (7年目終了)	端面一部損傷 程度(小)、表面損傷なし、生物劣化有り	-3.0	-4.7	-2.1	-5.8	-9.3	---	-5.0	1.6	3.1	3.1	3.3	3.4	---	4.4	0.78	0.76	0.76	0.76	0.72	---	0.72
MDF9 (7年目終了)	端面、表面とも損傷なし、生物劣化有り	-2.5	-2.3	-1.6	-3.3	-4.1	---	-4.6	0.6	0.5	0.3	-0.4	-0.5	---	-1.2	0.72	0.71	0.71	0.68	0.70	---	0.70
MDF12 (7年目終了)	端面、表面とも損傷なし、生物劣化有り	-1.0	-2.7	-1.1	-3.0	-5.4	---	-1.9	0.9	0.8	1.0	1.1	0.7	---	1.2	0.74	0.76	0.74	0.74	0.76	---	0.76

端面は，MDF以外の供試パネルにおいて損傷（亀裂）が見られ，特にアスペン OSB や PB (PF) の亀裂の程度が大きかった．

表面の亀裂は合板で多数見られ，OSB（アスペン，パインとも）では表面ストランドのはく離が見られた．また全ての供試パネルで生物劣化が確認された．

MDFは端面，表面ともに損傷が見られなかった．

重量変化率は全てのパネルで負の値（重量減少）を示し，経年により重量が徐々に減少する傾向があった．特に端面の損傷の程度が大きかったアスペン OSB では5年目から6年目にかけて大きく減少しており-14.2%と大きな値を示した．MDF12は7年目で-1.9%と小さい値となった．

厚さ変化率はアスペン OSB とパイン OSB が6年目で20.4%，13.2%と大きな値を示し，合板，MDFでは非常に小さな値となった．

3. 曲げ性能の劣化

試験時の厚さ基準で算出した比例限度応力，MOR，MOEおよび初期値に対するそれらの残存率，さらに初期厚さ基準で算出したMOR(これをLoad Carrying Capacity (LCC)と呼ぶ)，MOE(これをBending Resistance (BR)と呼ぶ)と残存率(測定値/初期値×100[%])を表3に示す．

表3 暴露7年目の曲げ性能の劣化 (n=8, 下段は残存率で, 左から暴露1, 2, 3, 4, 5, 6, 7年目の値)

分類	試験時 含水率 (%)	比例限度	MOR	MOE	LCC	BR
		Ave±std (MPa) 残存率 (%)	Ave±std (MPa) 残存率 (%)	Ave±std (GPa) 残存率 (%)	Ave±std (MPa) 残存率 (%)	Ave±std (GPa) 残存率 (%)
合板12 (7年目終了)	11.5	21.8±5.6	37.4±9.3	3.98±0.84	39.0±9.1	4.23±0.78
		80 59 80 74 68 - 58	81 64 82 67 63 - 55	81 66 77 66 64 - 55	84 66 83 67 63 - 57	86 69 87 66 64 - 58
合板9 (7年目終了)	11.4	33.5±3.6	56.7±7.8	6.5±0.6	57.4±7.2	6.65±0.60
		74 87 68 86 87 - 73	76 94 68 86 91 - 74	81 87 68 84 83 - 67	79 97 72 88 92 - 75	86 90 70 87 85 - 68
7スパン0SB (6年目終了)	11.3	4.8±4.0	7.3±4.8	0.83±0.52	10.1±6.4	1.33±0.75
		68 41 39 50 25 16 -	70 51 54 53 30 19 -	59 44 48 45 27 16 -	82 63 64 63 39 26 -	75 60 75 57 40 25 -
ハイン0SB (6年目終了)	11	10.4±1.3	17.2±2.6	2.00±0.36	21.6±3.0	2.82±0.42
		70 54 52 53 43 39 -	74 76 64 59 52 47 -	75 70 60 52 50 40 -	77 82 70 67 59 59 -	80 80 66 63 61 57 -
PB (PF) (6年目終了)	10.5	5.1±1.4	7.0±2.0	0.89±0.42	8.1±1.5	1.09±0.35
		53 61 43 44 22 30 -	73 67 63 58 31 35 -	57 60 51 49 23 25 -	77 71 67 62 38 40 -	62 64 55 52 31 30 -
PB (MDI) (7年目終了)	10.2	9.7±1.2	16.8±1.5	1.80±0.13	18.4±1.6	2.05±0.11
		73 60 58 61 48 - 46	85 83 81 76 61 - 58	75 67 64 58 50 - 44	88 88 85 82 65 - 64	79 73 70 64 55 - 50
MDF9 (7年目終了)	8.4	13.8±1.6	27.9±1.8	2.54±0.12	27.4±1.8	2.47±0.12
		68 64 68 77 70 - 67	84 83 82 79 77 - 77	89 85 84 78 81 - 79	85 84 83 79 77 - 76	91 86 85 78 80 - 77
MDF12 (7年目終了)	8.2	23.0±2.4	38.7±2.9	3.23±0.21	39.6±2.9	3.33±0.20
		71 70 63 69 72 - 77	87 88 78 78 88 - 85	84 83 75 73 82 - 76	88 89 79 80 90 - 87	86 85 75 75 84 - 79

今回回収したパネルは8種類のうち6年目で回収しなかった5種類のパネルである。MOR 残存率について、PB (MDI) と合板12は50~60%と低く、合板9、MDF9、MDF12は70~90%と高い傾向があった。MOE 残存率はMOR 残存率と同様の傾向であった。LCCは厚さ変化を無視して算出したMORであり、その残存率は、パネルが施工された状態での耐荷重の残存率を意味する。ここではMOR 残存率と同程度の値となった。同様にBRは、厚さ変化を無視して算出したMOEであり、その残存率はパネルが施工された状態の特定荷重によるたわみ量の指標となる(例えば、残存率が50%であれば、たわみ量は2倍)。暴露7年目のBR 残存率はMOE 残存率と同程度の値となった。

4. はく離強度 (IB)

パネル1種類につき13片のIB試験体は、尺角中央付近の3片と比較的側端面に近い10片からなる。前者は暴露中に雨水浸入の影響を受け難いが、後者は側端面の防水処理の劣化に応じて雨水浸透の影響が大きくなる。表4には、両者を区別したはく離強度 (IB) とIB 残存率および試験片の厚さ変化率を示した。なお、IB試験は劣化した表層部を削除した後にいった。

表4 暴露7年目のはく離強度 (IB) と厚さ変化率 (IB 残存率は, 左から暴露1, 2, 3, 4, 5, 6, 7年目の値)

分類	中央部 (n=3)								側端面付近 (n=10)									
	B Ave±std (MPa)	残存率 (%)						厚さ変化率: Ave±std (%)	B Ave±std (MPa)	残存率 (%)						厚さ変化率: Ave±std (%)		
合板12(7年目終了)	0.73±0.65	82	84	141	94	97	-	63	4.2±1.6	0.91±0.21	104	89	112	95	97	-	79	1.9±1.3
合板9(7年目終了)	1.25±0.08	105	142	139	110	87	-	92	0.4±0.6	1.49±0.33	74	90	134	106	89	-	110	-0.6±1.4
7スパン0SB(6年目終了)	0.09±0.02	86	82	83	68	62	16	-	13.8±4.6	0.04±0.04	67	48	61	50	30	7	-	22.4±6.6
ハイン0SB(6年目終了)	0.36±0.11	93	91	97	83	95	56	-	15.9±2.4	0.35±0.19	82	109	92	88	89	55	-	12.4±4.8
PB (PF)(6年目終了)	0.58±0.07	94	77	84	78	24	70	-	3.0±0.5	0.33±0.20	99	75	79	70	49	40	-	10.4±7.6
PB (MDI)(7年目終了)	0.95±0.07	84	95	92	63	60	-	44	4.4±0.6	0.97±0.17	92	90	87	70	65	-	44	4.4±0.8
MDF9(7年目終了)	1.27±0.03	95	127	119	98	101	-	104	-1.3±0.1	1.16±0.10	119	125	110	93	102	-	95	-1.2±0.5
MDF12(7年目終了)	0.72±0.08	113	128	131	136	130	-	116	1.2±0.1	0.68±0.10	112	136	121	129	123	-	109	7.84±0.82

暴露7年目のIB 残存率は、中央・側端面付近ともに暴露5年目との比較では、合板12とPB (MDI) の劣化が大きく進行していたが、合板9とMDF9の劣化は大きくなかった。また、MDF12の残存率の低下は大きかったが初期値に対して100%以上の値であった。

5. 吸水厚さ膨張率 (TS)

マット成形パネルでは、屋外暴露によって接着劣化が生じた場合、吸水に対する厚さ膨張の抵抗が低下すると考えられる。この種の検討はマット成形パネルの強度劣化機構を考える上で有用と思われるため、本プロジェクトにおいては、採取養生後の試験片でJIS A5908に準拠した24時間吸水厚さ膨張試験を行っている。暴露7年後の吸水厚さ膨張率を初期厚さ基準と吸水前厚さ基準で算出した値、暴露7年間で生じた厚さ変化率(以上、採取位置により2区分)、暴露前の24h吸水TSを表5に示す。

分類	中央部			側端面付近 (n=10)			参考) 暴露前 24h吸水 TS (%)
	吸水前 厚さ変化率 Ave±std (%)	24h吸水TS Ave±std (%)		吸水前 厚さ変化率 Ave±std (%)	24h吸水TS Ave±std (%)		
		初期基準	吸水前基準		初期基準	吸水前基準	
合板12(7年目終了)	0.4±0.7	4.2±0.5	3.7±0.4	-0.3±1.8	3.1±1.9	3.4±0.6	5.9±1.5
合板9(7年目終了)	-2.5±0.7	-0.5±0.6	2.0±0.4	-0.9±1.4	1.6±2.0	2.5±0.8	6.4±1.7
アスペンOSB(6年目終了)	21.5±1.4	29.9±1.9	6.9±0.4	16.1±4.8	24.7±6.2	7.4±1.4	18.3±2.6
パインOSB(6年目終了)	7.2±1.7	10.1±3.1	2.7±1.5	13.5±3.6	22.0±5.9	7.4±2.2	10.4±0.9
PB(PF)(6年目終了)	2.4±0.1	5.5±0.0	3.1±0.1	9.1±7.8	16.2±11.9	6.3±3.4	9.3±1.5
PB(MDI)(7年目終了)	4.3±0.5	9.5±0.7	5.0±0.2	3.9±0.6	9.0±1.0	4.9±0.4	6.8±0.4
MDF9(7年目終了)	-1.3±0.1	2.3±0.1	3.7±0.1	-1.0±0.6	2.5±0.5	3.6±0.4	5.8±0.3
MDF12(7年目終了)	0.8±0.2	2.7±0.1	1.9±0.2	0.9±0.4	2.8±0.5	1.8±0.3	4.1±0.2

表5 暴露7年後の24時間吸水厚さ膨張率（初期厚さ基準TSおよび吸水前厚さ基準TS）

初期厚さ基準TSと暴露前の24h吸水TSに着目すると以下のことが言える。

暴露終了後の24時間吸水TSは、中央部・側端面付近ともに合板とMDFで小さく、アスペンOSBが20%以上の大きな値となった。また、パインOSBとPB(PF)は側端面付近で20%前後の大きな値となった。暴露5年目までは中央付近から得られた試験体は、側端面付近から得られたものに比べ暴露中に雨水浸入の影響を受けにくく、厚さ変化や初期厚さ基準TSは側端面付近より小さくなっていったが、暴露終了時では、合板9、パインOSB、PB(PF)以外、両者にほとんど差が見られなくなった。このことから暴露終了時では端面からの水分浸入が進行し、中央部まで十分に水分が浸透したと考えられる。

次に屋外暴露で生じた厚さ変化率と初期厚さ基準TSとの関係を考察する。図1は、屋外暴露1年目から7年目における両者の関係をパネルごと（合板2種類のデータは除く）にプロットしたものである。図中の破線は、厚さ変化と同値のy座標を持つ。破線とプロットのy座標の差は暴露後の24時間吸水で発生した厚さ増分割合を示すが厚さ変化率が大きいと、その差が拡大する傾向が見て取れる。この現象には次のような解釈が可能であろう。

「マット形成パネルが屋外暴露によって接着強度劣化（IB低下がその指標となる）を伴いながら厚さ増加（密度低下）していくと、吸水試験においては、吸水量の増加及びエレメント深部への水分浸透を誘発させ、エレメント自体の圧縮回復や吸水膨潤を助長させると同時に、接着力の低下によりエレメント膨潤を抑え込む能力が低下し、結果としてまた吸水厚さ膨張率が増加する。」

また図1のプロット群はほぼ直線状に並んでいるが、パネルごとのプロット数が少ないため、パネル間の差異を論じるには不十分である。今後、全国8地域のプロットを取り込み、パネル間の差異の有無を検討すべきであろう。

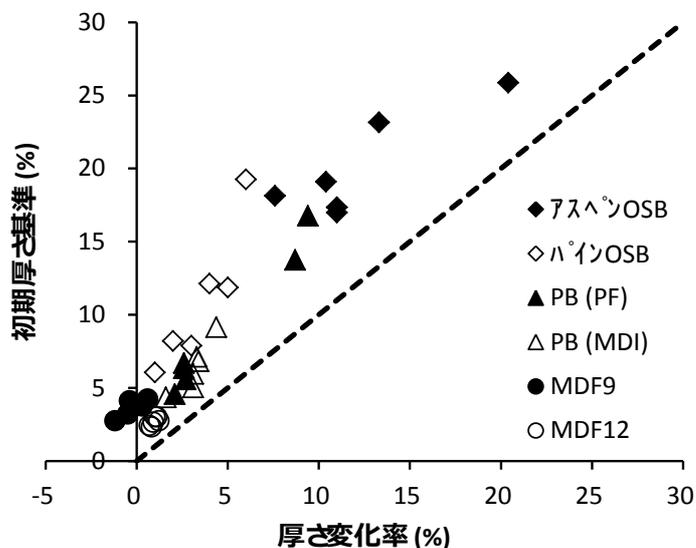


図1 厚さ変化と初期厚さ基準TSの関係

6. 厚さ変化率とMOR, MOE, IBの各残存率の関係

一般にマット形成パネルの強度劣化は、厚さ膨張率と関係が深いと言われる。ただし、厳密にはパネルを構成するエレメントの形状寸法やパネル密度に依存すると言われる。本プロジェクトの供試パネルは密度が比較的近接してい

るため、今回回収した合板 9mm および 12mm を除く 6, 7 年目回収のマット成形パネル (PB, OSB, MDF, 各 2 種類) 合計 6 種類を区別なしに厚さ変化率と MOR 残存率, MOE 残存率, IB 残存率の関係を描くと図 2~4 が得られた。これらの図より 3 つの残存率はいずれも厚さ変化率の増大につれてほぼ直線的に低下する傾向があると言える。

上記の直線関係には暴露期間が影響してくる可能性がある。すなわち、本プロジェクトの屋外暴露は南面鉛直で実施しており、南暴露面を曲げ試験の引張側に配置している。曲げ性能には表面劣化の影響が大きいことから、単に厚さ変化率のみならず、暴露期間の進行に伴う表面劣化の影響が出てくる可能性がある。今後は、全国 8 地域での暴露データを用いて、これらの関係を詳細に検討する必要がある。

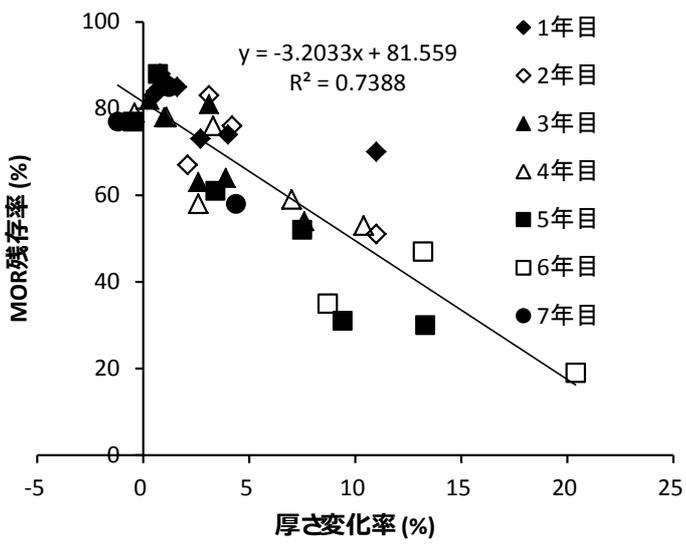


図 2 厚さ変化率と MOR 残存率の関係

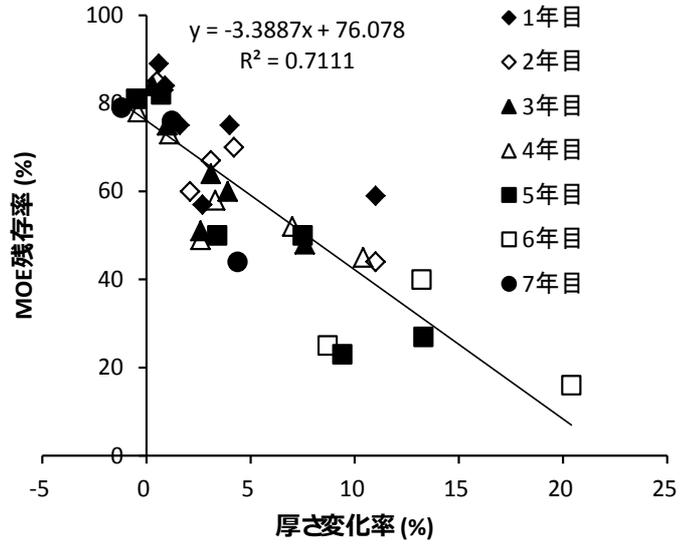


図 3 厚さ変化率と MOE 残存率の関係

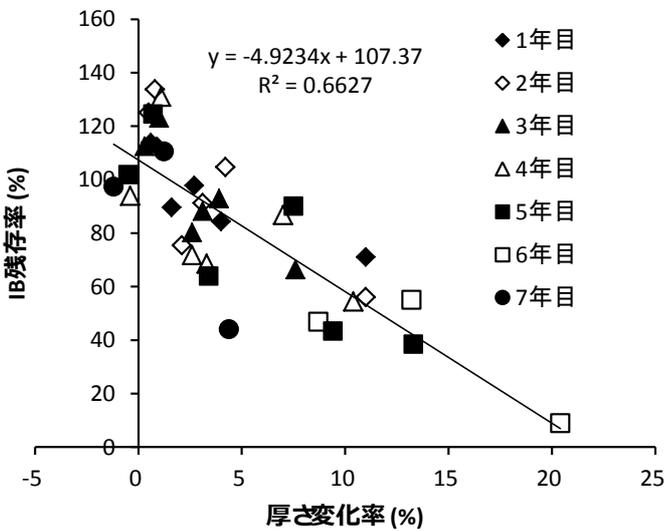


図 4 厚さ変化率と IB 残存率の関係

3.1.2 暴露地“盛岡”における基礎物性・釘接合性能の劣化

岩手大学農学部：関野 登，佐藤春菜

元 岩手県林業技術センター：東野 正，阿部一成

1. 気象条件

盛岡での屋外暴露は2004年3月上旬に開始し，7年目のサンプルを2011年2月17日に採取した．この間の気象条件（平均温度，降水量，日照時間）を表1に示す．

表1 暴露期間における気象条件（出典：盛岡地方気象台）

月	平均気温 (°C)								降水量 (mm)								日照時間 (h)							
	4年度	5年度	6年度	7年度	8年度	9年度	10年度	4年度	5年度	6年度	7年度	8年度	9年度	10年度	4年度	5年度	6年度	7年度	8年度	9年度	10年度			
4	8.2	8.5	6.7	7.1	9.9	9.1	6.5	94	67	119	96	38	106	74	190	183	131	168	183	188	122			
5	14.8	12.5	14.2	14.0	14.2	15.4	13.8	110	117	111	114	71	44	132	148	183	189	163	193	207	168			
6	19.2	20.0	18.4	20.2	18.0	18.9	20.6	141	99	75	125	50	71	188	171	154	156	235	181	158	160			
7	23.2	20.6	20.9	20.4	22.9	22.1	24.4	231	273	148	114	177	296	217	157	88	64	150	120	105	132			
8	22.6	24.5	24.8	23.8	22.2	22.5	26.2	222	177	55	172	242	129	250	168	158	171	154	127	133	171			
9	19.3	19.3	18.7	20.7	19.4	17.7	19.8	284	183	87	304	82	54	172	100	126	149	106	168	140	132			
10	11.9	13.4	12.6	12.8	13.1	12.4	13.4	115	80	147	68	97	119	76	111	143	139	164	160	156	123			
11	8.8	5.9	6.8	5.5	5.8	6.8	6.4	68	113	136	81	92	113	75	102	119	121	111	128	102	120			
12	1.9	-1.7	1.1	0.6	2.0	0.9	1.9	101	99	71	101	62	72	250	128	127	97	89	108	101	69			
1	-1.8	-2.9	0.6	-2.7	-0.4	-1.3	-3.6	48	25	62	31	75	76	20	98	111	136	129	106	81	147			
2	-2.4	-0.9	0.7	-1.9	-0.5	-1.1	-0.4	54	60	64	25	82	21	29	111	115	154	128	131	148	130			
3	1.1	2.1	1.9	4.6	2.5	1.5	1.0	68	109	99	53	117	105	22	149	135	153	152	164	141	156			
年平均・積算	10.6	10.1	10.6	10.4	10.8	10.4	10.8	1535	1401	1174	1284	1185	1206	1505	1633	1644	1660	1749	1769	1660	1630			
平年*	10.0								1254								1740							

*30年間（1971-2000）の平均値

2. 基礎物性の劣化

(1) 暴露最終年回収サンプルの観察結果および重量・厚さ変化率の推移

尺角パネルの材面割れ等の状況と重量変化率（2枚平均），およびIB試験全13片から得た厚さ変化率の平均値とパネル密度の平均値を表2に示す．なお，供試パネル8種類のうち，アスペンOSB，パインOSB，PB（PF）の計3種類は暴露5年目においてIB残存率またはMOR残存率が50%を下回り，暴露6年目の試験体回収をもって屋外暴露試験を終了した．他のパネルは，暴露6年目は試験体を回収せず，暴露7年目の試験体回収をもって試験終了とした．

表2 暴露終了年の材面観察および暴露7年間の厚さ変化など（数値は，左から1，2，3，4，5，6，7年目）

分類	表面の観察結果（最終年）	重量変化率 (%)								厚さ変化率 (%)								密度 (g/cm ³)							
合板12	表裏面亀裂、毛羽立ち多数。大きな反り発生。	-2.5	-0.1	-3.7	-4.9	-6.3	*	-14.1	1.7	2.7	0.6	0.5	0.6	*	-1.0	0.67	0.62	0.65	0.57	0.53	*	0.60			
合板9	同上	-0.7	-0.4	-4.5	-5.7	-8.3	*	-14.2	3.7	0.7	1.3	1.6	3.1	*	0.2	0.63	0.55	0.60	0.54	0.55	*	0.55			
アスペンOSB	四側面に亀裂。腐朽あり。	1.8	3.8	-2.0	-5.8	-7.6	-20.8	*	15.3	13.6	19.9	19.8	23.7	27.4	*	0.59	0.57	0.54	0.50	0.51	0.39	*			
パインOSB	全側面に亀裂。表面ストランド部剥離。	2.3	2.8	0.6	-0.8	0.0	-1.0	*	8.7	8.2	10.8	10.8	10.3	13.5	*	0.64	0.64	0.60	0.62	0.61	0.58	*			
PB（PF）	表面風化、全端面で亀裂多数。	0.2	1.2	-1.6	-2.6	-6.3	-4.0	*	3.2	6.6	6.4	5.9	15.7	13	*	0.72	0.71	0.71	0.70	0.61	0.66	*			
PB（MD）	若干の端部亀裂あり。表面毛羽立ち。	-0.5	-0.4	-2.2	-2.7	-3.2	*	-11.5	3.4	3.5	4.8	5.0	5.0	*	6.2	0.76	0.77	0.77	0.74	0.76	*	0.70			
MDF9	端部亀裂なし。著しい表面毛羽立ち。	-0.5	-0.4	-2.2	-2.7	-3.2	*	-9.6	0.9	1.3	1.0	0.3	0.4	*	0.1	0.73	0.71	0.71	0.71	0.69	*	0.68			
MDF12	同上	0.3	0.8	-0.5	-1.0	-1.5	*	-7.5	1.5	1.6	1.7	1.7	2.3	*	1.4	0.76	0.76	0.73	0.72	0.75	*	0.73			

合板： 表裏面の亀裂は暴露開始1年目から毎年観察されていたが，7年目ではさらに進行した亀裂と多数の毛羽立ちといった著しい表層劣化が確認された．重量減少（負の重量変化率）は暴露7年間で約14%まで進行したが，生物劣化の目視確認はされなかった．このことから，重量減少の主要因は雨水による抽出成分の溶脱や表層単板の風化，脱落と考えられる．また，厚さ変化率は暴露1年目から数%以内を保持しており，製造時に与えられた若干の圧縮セットが回復したまま推移している．

OSB： アスペンOSBは暴露期間とともに端部亀裂が進行し，暴露4年目以降は目視で腐朽が観察された．重量減

少率は 20%を超え、厚さ変化率も 30%近い変化を示し、結果としてパネル密度は初期の 0.64 g/cm³から 0.40 g/cm³程度へと低下した。一方、パイン OSB は四端面で亀裂が確認されたが、重量減少は少なく腐朽は認められなかった。厚さ変化率もアスペン OSB の半分程度であり、比較的緩やかな劣化進行と言える。

PB： フェノールボードでは暴露 5 年目以降、5%程度の重量減少と 10%以上の厚さ膨張を示し、ボード表面もかなり荒れた状態となった。ただし、目視での生物劣化は観察されなかった。MDI ボードはフェノールボードよりも劣化が遅いが、暴露最終年（7 年）ではボード表面もかなり荒れた状態で、10%以上の重量減少を伴った。ただし、目視での生物劣化は観察されなかった。

MDF： 端部亀裂は OSB や PB よりも少ないが、暴露終了年には表面の風化（表面粗さの増大）は他のパネル同様に進行しており、厚さ 9mm の構造用 MDF では約 10%、12mm の造作用 MDF でも約 8%の重量減少となった。ただし、目視での生物劣化は観察されず、暴露 7 年目でも数%以内の厚さ変化率を保持した。

(2) 曲げ性能の劣化

暴露最終年（6 年または 7 年）における試験時の厚さ基準で算出した比例限度応力、MOR、MOE および初期厚さ基準で算出した MOR（Load Carrying Capacity ; LCC）、MOE（Bending Resistance ; BR）を表 3 とそれらの残存率を表 3 に示す。また、最長 7 年までの各物性の劣化経過を初期値に対する残存率で表中の下段に示した。

表 3 暴露最終年（6 年または 7 年）の曲げ性能および劣化経過
(n=8, 下段は残存率で、左から暴露 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 年目の値)

分類	試験時 含水率 (%)	比例限度	MOR	MOE	LCC	BR
		Ave±std (MPa) 残存率 (%)	Ave±std (MPa) 残存率 (%)	Ave±std (GPa) 残存率 (%)	Ave±std (MPa) 残存率 (%)	Ave±std (GPa) 残存率 (%)
合板12	6.2	24.4±7.2	30.8±11.1	4.48±0.84	28.8±10.2	4.06±0.69
		101 70 72 58 61 * 65 98 61 71 56 60 * 49 93 66 76 70 53 * 62 101 64 72 56 59 * 56 97 71 77 70 52 * 56				
合板9	6.3	34.3±4.5	60.8±12.1	3.57±0.58	58.9±10.9	3.41±0.48
		76 65 67 74 76 * 75 89 57 75 64 74 * 79 81 64 75 73 56 * 37 96 58 77 67 74 * 77 91 66 79 77 57 * 35				
アスペンOSB	9.1	2.8±1.2	4.5±1.8	0.51±0.17	7.4±3.2	1.06±0.43
		42 66 38 23 22 10 * 57 68 46 27 25 12 * 53 55 42 26 20 10 * 74 87 63 41 38 20 * 77 80 68 47 39 20 *				
パインOSB	8.1	12.1±3.1	19.9±4.7	2.33±0.61	25.8±6.1	1.06±0.43
		64 72 51 48 28 45 * 83 82 61 62 39 54 * 76 67 52 60 26 47 * 96 94 74 74 51 70 * 95 82 69 77 39 69 *				
PB (PF)	8.3	4.7±1.0	7.4±0.12	0.75±0.22	9.8±1.1	1.12±0.22
		43 46 36 31 13 27 * 65 57 53 43 20 37 * 64 46 43 35 13 21 * 70 65 58 50 28 48 * 71 57 49 44 23 31 *				
PB (MDI)	5.3	10.3±1.4	16.6±1.3	1.88±0.19	17.7±1.0	2.06±0.15
		66 61 57 54 38 * 49 88 73 79 71 59 * 58 75 60 59 58 39 * 46 94 79 85 77 64 * 61 82 68 66 65 44 * 50				
MDF9	5.0	14.2±1.7	28.8±2.3	2.46±0.21	27.6±2.0	2.31±0.17
		87 83 70 65 63 * 69 98 83 84 83 72 * 80 100 82 84 82 56 * 78 100 86 86 84 72 * 77 103 86 86 83 57 * 73				
MDF12	4.4	21.6±2.4	40.0±2.6	3.37±0.32	39.1±2.4	3.23±0.27
		78 84 58 61 54 * 72 98 83 84 83 72 * 88 95 79 73 72 54 * 80 97 94 82 79 79 * 86 99 84 77 75 57 * 77				

前述のように、アスペン OSB、パイン OSB、PB (PF) の 3 種類のパネルは他パネルに比べて劣化進行が早く、暴露 6 年目の試験体回収をもって屋外暴露試験を終了した。これらのボードの暴露 6 年目の MOR 残存率と MOE 残存率は、それぞれ 12~54%、10~47%の範囲に分布し、パネル間の序列は、パイン OSB > PB (PF) > アスペン OSB であった。MOE 残存率は全てのパネルで MOR 残存率よりも低くなった。以下、暴露 6 年間の曲げ性能劣化をパネルごとに見てみる。まず、アスペン OSB は、比例限度応力、MOR、MOE が暴露 2 年を過ぎたあたりで初期値の半分以下となった。この低下は、後述するように吸脱水に伴う厚さ膨張が接着力低下を招くためと考えられる。また、暴露 4 年目以降は残存率 3 割以下となったが、これは厚さ膨張による接着性能の劣化に加え、木材腐朽が影響したと言える。一方、パイン OSB はアスペン OSB よりも高い残存率を保持し、暴露 6 年間で腐朽は認められなかった。これには多量のワックス添加による吸水抑制すなわち厚さ膨張抑制と原料樹種（松系）の耐腐朽性が影響していると言える。次に PB (PF) では、暴露 2~3 年目で MOR および MOE が初期値の半分以下となった。暴露期間の経過とともにパネル表面の風化も進むため曲げ性能への影響も大きい。ただし、腐朽発生はなく、暴露 6 年間で 2~3 割の残存率を保持した点で、アスペン OSB より耐久性能は高いと言える。なお、LCC は厚さ変化を無視して算出した MOR であり、その残存率はパネルが施工された状態での耐荷重残存率を意味する。同様に BR は厚さ変化を無視して算出した MOE であり、その残存率はパネルが施工された状態での特定荷重におけるたわみ量の指標となる（たとえば、残存率が 50%

であれば、たわみ量は2倍)。

続いて、上記3種類よりも劣化進行が遅く、暴露7年を最終年とした残り5種類のパネルに着目する。暴露7年目のMOR残存率は49~88%に分布し、パネル間の序列は、MDF12 > MDF9 ≒ 合板9 > PB (MDI) > 合板12であった。また、MOE残存率は37~80%に分布し、MDF12 > MDF9 > 合板12 > PB (MDI) > 合板9となった。MOE残存率はMOR残存率に近い値を示すが、全てのパネルにおいて若干低めとなった。暴露7年間の曲げ性能低下の特徴を概観すると、PB (MDI) では、暴露5年目でMORおよびMOE残存率の急激な減少が見られたが、暴露7年目においても5割程度の残存率を保持した。合板も残存率は5割前後まで低下しているが、暴露による接着剥離はほとんど認められていないことから、表層単板の亀裂と風化が性能低下の主要因であると言える。一方、MDFは7年経過後も残存率8割程度の曲げ性能を保持した。MDFの厚さ膨張(表2参照)は7年経過後も数%以内であったことから、内部に及ぶ接着劣化は考え難く、表面の風化が曲げ性能の劣化に大きく作用したと考えられる。

表4 暴露最終年(6年または7年目)のはく離強度(IB)と厚さ変化率

(IB残存率は、左から暴露1, 2, 3, 4, 5, 6, 7年目の値)

分類	中央部 (n=3)									側端面付近 (n=10)								
	B Ave±std(MPa)	残存率 (%)							厚さ変化率; Ave±std (%)	B Ave±std(MPa)	残存率 (%)							厚さ変化率; Ave±std (%)
合板12	1.16±0.26	126	70	122	102	60	*	101	-0.8±0.3	1.73±0.58	113	82	104	116	90	*	150	-1.0±1.1
合板9	2.23±0.42	113	76	128	142	93	*	164	-1.0±0.8	2.18±0.35	113	126	113	159	78	*	161	-0.5±1.3
アスペンOSB	0.07±0.03	73	57	56	24	25	12	*	27.8±2.1	0.02±0.02	73	43	24	21	37	3	*	27.2±6.9
パインOSB	0.29±0.10	102	84	50	68	55	46	*	13.5±2.5	0.40±0.16	91	80	61	94	89	62	*	13.5±4.3
PB (PF)	0.32±0.19	92	57	66	62	26	38	*	13.6±4.3	0.26±0.23	72	54	62	57	22	31	*	13.0±5.0
PB (MDI)	0.92±0.11	90	85	76	77	57	*	42	6.2±0.5	1.11±0.22	90	86	86	65	59	*	51	6.3±1.6
MDF9	1.46±0.11	121	92	110	114	95	*	120	-0.5±0.2	1.36±0.18	122	75	112	108	105	*	112	0.3±0.5
MDF12	0.66±0.09	95	87	131	106	117	*	106	1.0±0.1	0.74±0.09	121	90	108	112	120	*	120	1.5±0.9

(3) はく離強度 (IB) の劣化

1種類のパネルにつき13片のIB試験体は、尺角パネル中央付近の3片と比較的側端面に近い10片で構成される。前者は暴露中に雨水浸入の影響を受け難いが、後者は側端面の防水処理の劣化に応じて雨水浸透の影響を受けるため、別々の分析が必要であろう。両部位での暴露最終年(6年または7年)のはく離強度(IB)と試験時の厚さ変化率、およびIB残存率の経時変化を表4に示す。なお、IB試験は劣化した表層部を削除した後に行った。

曲げ性能の場合と同様、まず、6年で暴露終了とした3種のパネルに着目する。暴露6年目のIB残存率の序列は、パインOSB > PB (PF) > アスペンOSBであり、曲げ性能の序列と一致した。パインOSBは中央部・側端面付近ともに暴露6年間でも5割程度の残存率を保持した。なお、側端面付近のIBは暴露5年目までは概ね残存率9割を保持したが、6年目では約6割に低下しており、表2で触れた側端面の亀裂増加とそれに伴う厚さ膨張が接着力低下を引き起こしたと考えられる。PB (PF)における6年目の残存率は、中央部の方が側端面よりも若干高いが、両者ともに4割以下となった。アスペンOSBでは、中央・側端面付近ともに厚さ変化率が約28%と著しく大きく、IB残存率は中央部で12%、側端面で3%と著しく低かった。暴露5年目と6年目の厚さ変化率は同程度であることから、側端面における著しいIB低下は生物劣化の進行によると考えられる。なお、アスペンOSBの曲げ試験結果では、8試験体全てが水平せん断で破壊し、著しいIB低下が曲げ性能を大きく低下させたと言える。

7年目を暴露最終とするパネルに着目すると、IB残存率のパネル間の序列は、合板9 > 合板12 > MDF9 > MDF12 > PB (MDI)となった。特に合板とMDFでは、暴露7年を経ても残存率100%以上となっており、パネル厚さ中央部の接着強度は劣化していないと言える。これはパネルの水分浸透しにくい構造であることが影響していると考えられる。一方、暴露7年目のPB (MDI)では、中央部では約4割、側端面付近では約5割までの残存率低下が認められた。厚さ膨張率は6%程度であり、表2に示した厚さ変化率の経時変化を考慮すると、徐々に進行する厚さ膨張が

ボードコア部分への水分浸透を促して IB を弱めていったと解釈できる。

(4) 吸水厚さ膨張率 (TS)

本プロジェクトではマット成形パネルの劣化メカニズムの検討を目的に、屋外暴露後の養生後の試験片に JIS A5908 に準拠した 24 時間吸水厚さ膨張試験を行った。表 5 は、暴露最終年 (6 年または 7 年後) の吸水厚さ膨張率を初期厚さ基準および吸水前厚さ基準で算出した値 (それぞれ, TSo, TS と表記) および厚さ変化率 TC を示している。はく離強度と同様に採取位置により 2 区分して求めたが、ここでは各パネル 13 片の平均データを用いて解析を進める。なお、厚さ変化率, 初期厚さ基準 TS, 吸水前厚さ基準 TS の 3 者間には、それぞれの定義より、以下の関係式が成り立つ。

$$TSo/100 = (TS/100 + 1) \times (TC/100 + 1) - 1$$

表 5 暴露最終年 (6 年または 7 年後) の 24 時間吸水厚さ膨張率 (初期厚さ基準 TS および吸水前厚さ基準 TS)

分類	中央部 (n=3)			側端面付近 (n=10)			(参考) 暴露前 24h 吸水 TS (%)
	吸水前 厚さ変化 率 TC Ave±std (%)	24h 吸水 TS Ave±std (%)		吸水前 厚さ変化 率 TC Ave±std (%)	24h 吸水 TS Ave±std (%)		
		初期基準 TSo	吸水前基 準 TS		初期基準 TSo	吸水前基 準 TS	
合板 12 (7 年)	-0.2±1.1	3.5±0.7	3.8±0.6	0.4±1.6	3.8±1.9	3.4±1.2	5.9±1.5
合板 9 (7 年)	1.5±0.5	3.6±1.1	2.1±0.9	-0.1±1.8	2.4±2.5	2.4±1.0	6.4±1.7
アスペン OSB (6 年)	30.0±5.9	41.8±8.4	9.1±2.7	25.0±5.9	35.1±5.6	8.1±2.6	18.3±2.6
パイン OSB (6 年)	10.5±1.1	18.6±0.5	7.3±1.3	13.3±3.0	23.8±4.7	9.3±1.8	10.4±0.9
PB (PF) (6 年)	15.5±6.5	26.0±9.2	9.0±2.1	13.7±6.3	24.7±8.1	9.7±3.5	9.3±1.5
PB (MDI) (7 年)	5.8±0.6	12.9±0.8	6.7±0.3	6.7±2.0	15.6±2.5	8.4±1.1	6.8±0.4
MDF9 (7 年)	0.4±0.4	5.2±0.1	4.8±0.4	0.4±0.6	5.2±0.6	4.8±0.6	5.8±0.3
MDF12 (7 年)	1.0±0.2	4.4±0.2	3.4±0.3	1.5±0.5	5.6±1.0	4.0±0.7	4.1±0.2

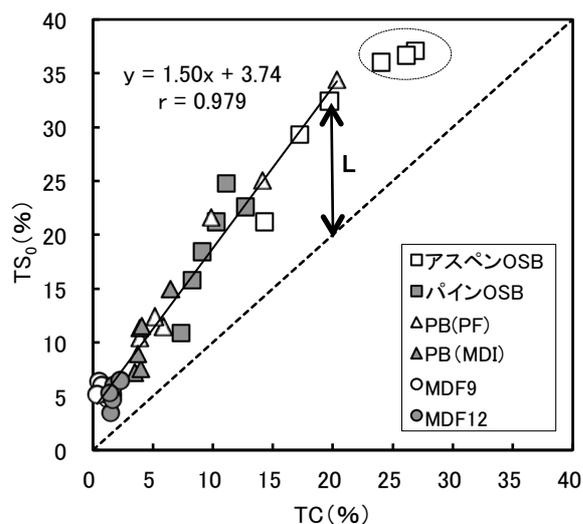


図 1 厚さ変化率と TSo の関係 (生物劣化を区別)

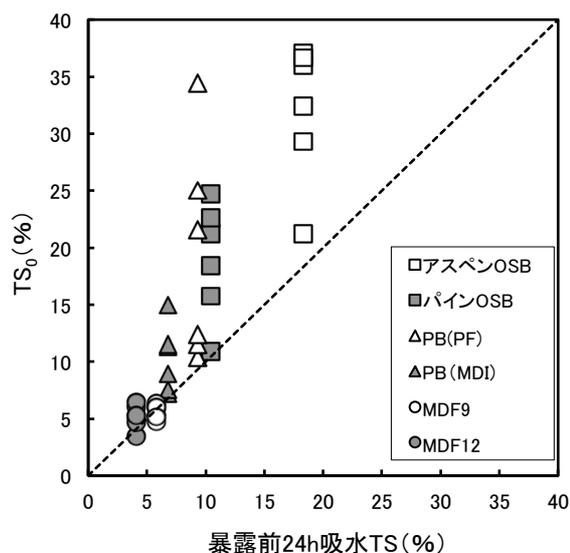


図 2 暴露前後の吸水厚さ膨張率の比較

図 1 は TC と TSo との関係について、暴露 7 年目までのデータをパネル毎にプロットしたものである。図 1 において各プロットと破線との距離 L は、暴露後の 24 時間吸水で発生した厚さ増分に相当する。TC が約 25% までは L が直

線的に増大するが、これは次のように解釈できる。「マット成形パネルが屋外暴露によって接着強度劣化を伴いながら厚さ増加（低密度化）すると、吸水試験において吸水量の増加とエレメント深部への水分浸透の要因となり、エレメント自体の圧縮回復や吸水膨潤を助長させる。これと同時に、接着力の低下によりエレメント膨潤を抑え込む能力が低下し、結果として吸水厚さ膨張率が増加する。」一方、図1において破線で囲まれたプロットは暴露4年目以降のアスペンOSBであり、前述の直線回帰から外れてLの値が小さくなった。これらは生物劣化が確認されたパネルであり、生物劣化による木材成分の分解により膨潤能が低下したことが要因と考えられる。

図2は暴露前の24時間吸水TSに対するTS₀の関係を示している。パネル毎の6つのプロットは、PBでは下方から上方へ暴露1, 2, 3, 4, 6, 5年の順であり、同様にOSBでは暴露2, 1, 3, 4, 6, 5年の順、そしてMDF9では2, 3, 1, 5, 4年、MDF12では2, 3, 1, 4, 5年の順である。図2より、暴露前の吸水TSが小さいほど、TS₀も小さいことが読み取れる。特にMDF9では暴露2年および3年目で、MDF12でも暴露2年で暴露前のTSを下回っており、暴露による吸水膨潤能の低下が示唆される。一方、暴露前の吸水TSが10%程度以上のパネルでは、暴露による乾湿繰り返しによって年月の経過とともに吸水TSが増加している。特にPB (PF) では暴露3年目と比較して4年目、5年目での著しい増加が見られた。

(5) マット成形パネルにおける厚さ変化率とMOR残存率の関係

一般にマット成形パネルの強度劣化は、厚さ膨張率と関係が深いと言われる。また、屋外暴露では生物劣化による強度劣化も考慮しなければならない。腐朽が生じると生物劣化と接着劣化が複合された強度劣化となり、強度劣化メカニズムの解析が困難となる。ここでは、厚さ膨張率とMOR残存率の关系到及ぼす生物劣化の影響に着目し、生物劣化が目視観察された他地域データをも含めて解析を試みた。

全8地域におけるアスペンOSBについて、暴露後の厚さ変化率とMOR残存率の关系到について重量減少率ごとにプロットを描くと図3が得られた。また、図中の×印は目視により腐朽が確認できた条件である。いま、プロットを3グループ化、すなわち、生物劣化目視未確認グループ、生物劣化目視確認グループ①（重量減少率10%未満）、生物劣化目視確認グループ②（重量減少率10%以上）に分け、前2者に直線回帰式を適用すると、ともに相関係数0.8以上と高い相関を示した。これらの回帰線を用いると、例えば厚さ変化率10%では生物劣化目視未確認グループでは強度低下率（=100%−残存率）が32%、生物劣化目視確認グループ①では43%となる。つまり接着劣化に生物劣化が加わってさらに11%だけ強度低下が生じたと言える。また、生物劣化目視確認グループ②では、厚さ変化率が15%を超えると重量変化率が10%以上となるものが現れ、MOR残存率は平均14%と著しい劣化を示した。このグループが生物劣化目視確認グループ①の回帰直線から外れるのは、生物劣化の進行でエレメントの収縮が生じて厚さ変化率が減少したためと紺が得られる。

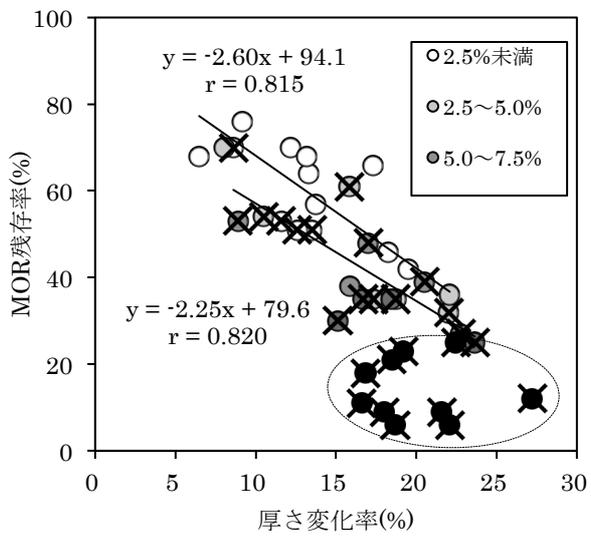


図3 厚さ変化率とMOR残存率の関係（全8地域、アスペンOSB）

3. 釘接合性能の劣化

(1) 暴露最終年回収サンプルの観察結果および重量変化の推移

暴露5年目においてIB残存率または釘側面抵抗残存率が50%を下回ったパネルは暴露最終年を6年とし、それ以外のパネルでは暴露最終年を7年とした。最終年回収パネルの材面観察結果および暴露期間を通じての重量変化率の推移を表6に示す。OSB(暴露6年)では供試パネル4枚全てに生物劣化が目視により確認され、4枚中2枚で重量減少率が30%を超えた。同じく最終暴露6年のPB(PF)では、生物劣化は目視で確認されず、重量変化率も5年目と同程度であった。ただし、材面の風化は前年と比べて進行していた。一方、最終暴露7年となる合板、PB(MDI)、MDFでは、いずれのパネルも毛羽立ちや割れの進行が見られ、著しい表面劣化が確認された。また、7年目の重量変化率(負値は減少率)は暴露5年目と比較して、合板では約2倍、PBおよびMDFでは約3倍の値を示した。ただし、目視による顕著な生物劣化は確認されなかった。

表6 釘打ちサンプル(暴露最終年)の材面観察および重量減少率

分類 (最終年)	材面観察結果(暴露6年目または7年目)	重量変化率(%)
		左から1, 2, 3, 4, 5, 6 or 7年目
合板12 (7)	毛羽立ち, 割れ多数, 繊維方向⊥で一部端面の接着剥離	-1.5, -1.3, -5.0, -4.0, -6.3, -13.9
合板9 (7)	毛羽立ち, 割れ多数. 一部に反り有り	-1.3, -0.8, -4.4, -4.8, -7.8, -14.7
アスペンOSB (6)	4枚全てにおいて腐朽, 端面亀裂多数, 釘ゆるみ大	1.3, 1.5, -4.3, -11.6, -16.4, -24.4
PB(PF) (6)	四端面に亀裂あり, 表面風化顕著, 生物劣化なし	0.5, 0.6, -2.0, -2.9, -5.5, -5.6
PB(MDI) (7)	表面毛羽立ち, 軽微な端面亀裂有り, 腐朽なし	0.1, 1.1, -1.8, -1.8, -3.1, -11.1
MDF9 (7)	軽微な端面亀裂あり, 端面付近に若干の生物劣化	-0.3, -0.5, -2.1, -2.9, -3.4, -9.4

表7 暴露最終年(6年または7年目)の釘側面抵抗と釘頭貫通抵抗

(下段の残存率は、左から1, 2, 3, 4, 5, 6または7年目, 厚さ変化率のカッコ内は1, 2, 3, 4, 5年目の値)

分類 (最終年)	釘側面抵抗 (n=6)		釘頭貫通抵抗 (n=8)	
	最大荷重 Ave±std (kN) 残存率 (%)	厚さ変化率 Ave±std (%)	最大荷重 Ave±std (kN) 残存率 (%)	厚さ変化率 Ave±std (%)
合板12 (//) (7)	1.17±0.16 79, 73, 69, 76, 69, 51	-2.2±1.5 (0.0, 2.3, 3.5, -0.1, -1.2)	1.71±0.37 98, 100, 89, 91, 108, 82	1.3±1.4 (2.2, 1.6, 2.2, 1.3, 2.0)
合板12 (⊥) (7)	1.92±0.17 87, 84, 68, 72, 75, 81	-1.2±0.9 (0.4, 2.6, 1.4, -0.5, 1.4)		
合板9 (//) (7)	0.69±0.18 76, 77, 64, 63, 72, 50	-3.1±2.2 (2.2, -0.6, 3.7, 1.6, -2.1)	1.11±0.13 102, 84, 94, 78, 75, 72	2.3±3.3 (4.7, 0.9, 2.9, 2.3, 1.6)
合板9 (⊥) (7)	0.76±0.19 100, 78, 89, 90, 65, 52	-0.6±2.1 (3.2, 2.2, 2.5, 2.3, 0.6)		
アスペンOSB (//) (6)	0.59±0.24 91, 63, 78, 31, 31, 33	34.6±7.1 (25.4, 25.5, 23.8, 20.5, 24.4)	0.59±0.39 94, 72, 85, 60, 55, 38	28.0±3.9 (14.3, 17.6, 17.8, 19.6, 22.6)
アスペンOSB (⊥) (6)	0.52±0.15 56, 56, 56, 37, 41, 25	29.5±4.2 (22.6, 31.9, 25.3, 29.3, 30.1)		

PB (PF) (6)	0.49±0.09 55, 37, 39, 33, 28, 28	29.8±2.9 (12.6, 27.2, 18.1, 31.5, 17.3)	1.31±0.25 89, 77, 85, 87, 80, 77	14.6±2.9 (4.4, 9.7, 5.2, 7.7, 10.3)
PB (MDI) (7)	1.87±0.17 90, 76, 73, 81, 70, 68	8.3±1.8 (4.9, 8.0, 5.2, 7.8, 6.7)	2.59±0.18 89, 77, 85, 87, 80, 96	4.4±0.7 (3.1, 5.3, 4.3, 4.5, 5.0)
MDF9 (7)	1.39±0.14 92, 84, 96, 90, 75, 103	0.4±0.7 (1.6, 3.0, 2.2, 1.3, 3.1)	1.51±0.18 92, 91, 93, 96, 101, 96	0.9±0.5 (1.7, 2.9, 1.7, 0.9, 1.6)

(2) 釘側面抵抗および釘頭貫通抵抗の劣化

暴露最終年（6年または7年）における各パネルの釘側面抵抗と釘頭貫通抵抗を表7に示す。また、暴露期間を通じた残存率の推移を下段に示した。さらに、試験片の厚さ変化率（暴露前の厚さを基準）の推移も同表に掲げた。以下、各性能におけるパネルごとの劣化の特徴を記述する。

釘側面抵抗： OSBでの残存率は暴露4年目で3~4割まで低下し、最終年（6年目）では約3割となった。OSBでは4年目以降で腐朽が確認されており、残存率の低下には生物劣化が大きく影響していると言える。ただし、生物劣化の程度を示す重量減少は5年目の16%から6年目の24%へと大きく増加したものの、厚さ変化率は5年目とほぼ同等であることから、腐朽は釘側面抵抗に影響するパネル端部で程度を増したのではなく、パネル中央部へ進んだと推測される。一方、PB (PF)の側面抵抗は暴露1年目でほぼ半減、4年目以降は3割程度で漸減傾向を示した。ただし、腐朽は確認されないことから、残存率の低下は小片同士の接着力低下が主因と考えられる。これら以外のパネルでは暴露最終年（7年）まで5割以上の残存率を保持し、とりわけMDFは他パネルよりも劣化が小さい傾向にあった。

釘頭貫通抵抗： 暴露6年目における残存率はOSBでは約4割、PB (PF)では約8割となり、OSBでは5年目に比べ20%近い残存率低下が見られたが、これは前述のように、腐朽のパネル中央部への進行が要因と推察される。PB (PF)では5年目とほぼ同等となる約8割の残存率を最終年（6年）で保持した。暴露7年が最終年となる合板では、残存率が7~8割、同じくPB (MDI)とMDF9では残存率が9割以上となった。釘頭貫通抵抗の残存率は、ほぼ全てのパネルで釘側面抵抗の残存率よりも高い値を示すが、マット成型パネルの場合は以下のような理由が考えられる。釘側面抵抗は厚さ膨張の大きな（すなわち劣化の程度の大きな）パネル端部から試験体が採取され、釘身が端部のエレメントを引きちぎりながら破壊が進行するため、端部劣化の影響を受けやすい。これに対し、釘頭貫通抵抗では試験体は水分浸透が端部よりも少ないパネル中央付近から採取されている。釘身周囲でパネル劣化が生じていてもその程度はパネル端部に比べて小さいため（後述のIBデータが証拠となる）、釘頭貫通抵抗の劣化は側面抵抗の劣化よりも遅延されると考えられる。

表8 暴露最終年（6年目または7年目）の釘一面せん断性能

(n=6, 残存率は左から1, 2, 3, 4, 5, 6または7年目, また厚さ変化率の下段の値は1, 2, 3, 4, 5年目)

分類 (最終年)	荷重 (釘1本当たり)					厚さ変化率
	相対変位			最大荷重		
	0.4mm	1.0mm	2.0mm			
	Ave±std (kN) 残存率 (%)	Ave±std (kN) 残存率 (%)	Ave±std (kN) 残存率 (%)	Ave±std (kN) 残存率 (%)	破壊 モード*	Ave±std (%)
合板12 (//) (7)	0.43±0.11 61, 55, 52, 45, 63, 65	0.63±0.09 76, 68, 61, 56, 68, 77	0.79±0.09 80, 76, 70, 65, 74, 84	0.98±0.08 75, 78, 84, 79, 89, 83	0:6	-1.8±2.1 0.9, 1.2, 2.3, -0.9, 1.6
合板12 (⊥) (7)	0.42±0.12 60, 56, 50, 49, 41, 69	0.62±0.08 73, 65, 58, 52, 46, 74	0.79±0.07 80, 72, 67, 57, 57, 81	1.08±0.20 87, 79, 85, 72, 85, 91	1:5	0.4±2.1 -0.1, 4.1, 1.6, -1.8, -0.9
合板9 (//) (7)	0.28±0.04 46, 50, 52, 40, 41,	0.48±0.03 60, 61, 61, 47, 50,	0.62±0.03 69, 69, 70, 53, 57,	0.96±0.04 83, 82, 102, 75, 89, 93	0:6	-1.0±1.8 -0.3, 2.4, 3.6, 0.1, -1.5

	44	59	68			
合板9 (上) (7)	0.34±0.03 54, 48, 52, 50, 45, 53	0.54±0.03 68, 59, 61, 57, 51, 65	0.69±0.04 78, 68, 71, 65, 60, 74	0.87±0.06 84, 88, 104, 87, 84, 85	0 : 6	2.1±1.4 -2.7, 4.0, 2.1, 1.7, -0.2
アスペン OSB (//) (6)	0.16±0.04 41, 44, 43, 31, 42, 30	0.27±0.07 61, 59, 57, 39, 46, 40	0.34±0.12 75, 72, 70, 47, 53, 46	0.46±0.18 98, 81, 85, 71, 71, 52	0 : 6	31.2±4.9 15.2, 21.7, 24.4, 24.4, 20.9
アスペン OSB (上) (6)	0.19±0.06 38, 39, 52, 29, 26, 31	0.29±0.08 56, 55, 63, 37, 36, 39	0.37±0.10 70, 66, 74, 45, 45, 44	0.43±0.09 82, 71, 71, 55, 57, 41	0 : 6	29.7±4.2 15.1, 27.7, 28.2, 27.8, 28.2
PB (PF) (6)	0.25±0.04 51, 42, 49, 35, 37, 43	0.41±0.05 65, 55, 59, 43, 45, 53	0.51±0.07 73, 62, 61, 51, 51, 57	0.55±0.08 72, 62, 57, 55, 53, 54	0 : 6	31.3±2.1 3.6, 24.2, 14.1, 29.6, 27.7
PB (MDI) (7)	0.50±0.10 63, 59, 66, 58, 52, 70	0.75±0.07 77, 73, 77, 65, 63, 85	0.93±0.06 83, 80, 82, 71, 71, 92	1.10±0.14 90, 80, 74, 80, 75, 91	2 : 4	3.2±0.9 2.5, 10.4, 8.9, 8.9, 9.3
MDF9 (7)	0.48±0.07 71, 66, 67, 54, 52, 83	0.67±0.05 84, 78, 78, 66, 63, 94	0.80±0.03 94, 86, 87, 75, 72, 103	1.01±0.09 104, 97, 94, 97, 89, 114	1 : 5	1.9±2.4 -0.2, 3.8, 2.3, 2.6, 4.0

*破壊モードは、試験体数の比＝（釘の引き抜け）：（パネル端部破壊）で表示。

(3) 釘一面せん断性能の劣化

暴露最終年（6年または7年）における釘一面せん断性能の評価指標として、相対変位 0.4, 1.0, 2.0mm における荷重、最大荷重と破壊モードおよび初期厚さに対する試験時の厚さ変化率（釘打ち部の近傍で厚さ測定）を表 8 に示す。また、暴露期間を通じての各指標の初期値に対する残存率を同表中に示した。

まず、相対変位 0.4mm での荷重の残存率に着目する。暴露 6 年が最終年となる OSB では方向性に関わらず約 3 割、PB (PF) では約 4 割となった。暴露 7 年が最終年となる合板、PB (MDI)、MDF では 5～8 割の残存率となり、相対変位 0.4mm では、暴露中に生じる釘の緩みが大きく影響し、残存率は 1 年目で大きく低下した後、徐々に低下する傾向があった。一方、相対変位 1mm および 2mm での残存率は 4 割から 9 割に分布し、パネル間の序列は、MDF > PB (MDI) > 合板 > PB (PF) > OSB となった。相対変位が大きいほど残存率が高いのは、釘の緩みの影響が減少することが一因と推察される。いずれの相対変位でも PB より OSB の残存率が低かったのは、主に生物劣化による低密度化が要因と考えられる。

次に、最大荷重の残存率に着目する。暴露 6 年目が最終年となる OSB、PB (PF) ではそれぞれ 4～5 割、5 割強となった。破壊モード（パネル端部破壊または釘の引き抜け破壊）については OSB、PB (PF) とともに全てパネル端部破壊であり、一面せん断耐力はパネル劣化に依存した。一方、暴露 7 年が最終年となる他のパネルでは、8 割以上の残存率を示した。破壊モードについては多くがパネル端部破壊であり、一面せん断耐力はパネル劣化に依存した。

表 9 端面防水処理の有無による IB の差異（暴露 6 年または 7 年目）

（残存率および厚さ変化率は、左から暴露 1, 2, 3, 4, 5, 6 年または 7 年目）

分類 (最終年)	端面防水処理なし（釘暴露パネル）		端面防水処理あり（基礎物性パネル）	
	IB (MPa, N=8) Ave±std 残存率 (%)	厚さ変化率 (%)	IB (MPa, N=10) Ave±std 残存率 (%)	厚さ変化率 (%)
合板 12 (7)	0.96±0.35 87, 84, 81, 100, 102, 84	2.7, 1.5, 1.8, 1.2, 1.9, 0.7	1.73±0.58 113, 82, 104, 116, 90, 150	1.7, 2.7, 0.8, 0.4, 0.4, -1.0
合板 9 (7)	1.92±0.32 122, 96, 103, 112, 140, 142	3.1, 2.8, 2.9, 2.9, 1.2, 2.2	2.18±0.35 113, 126, 113, 159, 78, 161	3.7, 0.7, 0.9, 2.0, 3.1, 0.5
アスペン OSB	0.01±0.01	20.9, 19.7, 27.1, 27.4,	0.02±0.02	15.3, 13.6, 21.5, 19.0,

(6)	44, 15, 24, 14, 10, 3	31.1, 37.1	73, 43, 24, 21, 37, 3	23.0, 27.8
PB (PF)	0.04±0.02	12.2, 17.9, 16.5, 34.3,	0.26±0.23	3.2, 6.6, 6.5, 6.2, 16.3,
(6)	54, 26, 36, 12, 12, 5	26.7, 39.6	72, 54, 62, 57, 22, 31	13.0
PB (MDI)	1.35±0.24	4.6, 6.2, 4.9, 8.6, 9.9, 6.6	1.11±0.22	3.5, 3.4, 4.6, 4.8, 5.1, 6.3
(7)	79, 65, 74, 65, 58, 62		90, 86, 86, 65, 59, 51	
MDF9	1.37±0.21	2.1, 3.3, 2.6, 2.3, 2.0, 0.9	1.36±0.18	0.9, 1.3, 0.9, 0.2, 0.4, 0.3
(7)	92, 88, 119, 91, 106, 112		122, 75, 112, 108, 105, 112	

(4) パネル端部付近のはく離強度 (IB) と釘側面抵抗の関係

基礎物性用の暴露試験体から得た IB は、端面防水したパネル周囲より 15mm 程度内側からの試験片で測定されている。一方、釘側面抵抗や一面せん断性能は、端面防水なしのパネル材端部で測定しており、端部劣化の影響を大きく受けるため、パネル端部を含む試験片での IB も測定されている。暴露最終年 (6 年または 7 年) で両者の IB を比較したのが表 9 である。端面防水処理なしの OSB と PB (PF)、端面処理ありの OSB では、いずれも残存率 5% 以下で崩壊寸前であった。OSB では著しい厚さ膨張のために端面防水処理が既に効果を発揮せず、厚さ膨張による吸水の進行とそれに伴う生物劣化の進行が大きな接着劣化を引き起こしたと考えられる。一方、端面防水処理のある PB (PF) では、暴露 6 年目でも約 3 割の IB 残存率を持ち、水分侵入抑制の重要性が示唆される。

さて、図 4 はパネル端部で測定された IB の残存率と釘側面抵抗の残存率の関係について、積層材料である合板とマット成形材料である OSB・PB・MDF の 2 グループに分けて示してある (最長 7 年までのデータを使用)。図 4 (左) を見ると、合板では釘側面抵抗残存率と IB 残存率の関係は明瞭とは言い難い。その理由として、釘側面抵抗試験体の寸法 (幅) が 5cm と小さく、破壊が幅内で完結せずに側面に及ぶこと、また、IB がはく離モードであるのに対し、釘側面抵抗ではエレメント間のせん断モードが主体となることが考えられる。一方、図 4 (右) に示すマット成形材料では、IB 残存率と釘側面抵抗残存率の間にある程度関係性が認められる。すなわち、IB の低下が進むと側面抵抗も低下するという因果関係である。ただし、図中に示した 45 度ラインから明瞭なように、IB が 7 割以下の場合、側面抵抗の残存率は IB 残存率よりもかなり大きいことが読み取れる。この要因として、IB は垂直剥離のため最も弱い結合力の部位から破壊が進展するのに対し、側面抵抗では、ほぼ水平あるいは若干の 3 次元的な絡みを伴って堆積したエレメントに対し、その側方より釘身が部分圧縮とせん断をもたらす破壊メカニズムとなることが挙げられる。

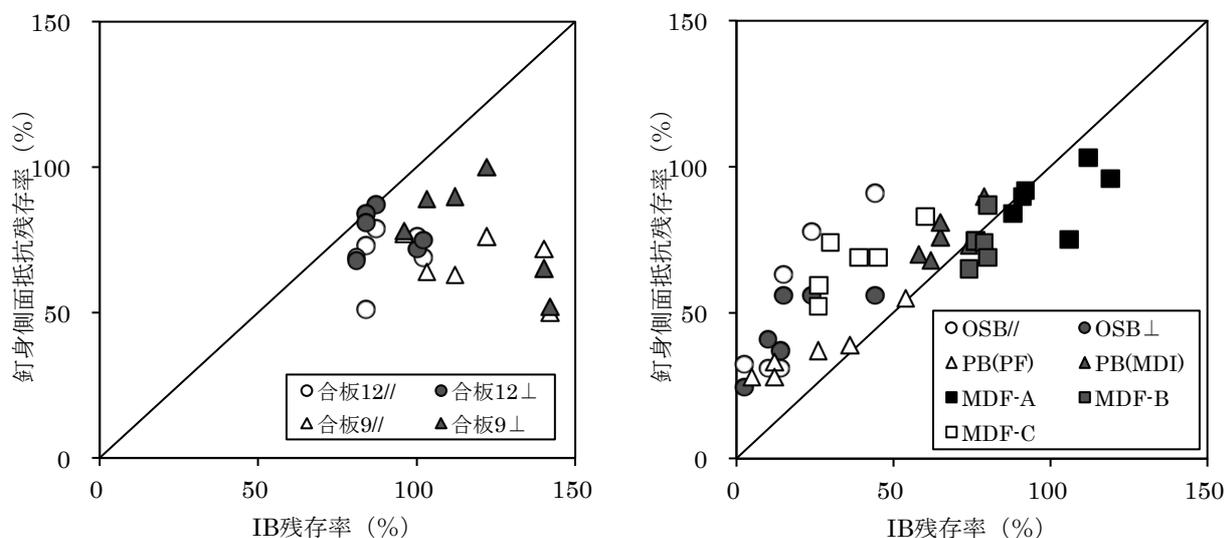


図 4 IB 残存率と釘側面抵抗残存率の関係 (暴露 7 年間のデータ)

注) MDF (B), (C) は盛岡でのオプション材料 (MDF (A) は MDF9 を指す)

3.1.3 暴露地“能代”における基礎物性の劣化

秋田県立大学木材高度加工研究所；山内秀文

京都大学生存圏研究所：梅村研二

1. 気象条件

秋田県能代市における暴露試験開始から2, 5, 6, 7年目の気象を表1に示す。5年目から7年目の2年間のうち、2010/11は、暴露期間の平均値に比べ気温がかなり高めに推移した。しかし、降水量はこの期間中最も少なく、特に7・8月とも降水量が平年を下回った。一方で、2009/10の7月は気温は平均よりやや低かったものの、平年比2倍の降水に見舞われており、劣化への影響が懸念される。暴露期間全体で見ると、平年値に比べ気温はかなり高めに推移したものの、日照時間は年100時間以上少なめ、劣化に最も影響すると思われる降水量は平年並みという結果となり、今回の屋外暴露プロジェクトにおいて得られたデータは、秋田県能代市での屋外暴露期間による木質パネルの劣化程度を推定するための基礎データとして大きな問題はないものと考えられる。

表1 暴露期間における気象条件（出典：気象庁HP気象統計情報電子閲覧室）

月	平均気温 (°C)					7年間	降水量 (mm)					7年間	日照時間 (h)					7年間
	04/05	06/07	08/09	09/10	10/11	平均	04/05	06/07	08/09	09/10	10/11	平均	04/05	06/07	08/09	09/10	10/11	平均
4	8.4	7.3	10.8	8.8	7.6	8.5	104	126	35	90	83	86	177	105	189	202	124	163
5	15.1	13.9	14.5	14.8	13.6	14.1	187	115	80	100	137	116	134	161	197	204	140	163
6	19.0	18.7	18.3	19.2	20.0	19.4	109	59	65	101	92.5	81	132	145	199	158	192	165
7	23.6	21.8	23.1	21.8	24.5	22.6	103	252	157	395	166	192	135	92	122	95	117	123
8	23.6	25.6	22.8	23.1	26.3	24.5	187	125	183	150	115	144	168	216	158	166	176	178
9	20.1	19.7	20.3	18.9	20.9	20.2	287	58	55	37	187	133	144	199	211	181	167	170
10	13.4	13.6	14.8	14.1	14.3	14.1	57	92	76	171	105.5	120	113	164	160	163	143	154
11	10.2	8.2	7.6	8.2	8.4	8.3	156	198	138	112	191.5	161	71	79	94	92	83	81
12	4.0	3.3	3.5	2.6	3.5	2.8	157	148	233	128	150	154	48	43	44	37	45	42
1	0.3	1.9	0.8	0.6	-1.4	0.1	189	132	176	145	58.5	122	30	53	54	33	40	38
2	-0.9	2.3	1.1	0.0	1.0	0.5	87	58	149	94	42.5	82	31	102	64	76	104	67
3	2.7	3.0	3.3	2.7	2.3	3.2	108	105	104	66	58.5	84	89	100	126	92	99	107
平均・積算* (平年値**)	11.6	11.6	11.7	11.2	11.8	11.5	1731	1468	1450	1585	1387	1475	1272	1458	1617	1499	1430	1450
	(11.2)						(1484.8)						(1546.6)					

*気温については平均を、降水量及び日照時間については年積算値を表した。

**ここでは平年値として1979年から2010年に至る31年間の平均を示した。

※2011年3月の統計は2日分のデータ欠損を含む準正常値である。

2. 観察結果および重量・厚さ変化率

表2に暴露開始後7年を経過したサンプルの外観状況、重量変化率（尺角2枚平均）、厚さ変化率及び密度（以上2値は剥離強度（IB）試験体から得られた平均値）を示す。なお、各パネルは採取後に60°Cで20時間乾燥し、その後20°C・65%RH下で十分な養生を行なった後に測定に供した。

暴露期間が7年目になって、いずれのパネルも重量変化率がマイナスになった。特に、アスペンOSBは2枚のうち1枚の重量減少が30%を超え、表面に腐朽菌の子実体に加え菌糸も見られるなど、明確な生物劣化の痕跡が見られた。また、パインOSBとPB（PF）では、暴露3年目から比較的安定していた厚さ変化率が急激に大きくなり、端部はほぼ開裂してしまっている状態になったほか、メラミンを使用したMDF12でも明確に厚さの膨潤が見られるようになった。これらの原因については、主として暴露継続期間の影響であると考えられるが、加えて2009/10の7月に非常に多くの降水があったことが影響している可能性がある。

外観および重量減少について暴露期間全体からわかることは、合板・MDFの耐久性が良好なのに対し、OSB・PFは劣り、またPBとOSBではOSBの耐久性がより低いなど、エレメント形状・材質を含めた材料構造の相違が最も大きな影響を及ぼすということであるが、PB（MDI）および構造用のMDF9は、同種のもう一種に比べ比較的高い耐久性を示しており、同種の材料においては、接着剤が材料の耐久性に大きく影響を及ぼすことも明らかになった。

表2 暴露7年目の材面観察および厚さ変化等（カッコ内は5, 4, 3, 2, 1年目の値を順に示す）

分類	表面の観察結果	重量変化率 (%)	厚さ変化率 (%)	密度 (g/cm ³)
合板12	全体に裏割れに沿った干割れあり. 全体に濃褐色～濃灰色化し, 日照面と裏面の色差は小さくなった. 12mmの一枚に表層単板の繊維に沿ったはく離箇所あり.	-7.2 (-4.1, 4.8, 2.6, 1.9, 0.3)	-1.5 (-2.0, -1.1, 0.3, 0.5, 1.5)	0.62 (0.63, 0.61, 0.64, 0.61, 0.62)
合板9		-5.3 (-4.3, -4.7, -2.4, -2.1, -1.1)	0.2 (-2.7, -1.6, 0.3, 0.6, 0.9)	0.58 (0.56, 0.56, 0.69, 0.60, 0.60)
アスペンOSB	2枚に程度の差はあるが, アスペンOSBは明確に腐朽し, 表面に腐朽菌の菌糸が現出. また, OSBはいずれも表層フレークに剥離が見られ, パインOSBの端部も亀裂多数.	-26.7 (-1.8, -7.4, -1.0, 0.4, -2.7)	17.1 (14.2, 13.2, 12.3, 7.0, 7.0)	0.42 (0.57, 0.54, 0.58, 0.60, 0.59)
パインOSB		-3.2 (0.4, -0.3, 0.4, 0.5, 2.9)	12.7 (6.8, 7.7, 6.2, 5.7, 4.8)	0.58 (0.65, 0.64, 0.64, 0.61, 0.65)
PB (PF)	いずれも日照面は黒灰化, 裏面は灰化. PFは厚さ膨潤が大きく, 端部に亀裂やふくれが多数発生. MDIは日照面にケバ立ちが厚さがやや大きくなるものの, PF比良好.	-5.8 (-2.5, -3.2, -0.9, 0.6, 1.6)	18.1 (6.1, 7.7, 4.7, 3.2, 2.4)	0.57 (0.72, 0.69, 0.71, 0.73, 0.74)
PB (MDI)		-3.8 (-2.1, -2.1, -1.1, -0.6, 0.9)	5.3 (3.4, 2.3, 4.5, 3.1, 2.2)	0.71 (0.76, 0.76, 0.76, 0.77, 0.80)
MDF9	いずれも表面が灰色化し, 日照裏面はコケの発生を伺わせる緑色が混じる. 軽い反りが見られるものもあるが, わずかに厚さ膨潤が見られるが, 他のパネルに比べ外観良好.	-2.8 (-1.7, -1.8, -1.1, 0.9, 0.1)	1.1 (0.1, 0.1, 0.9, 0.8, 1.2)	0.71 (0.71, 0.71, 0.72, 0.71, 0.71)
MDF12		-2.6 (-0.9, -1.2, -0.4, 0.2, 1.0)	3.1 (1.3, 0.7, 1.5, 0.9, 1.3)	0.72 (0.73, 0.74, 0.78, 0.75, 0.75)

3. 曲げ性能の劣化

表3に暴露7年を経過したサンプルの曲げ性能とその残存率（測定値/初期値×100 [%]）を示す。

表3 曲げ性能の劣化（n=8, カッコ内は5, 4, 3, 2, 1年目の順で残存率を示した）

分類	試験時 含水率 (%)	比例限度応力	MOR	MOE	LCC*	BR**
		Ave±std (MPa) 残存率 (%)	Ave±std (MPa) 残存率 (%)	Ave±std (GPa) 残存率 (%)	Ave±std (MPa) 残存率 (%)	Ave±std (GPa) 残存率 (%)
合板12	11.7	31.8±4.2 84 (85, 82, 67, 75, 62)	51.9±5.5 76 (83, 80, 76, 74, 65)	5.97±0.52 82 (87, 83, 73, 75, 70)	51.9±5.7 76 (80, 75, 76, 74, 66)	5.96±0.49 82 (84, 76, 72, 76, 71)
合板9	11.8	29.6±5.3 64 (71, 85, 99, 74, 80)	56.8±5.9 74 (76, 83, 97, 74, 89)	7.36±1.02 76 (76, 89, 104, 75, 84)	55.5±6.7 72 (75, 80, 98, 75, 87)	7.08±0.92 73 (73, 84, 105, 76, 81)
アスペンOSB	11.4	3.6±2.4 13 (49, 33, 48, 62, 61)	5.5±2.8 14 (51, 38, 53, 68, 70)	0.65±0.42 12 (44, 35, 52, 65, 63)	7.4±3.7 19 (66, 50, 66, 77, 81)	1.02±0.68 20 (66, 52, 71, 79, 79)
パインOSB	10.5	12.0±4.5 45 (56, 64, 59, 63, 71)	16.9±6.2 46 (63, 69, 72, 67, 87)	2.24±0.77 45 (58, 63, 64, 58, 75)	20.6±6.9 56 (71, 77, 81, 75, 95)	3.02±0.86 61 (70, 74, 76, 68, 85)
PB (PF)	11.1	3.7±1.8 22 (40, 39, 40, 54, 52)	5.2±2.9 26 (51, 46, 47, 70, 73)	0.67±0.41 19 (37, 34, 38, 59, 65)	7.0±2.8 35 (59, 54, 53, 74, 76)	1.04±0.38 29 (47, 43, 45, 65, 68)
PB (MDI)	10.3	9.4±0.8 44 (59, 72, 64, 68, 73)	16.7±1.8 58 (73, 79, 80, 83, 96)	1.85±0.18 45 (55, 61, 63, 68, 83)	18.3±1.5 64 (78, 83, 87, 88, 98)	2.13±0.13 52 (61, 65, 71, 74, 87)
MDF9	8.9	12.2±1.2 59 (64, 67, 67, 70, 67)	28.5±2.4 79 (82, 86, 86, 87, 88)	2.49±0.17 78 (80, 84, 90, 89, 93)	29.0±2.7 81 (82, 87, 88, 88, 90)	2.56±0.20 80 (80, 84, 93, 90, 95)
MDF12	9.1	14.0±1.3 47 (55, 70, 71, 71, 67)	26.9±2.7 59 (65, 82, 95, 91, 84)	2.22±0.19 52 (66, 75, 85, 84, 83)	28.7±2.6 63 (66, 83, 97, 93, 86)	2.44±0.18 58 (68, 76, 88, 87, 86)

*LCC ; Load Carrying Capacity, 暴露前の厚さを基準として求めた MOR
 **BR ; Bending Resistance, 暴露前の厚さを基準として求めた MOE

合板は他のパネル類と異なり、暴露期間全体を通して、初期厚さ基準での曲げ性能が、実寸から計算される性能を下回る傾向があった。これは、合板が厚さ方向にほとんど圧密されていない材料のため、屋外暴露で厚さ膨張がほとんど生じないのに加え、成分の消失や乾燥収縮などの影響でむしろ厚さが減少する傾向があり、計算上、実寸から求める値が大きくなるためである。しかしながら、LCC や BR で見ても、暴露期間を通して安定的に MOR, MOE の値が 70%以上の性能を残しており、エレメントに起因する材料物性のばらつきが大きいことを考慮すれば、他のパネル類のように明瞭な曲げ性能の低下はなかったと考えられる。

これまでの実験結果から、合板以外のマット成型系材料では、厚さ膨張が大きくなると曲げ性能が低下する傾向が見られてきた。しかし、アスペン OSB については、暴露 7 年目になって厚さ変化が小さくなり、物性がより低下する傾向が見られた (図 1)。先に述べたように、アスペン OSB は生物劣化が著しいことから、構成材料そのものが減少することにより厚さが減少してしまっているものと推定できる。

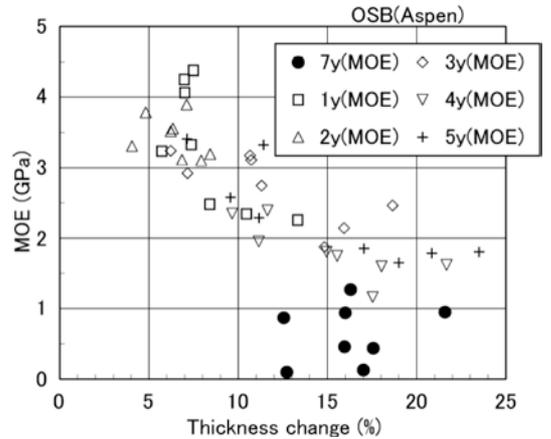


図 1 厚さ変化率と MOE (アスペン OSB)

図 2 に PB (PF), PB (MDI) および MDF12 の厚さ変化と MOE の関係を示した。MDF12 については、暴露 5 年目までにはわずかに曲げ性能が低下する傾向が見られていたが、暴露 7 年目になってそれがより明確になった。また、その低下傾向は、PB で観察されるものと類似の傾向を示し、初期 5%の程度の厚さ膨張で 1/2 程度の曲げ性能が失われる可能性が示唆された。MDF9 については、次項で示すように高い内部結合力が維持されており、表面付近のエレメントが暴露の影響で劣化しているものの、依然として明確な厚さ膨張が見られないことで、MOR・MOE とも 80%程度の高い残存率を残しているものと考えられた。MDF12 および PB (MDI) については、暴露 7 年では、PB (PF) のような大きな厚さ変化が見られていないことから、最終的な挙動は断定できないが、PB (MDI) で低下が漸近していく傾向が見られることから、ほぼ同様の挙動を示すことが示唆される。この点については、今後、他の暴露地との比較において明らかにしたい。

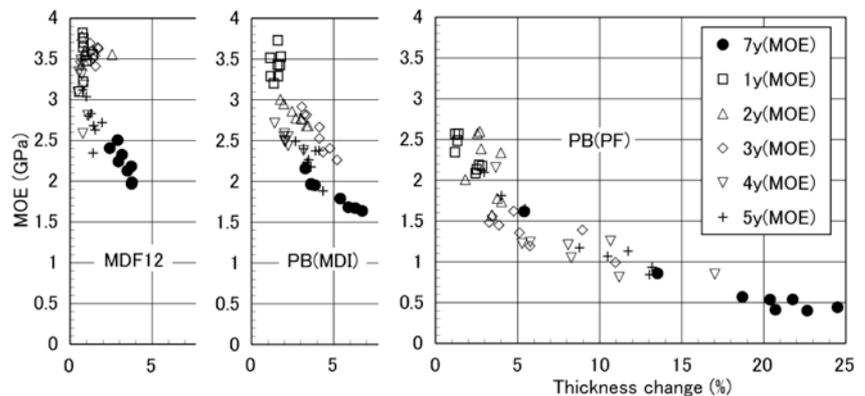


図 2 厚さ変化による MOE 低下挙動の比較

4. はく離強度

表 4 に、7 年の屋外暴露を経た各パネルの中央付近 (3 片) 及び辺縁部 (10 片) から採取した試験片による IB 及び初期性能からの残存率を示す。アスペン OSB については、中央付近の試験片 3 体および辺縁部の 4 試験片が、試験片調整時や試験機に装着する際に剥離してしまい、試験値が得られなかった。

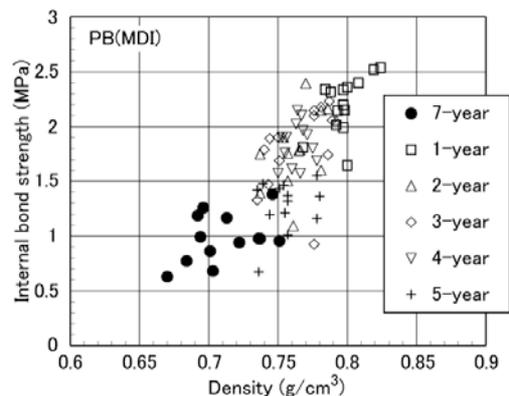


図 3 密度と剥離性能 (PB (MDI))

7年間の屋外暴露期間を経たものについては、初期とほぼ同等の剥離性能を残す MDF9 を除いて、辺縁部と中央部で明確な差は見られなくなった。また、暴露 5 年目までは密度と剥離強度の相関は曲げ性能ほど明確ではなかったが、合板を除くマット成型系材料で厚さ膨張率が大きくなったことにより、密度低下と剥離強度の低下の相関が明らかになった (図 3)。

表 4 はく離強度 (IB) の劣化

(カッコ内は 5, 4, 3, 2, 1 年目の順で残存率を示した)

分類	中央部 (n=3)			側端面付近 (n=10)		
	IB; Ave±std (MPa)	残存率 (%)	厚さ変化率 (%) Ave±std	IB; Ave±std (MPa)	残存率 (%)	厚さ変化率 (%) Ave±std
合板 12	0.69±0.19	60 (90, 64, 44, 74, 89)	-0.10±1.48	0.87±0.16	76 (97, 121, 64, 80, 80)	-1.93 ±1.20
合板 9	0.95±0.20	55 (92, 136, 135, 118, 88)	1.00±1.63	0.75±0.37	55 (74, 135, 133, 110, 103)	-0.05 ±3.19
アスベスト OSB	-	- (79, 75, 11, 52, 64)	15.6±2.62	0.05±0.08	9 * (36, 27, 47, 45, 59)	17.7 ±2.86
パイン OSB	0.23±0.08	37 (80, 74, 111, 63, 83)	10.6±1.99	0.23±0.05	35 (72, 83, 89, 74, 86)	13.4 ±3.49
PB (PF)	0.10±0.03	12 (52, 36, 66, 78, 62)	20.6±1.84	0.09±0.05	10 (43, 34, 53, 61, 77)	17.3 ±6.03
PB (MDI)	0.87±0.17	40 (63, 82, 72, 72, 108)	5.74±1.16	1.02±0.23	46 (57, 85, 86, 85, 98)	5.18 ±1.70
MDF9	1.56±0.19	128 (118, 92, 76, 64, 117)	1.78±0.15	1.25±0.33	103 (104, 109, 96, 88, 119)	0.86 ±0.41
MDF12	0.35±0.15	57 (116, 89, 116, 116, 130)	3.04±0.23	0.37±0.12	60 (112, 99, 102, 86, 135)	3.06 ±0.45

* 10 体中 4 体は試験前に剥離して値が得られなかった。よって n=6 で求めた値

暴露 5 年目までは、極めて高いはく離強度残存率を示してきた MDF12 が、暴露 7 年を経て極端に低下した。MDF12 では暴露 7 年目になって、これまでほとんどなかった厚さ膨張が生じてきており、その値は約 3% と他のマット成型系パネルに比較するとまだ非常に小さいものの、しかし目視で確認できるほどの明確なことから、ボード内部に雨水などが浸入し始めていることが示唆された。PB (MDI) が 5 年目に入って性能が急激に低下したことから、マット成型系の材料では、一旦水の浸入などにより剥離強度が低下し始めると、その性能低下は急速に進むものと考えられた。

5. 吸水厚さ膨張率

表 5 は 7 年の屋外暴露を経た各パネルより得た 50mm 角試験片による 24 時間吸水による厚さ膨張率試験の結果を示したものである。結果には吸水前すなわち暴露後に調湿したのみでの初期厚さからの厚さ変化 (吸水前厚さ変化率, TC) およびそれを吸水させたときの厚さを暴露前の厚さで除して得た初期厚さ基準の厚さ膨張率 (TS0) を示した。また、参考として暴露前の 24 時間吸水による厚さ膨張率も示した。

表 5 暴露後の吸水厚さ膨張率 (初期厚さ基準 TS₀, カッコ内は順に 5, 4, 3, 2, 1 年目の平均値)

分類	中央部 (n=3)		側端面付近 (n=10)		(参考)
	吸水前厚さ変化率 Ave±std (%)	初期厚さ基準 TS ₀ Ave±std (%)	吸水前厚さ変化率 Ave±std (%)	初期厚さ基準 TS ₀ Ave±std (%)	
合板 12	-0.3±1.7 (-1, -3, -1, 1, 2)	1.9±0.8 (2, 2, 4, 3, 5)	-1.4±1.3 (-2, -1, 0, 1, 2)	2.7±2.3 (1, 2, 2, 2, 5)	5.9±1.5
合板 9	-1.9±2.0 (-2, -2, 1, 1, 1)	1.7±2.9 (1, 1, 3, 3, 4)	0.9±2.4 (-3, -0, 0, 0, 0)	3.8±3.2 (-0, 1, 3, 3, 4)	6.4±1.7

アスペン OSB	18.9±4.2 (17, 16, 14, 5, 9)	30.3±5.9 (24, 30, 24, 15, 20)	16.2±2.6 (13, 12, 13, 8, 8)	26.9±3.5 (22, 23, 23, 19, 20)	18.3±2.6
パイン OSB	6.7±2.2 (7, 7, 7, 6, 5)	16.9±3.8 (13, 16, 13, 13, 10)	12.0±2.4 (7, 7, 6, 5, 5)	21.9±5.4 (11, 13, 11, 12, 10)	10.4±0.9
PB (PF)	18.8±2.1 (8, 7, 5, 3, 3)	32.2±2.4 (20, 16, 12, 7, 8)	18.3±6.9 (7, 8, 4, 3, 3)	30.6±7.6 (19, 20, 13, 9, 7)	9.3±1.5
PB (MDI)	3.1±0.3 (4, 3, 4, 3, 2)	9.9±0.5 (9, 7, 9, 6, 6)	5.6±1.5 (3, 2, 4, 3, 2)	12.0±2.2 (9, 7, 8, 7, 6)	6.8±0.4
MDF9	0.7±0.1 (0, 0, 1, 1, 1)	5.4±0.3 (4, 6, 5, 6, 7)	0.9±0.5 (0, 0, 1, 1, 1)	5.9±0.7 (5, 5, 5, 6, 6)	5.8±0.3
MDF12	3.2±0.1 (1, 1, 2, 1, 1)	8.1±0.6 (5, 5, 4, 4, 4)	3.2±0.4 (1, 1, 2, 1, 1)	8.6±1.6 (5, 5, 4, 4, 5)	4.1±0.2

合板に関しては、他の材料とは逆に TS0 が年々小さくなっていく傾向が見られたが、これは合板が単板の積層で構成され、エレメント間のラップもなく元々吸水による寸法変化が小さいことに加え、暴露により成分が消失し、吸水前の厚さがむしろ減るなど、厚さ膨張が生じにくい条件になったためと考えられた。

合板を除くマット成型系材料のうち、力学性能の低下が比較的少ないパイン OSB や PB (MDI) では、辺縁部が中心部より吸水前時点での厚さ変化が大きくなる傾向が見られ、吸水後の TS0 も中心と辺縁部で差が生じた。これは、パネルの中心部分の接着性能がある程度残存している状態を示しているものと考えられる。一方、暴露期間中に大幅な力学性能低下が見られたアスペン OSB および PB (PF) では、水浸せき前の厚さ膨張が、最終的な厚さ変化の 1/2 以上になった。図 4 に TC と TS0 の関係を示したが、吸水前の TC が 10% 程度以上になると、その後の 24 時間吸水で生じる厚さ変化 (各プロットから図の 45 度直線に引いた垂線の長さ) が一定となる傾向が示されており、暴露 7 年を経たアスペン OSB および PB (PF) の TC は 20% 近くとこれを大幅に超える値で、中心部と辺縁部の差もほとんどないことから、吸水前の時点で、ボード全体で内部の接着点が大きく損傷していることが示唆された。

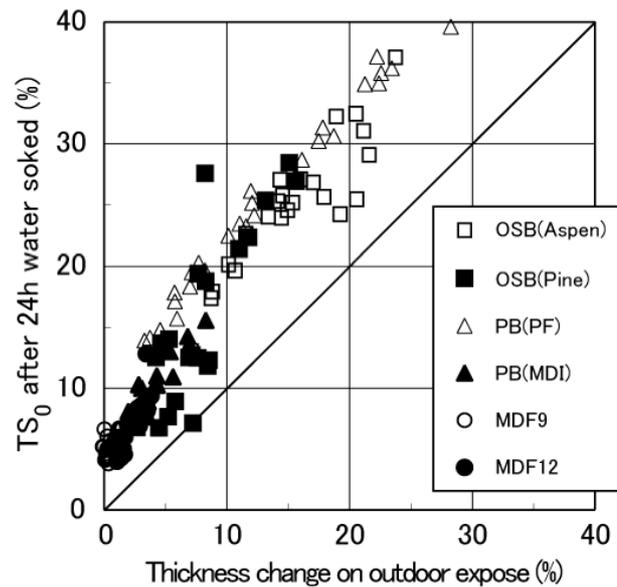


図 4 マット成型系材料の屋外暴露による厚さ変化とその後の 24 時間吸水による初期厚さ基準の厚さ膨張率

3.1.4 暴露地“つくば”における基礎物性・釘接合性能の劣化

森林総合研究所：高麗秀昭

1. 気象条件

つくばでの屋外暴露は2004年2月中旬に開始し、5年目の試験体を2008年3月中旬に採取した。この間の気象条件は表1のとおりであった。なお、6年、7年目の試験体は2009年に設置して、それぞれ2014年、2015年に採取した。

表1 暴露期間における気象条件（出典：気象庁ホームページ）

月	平均気温 (°C)								降水量 (mm)								日照時間 (h)							
	4年度	5年度	6年度	7年度	8年度	9年度	10年度	4年度	5年度	6年度	7年度	8年度	9年度	10年度	4年度	5年度	6年度	7年度	8年度	9年度	10年度			
4	13.8	12.7	11.7	11.9	12.6	13.6	10.7	62	79	91	111	183	128	169	230	217	146	159	158	233	133			
5	17.5	15.5	17.2	17.5	16.6	18.3	17.2	146	75	108	168	170	106	132	145	181	123	227	146	165	200			
6	21.4	21.2	20.8	21.4	19.7	20.6	21.8	89	61	131	48	153	161	95	176	104	86	173	123	95	159			
7	26.1	23.6	23.8	22.6	25.0	24.7	26.5	146	185	257	213	19	39	70	251	111	74	78	140	107	186			
8	25.2	26.3	25.7	27.1	25.3	24.5	28.2	125	213	55	21	327	176	5	188	183	155	233	135	148	233			
9	23.2	23.0	21.8	23.5	22.1	20.9	23.7	166	63	212	208	119	16	380	154	154	122	135	125	138	169			
10	15.3	17.2	17.3	16.4	16.8	16.6	17.1	592	196	266	133	134	226	158	118	110	142	136	145	161	104			
11	12.4	9.4	11.6	10.1	10.3	10.9	10.5	91	46	112	47	63	148	82	159	207	150	153	139	122	153			
12	6.5	2.3	6.4	5.4	6.7	6.0	6.8	63	1	180	53	61	84	102	180	229	157	180	191	186	202			
1	3.0	2.1	4.5	2.8	3.9	3.6	2.1	93	54	32	20	118	10	0	212	183	194	181	175	231	259			
2	3.5	4.3	6.0	2.9	5.2	4.2	4.9	45	88	45	48	42	97	105	175	138	206	221	148	118	157			
3	6.4	7.7	8.6	8.2	7.9	7.3	5.8	77	66	61	78	96	101	74	186	197	209	190	177	129	225			
年平均 積算	14.5	13.8	14.6	14.2	14.3	14.3	14.6	1693	1125	1546	1146	1483	1288	1370	2174	2013	1764	2065	1801	1834	2180			
年平均*	13.8							1283							1913									

*30年間（1971-2000）の平均値

2. 観察結果および重量・厚さ変化率

尺角パネルの材面割れ等の状況と重量変化率（2枚平均）、および剥離強さ試験体13片から得た厚さ変化率の平均値とパネル密度の平均値を表2.1、2.2に示す。

表2.1 90° 暴露終了時の材面観察および厚さ変化など（左から1, 2, 3, 4, 5, 6-7年目）

分類	表面の観察結果	重量変化率 (%)					厚さ変化率 (%)					密度 (g/cm³)							
合板12 (7年目終了)	端面、表面ともにひび割れ多数有り・生物劣化無し	-0.31	-2.52	-2.56	-2.63	-4.09	-5.29	2.96	1.93	3.21	0.1	1.36	1.45	0.59	0.65	0.62	0.64	0.57	0.62
合板9 (7年目終了)	ひび割れ、反り、変色あり・生物劣化無し	-0.50	-0.88	-2.32	-2.70	-3.81	-4.86	1.99	2.99	2.57	-0.2	3.68	5.43	0.63	0.56	0.53	0.62	0.6	0.57
アスペンOSB (6年目終了)	端面、表面ともにひび割れ多数有り・生物劣化有り	2.26	0.95	-1.62	-2.66	-6.65	-5.65	15.1	17.3	23.8	18.7	20.5	24	0.59	0.55	0.52	0.54	0.47	0.50
ハイOSB (6年目終了)	端面、表面ともにひび割れ多数有り・生物劣化有り	1.64	1.01	0.52	-0.68	-2.37	-1.25	7.14	8.83	14.4	14.8	16.8	19.4	0.64	0.64	0.6	0.61	0.54	0.55
PB (PF) (6年目終了)	端面、表面ともにひび割れ多数有り・生物劣化有り	0.74	0.18	-1.59	-2.72	-4.34	-2.97	6.58	13.7	15.9	18.7	20.5	25.9	0.70	0.68	0.64	0.61	0.61	0.59
PB (MD) (7年目終了)	端面、表面ともにひび割れ多数有り・生物劣化無し	0.69	0.11	-0.67	-1.24	-2.54	-2.95	4.53	5.32	5.36	4.09	6.42	8.99	0.77	0.77	0.74	0.77	0.75	0.71
MDF9 (7年目終了)	端面にわずかなひび割れあり・生物劣化無し	0.35	-0.60	-0.95	-1.47	-2.43	-2.28	1.41	2.12	2.77	-0.2	1.75	3.35	0.72	0.7	0.7	0.73	0.71	0.69
MDF12 (7年目終了)	端面にわずかなひび割れ・若干反り・生物劣化無し	1.04	0.55	0.18	-0.60	-1.79	-1.18	1.75	2.15	3.45	2.21	3.75	4.96	0.74	0.75	0.73	0.74	0.71	0.74

表2.2 45° 暴露終了時の材面観察および厚さ変化など（左から1, 2, 3, 4, 5, 6-7年目）

分類	表面の観察結果	重量変化率 (%)					厚さ変化率 (%)					密度 (g/cm³)							
合板12 (7年目終了)	端面、表面ともにひび割れ多数有り・生物劣化無し	0.65	-2.60	-4.23	-3.62	-7.64	-6.24	4.57	3.26	2.07	-0.81	1.44	3.12	0.61	0.57	0.62	0.67	0.60	0.59
合板9 (7年目終了)	ひび割れ、反り、変色あり・生物劣化無し	-1.02	-4.42	-4.56	-5.63	-6.96	-8.58	3.33	1.41	3.24	1.11	1.85	6.86	0.57	0.54	0.54	0.6	0.61	0.56
アスペンOSB (6年目終了)	激しく崩壊したため各測定が不可能	1.55	-11.6	-24.4	/	/	18.2	23.7	23	/	/	/	0.55	0.46	0.40	/	/	/	/
ハイOSB (6年目終了)	端面、表面ともにひび割れ多数有り・生物劣化有り	0.64	-0.28	-0.78	-1.68	-7.09	-10.4	8.46	11.9	20.6	20.7	22.8	26.0	0.62	0.62	0.57	0.57	0.5	0.48
PB (PF) (6年目終了)	端面、表面ともにひび割れ多数有り・生物劣化有り	0.60	-1.13	-3.64	-8.37	-10.5	-11.2	8.63	17.9	29.6	34.4	36.9	39.6	0.71	0.64	0.56	0.51	0.49	0.49
PB (MD) (7年目終了)	端面、表面ともにひび割れ多数有り・生物劣化無し	0.04	-1.33	-2.42	-4.39	-6.66	-9.11	6.14	6.54	9.97	10.5	12.3	15.2	0.75	0.75	0.72	0.68	0.67	0.64
MDF9 (7年目終了)	端面にわずかなひび割れあり・生物劣化無し	-0.34	-1.72	-2.19	-2.15	-3.68	-5.13	2.85	3.3	3.62	2.56	3.23	4.23	0.72	0.69	0.69	0.7	0.69	0.66
MDF12 (7年目終了)	端面にわずかなひび割れ・若干反り・生物劣化無し	0.63	-0.31	-1.14	-2.13	-3.51	-4.63	2.98	3.66	5.37	6.97	7.33	8.79	0.75	0.74	0.72	0.69	0.67	0.66

垂直暴露ではアスペン OSB の劣化がたいへん激しく、キノコも側端面に発生した。それ以外のボード類にはそれほど激しい劣化は認められなかった。45° 暴露ではアスペン OSB に加えて、パイン OSB の上面にも激しい劣化が認められた。45° 暴露のアスペン OSB の劣化は垂直暴露より極めて激しかった。基本的性能が測定できたのは暴露3年目までであり、4年目以降の測定は不可能であった。

3. 曲げ性能の劣化

試験時の厚さ基準で算出した比例限度応力、MOR、MOE および初期値に対するそれらの残存率、さらに初期厚さ基準で算出した MOR (これを Load Carrying Capacity (LCC) と呼ぶ)、MOE (これを Bending Resistance (BR) と呼ぶ) と残存率 (測定値/初期値×100[%]) を表 3.1, 3.2 に示す。

表 3.1 90° 暴露 7 年目の曲げ性能の劣化 (n=8, 下段は残存率で左から暴露 1, 2, 3, 4, 5, 6-7 年目の値)

分類	試験時 含水率 %	比例限度	MOR	MOE	LCC	BR
		Ave±std (MPa) 残存率 (%)	Ave±std (MPa) 残存率 (%)	Ave±std (GPa) 残存率 (%)	Ave±std (MPa) 残存率 (%)	Ave±std (GPa) 残存率 (%)
合板12 (7年目終了)		± 57 92 64 63 62 77	43.3±8.14 ± 57 82 66 63 59 63	4.60±0.30 ± 67 84 75 71 64 63	43.2±7.67 ± 57 84 68 62 59 63	4.66±0.31 ± 67 88 78 70 63 64
合板9 (7年目終了)		± 85 76 59 59 66 70	± 86 82 54 72 68 64	± 92 78 69 70 68 58	± 88 82 55 73 69 66	± 95 78 72 72 69 61
アスペン OSB (6年目終了)		± 69 59 35 36 35 48	± 76 66 53 48 39 47	± 67 56 47 38 36 37	± 91 81 69 62 48 59	± 87 75 69 55 49 53
パイン OSB (6年目終了)		± 75 61 52 47 38 36	± 82 70 61 62 48 40	± 72 63 54 52 41 33	± 91 79 72 73 59 49	± 84 76 68 66 54 45
PB (PF) (6年目終了)		± 47 40 37 29 30 27	± 69 62 49 38 47 32	± 65 45 37 27 27 21	± 73 68 55 46 56 42	± 71 52 44 36 35 31
PB (MDI) (7年目終了)		± 66 60 56 59 64 48	± 84 79 68 71 71 56	± 74 64 55 55 54 43	± 88 84 73 77 77 62	± 79 71 61 62 61 50
MDF9 (7年目終了)		± 70 68 62 64 70 62	± 90 81 80 80 77 71	± 93 82 83 77 79 75	± 89 82 81 82 77 73	± 93 84 84 79 79 77
MDF12 (7年目終了)		± 69 71 61 65 47 67	± 88 88 71 68 62 76	± 84 82 66 61 54 65	± 88 90 74 72 65 81	± 84 85 71 65 58 71

表 3.2 45° 暴露 7 年目の曲げ性能の劣化 (n=8, 下段は残存率で左から暴露 1, 2, 3, 4, 5, 6-7 年目の値)

分類	試験時 含水率 %	比例限度	MOR	MOE	LCC	BR
		Ave±std (MPa) 残存率 (%)	Ave±std (MPa) 残存率 (%)	Ave±std (GPa) 残存率 (%)	Ave±std (MPa) 残存率 (%)	Ave±std (GPa) 残存率 (%)
合板12 (7年目終了)		± 68 67 73 66 79 58	32.5±3.44 ± 67 65 71 67 70 47	4.75±0.33 ± 81 69 72 68 73 65	31.2±3.44 ± 69 64 72 67 69 45	4.46±0.27 ± 86 67 74 70 71 62
合板9 (7年目終了)		± 69 70 51 51 88 65	44.0±5.8 ± 59 62 43 54 63 57	5.95±1.07 ± 71 70 55 54 82 61	43.4±4.93 ± 59 63 44 55 61 57	5.85±1.08 ± 70 72 57 55 79 60
アスペン OSB (6年目終了)		± 57 23 6.5	± 62 26 11	± 53 25 11	± 77 36 15	± 73 41 17
パイン OSB (6年目終了)		± 63 58 42 37 16 12	± 68 63 46 47 25 11	± 70 63 48 34 24 12	± 74 70 54 62 32 16	± 79 73 61 50 33 18
PB (PF) (6年目終了)		± 51 44 31 10 8.9 8.3	± 72 62 32 17 15 10	± 64 48 24 11 10 6	± 75 66 39 26 21 16	± 68 53 33 20 18 12
PB (MDI) (7年目終了)		± 69 63 53 43 43 32	11.0±1.82 ± 84 78 61 47 46 38	1.23±0.19 ± 71 62 46 37 37 30	12.6±1.80 ± 88 84 68 53 53 44	1.52±0.17 ± 75 69 54 44 45 37
MDF9 (7年目終了)		± 75 63 62 62 58 60	22.1±1.07 ± 91 80 76 75 77 61	2.01±0.11 ± 95 81 81 74 80 63	21.8±1.16 ± 90 81 75 76 76 60	1.98±0.11 ± 94 83 79 76 78 62
MDF12 (7年目終了)		± 72 70 66 59 60 52	24.0±2.09 ± 90 86 76 65 67 53	1.93±0.17 ± 85 78 70 57 59 45	24.9±2.18 ± 90 89 79 68 68 55	2.04±0.17 ± 85 81 74 61 61 48

垂直暴露 5 年目の MOR の残存率の序列は MDF9>PB (MDI) >合板 9>MDF12>合板 12>パイン OSB>PB (PF) >アスペン OSB であった。PB (PF) よりアスペン OSB の低下が大きかった。45° 暴露 5 年目の MOR 残存率の序列は、合板 9>合板 12>MDF12>MDF9>PB (MDI) >パイン OSB>PB (PF) であった。アスペン OSB, パイン OSB, PB (PF) の 45° 暴露では垂直暴露より著しく低下した。先述したようにアスペン OSB の劣化は著しく、測定が不可能であった。45° 暴露により日射や雨水による劣化を激しく受け、性能が著しく低下したと考えられる。暴露 3 年目まではパイン OSB の低下は大きくなかったが、暴露 5 年目では、パイン OSB も大きく低下した。それに対して両暴露角度で MDF の高い性能が認められ、暴露期間が 7 年目でも MDF の残存率は高かった。ファイバーによる緻密なボード構造のため雨水がボード内部に浸透しにくく、劣化が抑制されたと考えられる。

4. はく離強度 (剥離強さ)

剥離強さ試験体は、パネル 1 種類につき尺角中央付近の 3 片と比較的側端面に近い 10 片からなる。前者は暴露中に雨水浸入の影響を受け難いが、後者は側端面の防水処理の劣化に応じて雨水浸透の影響が大きくなる。表 4.1, 4.2 にははく離強度 (剥離強さ) と剥離強さ残存率および試験片の厚さ変化率を示した。なお、剥離強さ試験は劣化した表層部を削除した後に行っている。

表 4.1 90° 暴露 7 年目のはく離強度（剥離強さ）と厚さ変化率（剥離強さ残存率は、左から暴露 1, 2, 3, 4, 5, 6-7 年目の値）

分類	中央部 (n=3)									側端面付近 (n=10)								
	B Ave±std (MPa)	残存率 (%)						厚さ変化率: Ave±std (%)	B Ave±std (MPa)	残存率 (%)						厚さ変化率: Ave±std (%)		
合板12 (7年目終了)	0.847±0.17	109	78	64	110	33		74	-2.04±1.24	0.858±0.19	90	122	79	90	79		75	0.40±1.24
合板9 (7年目終了)	1.36±0.56	113	150	126	103	102		100	-1.51±1.53	1.59±0.29	115	131	115	134	91		117	1.26±1.19
アスペン OSB (6年目終了)	0.571±0.02	61	74	78	87	49		102	13.6±2.08	0.220±0.14	72	55	50	55	28		39	16.1±5.63
パイン OSB (6年目終了)	0.349±0.08	83	84	76	91	50		54	11.2±3.15	0.279±0.16	92	106	86	83	48		44	14.3±4.70
PB (PF) (6年目終了)	0.208±0.19	78	84	34	42	40		25	16.1±7.70	0.185±0.16	71	64	40	37	10		22	16.5±10.9
PB (MDI) (7年目終了)	1.67±0.13	86	105	91	69	54		76	2.97±0.34	1.69±0.33	84	90	82	85	72		77	4.63±1.26
MDF9 (7年目終了)	1.03±0.27	106	93	75	103	91		85	-0.34±0.23	1.02±0.22	89	95	83	88	98		84	0.05±0.22
MDF12 (7年目終了)	0.715±0.01	94	104	125	93	99		115	2.22±0.30	0.653±0.12	110	104	127	101	85		105	2.42±0.52

表 4.2 45° 暴露 7 年目のはく離強度（剥離強さ）と厚さ変化率（剥離強さ残存率は、左から暴露 1, 2, 3, 4, 5, 6-7 年目の値）

分類	中央部 (n=3)									側端面付近 (n=10)								
	B Ave±std (MPa)	残存率 (%)						厚さ変化率: Ave±std (%)	B Ave±std (MPa)	残存率 (%)						厚さ変化率: Ave±std (%)		
合板12 (7年目終了)	1.22±0.22	91	77	70	121	59		106	-1.75±2.06	0.80±0.25	96	85	68	85	50		69	-2.05±2.00
合板9 (7年目終了)	1.25±0.35	110	104	90	103	98		92	-5.33±5.39	1.05±0.29	122	77	114	96	136		77	-1.60±2.96
アスペン OSB (6年目終了)	±	55	25	3	39	42			±	±	56	22	19	51	24			±
パイン OSB (6年目終了)	±	85	110	80	39	44		14	±	±	76	84	70	42	17		21	±
PB (PF) (6年目終了)	±	85	72	43	9.0	4.6		3.0	±	±	76	70	13	5	3.5		2.1	±
PB (MDI) (7年目終了)	0.71±0.27	88	72	65	38	20		33	6.27±0.86	0.76±0.10	87	83	62	33	34		35	7.84±2.18
MDF9 (7年目終了)	1.03±0.16	103	102	88	96	90		84	-1.15±0.17	1.03±0.08	102	97	91	101	94		85	-0.77±0.27
MDF12 (7年目終了)	0.53±0.10	108	72	120	117	89		86	1.98±0.44	0.57±0.15	96	79	96	98	79		92	2.80±1.74

中央部および側端付近の両者の垂直暴露では、アスペン OSB および PB (PF) の残存率の低下が大きい。PB (PF) は暴露 3 年目になると大きく残存率が低下したが、5 年目によるさらに大きく低下した。耐水性樹脂であるフェノールを使用しているにも関わらずその低下が大きいことが問題であると思われる。曲げ性能と同様にファイバーボードの剥離強さの劣化が低いことも明らかとなった。特に MDF12 は耐水性樹脂を使用していないが、それでも大きな劣化は認められない。これもファイバーによる緻密なボード構造のため雨水がボード内部に浸透しにくかったためと考えられる。3 年目ではアスペン OSB と PB (PF) の劣化の程度が垂直暴露に比べてより顕著に表れたが、5 年目では、パイン OSB の残存率を大きく低下した。剥離はボードの厚さ方向の中心部で生じるが、45° 暴露は垂直暴露に比べて日射や雨水による劣化がボードの中心部まで進んだためと思われる。

5. 吸水厚さ膨張率 (TS)

マット成形パネルでは、屋外暴露によって接着劣化が生じた場合、吸水に対する厚さ膨張の抵抗が低下すると考えられる。この種の検討はマット成形パネルの強度劣化機構を考える上で有用と思われるため、本プロジェクトで採取養生後の試験片に JIS A5908 に準拠した 24 時間吸水厚さ膨張試験を行っている。暴露 7 年後の吸水厚さ膨張率を初期厚さ基準と吸水前厚さ基準で算出した値、暴露 7 年間で生じた厚さ変化率（以上、採取位置により 2 区分）、暴露前の 24h 吸水 TS を表 5.1, 5.2 に示す。垂直暴露および 45° 暴露の両者の TSo においてアスペン OSB およびパイン OSB, PB (PF) が高い値を示した。特に PB (PF) では側端面付近の TSo が高かった。それに対して、PB (MDI) は低く、接着剤の違いがこのような結果をもたらした。一方、ここでも MDF9 と MDF12 の性能が優れていることが明らかとなった。これも MDF のボード構造によるものと考えられる。

表 5.1 90° 暴露 7 年後の 24 時間吸水厚さ膨張率（初期厚さ基準 TS および吸水前厚さ基準 TS）

分類	中央部 (n=3)			側端面付近 (n=10)			参考) 暴露前 24h吸水 TS (%)
	吸水前 厚さ変化率 Ave±std (%)	24h吸水TS Ave±std (%)		吸水前 厚さ変化率 Ave±std (%)	24h吸水TS Ave±std (%)		
		初期基準 TS ₀	吸水基準前 TS		初期基準 TS ₀	吸水基準前 TS	
合板12 (7年目終了)	-0.47±2.72	2.45±3.29	2.92±0.69	-2.54±0.63	0.26±0.94	2.88±0.86	5.94±1.54
合板9 (7年目終了)	-0.50±1.64	1.27±3.56	1.76±2.13	0.16±2.57	1.39±2.85	1.23±1.56	6.43±1.66
アスペン OSB (6年目終了)	13.8±1.85	62.5±5.54	42.9±7.12	17.0±6.91	51.6±14.1	30.2±15.9	18.3±2.61
パイン OSB (6年目終了)	11.1±3.23	56.2±10.4	40.5±5.32	14.4±4.60	57.8±13.6	38.2±12.8	10.4±0.94
PB (PF) (6年目終了)	5.61±2.33	83.5±1.47	73.8±3.74	14.9±9.91	74.8±7.40	53.6±19.0	9.31±1.46
PB (MDI) (7年目終了)	5.23±0.86	12.2±0.13	6.60±0.84	4.57±1.96	10.6±2.69	5.72±0.94	6.75±0.41
MDF9 (7年目終了)	0.53±0.13	5.14±0.17	4.58±0.29	0.48±0.51	4.63±0.34	4.13±0.28	5.78±0.25
MDF12 (7年目終了)	2.12±0.08	4.73±0.24	2.56±0.21	2.63±0.77	5.52±1.37	2.82±0.69	4.05±0.24

表 5.2 45° 暴露 7 年後の 24 時間吸水厚さ膨張率（初期厚さ基準 TS および吸水前厚さ基準 TS）

分類	中央部 (n=3)			側端面付近 (n=10)			参考) 暴露前 24h吸水 TS (%)
	吸水前 厚さ変化率 Ave±std	24h吸水TS		吸水前 厚さ変化率 Ave±std	24h吸水TS		
		初期基準 TS ₀	吸水基準前 TS		初期基準 TS ₀	吸水基準前 TS	
合板12 (7年目終了)	-3.36±2.91	-0.46±2.52	3.02±1.00	-1.65±2.27	1.41±2.97	3.12±1.82	5.94±1.54
合板9 (7年目終了)	-1.23±3.33	-2.37±2.35	-1.11±2.53	1.33±2.11	2.77±2.38	1.43±1.89	6.43±1.66
アスペン OSB (6年目終了)	±	±	±	±	±	±	18.3±2.61
パイン OSB (6年目終了)	11.9±1.69	44.3±16.2	29.1±16.2	14.0±5.76	31.4±10.1	15.5±10.4	10.4±0.94
PB (PF) (6年目終了)	25.5±2.99	63.7±3.03	30.5±5.42	27.7±4.08	56.2±10.5	22.6±11.4	9.31±1.46
PB (MDI) (7年目終了)	5.75±2.17	14.0±2.57	7.77±0.67	7.61±0.46	16.2±0.80	8.02±0.60	6.75±0.41
MDF9 (7年目終了)	-0.61±0.29	3.92±0.33	4.55±0.41	-1.13±0.88	3.78±1.18	4.96±0.62	5.78±0.25
MDF12 (7年目終了)	1.99±1.26	4.21±0.73	2.57±0.60	2.56±0.96	5.62±0.89	3.29±0.81	4.05±0.24

6. 釘側面抵抗および釘頭貫通抵抗の低下

暴露 6-7 年目の釘側面抵抗および釘頭貫通抵抗を表 6 に示す。暴露 5 年目の側面抵抗残存率は 28~88% の範囲に分布し、残存率のパネル間序列は、MDF>合板>パイン OSB>アスペン OSB>PB (PF) となった。PB (PF) の 3 年目の残存率が 41% となり劣化が著しかったが、5 年目ではさらに劣化が進行し、28% まで低下した。それに対してアスペン OSB のも劣化が大きい、PB (PF) よりも残存率は高かった。概して、基礎物性の暴露結果と同様にアスペン OSB と PB (PF) の劣化が大きいことが示された。アスペン OSB の厚さ膨張率はパイン OSB のそれより高いが、これは耐水性の低さを示す。この耐水性の低さがアスペン OSB の残存率の低下につながったと考えられる。PB (PF) も厚さ膨張率が 14.2% と高く、耐水性が低かった。アスペン OSB 同様に耐水性の低さが PB (PF) の残存率の低下につながったと考えられる。合板 12 や MDF9 と比べて、アスペン OSB、パイン OSB、PB (PF) は耐水性が低かった。一方、基礎物性と同様に MDF の残存率の高さが顕著であった。側面抵抗の残存率も高く、耐水性も高かった。暴露 6-7 年目では、MDF9 で高い残存率を維持していた。

暴露 5 年目の釘頭貫通抵抗の残存率の序列は、合板 12>アスペン OSB>パイン OSB>MDF9>PB (PF) の順であった。合板 12 およびアスペン OSB、パイン OSB、MDF9 が 80% 以上の残存率であるのに対して、PB (PF) は 61% であった。側面抵抗と同様に PB (PF) の低下が目立った。また、側面抵抗の残存率よりも釘頭貫通のそれが高くな

った。その理由として、側面抵抗の試料はパネル端部から採取したのに対して、釘頭貫通の試料はパネル中央付近から採取したことがあげられる。そのため、パネル端部で測定している側面抵抗に比べて劣化の影響が少ないためと考えられる。釘側面抵抗と同様に暴露 6-7 年目では、MDF9 で高い残存率を維持していた。

表 6 暴露 6-7 年目の釘側面抵抗、釘頭貫通抵抗、厚さ変化率（残存率は、左から暴露 1, 2, 3, 4, 5, 6-7 年目の値）

分類	釘側面抵抗 (n=6)		釘頭貫通抵抗 (n=8)	
	最大荷重 Ave±std (kN) 残存率 (%)	厚さ変化率 Ave±std (%)	最大荷重 Ave±std (kN) 残存率 (%)	厚さ変化率 Ave±std (%)
合板 12 (//)	1.59±0.06 86, 85, 84, 73, 76, 69	-1.59±1.83 2.33, 1.31, 1.19, -0.26, -0.31	1.91±0.17 113, 87, 105, 86, 92, 92	-1.49±1.55 0.88, 0.73, 1.34, 1.93, 0.01
合板 12 (⊥)	1.76±0.24 94, 97, 77, 75, 84, 74	-2.66±2.31 1.79, 0.77, 0.79, 1.37, 0.04		
アスペン OSB (//)	0.96±0.31 76, 78, 66, 54, 54, 53	20.4±2.74 12.7, 12.2, 14.3, 23.2, 16.3	1.22±0.28 95, 99, 87, 108, 85, 77	11.6±2.40 10.3, 11.0, 12.7, 11.1, 9.55
アスペン OSB (⊥)	0.95±0.27 88, 71, 54, 51, 46, 45	19.9±2.15 11.7, 15.5, 14.8, 21.4, 14.4		
パイン OSB (//)	1.35±0.24 88, 81, 70, 83, 73, 65	14.3±2.90 6.63, 11.7, 11.8, 20.2, 10.7	1.43±0.41 95, 102, 93, 76, 79, 85	11.4±1.88 6.44, 6.86, 10.3, 16.2, 11.9, 11.4
パイン OSB (⊥)	1.16±0.36 104, 92, 94, 76, 69, 58	16.9±2.44 6.89, 10.5, 11.0, 19.6, 14.6		
PB (PF)	0.48±0.05 73, 52, 41, 38, 28, 28	24.5±3.48 3.97, 12.7, 12.1, 24.4, 14.2	0.91±0.10 86, 80, 68, 71, 61, 54	19.4±5.89 3.81, 4.29, 9.98, 12.4, 12.9, 19.4
MDF9	1.19±0.09 115, 107, 97, 107, 88, 89	1.08±0.52 1.07, 2.11, 1.00, 1.58, 0.54	1.25±0.03 99, 99, 86, 89, 86, 81	0.64±0.37 1.18, 0.60, 1.21, 1.79, 1.03

7. 材端部のはく離強度

表 7 に暴露 6-7 年目の端面防水処理なし（釘暴露パネル）及び端面防水処理あり（基礎物性パネル）の剥離強さを示す。基礎物性パネルの暴露試験体から得た剥離強さは、端面防水したパネル周囲をトリミングした内側より試験体を採取して測定している。一方、釘側面抵抗や一面せん断性能は、端面防水なしのパネル材端部で測定しており、端部劣化の影響を大きく受けると考えられる。そこで、端部劣化の指標として釘暴露パネルの材端部から採取した試験体で剥離強さを測定した。端面防水処理が施された基礎物性調査用パネルと同様、アスペン OSB、PB (PF) の剥離強さ残存率低下が顕著で、合板の残存率が比較的高い傾向が認められたが、残存率の絶対値はそれぞれ基礎物性用パネルの材端部試験片より低い。一方、MDF については端面防水処理の有無に関わらず明確な低減傾向が認められず、パネル自体の高い耐水性能が認められた。

表 7 暴露 6-7 年目の端面防水処理なし（釘暴露パネル）及び端面防水処理あり（基礎物性パネル）の剥離強さ（残存率は 2, 3, 4, 5, 6-7 年目の値）

分類	端面防水処理なし（釘暴露パネル）		端面防水処理あり（基礎物性パネル）	
	剥離強さ (MPa, N=8)		剥離強さ (MPa, N=10)	
	Ave±std	残存率 (%)	Ave±std	残存率 (%)
合板 12	0.932±0.19	-, 68, 65, 74, 94, 81	0.855±0.18	95, 112, 75, 95, 69, 74
アスペン OSB	0.139±0.13	-, 49, 25, 27, 39, 25	0.301±0.20	70, 60, 57, 62, 33, 54
パイン OSB	0.153±0.10	-, 70, 45, 44, 28, 24	0.295±0.15	90, 101, 84, 85, 48, 46
PB (PF)	0.039±0.01	-, 54, 26, 30, 21, 5	0.190±0.16	73, 69, 38, 39, 17, 23
MDF 9	0.985±0.13	-, 108, 88, 93, 93, 81	1.02±0.22	93, 95, 81, 92, 97, 84

3.1.5 暴露地“静岡”における基礎物性の劣化

静岡大学：小島陽一，鈴木滋彦

1. 気象条件

静岡での屋外暴露は2004年3月9日に開始し，7年目のサンプルを2011年3月30日に採取した．この間の気象条件は表1のとおりであった．

表1 暴露期間における気象条件（出典：静岡地方気象台）

月	平均気温 (°C)							降水量 (mm)							日照時間 (h)						
	4年度	5年度	6年度	7年度	8年度	9年度	10年度	4年度	5年度	6年度	7年度	8年度	9年度	10年度	4年度	5年度	6年度	7年度	8年度	9年度	10年度
4	16.3	15.5	13.9	14.4	15.4	15.4	13.6	230	106	220	126	221	176	386	244	222	151	178	184	238	132
5	20.3	18.4	18.8	19.3	19.1	19.7	18.5	259	116	264	221	251	220	188	158	225	112	230	177	199	194
6	23.6	22.9	22.1	22.3	21.4	22.1	23.2	641	146	297	207	323	256	285	160	122	118	179	90	128	143
7	27.8	25.7	25.4	24.5	26.3	26.0	27.2	174	365	228	504	129	395	270	213	129	97	76	159	116	188
8	27.0	27.1	26.8	28.0	27.2	26.7	28.5	234	274	185	58	292	184	97	182	177	184	224	201	198	225
9	25.4	24.7	24.2	25.3	24.3	23.6	25.5	289	125	186	336	146	87	391	159	162	165	135	146	172	192
10	18.7	19.7	20.0	19.4	19.8	19.0	20.0	957	206	119	123	136	197	284	124	146	173	147	154	174	143
11	15.6	13.3	14.5	14.1	13.6	14.4	13.8	184	41	79	10	59	188	94	198	210	164	151	168	139	208
12	10.8	6.3	9.7	9.2	10.0	9.6	10.0	157	0	93	91	67	65	194	211	245	164	194	205	187	201
1	6.6	6.2	8.0	6.5	7.2	6.9	5.1	37	83	51	39	129	45	0	222	168	198	168	201	235	257
2	7.2	8.2	9.5	6.0	9.7	8.2	8.8	82	207	87	67	155	233	186	166	158	188	230	159	145	174
3	10.0	10.0	11.2	11.3	10.7	10.8	8.9	212	128	240	229	301	382	69	221	193	223	227	186	152	240
年平均 積算	17.4	16.5	17.0	16.7	17.1	16.9	16.9	3456	1797	2049	2009	2209	2428	2442	2258	2157	1937	2140	2030	2083	2296
年平均*	16.3							2322							2038						

*30年間（1971-2000）の平均値

2. 観察結果および重量・厚さ変化率

尺角パネルの材面割れ等の状況と重量変化率（2枚平均），およびIB試験全13片から得た厚さ変化率の平均値とパネル密度の平均値を表2に示す．

表2 暴露終了時の材面観察および厚さ変化など（左から1，2，3，4，5，6，7年目）

分類	表面の観察結果	重量変化率 (%)							厚さ変化率 (%)							密度 g/cm^3						
		1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
合板12 (6年目終了)	端面、表面ともにひび割れ多数有り・生物劣化有り	-4.3	-4.0	-5.0	-6.6	-8.9	-8.7	---	0.9	1.8	1.3	-0.2	-0.9	-1.8	---	0.61	0.60	0.58	0.61	0.57	0.58	---
合板9 (7年目終了)	ひび割れ、反り、変色あり・生物劣化有り	-5.9	-4.2	-4.4	-6.7	-9.9	---	-29.6	2.4	1.7	1.6	0.5	-2.1	---	-8.4	0.61	0.59	0.58	0.56	0.54	---	0.44
アスペンOSB (6年目終了)	端面、表面ともにひび割れ多数有り・生物劣化有り	-3.0	-4.1	-7.7	-30	-34.6	-62.8	---	21.0	15.3	15.1	16.6	22.1	19.7	---	0.51	0.55	0.53	0.37	0.32	0.44	---
ハイウOSB (6年目終了)	端面、表面ともにひび割れ多数有り・生物劣化有り	-0.7	-4.0	-3.5	-4.7	-7.3	-11.1	---	7.5	9.7	12.6	17.0	15.2	16.0	---	0.63	0.61	0.55	0.57	0.53	0.50	---
PB (PF) (6年目終了)	端面、表面ともにひび割れ多数有り・生物劣化有り	-3.3	-5.8	-4.8	-8.9	-14.4	-15.5	---	7.1	14.0	15.0	19.3	19.5	23.2	---	0.68	0.64	0.62	0.56	0.53	0.50	---
PB (MD) (6年目終了)	端面、表面ともにひび割れ多数有り・生物劣化有り	-3.0	-4.7	-2.1	-5.8	-9.3	-11.5	---	3.3	4.2	4.8	6.2	6.7	8.2	---	0.78	0.75	0.75	0.70	0.68	0.65	---
MDF9 (7年目終了)	端面にわずかなひび割れあり・生物劣化有り	-2.5	-2.3	-1.6	-3.3	-4.1	---	-5.3	0.6	1.3	1.0	3.1	2.2	---	1.3	0.74	0.70	0.69	0.69	0.69	---	0.69
MDF12 (7年目終了)	端面にわずかなひび割れ・若干反り・生物劣化有り	-1.0	-2.7	-1.1	-3.0	-5.4	---	-15.9	1.0	2.1	2.5	2.5	3.8	---	7.1	0.75	0.72	0.74	0.74	0.69	---	0.60

端面は，供試パネル全てにおいてひび割れが見られ，特にPB (PF) やOSBにおいては多数のひび割れが確認された．MDFにおいてもわずかにひび割れが見られた．表裏面の亀裂は合板とOSBで多数見られた．またOSBでは生物劣化が確認された．重量変化率は全てのパネルで負の値（重量減少）を示し，経年により重量が徐々に減少している．特に生物劣化が見られたアスペンOSBでは5年目から6年目にかけて大きく減少しており-62.8%と大きな値を示した．MDFでは-5%程度と小さい値を示した．厚さ変化率はアスペンOSBとPB (PF) で20%程度の大きな値を示し，合板，MDFでは非常に小さな値となった．

3. 曲げ性能の劣化

試験時の厚さ基準で算出した比例限度応力，MOR，MOE および初期値に対するそれらの残存率，さらに初期厚さ基準で算出したMOR（これをLoad Carrying Capacity (LCC)と呼ぶ），MOE（これをBending Resistance (BR)と呼ぶ）と残存率（測定値／初期値×100[%]）を表3に示す．

表3 暴露7年目の曲げ性能の劣化 (n=8, 下段は残存率で, 左から暴露1, 2, 3, 4, 5, 6, 7年目の値)

分類	試験時 含水率 (%)	比例限度	MOR	MOE	LCC	BR
		Ave±std (MPa) 残存率 (%)	Ave±std (MPa) 残存率 (%)	Ave±std (GPa) 残存率 (%)	Ave±std (MPa) 残存率 (%)	Ave±std (GPa) 残存率 (%)
合板12 (6年目終了)	8.8	25.3±6.0	40.5±8.3	4.4±0.6	39.1±7.9	4.2±0.6
合板9 (7年目終了)	8.8	14.9±10.9	21.7±14.5	4.4±2.4	18.8±13.3	3.5±2.1
7ｽﾊﾝﾄﾞSB (6年目終了)	8.6	3.1±0.9	4.6±0.8	0.6±0.1	6.6±1.3	1.0±0.2
ﾊｲﾝﾄﾞSB (6年目終了)	8.5	6.28±1.4	9.1±1.8	0.9±0.1	12.2±2.5	1.4±0.2
PB (PF) (6年目終了)	8.2	2.7±1.0	3.6±1.3	0.5±0.1	5.5±2.1	0.9±0.3
PB (MDI) (6年目終了)	7.7	9.2±1.1	1.5±1.7	1.5±0.2	17.3±1.6	1.9±0.2
MDF9 (7年目終了)	6.2	15.0±1.1	27.1±1.4	2.4±0.2	27.8±1.6	2.4±0.1
MDF12 (7年目終了)	6.8	8.3±1.7	14.0±2.9	1.0±0.2	16.1±3.4	1.2±0.3

今回回収したパネルは8種類のうち6年目で回収しなかった3種類のパネルである。合板9mmでは5年目までは徐々に低下しているが7年目では28%と大きく低下している。MDF9mmにおいては4年目に回復しているが、その後は徐々に低下する傾向を示している。MDF12mmにおいてはMOR残存率が毎年ほぼ同じペースで減少している。一方、MOE残存率はMOR残存率とほぼ同様の傾向を示している。LCCは厚さ変化を無視して算出したMORであり、その残存率は、パネルが施工された状態での耐荷重の残存率を意味する。MOR残存率と同程度の値となっている。同様にBRは、厚さ変化を無視して算出したMOEであり、その残存率はパネルが施工された状態の特定荷重によるたわみ量の指標となる(例えば、残存率が50%であれば、たわみ量は2倍)。暴露7年目のBR残存率はMOE残存率と同程度の値となっている。MDF12mmでは厚さ変化が大きいにも関わらず同じような値となっている。

4. はく離強度 (IB)

パネル1種類につき13片のIB試験体は、尺角中央付近の3片と比較的側端面に近い10片からなる。前者は暴露中に雨水浸入の影響を受け難いが、後者は側端面の防水処理の劣化に応じて雨水浸透の影響が大きくなる。表4には、両者を区別したはく離強度 (IB) とIB残存率および試験片の厚さ変化率を示した。なお、IB試験は劣化した表層部を削除した後に行っている。アスペンOSBに関しては、裁断時に試験体に破壊が生じたため中央部はn=1となっている。

表4 暴露7年目のはく離強度 (IB) と厚さ変化率 (IB残存率は, 左から暴露1, 2, 3, 4, 5, 6, 7年目の値)

分類	中央部 (n=3)								側端面付近 (n=10)									
	B Ave±std (MPa)	残存率 (%)							厚さ変化率: Ave±std (%)	B Ave±std (MPa)	残存率 (%)							厚さ変化率: Ave±std (%)
合板12 (6年目終了)	0.71±0.44	64	37	68	83	42	62	-	0.73±3.36	1.10±0.44	113	90	37	84	81	96	-	-0.46±2.98
合板9 (7年目終了)	0.80±0.11	147	105	84	69	125	-	59	-3.75±3.66	0.45±0.45	116	86	82	99	88	-	41	-6.68±4.75
7ｽﾊﾝﾄﾞSB (6年目終了)	0.05±0.02	23	43	29	9	3	9	-	13.37±1.77	0.05±0.02	38	54	47	7	7	8	-	22.48±7.53
ﾊｲﾝﾄﾞSB (6年目終了)	0.22±0.04	69	47	28	22	25	34	-	15.60±2.53	0.12±0.07	81	63	34	34	12	19	-	17.13±3.06
PB (PF) (6年目終了)	0.04±0.01	29	22	27	11	9	5	-	24.19±1.26	0.05±0.02	45	27	16	8	6	6	-	24.25±1.97
PB (MDI) (6年目終了)	0.51±0.11	109	85	87	63	43	23	-	7.52±0.78	0.54±0.27	98	89	82	56	41	25	-	8.32±1.38
MDF9 (7年目終了)	0.37±0.47	125	111	96	125	100	-	74	1.28±0.15	0.67±0.29	116	102	98	101	97	-	60	1.76±0.51
MDF12 (7年目終了)	0.39±0.03	134	100	113	104	108	-	62	7.65±0.23	0.21±0.10	124	95	98	115	90	-	33	7.84±0.82

暴露7年目のIB残存率は、中央・側端面付近ともに暴露5年目との比較ではどれも劣化が大きく進行していることがわかる。

中央部と側端面の比較では、暴露期間が経過するごとに側端面と中央部での残存率の大きな差が小さくなっているように思われる。これは暴露期間が経過するごとに端面からの水分侵入が進行し、中央部まで十分に水分が浸透したために中央部と端部の劣化が同程度になってきたためであると思われる。

5. 吸水厚さ膨張率 (TS)

マット成形パネルでは、屋外暴露によって接着劣化が生じた場合、吸水に対する厚さ膨張の抵抗が低下すると考えられる。この種の検討はマット成形パネルの強度劣化機構を考える上で有用と思われるため、本プロジェクトで採取養生後の試験片に JIS A5908 に準拠した 24 時間吸水厚さ膨張試験を行っている。暴露 7 年後の吸水厚さ膨張率を初期厚さ基準と吸水前厚さ基準で算出した値、暴露 7 年間で生じた厚さ変化率（以上、採取位置により 2 区分）、暴露前の 24h 吸水 TS を表 5 に示す。

表 5 暴露 7 年後の 24 時間吸水厚さ膨張率（初期厚さ基準 TS および吸水前厚さ基準 TS）

分類	中央部			側端面付近 (n=10)			参考) 暴露前 24h吸水 TS (%)
	吸水前 厚さ変化率 Ave±std (%)	24h吸水TS Ave±std (%)		吸水前 厚さ変化率 Ave±std (%)	24h吸水TS Ave±std (%)		
		初期基準	吸水基準前		初期基準	吸水基準前	
合板12(6年目終了)	0.7±0.2	3.3±1.2	2.6±1.2	0.2±2.3	4.4±2.2	4.2±0.6	5.9±1.5
合板9(7年目終了)	-5.8±3.83	-5.0±2.6	0.9±1.4	-4.3±3.8	-2.8±3.9	1.6±1.6	6.4±1.7
アスペン OSB (6年目終了)	22.4	39.6	14.0	21.6±3.8	31.0±3.5	7.7±1.7	18.3±2.6
パイン OSB (6年目終了)	17.7±3.8	30.9±4.6	11.2±0.4	16.6±3.3	29.3±6.4	10.9±3.1	10.4±0.9
PB (PF) (6年目終了)	26.5±0.8	40.5±1.2	11.1±0.3	25.2±1.5	38.6±1.7	10.7±1.3	9.3±1.5
PB (MDI) (6年目終了)	10.2±1.1	23.0±1.0	11.6±0.6	10.2±3.0	21.8±3.5	10.5±1.0	6.8±0.4
MDF9 (7年目終了)	1.4±0.28	6.5±0.2	5.1±0.1	1.4±0.3	6.5±0.4	5.0±0.3	5.8±0.3
MDF12 (7年目終了)	8.0±0.26	17.7±1.1	9.0±1.1	7.6±0.7	18.0±0.9	9.7±1.0	4.1±0.2

初期厚さ基準 TS と暴露前の 24h 吸水 TS に着目すると以下のことが言える。

暴露終了後の 24 時間吸水 TS は、中央部・側端面付近ともに合板で小さく、OSB と PB の計 4 種類のパネルでは 20%以上の大きな値となった。特にアスペン OSB や PB (PF) では 40%近くの大きな値となった。暴露 5 年目までは中央付近から得られた試験体は、側端面付近から得られたものに比べ暴露中に雨水侵入の影響を受けにくく、厚さ変化や初期厚さ基準 TS は側端面付近より小さくなっていて、暴露終了時では両者にほとんど差が見られなくなった。このことから暴露終了時では端面からの水分侵入が進行し、中央部まで十分に水分が浸透したと考えられる。

次に屋外暴露で生じた厚さ変化率と初期厚さ基準 TS との関係性を考察する。図 1 は、屋外暴露 1 年目から 7 年目における両者の関係をパネルごと（合板 2 種類のデータは除く）にプロットしたものである。図中の破線は、厚さ変化と同値の y 座標を持つ。破線とプロットの y 座標の差は暴露後の 24 時間吸水で発生した厚さ増分割合を示すが厚さ変化率が大きいほど、その差が拡大することが見て取れる。この現象には次のような解釈が可能であろう。

「マット成形パネルが屋外暴露によって接着強度劣化（IB 低下がその指標となる）を伴いながら厚さ増加（密度低下）していくと、吸水試験においては、給水量の増加及びエレメント深部への水分浸透を誘発させ、エレメント自体の圧縮回復や吸水膨潤を助長させると同時に、接着力の低下によりエレメント膨潤を抑え込む能力が低下し、結果としてまた吸水厚さ膨張率が増加する。」

また図 1 のプロット群はほぼ直線状に並んでいるが、パネルごとのプロット数が少ないため、パネル間の差異を論じるには不十分である。今後、全国 8 地域のプロットを取り込み、パネル間の差異の有無を検討すべきであろう。

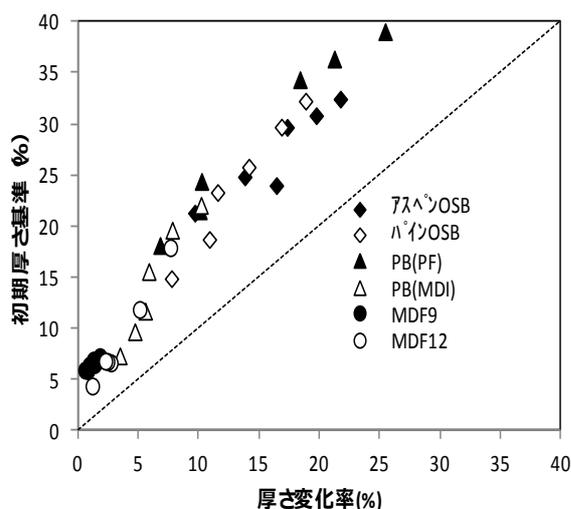


図 1 厚さ変化と初期厚さ基準 TS の関係

6. 厚さ変化率と MOR, MOE, IB の各残存率の関係

一般にマット形成パネルの強度劣化は、厚さ膨張率と関係が深いと言われる。ただし、厳密にはパネルを構成するエレメントの形状寸法やパネル密度に依存すると言われる。本プロジェクトの供試パネルは密度が比較的近接しているため、今回回収した合板 9mm を除くマット成形パネル (MDF2 種類) と 6 年目に回収した合板 12mm を除くマット成形パネル (PB2 種類と OSB2 種類の計 4 種類) の合計 6 種類を区別なしに厚さ変化率と MOR 残存率, MOE 残存率, IB 残存率の関係を描くと図 2~4 が得られた。これらの図より 3 つの残存率はいずれも厚さ変化率の増大につれてほぼ直線的に低下する傾向があると言える。

上記の直線関係には暴露期間が影響してくる可能性がある。すなわち、本プロジェクトの屋外暴露は南面鉛直で実施しており、南暴露面を曲げ試験の引張側に配置している。曲げ性能には表面劣化の影響が大きいことから、単に厚さ変化率のみならず、暴露期間の進行に伴う表面劣化の影響が出てくる可能性がある。今後は、全国 8 地域での暴露データを用いて、これらの関係を詳細に検討する必要がある。

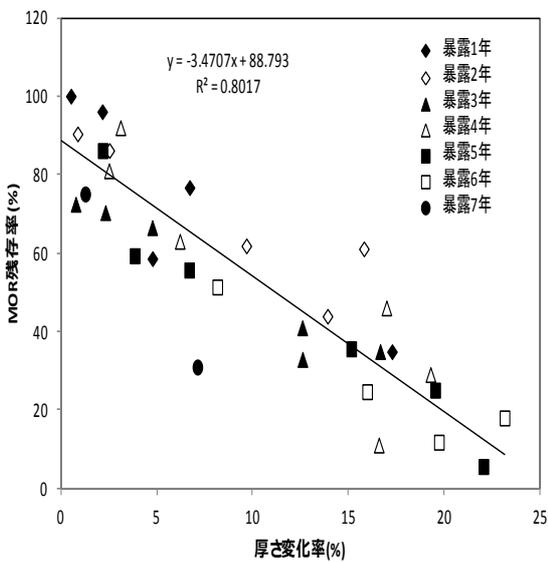


図 2 厚さ変化率と MOR 残存率の関係

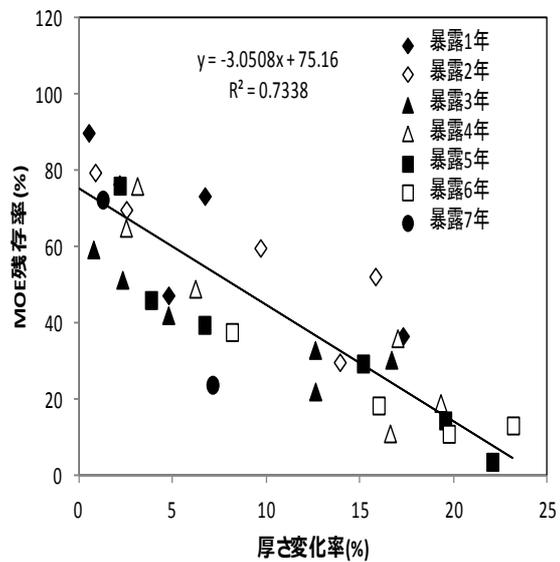


図 3 厚さ変化率と MOE 残存率の関係

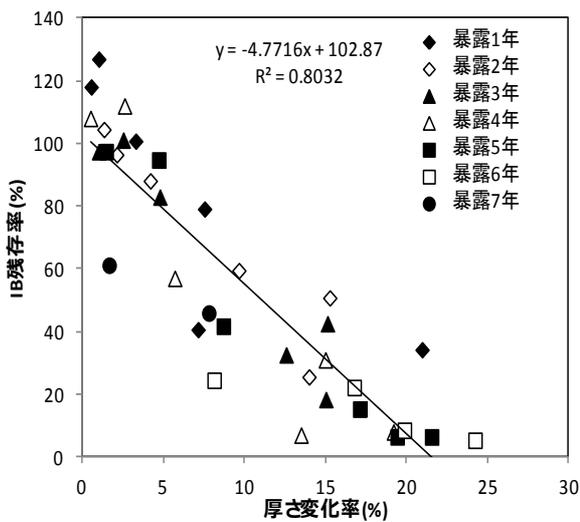


図 4 厚さ変化率と IB 残存率の関係

3.1.6 暴露地“岡山”における基礎物性・釘接合性能の劣化

(1) 暴露地“岡山”における木質パネルの劣化

岡山県農林水産総合センター森林研究所：野上英孝，小川 裕

1. 気象条件

岡山での屋外暴露は県北部（岡山市）・県南部（真庭市）において2004年3月上旬に開始し，7年目のサンプルを2011年3月30日に採取した．この間の気象条件は表1のとおりであった．県南部は典型的な瀬戸内海性気候（温暖，小雨，日照時間長）であるのに対し，県北部は県中部高原地帯と中国山脈の中間に位置する盆地気候であり，南部に比較し寒冷，多雨で日照時間も短い．

表1 暴露期間における気象条件（出典：岡山地方気象台，久世地域気象観測所）

岡山南部	平均気温 (°C)								降水量 (mm)								日照時間 (h)							
	4年度	5年度	6年度	7年度	8年度	9年度	10年度	10年度	4年度	5年度	6年度	7年度	8年度	9年度	10年度	10年度	4年度	5年度	6年度	7年度	8年度	9年度	10年度	
4	16.1	15.8	13.1	14.1	15.0	15.5	13.1	66	32	113	25	134	77	147	249	228	133	188	197	233	156			
5	20.7	19.5	19.4	19.5	19.6	20.0	18.9	241	50	91	108	153	30	156	170	258	168	218	193	183	211			
6	24.1	25.4	24.0	23.7	23.0	24.0	24.0	206	24	243	106	75	74	142	188	198	166	149	117	179	165			
7	29.2	27.3	26.9	26.0	29.0	26.6	27.8	41	215	285	218	52	259	165	234	149	102	124	224	101	179			
8	27.9	28.3	29.7	29.2	28.5	27.8	30.5	257	56	58	25	69	159	67	172	182	219	213	168	177	253			
9	25.4	25.7	23.7	27.1	24.8	24.2	26.3	163	91	124	56	124	57	144	106	141	184	184	149	187	202			
10	18.3	19.4	19.9	19.6	19.1	18.7	19.4	242	81	42	28	80	57	99	167	163	188	171	167	188	136			
11	14.0	12.5	13.6	12.7	12.3	12.7	12.1	42	37	62	14	50	127	20	184	178	146	164	150	131	181			
12	8.6	4.4	8.0	8.4	7.9	7.5	7.4	112	7	55	70	14	30	55	153	167	133	133	167	168	164			
1	5.0	4.8	6.2	5.1	5.3	5.1	3.2	10	37	25	66	38	12	1	152	129	152	131	134	174	193			
2	5.1	5.7	7.9	4.3	7.2	7.1	6.5	77	64	54	30	109	71	43	132	125	155	154	130	136	144			
3	8.4	8.0	9.4	10.0	9.5	9.0	7.4	56	82	47	108	59	141	26	167	175	201	206	186	140	192			
年平均 積算	16.9	16.4	16.8	16.6	16.8	16.5	16.4	1509	773	1197	851	954	1093	1061	2074	2094	1946	2035	1980	1998	2176			
年平均*	16.2								1106								2031							

岡山北部	平均気温 (°C)								降水量 (mm)								日照時間 (h)							
	4年度	5年度	6年度	7年度	8年度	9年度	10年度	10年度	4年度	5年度	6年度	7年度	8年度	9年度	10年度	10年度	4年度	5年度	6年度	7年度	8年度	9年度	10年度	
4	13.6	13.3	10.6	11.4	12.6	12.3	10.4	76	25	150	55	187	115	156	225	211	103	157	181	207	133			
5	18.5	17.0	17.4	17.0	17.5	17.4	16.1	291	73	164	137	152	72	186	134	229	109	178	197	188	198			
6	22.2	23.7	22.0	21.4	21.1	21.3	21.9	209	43	215	145	103	209	206	149	144	92	74	109	171	148			
7	27.2	25.3	25.1	24.0	27.3	24.3	25.3	80	311	422	277	23	306	368	172	106	49	79	188	78	136			
8	26.0	26.2	27.4	27.1	26.1	24.9	27.6	291	70	120	99	144	87	108	136	148	177	145	157	158	187			
9	23.2	23.5	21.0	24.4	22.5	21.0	23.1	243	188	163	77	96	55	135	80	143	149	126	139	170	162			
10	15.7	16.0	17.0	16.5	16.2	15.0	16.2	211	71	47	71	82	72	139	144	125	148	147	139	132	104			
11	11.0	8.9	10.4	9.1	9.1	9.5	8.4	24	69	63	27	75	150	12	113	121	108	114	99	83	123			
12	5.3	1.2	4.8	4.9	4.6	4.6	4.2	118	88	55	78	38	46	91	107	86	89	85	100	104	103			
1	2.3	1.9	3.0	2.5	2.3	2.2	-0.1	42	68	33	63	51	20	30	100	96	101	82	95	128	116			
2	2.8	2.8	4.9	1.7	4.5	4.5	3.6	83	87	75	69	110	80	66	100	80	128	109	89	103	128			
3	5.5	5.3	6.4	7.5	6.7	6.4	4.3	78	114	48	176	87	140	34	140	135	133	154	138	116	153			
年平均 積算	14.4	13.8	14.2	14.0	14.2	13.6	13.4	1746	1207	1555	1274	1145	1350	1529	1599	1624	1387	1448	1632	1638	1690			
年平均*	13.5								1432								1583							

*過去20年間（1981-2000）の平均値

2. 観察結果および重量・厚さ変化率

尺角パネルの材面割れ等の状況と重量変化率（2枚平均），およびIB試験全13片から得た厚さ変化率の平均値とパネル密度の平均値を表2に示す．

表2 暴露終了時の材面観察および厚さ変化など（左から1，2，3，4，5，6，7年目）

分類	地域	表面の観察結果	重量変化率 (%)							厚さ変化率 (%)							密度 (g/cm ³)						
			1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
合板12 (7年目終了)	県南	表層節の脱落、端面・表面に亀裂多数、端面接着層のはく離、生物劣化有り	-3.1	-4.0	-5.8	-3.8	-7.7	---	-9.0	2.3	0.9	0.8	0.9	0.3	---	-0.1	0.60	0.59	0.58	0.59	0.58	---	0.61
	県北		-2.0	-3.2	-5.0	-5.0	-5.8	---	-6.1	2.8	0.5	0.3	-0.5	-0.3	---	-0.8	0.59	0.61	0.60	0.59	0.62	---	0.61
合板9 (7年目終了)	県南	表層節の脱落、端面・表面に亀裂多数、端面接着層のはく離、生物劣化有り	-4.1	-4.0	-6.4	-0.9	-8.4	---	-9.2	3.0	0.8	0.9	0.8	0.9	---	-1.1	0.58	0.55	0.58	0.53	0.57	---	0.58
	県北		-1.6	-4.4	-4.4	-5.4	-8.8	---	-10.2	5.0	1.6	2.3	-0.8	-2.1	---	-1.7	0.61	0.55	0.60	0.57	0.57	---	0.56
7x100SB (6年目終了)	県南	表層ストラットはく離、端面厚さ膨張、端面に亀裂発生、生物劣化有り、子実体発生	-0.5	-5.3	-15.9	-3.9	-12.9	-29.7	---	12.7	19.0	16.0	15.8	18.5	13.3	---	0.57	0.52	0.48	0.50	0.47	0.39	---
	県北		-1.0	-0.6	-4.6	-4.8	-27.3	-6.0	---	12.1	20.0	19.8	22.0	21.6	21.4	---	0.59	0.56	0.50	0.48	0.38	0.51	---
1x100SB (6年目終了)	県南	表層ストラットはく離、端面厚さ膨張、端面に亀裂発生、生物劣化有り	-1.3	0.9	-0.7	-1.2	-5.7	-4.7	---	7.5	7.9	10.8	12.1	16.9	14.5	---	0.62	0.63	0.62	0.54	0.55	0.54	---
	県北		-1.0	-0.5	-1.2	-0.9	-0.6	-6.1	---	7.7	7.7	12.0	14.7	15.1	17.4	---	0.66	0.64	0.57	0.56	0.61	0.51	---
PB (PF) (6年目終了)	県南	表層エレメントの荒れ、端面厚み増加、端面亀裂発生、生物劣化有り	-0.4	-1.5	-4.1	-3.9	-5.6	-11.7	---	5.1	7.6	13.1	14.8	16.2	19.2	---	0.73	0.67	0.64	0.63	0.64	0.59	---
	県北		-0.2	-1.4	-3.0	-3.0	-10.4	-7.2	---	4.3	9.7	8.1	12.8	16.1	18.0	---	0.71	0.69	0.70	0.62	0.61	0.60	---
PB (MD) (7年目終了)	県南	表層エレメントの荒れ、端面厚み増加、端面亀裂発生、生物劣化有り	-0.6	-1.1	-3.1	-3.1	-6.2	---	-7.6	3.9	4.0	7.3	6.3	5.8	---	8.2	0.77	0.76	0.75	0.71	0.72	---	0.68
	県北		-0.1	-1.0	-2.0	-3.0	-3.5	---	-8.2	3.8	4.3	6.0	7.1	6.9	---	7.6	0.77	0.74	0.76	0.72	0.72	---	0.69
MDF9 (7年目終了)	県南	表層の毛羽立ち、端面にわずかな亀裂・生物劣化有り	-0.7	-1.4	-2.3	-2.4	-2.7	---	-3.7	1.2	0.6	1.3	0.6	0.8	---	0.0	0.72	0.70	0.72	0.69	0.70	---	0.71
	県北		-0.3	-0.7	-1.6	-1.4	-2.3	---	-2.7	1.4	1.3	1.4	1.1	0.4	---	0.5	0.72	0.71	0.70	0.70	0.72	---	0.71
MDF12 (7年目終了)	県南	表層の毛羽立ち、端面にわずかな亀裂・生物劣化有り	-0.6	0.0	-0.9	-1.1	0.2	---	-3.4	1.8	1.6	2.2	2.8	1.9	---	4.4	0.75	0.76	0.74	0.73	0.72	---	0.73
	県北		-0.5	-0.3	-0.5	-0.5	-4.3	---	-3.0	1.3	1.8	2.2	1.8	2.5	---	3.7	0.76	0.74	0.76	0.75	0.70	---	0.71

外観観察における特記事項としてまず、3年目以降、アスペン OSB のパネル端面において腐朽菌子実体が発生・増加した。また、県北・県南問わず、全てのパネル表面に緑色のコケあるいは黒色のカビのようなものが発生し、何らかの生物劣化が生じたと考えられる。重量減少率について見てみると、全てのパネルにおいて漸減傾向が認められる。特にアスペン OSB の中、内層全面へ腐朽が進行した固体が著しく大きい値を示したが、内層への腐朽が進行しなかった固体については、他の合板・OSB・PB と同程度の重量減少傾向を示した。なお、MDF については他のパネルに比較して明らかに重量減少率が小さかった。厚さ変化率については MDF9mm が最も小さい値を示した一方で、合板においては表層節の脱落に見られるように、表層の風化による厚さの減少傾向が認められた。密度の変化については、厚さ増加率の大きい OSB, PB において相応の密度低下が認められるが、内層へ腐朽が進行したアスペン OSB については重量減少と同様、より顕著な密度低下を示した。なお、これらの測定項目において、暴露箇所（県南、県北）の違いによる最終的な差は明確には認められなかった。

3. 曲げ性能の劣化

試験時の厚さ基準で算出した比例限度応力、MOR, MOE および初期値に対するそれらの残存率、さらに初期厚さ基準で算出した MOR (これを Load Carrying Capacity (LCC) と呼ぶ), MOE (これを Bending Resistance (BR) と呼ぶ) と残存率 (測定値/初期値×100[%]) を表 3 に示す。

表 3 暴露 7 年目の曲げ性能の劣化 (n=8, 下段は残存率で、左から暴露 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 年目の値)

分類	地域	試験時含水率 (%)	比例限度								MOR								MOE								LCC								BR							
			Ave±std (MPa) 残存率 (%)								Ave±std (MPa) 残存率 (%)								Ave±std (GPa) 残存率 (%)								Ave±std (GPa) 残存率 (%)															
合板12 (7年目終了)	県南	11.0	21.6±4.6								38.8±5.7								5.1±1.0								38.7±5.8								5.1±0.9							
	県北	10.8	20.6±3.9								33.2±6.6								5.3±0.8								32.6±6.4								5.4±1.0							
合板9 (7年目終了)	県南	10.7	19.4±5.3								38.8±11.5								6.3±1.5								37.9±11.6								6.6±1.8							
	県北	10.5	24.7±7.8								45.1±13.6								7.8±1.4								44.1±14.6								8.2±1.5							
アスペン OSB (6年目終了)	県南	9.8	2.3±2.1								7.7±1.5								1.2±0.2								10.0±2.5								0.7±0.1							
	県北	9.9	7.2±2.2								12.1±2.3								1.8±0.4								15.8±1.9								1.0±0.4							
ハイドロ OSB (6年目終了)	県南	9.7	8.0±1.7								12.4±2.8								1.7±0.3								14.7±3.6								1.2±0.3							
	県北	9.6	6.4±1.3								10.5±2.4								1.3±0.2								13.0±3.1								0.8±0.1							
PB (PF) (6年目終了)	県南	9.5	2.4±1.0								4.0±1.6								0.6±0.1								5.2±2.1								0.4±0.1							
	県北	9.6	3.2±1.2								4.5±1.2								0.9±0.3								6.2±1.1								0.6±0.3							
PB (MDI) (7年目終了)	県南	10.9	4.5±1.0								9.3±1.7								1.3±0.2								10.9±1.9								1.0±0.2							
	県北	10.0	6.0±0.5								11.0±1.1								1.5±0.1								12.8±1.4								1.2±0.1							
MDF9 (7年目終了)	県南	8.3	8.6±0.9								20.3±1.4								2.3±0.2								20.3±1.4								2.3±0.2							
	県北	8.1	9.1±0.5								21.7±0.9								2.4±0.1								21.9±0.9								2.4±0.1							
MDF12 (7年目終了)	県南	8.8	11.1±2.0								20.9±3.6								2.1±0.3								22.4±3.7								1.9±0.3							
	県北	8.5	13.1±1.2								24.2±1.7								2.1±0.2								26.4±1.7								1.9±0.2							

今回、回収したパネルは 8 種類のうち 6 年目で回収しなかった 5 種類のパネル (合板, PB (MDI), MDF) である。いずれのパネルも 5 年目までに比較して更なる曲げ性能の低下が認められたが、6 年目に採取した OSB2 種および PB (PF) に比較すると強度の低下率は低い。最終的には今回供試されたパネルの中、合板および MDF の曲げ性能残存率が、OSB, PB に比較して高い傾向を示したと言える。なお、これらの測定項目において、暴露箇所（県南、県北）の違いによる最終的な差は明確には認められなかった。

4. はく離強度 (IB)

パネル 1 種類につき 13 片の IB 試験体は、尺角中央付近の 3 片と比較的側端面に近い 10 片からなる。前者は暴露

中に雨水浸入の影響を受け難いが、後者は側端面の防水処理の劣化に応じて雨水浸透の影響が大きくなる。表4には、両者を区別したはく離強度（IB）とIB残存率および試験片の厚さ変化率を示した。なお、IB試験は劣化した表層部を削除した後に行っている。県南部に暴露したアスペンOSBの一枚は内層腐朽が進行し、表裏層の分離が容易に生じる状態であった。従って、このパネル側端面付近から採取したIB試験体（5枚）は試験体作製過程にはく離したため、当該箇所の試験体数（n）は5体である。

表4 暴露7年目のはく離強度（IB）と厚さ変化率（IB残存率は、左から暴露1, 2, 3, 4, 5, 6, 7年目の値）

分類	地域	中央部 (n=3)								側端面付近 (n=10)									
		B Ave±std (MPa)	残存率 (%)							厚さ変化率: Ave±std (%)	B Ave±std (MPa)	残存率 (%)							厚さ変化率: Ave±std (%)
合板12 (7年目終了)	県南	0.52±0.20	92	78	83	67	33	-	45	-0.24±0.72	1.01±0.25	86	90	113	73	89	-	88	-1.61±1.00
	県北	0.99±0.25	52	93	112	55	87	-	86	-1.10±0.37	1.05±0.34	99	68	84	69	61	-	91	0.24±1.61
合板9 (7年目終了)	県南	0.87±0.12	156	119	61	101	135	-	64	-0.34±0.78	0.82±0.18	129	109	101	112	120	-	61	-0.87±1.97
	県北	1.26±0.25	101	92	134	107	139	-	93	-2.93±1.66	1.04±0.30	121	77	100	106	139	-	77	-3.52±1.96
アスペンOSB (6年目終了)	県南	0.18±0.15	38	20	26	63	17	32	-	13.5±1.3	0.28±0.11	49	28	27	30	21	50	-	16.22±3.72
	県北	0.25±0.14	58	50	14	29	5	45	-	17.1±6.7	0.18±0.06	60	36	30	15	1	32	-	21.73±4.81
パインOSB (6年目終了)	県南	0.22±0.10	65	86	87	43	13	32	-	13.5±4.8	0.21±0.12	81	104	72	54	39	35	-	15.01±4.54
	県北	0.09±0.01	82	73	36	22	49	14	-	16.3±1.8	0.11±0.04	77	86	51	45	58	17	-	17.03±3.51
PB (PF) (6年目終了)	県南	0.14±0.13	66	27	24	15	22	17	-	13.9±6.4	0.07±0.01	67	43	22	28	23	9	-	18.92±2.61
	県北	0.13±0.03	64	53	16	20	7	16	-	14.2±0.9	0.11±0.03	67	52	46	23	17	13	-	18.11±4.53
PB (MDI) (7年目終了)	県南	0.76±0.05	93	86	68	58	54	-	35	9.09±1.49	0.90±0.19	96	88	66	62	59	-	41	8.50±2.93
	県北	0.87±0.10	101	91	69	60	51	-	40	6.56±0.49	0.93±0.14	92	83	70	60	57	-	42	6.95±0.53
MDF9 (7年目終了)	県南	1.26±0.06	103	99	111	77	98	-	103	0.2±0.06	1.30±0.12	102	127	114	73	102	-	106	0.51±0.29
	県北	1.19±0.03	127	103	85	88	114	-	98	0.38±0.17	1.21±0.03	101	99	85	85	112	-	99	0.51±0.36
MDF12 (7年目終了)	県南	0.78±0.04	138	125	102	68	99	-	126	4.54±0.17	0.72±0.06	104	108	105	89	114	-	117	4.74±1.06
	県北	0.54±0.17	115	85	100	115	112	-	87	3.04±0.08	0.62±0.08	124	98	95	103	114	-	101	3.83±0.66

合板については、試験体間のバラツキが大きいものの、全体的には5年目までに比較して漸減傾向が認められた。アスペンOSBについては、内層腐朽進行の有無によって強度残存率に大きな差が現れた。例えば、県北のアスペンOSBについては、5年目に内層腐朽が進行したパネルが存在し、IBの著しい低下が認められたため、内層腐朽の進行したパネルがなかった6年目のIBが相対的に高い値を示した。一方、内層腐朽進行が認められない固体についてはパインOSB・PB2種と同様、順当な経年減少傾向が認められた。MDFについては7年経過後も明確な低減傾向が認められなかった。なお、これらの測定項目において、暴露箇所（県南、県北）の違いによる最終的な差は明確には認められなかった。

5. 吸水厚さ膨張率（TS）

マット成形パネルでは、屋外暴露によって接着劣化が生じた場合、吸水に対する厚さ膨張の抵抗が低下すると考えられる。この種の検討はマット成形パネルの強度劣化機構を考える上で有用と思われるため、本プロジェクトで採取養生後の試験片にJIS A5908に準拠した24時間吸水厚さ膨張試験を行っている。暴露7年後の吸水厚さ膨張率を初期厚さ基準と吸水前厚さ基準で算出した値、暴露6年間あるいは暴露7年間で生じた厚さ変化率（以上、採取位置により2区分）、暴露前の24h吸水TSを表5に示す。なお、県南部に暴露したアスペンOSBについては、はく離試験体と同様の理由から、パネル中央部から採取した試験片（3枚）とパネル側端面付近から採取した試験片（5枚）が採取直後に内層ではく離したため、この試験片のデータは結果に取り入れていない。暴露終了後の24時間吸水TSは、中央部・側端面付近ともに合板が小さく、次いでMDFが小さく、OSBとPB

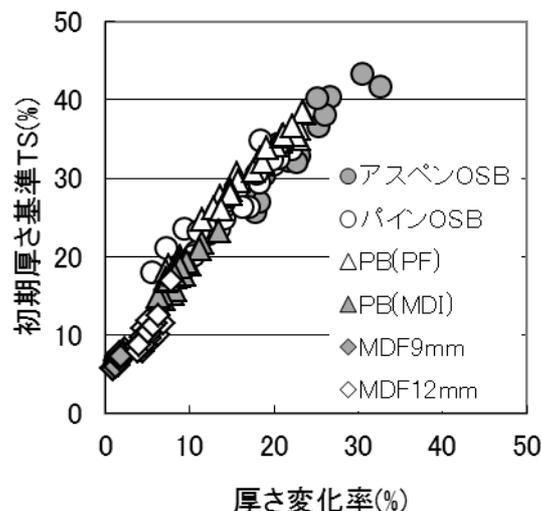


図1 厚さ変化と初期厚さ基準TSの関係

では 30%前後の大きな値となった。また、パネルの種類に関係なく、各種パネルから採取された各試験片における吸水前の厚さ変化率（膨潤率）が大きな固体ほど、初期厚さ基準 TS も大きい傾向が認められた（図 1）。このことから、今回供試したマットフォーミングパネルにおいては、「屋外暴露における乾湿繰り返しにより生じた厚さの増加は、エレメント間の接着力低下を反映しており、パネル内部への吸水および吸水による膨潤を押さえ込む能力を低下させた。」という現象として解釈が可能である。

表 5 暴露 7 年後の 24 時間吸水厚さ膨張率（初期厚さ基準 TS および吸水前厚さ基準 TS）

分類	地域	中央部			側端面付近 (n=10)			参考) 暴露前 24h吸水 TS (%)
		吸水前 厚さ変化率 Ave±std (%)	24h吸水TS Ave±std (%)		吸水前 厚さ変化率 Ave±std (%)	24h吸水TS Ave±std (%)		
			初期基準	吸水基準前		初期基準	吸水基準前	
合板12 (7年目終了)	県南	0.6±1.0	4.1±0.8	3.5±0.9	-1.5±1.1	1.3±1.4	2.8±0.9	5.9±1.5
	県北	0.2±1.7	3.8±2.0	3.6±0.9	-2.4±1.9	1.6±2.3	3.9±0.9	
合板9 (7年目終了)	県南	-0.9±1.0	2.0±0.8	2.9±0.3	-2.7±3.0	0.2±3.0	3.0±2.0	6.4±1.7
	県北	-1.6±1.0	0.9±2.6	2.5±1.7	-2.0±2.6	0.8±2.6	2.8±1.2	
アスペンOSB (6年目終了)	県南	測定不能	測定不能	測定不能	22.3±2.2	33.7±2.1	9.3±1.2	18.3±2.6
	県北	24.3±5.4	37.5±5.0	10.6±1.0	22.7±5.4	33.8±6.3	9.0±1.9	
パインOSB (6年目終了)	県南	9.4±2.0	20.6±0.5	10.2±2.4	15.2±5.1	27.2±5.3	10.5±1.3	10.4±0.9
	県北	15.0±4.5	27.5±4.6	10.9±0.4	18.3±2.5	30.6±3.3	10.4±1.6	
PB (PF) (6年目終了)	県南	21.7±2.8	35.7±2.9	11.6±0.6	14.3±5.1	27.4±5.8	11.5±1.0	9.3±1.5
	県北	22.3±1.1	36.8±1.5	11.9±0.3	17.5±3.3	31.0±3.7	11.5±0.6	
PB (MDI) (7年目終了)	県南	7.5±1.0	15.0±0.9	6.9±0.3	9.7±1.9	18.9±2.5	8.4±0.6	6.8±0.4
	県北	7.7±0.5	17.3±0.5	8.9±0.1	8.2±1.1	18.1±1.8	9.2±0.7	
MDF9 (7年目終了)	県南	1.3±0.2	6.2±0.3	4.8±0.2	1.3±0.3	6.3±0.5	4.9±0.3	5.8±0.3
	県北	2.0±0.1	7.5±0.3	5.4±0.1	1.8±0.3	7.4±0.4	5.5±0.4	
MDF12 (7年目終了)	県南	4.3±0.2	8.4±0.4	3.9±0.2	5.3±0.8	9.5±1.0	4.0±0.4	4.1±0.2
	県北	3.8±0.2	8.4±0.5	4.4±0.4	5.4±1.1	11.4±2.2	5.7±1.1	

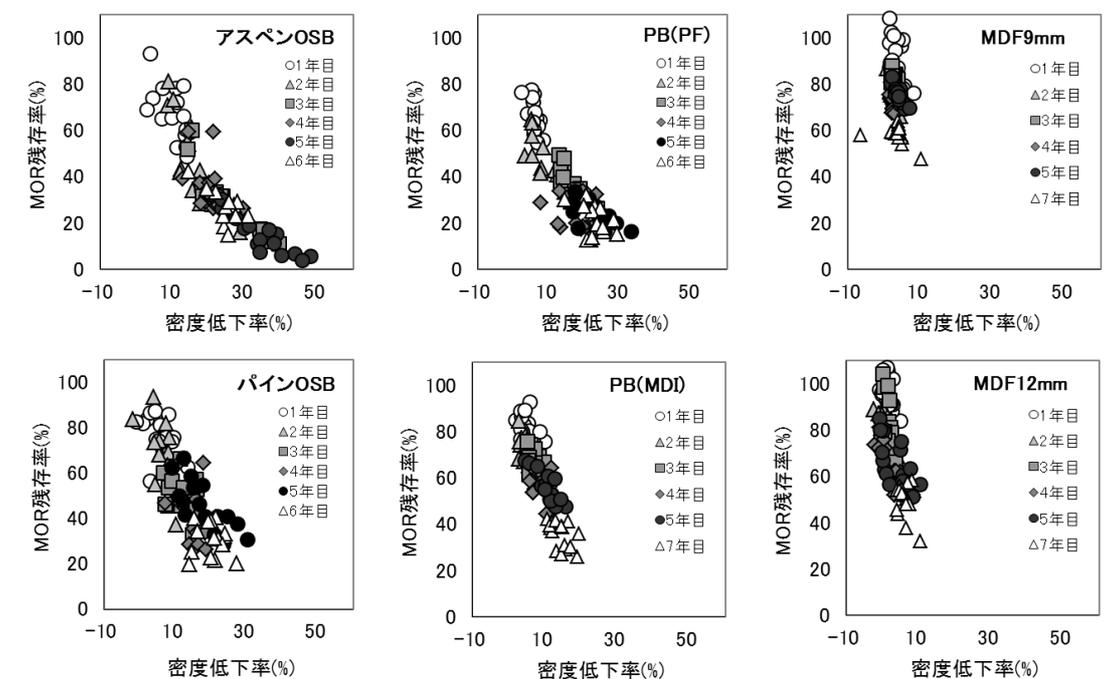


図 2 各種マットフォーミングパネルの密度低下率と MOR 残存率との関係

6. 密度低下率と強度残存率の関係

マットフォーミングパネルにおける強度性能の低下には、エレメント結合力低下（厚さ膨張）のみならず、エレメントの風化や腐朽（重量減少）も主に影響している。従って、厚さ膨張と重量減少の複合因子である密度低下は、強度性能低下と密接な関係があると考えられる。図 2 に 6 年間あるいは 7 年間の屋外暴露における各種マットフォーミ

ングパネルから採取した曲げ試験体の密度低下率と曲げ強度の関係を示す（県南と県北パネルの区別はしていない）．OSB（アスペン，パイン），PB（PF，MDI）においては，密度低下率と曲げ強度残存率との間に強い負の相関が認められた．一方，MDF（9mm，12mm）については，厚さ変化および重量減少が小さかったため，このような傾向は明確ではないが，曲げ強度の経年低下傾向は認められる．IB および TS 性能の経年低下傾向が明確に認められなかったことから，MDF においては，内部エレメント結合力低下および腐朽等に伴う密度低下が曲げ性能低下の主要因ではなく，表層の毛羽立ちに見られるように，主に最表層部の経年劣化が曲げ性能の低下に影響しているものと考えられる．

(2) 暴露地“岡山（南部）”における木質パネルの劣化

岡山県農林水産総合センター森林研究所：野上英孝，小川 裕

1. 観察結果および重量変化率

各種尺角釘打ちパネルの材面の観察結果と重量変化率を表 1 に示す。いずれの値も，合板およびアスペン OSB は表面要素繊維 2 方向について各 2 枚計 4 枚の平均，PB (PF) 及び MDF は各 2 枚の平均である。なお，基礎物性調査用パネルと異なり，釘性能調査用パネルには端面防水処理を施していない。

暴露期間中の特記事項としてアスペン OSB と PB (PF) の著しい重量減少が挙げられる。両パネルには端面および表面への腐朽菌子実体の発生が認められ，一部では端面からの虫害孔が観察された。虫害およびこれに伴う内部腐朽の進行が認められた固体において著しい重量減少が認められた。一方，合板および MDF については暴露 7 年目においても重量減少率は比較的小さかった。

分類	表面観察結果	重量変化率(%)						
		1	2	3	4	5	6	7
合板12 (7年目)	表層劣化(亀裂多数)。端面亀裂(裏割れの開き)。 端部接着層はく離。パネルのねじれ。釘ゆるみ有り。	-3.3	-3.8	-6.0	-4.4	-7.5	—	-6.2
アスペンOSB (6年目)	表層劣化(エレメントの浮き上がり、はく離)。端部厚み増加。 全面に腐朽菌子実体発生。内層部への腐朽進行。	-4.8	-6.8	-19.9	-21.1	-35.4	-26.4	—
PB(PF) (6年目)	表層劣化。端部厚み増加。端面亀裂大。釘ゆるみ有り。 腐朽菌子実体発生。	-1.1	-2.0	-9.2	-5.8	-19.2	-7.7	—
MDF9 (7年目)	表層劣化(毛羽立ち)。表面に黒斑点(カビ?)多数。	-0.9	-0.9	-1.7	-1.8	-3.1	—	-0.4

表 1 暴露終了時の材面観察および重量変化 (左から 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 年目)

2. 釘側面抵抗および釘頭貫通抵抗の低下

暴露終了年における各種パネルの釘側面抵抗と釘頭貫通抵抗およびこれらの残存率を，暴露 5 年目までの値と対比して表 2 示す。また，試験時の厚さに関して，暴露前厚さを基準とした厚さ変化率暴露 5 年目までの値と対比させて示す。なお，釘側面抵抗試験体の厚さは端面の最も膨張した部分を測定しており，釘頭貫通抵抗体の厚さは試験体中央の釘打ち部付近を測定している。暴露 5 年目における釘側面抵抗残存率の傾向は，厚さ変化（増加）率の大きいアスペン OSB と PB (PF) の低下が顕著であった。端部の厚さ膨張に伴うエレメント間接着力の低下や腐朽が大きな影響を及ぼしていると考えられ，厚さ変化率が小さい合板と MDF の残存率は比較的高く，50%以上の値を示した。釘頭貫通抵抗の残存率については，厚さ増加率のみならず，重量減少率が大きく影響している。すなわち，虫害及びこれに伴う著しい内層腐朽の発生したアスペン OSB (5,6 年目採取個体)，PB (PF) 試験体 (5 年目採取固体) において，顕著な残存率の低下が認められ，厚さ増加率，重量変化率のいずれも小さい合板，MDF においては，比較的高い残存率を示した。

3. 釘一面せん断性能の低下

釘一面せん断性能の評価指標として，相対変位 0.4, 1.0 および 2.0mm における荷重と最大荷重，これらの荷重の初期値に対する残存率，さらに初期厚さに対する変化率を表 3 に示す。全体的な傾向として，相対変位 0.4mm の荷重低下が最も大きく，相対変位が大きくなるにつれて荷重低下割合が小さくなっていることである。すなわち，屋外暴露によって，釘一面せん断性能における低荷重域の初期剛性が特に大きな影響を受けている。暴露前に比較し，暴露後では全てのパネルにおいて釘打ち部に緩みが生じたことや，表層劣化に伴うめりこみ剛性の低下が主な原因として考えられる。また，最大荷重についてみると，釘貫通抵抗と同様，虫害及びこれに伴う著しい内層腐朽の発生したアスペン OSB (5,6 年目採取個体)，PB (PF) 試験体 (5 年目採取固体) において，顕著な残存率の低下が認められ，厚さ増加率，重量変化率のいずれも小さい合板，MDF においては，高い残存率を示した。試験体の破壊モードについては，暴露期間前半に採取されたパネルにおいては，合板，アスペン OSB および MDF において，最大荷重以降，釘のせん断変形および引き抜けによる比較的長時間の粘りが観察されたが，暴露期間後半においては，全てのパネルに

において、比較的短時間で材端部（釘打ち部）の破壊が生じた。

表 2 暴露終了時における釘側面抵抗および釘頭貫通抵抗

（下段残存率は 1, 2, 3, 4, 5, 6or7 年目の値, 厚さ変化率カッコ内は 1, 2, 3, 4, 5 年目までの値）

分類		釘側面抵抗 (n = 6)		釘頭貫通抵抗 (n = 8)	
		最大荷重 Ave ± std(kN) 残存率(%)	厚さ変化率 Ave ± std(kN)	最大荷重 Ave ± std(kN) 残存率(%)	厚さ変化率 Ave ± std(kN)
合板12 (7年目)	平行	1.17 ± 0.53 75,72,67,62,75,51	-1.30 ± 1.21 (3.3,3.7,1.0,-3.6,-4.9)	1.67 ± 0.48 94,90,88,90,93,80	-1.42 ± 0.56 (2.6,1.5,-0.3,1.8,3.5)
	直交	1.32 ± 0.20 82,70,56,66,72,56	-2.37 ± 1.97 (2.5,3.5,1.8,-1.2,3.3)		
アスペンOSB (6年目)	平行	0.20 ± 0.04 54,29,38,32,10,11	17.6 ± 7.13 (17.9,23.1,25.4,21.6,16.4)	0.54 ± 0.38 76,68,47,55,36,27	17.1 ± 5.16 (15.6,17.2,18.3,14.0,13.9)
	直交	0.80 ± 0.31 51,56,46,46,43,38	25.6 ± 5.49 (19.2,23.0,26.1,23.6,20.9)		
PB(PF) (6年目)		0.36 ± 0.10 57,42,31,30,17,21	28.9 ± 2.90 (8.5,12.3,26.4,25.6,26.8)	0.86 ± 0.07 88,76,62,65,32,51	20.6 ± 1.50 (5.2,6.5,14.1,16.3,17.4)
MDF9 (7年目)		0.93 ± 0.21 81,84,78,73,78,69	1.51 ± 0.41 (0.7,0.9,1.4,1.1,1.3)	1.07 ± 0.05 91,96,94,89,81,65	1.10 ± 0.13 (1.3,1.1,1.3,1.1,1.3)

表 3 暴露終了時の釘一面せん断性能

（n=6, 下段残存率は 1, 2, 4, 5, 6or7 年目の値, 厚さ変化率カッコ内は 1, 2, 3, 4, 5 年目までの値）

分類		釘一本あたりの荷重				厚さ変化率 Ave ± std (%)
		相対変位			最大荷重 Ave ± std (kN) 残存率(%)	
		0.4mm	1.0mm	2.0mm		
		Ave ± std (kN) 残存率(%)	Ave ± std (kN) 残存率(%)	Ave ± std (kN) 残存率(%)		
合板12 (7年目)	平行	0.36 ± 0.10 56,55,57,61,53	0.54 ± 0.10 71,67,75,79,66	0.69 ± 0.08 78,76,86,90,74	0.99 ± 0.10 79,83,97,101,83	-1.3 ± 0.20 4.6,4.6,1.1,-4.1
	直交	0.36 ± 0.05 79,60,63,83,60	0.56 ± 0.06 82,66,71,90,68	0.73 ± 0.07 84,71,77,94,75	1.31 ± 0.14 80,75,99,102,110	-2.4 ± 0.20 4.1,4.1,1.2,3.6
アスペンOSB (6年目)	平行	0.12 ± 0.02 49,29,27,44,23	0.25 ± 0.04 64,42,32,53,37	0.33 ± 0.05 74,52,35,47,45	0.39 ± 0.07 83,77,37,48,43	17.7 ± 4.37 19.2,23.2,22.1,17.9
	直交	0.29 ± 0.09 58,38,48,49,48	0.46 ± 0.10 73,52,60,61,61	0.57 ± 0.11 78,76,70,71,69	0.68 ± 0.17 78,76,74,69,66	21.6 ± 1.14 19.6,23.1,24.9,19.5
PB(PF) (6年目)		0.30 ± 0.08 55,33,36,32,51	0.44 ± 0.10 65,46,47,37,57	0.39 ± 0.13 69,54,53,33,44	0.45 ± 0.09 65,56,48,33,45	26.7 ± 1.93 9.0,13.5,25.4,26.6
MDF9 (7年目)		0.39 ± 0.06 77,53,74,80,68	0.56 ± 0.06 85,67,86,92,79	0.69 ± 0.08 86,77,97,99,89	0.99 ± 0.10 85,86,106,106,112	1.5 ± 0.32 0.9,0.9,1.7,1.8

表 4 暴露終了時の IB および厚さ変化率

（IB 下段は 1, 2, 3, 4, 5, 6or7 年目の残存率, 厚さ変化率下段は 1, 2, 3, 4, 5 年目の平均値）

分類	IB (Mpa,n=8)	厚さ変化率 (%)
	Ave ± std 残存率(%)	
合板12 (7年目)	0.78 ± 0.28 89,85,71,97,74,68	-1.86 ± 1.48 1.7,1.6,-0.5,1.4,-0.2
アスペンOSB (6年目)	0.04 ± 0.01 31,14,6,14,8,8	19.6 ± 5.78 17.5,20.3,23.1,21.1,13.6
PB(PF) (6年目)	0.02 ± 0.03 42,24,8,9,4,3	26.2 ± 2.93 7.5,11.1,24.1,19.7,22.2
MDF9 (7年目)	1.15 ± 0.21 99,100,110,102,118,95	0.37 ± 0.45 1.1, 1.1,1.5,0.8,0.5

4. 材端部のはく離強度

基礎物性用の暴露試験体から得た IB は、端面防水したパネル周囲をトリミングした内側より試験体を採取して測定している。一方、釘側面抵抗や一面せん断性能は、端面防水なしのパネル材端部で測定しており、端部劣化の影響を大きく受けると考えられる。そこで、端部劣化の指標として釘暴露パネルの材端部から採取した試験体で IB を測定した。暴露終了年における各種パネルの IB を表 4 に示す。残存率に関しては暴露 5 年目までの結果と対比して下段に示した。また、試験時の厚さに関して、暴露前厚さを基準とした厚さ変化率でそれぞれ示した。また暴露 5 年目までの結果（平均値）も下段に示した。端部防水処理が施された基礎物性調査用パネルと同様、アスペン OSB、PB (PF) の IB 残存率低下が顕著で、合板の残存率が比較的高い傾向が認められたが、残存率の絶対値はそれぞれ基礎物性調査用パネルの材端部試験片より低い。一方、MDF については端部防水処理の有無に関わらず明確な低減傾向が認められず、パネル自体の高い耐水性能が認められた。

5. 厚さ変化率、IB と釘性能の関係

マット成型パネルにおいて、屋外暴露に伴う厚さ変化（膨張）率は各種強度低下に大きく影響していると考えられるが、比較的厚さ膨張しやすいパネルにおいては、一定の厚さ膨張率に到達後の経年膨張が小さくなる。また、物性に大きな影響を及ぼす腐朽は必ずしも厚さ変化に現れない。従って、厚さ変化率が各種強度性能の低下を表す指標として成立しなくなる場合がある。一例として、PB (PF) における厚さ変化率と釘側面抵抗および釘頭貫通抵抗の残存率の関係を図 1 に示す。暴露 4 年目までは厚さ変化率と各種釘接合性能残存率の間に負の相関が認められたが、暴露 5 年目以降の内層腐朽の進行したパネルより採取した試験片の一部（図中の黒丸内プロット）では、この関係性から大きく外れる。そこで、パネル内層部におけるエレメント結合力の直接的指標として、はく離強度（IB）残存率と釘性能の関係について検討した。一例として、釘頭貫通抵抗を見てみると、図 2 に示すように、アスペン OSB と PB (PF) においては全体的に、IB 残存率より釘接合性能残存率が高い値を示し、MDF においては逆に IB 残存率より釘接合性能残存率が小さい値を示す傾向が認められた。厚さ膨張および内層腐朽が進行すると、内層部の密度が表層部に比較して大きく低下するため、IB 残存率は著しく低下するが、密度低下が比較的穏やかな表層部は釘に対する抵抗力を維持し、釘接合性能残存率は IB 残存率より高い値を示したと考えられる。厚さ膨張および腐朽がほとんど認められない MDF については、IB 残存率の低下が生じないものの、パネル表面の毛羽立ちに見られるように表層部の劣化は緩やかに進行していると考えられ、釘頭めり込みに対する抵抗力が低下する結果、接合性能残存率が低下したものと考えられる。このように釘接合性能はパネル全体の平均的な状態を表す厚さ変化やパネル内層結合力を表す IB 等のみからは推定しにくく、表層エレメントの劣化状態を反映しうる簡易評価指標、例えば JIS における「木ねじ保持力試験」や「平面引張強さ試験」等についても検討する意義があると思われる。

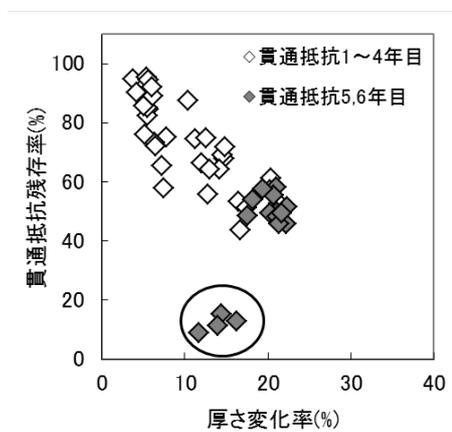


図 1 PB (PF) における厚さ変化率と IB 残存率と釘側面抵抗残存率の関係

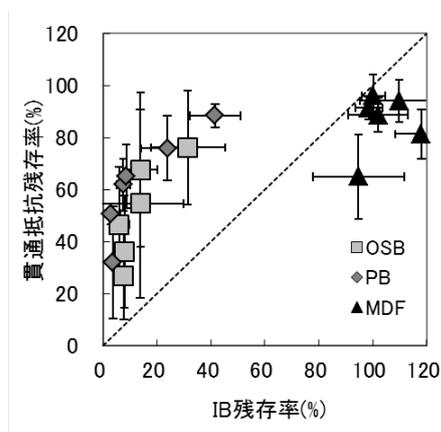


図 2 マットフォーミングパネルにおける IB 残存率と釘頭貫通抵抗残存率の関係

3.1.7 暴露地“都城”における基礎物性・釘接合性能の劣化

宮崎大学：藤元嘉安，宮崎県木材利用技術センター：森田秀樹

1. 気象条件

都城（宮崎県）での屋外暴露は2004年3月1日に開始し，7年目のサンプルを2011年3月1日に採取した．この間の気象条件は表1のとおりであった．

表1 暴露期間における気象条件（出典：宮崎地方気象台）

月	平均気温 (°C)							降水量 (mm)							日照時間 (h)						
	4年度	5年度	6年度	7年度	8年度	9年度	10年度	4年度	5年度	6年度	7年度	8年度	9年度	10年度	4年度	5年度	6年度	7年度	8年度	9年度	10年度
4	16.4	16.3	15.1	14.6	15.2	15.4	14.5	209	46	245	163	106	151	344	217	220	165	158	167	214	138
5	20.1	19.7	20.1	19.7	19.8	19.7	19.6	352	183	215	170	240	119	113	135	206	93	214	186	213	169
6	23.5	23.5	22.9	23.0	22.3	23.1	22.2	298	250	503	301	548	200	201	142	151	105	107	59	120	84
7	27.8	26.9	27.5	26.8	27.6	26.4	26.4	120	413	427	672	65	261	940	248	167	178	164	238	143	130
8	27.0	27.1	27.4	27.4	26.6	27.0	27.7	706	116	264	280	428	135	616	154	185	174	203	155	172	193
9	24.5	25.1	23.8	25.8	24.3	24.2	25.3	444	846	126	249	387	140	116	118	154	108	184	115	177	183
10	18.7	19.7	20.3	20.5	19.0	18.2	19.4	438	108	10	51	141	119	153	173	141	247	191	150	164	113
11	13.8	13.0	14.1	13.0	12.7	13.5	12.6	153	100	91	31	122	234	46	203	169	142	188	144	120	164
12	9.7	5.1	9.0	9.2	7.2	8.0	8.2	170	29	147	76	47	44	94	165	181	156	148	184	171	154
1	5.3	6.2	6.9	7.2	6.1	6.2	2.9	60	111	48	72	56	67	3	154	149	147	133	161	171	166
2	6.8	9.0	9.3	5.3	10.3	10.1	8.5	257	151	82	48	190	183	73	132	133	173	209	134	121	135
3	9.2	9.9	11.0	11.3	11.2	11.6	8.8	98	125	130	105	225	299	52	194	201	201	222	152	146	219
年平均 積算	16.9	16.8	17.3	17.0	16.9	17.0	16.3	3302	2477	2285	2214	2551	1949	2749	2036	2057	1887	2121	1843	1934	1848
年平均*	16.1							2449							1967						

*30年間（1971-2000）の平均値

2. 観察結果および重量・厚さ変化率

尺角パネルの材面割れ等の状況と重量変化率（2枚平均），およびIB試験全13片から得た厚さ変化率の平均値とパネル密度の平均値を表2に示す．

表2 暴露終了時の材面観察および厚さ変化など（左から1，2，3，4，5，6，7年目）

分類	表面の観察結果	重量変化率 (%)							厚さ変化率 (%)							密度 (g/cm ³)						
		1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
合板12(7年目終了)	表裏面毛羽立ち、裏面割れ多、裏下半面コケ	-4.4	-5.1	-5.7	-6.8	-8.3	---	-12.1	0.4	-1.1	-0.7	-1.5	-1.6	---	-3.3	0.66	0.64	0.59	0.65	0.53	---	0.60
合板9(7年目終了)	反り、表裏面毛羽立ち、表裏面割れ多、裏全面コケ	-4.0	-4.8	-5.7	-8.4	-9.7	---	-12.2	0.2	-1.0	-1.4	-3.0	-3.1	---	-5.0	0.61	0.58	0.57	0.55	0.53	---	0.56
アスペンOSB(6年目終了)	反り、端面割れ大、裏面剥離小、裏全面コケ	-7.8	-16.8	-21.8	-34.0	-39.9	-46.4	---	19.1	19.6	12.8	5.1	17.6	14.0	---	0.50	0.43	0.41	0.39	0.34	0.33	---
パインOSB(6年目終了)	反り、端面割れ大、表裏面剥離大、裏全面コケ	0.2	-0.5	-5.9	-5.9	-7.4	-10.9	---	6.8	9.3	11.7	14.9	12.0	13.6	---	0.63	0.64	0.53	0.55	0.56	0.54	---
PB(PF)(6年目終了)	端面割れ大、表裏面ざらつき、表裏面黒ずみ、裏全面コケ	-1.4	-4.6	-7.5	-10.3	-10.1	-15.9	---	11.7	18.7	18.8	16.7	18.9	23.2	---	0.64	0.62	0.59	0.55	0.57	0.52	---
PB(MDI)(6年目終了)	端面割れ小、表裏面ざらつき、表裏面黒ずみ、裏全面コケ	-1.0	-2.4	-4.5	-4.9	-6.5	-10.2	---	3.8	3.5	5.5	6.6	6.3	4.6	---	0.77	0.76	0.71	0.72	0.69	0.71	---
MDF9(7年目終了)	端面健全、表裏面毛羽立ち、表裏面黒ずみ、裏全面コケ	-0.4	-1.4	-2.2	-3.8	-4.4	---	-5.9	0.5	0.4	-0.2	-0.1	-0.4	---	-0.4	0.71	0.71	0.71	0.69	0.68	---	0.70
MDF12(7年目終了)	端面健全、表裏面毛羽立ち、表裏面黒ずみ、裏全面コケ	0.4	-1.7	0.2	-3.3	-2.7	---	-6.9	1.0	1.2	1.4	2.2	3.9	---	4.9	0.75	0.75	0.73	0.70	0.72	---	0.68

端面は，MDFを除いた供試パネル全てにおいてひび割れが見られ，特にPB(PF)やOSBにおいては多数の大きなひび割れが確認された．表裏面では，多くの供試パネルにおいて，毛羽立ちや小さな割れおよび黒ずみ等の汚れが確認された．また，パインOSBでは表面ストランドのはく離が顕著に認められた．

重量変化率は全てのパネルで負の値（重量減少）を示し，経年により重量が徐々に減少している．特にアスペンOSBでは表面あるいは端面にキノコの発生が確認されており，生物劣化が重量減少に大きく影響しているものと考えられ，最終的には-46.4%と大きな重量減少を示した．一方，MDFでは-5%以内と小さい値を示した．アスペンOSBは，暴露2年までは最も大きい厚さ変化を示したが，3年目以降ではむしろ厚さが減少する傾向にあった．PB(PF)は暴露の経過とともに徐々に厚さが増加する傾向にあり，3年目以降ではアスペンOSBを上回る厚さ変化を示した．その他では，パインOSB，PB(MDI)の順に厚さ変化率が大きく，合板，MDFでは厚さ変化は僅かにしか認められなかった．

3. 曲げ性能の劣化

試験時の厚さ基準で算出した比例限度応力，MOR，MOE および初期値に対するそれらの残存率，さらに初期厚さ

基準で算出した MOR (これを Load Carrying Capacity (LCC) と呼ぶ), MOE (これを Bending Resistance (BR) と呼ぶ) と残存率 (測定値/初期値×100[%]) を表 3 に示す。

表 3 暴露 7 年目の曲げ性能の劣化 (n=8, 下段は残存率で, 左から暴露 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 年目の値)

分類	試験時 含水率 (%)	比例限度	MOR	MOE	LCC	BR
		Ave±std (MPa) 残存率 (%)	Ave±std (MPa) 残存率 (%)	Ave±std (GPa) 残存率 (%)	Ave±std (MPa) 残存率 (%)	Ave±std (GPa) 残存率 (%)
合板12 (6年目終了)	8.9	32.4±2.2 97 83 87 88 70 - 82	52.8±8.2 94 67 70 78 57 - 77	5.4±0.5 88 73 79 81 61 - 75	48.6±7.5 93 67 68 76 56 - 71	4.8±0.5 87 73 76 78 59 - 67
合板9 (7年目終了)	8.8	29.1±4.8 87 100 72 77 94 - 60	39.6±8.8 90 98 60 81 79 - 52	6.3±1.2 83 96 75 77 73 - 75	36.1±7.7 92 97 59 75 76 - 47	5.5±1.0 86 96 73 68 69 - 57
アスペン OSB (6年目終了)	7.5	1.4±0.9 34 26 17 8 4 5 -	2.5±1.0 35 25 18 9 6 6 -	0.3±0.2 31 23 17 7 4 5 -	3.1±1.6 49 38 26 13 8 8 -	0.5±0.3 52 42 28 11 6 9 -
パイン OSB (6年目終了)	7.6	10.3±0.9 73 67 40 33 33 39 -	13.0±1.6 72 65 42 31 30 35 -	1.5±0.2 64 58 34 27 25 31 -	16.0±1.7 86 77 53 42 41 44 -	2.1±0.2 82 75 49 43 40 42 -
PB (PF) (6年目終了)	7.4	3.0±0.9 32 34 24 28 24 18 -	4.0±0.9 39 35 29 25 24 20 -	0.5±0.2 29 29 20 20 17 13 -	5.9±1.0 50 48 40 36 34 29 -	0.8±0.2 43 45 33 33 30 23 -
PB (MDI) (6年目終了)	7.4	11.0±1.3 77 72 54 55 51 52 -	16.9±2.5 88 83 60 60 55 59 -	1.8±0.2 75 65 47 46 42 44 -	18.5±2.6 92 88 66 66 62 64 -	2.1±0.3 80 72 55 53 50 50 -
MDF9 (7年目終了)	6.2	13.8±0.9 76 77 76 72 73 - 72	27.4±1.7 89 85 84 78 75 - 76	2.4±1.0 93 86 83 81 73 - 75	26.6±1.6 89 85 84 77 75 - 74	2.3±0.1 94 86 82 79 72 - 71
MDF12 (7年目終了)	6.8	14.9±1.5 73 82 68 55 59 - 49	23.9±2.4 87 93 76 66 64 - 53	1.6±0.2 82 82 68 56 50 - 38	20.6±2.4 89 95 78 68 70 - 57	1.8±0.2 84 85 70 60 57 - 43

今回試験を行った 4 種類のパネルの暴露 7 年目の MOR 残存率は 24~53% に分布し, 昨年度, 暴露 6 年目で試験した OSB や PB と比較すると高い残存率を示した. MOE 残存率は MOR 残存率とほぼ同様の低減傾向を示しているが, MOE の方が厚さ変化の影響を大きく受け, MOR 残存率よりも低い値となっている。

アスペン OSB および PB (PF) では, 1 年目に MOR が大きく低下した後は徐々に低下する傾向にあり, 6 年目でアスペン OSB は初期の 1/15 以下, PB (PF) は 1/5 程度の値となった. アスペン OSB では, 曲げ試験における破壊のほとんどが水平せん断によるものであり, 表面層より内層での強度低下が著しいように思われる. また, パイン OSB は暴露 4 年後 1/3 程度の値となり, その後は大きな変化は認められなかった. 合板や MDF ではほぼ一定の割合で低減する傾向にあった。

一方, 厚さ変化を無視して算出した LCC の残存率は, パネルが施工された状態での耐荷重の残存率を意味し, いずれも MOR 残存率に比べ大きな値となっている. 同様に BR は, 厚さ変化を無視して算出した MOE であり, その残存率は MOE 残存率に比べ大きな値を示している。

4. はく離強度 (IB)

パネル 1 種類につき尺角中央付近の 3 片と比較的側端面に近い 10 片から得たはく離強度 (IB) と残存率および試験片の厚さ変化率を表 4 に示す. 中央付近の試験体は側端面付近のものに比べ, 暴露中に雨水侵入の影響を受けにくいと考えられるが, 暴露地都城での結果においては, 両者間の差における明瞭な傾向は確認できなかった. アスペン OSB では 1 年目に大きく低下し, ほとんど IB の強さを呈する状況になかった. PB (PF) やパイン OSB では暴露 3 年目において IB の大きな低下が認められ, 3 年目以降では大きな変化は認められなかった. また, PB (MDI) では他のパネルに比べ高い残存率を示すものの, 5 年後で初期 IB からほぼ半減している。

表 4 暴露 7 年目のはく離強度 (IB) と厚さ変化率 (IB 残存率は, 左から暴露 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 年目の値)

分類	中央部 (n=3)									側端面付近 (n=10)								
	B Ave±std (MPa)	残存率 (%)							厚さ変化率: Ave±std (%)	B Ave±std (MPa)	残存率 (%)							厚さ変化率: Ave±std (%)
合板12(7年目終了)	1.15±0.16	151	137	98	132	100	-	100	-5.2±0.9	1.14±0.25	88	125	99	148	93	-	99	-5.5±0.9
合板9(7年目終了)	1.87±1.08	119	136	121	143	128	-	138	-8.4±2.0	1.34±0.38	130	95	102	111	153	-	99	-7.8±2.7
アスペン OSB(6年目終了)	0.00±0.01	6	8	1	1	0	1	-	16.0±1.5	0.01±0.01	22	10	6	3	2	1	-	13.2±9.7
パイン OSB(6年目終了)	0.10±0.01	85	88	12	21	18	16	-	10.7±3.6	0.06±0.03	91	66	27	23	16	10	-	14.4±2.3
PB (PF)(6年目終了)	0.02±0.00	24	10	7	8	6	2	-	24.7±1.3	0.03±0.02	29	17	12	7	7	4	-	22.8±4.7
PB (MDI)(6年目終了)	1.17±0.141	106	96	64	57	53	53	-	3.9±0.7	0.97±0.12	100	86	60	63	52	45	-	4.8±1.0
MDF9(7年目終了)	1.48±0.10	132	124	120	106	110	-	121	-1.2±0.4	1.42±0.13	119	115	126	108	108	-	116	-0.9±0.3
MDF12(7年目終了)	0.73±0.050	134	141	131	97	113	-	118	5.4±0.3	0.68±0.11	155	142	121	114	121	-	110	5.2±1.0

合板および MDF については, IB 残存率は, MDF12 を除き, いずれのパネルもほぼ 100%かそれ以上の値を示して

おり、7年間に於ける残存率の増減も一定の傾向が認められないことから、屋外暴露がIBに及ぼす影響は少ないものと考えられる。MDF12は暴露1年目から7年にかけて、残存率はいずれも100%を超えているものの、減少する傾向にあることから、初期値が低く評価されていたのではないかとと思われる。

5. 吸水厚さ膨張率 (TS)

暴露6あるいは7年後の吸水厚さ膨張率を初期厚さ基準と吸水前厚さ基準で算出した値、暴露6あるいは7年間で生じた厚さ変化率(以上、採取位置により2区分)、暴露前の24h吸水TSを表5に示す。

表5 暴露7年後の24時間吸水厚さ膨張率(初期厚さ基準TSおよび吸水前厚さ基準TS)

分類	中央部			側端面付近 (φ=10)			参考) 暴露前 24h吸水 TS (%)
	吸水前 厚さ変化 率 Ave ±std (%)	24h吸水TS Ave±std (%)		吸水前 厚さ変化 率 Ave ±std (%)	24h吸水TS Ave±std (%)		
		初期基準	吸水基準前		初期基準	吸水基準前	
合板12(7年目終了)	-5.9±0.1	-3.3±0.6	2.7±0.7	-5.5±1.1	-3.6±1.6	4.2±0.6	5.9±1.5
合板9(7年目終了)	-9.0±1.5	-4.3±3.2	5.1±2.5	-8.4±3.5	-6.4±4.3	1.6±1.6	6.4±1.7
アスペンOSB(6年目終了)	11.2±1.7	21.1±0.8	8.9±5.8	13.6±6.5	24.0±9.1	9.0±3.3	18.3±2.6
パインOSB(6年目終了)	14.1±5.4	29.3±7.4	13.3±1.3	11.2±2.9	24.3±3.6	11.7±1.4	10.4±0.9
PB(PF)(6年目終了)	18.5±1.2	33.3±0.8	12.5±0.4	21.7±3.5	37.3±3.7	12.8±0.9	9.3±1.5
PB(MD)(6年目終了)	4.4±0.8	14.7±1.8	9.9±0.9	4.5±1.6	15.1±2.9	10.1±1.4	6.8±0.4
MDF9(7年目終了)	1.3±0.3	4.8±0.1	6.2±0.2	-1.1±0.3	5.6±0.8	6.7±0.7	5.8±0.3
MDF12(7年目終了)	4.3±0.1	10.6±0.3	6.1±0.3	5.4±0.7	13.0±1.3	7.2±0.9	4.1±0.2

中央付近から得られた試験体は、側端面付近から得られたものに比べ暴露中に雨水侵入の影響を受けにくく、厚さ変化率や初期厚さ基準TSは側端面付近より小さくなり、吸水前厚さ基準TSは大きくなる傾向にあると考えられるが、6あるいは7年後の吸水前厚さ基準TSはいずれのパネルにおいても、中央部と側端面付近とは大きな差異は認められなかった。また、初期厚さ基準TSでは、中央部に比べ側端面付近で厚さ変化率の大きかったパネルにおいては、側端面付近でのTSが大きな値を示した。

TSについては、初期値で最も大きいTSを示したアスペンOSBは1年目で大きく低下した後、3年目まで減少傾向にあり、その後は一定の値を示した。その他のマットタイプのパネルは、変化の様相が様々であるが、最終的にはTSが増加する傾向にあった。

吸水率については、いずれのパネルも暴露期間の長さに伴い高くなる傾向にあった。とくに、アスペンOSBは1年目に大きく増加した後、順調に増加する傾向を示し、試験したパネルの中では最も大きな吸水率を示した。3年後以降では、アスペンOSB、パインOSBおよびPB(PF)が吸水率の大きなグループに分けられるが、パインOSBは、2年目まではそれほど大きな吸水率を示していなかったが、3年目以降に大きな吸水率を示すようになった。パインOSBにはワックス処理がしてあり、2年目まではその効果が現れていたものと考えられる。

6. 屋外暴露された木質パネルの厚さ方向密度分布変化

試験地都城での屋外暴露において、ボードの種類により基礎物性(曲げ、はく離、吸水厚さ膨張)や釘接合性能(釘頭貫通抵抗、釘側面抵抗、一面せん断)に異なる傾向が確認された。一例として、暴露による劣化の著しかったアスペンOSBの暴露に伴う各種性能の推移を図1に示す。結果は屋外暴露5年目までのものである。

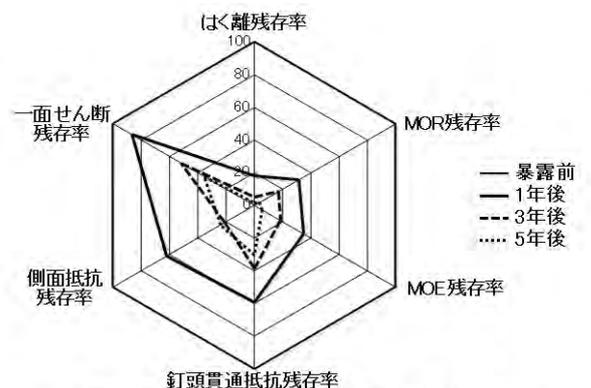


図1 屋外暴露による各種性能の低減状況(アスペンOSB、都城)

はく離強さや曲げ性能 (MOE および MOR) は、1 年目からの劣化が著しいものの、釘接合性能の低減はそれほど大きくないことがわかる。そこで、これらの低減挙動の違いを考察するための資料を得る目的から、都城において屋外暴露された各種ボードの厚さ方向密度分布の暴露期間 (5 年間) における推移について検討を行った。

供試材としては、厚さ方向の密度分布変化が判別しにくい合板を除いた 6 種類を用いた。いずれのパネルにおいても、暴露開始後、1 年毎に採取し曲げ試験を行った暴露パネルの健全な残部から、軟 X 線撮影用の試験体を採取した。試験体の寸法は、幅 10mm、長さ 50mm であり、幅方向に軟 X 線を照射 (出力 30kVA、照射時間 90sec) し、撮影を行った。厚さ方向密度分布は、軟 X 線撮影画像をスキャナにより読取った後、画像解析することにより求めた。

6.1 暴露パネルの厚さ方向密度分布

屋外暴露された木質パネルの厚さ方向密度分布の測定結果の一例として、アスペン OSB の結果を図 2 に示す。暴露前では、両端の表層に比べて、内層部でやや低くなるような密度分布を示している。屋外暴露の進行に伴い、暴露 3 年後までは表層の密度はあまり変化せず、内層の密度が先行して低くなる傾向にあった。暴露 4 年後以降では、表層の密度低下がやや大きくなるとともに、内層での密度低下が著しくなっている。また、アスペン OSB と同様に暴露による劣化が著しかった PB (PF) の測定結果を図 3 に示す。PB (PF) では、暴露 5 年後まで表層部の密度低下はあまり見られないものの、内層の密度が暴露に伴い減少している。

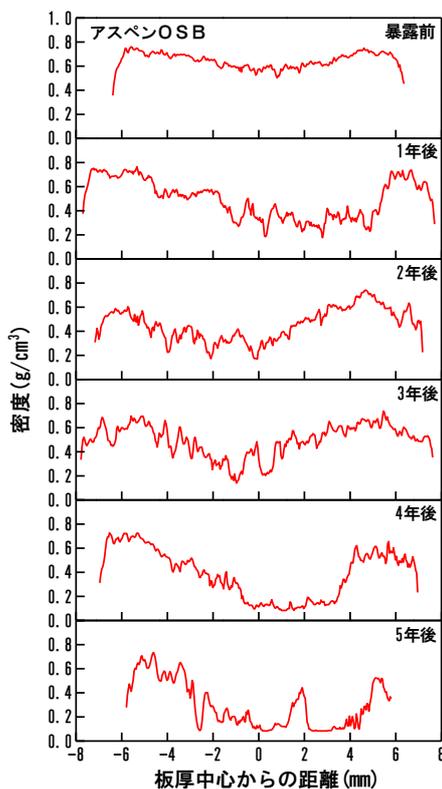


図 2 暴露に伴う厚さ方向密度分布の変化 (アスペン OSB、暴露地：都城)

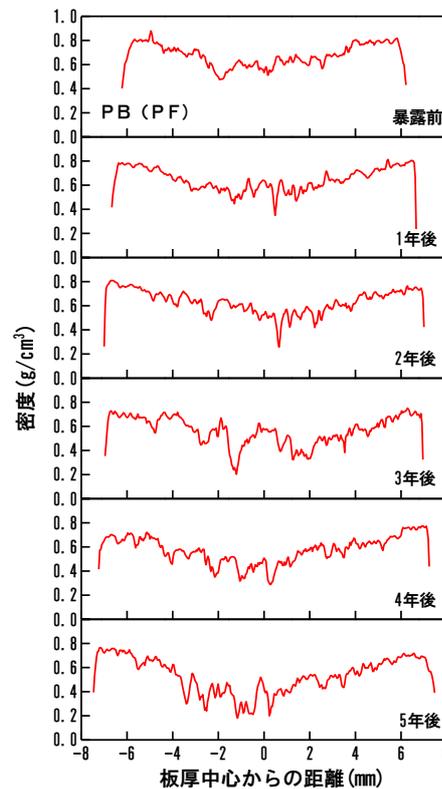


図 3 暴露に伴う厚さ方向密度分布の変化 (PB (PF)、暴露地：都城)

6.2 表層および内層の密度変化

各木質パネルについて、両表層の最も密度の高い部分近辺の厚さ方向 1mm の範囲における密度の平均を求め、屋外暴露に伴う変化を求めた。また、内層についても同様に、内層の最低密度部分近辺の 2mm の範囲における平均密度変化を求めた。アスペン OSB、PB (PF) および MDF9 についての結果を図 4 に示す。アスペン OSB では、内層の密度低下が暴露 1 年後から著しく、表層においても他のパネルに比べて密度が大きく減少することが確認された。アスペン OSB のはく離強さの低減は、内層密度の著しい減少によるものと考えられる。また、曲げ試験においては、暴露の経過とともに、水平せん断による破壊が顕著に見られたことから、はく離強さと同様に、内層の密度低下が大きく関与しているものと考えられる。また、基礎物性の低減に比べ、釘性能の低減がそれほど大きくないことは、表層密度の低下が内層に比べ緩やかなことによるものと思われる。なお、暴露に伴う基礎物性ならびに釘接合性能の低減があまり認められなかった MDF9 については、表層および内層ともに密度の低下が非常に少なかった。

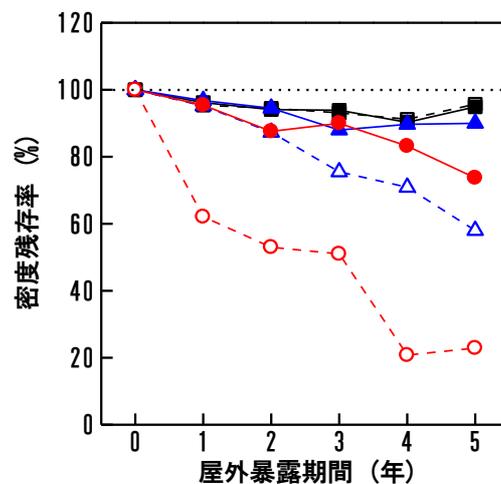


図 4 屋外暴露に伴う表層および内層の密度残存率の推移

- : アスペン OSB 表層
- : アスペン OSB 内層
- ▲ : PB (PF) 表層
- △ : PB (PF) 内層
- : MDF9 表層
- : MDF9 内層

1. 観察結果および重量変化率

都城で行った釘打ちパネルの屋外暴露について、尺角各釘打ちサンプルの材面割れ等の状況と重量変化率を表1に示す。いずれの値も、合板12およびアスペンOSBは表面要素繊維2方向について各2枚計4枚の平均、PB(PF)およびMDF9は各2枚の平均である。なお、基礎物性調査用パネルと異なり、釘性能調査用パネルには端面防水処理を施していない。

暴露期間中の特記事項としてアスペンOSBとPB(PF)の著しい重量減少が挙げられる。とくに、アスペンOSBにおいては、生物劣化(キノコ発生)に加え、クマバチによる穿孔などの生物劣化が観察され、ほぼ半減するような重量損失が認められた。また、PB(PF)では端面の割れが顕著であり、また、表面が薄い黒色に変色するとともに、表面のざらつきが多くなるなど、風化の進行が認められた。一方、合板12およびMDF9については暴露7年目においても重量減少率は比較的小さかった。また、他のパネルにおいては釘の緩みが顕著であったが、MDF9では釘の緩みが少なかった。

表1 暴露終了時の材面観察および重量変化(左から1, 2, 3, 5, 6, 7年目)

分類	表面観察結果	重量変化率(%)						
		1	2	3	5	6	7	
合板12 (7年目)	へこみ中、反り小、表裏面毛羽立ち、表裏面割れ多、 端部割れ小、裏面コケ、節(φ20-23)、釘緩み大	-3.8	-5.1	-8.5	-5.0	-5.2	-	-7.1
アスペンOSB (6年目)	下部腐れ、めり込み大、反り大、端部割れ大、 表面黒ずみ、裏全面コケ、腐朽菌子実体、釘緩み大	-8.3	-19.3	-28.9	-29.6	-28.2	-46.4	-
PB(PF) (6年目)	めり込み大、反り、端部割れ大、表裏面ざらつき、 表裏面黒ずみ、裏全面コケ、釘緩み大	-1.7	-6.1	-8.6	-7.6	-9.9	-12.8	-
MDF9 (7年目)	へこみ小、端部割れ中、表裏面毛羽立ち(フワワ)、 表面黒ずみ、裏全面コケ、釘緩み小	0.6	-1.6	-3.0	0.4	-0.8	-	-2.3

2. 釘側面抵抗および釘頭貫通抵抗の劣化

暴露終了年における各種パネルの釘側面抵抗と釘頭貫通抵抗およびこれらの残存率を、暴露5年目までの値と対比して表2示す。また、試験時の厚さに関して、暴露前厚さを基準とした厚さ変化率を暴露5年目までの値と対比させて示す。なお、釘側面抵抗試験体の厚さは端面の最も膨張した部分を測定しており、釘頭貫通抵抗体の厚さは試験体中央の釘打ち部付近を測定している。また、全供試パネルの7年間の屋外暴露期間における側面抵抗および釘頭貫通抵抗の残存率について、それぞれ図1および2に示す。

表2 暴露終了時における釘側面抵抗および釘頭貫通抵抗
(下段残存率は1, 2, 3, 4, 5, 6 or 7年目の値, 厚さ変化率カッコ内は1, 2, 3, 4, 5年目までの値)

分類		釘側面抵抗 (n = 6)		釘頭貫通抵抗 (n = 8)	
		最大荷重 Ave ± std(kN) 残存率(%)	厚さ変化率 Ave ± std(%)	最大荷重 Ave ± std(kN) 残存率(%)	厚さ変化率 Ave ± std(kN)
合板12 (7年目)	平行	1.45 ± 0.09 70, 61, 55, 62, 62, 63	-2.8 ± 1.5 (-0.1, -0.9, -1.2, -2.5, 0.3)	1.68 ± 0.33 93, 86, 91, 85, 90, 81	-2.1 ± 0.9 (-0.4, -0.4, -1.8, -1.9, -1.3)
	直交	1.31 ± 0.31 80, 73, 70, 67, 73, 55	-2.6 ± 1.0 (2.4, -0.5, 0.2, 0.5, -1.3)		
アスペンOSB (6年目)	平行	0.28 ± 0.08 62, 49, 21, 15, 24, 16	12.5 ± 3.9 (25.7, 25.7, 20.2, 12.6, 17.0)	0.21 ± 0.07 59, 39, 39, 30, 31, 14	3.7 ± 4.6 (17.5, 22.1, 15.3, 13.0, 16.5)
	直交	0.41 ± 0.11 59, 46, 29, 25, 24, 20	18.3 ± 7.9 (21.1, 20.1, 18.3, 20.3, 22.4)		
PB(PF) (6年目)		0.30 ± 0.03 47, 36, 28, 24, 23, 17	34.9 ± 3.3 (13.2, 21.8, 24.2, 33.1, 25.7)	0.85 ± 0.0 77, 69, 57, 59, 53, 50	23.1 ± 1.4 (8.4, 16.4, 20.3, 20.8, 20.0)
MDF9 (7年目)		0.92 ± 0.19 96, 87, 93, 80, 67, 69	-0.7 ± 0.3 (1.6, 1.0, 0.1, -0.3, 0.3)	1.38 ± 0.05 87, 92, 95, 88, 88, 91	-0.7 ± 0.4 (-0.2, 0.4, -1.1, -0.7, -0.1)

側面抵抗については、アスペン OSB (//および⊥) と PB (PF) は、いずれも同様の傾向を示した。すなわち、暴露1年目で40～50%減少した後、3年目までは大きく減少し、その後緩やかに減少する傾向にあり、暴露6年後において、その残存率がそれぞれ17%および16～20%となり、著しい低減が認められた。これに対し、合板12ではいずれの方向においても、1年目で20～30%と大きく減少した後は緩やかに減少する傾向にあった。MDF9では、変動はあるものの、暴露期間に応じ、ほぼ直線的に減少する傾向にあった。

釘頭貫通抵抗については、アスペン OSB での低減が著しく、1年目で40%、2年目で60%ほど減少した後、緩やかな減少傾向を示し、暴露6年目で14%の残存率となった。つづいてPB (PF) の低減が大きく、6年目で50%の残存率となった。一方、合板12およびMDF9の釘頭貫通抵抗の低減は少なく、7年目において、それぞれ81%および91%と、高い残存率を保持していた。

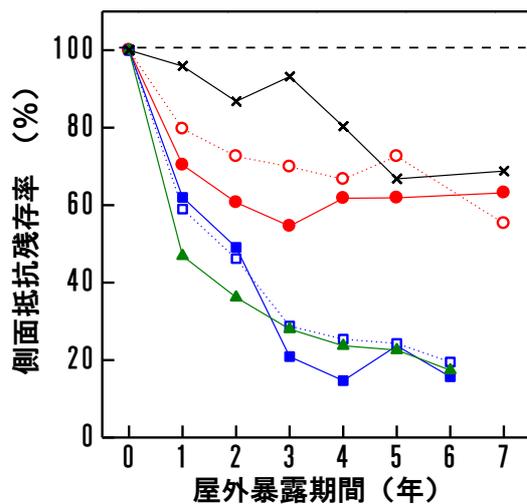


図1 屋外暴露に伴う側面抵抗残存率の変化

● : PW12 (//) ○ : PW12 (⊥)
 ■ : OSB (//) □ : OSB (⊥)
 ▲ : PB (PF) × : MDF9

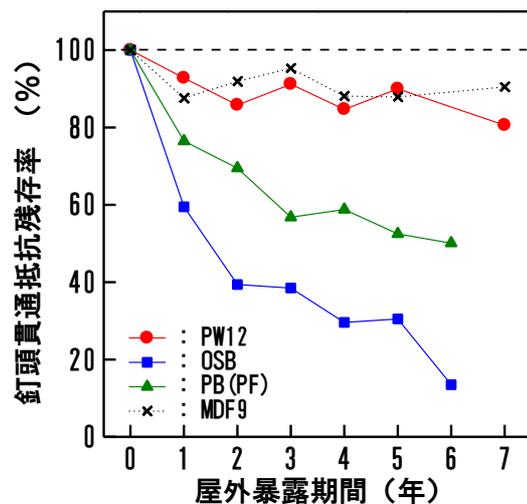


図2 屋外暴露に伴う釘頭貫通抵抗残存率の変化

3. 釘一面せん断性能の低下

釘一面せん断性能の評価指標として、相対変位 0.4, 1.0 および 2.0mm における荷重と最大荷重、これらの荷重の初期値に対する残存率、さらに初期厚さに対する変化率を表 3 に示す。なお、試験体の厚さは釘打ち部近傍で測定した。また、7年間の屋外暴露期間における全供試パネルの相対変位 0.4, 1.0, 2.0mm における荷重および最大荷重の残存率について、それぞれ図 3, 図 4, 図 5 および図 6 に示す。

アスペン OSB および PB (PF) で相対変位 0.4mm での荷重残存率の低減が著しく、暴露6年後では13～24%の残存率となっていた。また、最大荷重の残存率は、アスペン OSB (⊥) で最小の22%、PB (PF) で26%となった。アスペン OSB や PB (PF) では、1年後の低下が非常に著しく、その後も徐々に低下していき3～4年目で初期値の半分以下にまで達し、6年後にはさらに低減が進んだ。

合板12においては、荷重が表板の繊維方向に対して平行のものと直交するものについて試験を行ったが、相対変位に対する各荷重において、方向の違いによる差はほとんど見られなかった。残存率についても大きな差は確認できなかった。MDF9では、合板12に比べ若干高い荷重を示しており、残存率においても合板より高い値であった。相対変位に対する各荷重における残存率は、合板12およびMDF9のいずれにおいても、荷重が小さい領域での値が低く、その後、荷重が大きくなるほど残存率は大きくなり、最大荷重で最も大きな値となった。なお、最大荷重における残存率は、合板12で90%弱、MDF9で100%超であり、7年間の屋外暴露による影響はほとんど無いことが認められた。また、低い荷重域での残存率の低下が認められたことから、接合部の剛性には屋外暴露の影響があるものと考えられ

表 3 暴露終了時の釘一面せん断性能

(n=6, 下段残存率は 1, 2, 4, 5, 6or7 年目の値, 厚さ変化率カッコ内は 1, 2, 3, 4, 5 年目までの値)

分類		釘一本あたりの荷重				厚さ変化率 Ave ± std (%)
		相対変位			最大荷重 Ave ± std (kN) 残存率(%)	
		0.4mm	1.0mm	2.0mm		
		Ave ± std (kN) 残存率(%)	Ave ± std (kN) 残存率(%)	Ave ± std (kN) 残存率(%)		
合板12 (7年目)	平行	0.32 ± 0.05 49,50,48,47,51,47	0.55 ± 0.04 67,63,62,63,65,67	0.73 ± 0.04 75,70,70,72,73,78	1.06 ± 0.16 71,72,71,83,82,89	-8.8 ± 2.64 (0.1,0.6,-2.6,-3.3,-0.8)
	直交	0.31 ± 0.04 72,68,56,60,73,52	0.55 ± 0.07 78,74,63,74,79,66	0.72 ± 0.09 83,80,70,78,83,74	1.04 ± 0.10 85,81,83,90,91,88	-2.6 ± 3.42 (0.4,-1.0,-3.0,-1.6,-1.1)
アスペンOSB (6年目)	平行	0.07 ± 0.04 67,51,28,27,27,13	0.13 ± 0.06 78,59,37,36,37,19	0.19 ± 0.08 87,68,44,42,42,25	0.29 ± 0.15 86,80,52,46,43,33	10.1 ± 3.87 (21.5,22.0,15.1,15.9,21.2)
	直交	0.08 ± 0.02 58,45,32,29,19,14	0.13 ± 0.06 71,54,41,39,25,17	0.21 ± 0.07 79,63,48,42,28,25	0.23 ± 0.11 71,67,54,46,30,22	11.1 ± 6.53 (18.8,18.4,15.4, 20.7,18.7)
PB(PF) (6年目)		0.14 ± 0.03 57,50,40,34,32,24	0.27 ± 0.02 67,62,49,42,40,35	0.27 ± 0.00 70,62,49,42,34,30	0.27 ± 0.08 62,57,44,38,35,26	31.4 ± 1.23 (15.8,18.7,21.5, 29.9,26.6)
MDF9 (7年目)		0.47 ± 0.09 77,82,78,86,81,81	0.67 ± 0.09 87,92,88,99,96,94	0.84 ± 0.10 91,98,97,109,104,108	1.02 ± 0.10 91,104,101,113,109,100	-1.5 ± 0.71 (0.5,0.1,-1.4, -0.2,0.5)

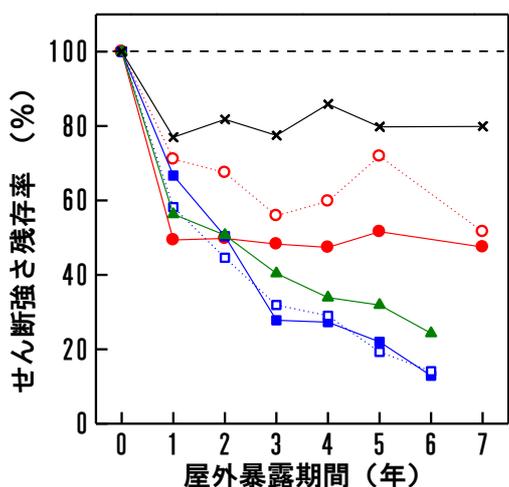


図 3 屋外暴露に伴うせん断強さ(0.4mm)残存率の変化

● : PW12(//) ○ : PW12(⊥)
 ■ : OSB(//) □ : OSB(⊥)
 ▲ : PB(PF) × : MDF9

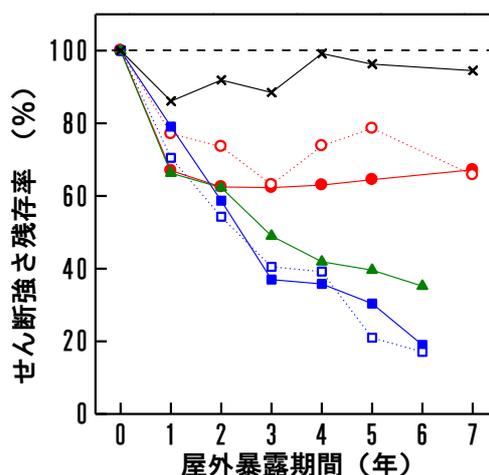


図 4 屋外暴露に伴うせん断強さ(1.0mm)残存率の変化

● : PW12(//) ○ : PW12(⊥)
 ■ : OSB(//) □ : OSB(⊥)
 ▲ : PB(PF) × : MDF12

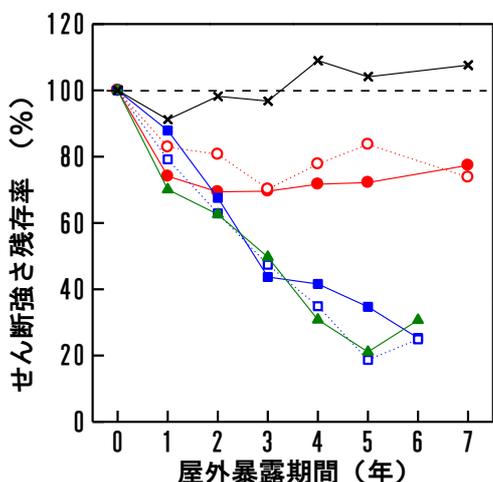


図 5 屋外暴露に伴うせん断強さ(2.0mm)残存率の変化

● : PW12(//) ○ : PW12(⊥)
 ■ : OSB(//) □ : OSB(⊥)
 ▲ : PB(PF) × : MDF(C)

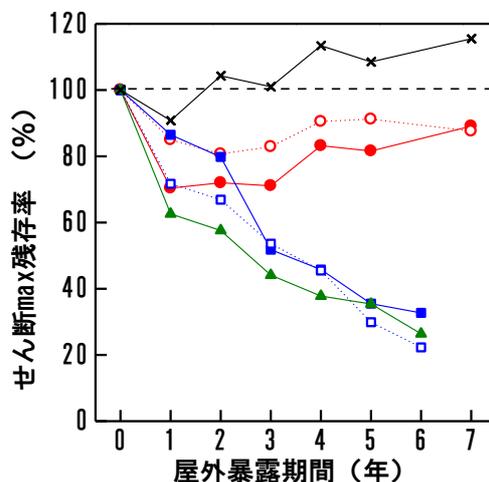


図 6 屋外暴露に伴うせん断強さ(max)残存率の変化

● : PW12(//) ○ : PW12(⊥)
 ■ : OSB(//) □ : OSB(⊥)
 ▲ : PB(PF) × : MDF9

4. 材端部のはく離強度

基礎物性用の暴露試験体から得た IB は、端面防水したパネル周囲をトリミングした内側より試験体を採取して測定している。一方、釘側面抵抗や一面せん断性能は、端面防水なしのパネル材端部で測定しており、端部劣化の影響を大きく受けると考えられる。そこで、端部劣化の指標として釘暴露パネルの材端部から採取した試験体で IB を測定した。暴露終了年における各種パネルの IB を表 4 に示す。残存率に関しては暴露 5 年目までの結果と対比して下段に示した。また、試験時の厚さに関しては、暴露前厚さを基準とした厚さ変化率で示し、また下段には、暴露 5 年目までの結果（平均値）を示す。

アスペン OSB および PB (PF) では、端部防水処理が施された基礎物性調査用パネルと同様に、IB の残存率低下が非常に著しく、防水処理の有無による有意な差は認められなかった。端部の防水処理は暴露前と 2 年後に施しているものの、防水処理の効果が持続していないようであった。アスペン OSB および PB (PF) では IB の低減が著しく、2~3 年目以降において 1 割以下の残存率を示しているが、釘側面抵抗、釘頭貫通抵抗および一面せん断強さは IB に比べ高い残存率を保持している。一方、合板 12 および MDF9 では、IB 残存率の低下が余り認められず、とくに MDF9 については IB 残存率に明確な低減傾向が認められなかった。

表 4 暴露終了時の IB および厚さ変化率

(IB 下段は 1, 2, 3, 4, 5, 6or7 年目の残存率, 厚さ変化率下段は 1, 2, 3, 4, 5 年目の平均値)

分類	IB (Mpa,n=8)	厚さ変化率 (%)
	Ave ± std 残存率(%)	
合板12 (7年目)	0.91 ± 0.32 109,98,103, 85,104,80	-2.94 ± 1.55 0.3,-0.1,-1.2,-1.6,-2.9
アスペンOSB (6年目)	0.01 ± 0.02 17,12, 8, 3, 3, 2	12.8 ± 3.73 16.0,20.4,14.1,13.7,10.9
PB(PF) (6年目)	0.01 ± 0.00 25, 8, 6, 5, 2, 2	25.8 ± 1.02 11.8,22.2,22.2,23.7,22.4
MDF9 (7年目)	1.33 ± 0.12 122,122,122,95,98,109	0.11 ± 0.95 0.6,1.0,0.4,0.0,-0.3

5. 釘性能とパネル厚さ変化率との関係

マット成型パネル（アスペン OSB、PB (PF) および MDF9）における屋外暴露の経過に伴うパネル厚さ変化率と各種釘性能（釘頭貫通抵抗、釘側面抵抗および釘一面せん断強さ）の残存率ならびにはく離強度残存率との関係を、それぞれ図 7、図 8、図 9 および図 10 に示す。

アスペン OSB は屋外暴露 2 年までで最大に膨張し、その後、膨張した厚さが減少するという厚さ変化を示したため、厚さ変化が小さくなる一方で釘性能が低減するなど、厚さ変化と釘性能との間に定まった関係は認められなかった。

PB (PF) では、とくに釘頭貫通率残存率および釘一面せん断強さ残存率において、厚さ変化率との間に高い負の直線相関が認められた。釘頭貫通抵抗においては、厚さ変化率 20% でほぼ 60% の残存率を示し、釘一面せん断強さでは、それより若干低い残存率を示す傾向にあった。釘側面抵抗では、厚さ変化率 10% で半減し、それ以上の厚さ変化では、緩やかに減少する傾向にあり、厚さ変化率 20% でほぼ 30% の残存率を示した。屋外暴露された木質パネルの厚さ方向密度分布の測定結果より、PB (PF) では暴露 5 年後まで表層部の密度低下はあまり見られないものの、内層の密度が暴露に伴い減少していることが確認されていることから、釘側面抵抗では、釘頭貫通および釘一面せん断強さに比べ、厚さ変化によるパネル内層の密度低減の影響を大きく受けているものと推察される。

MDF9 では、暴露に伴う厚さや密度の変化がほとんど認められておらず、IB 残存率の低下はほとんど認められな

ったものの、パネル表面の毛羽立ちに見られるように、表層部の劣化が緩やかに進行しているものと考えられ、このことが、釘側面抵抗や釘頭貫通抵抗および低荷重域における釘一面せん断強さの残存率低下に影響しているものと考えられる。

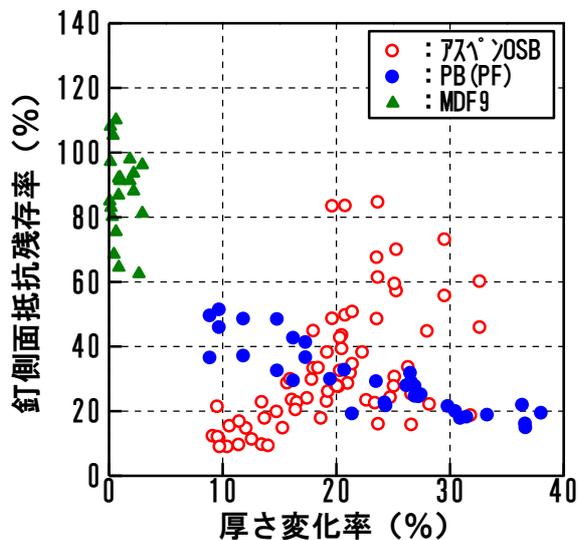


図7 厚さ変化率と釘側面抵抗残存率との関係

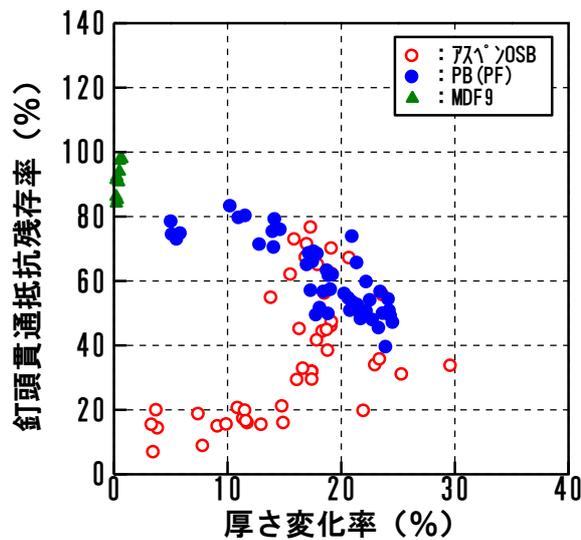


図8 厚さ変化率と釘頭貫通抵抗残存率との関係

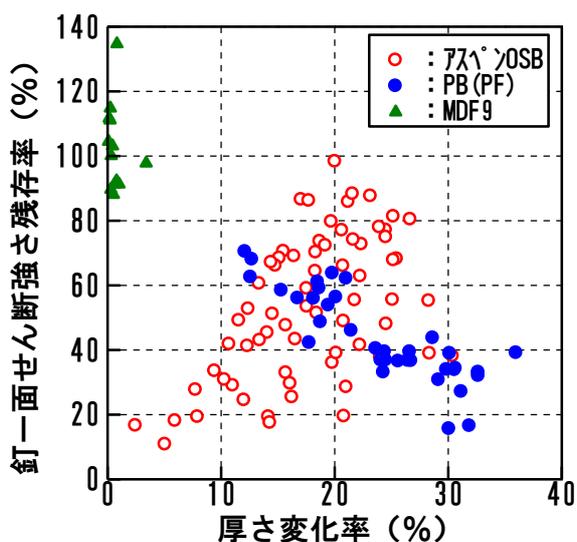


図9 厚さ変化率と釘一面せん断強さ残存率(Pmax)との関係

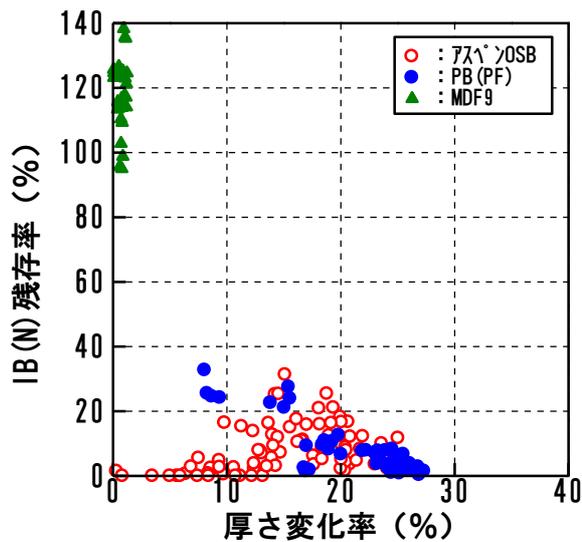


図10 厚さ変化率とはく離強さ残存率との関係

3.2 地域データの統合化

3.2.1 劣化外力の試算と強度劣化の推定

岩手大学農学部：関野 登，佐藤春菜*

(現：福島県職員)

1. はじめに

屋外暴露によるパネル劣化の進行は，暴露地の気象条件に依存する．特定の地域での劣化速度が分かっても，気象条件が異なる他地域でその結果を利用することは難しく，それが屋外暴露試験の弱点でもあった．そこで本プロジェクトでは，同一ロットの材料を様々な気象条件下に暴露して，劣化速度の地域差を検討するとともに，地域差を解消する評価方法を模索した．それが気象因子による“劣化外力”の定量化である．

たとえば，図1はアスペン OSB の釘側面抵抗の劣化を暴露地域間で比較したものであるが，1年間で受ける気象的な外力が地域で異なるため，劣化に地域差が生じている．そこで，X軸を暴露期間から劣化外力に変換すれば，地域に依存しないマスターカーブが得られるであろう．たとえば，図2はPB (PF) の釘側面抵抗の劣化について，劣化外力として暴露期間における絶対湿度の積算値を取り，その対数をX座標とし，残存率との関係を示したものである．PB (PF) の釘側面抵抗もアスペン OSB と同様に地域で劣化の程度が異なっていたが，図2では図1のような地域差がある程度解消され，この関係式を用いれば試験地以外の場所での劣化が推定可能となる．本項では，物性劣化を推定するにあたり，マスターカーブのX軸(劣化外力)をどのように作れば最も精度よく劣化推定できるかを検討した．

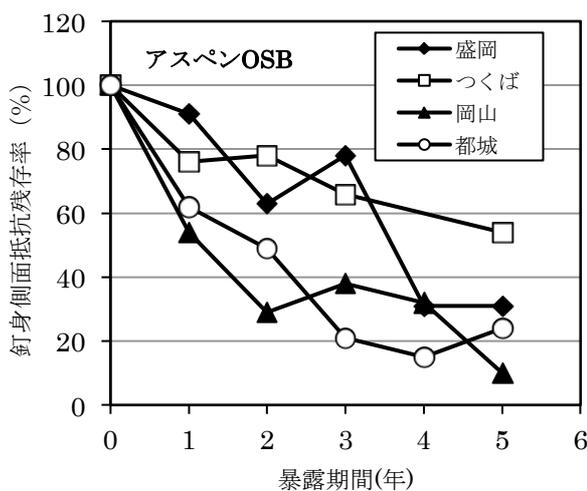


図1 屋外暴露による釘側面抵抗劣化 (地域比較)

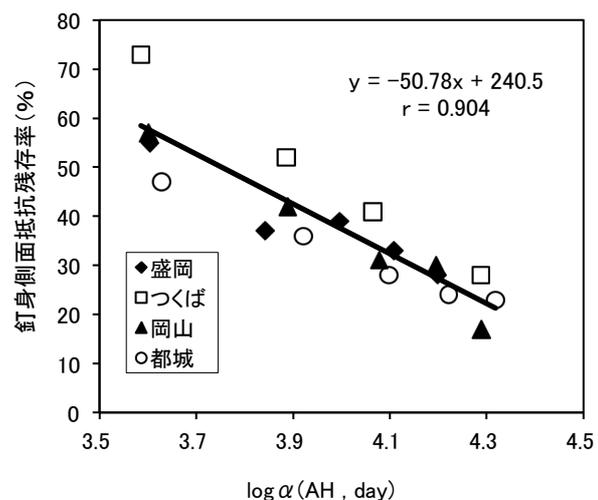


図2 PB (PF) の釘側面抵抗と劣化外力の関係

2. 劣化外力の試算 (その1)

“劣化外力が同等であれば，どの地域のパネルも同等の強度劣化が生じる”と仮定し，劣化外力を“ある場所である期間だけ屋外暴露した際に試験パネルが受けた気象的な外力の積算値”と定義する．ここでは，外力の要素として，

降水量 R (mm)，気温 T (°C)，相対湿度 RH (%)，絶対湿度 AH (g/m³)，全天日射量 SR (MJ/m²)

の5種類を取り上げた．気象的な外力を主として材料に作用する“水熱”と考えれば，“水”の要素としてはR, RH, AHの3種類が，それぞれ独立項となり得るため，暴露期間を通じてのそれぞれの積算値を求めた．また，“熱”に相当するTとSRについて，Tは“水”の影響を促進する働きがあると考え，RまたはRHに対する重み付けとして，R×TおよびRH×Tの複合要素を劣化外力と考えた．さらに，それらにSRで重み付けするR×T×SRおよびRH×T×SRという複合要素を加え，計7種類の劣化外力を検討対象とした．

上記7種類の劣化外力について，各試験地の暴露1, 2, 3, 4, 5年までの値を積算した．積算は日単位を基本としたが，計算の簡易化および気象データの収集容易性を考慮して，旬単位，月単位での積算も行い，(7種類の劣化外力

要素) × (3種類の積算方法) = 21種類の方法で劣化外力を算出した。

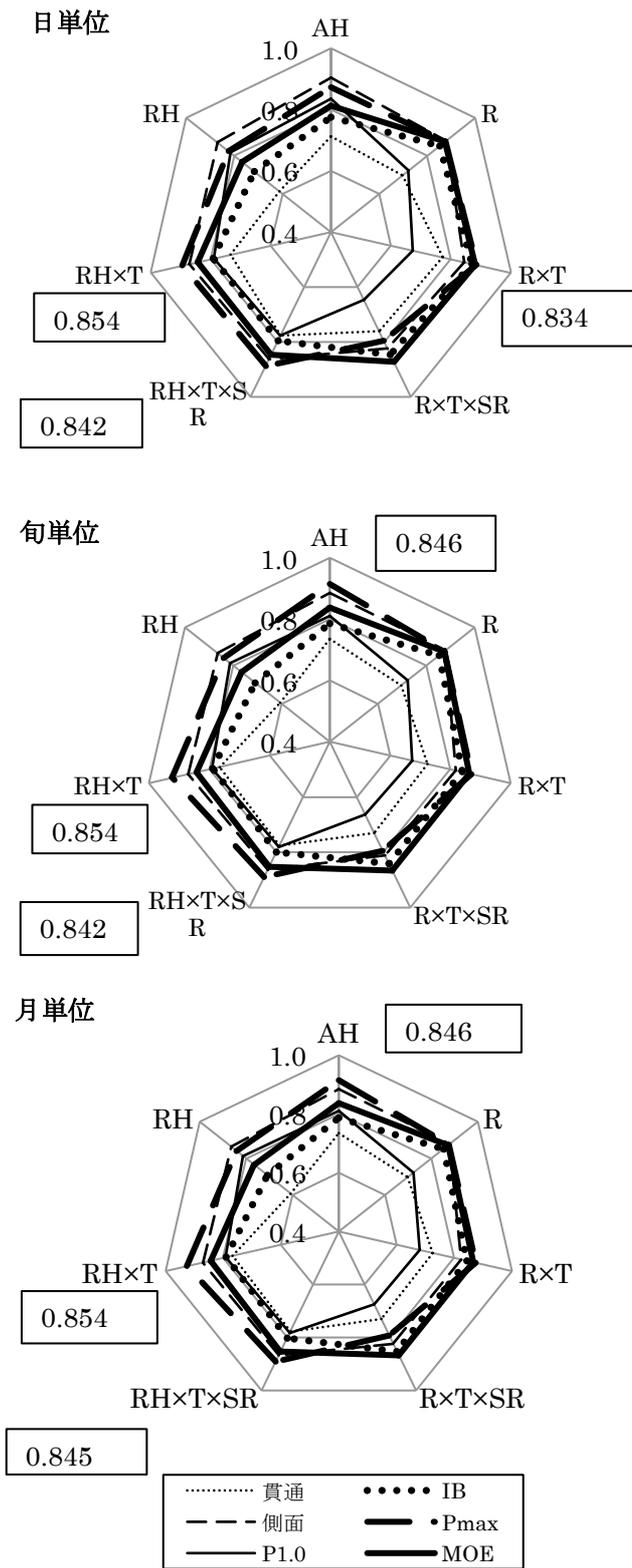


図3 劣化外力の算出方法と相関係数の関係
(対象: PB (PF))

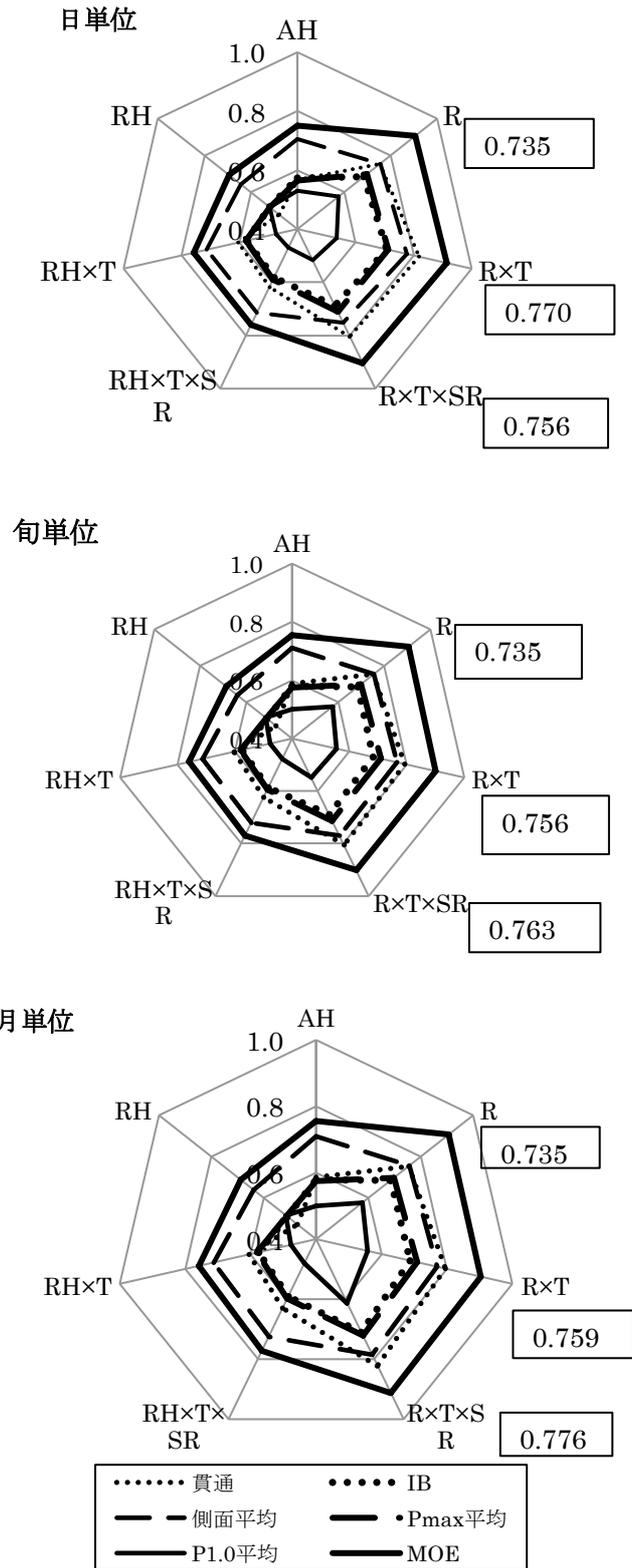


図4 劣化外力の算出方法と相関係数の関係
(対象: アスペン OSB)

算出した劣化外力の常用対数をX軸に、MOE、釘側面抵抗、釘頭貫通抵抗、IB、釘一面せん断性能の初期剛性や最大耐力などの残存率をY軸にとり、暴露4地域(盛岡、つくば、岡山、都城)のデータをプロットして相関係数を求め、劣化外力の算出方法と相関係数の関係を調べた。なお、X軸に劣化外力の対数を用いた理由は、一般に屋外暴露による強度劣化は暴露期間そのものよりも暴露期間の対数を取った方が相関性は高く、劣化外力に対しても同様と言

えるからである。図 2 は結果の一例であり、PB (PF) の釘側面抵抗の低下と劣化外力の対数の関係を示す。この場合の劣化外力は、日平均の絶対湿度 AH を日単位で積算したもので、相関係数は 0.904 となり、21 種類の組み合わせ中、最大の相関係数となった。また、図 3 に 21 種類全体の相関係数を比較した。図中の囲み数字は、釘側面抵抗、貫通抵抗、一面せん断最大耐力に対して得られた相関係数の平均値であり、上位 3 条件のみを示した。これより、劣化外力の算出方法として AH または $RH \times T$ の積算が適切で、かつ、積算を月単位まで簡略化しても支障ないことが分かる。一方、図 4 はアスペン OSB に関して求めた相関係数の一覧である。図 3 と比べて偏心しており、RH や AH よりも降水量 R を含む積算方法で相関係数は高くなった。その理由として、OSB は他パネルに比べて表面の凹凸に雨水が滞留しやすいことが挙げられる。また、積算単位を月単位まで粗くすると、日射量 SR を取り入れた方が相関性は高くなった。

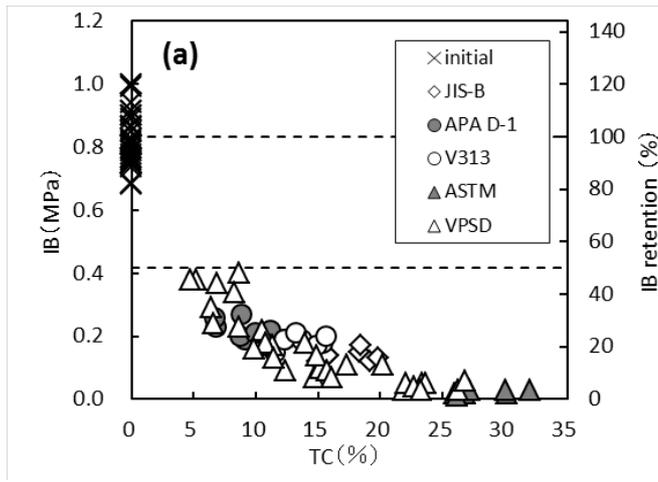


図 5 PB (PF) の耐水性 (厚さ変化と IB 低下)

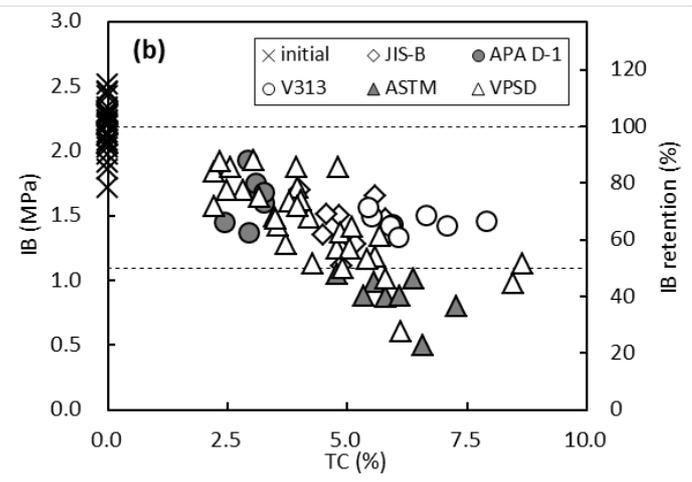


図 6 PB (MDI) の耐水性 (厚さ変化と IB 低下)

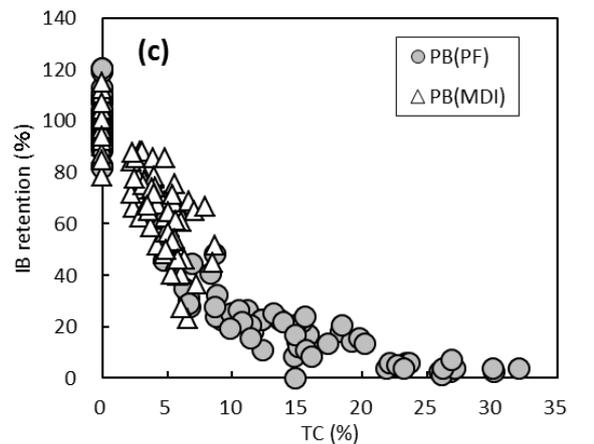


図 7 促進劣化後の厚さ変化率 (TC) と IB 残存率の関係

3. 劣化外力の試算 (その 2)

本プロジェクトに供試した 2 種類の PB は、いずれも JIS 18 P タイプに属し、湿潤時曲げ B 試験に合格する耐水性を有する。ただし、両者の絶対的な耐水性は異なっている。たとえば、図 5 と図 6 は当該 PB に各種促進劣化処理を施してから乾燥させ、それによって生じた厚さ変化率 (TC) とその時点で保有する剥離強度 (IB) の関係を示したものである。様々な促進劣化を受けると、PB (PF) では非回復の厚さ変化が 5% 以上発生し、IB 残存率も 50% 以下となった。一方、PB (MDI) では厚さ変化が PB (PF) よりも小さく、IB 残存率も高い。両 PB のデータを同時に示したのが図 7 であるが、両 PB とも同一曲線上にデータがプロットされ、劣化メカニズムは同等であるものの、耐水性は PB (MDI) の方が高いことが見て取れる。このように P タイプ製品でも耐水性に幅があり、そのようなサンプルの屋外暴露データを収集できたことは、より広い視野から PB の耐水性を論じることが可能といえる。

前項 (その 1) の劣化外力試算では暴露 4 地域での 5 年間のデータを対象としたが、ここでは暴露 4 ないし 8 地域

に拡張して最長 7 年までのデータを用い、耐水性の程度の異なる 2 種類の PB に対して劣化外力の検討を行った。屋外暴露における木質ボードの劣化外力について本プロジェクトでは様々な検討結果が公表されてきたが、気象データの収集容易性を考慮した場合、相対湿度は比較的入手が困難で、降水量を気温で重み付けした複合要素を積算する方法が現実性が高いと結論付けられている。したがって、ここでは降水量と気温の積の積算による劣化外力の試算し、その適用性を既報の気象インデックスを用いた劣化外力と比較した。対象とする物性は、MOR、パネル端部および非端部の IB、釘側面抵抗の 4 種類である。

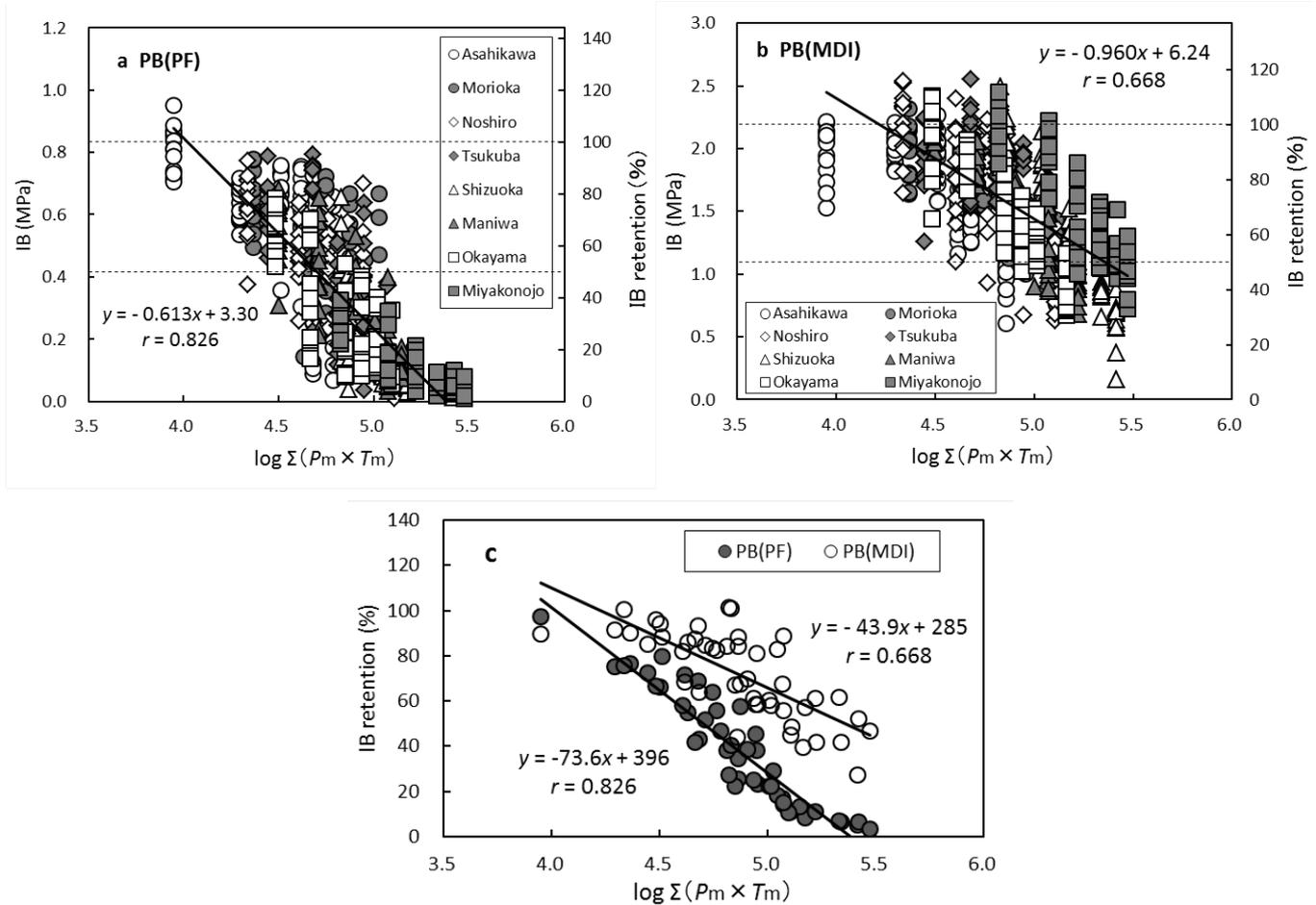


図 8 劣化外力（月降水量×月平均気温）と IB 劣化の関係

検討結果の一例を図 8 に示す。劣化外力として暴露地の月降水量に月平均気温を乗じた積を暴露期間で積算し、その常用対数を X 軸として IB 試験体ごとにプロットしたのが図 8a (PB (PF) の場合) と図 8b (PB (MDI) の場合) である。また、図 8c は両ボードの比較用であり、プロットは試験片 13 個の平均で示してある。地域差がなるべく消去でき、劣化推定に最適なマスターカーブを得るには、X 軸の取り方を検討する必要がある。そこで、劣化外力そのもの、劣化外力の常用対数、劣化外力の平方根という 3 種の X 軸に対して物性劣化との相関性を検討し、その結果を表 1 にまとめた。また、劣化外力 (Weathering intensity; WI) として、既報の指標である下記の 3 種類を加え、物性劣化との相関性を上記同様に検討し、結果を表 1 に示した。

① Scheffer's climate index ; $CI = (\Sigma (T-2) (D-3)) / 16.7$

ここで、T は月平均気温 (°C)、D は 0.25mm 以上の降水があった月間の日数

② Brooks & Kubo's deterioration index ; $DI = \Sigma ((H-65) / 10 \times 1.054T)$

ここで、T は月平均気温 (°C)、H は月平均相対湿度 (%)

③ Lang & Martonne's aridity index ; $AI = Py / (Ta+ 10)$

ここで、Py は年間降水量、Ta は 0°C 以上の月平均気温の積算値を 12 で除した値

表 1 各種劣化外力および X 軸の取り方における相関係数 (r) の比較

(各物性の劣化に対して最も相関係数の高いものを太字で表記)

Board type	WI	x-axis	Mechanical property					
			MOR n = 374	IB n = 602	Edge IB n = 174	LNR n = 137		
PB (PF)	$\log \Sigma (P_m \times T_m)$	A, B	-46.0, 266	-73.6, 396	-49.5, 263	-29.8, 180		
		r	0.786	0.826	0.684	0.695		
		$P_m \times T_m$	$\Sigma (P_m \times T_m)$	A, B	$-0.20 \times 10^{-3}, 60.1$	$-0.30 \times 10^{-3}, 67.0$	$-0.20 \times 10^{-3}, 37.0$	$-0.10 \times 10^{-3}, 45.0$
			r	0.682	0.721	0.564	0.624	
			$(\Sigma P_m \times T_m)^{1/2}$	A, B	-0.14, 81.9	-0.22, 102	-0.13, 59.1	-0.08, 58.4
			r	0.752	0.792	0.632	0.669	
			$\log \Sigma DI$	A, B	-24.9, 86.4	-35.9, 102	-13.9, 43.9	-12.6, 55.4
			r	0.434	0.411	0.238	0.362	
		DI	ΣDI	A, B	-0.18, 55.9	-0.27, 58.7	-0.10, 27.2	-0.09, 40.1
			r	0.445	0.437	0.233	0.346	
			$(\Sigma DI)^{1/2}$	A, B	-3.01, 67.1	-4.43, 74.5	-1.68, 33.2	-1.49, 45.4
			r	0.447	0.430	0.238	0.352	
		$\log \Sigma CI$	A, B	-39.0, 129	-62.3, 177	-52.3, 101	-34.2, 113	
		r	0.736	0.771	0.670	0.736		
	CI	ΣCI	A, B	-0.10, 64.2	-0.16, 72.3	-0.10, 43.7	-0.07, 50.6	
		r	0.728	0.744	0.615	0.726		
		$(\Sigma CI)^{1/2}$	A, B	-2.88, 82.7	-4.53, 102	-3.17, 67.3	-2.16, 66.0	
		r	0.750	0.773	0.650	0.742		
		$\log \Sigma AI$	A, B	-51.3, 160	-74.9, 210	-49.4, 133	-32.0, 107	
		r	0.717	0.682	0.629	0.681		
	AI	ΣAI	A, B	-0.10, 66.0	-0.15, 73.7	-0.09, 41.2	-0.06, 48.1	
		r	0.678	0.657	0.572	0.645		
		$(\Sigma AI)^{1/2}$	A, B	-3.18, 89.2	-4.72, 107	-3.00, 63.4	-1.98, 62.5	
		r	0.706	0.677	0.607	0.671		
PB (MDI)	$\log \Sigma (P_m \times T_m)$	A, B	-31.3, 222	-43.9, 285				
		r	0.675	0.668				
		$P_m \times T_m$	$\Sigma (P_m \times T_m)$	A, B	$-0.10 \times 10^{-3}, 82.9$	$-0.20 \times 10^{-3}, 91.6$		
			r	0.630	0.663			
			$(\Sigma P_m \times T_m)^{1/2}$	A, B	-0.10, 97.9	-0.14, 113		
			r	0.672	0.686			
			$\log \Sigma DI$	A, B	-19.3, 104	-33.7, 132		
			r	0.429	0.530			
		DI	ΣDI	A, B	-0.15, 81.0	-0.25, 91.1		
			r	0.475	0.577			
			$(\Sigma DI)^{1/2}$	A, B	-2.41, 89.6	-4.16, 106		
			r	0.460	0.563			
		$\log \Sigma CI$	A, B	-28.4, 133	-38.6, 158			
		r	0.673	0.646				
	CI	ΣCI	A, B	-0.08, 87.1	-0.11, 96.6			
		r	0.734	0.739				
		$(\Sigma CI)^{1/2}$	A, B	-2.19, 101	-3.06, 115			
		r	0.726	0.714				
		$\log \Sigma AI$	A, B	-37.6, 160	-58.4, 206			
		r	0.670	0.736				
	AI	ΣAI	A, B	-0.08, 88.0	-0.13, 102			
		r	0.665	0.766				
		$(\Sigma AI)^{1/2}$	A, B	-2.37, 105	-3.78, 128			
		r	0.677	0.762				

注) A, B は回帰式の係数: $y = Ax + B$

表 1 の結果を見ると, PB (PF) では X 軸を $\log \Sigma$ (降水量×気温) とする場合は, 4 つの物性のうち 3 つで最も相関係数が高かった. 一方, PB (MDI) では MOR の劣化には ΣCI が, IB の劣化には ΣAI が最も相関係数が高かった. ただし, $\log \Sigma$ (降水量×気温) とした場合の相関係数は, 検討した条件の中では中庸以上の値となっており, 2 種類の PB に対してひとつの劣化推定方法を選ぶとすれば, $\log \Sigma$ (降水量×気温) が候補となるであろう. そこで, その条件における回帰式を用いて, 各屋外暴露試験地において MOR が半減するに要する屋外暴露年数を計算し, 表 2 に

示した。なお、PB (PF) の MOR を半減させる劣化外力は、 $\Sigma (P \times T) = 5.01 \times 10^4$ 、PB (MDI) のそれは 31.6×10^4 となった。耐水性の異なる 2 種類の PB では MOR の半減期が 6 倍程度異なり、現行の JIS 18P タイプという同一グレードでも屋外暴露における劣化進行に大きな幅があることが分かる。

表 2 各暴露試験地の年間劣化外力（月降水量×月平均気温）と MOR が半減するまでの屋外暴露年数

Sites	Annual $\Sigma (P \times T)$	Y_{MOR50} (year)	
		PB (PF)	PB (MDI)
Asahikawa	1.04×10^4	4.8	30.5
Morioka	1.75×10^4	2.8	18.1
Noshiro	1.81×10^4	2.7	17.4
Tsukuba	2.11×10^4	2.4	15.0
Shizuoka	4.42×10^4	1.1	7.1
Maniwa	2.41×10^4	2.1	13.1
Okayama	2.14×10^4	2.3	14.8
Miyakonojo	5.00×10^4	1.0	6.3

4. 暴露試験地以外への試験結果の適用

表 2 に示した国内 8 地点における MOR 半減期の求め方を海外にも適用し、世界の主要都市における当該 PB の MOR 半減期を推定した。図 9 に対象とした 15 都市を、表 3 に各地の年間劣化外力および推定された PB (PF) と PB (MDI) の MOR 半減期を示す。



図 9 海外 15 都市の年平均気温と降水量

Sites	Annual $\Sigma (P \times T)$	Y_{MOR50} (year)	
		PB (PF)	PB (MDI)
Singapore	6.03×10^4	0.8	5.2
Miami	4.17×10^4	1.2	7.6
Seoul	2.93×10^4	1.7	10.8
Tokyo	2.88×10^4	1.7	11.0
Atlanta	2.16×10^4	2.3	14.6
Louisville	1.68×10^4	2.9	18.8
Beijing	1.22×10^4	4.1	25.9
Chicago	1.18×10^4	4.2	26.7
Vancouver	0.97×10^4	5.1	32.7
Perpignan	0.77×10^4	6.5	41.1
London	0.75×10^4	6.6	42.2
Melbourne	0.71×10^4	7.0	44.3
Moscow	0.64×10^4	7.7	49.0
Athens	0.57×10^4	8.7	55.3
Santiago	0.48×10^4	10.3	65.8

表 3 海外 15 都市の年間劣化外力（月降水量×月平均気温）と MOR が半減するまでの屋外暴露年数

1. はじめに

木質ボードを屋外暴露した場合、その強度低下を及ぼす気象要因は気温、日照時間、降水量が考えられる。そこで、これらの気象要因が木質ボードの強度低下に与える影響を明らかにし、高耐久性木質ボードの開発の一助にする。屋外暴露したボードのうち、強度低下が著しいボードが PB (PF) とアスペンボードであったが、本章では PB (PF) と気象要因の関係を解明する。

2. 強度低下と気象要因の関係

2. 1 強度を低下させる気象要因

表 1 に暴露地の気象要因とボードの剥離強さと曲げ強さを示す。例えば、表 1 に示してある暴露期間が 5 年の気温は 1 から 5 年の気温の平均である。また、これらの気象要因と PB (PF) の剥離強さおよび曲げ強さの相関係数を表 2 に示す。剥離強さおよび曲げ強さとも気温の相関係数が高かった。また、剥離強さの相関係数が曲げ強さのそれより高かった。

次に目的変数を剥離強さもしくは曲げ強さとし、説明変数を気温、日照時間、降水量として暴露期間ごとに重回帰分析を実施した。そして AIC (Akaike's Information Criterion) を用いて、暴露期間ごとの有用な説明変数を選択した。結果を表 3 に示す。なお、AIC の値が最も低いときに選択された説明変数が有用な変数である。以下に AIC を用いた説明変数の選択の方法の例を暴露期間が 1 年の剥離強さの場合で示す。ステップ 1 で気温、日照時間、降水量を説明変数として AIC を求めた結果、それは -44.9 となった。次にステップ 2 として、気温と降水量、気温と日射量、日照量と降水量の 3 通りの組み合わせで AIC を求めたところ、それぞれ -46.0、-32.2、-40.6 となり、最も低い AIC は気温と降水量の組み合わせより求めた -46.0 であったため、有用な説明変数は気温と降水量が選択される。次にステップ 3 として、気温と降水量より AIC を求めたところそれぞれ -34.1 と -42.0 となった。以上の過程で、最小の AIC はステップ 2 の気温と降水量より求めた -46.0 である。以上より暴露期間 1 年の剥離強さで選択された有用な気象要因は気温と降水量である。このようにして求めた気象要因を表 3 に示した。暴露期間が 1 から 3 年では気温と降水量が選択されたが、暴露期間 4 年目では気温、日照時間、降水量が選択され、暴露 5 年目では日照時間と降水量が選択された。

同様に曲げ強さの AIC を求め、その結果を表 4 に示す。剥離強さと異なり、曲げ強さで選択された説明変数は暴露期間が 1 年目では降水量、2 年と 4 年目では気温、3 年では気温と日照時間であった。剥離強さと曲げ強さでは選択された説明変数が異なった。剥離強さは主にボードの厚さ方向の中心層の強度の影響を大きく受ける。一方、曲げ強さは表層の強度の影響を大きく受ける。両者の強度発現機構が異なるため、選択された説明変数も異なったと考えられるが、暴露期間に応じて説明変数が異なるため、より最適な別の説明変数が必要である。

2. 2 主成分得点と気象要因の比較

主成分分析は多数の説明変数をいくつかに統合して、あらたな説明変数を作る解析方法である。例えば、日本では気温が高い地域では日照時間も長く、降水量も多い傾向がある。反対に気温の低い地域では、日照時間は短く、降水量も低い傾向がある。日本各地の気温、日照時間、降水量を主成分分析すると、高温で日照時間が長く、降水量の高い地域の主成分得点は高く、低温で日照時間が短く、降水量の低い地域の主成分得点は低いことが考えられる。そこで表 1 の暴露期間 5 年目の気温、日照時間、降水量を主成分分析した。まず、気温、日照時間、降水量は単位が異なるので、これらを標準化してから主成分分析した。その結果、得られた固有値、寄与率、累積寄与率、固有ベクトルを表 5 に示す。元のデータの気象要因が気温、日照時間、降水量の 3 つであるためその主成分分析の結果、第 1 主成分から第 3 主成分の 3 つの主成分にわけられる。そして元のデータのそれぞれが一つの情報量を持つため、その情報量の和は 3 である。主成分分析は、この情報量 3 を第 1 主成分に多く分配し、次に第 2 主成分に分配する解析法である。残りが第 3 主成分に分配される。固有値は分配される割合の比であり固有値の和は元のデータの情報量 3 となる。

表 1 暴露地の気象条件と暴露した PB (PF) の剥離強さと曲げ強さ

暴露期間 (年)	暴露地	T (°C)	S (h)	P (mm)	CDI	剥離強さ (MPa)	曲げ強さ (MPa)
1	旭川	7.2	1598	984	-2.15	0.812	14.9
	能代	11.6	1272	1731	-1.49	0.630	14.9
	盛岡	10.6	1633	1535	-1.17	0.639	13.2
	つくば	14.5	2174	1693	0.49	0.605	14.1
	真庭	14.5	1786	1683	-0.17	0.551	12.9
	岡山	16.9	2074	1509	0.61	0.556	14.0
	静岡	17.4	2257	3454	2.21	0.337	11.9
	都城	16.9	2036	3302	1.66	0.229	7.90
2	旭川	7	1548	987	-2.2	0.626	13.7
	能代	11.4	1333	1622	-1.37	0.540	14.1
	盛岡	10.3	1638	1468	-1.1	0.458	11.5
	つくば	14.2	2093	1409	0.39	0.573	12.5
	真庭	14.2	1816	1355	-0.17	0.434	9.90
	岡山	16.7	2084	1141	0.61	0.324	8.33
	静岡	17	2206	2624	1.99	0.212	8.90
	都城	16.8	2047	2889	1.84	0.125	7.17
3	旭川	7.1	1572	1009	-2.18	0.666	12.8
	能代	11.5	1375	1571	-1.38	0.464	9.63
	盛岡	10.4	1646	1370	-1.13	0.521	10.6
	つくば	14.3	1983	1455	0.37	0.318	9.85
	真庭	14.2	1781	1326	-0.21	0.323	7.05
	岡山	16.7	2038	1160	0.66	0.185	7.65
	静岡	17	2117	2432	1.97	0.152	6.67
	都城	17	1993	2688	1.91	0.092	5.86
4	旭川	7.1	1606	966	-2.16	0.596	11.8
	能代	11.5	1401	1475	-1.41	0.287	9.41
	盛岡	10.4	1672	1348	-1.09	0.480	8.69
	つくば	14.3	2004	1377	0.37	0.320	7.70
	真庭	14.2	1786	1315	-0.2	0.186	6.28
	岡山	16.7	2037	1082	0.6	0.208	4.77
	静岡	16.9	2122	2326	1.95	0.069	5.79
	都城	17	2025	2569	1.96	0.057	5.14
5	旭川	7.2	1598	946	-2.21	0.360	6.34
	能代	11.5	1444	1470	-1.38	0.377	10.3
	盛岡	10.5	1691	1315	-1.07	0.193	4.01
	つくば	14.3	1963	1399	0.36	0.140	9.44
	真庭	14.2	1781	1274	-0.23	0.119	4.69
	岡山	16.7	2026	1057	0.64	0.186	5.22
	静岡	16.9	2104	2302	1.97	0.054	5.07
	都城	17	1989	2566	1.93	0.056	4.88

T: 気温, S: 日照時間, P: 降水量, CDI: Climate deterioration index (第 1 主成分得点)

寄与率は第一主成分にどのくらいの情報量が分配されたかを示したものであり、第一主成分の寄与率は固有値 2.31 を固有値の和 3 で除したものを百分率で表したものである。累積寄与率はそれを第 1 主成分から積算したものである。以上より、気温、日照時間、降水量の 3 つの情報量が第一主成分に情報量 2.31 として分配され、その割合は情報量 3 のうちの 76.9% である。これより気温、日照時間、降水量が第 1 主成分に集約される。なお、第 2 主成分および第 3 主成分の固有値は 1 以下である。元のそれぞれのデータが持つ情報量 1 より低いいため、第 2 主成分および第 3 主成分は無視する。そもそも 3 つの説明変数を一つに集約することは重要であるが、3 つを 2 つに集約してもあまり意味がないことである。固有ベクトルは主成分得点を求めるに用いる。第 1 主成分の温度、気温、日照時間の固有ベクトルは第 1 主成分得点を求める式の係数である。例えば、 $0.631 \times \text{標準化した気温} + 0.591 \times \text{標準化した日照時間} + 0.516 \times \text{標準}$

化した降水量で第1主成分得点を求める。本研究では第1主成分得点を Climate deterioration Index (CDI) と呼ぶことにする。こうした求めた CDI を表1に示すが、旭川の第1主成分得点が低く、都城のそれが高い。

表2 気象条件とPB (PF) の剥離強さ、曲げ強さの相関係数

暴露期間 (年)	剥離強さと各気象条件の相関係数				曲げ強さと各気象条件の相関係数			
	T	S	P	CDI	T	S	P	CDI
1	-0.84	-0.60	-0.94	-0.90	-0.57	-0.45	-0.81	-0.69
2	-0.80	-0.64	-0.82	-0.87	-0.83	-0.76	-0.59	-0.84
3	-0.99	-0.83	-0.70	-0.97	-0.93	-0.66	-0.70	-0.87
4	-0.93	-0.63	-0.74	-0.88	-0.96	-0.79	-0.52	-0.88
5	-0.81	-0.86	-0.65	-0.89	-0.22	-0.40	-0.18	-0.30
平均	-0.88	-0.71	-0.77	-0.90	-0.70	-0.61	-0.56	-0.72
SD	0.08	0.12	0.11	0.04	0.31	0.18	0.24	0.24
COV	9.45	17.25	14.90	4.36	44.3	29.2	43.0	34.2

T: 気温, S: 日照時間, P: 降水量, CDI: Climate deterioration index (第1主成分得点)

次に CDI と剥離強さおよび曲げ強さの相関係数を表2に示す。剥離強さおよび曲げ強さも CDI の相関係数が高かった。さらに変動係数も低く、分散が低いことが示された。表3に示されたように AIC で有用な気象要因は剥離強さと曲げで異なり、有用な気象要因は暴露期間によっても異なった。CDI を各気象要因の代わりに新たな指標とすれば、剥離強さおよび曲げ強さの低下を正確に予測することが可能である。

表3 各暴露期間のPB (PF) の剥離強さの低下に影響を及ぼす気象要因のAICによる選択

暴露 期間 (年)	AIC							有用な気象要 因
	Step 1	Step 2			Step 3			
	T, S, P	T, P	T, S	S, P	T	S	P	
1	-44.9	—	—	—	-34.1	—	-42.0	T, P
		46.0	32.2	40.6				
2	-34.6	—	—	—	-33.0	—	-33.6	T, P
		36.6	31.1	34.4				
3	-56.8	—	—	—	-54.3	—	-28.3	T, P
		58.0	52.5	34.2				
4	—	—	—	—	—	—	—	T, S, P
	46.0	41.6	41.9	30.1				
5	-39.9	—	—	—	-34.8	—	—	S, P
		37.8	40.2	41.8		41.4		

AIC: Akaike's Information Criterion, T: 気温, S: 日照時間, P: 降水量, 太字が AIC の最小値であり、この時が有用な気象要因である。

表4 各暴露期間のPB (PF) の曲げ強さの低下に影響を及ぼす気象要因のAICによる選択

暴露 期間 (年)	AIC							有用な気象要 因
	Step 1	Step 2			Step 3			
	T, S, P	T, P	T, S	S, P	T	S	P	
1	11.6	9.6	15.0	9.6	—	14.4	7.6	P
2	11.8	10.3	10.3	11.6	8.7	11.3	—	T
3	1.3	1.8	0.68	10.8	1.1	12.1	—	T, S
4	-1.4	-3.4	—	10.8	-4.3	—	14.5	T
			2.29					
5	18.7	18.1	16.7	17.2	—	—	—	—

AIC: Akaike's Information Criterion, T: 気温, S: 日照時間, P: 降水量

表 5 表 1 の気象条件を主成分分析してえれた固有値, 寄与率, 累積寄与率, 固有ベクトル

		第 1 主成分	第 2 主成分	第 3 主成分
固有値		2.31	0.544	0.149
寄与率 (%)		76.9	18.1	5.00
累積寄与率 (%)		76.9	95.0	100
固有ベクトル	T	0.621	-0.223	0.752
	S	0.591	-0.497	-0.635
	P	0.516	0.838	-0.177

T: 気温, S: 日照時間, P: 降水量

3. AIC を用いた剥離強さおよび曲げ強さの低下の予測

3. 1 各気象要因を用いた 5 年間の暴露期間の重回帰分析

表 3 では暴露期間ごと重回帰分析を実施したが, ここでは暴露期間も説明変数とし, 表 1 のデータを用いて重回帰分析を実施した. つまり, 目的変数として剥離強さと曲げ強さ, 説明変数として気温, 日照時間, 降水量, そして, 暴露期間も加えた. さらに AIC を用いて有用な説明変数を選択した. 剥離強さと曲げ強さの結果を表 6 に示す. 剥離強さの有用な説明変数は気温, 降水量, 暴露時間, 曲げ強さのそれは気温と暴露時間であった. 次に剥離強さおよび曲げ強さの標準化回帰係数をそれぞれ表 7 および 8 に示す. いずれも暴露期間の標準化回帰係数が強く, 剥離強さと曲げ強さを低下させる大きな影響をもっている要因が暴露期間であった. 剥離強さを低下させる要因として, 気温の影響が降水量のそれより高かった.

次に各気象要因の代わりに CDI を用いて重回帰分析を実施した. この場合, 有用な説明変数を選択する必要がないので, AIC による選択は実施しない. 剥離強さと曲げ強さの結果を表 9 および表 10 に示す. 剥離強さでは CDI の標準化回帰係数が暴露時間のそれより低く, 曲げ強さでは暴露期間の方が低くなった. 表 7 でも暴露期間の標準化回帰係数が最も低い, 気温と降水量の標準化回帰係数の和は暴露期間より低い. すなわち, 暴露期間より, 気温と降水量の影響が大きかった. 表 9 より同様に CDI の影響が暴露期間より大きかった. 表 7 から 11 にそれぞれで求めた回帰式の決定係数および自由度調整済み決定係数も示すが, いずれも高かった. 以上より, 各気象要因を用いて重回帰分析をしても, 各気象要因の代わりに CDI を用いてもほぼ同じ精度で重回帰分析ができることが示された. 各気象要因を用いて重回帰分析を実施する場合, 最適な気象要因を明らかにする必要があるが, 表 3 より, 各暴露期間で有用な気象要因は異なっていた. また剥離強さと曲げ強さでも有用な気象要因は異なっていた. これらを考慮すれば, CDI を用いて剥離強さや曲げ強さの低下を予測することの方が適切である.

表 6 5 年間の PB (PF) の剥離強さと曲げ強さの低下に影響を及ぼす気象要因の AIC による選択

説明変数	AIC									有用な説明変数
	Step 1	Step 2				Step 3				
	T, S, P, t	T, S, P	S, P, t	T, P, t	T, S, t	T, t	P, t	T, P		
剥離強さ	-204	-145	-184	-206	-192	—	-172	—	—	T, P, t
曲げ強さ	46.8	92.3	50.1	45.2	46.4	44.7	57.1	90.3	147	T, t

AIC: Akaike's Information Criterion, T: 気温, S: 日照時間, P: 降水量

表 7 5 年間の PB (PF) の IB の気象条件を用いた重回帰式の標準化回帰係数と決定係数, 自由度調整済み決定係数

標準化回帰係数			決定係数	自由度調整済み決定係数
t	T	P		
-0.659	-0.521	-0.292	0.887	0.874

t: 暴露期間, T: 気温, P: 降水量

表 8 5年間のPB (PF) の曲げ強さの気象条件を用いた重回帰式の標準化回帰係数と決定係数, 自由度調整済み決定係数

標準化回帰係数		決定係数	自由度調整済み決定係数
t	T		
-0.729	-0.482	0.755	0.742

t: 暴露期間, T: 気温

表 9 5年間のPB (PF) の剝離強さのCDIを用いた重回帰式の標準化回帰係数と決定係数, 自由度調整済み決定係数

標準化回帰係数		決定係数	自由度調整済み決定係数
t	CDI		
-0.588	-0.717	0.861	0.854

CDI: Climate deterioration index (第1主成分得点)

表 10 5年間のPB (PF) の曲げ強さのCDIを用いた重回帰式の標準化回帰係数と決定係数, 自由度調整済み決定係数

標準化回帰係数		決定係数	自由度調整済み決定係数
t	CDI		
-0.723	-0.491	0.765	0.752

CDI: Climate deterioration index (第1主成分得点)

4. おわりに

それぞれの暴露期間で, パーティクルボードの強度を低下させる選択された有用な気象要因は異なっていた. そして, これらの気象要因が強度の低下に与える影響も異なっていた. そのため気象要因と強度の有用な解析が重回帰分析を使用してはできない. しかしながら, CDIと強度の相関係数は非常に高く, 各暴露期間の強度はCDIが増加すると低下した. CDIは, 各気象要因よりより単純で有用な気象指標である. CDIを使うことにより有用な解析ができる.

3.2.3 接着劣化と生物劣化の分離評価

秋田県立大学木材高度加工研究所 足立幸司

岩手大学農学部 佐藤春菜, 関野登

1.はじめに

木質ボードは、原料となる木質エレメントの樹種や形状、使用履歴や接着剤、配向や密度構成などの使用概念が様々であり、かつ、それらが複雑に相互作用して各種材質特性に反映するため、材料条件や製造条件をパラメータとした汎用性の高い強度予測や耐久性予測モデルを構築することは非常に困難である。近年、木質材料の構造用途や公共空間への利用拡大が志向され、また、ウッドプラスチックに代表される屋外耐久性に優れた木質材料の工業化も進み、木質材料の長期性能の担保がこれまで以上に重要となることは明らかである。

木質材料の屋外用途での耐久性は、気温や降水量などの気象条件に大きく左右されるため、使用環境下での耐久性予測をする上では、これら気象条件をパラメータとした指標を用いることが望ましい。3.2.2において、屋外暴露することにより負荷される劣化外力の統一指標として、降水量や平均気温などの気象因子をパラメータとした劣化外力指数が、日本国内の8地域における7年間の屋外暴露試験における木質パネルの強度残存率をよく説明できることを示した。これは、気象データは、屋外暴露における木材の生物劣化（耐腐朽性）を表現することにのみ使われてきたことに対して、木質ボードの劣化外力（接着劣化+生物劣化）を説明することにも有効であることを意味する。

今後、本指標の運用性を高めていくためには、材料の耐久性を著しく低下させる主要因となる生物劣化と通常の水熱および紫外線による接着劣化を分離して解釈し、生物劣化のしやすい使用環境区分の設定や、瑕疵による生物劣化が生じないことを前提とした接着劣化を主体とした耐久性評価・寿命予測の取り組みが期待される。例えば、表3-1に、ISO21887「木材及び木質製品の耐久性-使用環境区分」によって規定された木材の生物劣化に関する使用環境区分(ユースクラス)¹⁾と本研究の暴露試験の関係を示す。ISO21887において作用する劣化生物の種類から分類すると、本研究の屋外暴露試験はユースクラス3、屋内暴露試験および促進劣化試験はユースクラス2に相当する。本研究の供試木質パネルは本来、屋内用途であるため、使用環境に準じた耐久性評価をするためには、特に屋外暴露試験において生物劣化の影響を除外するための指標を設け、水熱ストレスによる木質パネルの物理・化学劣化に限定して議論する必要がある。そこで本章では、「木質ボードの屋外暴露による劣化=水熱条件による接着劣化+紫外線劣化+生物劣化」とし、これを「水熱条件による接着劣化≒促進劣化処理による劣化」と「紫外線劣化+生物劣化」に分離して考える。特に、紫外線による低分子化と雨水による溶出および生物による分解によって、接着劣化単独との相違が検出しやすい重量減少率に着目して、検討を進める。

表3-1. ISO21887と本研究の試験環境の対応

ISO21887の生物劣化に関する区分			本プロジェクトの試験項目	
ユースクラス	使用環境	劣化生物	暴露条件	暴露環境
1	屋内、乾燥	昆虫	屋内暴露 水分レベル	I 20°C 60%RH
2	屋内、湿気	1+カビ		II 床下
				III 野地板・天井板
				IV 20°C40%↔90%RH
				V 20°C90%RH
			促進劣化試験	5種類16パターン
3	屋外、常時暴露	2+腐朽菌・白蟻	屋外暴露	全国8カ所
4	接地または淡水中	3+軟腐朽菌		
5	接地または塩水中	4+海虫類		

2. 接着劣化と生物劣化の分離解釈の概念

木質エレメントを接着剤で再構成した木質ボードは、従来の用途環境は住宅構造用下地や家具用材などの屋内利用であるため、生物劣化のリスクが高くなく、耐久性評価は接着劣化について主に議論されてきた。接着劣化は、マッ

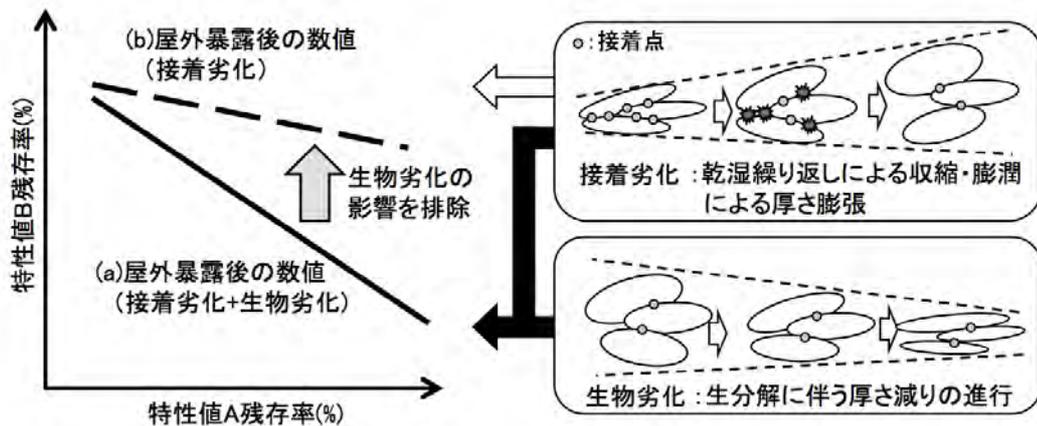


図 3-1 接着劣化と生物劣化による特性値変動

ト成形条件（圧縮比や接着剤種類，樹脂率，マット含水率，熱圧温度と時間など）に応じた接着層や木質部の加水分解や，吸湿・吸水や乾湿繰り返しに伴う収縮・膨張ストレスに伴うスプリングバックを生じ，接着点が随時破壊されていくことで初期性能に対する強度低下や厚さ膨張を生じる．一般的に，はくり強さ（IB）や曲げ強度（MOR）は，厚さ変化率（TC）との間に負の相関があり，その変化量は劣化初期で大きい傾向にある．しかし，屋外暴露試験においては接着劣化に加えて，生物劣化が生じることが広く知られ，図 3-1 左に示すように，特性値 A 残存率（例えば TC）に対する特性値 B 残存率（例えば IB）を考えた場合，屋外暴露後の特性値 A-B の関係（a）が，接着劣化単独の関係（b）よりも低下する現象が起きる場合が多い．

本研究において，生物劣化が生じたときの特性値挙動の変化を図 3-2 に示す²⁾．図中の×印は，屋外暴露後にキノコや青苔等の劣化生物の発生が確認された 300mm 角の暴露試験体（アスペン OSB）から採取した試験体の TC と MOR 残存率の関係を示している．既往の研究³⁾と同様に，図中の破線で囲まれた暴露後の重量減少率（WL）が 10%を超えた試験体において劣化生物が確認された試験体は，同程度の厚さ変化率の他の試験体と比較して，MOR 残存率が極端に低下していることが確認された．加えて，生物劣化が生じた場合には，TC が増大することなく，MOR 残存率が低下していることが確認された．このことは，図 3-1 右で示すように，腐朽等の生物劣化が生じると，生分解に伴う体積減少によって厚さ減りが進行するためと理解される．

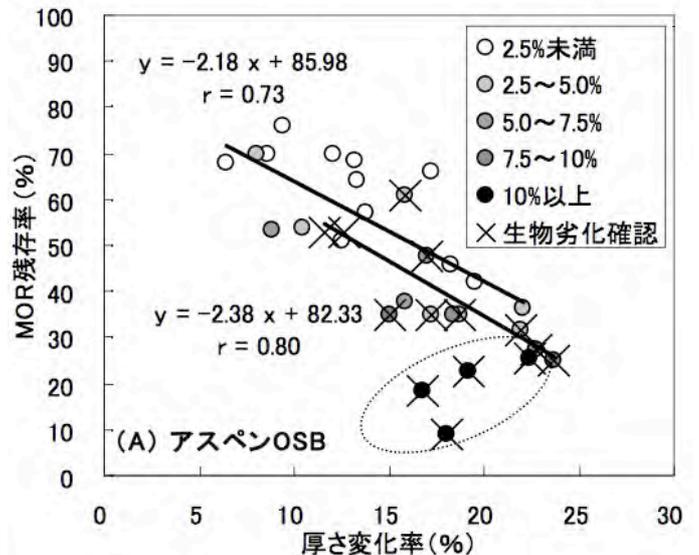


図3-2. MOR残存率と厚さ変化率の関係に生物劣化が及ぼす影響

接着劣化と生物劣化の判定には，（1）目視観察，（2）重量減少および厚さ変化の測定，（3）レジストグラフ，（4）FAKOPP やタッピング試験，（5）軟 X 線やγ線の透過線量を元にした内部診断，などが挙げられる．本章では，（1）の目視観察では，腐朽発生部位と各種試験片の採取位置との対応が明確に把握できないため，個々の試験片における生物劣化の有無を判定するために，（2）の手法を選択した．

3. 各種木質パネルの劣化挙動

表 3-2 に 7 年間の屋外暴露試験において、300mm 角試験体の状態で確認された生物劣化の出現率を、重量減少率毎にまとめた。全試験体に占める生物劣化の出現率は、合板<MDF<PB<OSB の木質ボードタイプの順で高くなる傾向があり、同一ボードでは、重量減少率に比例することが示された。因果関係を考慮すると、生物劣化が進行したから重量減少率が増加したという

表3-2. 屋外暴露試験において、300mm角試験体で確認された生物劣化の出現率と重量減少率の関係

重量減少率	5ply合板	3ply合板	アスペンOSB	パインOSB	PB(PF)	PB(MDI)	MDF9	MDF12
~0.0%	0	0	0	0	0	0	0	0
0.0~2.5%	25	11	39	19	22	18	13	21
2.5~5.0%	6	13	40	53	23	19	39	20
5.0~7.5%	32	27	67	43	7	29	-	100
7.5~10.0%	43	20	75	60	33	100	-	-
10.0~12.5%	67	50	75	0	0	67	-	-
12.5~15.0%	-	0	50	67	60	-	-	-
15.0~17.5%	-	0	100	-	60	-	-	-
17.5~20.0%	-	-	-	-	-	-	-	-
20.0~22.5%	-	-	50	-	-	-	-	-
22.5~25.0%	-	-	-	-	-	-	-	-
25.0~27.5%	-	-	80	-	-	-	-	-
27.5~30.0%	-	-	100	-	-	-	-	-
30%~	-	-	71	-	-	-	-	-
全試験体に占める生物劣化の出現率	21	17	51	24	22	23	20	17

ことになる。生物劣化の出現率と重量減少率の関係については、木質ボードタイプで傾向が異なっていることから、接着劣化と生物劣化の分離解釈は個別に対応することが望ましい。

実際に、屋外暴露試験において、試験結果を接着劣化と生物劣化を分離して解析を進める場合、重量減少率や厚さ変化が生物劣化と深く関係していることから、両パラメータを用いた場

合分けは非常に有効な手段となる。従って、恣意的判断基準を排除した、客観性や合理性を備えた分離判定法の確立が必要となる。本研究では、以下、二つの手法で分離判定法を検討した。

4. 暴露試験体の重量減少率のグループ間の同一性判定を用いたアプローチ

アスペン OSB を例にすると、暴露 1 年目から最長 7 年目までの試験体について、厚さ変化率 (TC) とはく離強度 (IB) 残存率の関係をまとめ、重量減少率 2.5% 毎に階級分けして、相関の有意性を検定し、回帰式を得ると図 3-2 (a) のようになる。重量減少率が負値のグループがあるが、これは、IB 試験体 (50mm 角) の重量減少率の測定において、その初期重量は、暴露前の 300mm 角の初期重量に基づいた推定値であり、面内の密度分布の影響が誤差として含まれる可能性が多いためと判断している。実際に、初期重量の推定精度を向上させるために、面内の重量分布を考慮した検討も行った⁴⁾が、相対的な関係は変化がなく、解析に大きな影響を及ぼさないため、本章では重量補正なしで解析を進めた。図 3-2 を見ると、重量減少率のグループ毎に回帰式が変化していることが認められる。特に、アスペン OSB では、重量減少率 10% 以上で、回帰式の傾きが大きく変化し、TC-IB との相関性が低下していることから、生物劣化の影響が強く出ていることが推測される。そこで、

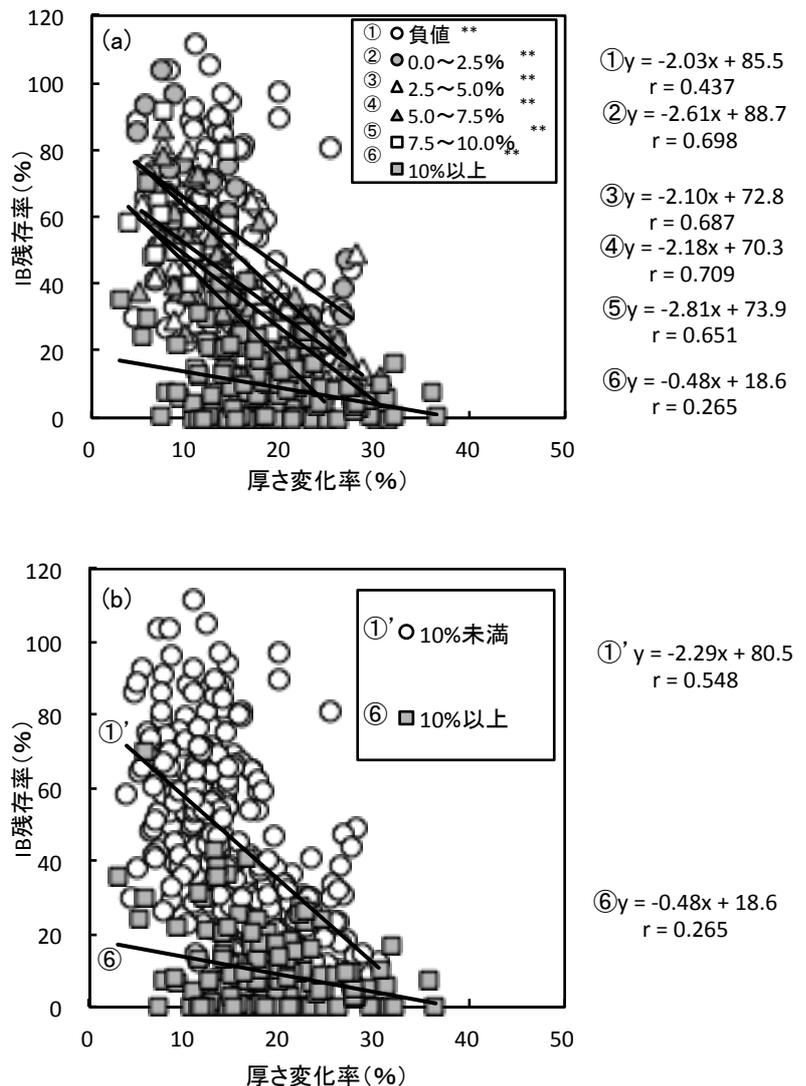


図3-2 アスペンOSBの厚さ変化率とIB残存率の重量減少率依存性と回帰式の同一性の検定

次のステップとして、隣接する重量減少率のグループ間の同一性を検定し、(1) 同一の場合は、両グループのプロットを統合して新たな回帰式を適用、(2) 新たな回帰式と隣接するグループ間の同一性の検定、の作業を繰り返し、最終的に有意差のあるグループとしてまとめると図 3-2 (b) が得られた。従って、アスペン OSB では、10%以上の重量減少率で劣化挙動が明らかに変化していることを表 3-2 で示した目視観察だけではなく、統計的な解析手法でも導き出すことができることが明らかとなった。

パイン OSB, PB (PF) および PB (MDI) において同様の検討した結果を図 3-3 に示す。図 3-3 (a) パイン OSB は、最終的に、重量減少率が 0.0~7.5%の範囲で同洋性が認められ、重量減少率 7.5%以上で、生物劣化が IB 残存率

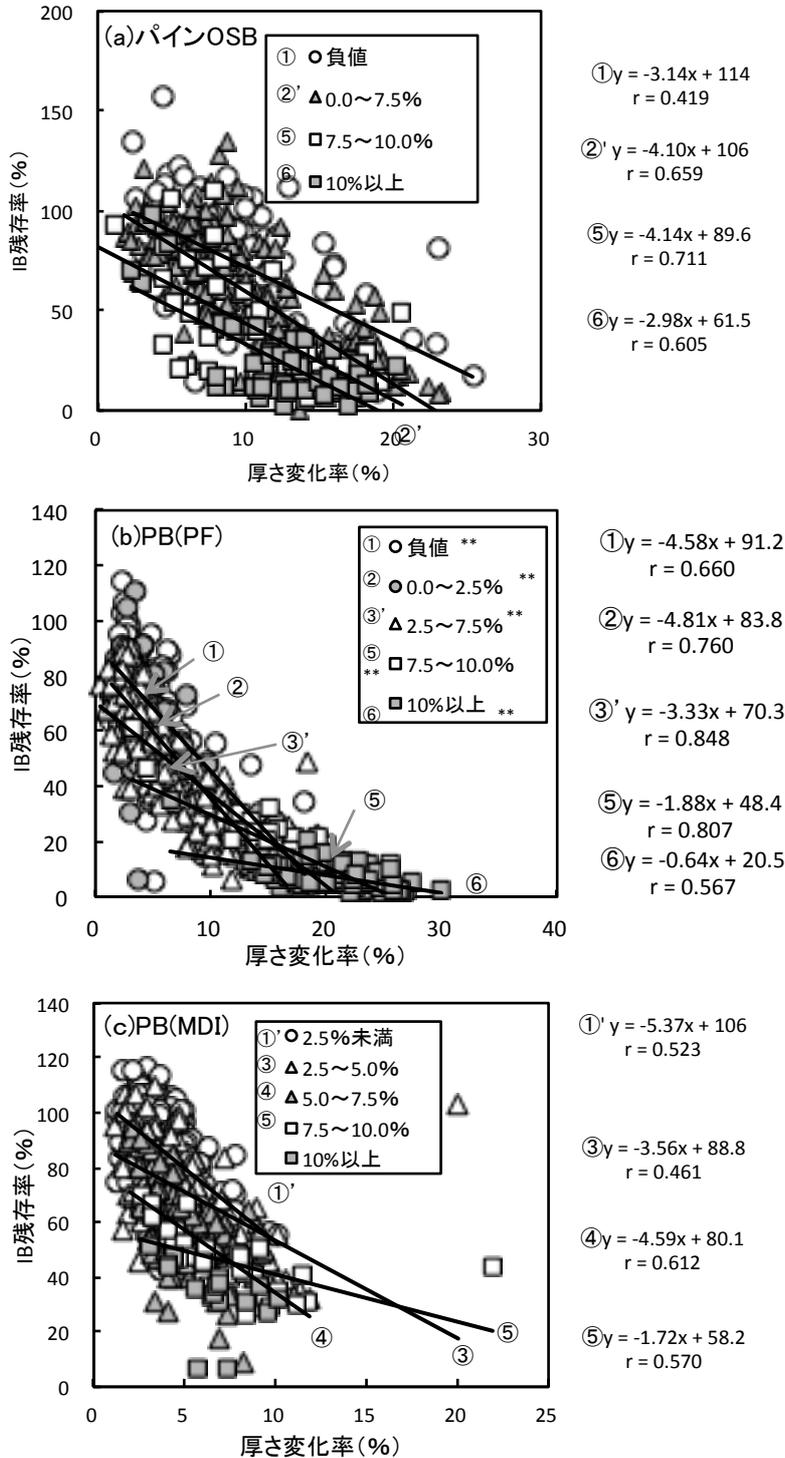


図3-3 各種木質ボードの厚さ変化率とIB残存率の重量減少率依存性と回帰式の同一性の検定

に及ぼす影響が増加した。表 3-2 を見ると、重量減少率 7.5%および 12.5%付近で生物劣化の出現率が高くなり、両者の対応が確認された。OSB に関しては、アスペン OSB とパイン OSB の双方において、300mm 角パネルでの生物劣化の目視観察と本手法との良好な関係が見いだされたことから、接着劣化と生物劣化の分離解釈の判断は目視観察でも対応できる可能性が示唆された。

図 3-3 (b) の PB (PF) は、最終的に 5 つの重量減少率グループにまとめられたが、回帰式から、IB 残存率 50%時に相当する厚さ変化率を求めると、図中の①から⑥でそれぞれ、9.0%、7.0%、6.1%、-0.1%、-46.1%となったことから、重量減少率 7.5%以上で傾向が大きく変化していることがわかり、生物劣化の影響が強くなっていることが予測される。これは、表 3-2 の傾向と同様であった。

図 3.3 (c) の PB (MDI) は、最終的に 4 つの重量減少グループにまとめられた。同様に、IB 残存率 50%時に相当する厚さ変化率を求めると、図中の①から⑤でそれぞれ、10.4%、10.9%、6.6%、4.8%となり、重量減少率 5.0%以上で徐々に低下していることが理解される。表 3-2 との対応を検討すると、この場合も 300mm 角の試験体を目視観察したケースと同様であった。

以上のことから、OSB とパーティクルボードにおいては、目視観察と IB 試験体での詳細な観察の間で相関性が確認されたことから、目視観察で生物劣化が生じた試験体は、ボードの面内全体が劣化したものとして分離解釈できる可能性が示唆された。

次に、目視観察で生物劣化が確認されること

がほとんど無かった MDF9 および MDF12 の検討結果を図 3-4 に示す。MDF9 の場合、重量減少率の変化幅が小さ

く、最終的に厚さ変化率とIB残存率の回帰式としてまとめられたのは、3グループとなり、IB残存率50%時に相当する厚さ変化率を求めると、③から⑤でそれぞれ、5.7%、6.1%、2.9%であった。重量減少率7.5~10%のグループで値が低下し、表3-2との対応も確認された。MDF12の場合、得られた回帰式①を元にしたIB残存率50%時の厚さ変化率は14.1%であった。

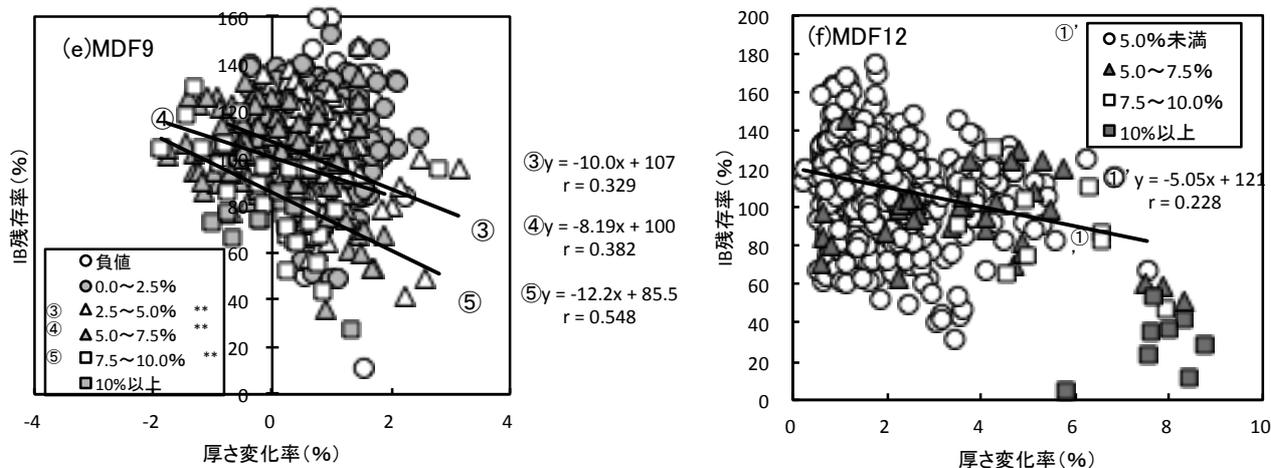


図3-4 各種木質ボードの厚さ変化率とIB残存率の重量減少率依存性と回帰式の同一性の検定

5. 促進劣化試験結果を考慮した分離手法

解析の前提として、「強度な促進劣化試験によってもたらされる重量減少>屋外暴露の接着劣化」が成立することとし、各種促進劣化試験と屋外暴露試験における重量減少率の分布を照合し、促進劣化試験によって特性値残存率が極度に低下した条件での重量減少率を屋外暴露試験が上回ったとき、接着劣化以上の劣化が屋外暴露試験に生じているとすれば、屋外暴露試験の結果に応じた解析をするのではないアプローチで接着劣化と生物劣化の分離解釈が可能になると考えられる。

促進劣化試験および屋外暴露試験における重量減少率の度数分布について、図3-5にOSBを、図3.6にパーティクルボードとMDFの結果を示す。

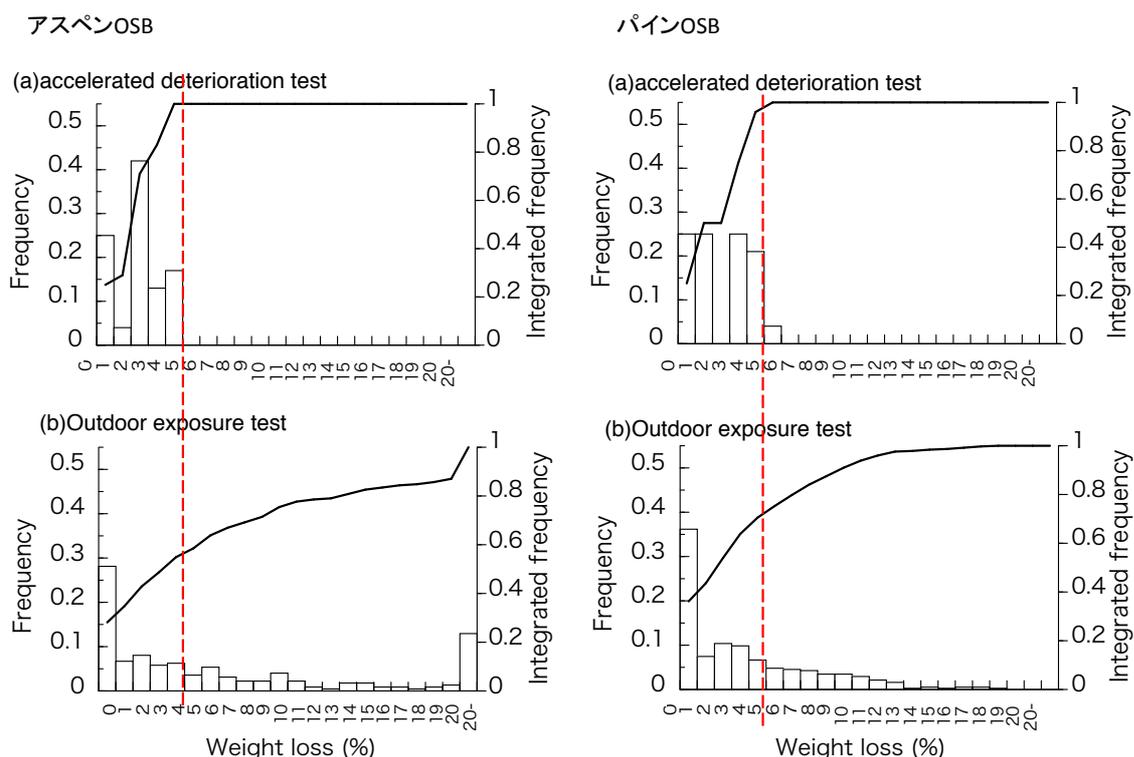


図3-5 OSBにおける促進劣化試験および屋外暴露試験の重量減少率の度数分布

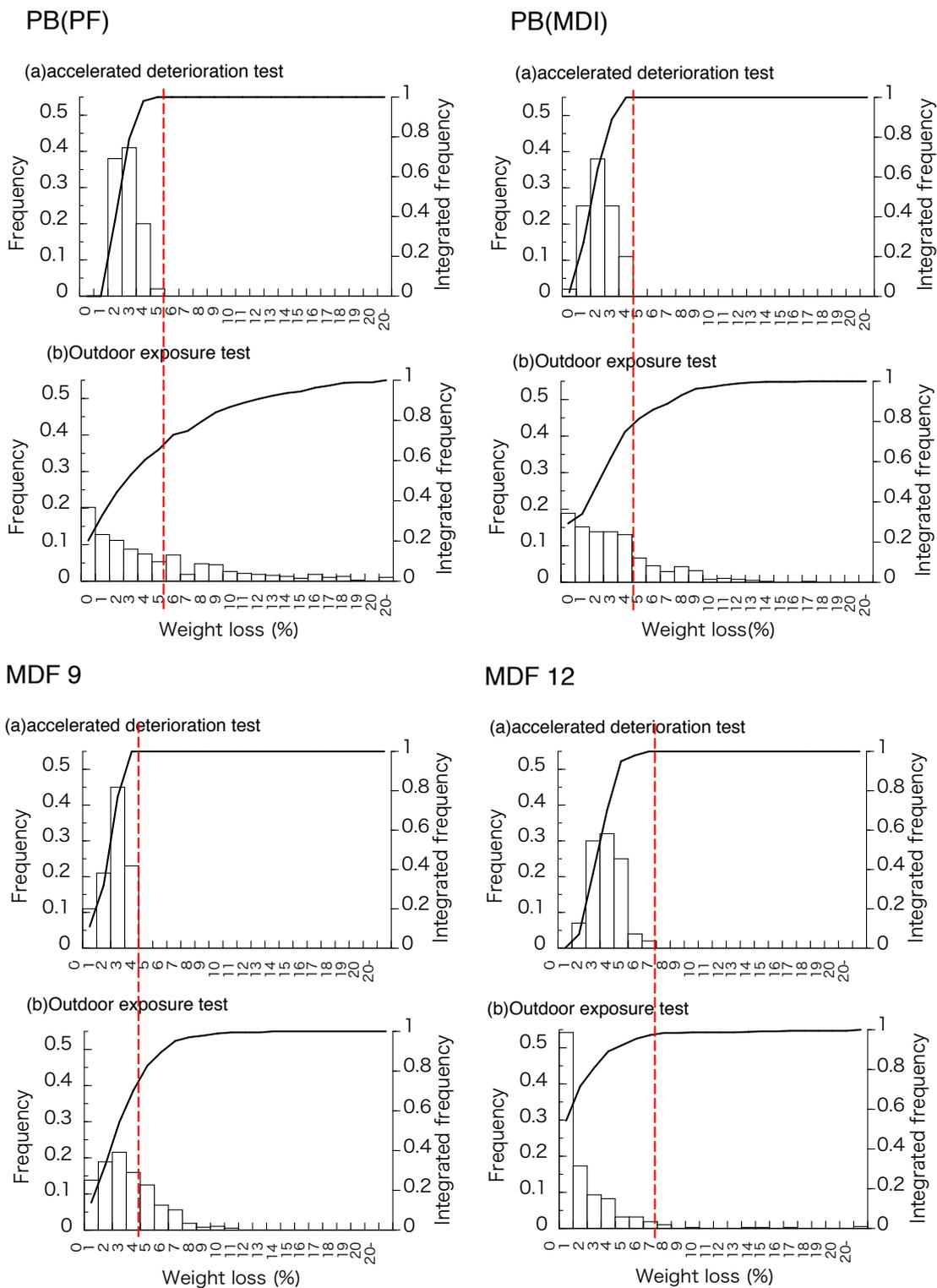


図3-5 PBおよびMDFにおける促進劣化試験および屋外暴露試験の重量減少率の度数分布

図から、促進劣化試験での重量減少率は最大4~7%程度で、表3-2や図3-3、図3.4で言及した屋外暴露試験での、生物劣化が生じる重量減少率のボーダーとの相関が認められ、強度な促進劣化試験における木質ボードの挙動からも、分離ラインを設定できる可能性が示唆された。

文献

- 1) Suzuki K, International Research Group on Wood Preservation, IRG/WP 06-20337, 2006
- 2) 佐藤春菜, 齊藤有美, 関野登, 日本木材加工技術協会年次大会, 27, 79-80, 2009
- 3) 今村祐嗣, 西本孝一, 木材学会誌, 30 (12), 1027-1034, 1984

4) 関野登, 佐藤春菜, 日本木材学会年次大会, 62, I15-P-AM08, 2012

3.2.4 実験室製パネルの屋外暴露

秋田県立大学木材高度加工研究所 山内秀文
京都大学生存圏研究所 梅村研二

1 はじめに

新しい木質材料の開発や既存ボードにおける接着剤等の原料変化に対応して、それらの耐久性を迅速に予想・評価するために、長期間の屋外暴露試験と促進劣化試験の関係を捉えておくことは不可欠である。研究会において種々の市販材料についての屋外暴露を行っている（木質パネル第2次耐久性プロジェクト・以下、本体実験）が、市販材料は同じ種類の材料であっても原料や製造設備にある程度幅を持つ。これら原料や製造条件の相違による耐久性への影響を相互に比較検討するためには、原料や製造工程の履歴が明らかな材料を同時に暴露試験に供することが有効ではないかと考えた。

本研究は、パネル原料を同一個体から得ることで原料ロットや製造設備の相違による影響を排除して作製した合板およびパーティクルボードを屋外暴露することにより、接着剤の種類、エレメントの耐久性、およびエレメント形状（ボード種類）が木質パネルの耐久性に及ぼす影響を検討するとともに、他材料の考察指標を得ようとしたものである。

表1 実験室製パネルの製造条件

No.	Panel type	Sample part	Glue type
1	Plywood	Heartwood	Phenol Formaldehyde
2	Plywood	Heartwood	Isocyanete (MDI)
3	Plywood	Sapwood	Phenol Formaldehyde
4	Particleboard	Heartwood	Phenol Formaldehyde
5	Particleboard	Heartwood	Isocyanete (MDI)
6	Particleboard	Sapwood	Phenol Formaldehyde

Comparative Study

a) 1×2 or 4×5; Effect of glue types

b) 1×3 or 4×6; Effect of veneer (particle) durability

c) 1×4 or 2×5 or 3×6; Effect of elemnt size (type)

2 パネルの作成

2.1 供試材料

パネル作製用の原木として秋田県北部産（藤里町藤琴字桂袋 108 番地・藤里町有林）のスギ（約 60 年生、胸高直径約 320mm、平均年輪幅 3.0mm、黒心材）を用いた。胸高部から末に向かって約 1050mm 間隔で 9 本を玉切りし、ロータリーレースにて厚さ 3mm の条件で単板に切削した。この際、未成熟部分の影響を小さくするため、φ約 120mm（約 15 年輪分）を剥き芯として残した。単板は辺材部と心材部に分け、一部を風乾し、320mm（繊維方向）×330mm（繊維直交方向）に切り分け合板の製造実験に用いた。残りの単板は未乾燥のまま、辺心材別にリングフレイカー（Pallman 社製 PZ-8、刃出し 0.5mm）にて切削した。風乾後、0.8mm（20 メッシュ）以下を篩い落としたものをパーティクルボードの原料とした。調整した単板及びパーティクルは、105℃の乾燥機にて 24 時間乾燥し、製造直前まで密封して保存した。両材料の製造には接着剤として市販のクルード MDI（三井化学（株）製・M-201W、以下 MDI）及びフェノール樹脂接着剤（（株）オーシカ製・D-17、以下 PF）を用いた。作成したパネルの一覧を表 1 にまとめた。

2.2 合板の作製

合板製造の際には、各接着剤に充填材として接着剤固形分量比で 15% の小麦粉を添加した。また、PF と MDI で塗布量あたりの固形分量を一致させるため、また熱圧時に水分によって生じる圧縮変形の程度をなるべく一致させるために、MDI には PF と同じ重量比で水を添加した。これらの接着剤液を 1 接着層あたり 200g/m² で塗布し、3 層の直交交錯に仕組んだ。これを圧縮圧力 0.1MPa で 30 分間冷圧した後、圧縮圧力を 0.7MPa 一定に保ったまま圧縮温度 140℃で 4.5 分間（厚さ 1mm あたり 30 秒）圧縮した。製造した合板は 60℃下に 24 時間置いた後、20℃、65%RH 下で養生した（図 1・上）。

2.3 パーティクルボードの作製

パーティクルボード（以下 PB）は、フォーミングむらを極力避けるために 350×350mm で製造することとし、目標全乾密度 0.65g/cm³、厚さ 13mm、接着剤量はパーティクルの全乾重量比で 10%とし、ブレンダー内で噴霧添加した。MDI については合板と同様の理由で PF と同じ割合で加

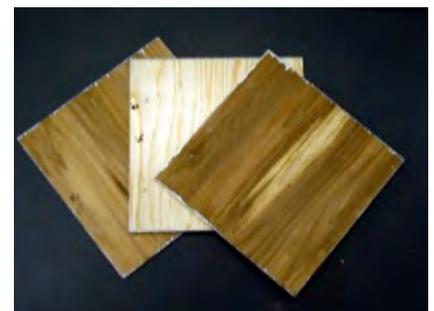


図 1 実験室製パネル（上：合板，
下：パーティクルボード）

水してから噴霧した。圧縮温度は 180°C，初期圧縮速度を毎秒 10mm としてディスタンスバーにて厚さを規制し，総圧縮時間 5 分（厚さ 1mm あたり 20 秒）とした。成形後の PB は合板同様 60°C 下に 24 時間置き，続けて 20°C，65%RH 下で 7 日間養生した後，ベルトサンダーにて両面を約 0.5mm づつ研磨し，厚さ 12mm とした（図 1・下）。

3 初期物性試験

全体計画に準じて，サンプルの基礎物性を測定した。全てのパネルについて，20°C，65%RH で十分に養生した後，気乾重量及び厚さを測定した。また，各条件 300mm 角で 2 枚のパネルを供試し，基礎物性の試験を行った。2.2.6 に準じて試験体を作成し，20°C，65%RH 下で 24 時間の重量変化が 0.1% 以下になるまで十分に養生した後曲げ試験，24 時間吸水厚さ膨脹試験および剥離試験を行った。結果を表 2～4 に示す。

表 2 実験室製パネルの強度性能

	Density(g/cm ³)	MOR(MPa)	MOE(GPa)	EL(N)*
Plywood				
PF+Hartwood	0.354±0.020	33.7±5.61	4.43±0.56	271±30
PF+Sapwood	0.357±0.008	37.5±2.44	4.66±0.18	262±11
IC+Heartwood	0.341±0.012	37.9±3.12	5.08±0.46	342±17
Particleboard				
PF+Hartwood	0.711±0.017	40.1±3.85	4.26±0.33	465±34
PF+Sapwood	0.702±0.006	46.6±2.34	4.83±0.16	561±38
IC+Heartwood	0.694±0.023	37.7±5.01	3.92±0.38	436±32

*FI: Elastic limit force

表 3 はくり離強度

	Density(g/cm ³)	IB(MPa)*
Plywood		
PF+Hartwood	0.361±0.034	1.20±0.22
PF+Sapwood	0.361±0.012	0.97±0.09
IC+Heartwood	0.342±0.019	1.92±0.43
Particleboard		
PF+Hartwood	0.704±0.030	0.97±0.16
PF+Sapwood	0.697±0.025	0.77±0.07
IC+Heartwood	0.705±0.011	2.31±0.10

*IB; Internal Bond strength

表 4 24 時間後の吸水厚さ膨脹

	Density(g/cm ³)	TS(%)*	WA(%)**
Plywood			
PF+Hartwood	0.351±0.026	3.41±1.00	80.3±6.5
PF+Sapwood	0.359±0.009	4.06±1.17	116±5.5
IC+Heartwood	0.337±0.015	2.74±0.52	72.7±7.7
Particleboard			
PF+Hartwood	0.713±0.030	14.1±2.55	65.0±7.2
PF+Sapwood	0.694±0.024	14.7±0.94	75.2±5.0
IC+Heartwood	0.700±0.018	4.67±0.65	24.6±1.3

*TS; Thickness Swelling after 24H water soaking

**WA; Water Absorption after 24H water soaking

4 屋外暴露

実験室製パネルを気乾密度で整理し，年度毎のサンプリング密度の偏りが可能な限り小さくなるように仕分けた。これらの側面を本体実験パネルと同様の塗料でシールした後に，秋田県立大学木材高度加工研究所（試験地；能代）の暴露架台に南面・仰角 0°にて本体実験のパネル類と同時に暴露を開始した（図 2）。

5 結果

5.1 気象条件

暴露期間 7 年（2004-2011）における気象条件については，本体実験における暴露地“能代”と同様である。この間の気象条件には多少のバラツキはあったものの，秋田県能代市の気象条件における 7 年間の木質パネルの劣化程度を推定する基礎データとして大きな問題はないものと考えられる。

5.2 暴露後の外観および重量・厚さ変化率

いずれのパネルも，暴露 1 年で表面色は無彩化（灰色化）した。合板は，暴露 1 年目の早い段階から，裏割れに起因すると思われる繊維方向の細かい割れが表裏面に生じた。また，素材の木口・辺材部では，暴露 2 年目から黄変が見られ，暴露 4 年目には明確に生物劣化痕が観察された。しかしながら同じパネ



図 2 屋外暴露試験の様子（能代）

ル間で使用接着剤およびエレメントの辺心材による明確な差は観察されなかった。

表5 屋外暴露によるパネル重量, 厚さ, 比重の経年変化

Classification	Weight change (%)	Thickness change (%)	Specific gravity (g/cm ³)
PW (MDI, Heart)	-6.8 (-4.1,-4.2,-2.8,-1.9,-0.3)	-2.4 (-4.9,-3.8,-1.1,-0.9,-0.7)	0.34 (0.35,0.34,0.35,0.34,0.34)
PW (PF, Heart)	-6.3 (-4.5,-5.1,-2.9,-2.4,-0.2)	-1.2 (-0.9,-3.1,-0.8,0.3,0.6)	0.36 (0.37,0.36,0.35,0.36,0.36)
PW (PF, Sap)	-9.2 (-4.2,-3.8,-2.8,-3.3,-1.2)	-4.2 (-2.9,-2.6,0.8,-0.2,0.9)	0.36 (0.33,0.35,0.36,0.35,0.34)
PB(MDI, Heart)	-1.7 (-0.1,-0.5, 0.5,0.1,2.5)	5.9 (3.9,1.9,2.4,2.5,2.3)	0.70 (0.71,0.71,0.68,0.69,0.70)
PB (PF, Heart)	-2.4 (-0.4,-1.5,0.8,0.5,3.5)	14 (7.2,7.6,11,7.5,6.0)	0.61 (0.71,0.66,0.66,0.68,0.68)
PB (PF, Sap)	-2.4 (-0.8,-2.3,-0.2,-0.1,4.3)	8.6 (6.5,7.0,8.9,8.8,8.9)	0.65 (0.67,0.64,0.65,0.64,0.64)
Solid (whole)	-8.6 (-5.6,-5.2,-3.4,-3.2,-1.3)	-2.4 (-2.4,-2.9,-1.3,-1.4,-0.7)	0.31 (0.32,0.33,0.32,0.31,0.31)

Note: PW; plywood, PB;particle board, Values in parentheses show the value after 5,4,3,2,1 year

表5に7年間の屋外暴露による各パネルの重量変化, 厚さ変化, 密度変化を示した。重量減少は同じパネル種内ではほぼ同じ傾向をとるが, 辺材合板の7年目の重量減少が急激に大きくなっており, 素材の辺材部が明確に腐朽していることと併せて考えると, エレメントに何らかの損傷が生じている可能性が考えられた。

厚さ膨張に関しては, PBでPFを用いたものが暴露1年目に厚さが急激な厚さ膨張が見られた後はあまり大きな変化がないのに対し, MDI使用のものは年数の経過とともに厚さ膨張率が大きくなっていく傾向が見られ, 接着剤による差が表れている。

5.3 曲げ性能

図3に暴露7年間の初期厚さ基準で算出したMOE(BR値; Bending resistance)およびMOR(LCC値; Load Carrying Capacity)を, 初期のMOEおよびMOR値に対する割合(残存率)で示した。いずれのパネルも, 能代市における7

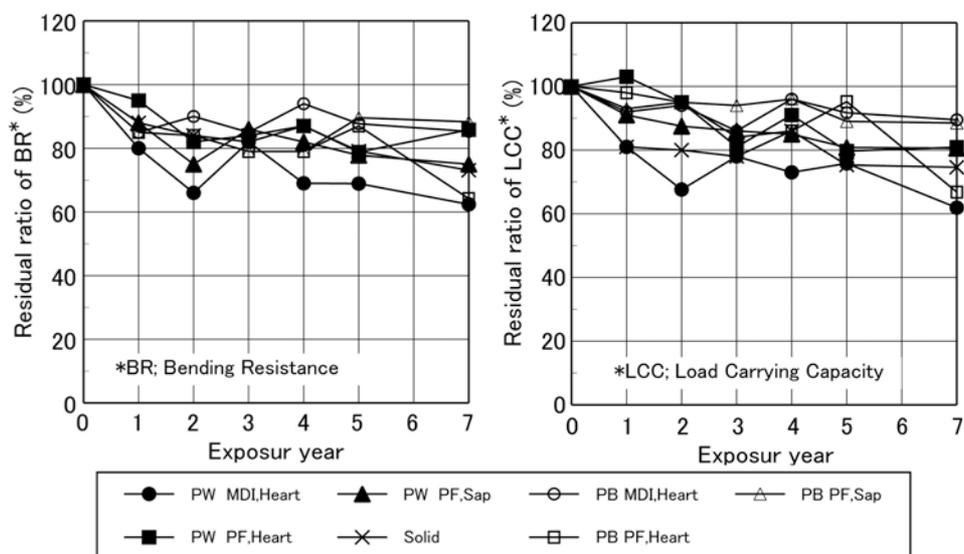


図3 屋外暴露における各種パネルの曲げ強度残存率の変化

年の屋外暴露では, 曲げ性能において接着剤およびエレメントの耐久性差による顕著な影響は見られなかった。

5.4 はく離性能

図4に暴露7年間におけるPBのはく離強度変化を初期値との割合(残存率)で示した。

PFで心材を用いたものは、5年目までは他の条件より高い性能を示していたものの、7年目に大きく低下した。急速に劣化が振興したことも考えられるが、低下傾向がこの一点のみであること、この条件は偏差が大きいことなどから、その要因は今のところ不明である。

MDIとPFで辺材を用いたものでは、MDIのはく離強度の絶対値はPFのそれの2-3倍程度と高くなるが(Table3)、その残存率はほぼ同様の傾向を示しており、初期値に対する接着性能の大きな低下は見られていない。この結果から、MDIやPFといった耐久性が高い接着剤を、その性能発現に十分な条件で用いる限り、初期値が示す接着性能はある程度経時的に担保されると考えられる。

5.5 厚さ膨潤率とその影響

図5に24時間の常温水浸せきによる吸水率および暴露前に測定した初期厚さを基準に算出した厚さ変化率(TS₀)を示した。

合板では、辺材を用いたものの吸水率が非常に大きく、その値が暴露期間が長くなるにつれ大きくなる傾向が見られる。一方で、厚さ変化率の傾向に辺心材で大きな差はなく、上述した各種物性でも辺材に特に顕著な低下が見られないことから、合板では、自由水領域での吸水量増加は大きな劣化要因とならないと考えられる。また、合板では接着剤の影響も非常に小さかった。

パーティクルボードでも、辺材にて作製したものは心材に比べ吸水率が大きく、またそれに呼応する形でTS₀も大きくなる傾向が見られるが、その差は合板ほど顕著ではない。一方で、接着剤の差は明確で、MDIを使用したものは吸水率および厚さ変化量とも小さくなる。このとき、MDIとPF間で吸水1%あたりの厚さ変化量を算出したところ、それらに大きな差がなかったことから、MDIが吸水を抑制し、結果的にTS₀値を小さくしているものと考えられた。

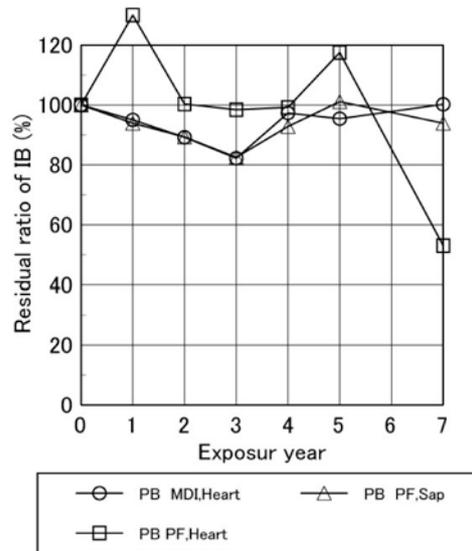


図4 屋外暴露におけるPBのはく離強度残存率の変化

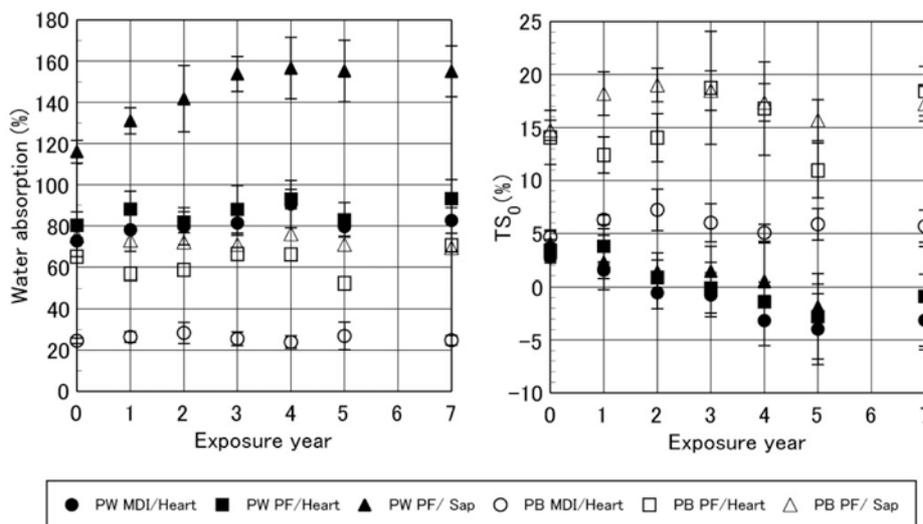


図5 各種パネルの24時間の吸水率および吸水厚さ膨張率に屋外暴露試験の及ぼす影響

3.2.5 高耐候性パネルに関する所見

森林総合研究所：高麗 秀昭

1. はじめに

本屋外暴露試験の結果より、パーティクルボードおよびOSBは屋外暴露により激しく劣化したが、用いた接着剤に拘わらず、MDFの耐候性が高いことが明らかになった。さらにパーティクルボードでも塗装して屋外暴露試験を実施するとその劣化が低減されることが明らかになった。これらの結果より、本項では、本屋外暴露試験のより得られた知見より、高耐候性パネルに関する所見を述べる。

2. 屋外暴露したMDFの強度の低下

2.1 曲げ強さ

旭川、つくば、都城のMDF9およびPB(PF)の曲げ強さの残存率の変化を図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。

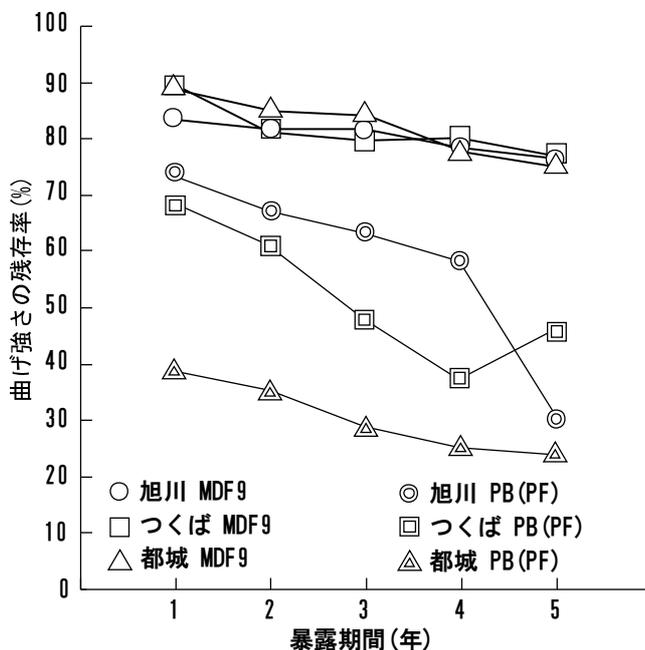


図1. 旭川、つくば、都城のMDF9およびPB(PF)の曲げ強さの残存率の変化

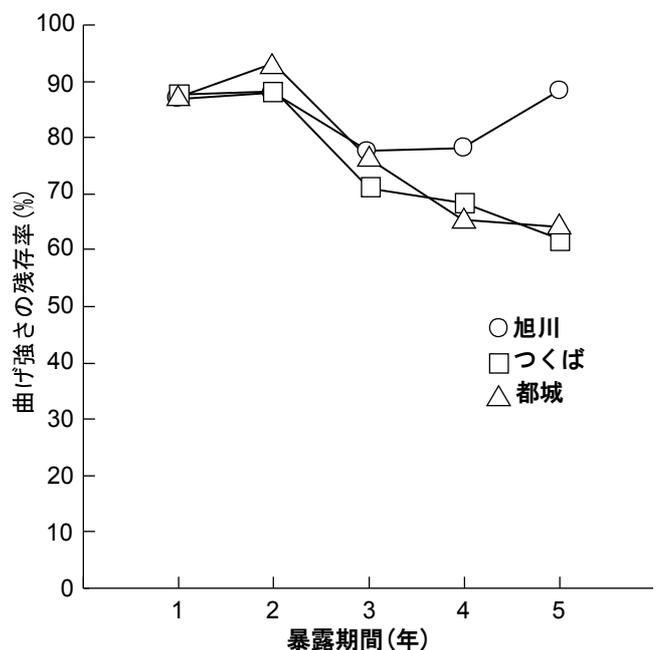


図2. 旭川、つくば、都城のMDF12の曲げ強さの残存率の変化

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MDF9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MDF9の曲げ強さの平均を表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MDF9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MDF12の曲げ強さの残存率の変化を図2に示す。旭川のMDF12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MDF12に差異はなく、緩やかに低下した。8地域のMDF12の曲げ強さの平均を表1に示すが、基本的には旭川も含めて、MDF9と同様にMDF12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MDF12の残存率はMDF9のそれより低下した。先述したようにMDF9の残存率は5年目でも約75%であった。それに対して、MDF12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。MDF12は耐水性の低いMUFを接着剤に用いたためと考えられる。

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、 $MUF < PF \approx MDI$ と考えられている。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MDF12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。

MDF9およびMDF12の曲げ強さの変動係数も表1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。表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係数は11.3%(表2)であるが、旭川、つくば、都城のPB(PF)の曲げ強さの変動係数(表1)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。

表1. 屋外暴露したMDF9およびMDFの曲げ強さと剝離強さ

暴露地	暴露期間(年)	曲げ強さ						剝離強さ			
		MDF9		MDF12		MDF9		MDF12			
		平均 (SD) (MPa)	CV (%)								
旭川	1	30.4 (1.51)	4.96	39.4 (0.86)	2.17	1.39 (0.23)	16.5	0.70 (0.04)	5.29		
	2	29.8 (0.95)	3.18	39.9 (1.15)	2.88	1.53 (0.05)	3.32	0.83 (0.04)	5.24		
	3	29.7 (1.82)	6.11	35.2 (3.78)	10.7	1.37 (0.13)	9.60	0.76 (0.06)	7.53		
	4	28.6 (1.97)	6.88	35.5 (2.95)	8.31	1.15 (0.23)	20.0	0.81 (0.05)	5.77		
	5	27.9 (2.08)	7.47	40.1 (2.52)	6.28	1.24 (0.11)	8.92	0.77 (0.06)	7.76		
盛岡	1	35.3 (4.02)	11.4	42.9 (5.07)	11.8	1.49 (0.29)	19.5	0.72 (0.17)	23.7		
	2	29.9 (2.66)	8.90	41.0 (1.83)	4.46	0.96 (0.32)	33.2	0.56 (0.13)	23.8		
	3	30.5 (1.26)	4.12	35.9 (2.64)	7.35	1.36 (0.13)	9.67	0.70 (0.12)	17.2		
	4	30.1 (2.17)	7.22	34.6 (2.70)	7.78	1.33 (0.17)	13.1	0.69 (0.09)	13.8		
	5	25.9 (1.51)	5.85	34.7 (2.57)	7.39	1.26 (0.17)	13.6	0.74 (0.15)	20.3		
能代	1	31.8 (1.90)	5.97	38.2 (3.40)	8.90	1.44 (0.14)	9.73	0.83 (0.09)	10.7		
	2	31.4 (1.28)	4.06	41.2 (1.71)	4.15	1.00 (0.36)	36.2	0.57 (0.20)	35.6		
	3	31.0 (3.39)	10.9	42.9 (1.32)	3.08	1.13 (0.28)	24.9	0.65 (0.13)	19.9		
	4	31.2 (2.16)	6.94	37.2 (4.13)	11.1	1.28 (0.26)	20.4	0.60 (0.13)	21.1		
	5	29.4 (1.19)	4.03	31.5 (3.04)	9.66	1.30 (0.28)	21.2	0.70 (0.11)	15.6		
つくば	1	32.4 (1.74)	5.36	39.8 (4.39)	11.0	1.14 (0.16)	13.8	0.66 (0.11)	16.1		
	2	29.3 (0.97)	3.32	40.1 (1.17)	2.91	1.15 (0.27)	23.7	0.64 (0.10)	15.0		

	3	28.8 (1.36)	4.72	32.2 (0.73)	2.26	0.99 (0.32)	32.3	0.78 (0.08)	10.6
	4	29.0 (1.20)	4.15	31.1 (2.93)	9.44	1.12 (0.25)	22.3	0.61 (0.13)	21.2
	5	27.8 (1.82)	6.54	28.2 (3.96)	14.0	1.18 (0.09)	7.39	0.54 (0.09)	17.3
静岡	1	41.6 (3.93)	9.46	45.4 (3.53)	7.78	1.44 (0.11)	7.68	0.79 (0.05)	5.76
	2	34.8 (1.02)	2.93	41.0 (2.38)	5.80	1.27 (0.08)	6.30	0.60 (0.06)	9.46
	3	26.2 (1.23)	4.69	31.9 (2.14)	6.71	1.19 (0.09)	7.38	0.63 (0.09)	14.9
	4	33.2 (2.28)	6.87	36.7 (3.56)	9.69	1.32 (0.30)	22.4	0.70 (0.09)	13.6
	5	31.1 (2.52)	8.12	26.9 (1.57)	5.84	1.19 (0.09)	7.27	0.59 (0.08)	13.1
真庭	1	33.2 (3.14)	9.46	44.9 (3.29)	7.33	1.30 (0.19)	14.4	0.75 (0.20)	26.2
	2	28.7 (1.58)	5.51	36.2 (3.26)	9.00	1.22 (0.10)	8.27	0.59 (0.08)	13.4
	3	30.0 (0.83)	2.75	39.3 (6.31)	16.1	1.03 (0.24)	22.8	0.60 (0.11)	17.9
	4	27.5 (2.09)	7.59	32.9 (5.08)	15.5	1.05 (0.07)	6.48	0.65 (0.10)	14.7
	5	27.7 (1.41)	5.11	27.8 (3.77)	13.5	1.37 (0.12)	8.93	0.70 (0.13)	18.7
岡山	1	33.2 (3.81)	11.5	41.7 (2.01)	4.83	1.48 (0.19)	12.7	0.69 (0.13)	19.5
	2	26.9 (1.33)	4.94	37.5 (3.11)	8.28	1.23 (0.09)	7.55	0.70 (0.15)	21.3
	3	29.9 (0.69)	2.31	34.0 (3.35)	9.85	1.39 (0.19)	13.7	0.65 (0.11)	17.5
	4	25.5 (1.05)	4.13	30.0 (5.09)	17.0	0.90 (0.06)	6.70	0.52 (0.10)	19.5
	5	26.4 (1.01)	3.82	31.9 (4.63)	14.5	1.23 (0.05)	3.99	0.69 (0.09)	13.5
都城	1	32.0 (3.30)	10.3	39.6 (1.87)	4.73	1.49 (0.19)	12.7	0.93 (0.07)	7.85
	2	30.6 (0.92)	2.99	42.3 (4.82)	11.4	1.43 (0.11)	7.43	0.88 (0.08)	8.63
	3	30.4 (1.95)	6.42	34.6 (3.75)	10.8	1.52 (0.10)	6.56	0.76 (0.07)	9.14
	4	28.1 (2.31)	8.21	29.8 (4.31)	14.5	1.31 (0.17)	13.2	0.68 (0.12)	17.0
	5	27.1 (1.89)	6.97	29.1 (2.11)	7.27	1.32 (0.14)	10.3	0.74 (0.05)	7.15

SD: standard deviation. CV: coefficient of variation

表 2. PB (PF) , MDF9, MDF12 の初期の曲げ強さ, 剝離強さの平均値 (標準偏差), 変動係数

	曲げ強さ			剝離強さ		
	平均 (表運偏差) (MPa)	変動係数 (%)		平均 (標準偏差) (MPa)	変動係数 (%)	
PB (PF)	20.3 (2.29)	11.3		0.830 (0.09)	10.8	
MDF9	36.1 (2.44)	6.76		1.22 (0.19)	15.6	
MDF12	45.4 (2.94)	6.48		0.620 (0.11)	17.7	

2. 2 剝離強さ

旭川、つくば、都城の MDF9 および PB (PF) の剥離強さの残存率の変化を図 3 に示す。剥離強さはボードの結合力が最も低い箇所で生ずるため、ボードの中心層で破壊することが一般的である。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。

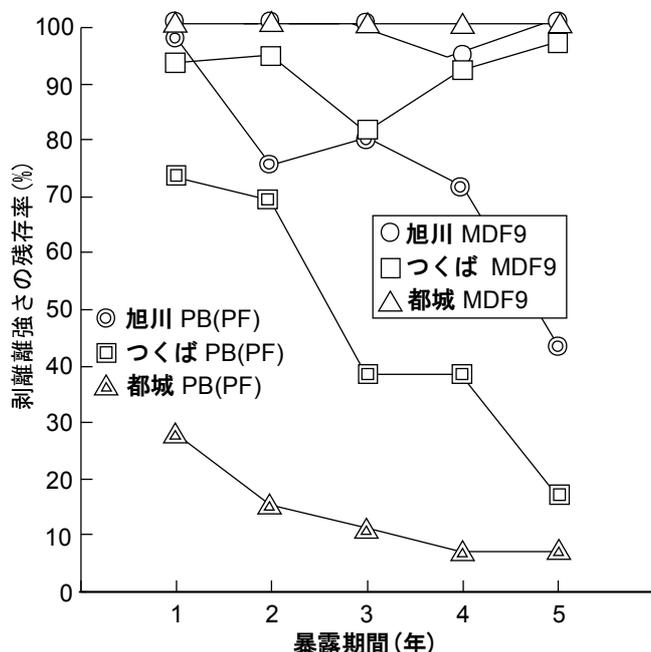


図 3. 旭川、つくば、都城の MDF9 および PB (PF) の剥離強さの残存率の変化

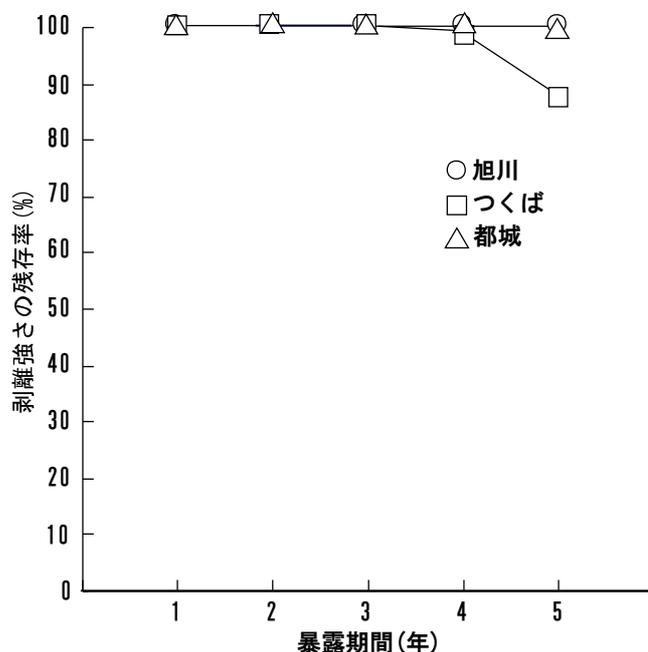


図 4. 旭川、つくば、都城の MDF12 の剥離強さの残存率の変化

MDF9 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 (図 1), MDF9 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 MDF9 の剥離強さの平均を表 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 (図 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 MDF12 の剥離強さの残存率の変化を図 4 に示す。MDF12 の剥離強さの残存率も MDF9 と同様に高かった。また、8 地域の MDF12 の剥離強さの平均を表 5 に示すが、MDF9 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、MDF12 の方が MDF9 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 より低いですが、MDF12 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。

2. 3 MDF の耐久性

先述したように、MDF9 および MDF12 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、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。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。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。表3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。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。そのためパーティクルボードの中心層は劣化した。表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。

表 3. 5 年間屋外暴露した MDF9, MDF12, PB (PF) の吸水率

	吸水率 (%)			
	MDF9	MDF12	PB (PF)	
旭川	11.6 (1.19)	7.64 (0.79)	47.9	(27.3)
つくば	21.4 (0.85)	20.0 (1.36)	42.0	(16.2)
都城	20.5 (1.71)	30.3 (2.03)	88.9	(7.87)

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、表4に5年目の重量減少率を示す。旭川およびつくば、都城の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。

MDF9 および MDF12 の剥離強さの変動係数を表1に示したが、PB (PF) の剥離強さの変動係数(表5)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(図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。

表 4. 5年間屋外暴露した MDF9, MDF12, PB (PF) の重量減少率

	重量減少率 (%)		
	MDF9	MDF12	PB (PF)
旭川	3.27	1.20	4.11
つくば	3.42	2.81	8.98
都城	4.39	2.66	10.1

表 5. 屋外暴露した PB (PF) の曲げ強さと剥離強さの変動係数

暴露 期間 (年)	変動係数 (%)					
	旭川		つくば		都城	
	曲げ強さ	剥離強さ	曲げ強さ	剥離強さ	曲げ強さ	剥離強さ
1	11.0	9.08	11.4	14.3	24.1	19.5
2	8.03	8.77	8.08	37.7	33.9	55.6
3	14.5	15.5	21.9	39.6	25.8	48.8
4	14.8	21.8	37.8	58.5	8.81	37.7
5	23.7	68.5	27.1	81.9	15.0	37.5

3. おわりに

MDF9 および MDF12 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。一方、MDF9 および MDF12 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) のそれは低下した。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が大きく低下しなかったと考えられる。MDF の耐久性が高いことが明らかとなり、MDF の新たな可能性が示された。本研究よりボードの高耐久化に雨水のボード内部への浸入を防ぐことが重要であることが示された。

1. はじめに

木質ボードの屋外暴露試験は主に北米を中心に実施されてきたが、日本ではあまり実施されてこなかった。そこでパネル研究が中心となり、木質ボードの屋外暴露を実施した。日本は南北に長い島国であり、様々な気象を有する。本研究の特徴のひとつは、様々な種類の木質ボードを日本国内の様々な気象条件下に暴露したことであり、これは過去に北米で実施された研究と異なる点である。そのため本研究では気象条件と木質ボードの強度低下の関係を詳細に検討することができる。

2. 木質ボードの強度低下に与える気象条件

本研究で使用した木質ボードの中で強度低下が大きかったものはPB (PF) とアスペン OSB である。PB (PF) の強度を低下させる気象因子は既に報告したが、同様に、アスペン OSB の剥離強さと曲げ強さを低下させる気象因子を表 1 および 2 にそれぞれ示す。剥離強さでは降水量もしくは気温が選択され、曲げ強さではこれらに加えて日照時間も選択された。PB (PF) で選択された気象因子とアスペン OSB で選択された気象因子とは異なっていた。PB (PF) と同様に強度低下に与える気象因子は複雑であり、特定することは困難である。しかしながら、各気象因子の代わりに CDI を用いれば単純に解析できる。CDI と PF ボードおよびアスペン OSB の強度には高い相関がある。CDI はボードの強度の低下を予測する上で最適な指標となる可能性が高い。

表 1. 各暴露期間のアスペン OSB の剥離強さの低下に影響を及ぼす気象因子の AIC による選択

暴露 期間 (年)	AIC							有用な気象因子
	Step 1	Step 2			Step 3			
	T, S, P	T, P	T, S	S, P	T	S	P	
1	-41.5	-42.9	-37.5	-41.5	-39.2	-	-43.5	P
2	-35.2	-36.2	-36.9	-34.9	-37.8	-35.6	-	T
3	-35.3	-34.9	-37.0	-33.4	-36.5	-33.5	-	T
4	-36.1	-35.6	-32.6	-36.4	-	-31.3	-37.6	P
5	-39.1	-39.0	-39.0	-38.9	-40.5	-	-37.4	T

AIC: Akaike's Information Criterion, T: 気温, S: 日照時間, P: 降水量, 太字が AIC の最小値であり、この時が剥離強さを低下させる有用な気象因子である。

表 2. 各暴露期間のアスペン OSB の曲げ強さの低下に影響を及ぼす気象因子の AIC による選択

暴露 期間 (年)	AIC							有用な気象因子
	Step 1	Step 2			Step 3			
	T, S, P	T, P	T, S	S, P	T	S	P	
1	19.8	17.9	32.3	19.9	30.3	-	18.6	P
2	33.9	31.9	32.2	32.0	30.2	-	30.3	T
3	26.9	25.0	25.0	26.9	23.0	-	27.7	T
4	23.5	21.7	29.3	22.5	27.5	-	20.6	P
5	31.1	31.0	30.1	29.3		28.1	30.0	S

AIC: Akaike's Information Criterion, T: 気温, S: 日照時間, P: 降水量, 太字が AIC の最小値であり、この時が曲げ強さを低下させる有用な気象因子である。

3. 気象指標の地図化

CDI を用いることにより、屋外暴露したボードの強度の低下の様子を簡単に地図化できる。そこで、CDI の分布を地図化した結果を図 1 に示す。南部の太平洋側沿岸の CDI が高く、北部のそれが低かった。また沿岸部の CDI が高く、内陸部の CDI が低かった。CDI の高い地域で木質ボードを屋外で使用すると強度が低下する。おもに南部の太平洋側沿岸で強度が低下する。

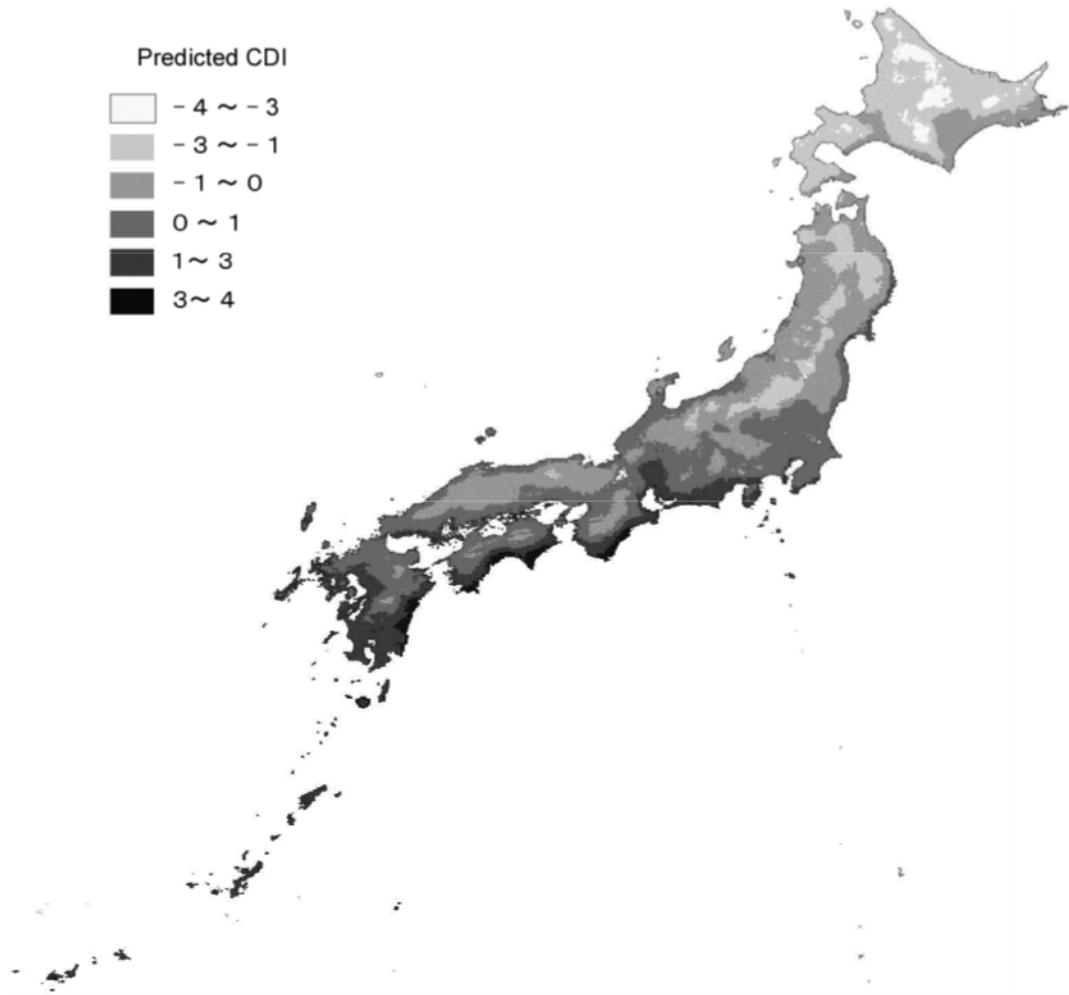


図 1. CDI の分布の地図化

4. 重回帰分析の問題点

CDI と暴露期間を説明変数，剥離強さを目的変数として重回帰分析を実施した．そして 5 年間の屋外暴露による剥離強さの低下を予測した．8 地域における測定した剥離強さ，重回帰モデルを使って予測した剥離強さをそれぞれ IB_m ， IB_{MRA} とする．旭川，つくば，都城の暴露期間と IB_m ， IB_{MRA} の関係を図 2 から 4 に示す．すべての都城は高温地域であるが，この地域の IB_m は暴露期間が増加すると 0 に収束した．一方， IB_{MRA} は直線的に減少した．ここでは，最大の暴露期間は 5 年であったが，もし暴露期間が 5 年より長くなったら，他の地域も含めて IB_{MRA} は負の値を示したであろう．負の IB は存在しないため，MRA モデルは剥離強さを予測する上で効果的でない．このように負の値を示すのは重回帰分析の線形性による．

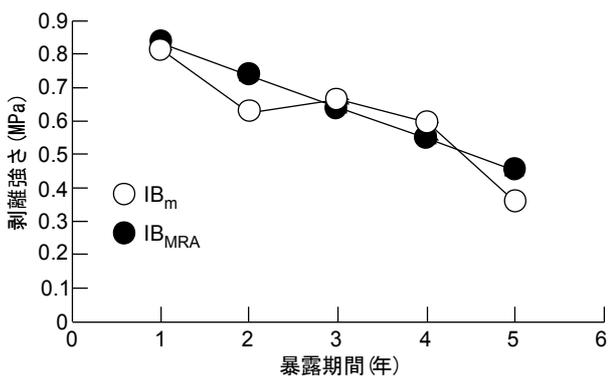


図 2. 旭川の暴露期間と IB_m, IB_{MRA} の関係

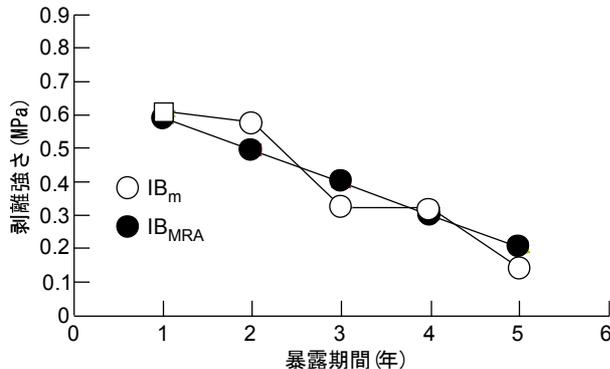
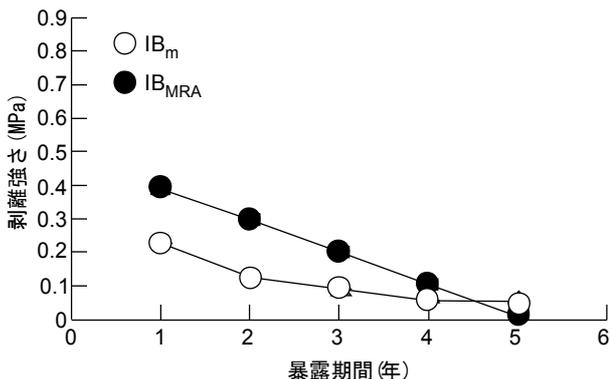


図 3. つくばの暴露期間と IB_m, IB_{MRA} の関係

図 4. 都城の暴露期間と IB_m, IB_{MRA} の関係

5. ロジスティック曲線による強度低下の予測

先述したようにボードの強度は、暴露期間が増加すれば低下するが、最終的に強度は 0 に収束する。一般的にこのような場合、強度低下と暴露期間の関係をロジスティック曲線で説明できる可能性が高い。さらに全国に暴露したボードの強度低下は暴露地の気象条件に大きな影響を受ける。つまり高温地域である都城に暴露したボードの強度は低温地域である旭川に暴露したそれより短時間で低下する。上記にロジスティック曲線で全国に屋外暴露したボードの強度低下を予測するためには気象条件も加味する必要もある。そこで、暴露期間と CDI の積を求め、その平方根（ここではこれを劣化外力とする）と強度低下の関係を求めてみた。なお、CDI は主成分得点であり、0 を中心に正負の値が混在する。つまり、CDI には負の値もある。一方、負の平方根はないので、CDI が正になるように得られた CDI 中の最小値の絶対値を各 CDI に加えた。つまり最小の CDI を 0 になるようにした。PB (PF) の剥離強さと劣化外力の関係、曲げ強さと劣化外力の関係をそれぞれ図 5, 6 に示す。図 5 より、PB (PF) の剥離強さと劣化外力の関係はロジスティック曲線で十分に説明できることが明らかとなった。これによりボードの気象条件と暴露期間、ボードの強度の関係が明確になり、ボードの耐久性が正確に予測できる。

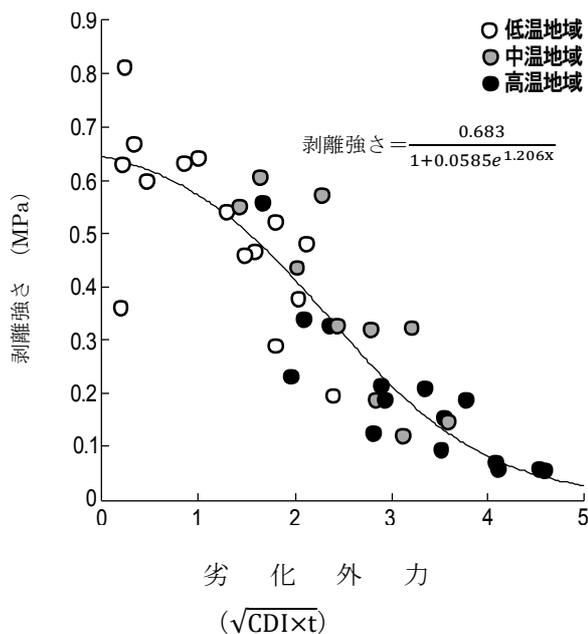


図 5. PB (PF) の剥離強さと劣化外力の関係。低温地域；旭川，能代，盛岡。中温地域；つくば，真庭。高温地域；岡山，静岡，都城。t；暴露期間。x；劣化外力

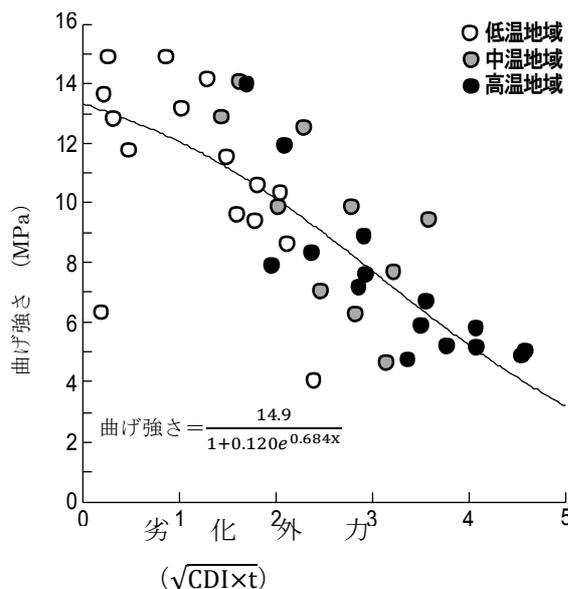


図 6. PB (PF) の曲げ強さと劣化外力の関係。低温地域；旭川，能代，盛岡。中温地域；つくば，真庭。高温地域；岡山，静岡，都城。t；暴露期間。x；劣化外力

6. 屋外暴露によるボード強度低下のメカニズム

屋外暴露により、雨水がボード内部に浸透する。これにより、ホットプレスで圧縮を受けたボード原料がスプリングバックし、接着点が崩壊する。スプリングバックによりボード内部の空隙が増加し、そこに雨水が滞留しやすくなる。これが生物劣化を誘引し、さらになるボード強度の低下につながる。そのため、屋外暴露による強度低下を防ぐには雨水のボード内部の浸透を防ぐことが有効である。また接着点の崩壊を防ぐために耐水性接着剤の使用も有効である。

7. おわりに

従来の屋外暴露の研究では、これだけ多様な気象条件化でこれだけ多くの木質ボードを使用した実験はほとんどなかった。したがって、本研究はこれらの特徴を生かして、気象条件と木質ボードの強度低下の関係を明らかにすることが重要である。またパソコンの進歩により複雑な統計解析も簡単にできるようになった。今後は本研究で得られた多様なデータを各種統計解析法で解析することが必要である。またこれらをもとに高耐久性ボードを開発することも必要である。

4. 屋内暴露の試験結果

4.1 各種水分レベルの結果

水分レベル I～V の結果を試験毎にまとめた。

水分レベル I：標準湿度（20℃・60%RH）下で静置

全供試パネルについて、恒温恒湿室で暴露し、屋外暴露と同期間を暴露し、基礎物性および釘接合試験を岩手大学において調査した。

水分レベル II：モデル住宅の床下に静置

2005 年 3 月につくば市内の住宅メーカーのモデル住宅の床下に全供試パネルを静置し、暴露 5 年後（2010 年 4 月）に試験体を採取し、基礎物性および釘接合試験を森林総合研究所において調査した。

水分レベル III：実験住宅の野地板・軒天・床下地・外壁下地に使用

岩手県林業技術センター内の実験ハウス（4.5 畳 2 部屋程度の規模）の部材として供試パネルを使用し、2003 年 11 月に着工した。床下地に OSB1 種類、野地板・軒天に全供試パネル、外壁下地に構造用 MDF を使用した。暴露開始 6 年目（2009 年）に外装材（鼻隠し：軒先の垂木先端を覆う部材）を回収し、岩手県林業技術センターにおいて性能評価試験を行った。2011 年度以降に解体して残りの試験体を採取する予定となっている。

水分レベル IV：低中湿度（20℃・40%RH）と高湿度（20℃・90%RH）下の繰り返し

全供試パネルについて、低中湿度（40%RH）3 ヶ月間と高湿度（90%RH）3 ヶ月間を 1 サイクルとした暴露試験を行った。1, 2, 3, 4, 5, 10 サイクル毎に試験体を採取し、基礎物性および釘接合試験を森林総合研究所において調査した。

水分レベル V：高湿度（20℃・90%RH）

全供試パネルについて、高湿度（90%RH）下で暴露した。暴露開始後 3, 6, 12, 24, 36, 60 ヶ月毎に試験体を採取し、基礎物性および釘接合試験を森林総合研究所において調査した。

4.1.1 室内最長 10 年放置（水分レベル I）

岩手大学 関野 登

1. 試験体の放置環境

曲げ試験片および IB 試験片採取用の尺角パネル、釘打ち済みの試験片（側面抵抗、貫通抵抗、一面せん断）が写真 1 に示すような状態で室内に放置された（岩手大学農学部 2 号館恒温恒湿室；20℃・60%RH）。放置開始は 2004 年 10 月であり、約 6 年後の 2010 年 8 月および約 10 年後の 2014 年 6 月に物性試験が行われた。ただし、暴露 10 年目は尺角パネルが紛失していたため、試験項目は、釘側面抵抗、釘頭貫通抵抗、IB（釘一面せん断用試験片から IB 試験片を採取）の 3 種類とした。



写真 1 試験体放置の様子（左：尺角パネル，右：釘接合試験片）

2. 温湿度条件

当該恒温恒湿室の温湿度は試験体放置 6 年目まで、原則 20℃60% RH で運転されたが、夏季（6 月～9 月）には人体への影響や節電等の条件を考慮して 24℃に設定され、また、年に 1～2 回の頻度で最長 1 か月間、空調の不具合が発生し、その際の湿度変動は 50%～70%RH であった。一方、放置 6 年目から 10 年目は温湿度調整を行っておらず、成り行きで推移した。そこで、2014 年 6 月～12 月の 7 ヶ月間の温湿度測定を行ない、表 1 に示す結果を得た。表 2 は当該室内の温湿度条件から推測した試験体の含水率年内変動の例である（カッコ内は含水率変化幅）

表 1 試験体の温湿度環境

	平均温度(°C)	平均湿度(%)
6月上旬	24.1	51.4
6月中旬	23.8	57.8
6月下旬	24.9	54.4
7月上旬	26.5	57.9
7月中旬	27.0	59.4
7月下旬	27.4	55.6
8月上旬	27.6	56.8
8月中旬	25.9	60.1
8月下旬	25.6	59.1
9月上旬	25.0	56.7
9月中旬	24.0	48.8
9月下旬	22.7	45.9
10月上旬	22.1	43.1
10月中旬	20.9	45.1
10月下旬	19.5	47.0
11月上旬	17.5	43.1
11月中旬	16.4	38.5
11月下旬	16.3	40.0
12月上旬	13.8	37.2
12月中旬	11.4	33.2
12月下旬	9.9	33.8

表 2 試験体の年内含水率変動の例 (%)

	0～6 年	6～10 年	0～10 年
OSB (A)	6.7 ～ 11.2 (4.5)	6.4～7.9 (1.5)	6.4 ～ 11.2 (4.8)
PB (PF)	8.5 ～ 12.3 (3.8)	8.1～9.8 (1.7)	8.1 ～ 12.3 (4.2)

3. 暴露 6 年目の強度劣化

暴露 6 年目の曲げ性能およびその残存率を表 2 に、IB とその残存率を表 3 に示す。まず、曲げ性能の残存率に着目するが、比例限度はその決定方法が測定者によって初期値と異なる可能性があるため、ここでは解析対象から除外す

る。合板の曲げ性能の残存率は6~9割の範囲であり、初期値に対して1~4割りの低下となるが、合板特有の単板密度のばらつきにより当該暴露試験体の初期強度自体が元々低かった可能性がある。OSBではMORおよびMOE残存率は8~9割であるが、これは厚さ膨張が3~5%発生した影響が含まれており、初期厚さ基準で計算したLCCやBRでは6%以内の低下となっている。PB (PF) の性能劣化は1割未満、PB (MDI)、MDFでは劣化は認められなかった。次にIB残存率に着目すると、合板では1割未満の低下、PBでは1割程度の低下、そしてMDFでは低下傾向は認められなかった。これに対してアスペンOSBは4割程度低下したが、厚さ膨張に起因する接着低下に加え、破断面に脆弱なストランドが観察されたことより、当該サンプル特有の結果である可能性もある。

表3 屋内暴露6年目における曲げ性能 (n=8)

分類	試験時含水率 (%)	厚さ変化率 (%)	比例限度	MOR	MOE	LCC	BR
			Ave±std (MPa) 残存率 (%)	Ave±std (MPa) 残存率 (%)	Ave±std (GPa) 残存率 (%)	Ave±std (MPa) 残存率 (%)	Ave±std (GPa) 残存率 (%)
合板12	7.6	1.3	26.4±11.9 70	51.7±16.3 75	6.19±2.15 85	53.0±16.6 77	6.42±2.22 89
合板9	7.9	3.0	29.8±10.2 65	45.8±20.1 60	7.02±2.28 72	48.4±20.8 63	7.63±2.35 79
アスペンOSB	7.0	5.1	21.0±4.2 72	34.0±5.7 87	4.35±0.61 83	37.7±6.5 96	5.05±0.74 96
パインOSB	6.6	3.3	20.1±1.1 75	33.3±5.9 91	4.24±0.47 85	35.6±6.3 97	4.67±0.50 94
PB (PF)	6.8	0.9	10.3±1.3 60	19.4±2.2 96	3.26±0.34 91	19.8±2.4 98	3.35±0.35 93
PB (MDI)	6.6	0.7	15.3±1.6 72	31.6±2.6 110	4.22±0.61 103	32.0±2.4 111	4.32±0.63 105
MDF9	6.1	0.5	18.0±2.4 87	36.7±1.0 102	3.37±0.16 106	37.1±1.1 103	3.42±0.17 108
MDF12	5.5	0.8	27.9±3.4 93	47.0±4.4 104	4.80±0.51 114	47.8±4.4 105	4.92±0.53 116

表4 屋内暴露6年目におけるはく離強度

分類	中央部 (n=3)			側端面付近 (n=10)		
	IB; Ave±std (MPa)	残存率 (%)	厚さ変化率 Ave±std (%)	IB; Ave±std (MPa)	残存率 (%)	厚さ変化率 Ave±std (%)
合板12	1.03±0.09	89	1.3±0.5	1.07±0.36	93	1.2±0.7
合板9	1.27±0.31	93	1.4±0.5	1.34±0.33	98	2.4±0.8
アスペンOSB	0.33±0.16	60	6.0±1.3	0.34±0.11	61	7.4±1.4
パインOSB	0.72±0.13	112	3.3±0.5	0.53±0.11	83	5.9±3.3
PB (PF)	0.70±0.10	84	1.3±0.3	0.73±0.07	87	3.8±4.8
PB (MDI)	2.32±0.14	106	1.1±0.3	1.49±0.18	89	1.5±0.5
MDF9	1.42±0.17	116	0.8±0.1	1.27±0.19	104	0.8±0.2
MDF12	0.66±0.05	107	1.1±0.1	0.80±0.10	129	1.1±0.1

釘側面抵抗と釘頭貫通抵抗の測定結果を表5に示す。いずれのパネルも残存率は概ね9割以上であった。表6は一面せん断試験結果を示すが、相対変位0.4mmにおける荷重に約1割の低下が見られるパネルもあるが、相対変位1.0mm、2.0mmにおける耐力に低下は見られなかった。また、最大荷重はすべて初期値以上を示したことより、暴露6年では釘接合性能の劣化は認められないと判断できる。

表5 屋内暴露6年目の釘身側面抵抗と釘頭貫通抵抗

分類	釘身側面抵抗 (n=12)		釘頭貫通抵抗 (n=12)	
	最大荷重 Ave±std (kN) 残存率 (%)	厚さ変化率 Ave±std (%)	最大荷重 Ave±std (kN) 残存率 (%)	厚さ変化率 Ave±std (%)
合板 12 (//)	2.39±0.35 104	-0.8±3.4	2.30±0.37 111	-1.3±3.2
合板 9 (//)	1.65±0.38 119	2.9±1.2	1.61±0.27 104	2.7±1.6
アスペン OSB (//)	1.80±0.56 100	7.6±2.6	1.56±0.28 99	7.6±1.6
パイン OSB (//)	1.82±0.56 88	4.9±2.4	1.77±0.42 105	4.4±2.4
PB (PF)	1.63±0.11 94	2.2±0.8	1.71±0.12 101	1.5±0.4
PB (MDI)	3.07±0.47 111	1.9±0.5	2.72±0.19 101	1.4±0.6
MDF9	1.36±0.14 89	0.6±0.4	1.51±0.12 99	0.1±0.4
MDF12	2.54±0.21 107	1.7±0.6	1.81±0.12 98	1.1±0.3

表6 屋内暴露6年目における釘一面せん断性能 (n=6)

分類	荷重 (釘1本当たり)					厚さ変化率
	相対変位			最大荷重		
	0.4mm	1.0mm	2.0mm	Ave±std (kN) 残存率 (%)	破壊 モード*	
	Ave±std (kN) 残存率 (%)	Ave±std (kN) 残存率 (%)	Ave±std (kN) 残存率 (%)			Ave±std (%)
合板 12 (//)	0.66±0.10 99	0.90±0.10 110	1.07±0.11 113	1.76±0.22 148	2:4	-0.1±1.3
合板 9 (//)	0.56±0.07 87	0.77±0.07 95	0.93±0.07 102	1.52±0.12 148	0:6	3.7±1.3
アスペン OSB (//)	0.59±0.09 113	0.82±0.15 123	0.95±0.12 113	1.31±0.11 132	0:6	5.4±2.4
パイン OSB (//)	0.51±0.04 88	0.74±0.07 101	0.89±0.08 107	1.25±0.20 124	0:6	2.9±1.3
PB (PF)	0.53±0.06 90	0.77±0.08 100	0.98±0.08 110	1.16±0.12 115	0:6	1.8±0.2
PB (MDI)	0.71±0.12 100	0.98±0.11 110	1.17±0.08 116	1.64±0.14 136	2:4	1.3±0.3
MDF9	0.54±0.05 93	0.76±0.05 107	0.88±0.06 113	1.25±0.14 142	0:6	0.3±0.3
MDF12	0.67±0.15 123	0.87±0.09 119	1.02±0.06 121	1.47±0.14 148	0:6	1.0±0.3

*破壊モードは、試験体数の比=(釘の引き抜け):(パネル端部破壊)で表示。

4. 暴露10年目の強度劣化

表7に暴露10年目のIB試験結果を示す。初期値に対して有意なIB低下が認められたパネルは、アスペン OSB, PB (PF), PB (MDI) の3種類であった。アスペン OSBのIB低下は3割程度、PB (PF)とPB (MDI)は2割程度であった。アスペン OSBの6年目のIB低下は4割であり、これを個体差の影響もあると考察したが、10年目の低下が3割程度であったことを加味すると6年目である程度のIB劣化が生じていたものと推測される。一方、PBは6年目で1割程度のIB低下が認められたが、10年目では2割程度と若干の劣化進行が伺える。

次にIBの劣化メカニズムを厚さ変化の観点から考察してみる。アスペン OSB, PB (PF), PB (MDI)について、密度とIB残存率の関係を暴露前と10年目で比較したのが図1である。PBは厚さ変化率がどちらも2%以内であり暴

露前に対して密度低下は見られないが、IBは有意に低下した。吸湿応答の速いコア部では膨潤収縮応力の発生の程度が表層部より大きいと考えられ、IBの測定対象となるコア部の接着強度の低下として現れたと解釈できる。アスペンOSBでは、これに厚さ膨張に起因する密度低下が加わり、そのプロセスでPB以上に接着強度の低下を招いたと考えられる。

表7 屋内暴露10年目の厚さ変化率とIB (n=12)

分類	密度 (g/cm ³)	厚さ変化率 (%)	IB (MPa) (Ave±std)	IB 残存率 (%)
アスペン OSB	0.616	8.20	0.40** ± 0.11	71
パイン OSB	0.671	3.20	0.57 ± 0.11	90
PB (PF)	0.754	1.80	0.65** ± 0.06	78
PB (MDI)	0.801	1.60	1.89** ± 0.25	86
MDF12	0.763	1.40	0.65 ± 0.09	105
合板 12	0.645	0.80	1.13 ± 0.38	98

**...有意水準 1%で初期値有意差有り

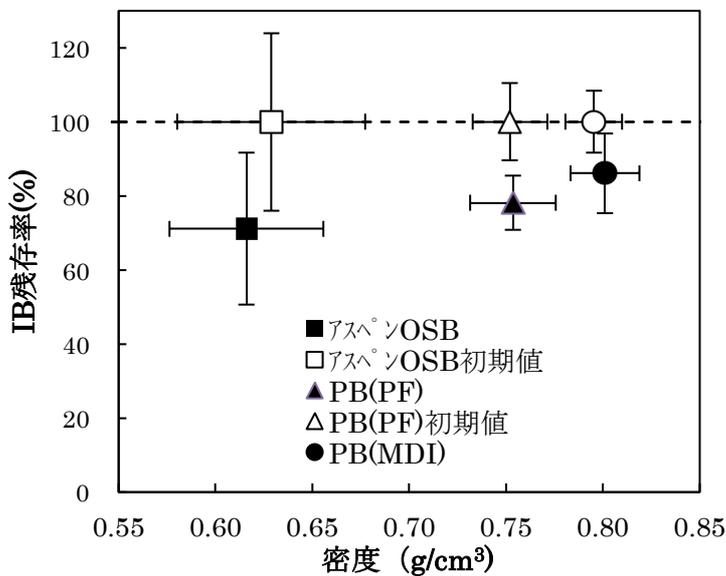


図1 暴露10年目のパネル密度とIB残存率の関係 (黒塗りプロット: n=12, 白抜きプロット: n=30)

注) プロットのエラーバーは標準偏差を示す

表8に釘側面抵抗と貫通抵抗の測定結果を示す。なお、同一試験片に対して側面抵抗と貫通抵抗の両方を測定しているため、試験体の平均密度は共通となっている。10年放置後と初期値を比較して統計的に有意な低下が認められたパネルは、側面抵抗、貫通抵抗ともにPB(PF)のみであった。ただし、低下の程度は側面抵抗で1割程度、貫通抵抗で5分程度と比較的小さかった。

表 8 室内 10 年放置後の釘身側面抵抗 (LNR) および釘頭貫通抵抗 (NHPT) (n=12)

分類	密度	厚さ変化率	LNR [※] Ave ± std (kN)	NHPT Ave ± std (kN)
	(g/cm ³)	(%)	残存率(%)	残存率(%)
アスペンOSB	0.610	7.7	1.70 ± 0.46 94	1.54 ± 0.22 97
パインOSB	0.663	4.4	2.04 ± 0.63 98	1.61 ± 0.36 95
PB(PF)	0.744	1.8	1.54* ± 0.17 88	1.59* ± 0.10 94
PB(MDI)	0.793	1.7	2.90 ± 0.35 105	2.56 ± 0.16 95
MDF12	0.756	1.1	2.39 ± 0.31 100	1.78 ± 0.13 96
合板12	0.634	1.0	2.50 ± 0.38 109	2.14 ± 0.28 103

*…有意水準 5%で初期値と有意差有り ***…有意水準 1%で初期値有意差有り

※OSB と合板 12 は、表層繊維およびストランドの配向方向が負荷方向と平行

5. まとめ

本実験では、最長 10 年の室内放置における曲げ性能、剥離強度 (IB)、釘接合性能の劣化の有無とその程度を調べた。ただし、曲げ性能は放置 6 年までである。放置期間におけるパネルの含水率は概ね 8~12% で変動幅は約 4% と推測された。このような水分履歴と時間経過を受けた場合、強度指標の基本となる IB は、合板や MDF では劣化が認められないものの、PB や耐水性の高いパイン OSB では 1~2 割の低下、相対的に厚さ膨張の大きいアスペン OSB では 3 割程度の低下となった。一方、構造用として重要な釘接合性能の基本的な要素試験である側面抵抗と貫通抵抗は、初期値に対して有意な低下を示さないパネルが多く、低下が認められたパネル (PB (PF)) でも、低下の程度は 1 割程度以下と小さかった。IB がある程度低下しても、構造耐力上重要な釘側面抵抗や釘頭貫通抵抗はほとんど劣化しないという興味深い結果が得られた。なお、曲げ性能は 6 年目のデータ (合板を除く) から判断する限り、2 割未満の低下であったが、他の屋内暴露試験の結果を加味して今後さらに検討を深める必要がある。

4.1.2 水分レベル II に関する所見

森林総合研究所：高麗 秀昭

1. はじめに

木質ボードの実際の使用環境下での耐久性を調べるために、木質ボードは床下に設置してその強度低下を測定した。木質ボードは水分の吸放出により膨張・収縮を繰り返す。これにより接着点が崩壊し、ボードの強度が低下する。つまり高相対湿度と低相対湿度の環境が繰り返される場所であるが、実際の使用環境下は床下がこの環境に適合すると考えられる。そこで木質ボードを床下に設置した。

2. 水分レベル II に設置したボードの強度低下

2.1 設置条件

つくば市内のモデルハウスの床下にボードを5年間設置した(図1)。この床下の1年間(2005年4月から2006年3月)の気温と湿度を図2に示す。暴露期間は5年であるが、この気温と湿度が繰り返されたと考えられる。

2.2 曲げ強さと剝離強さ

表1に水分レベル II に5年間設置した曲げ強さと剝離強さ、釘頭貫通力、釘側面抵抗力を示す。アスペン OSB の曲げ強さの残存率が71.4%、剝離強さのそれが64.1%に低下したが、他のボードはほとんど低下しなかった。この程度の湿度と温度が繰り返される床下ボードにおいてもアスペン OSB 以外は大きな強度の低下がないことが示された。一方、アスペン OSB は強度が低下したので、アスペン OSB をこのような環境で使用するときには注意が必要である。

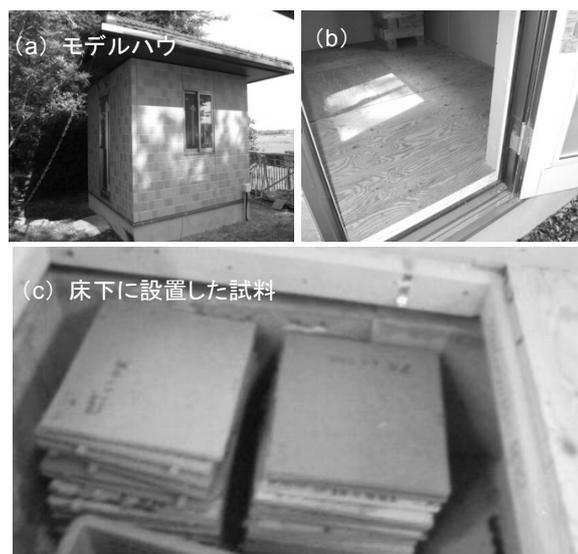


図1 モデルハウス床下の設置状況

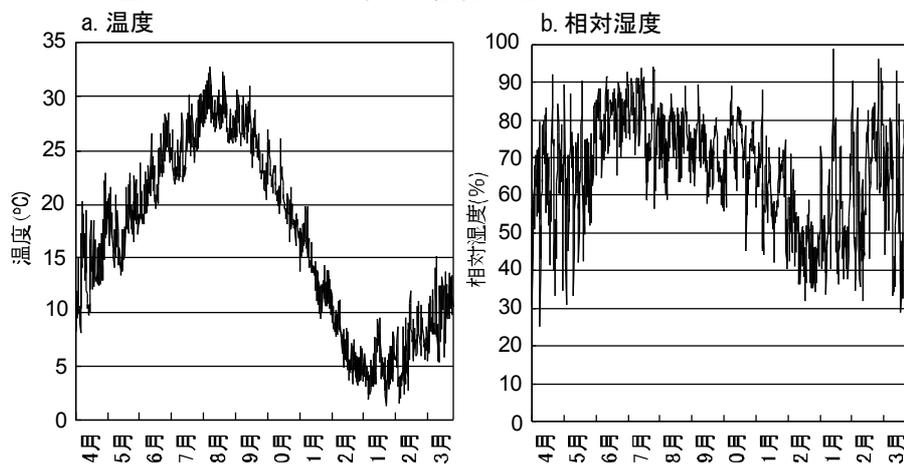


図2 床下の1年間(2005年4月から2006年3月)の気温と湿度

表 1 床下に設置した木質ボードの曲げ強さと剝離強さ, 釘頭貫通力, 釘側面抵抗力

ボード名	曲げ強さ		剝離強さ		釘頭貫通力		釘側面抵抗力	
	平均 (SD) (MPa)	残存率 (%)	平均 (SD) (MPa)	残存率 (%)	平均 (SD) (kN)	残存 率 (%)	平均 (SD) (kN)	残存 率 (%)
PB (PF)	19.4 (4.93)	95.6	0.74 (0.08)	89.7	1.62 (0.14)	95.4	1.79 (0.21)	100
PB (MD)	29.2 (2.49)	100	2.03 (0.14)	92.8	2.71 (0.24)	100	3.02 (0.29)	100
アスペン OSB	28.0 (4.74)	71.4	0.359 (0.09)	64.1	1.60 (0.44)	100	1.83 (0.49)	87.2
パイン OSB	35.0 (8.66)	95.1	0.59 (0.18)	92.3	1.60 (0.21)	94.5	2.33 (0.36)	100
MDF9	35.0 (3.10)	96.9	1.33 (0.13)	100	1.46 (0.15)	95.2	1.58 (0.08)	100
MDF12	45.8 (2.98)	100	0.78 (0.13)	100	1.84 (0.17)	99.4	2.49 (0.26)	100

SD ; 標準偏差. s

4.1.3 屋根鼻隠しへの6年暴露

岩手大学 関野 登

1. はじめに

屋内暴露試験は原則として日光や風雨が直接作用しない箇所への試験体設置であるが、本項で扱う試験結果は岩手県林業技術センターに建設した実験住宅（写真1）の屋根の鼻隠し（写真2）としての試験体暴露である。すなわち、劣化外力は屋外暴露ほど強くないものの若干の雨水や紫外線が作用するため、屋外暴露と屋内暴露の中間的な外力が作用するケースとなる。6年間使用した鼻隠しを回収し、基礎物性試験（曲げ、剥離抵抗）および各種の釘接合試験（側面抵抗、貫通抵抗、一面せん断）を行った。得られた結果を分析するとともに、その結果を隣接する屋外暴露試験架台で6年間暴露された結果と比較した。



写真1 建築中の実験住宅



写真2 鼻隠しの施工状況

2. 鼻隠し6年暴露

(1) 含水率変動範囲の推定

暴露中に降雨が鼻隠し材に直接あたると含水率に影響を及ぼすが、ここでは吸放湿による含水率変化のほうが大きいと考え、含水率の変動範囲の概略値を暴露期間中の温湿度から推定してみる。ただし、含水率は鼻隠し材の平均含水率とし、これが旬平均の温湿度における平衡含水率に等しいと仮定して算出した。また、平衡含水率は、吸着等温線と脱着等温線の平均値を用いた（木材学会誌 45 (3), 237-243, 1999）。表1にその結果を示す。推定された含水率の変動幅は、合板で5.7%、OSBで6.9%、PB (PF)で5.1%、MDFで3.7%となった。すなわち、実験住宅の鼻隠し材では概ね4~7%の含水率変動を受けたと推定される。なお、PB (MDI)は接着剤の吸湿性が乏しいため、PB (PF)よりも含水率変動範囲が若干狭いものと考えられる。

表1 暴露期間中の試験体含水率の変動範囲の推定

平衡含水率を最小または最大とする温湿度条件 (旬平均気温;℃, 旬平均相対湿度;%)			左表斜体の温湿度における平衡含水率	
暴露年	最小	最大	合板	10.7%⇔16.4%
2004	6.3, 56, (3月下)	20.7, 87, (7月中)	OSB	8.7%⇔15.6%
2005	12.0, 57, (5月上)	18.1, 85, (7月上)	PB (PF)	10.5%⇔15.6%
2006	2.8, 62, (3月下)	19.7, 86, (7月上)	PB (MDI)	—
2007	0.9, 61, (2月下)	22.5, 81, (7月中)	MDF	9.0%⇔12.7%
2008	11.4, 53, (4月下)	3.5, 84, (12月上)		
2009	16.3, 57, (5月上)	22.0, 84, (7月下)		

(2) 材面の観察結果および重量、厚さ変化

表2は目視による観察、重量変化率、厚さ変化率等を示す。いずれのパネルも退色・変色は認められたが、ひび割れや離等の損傷はなかった。重量変化は合板とOSBで2%未満の増加となり、PBとMDFで最大3.5%の減少となった。合板の重量増加は汚れの付着で、PB (PF)およびMDFにみられる重量減少は雨水による木材成分の溶脱によるものと推測される。また、厚さ変化率は1.3%から13.2%の範囲にあり、とくにアスペンOSB下端部では著しい厚さ増加となった。このような厚さ膨張に起因して下端部の密度は0.02~0.07 g/m³だけ減少した。また、鼻隠し材はい

ずれのパネルも南北の軒先の両方から回収した。南北の暴露の差は、厚さ変化率及び目視による観察結果のいずれにおいても認められなかった。

表2 供試サンプルの観察結果、重量変化率等（MDF（構造C社；9mm）は盛岡オプション）

分類	表面（外気に接する）の観察結果	重量変化率 （%）	厚さ変化率 （注） （%） n=10	密度の変化 （g/cm ³ ）
合板 12	日照面全体に黒いカビ状の汚れが付着しているが、ひび割れ、はく離なし	1.9	1.3	0.64→0.65 (+0.01)
アスペン OSB	日照面全体で灰色に変色し、端部にふくれがあるが、腐朽、はく離なし	0.2	13.2	0.64→0.57 (-0.07)
パイン OSB		0.6	4.5	0.67→0.64 (-0.02)
PB (PF)	日照面が灰色に変色し、表面が荒れているが、腐朽、亀裂なし	-2.5	3.4	0.75→0.71 (-0.04)
PB (MDI)		0.0	4.4	0.80→0.77 (-0.03)
MDF12	いずれも表面灰食化、9mmは軽い反りが見られる	-3.5	2.9	0.76→0.71 (-0.05)
MDF9		-2.9	4.5	0.72→0.67 (-0.05)
MDF（構造C社）		-2.5	4.0	0.81→0.75 (-0.06)

注）鼻隠し材の厚さ測定は下端の10箇所で行った。

（3）曲げ性能

表3に曲げ性能の試験結果を示す（LCC、BRはそれぞれ、初期厚さを用いて算出したMOR、MOE）。ただし、試験体数はn=3と少ない。MOR低下はPB（PF）で約2割と大きいですが、他のパネルでは1割未満であった。曲げ性能の劣化が少ない理由として、試験体が鼻隠し上部から採取されており、雨水が直接あたりにくく、厚さ膨張も下端部に比べ少ないことが挙げられる（表2と表3を比較）。ただし、アスペンOSBでは厚さ膨張が約10%生じており、MORやLCCは低下しないものの、約3割のMOE低下（約1割のBR低下）をもたらした。また、PB（PF）の厚さ膨張はわずかであるが約2割のMOR低下となっており、これは風雨による表面劣化の影響と思われる。

表3 供試サンプルの曲げ性能の劣化（n=3）

分類	試験時 含水率 （%）	厚さ変化 率（%）	比例限度応力	MOR	MOE	LCC	BR
			Ave±std （MPa） 残存率（%）	Ave±std （MP） 残存率（%）	Ave±std （GPa） 残存率（%）	Ave±std （MPa） 残存率（%）	Ave±std （GPa） 残存率（%）
合板 12 （⊥）	9.5	-1.0	18.4±0.9 98	45.7±6.6 128	2.81±0.4 98	44.7±6.2 125	2.7±0.3 95
アスペン OSB（⊥）	8.4	9.6	9.7±3.7 74	17.8±3.6 97	1.4±0.4 68	21.4±4.4 117	1.8±0.6 89
パイン OSB（⊥）	8.5	3.1	15.1±5.8 80	28.2±6.3 103	3.0±0.3 91	30.1±7.5 110	3.2±0.5 100
PB（PF）	8.9	0.5	9.9±1.2 57	16.2±0.6 80	2.9±0.1 81	16.3±0.7 81	3.0±0.1 82
PB （MDI）	8.4	2.1	16.4±3.3 78	29.7±2.3 103	3.75±0.21 91	30.9±2.1 107	4.0±0.2 97
MDF12	7.3	0.5	22.5±1.5 75	42.7±3.1 94	3.9±0.4 91	43.2±3.5 95	3.9±0.4 93
MDF9	7.3	1.2	15.0±1.9 73	32.2±1.9 89	2.9±0.1 92	32.9±1.9 91	3.0±0.2 95

(4) 釘側面抵抗, 釘頭貫通抵抗及びはく離強度 (IB) の劣化

釘側面抵抗, 釘頭貫通抵抗および IB 試験結果を表 4 に示す. 釘側面抵抗はアスペン OSB, PB (PF), PB (MDI) で約 2 割の低下がみられたが, 他のパネルは 9 割程度の強度を保持していた. また, 釘頭貫通抵抗はすべてのパネルが約 9 割以上の残存率を示した. 一方, IB は試験体が鼻隠し端部を含む場合と含まない場合の 2 通りで測定したが, 端部を含む方が残存率は低くなる傾向が認められた. 特にアスペン OSB の端部 IB は残存率が 4 割程度となり, 非端部 IB の 6 割保持に対して大きく低下した. 厚さ膨張も約 12% と大きいことから下端面からの水分侵入が要因と考えられる.

表4 釘側面抵抗, 釘頭貫通抵抗およびはく離強度 (IB)

分類	釘側面抵抗 (n=9)		釘頭貫通 (n=8)		IB (端部含む; n=9)		IB (非端部; n=9)	
	最大荷重 Ave±std (kN) 残存率 (%)	厚さ変化率 Ave ± std (%)	最大荷重 Ave±std(kN) 残存率 (%)	厚さ変化率 Ave±std (%)	Ave±std (MPa) (残存率 (%))	厚さ変化率 (%)	Ave±std (MPa) (残存率 (%))	厚さ変化率 (%)
合板 12 (上)	2.21±0.21 93 (75)	-0.7±1.3 (1.4)	2.46±0.24 118 (108)	0.0±0.4 (2.0)	1.00±0.31 87 (102)	-1.2±0.8 (1.9)	0.96±0.34 83	-0.4±0.6
アスペン OSB (上)	1.68±0.37 81 (25)	18.5±1.7 (29.5)	1.86±0.36 118 (38)	15.6±1.6 (28.8)	0.24±0.06 43 (10)	13.4±0.7 (33.1)	0.34±0.07 61	11.8±0.7
パイン OSB (上)	1.79±0.35 90 (-)	5.7±1.1 (-)	1.62±0.29 96 (-)	5.0±1.1 (-)	0.48±0.13 75 (-)	3.7±1.6 (-)	0.56±0.19 88	2.4±1.0
PB (PF)	1.39±0.07 80 (28)	2.8±0.4 (29.8)	1.51±0.07 89 (77)	2.6±0.1 (14.6)	0.55±0.09 67 (12)	1.9±0.1 (26.7)	0.66±0.06 79	1.1±0.3
PB (MDI)	2.16±0.18 78 (70)	5.7±0.4 (6.7)	2.81±0.23 104 (95)	3.5±0.0 (5.0)	1.39±0.35 64 (58)	4.4±0.3 (9.9)	1.69±0.20 77	3.0±0.2
MDF12	2.34±0.24 95 (-)	0.4±0.5 (-)	1.80±0.13 97 (-)	1.0±0.3 (-)	0.73±0.25 117 (-)	0.8±0.3 (-)	0.81±0.15 130	0.7±0.5
MDF9	1.19±0.11 86 (75)	0.9±0.4 (3.1)	1.44±0.07 94 (101)	2.1±0.2 (1.6)	1.22±0.13 100 (106)	1.3±0.3 (2.0)	1.24±0.20 102	1.3±0.4
MDF9 (構造 C 社)	1.76±0.15 92 (59)	2.4±0.2 (6.4)	1.49±0.04 87 (86)	1.8±0.6 (6.0)	(26)	(8.7)	0.98±0.05 * 63	1.7±0.1

(-) は屋外暴露 6 年 (アスペン OSB, PB (PF) 及び MDF9 (構造 C 社)) または 5 年の値

表5 釘一面せん断性能の劣化 (最大荷重, 厚さ変化のカッコ内数値は屋外暴露の値)

分類	鼻隠し (n=6)					
	相対変位			最大荷重		厚さ変化率
	0.4mm	1.0mm	2.0mm	Ave±std (kN) 残存率 (%)	破壊モード*	
	Ave±std (kN) 残存率 (%)	Ave±std (kN) 残存率 (%)	Ave±std (kN) 残存率 (%)			
合板 12 (上)	0.60±0.08 115	0.76±0.09 113	0.89±0.10 119	1.18±0.17 99 (85)	6 : 0	0.2±0.5 (-0.9)
アスペン OSB (上)	0.52±0.10 86	0.64±0.10 85	0.73±0.11 88	0.89±0.16 86 (57)	3 : 3	15.0±0.7 (28.2)
パイン OSB (上)	0.55±0.04 93	0.70±0.05 91	0.82±0.06 92	1.14±0.14 113 (-)	2 : 4	5.0±0.9 (-)
PB (PF)	0.54±0.11 110	0.70±0.12 99	0.80±0.13 102	0.89±0.16 97 (53)	1 : 5	2.5±0.1 (27.7)
PB (MDI)	0.6±0.06 114	0.78±0.04 116	0.91±0.05 122	1.13±0.23 93 (75)	4 : 2	3.5±0.2 (9.3)
MDF12	0.59±0.06 99	0.77±0.07 102	0.90±0.09 108	1.19±0.18 115 (-)	2 : 4	1.2±0.2 (-)
MDF9	0.55±0.07 94	0.70±0.06 90	0.79±0.06 89	0.94±0.12 93 (89)	4 : 2	2.1±0.1 (4.0)
MDF9 (構造 C 社)	0.58±0.05 119	0.75±0.05 113	0.90±0.06 113	1.04±0.12 113 (98)	3 : 3	2.2±0.2 (11.3)

注) 破壊モードは、試験体数の比 = (釘の引き抜け) : (パネル端部破壊) で表示

(5) 釘一面せん断性能

釘一面せん断性能の試験結果を表 5 に示す。アスペン OSB および MDF9 で約 1 割の初期剛性低下および最大耐力低下が認められたが、他のパネルでは劣化は認められなかった。一方、屋外暴露での残存率と比較すると鼻隠しの残存率は 4~45% だけ高く、釘側面抵抗と同様、風雨がパネル表裏面に直接作用する屋外暴露と、片面のみに比較的穏やかに作用する鼻隠しの部位では、劣化環境がだいぶ異なると言える。

この事を 6 つの強度指標から検討したのが図 1 である。暴露 6 年で生じる物性低下は風雨や紫外線影響がより強い屋外暴露の方が鼻隠しの部位よりも圧倒的に大きいことが見て取れる。ただし、合板や PB (MDI) の IB では、屋外暴露と鼻隠し部位で差が無く、これは IB が表面からの劣化を受け難い物性であると同時にパネルの耐水性の高さにも起因している。

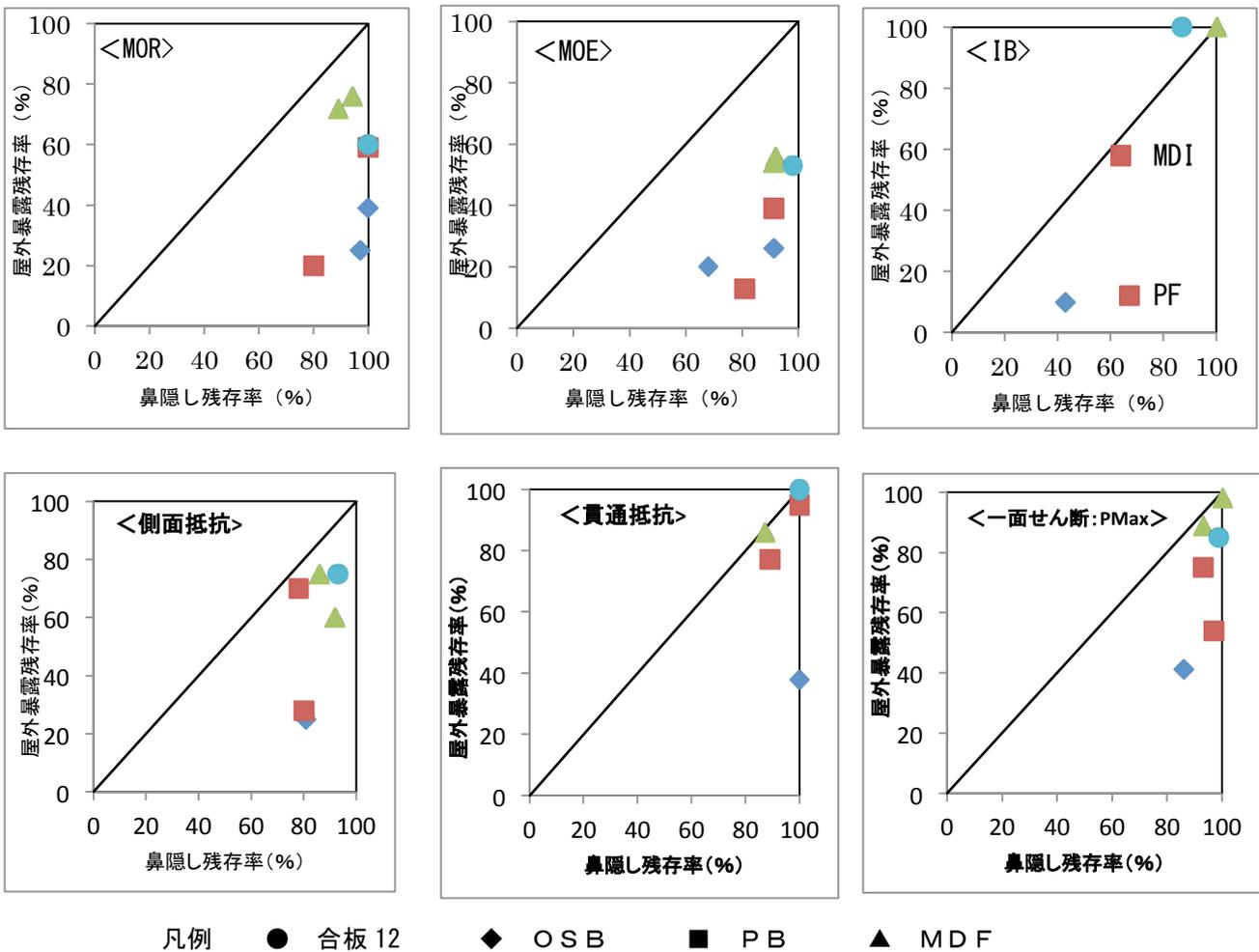


図 1 鼻隠し材と屋外暴露の性能劣化の比較 (6 年経過)

1. はじめに

前項（4.1.3）で示した実験住宅の野地板および軒天として供試したパネルを 2013 年 6 月に回収した。使用期間は 9 年 7 ヶ月である。試験パネルの回収に際しては、釘周囲部を損傷させないように留意し、20°C60%RH で養生後に各種試験体を採取し、曲げ試験、IB 試験、釘側面抵抗試験、釘頭貫通抵抗試験を行った。なお、釘試験に際しては、施工時の釘穴を再利用した。

2. 暴露期間中の含水率変動範囲の推定

実験住宅の軒下および小屋裏の温湿度が 2012 年 12 月から 2014 年 1 月までの 14 ヶ月測定された。図 1 はそれらの月平均温度と月平均相対湿度を示すが、野地板および軒天の年間の含水率変動範囲を図 1 に対応する平衡含水率の変動範囲として求めた。

吸着等温線が既知であるアスペン OSB と PB (PF) について求めた含水率変動範囲は、以下のとおりである。

アスペン OSB

野地板： 5.3%～11.2% （変動幅：5.9%）

軒天： 9.1%～17.6% （変動幅：8.5%）

PB (PF)

野地板： 7.3%～12.3% （変動幅：5.0%）

軒天： 10.9%～17.2% （変動幅：6.3%）

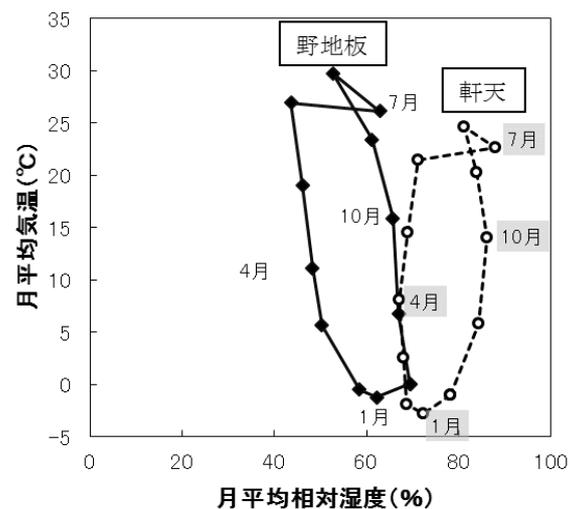


図 1 実験住宅の小屋裏および軒天付近の温湿度

3. 曲げ性能と剥離強度

表 1 に曲げ試験の結果を示す。野地板、軒天はいずれも南北の屋根および軒下の両方から採取したが、それぞれ南北で試験結果に有意差が認められなかったため、南北合わせた結果を記載している。比例限度応力、MOR、MOE は試験時の厚さを用いて算出した。使用部位が野地板の場合、初期値と比べて PB (PF) の比例限度で 1 割強、PB (MDI) の比例限度で 1 割弱の有意な低下が確認されたが、その他のパネルでは曲げ性能の有意な低下は認められなかった。一方、使用部位が軒天の場合、初期値と比べて有意に性能低下を示したのは、アスペン OSB の比例限度、MOR、MOE で 2 割程度の低下、および合板 12 の MOE で 1 割強の低下であった。含水率変化が野地板に比べて大きいため、野地板よりも劣化の発生が増えている。アスペン OSB の劣化要因として、厚さ変化率が約 6%と比較的大きく、それに伴い低密度化 ($0.64\text{g/cm}^3 \rightarrow 0.59\text{g/cm}^3$) も生じていることから、使用中の接着点の破壊進行が考えられる。

表 2 に剥離強度 (IB) の試験結果を示す。曲げ性能と同様に、試験体は南北の屋根および軒下の両方から採取したが、試験結果は両者で有意差がなかったため、合算データで示してある。また、試験体はパネル縁端部を含む試験体 (端部) と含まない試験体 (非端部) に区別して解析した。結果を概観すると、アスペン OSB や PB (PF) では野地板の非端部を除き、2 割程度の有意な IB 低下が認められた。PB (MDI) では 1 割程度の有意な IB 低下、MDF では野地板端部のみで 1 割程度の有意な IB 低下となったが、合板やパイン OSB では有意な IB 低下が認められないケースが多かった。図 2 は、IB 残存率を端部と非端部で比較したものであるが、合板野地板を除けば端部の方が非端部よりも IB 低下が大きいことが分かる。これはパネルの表裏面での吸湿よりも端面での吸湿の方が応答が速く、端部の方が水分変化の影響をより大きく受けたものと解釈できる。

表 1 曲げ性能の試験結果 (*:P<0.05, **:P<0.01)

分類	部位	n	密度 (g/cm ³)	厚さ変化率 (%)	比例限度応力	MOR	MOE
					Ave ± std MPa) 残存率 (%)	Ave ± std MPa) 残存率 (%)	Ave ± std (GPa) 残存率 (%)
アスヘンOSB (⊥)	野地板	40	0.626	3.1	13.3 ± 2.4 101	19.2 ± 3.7 105	1.98 ± 0.34 96
	軒天	8	0.590	6.1	10.7** ± 1.7 81	15.4* ± 2.3 84	1.58** ± 0.22 77
ハインOSB (⊥)	野地板	40	0.692	1.5	18.8 ± 2.4 100	26.9 ± 4.4 98	3.37 ± 0.41 104
	軒天	8	0.683	2.2	18.5 ± 3.2 98	26.7 ± 3.9 97	3.22 ± 0.29 99
PB (PF)	野地板	40	0.763	1	15.1** ± 1.8 88	21 ± 2.4 103	3.74 ± 0.34 104
	軒天	8	0.787	1.8	15.5 ± 1.3 90	20.7 ± 2.5 102	3.75 ± 0.42 104
PB (MD)	野地板	40	0.795	0.7	19.8** ± 3.4 94	28.8 ± 2.4 100	4.14 ± 0.26 100
	軒天	8	0.814	1.2	21.2 ± 1.4 101	30.2 ± 2 105	4.04 ± 0.13 98
MDF12	野地板	20	0.764	-0.1	32.1 ± 1.9 107	47.8 ± 2.7 105	4.53 ± 0.18 107
	軒天	4	0.758	0.5	29.6 ± 1.6 99	47.2 ± 1.8 104	4.34 ± 0.21 103
合板12 (⊥)	野地板	20	0.634	2.9	24.3 ± 1.3 130	45.5 ± 4.4 127	3.2 ± 0.35 112
	軒天	4	0.624	1.7	19.9 ± 1.2 106	37.1 ± 6.4 104	2.48** ± 0.13 86

表 2 剥離強度の試験結果 (*:P<0.05, **:P<0.01)

		野地板		軒天	
		端部	非端部	端部	非端部
アスヘン OSB	n	36	24	35	12
	密度 (g/cm ³)	0.628	0.631	0.607	0.609
	厚さ変化率	3.3	2.8	6.4	5.4
	Ave ± std MPa)	0.48** ± 0.10	0.51 ± 0.08	0.42** ± 0.09	0.46* ± 0.09
	残存率 (%)	86	91	76	83
ハイン OSB	n	31	24	35	12
	密度 (g/cm ³)	0.666	0.668	0.678	0.667
	厚さ変化率	1.9	2.0	1.4	1.7
	Ave ± std MPa)	0.57 ± 0.15	0.62 ± 0.13	0.60 ± 0.14	0.57 ± 0.17
	残存率 (%)	88	97	94	89
PB (PF)	n	32	24	36	12
	密度 (g/cm ³)	0.748	0.752	0.757	0.768
	厚さ変化率	0.7	0.4	1.2	1.4
	Ave ± std MPa)	0.63** ± 0.10	0.66** ± 0.06	0.67** ± 0.09	0.71** ± 0.05
	残存率 (%)	75	79	80	85
PB (MD)	n	34	24	36	12
	密度 (g/cm ³)	0.802	0.793	0.804	0.807
	厚さ変化率	1.1	0.2	0.7	0.5
	Ave ± std MPa)	1.83** ± 0.32	2.00** ± 0.22	1.92** ± 0.22	2.11 ± 0.19
	残存率 (%)	84	91	88	96
MDF12	n	12	12	6	6
	密度 (g/cm ³)	0.765	0.763	0.763	0.763
	厚さ変化率	-0.1	-0.5	0.3	0.6
	Ave ± std MPa)	0.55* ± 0.06	0.62 ± 0.08	0.74 ± 0.19	0.72 ± 0.13
	残存率 (%)	88	100	119	116
合板12	n	12	12	6	6
	密度 (g/cm ³)	0.640	0.622	0.638	0.622
	厚さ変化率	0.3	2.1	1.5	1.1
	Ave ± std MPa)	1.03 ± 0.16	0.88* ± 0.32	1.24 ± 0.16	1.15 ± 0.20
	残存率 (%)	90	77	108	100

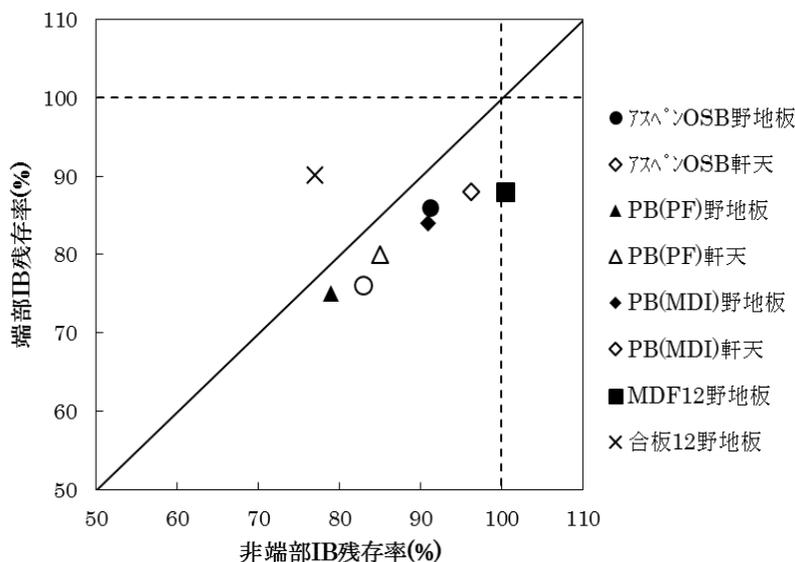


図2 IB残存率の試験体採取位置での相違（端部と非端部の比較）

4. 釘側面抵抗

釘側面抵抗 (LNR) の試験結果を表3に示す。合板とOSBのLNRは、表層繊維およびストランドの方向と負荷方向が垂直となる条件の値を示した。また、初期値の条件である縁端距離 $d = 12\text{mm}$ に対応させるため、回収試験体 $d = 4 \sim 24\text{mm}$ のデータより $d = 12 \pm 1\text{mm}$ の結果を抽出して解析した。

結果を概観すると、有意な低下が認められたのは野地板に用いたPB (PF) のみで、24%の低下となった。LNR試験体はパネル端部から採取された、前項でしめたようにPB (PF) の端部IBも同程度の劣化を示しており、両者の関連性が示唆される。そこで、LNR残存率と端部IB残存率の関係を求め、図3に示した。多くのパネル(MDF12軒天と合板12軒天を除く)が、図の対角線(45°線)より下方にプロットされており、LNRの低下率は端部IBの低下率と同等以下という傾向が見て取れる。LNRは主として表層の岩盤層の抵抗で発現するため、コア部の接着劣化に大きく依存するIBの変化に対して、総じてあまり敏感ではないと解釈できる。

表3 釘側面抵抗 (LNR) の試験結果 (** : $P < 0.01$)

分類	部位	n	密度 (g/cm^3)	厚さ変化率 (%)	LNR	
					Ave	$\pm \text{std}(\text{kN})$
残存率(%)						
アスベ>OSB	野地板	12	0.619	6.0	1.79	± 0.53 85
	軒天	7	0.595	8.1	1.84	± 0.70 88
ハイ>OSB	野地板	9	0.685	3.9	2.21	± 0.62 111
	軒天	6	0.686	2.9	2.14	± 0.46 107
PB(PF)	野地板	8	0.752	2.4	1.32**	± 0.28 76
	軒天	5	0.788	2.7	1.72	± 0.42 99
PB(MDI)	野地板	12	0.801	2.7	2.76	± 0.39 100
	軒天	5	0.796	4.1	3.10**	± 0.12 109
MDF12	野地板	9	0.737	-0.9	2.63**	± 0.28 110
	軒天	8	0.747	-0.6	2.33	± 0.23 98
合板12	野地板	6	0.676	2.4	2.24	± 0.36 95
	軒天	10	0.673	0.8	2.23	± 0.30 94

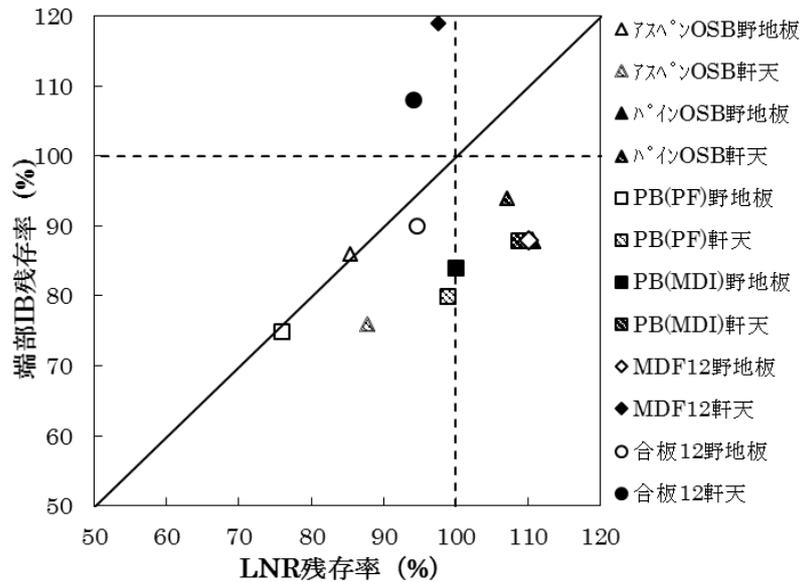


図3 LNR 残存率と端部 IB 残存率の関係

表4 釘頭貫通抵抗 (NHPT) の試験結果 (*:P<0.05, **:P<0.01)

分類	部位	非釘着部				釘着部				残存率
		n	厚さ変化率 (%)	密度 (g/cm ³)	NHPT:N ₀ Ave ± std (kN)	n	厚さ変化率 (%)	密度 (g/cm ³)	NHPT:N Ave ± std (kN)	
		N/N ₀ × 100 (%)								
アスペン OSB	野地板	32	2.3	0.636	1.65 ± 0.32	21	2.0	0.643	1.33** ± 0.27	80
	軒天	10	6.8	0.635	1.82 ± 0.30	9	5.7	0.631	1.47* ± 0.27	81
パイン OSB	野地板	38	3.4	0.685	1.90 ± 0.38	25	3.9	0.678	1.41** ± 0.21	74
	軒天	9	4.2	0.669	1.91 ± 0.43	9	3.8	0.662	1.68 ± 0.43	88
PB(PF)	野地板	37	1.1	0.759	1.68 ± 0.13	23	0.8	0.756	1.41** ± 0.20	84
	軒天	7	1.4	0.774	1.86 ± 0.14	9	1.3	0.765	1.56** ± 0.15	84
PB(MDI)	野地板	20	0.9	0.798	2.73 ± 0.32	25	0.6	0.799	2.27** ± 0.24	83
	軒天	8	1.5	0.821	3.10 ± 0.37	7	0.8	0.808	2.66** ± 0.32	86
MDF12	野地板	26	0.1	0.768	2.04 ± 0.12	19	-0.1	0.769	1.55** ± 0.18	76
	軒天	3	1.0	0.777	2.28 ± 0.10	3	0.5	0.78	1.97* ± 0.06	90
合板12	野地板	44	1.7	0.634	2.00 ± 0.46	21	1.6	0.637	1.88** ± 0.19	94
	軒天	12	1.1	0.644	2.10 ± 0.18	9	0.7	0.645	2.03 ± 0.27	97

5. 釘頭貫通抵抗

釘頭貫通抵抗 (NHPT) の試験結果を表4に示す。試験体は南北の屋根の野地板および軒天から採取したが、結果に有意差が認められず、両者の合算データで解析した。また、表中の釘着部とは施工時の釘穴に再び釘を挿して測定した NHPT であり、非釘着部とはそれに近接 (5~7cm) する部位に新たに釘打ちして測定した NHPT である。非釘着部の NHPT は初期値との間に有意な差が認められなかった。そこで、供試パネルのロット内のばらつき低減の目的で、ここで得た非釘着部の NHPT を初期値とみなし、釘着部における NHPT の残存率を算出して表中に示した。軒天部

位の合板およびパイン OSB を除いて、全てのパネルで最大 26%の有意な低下が認められた。低下要因としては、野地板施工時のネイルガン使用によるパネル裏面損傷（花咲き）、釘頭めり込み、屋根面からの熱伝導による乾熱、冷却による釘身周囲の結露、再度の釘打ちなどが考えられる。それらの幾つかについて検証実験を行って各因子の NHPT への影響度合を調べた結果、NHPT を有意に低下させた因子は釘頭めり込みであった（詳細は既報文献を参照：岩手大演報，46，37-57. 2015）。

6. まとめ

実験住宅の野地板および軒天として約 10 年使用された木質パネルの含水率変動幅と物性劣化の関係をまとめたものが表 5 であり、空欄は劣化が認められない物性、数値は初期値に対して有意に低下した場合の低下率を示している。なお、OSB および合板では表層配向方向と負荷方向が垂直の場合である。

表 5 野地板および軒天として約 10 年した木質パネルの物性低下率（%）

(*:P<0.05, **:P<0.01)

分類	部位	含水率変動 (%)	※曲げ性能			はく離強度		釘接合	
			比例 限度	MOR	MOE	端部 IB	内部 IB	※LNR	NHPT
アスペン OSB	野地板	5.3~11.2				14**			20**
	軒天	9.1~17.6	19**	16*	23**	24**	17*		19*
パイン OSB	野地板	5.3~11.2							26**
	軒天	9.1~17.6							
PB(PF)	野地板	7.3~12.3	12**			25**	21**	24**	16**
	軒天	10.9~17.2				20**	15**		16**
PB(MDI)	野地板	6.6~11.1	6**			16**	9**		17**
	軒天	9.8~15.5				12**			14**
MDF12	野地板	6.1~10.1							24**
	軒天	9.6~13.7							10*
合板 12	野地板	6.1~12.0					23*		6**
	軒天	10.7~17.3			14**				

1. はじめに

屋外暴露した木質ボードの耐久性を評価してきたが、現状では、木質ボードを屋外で使用することは想定していないため、屋外暴露試験はボードにとって激しい劣化をもたらす。屋外暴露では、雨水がボード内部に浸透し、それによりボードが膨張する。この膨張により接着点が崩壊し、ボードの強度が低下する。さらにこの膨張によりボード内部に空隙が生じ、ここから生物劣化が発生し、ボードの強度は大きく低下する。一方、現実的なボードの使用環境下で最も厳しいと考えられるのは高相対湿度条件下への長期の暴露および高相対湿度と低相対湿度の条件下への繰返し暴露が考えられる。ボードが湿気を吸収し、膨張することにより接着点が崩壊し、強度が低下すると考えられる。そこで、本項では 90% の高相対湿度の条に長期間暴露した場合と 45% の低湿度下と 90% の高相対湿度下に繰返して長期間暴露した場合のボードの強度低下を解析した。

2. 水分レベル V に設置したボードの強度低下

2.1 設置条件

20℃, 相対湿度 90% の恒温恒湿室にボードを 1 から 5 年間設置した。この設置条件を高相対湿度とする。20℃, 相対湿度 45% の恒温恒湿室に 3 か月設置し、それから 20℃, 相対湿度 90% の恒温恒湿室に 3 か月設置した。これを 1 サイクルとして、10 サイクル繰返した。この設置条件を乾湿繰返しとする。乾湿繰返しでは 1 サイクルに 6 ヶ月を要するので、2 サイクルで 1 年間の暴露となる。本項では、乾湿繰返しも暴露期間 1 年という表記とする。また、これらの条件と比較するためのつくばで屋外暴露したボードおよび JIS の B 試験 (B 試験) で処理したボードの強度も示した。

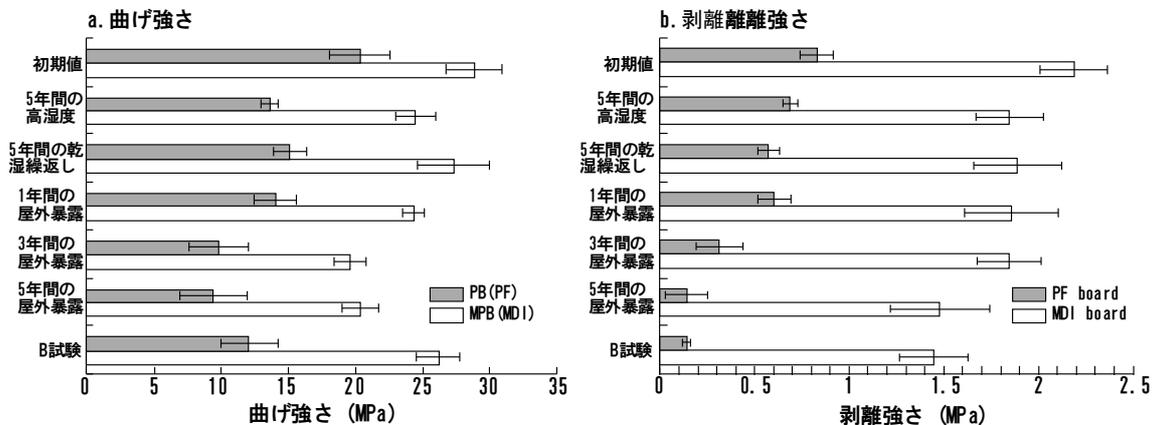


図 1. 様々な条件に設置したパーティクルボードの曲げ強さと剝離強さ

2.2 曲げ強さと剝離強さ

表 1 に水分レベル V に設置した曲げ強さと剝離強さの変化を示す。高相対湿度および乾湿繰返しに 1 から 2 年間設置したアスペン OSB の曲げ強さと剝離強さの残存率は他のボードのそれらより低かった。2 年間の高相対湿度および乾湿繰返しに設置してもアスペン OSB 以外のボードの曲げ強さと剝離強さがわずかに低下した。高相対湿度および乾湿繰返しに 5 年間設置すると PB (PF) とアスペン OSB の曲げ強さと剝離強さは大きく低下した。さらに PB (MDI) とパイン OSB の曲げ強さと剝離強さも 5 年間設置すると低下したが、これらの低下は PB (PF) とアスペン OSB より小さかった。MDF9 と MDF12 の曲げ強さと剝離強さは 5 年間の設置でわずかに低下した。PB (PF) とアスペン OSB を除いてこれらの条件に 5 年間設置も曲げ強さと剝離強さは大きく低下しなかった。

2. 3 様々な設置条件に設置したパーティクルボードの強度の低下

図 1 に様々な条件に設置したパーティクルボードの曲げ強さと剝離強さを示す。表 2 には残存率を示す。すべての設置条件で PB (MDI) の曲げ強さは PB (PF) のそれより高かった。これは後述するが、PB (MDI) の高い剝離強さが原因である。両パーティクルの曲げ強さはすべて設置条件で初期値より低下した。両パーティクルの 5 年間の高相対湿度および乾湿繰返しの曲げ強さは 1 年間の屋外暴露のそれとほぼ同じであった。さらに両パーティクルボードの曲げ強さは 3 および 5 年間の屋外暴露で大きく低下した。これらは B 試験より低下した。

すべての設置条件において、PB (MDI) の剝離強さは PB (PF) のそれより高かった。5 年間高相対湿度および乾湿繰返しに設置した両パーティクルボードの剝離強さは 1 年間の屋外暴露のそれとほぼ同じであった。3 年間の屋外暴露では PB (MDI) の剝離強さは大きく低下しなかったが、PB (PF) では大きく低下した。これも PB (MDI) の剝離強さが絶対的に高いためと考えられる。5 年間屋外暴露した両パーティクルボードの剝離強さは B 試験とほぼ同じであった。

表 1. 高相対湿度および乾湿繰返し（水分レベル V）に設置したボードの曲げ強さと剝離強さ

ボード名	高相対湿度					乾湿繰返し					
	暴露期間 (年)	曲げ強さ		剝離強さ		サイクル	暴露期間 (年)	曲げ強さ		剝離強さ	
		平均 (SD) (MPa)	残存率 (%)	平均 (SD) (MPa)	残存率 (%)			平均 (SD) (MPa)	残存率 (%)	平均 (SD) (MPa)	残存率 (%)
PB (PF)	初期	20.3 (2.29)		0.833 (0.09)			初期	20.3 (2.29)		0.833 (0.09)	
	1	20.5 (2.62)	100	0.687 (0.05)	82.8	2	1	17.3 (1.23)	85.2	0.625 (0.06)	75.4
	2	17.7 (1.31)	87.3	0.649 (0.10)	78.2	4	2	17.4 (2.42)	85.7	0.659 (0.06)	79.4
	3	14.7 (1.23)	72.2	0.432 (0.09)	52.0	6	3	20.3 (1.18)	100	0.751 (0.08)	90.5
	5	13.7 (0.63)	67.3	0.689 (0.04)	83.1	10	5	15.1 (1.17)	74.6	0.572 (0.06)	68.9
	初期	28.8 (2.10)		2.19 (0.18)			初期	28.8 (2.10)		2.19 (0.18)	
PB (MDI)	1	28.4 (1.08)	98.5	1.96 (0.17)	89.6	2	1	30.1 (2.59)	100	2.23 (0.18)	100
	2	27.6 (2.05)	96.0	1.94 (0.25)	88.5	4	2	27.0 (1.66)	93.8	1.95 (0.27)	89.2
	3	26.5 (1.55)	92.0	1.86 (0.22)	84.8	6	3	30.6 (1.72)	100	2.04 (0.18)	93.1
	5	24.5 (1.51)	85.0	1.85 (0.18)	84.5	10	5	27.3 (2.70)	94.9	1.89 (0.24)	86.5
	初期	39.2 (6.77)		0.560 (0.13)			初期	39.2 (6.77)		0.560 (0.13)	
アスペン OSB	1	29.3 (3.70)	74.9	0.363 (0.09)	64.9	2	1	27.3 (3.64)	69.8	0.316 (0.07)	56.4
	2	29.6 (5.29)	75.6	0.394 (0.12)	70.3	4	2	29.1 (5.10)	74.3	0.309 (0.08)	55.2
	3	29.8 (2.61)	76.1	0.374 (0.09)	66.8	6	3	30.8 (3.09)	78.7	0.424 (0.09)	75.6
	5	29.0 (6.03)	74.1	0.383 (0.10)	68.5	10	5	25.0 (7.68)	63.8	0.183 (0.07)	32.8
	初期	36.8 (7.75)		0.640 (0.19)			初期	36.8 (7.75)		0.640 (0.19)	
バイン OSB	1	31.5 (5.47)	85.7	0.525 (0.12)	82.0	2	1	28.4 (4.41)	77.2	0.509 (0.11)	79.6
	2	36.2 (4.90)	98.3	0.596 (0.13)	93.1	4	2	34.6 (5.22)	93.9	0.477 (0.14)	74.5
	3	30.7 (4.08)	83.4	0.434 (0.12)	67.8	6	3	36.7 (7.05)	99.6	0.552 (0.14)	86.2
	5	30.0 (4.14)	81.4	0.524 (0.15)	81.9	10	5	33.7 (3.75)	91.5	0.463 (0.12)	72.3
	初期	36.1 (2.44)		1.22 (0.19)			初期	36.1 (2.44)		1.22 (0.19)	
MDF9	1	35.9 (1.09)	99.4	1.04 (0.07)	85.2	2	1	35.1 (1.85)	97.1	1.22 (0.07)	99.8
	2	36.4 (0.97)	100	1.16 (0.25)	94.8	4	2	33.7 (1.25)	93.4	1.46 (0.18)	100

	3	32.4 (2.03)	89.7	1.09 (0.18)	89.5	6	3	35.6 (2.42)	98.6	1.28 (0.14)	100
	5	32.3 (2.02)	89.6	1.17 (0.19)	96.3	10	5	32.6 (1.43)	90.3	1.11 (0.06)	91.0
	初期	45.4 (2.94)		0.620 (0.11)		初期	45.4 (2.94)		0.620 (0.11)		
MDF12	1	43.0 (4.03)	94.6	0.480 (0.10)	77.4	2	1	43.0 (2.28)	94.6	0.718 (0.08)	100
	2	43.1 (3.86)	94.8	0.692 (0.11)	100	4	2	41.6 (2.34)	91.6	0.592 (0.08)	95.4
	3	40.6 (3.28)	89.4	0.656 (0.10)	100	6	3	41.8 (1.08)	92.0	0.775 (0.07)	100
	5	35.7 (3.01)	78.6	0.601 (0.08)	97.0	10	5	39.3 (1.17)	86.5	0.646 (0.08)	100

SD ; 標準偏差

表 2. 様々な条件に設置したボードの曲げ強さの残存率

設置条件	曲げ強さ残存率 (%)					
	PB (PF)	PB (MDI)	アスペン OSB	パイン OSB	MDF9	MDF12
5年間の高相対湿度	67.3	85.0	74.1	81.4	89.6	78.6
5年間の乾湿繰返し	74.6	94.9	63.8	91.5	90.3	86.5
1年間の屋外暴露	69.2	84.4	75.8	82.2	89.7	87.6
3年間の屋外暴露	48.5	68.1	53.3	61.4	79.8	70.9
5年間の屋外暴露	46.5	70.6	39.1	48.5	77.1	62.0
B試験	59.6	90.9	-	-	100	66.0

表 3. 様々な条件に設置したボードの剥離強さの残存率

設置条件	剥離強さ残存率 (%)					
	PB (PF)	PB (MDI)	アスペン OSB	パイン OSB	MDF9	MDF12
5年間の高相対湿度	83.1	84.5	68.5	81.9	96.3	97.0
5年間の乾湿繰返し	68.9	86.5	32.8	72.3	91.0	100
1年間の屋外暴露	72.9	84.9	69.5	89.6	93.1	100
3年間の屋外暴露	38.4	84.3	56.6	84.0	81.3	100
5年間の屋外暴露	16.9	67.6	32.8	48.5	96.7	87.8
B試験	16.9	66.2	21.4	35.9	86.9	61.3

2. 4 様々な設置条件に設置した OSB の強度の低下

図 2 に様々な条件に設置した OSB の曲げ強さと剥離強さを示す。表 3 には残存率を示す。なお OSB では B 試験の曲げ試験は実施しなかった。すべての設置条件で両 OSB 曲げ強さは初期地より低下した。5年間の高相対湿度および乾湿繰返しの両 OSB の曲げ強さは 1年間の屋外暴露のそれとほぼ同じであった。

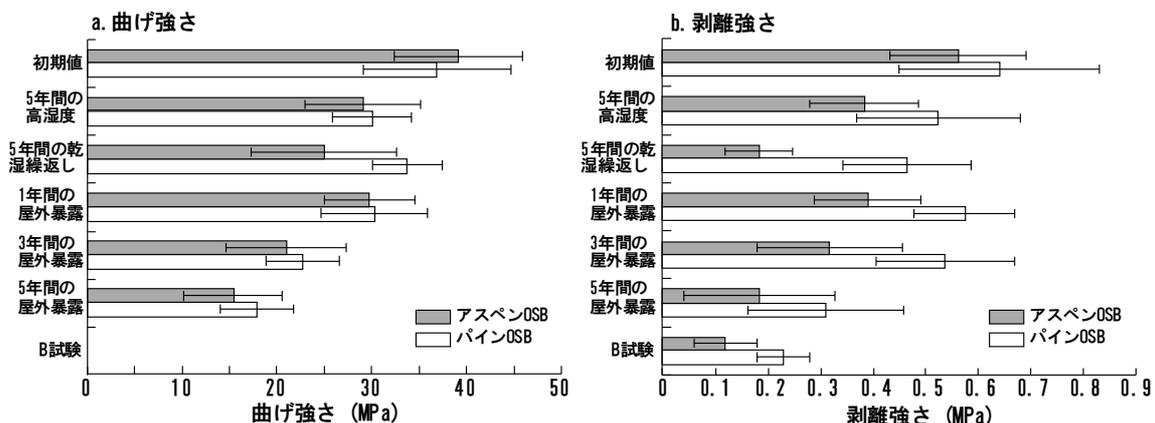


図 2. 様々な条件に設置した OSB の曲げ強さと剥離強さ

5年間の高相対湿度に設置したアスペン OSB の剥離強さは1年間の屋外暴露とほぼ同じであった。しかしながら、5年間の乾湿繰返しに設置した IB はたいへん低かった。対照的に5年間の高相対湿度と乾湿繰返し、および、1年間、年間の屋外暴露のパイン OSB の剥離強さはいずれもほぼ同じであった。両 OSB の剥離強さとも5年間の屋外暴露で大きく低下し、B試験と同じでなった。アスペンとスコットパインの密度はそれぞれ 0.42 and 0.51 g/cm³ であり、アスペン OSB とパイン OSB のボード密度はそれぞれ 0.63 and 0.67 g/cm³ であった。さらにこれらのボードの圧縮比（ボード密度/原料密度）はそれぞれ 1.5 と 1.3 となった。スプリングバックのため高い圧縮比が高い寸法変化をもたらす。高い寸法変化はボードの接着点を崩壊し、高い寸法変化のためボード内部に大きな空隙を形成する。そしてボード内部が生物劣化する。その結果、パイン OSB とアスペン OSB の剥離強さは初期値ではほぼ同じであったにも拘わらず、すべての条件下でパイン OSB の剥離強さはアスペン OSB のそれより高かった。

2. 5 パーティクルボードと OSB の強度を低下させる要因

表 4 に 20°C で相対湿度 45% および 90% に設置したときのボードの含水率を示すが、それぞれ 6-8% から 10-14% であった。表 5 にこれらの条件に設置したボードの厚さ変化率と重量減少率を示す。5年間の高相対湿度および乾湿繰返しに設置した場合、OSB は 5-11% の厚さ変化率を示すが、これらはパーティクルボードやファイバーボードの厚さ変化率（1-3%）よりも高い。特に5年間の乾湿繰返しに設置したアスペン OSB の厚さ変化率は 10.8% と高い。高い寸法変化率がボードの接着点の崩壊をもたらすため、曲げ強さと剥離強さの低下が生じた。これらの結果より、アスペン OSB を除いて、これらの含水率の範囲（6-14%）に5年間設置しても低い寸法変化と重量減少率であり、曲げ強さと剥離強さの大きな低下は生じない。

表 4. 20°C, 相対湿度 45% および 90% に設置したボードの含水率

ボード	含水率 (%)	
	相対湿度 45 %	相対湿度 90 %
	平均 (SD)	平均 (SD)
PB (PF)	8.37 (0.10)	13.8 (0.11)
PB (MDI)	7.83 (0.05)	12.8 (0.10)
アスペン OSB	7.87 (0.06)	13.7 (0.19)
パイン OSB	8.16 (0.10)	13.6 (0.12)
MDF9	6.53 (0.09)	10.5 (0.22)
MDF12	7.11 (0.07)	10.9 (0.08)

SD ; 標準偏差.

5年間の屋外暴露後の両 OSB の厚さ変化率は 16.0% と 10.7% であった。先述したように高い圧縮比のためアスペン OSB の厚さ変化率はパイン OSB より高かった。これらの厚さ変化率は5年間の高相対湿度と乾湿繰返し後のそれよりも高かった。さらに、5年間の屋外暴露により、PB (PF) と PB (MDI) の厚さ変化率はそれぞれ 15.2% と 4.01% と高くなった。両パーティクルボードにおいて5年間の屋外暴露後の厚さ変化率は5年間の高相対湿度および乾湿繰返しより高かった。とりわけ PB (PF) の厚さ変化率が高かった。これらの結果より5年間の屋外暴露はパーティクルボードと OSB の強度を低下させる厳しい環境であることが示された。

すべてのボードで5年間の高相対湿度および乾湿繰返しではほとんど 0% の重量減少率が示された。しかしながら、PB (PF) とアスペン OSB では高い重量減少率が示され、PB (MDI) とパイン OSB ではわずかの重量減少率が示された。高い重量減少率は生物劣化が原因であり、生物劣化によりさらなるボードの強度低下がもたらされた。

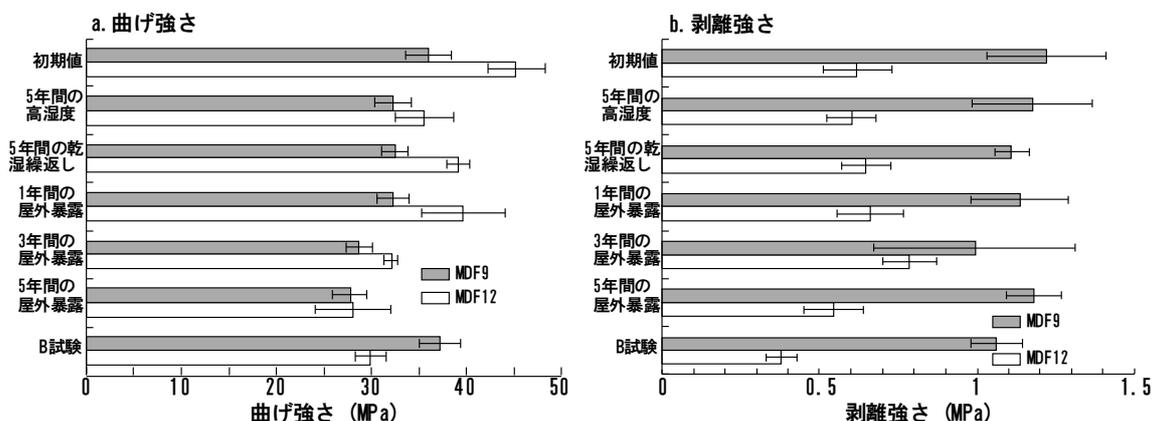


図 3. 様々な条件に設置した MDF の曲げ強さと剥離強さ

2. 6 様々な設置条件に設置した MDF の強度の低下

図 3 に様々な条件に設置した MDF の曲げ強さと剥離強さを示す。表 3 には残存率を示す。B 試験と 5 年間の屋外暴露を除いて、すべての設置条件で MDF9 の曲げ強さは MDF12 のそれより低かった。1 年間の屋外暴露と同じように 5 年間の高相対湿度および乾湿繰返しでは両 MDF の曲げ強さはわずかにしか低下しなかったが、3 年間の屋外暴露では大きく低下した。

すべての条件で MDF9 の剥離強さは MDF12 よりはるかに高かった。両 MDF の剥離強さは 1 から 5 年間の屋外暴露と同様に 5 年間の高相対湿度および乾湿繰返しでも大きく低下しなかった。MDI 樹脂を用いたため MDF9 の剥離強さは B 試験後も大きく低下しなかったが、MUF を用いたため MDF12 の剥離強さは低下した。一般的に MDI 樹脂は MUF 樹脂よりも耐久性が高い。低い耐久性の樹脂を用いたため B 試験後の MDF12 の剥離強さは低下したが、5 年間の屋外暴露での剥離強さの残存率は 87.8% と高かった。

2. 7 MDF の強度の高耐久性の要因

5 年間の屋外暴露で MDF はパーティクルボードや OSB より非常に低い厚さ変化率を示した (表 5)。前報では、MDF の高い耐久性はその平滑な表面性にあり、これにより雨水がボード内部に浸入を防ぎ、ボードの劣化を防ぐと報告した。しかしながら、本研究では B 試験では MDF12 が曲げ強さと剥離強さの大きな低下を示した。雨水はボード内部に浸入しなかったが、2 時間の煮沸試験で水が浸入し、これが接着点を崩壊させた。そして曲げ強さと剥離強さが低下した。MUF 樹脂は煮沸に対して耐久性がなく、接着点が崩壊した。しかしながら、MDF9 は MDI 樹脂を用いたが、これは耐久性が高く、煮沸によって接着点が崩壊しなかった。ゆえに、MDF9 の曲げ強さと剥離強さは低下しなかった。

表 6. 様々な条件に設置したボードの重量減少率

設置条件	Mass loss (%)					
	PB (PF)	PB (MDI)	アスペン OSB	パイン OSB	MDF9	MDF12
5 年間の高相対湿度	0	0	0	0	0	0
5 年間の乾湿繰返し	0	0	0	0	0	0
1 年間の屋外暴露	0	0	0	0	0	0
3 年間の屋外暴露	1.59	0.67	1.62	0	0	0
5 年間の屋外暴露	4.34	2.54	6.65	2.37	2.37	1.79
B 試験	2.40	1.20	1.20	0.70	0.70	1.90

2. 8 釘接合性能

最後に、参考として水分レベル V に設置したボードの釘頭貫通力と釘側面抵抗力の変化を表 7 に示す。これらの条件に設置したすべてのボードで釘接合性能に大きな低下はなかった。

表7. 高相対湿度および乾湿繰返し（水分レベルV）に設置したボードの釘頭貫通力と釘側面抵抗力

ボード名	高相対湿度					乾湿繰返し							
	暴露 期間 (年)	釘頭貫通力		釘側面抵抗力		サ イ ク ル	暴露 期間 (年)	釘頭貫通力		釘側面抵抗力			
		平均 (SD) (kN)	残存率 (%)	平均 (SD) (kN)	残存率 (%)			平均 (SD) (kN)	残存率 (%)				
PB (PF)	初期	1.70	(0.15)	1.74	(0.24)		初期	1.70	(0.15)	1.74	(0.24)		
	1	1.61	(0.14)	94.5	1.72 (0.22)	98.7	2	1	1.60	(0.05)	94.2	1.76 (0.10)	100
	2	1.50	(0.08)	88.3	1.67 (0.11)	96.1	4	2	1.66	(0.15)	97.7	1.86 (0.15)	100
	3	1.61	(0.11)	94.4	1.82 (0.19)	100	6	3	1.73	(0.14)	100	1.98 (0.20)	100
	5	1.54	(0.09)	90.7	1.78 (0.13)	100	10	5	1.54	(0.08)	90.8	1.72 (0.15)	98.8
PB (MDI)	初期	2.70	(0.27)	2.76	(0.23)		初期	2.70	(0.27)	2.76	(0.23)		
	1	2.66	(0.14)	98.6	3.23 (0.18)	100	2	1	2.52	(0.18)	93.3	2.85 (0.35)	100
	2	2.51	(0.18)	93.2	2.90 (0.18)	100	4	2	2.45	(0.25)	90.9	2.87 (0.28)	100
	3	2.63	(0.23)	97.8	2.98 (0.15)	100	6	3	2.70	(0.17)	100	2.99 (0.08)	100
	5	2.48	(0.28)	91.9	2.72 (0.28)	98.7	10	5	2.60	(0.14)	96.3	3.02 (0.26)	100
アスペン OSB	初期	1.58	(0.44)	1.81	(0.50)		初期	1.58	(0.44)	1.81	(0.50)		
	1	1.63	(0.26)	100	1.80 (0.36)	99.3	2	1	1.28	(0.29)	81.0	2.22 (0.71)	100
	2	1.59	(0.26)	100	1.96 (0.58)	100	4	2	1.48	(0.29)	93.7	1.94 (0.49)	100
	3	1.41	(0.18)	89.1	1.93 (0.48)	100	6	3	1.52	(0.51)	96.1	2.11 (0.45)	100
	5	1.64	(0.23)	100	1.68 (0.62)	92.7	10	5	1.46	(0.41)	92.6	1.66 (0.45)	91.7
パイン OSB	初期	1.69	(0.33)	2.08	(0.64)		初期	1.69	(0.33)	2.08	(0.64)		
	1	1.83	(0.63)	100	2.31 (0.45)	100	2	1	1.73	(0.24)	100	2.26 (0.28)	100
	2	1.46	(0.15)	86.2	2.27 (0.34)	100	4	2	1.62	(0.30)	95.8	1.65 (0.37)	79.1
	3	1.60	(0.31)	94.5	2.08 (0.53)	100	6	3	2.03	(0.36)	100	2.46 (0.34)	100
	5	1.71	(0.27)	100	2.25 (0.24)	100	10	5	2.06	(0.47)	100	2.15 (0.42)	100
MDF9	初期	1.53	(0.10)	1.34	(0.11)		初期	1.53	(0.10)	1.34	(0.11)		
	1	1.39	(0.16)	90.8	1.45 (0.15)	100	2	1	1.43	(0.11)	93.1	1.48 (0.19)	100
	2	1.38	(0.07)	89.9	1.30 (0.22)	96.9	4	2	1.49	(0.08)	97.0	1.40 (0.30)	100
	3	1.46	(0.07)	95.5	1.51 (0.08)	100	6	3	1.55	(0.06)	100	1.56 (0.14)	100
	5	1.48	(0.11)	96.4	1.51 (0.09)	100	10	5	1.48	(0.16)	96.8	1.54 (0.06)	100
MDF12	初期	1.85	(0.13)	2.38	(0.21)		初期	1.85	(0.13)	2.38	(0.21)		
	1	1.83	(0.15)	99.2	2.57 (0.22)	100	2	1	1.82	(0.16)	98.6	2.39 (0.26)	100
	2	1.87	(0.07)	100	2.60 (0.19)	100	4	2	1.83	(0.14)	99.1	2.34 (0.17)	97.9
	3	1.75	(0.13)	94.8	2.42 (0.23)	100	6	3	1.91	(0.12)	100	2.53 (0.22)	100
	5	1.82	(0.09)	98.7	2.37 (0.15)	99.5	10	5	1.82	(0.17)	98.7	2.36 (0.28)	98.9

SD ; 標準偏差. アスペンOSBおよびパインOSBの釘側面抵抗力は平行方向で測定.

3. おわりに

ボードを高相対湿度や乾湿繰返しのような穏やかな条件下に設置しても PB (PF) とアスペン OSB を除いて、曲げ強さと剥離強さは大きく低下しなかった。3 から 5 年間の長い期間の屋外暴露は PB (PF), PB (MDI), アスペン OSB, パイン OSB の曲げ強さと剥離強さの大きな低下を引き起こしたが、屋外暴露が高相対湿度や乾湿繰返しよりこれらのボードにとって有害であることが示された。MDF9 は 5 年間の屋外暴露でも B 試験でも曲げ強さと剥離強さは維持された。MDF12 の剥離強さは B 試験では低下したが、5 年間の屋外暴露では 87.8% の高い残存率が維持された。

4.2 各種屋内暴露試験結果の統合化

岩手大学 関野 登

1. はじめに

本項では前項(4.1)で示された各種屋内暴露試験の結果を用いて、暴露前後での機械的物性の劣化の有無を統計的に判定した。すなわち、各々の暴露条件で受けるパネルの水分履歴は異なるが、最長10年間、様々な水分履歴を受けた結果として、その強度分布における平均値が暴露前の強度分布の平均値と統計的に有意に異なるか否かを検討した。

2. 各暴露条件での含水率履歴

各屋内暴露条件の温湿度変動(一部は推定も含む)に起因する試験パネルの含水率の変動範囲(含水率履歴)を各パネルの吸着等温線(10~40℃)を用いて推定し、表1に示した。変動範囲の上限に着目すると、水分レベルI(実験室放置)で約11%、レベルII(床下放置)で約13%、レベルIIIの実験住宅野地板で約11%、軒天・鼻隠しで約16%、レベルIV(高湿度・低湿度サイクル)で約15%、レベルV(高湿度放置)で約15%となった。その最大値(約17%)は生物劣化の発生しない水分条件であり、また、全暴露条件を通じての最小~最大の範囲(約6~17%)は、日本国内の気乾含水率の年間変動を網羅する範囲にあると考えられる。

表1 暴露条件別パネル含水率の変動範囲(%、下段は変動幅)

分類	I	II	III		IV	V
			野地板	軒天・鼻隠し		
アスペンOSB	6.7 ⇄ 11.2	7.7 ⇄ 12.1	5.3 ⇄ 11.2	9.1 ⇄ 17.6	7.5 ⇄ 16.2	16.2
	4.5	4.4	5.9	8.5	8.7	
パインOSB	6.7 ⇄ 11.2	7.7 ⇄ 12.1	5.3 ⇄ 11.2	9.1 ⇄ 17.6	7.5 ⇄ 16.2	16.2
	4.5	4.4	5.9	8.5	8.7	
PB(PF)	8.5 ⇄ 12.3	8.8 ⇄ 15.5	7.3 ⇄ 12.3	10.9 ⇄ 17.2	9.0 ⇄ 15.2	15.2
	3.8	6.7	5.0	6.3	6.2	
PB(MDI)	7.7 ⇄ 11.1	7.9 ⇄ 14.0	6.6 ⇄ 11.1	9.8 ⇄ 15.5	8.1 ⇄ 13.7	13.7
	3.4	6.1	4.5	5.7	5.6	
MDF12	7.6 ⇄ 10.0	8.5 ⇄ 10.9	6.1 ⇄ 10.1	9.6 ⇄ 13.7	8.2 ⇄ 13.3	13.3
	2.4	2.4	4.0	4.1	5.1	
合板12	10.1 ⇄ 11.5	9.1 ⇄ 13.0	6.1 ⇄ 12.0	10.7 ⇄ 17.3	8.8 ⇄ 16.2	16.2
	1.4	3.9	5.9	6.6	7.4	
平均	7.9 ⇄ 11.2	8.3 ⇄ 12.9	6.1 ⇄ 11.3	9.9 ⇄ 16.5	8.2 ⇄ 15.1	15.1
	3.3	4.7	5.2	6.6	7.0	

3. 各物性値の暴露前後の分布比較

表1に示す6種類のパネルについてMOR、MOE、IB、LNR、NHPTの5種類の物性ごとに暴露前後の物性値分布(相対度数分布)を比較したのが図1~図5である。ただし、OSBや合板の曲げ性能および側面抵抗(LNR)は、表層繊維方向の条件が平行と直交の2条件で物性値が大きく異なるため、分布作成に際しては各方向における初期値平均値を“100”とした相対強度を用いてデータを統合した。したがって、初期値はn=60となる。また、分布作成に用いたデータは暴露条件ごとの平均値ではなく各試験体の値であり、nは130~230程度である。

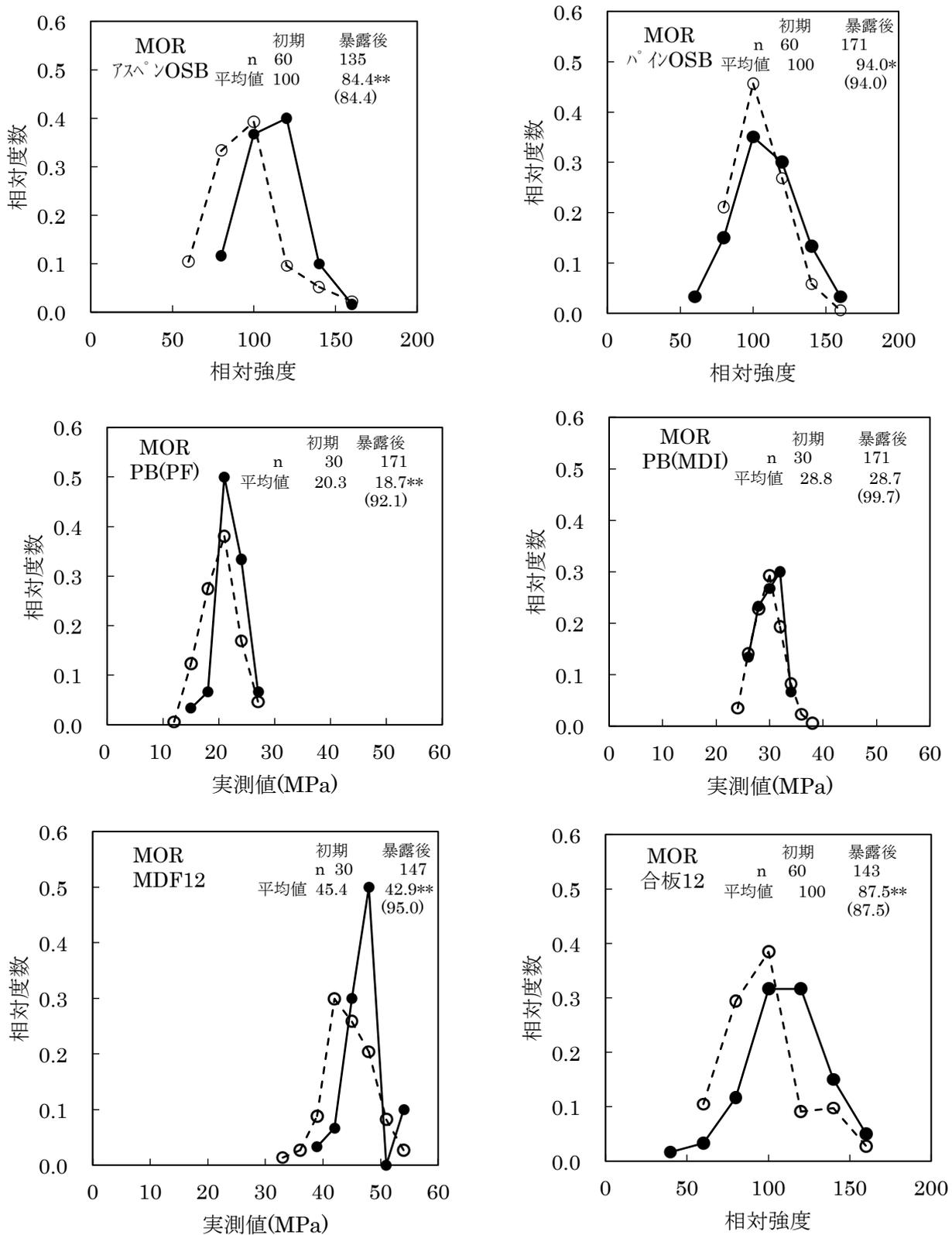


図1 屋内暴露前後のMOR分布の比較

*…有意水準5%で初期値と有意差あり, **…有意水準1%で初期値と有意差あり

注) 実線: 初期分布, 点線: 暴露後分布

括弧内: 暴露後平均値 / 初期平均値 × 100)

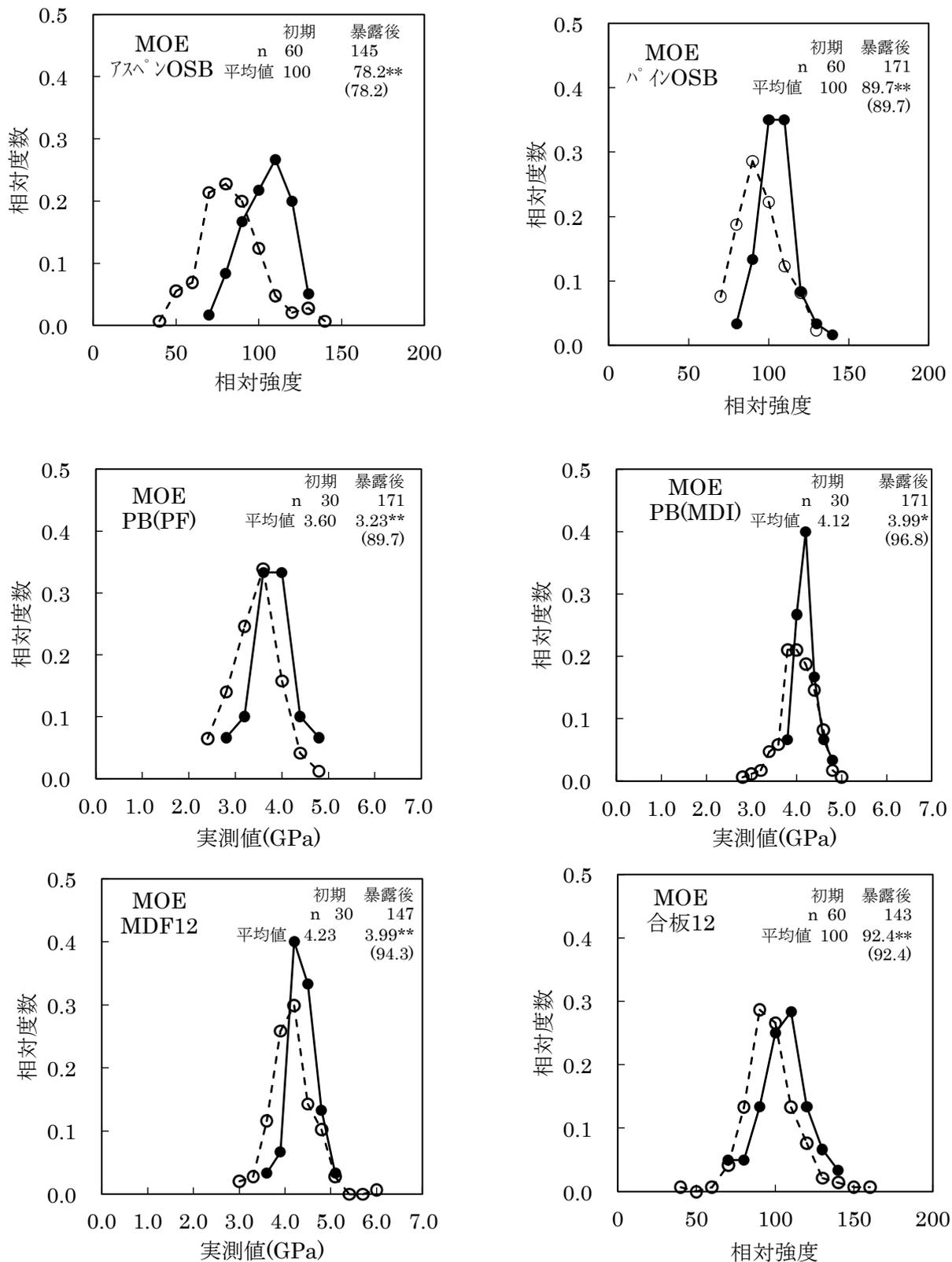


図2 屋内暴露前後のMOE分布の比較

*…有意水準5%で初期値と有意差あり, **…有意水準1%で初期値と有意差あり

注) 実線: 初期分布, 点線: 暴露後分布

括弧内: 暴露後平均値 / 初期平均値 × 100)

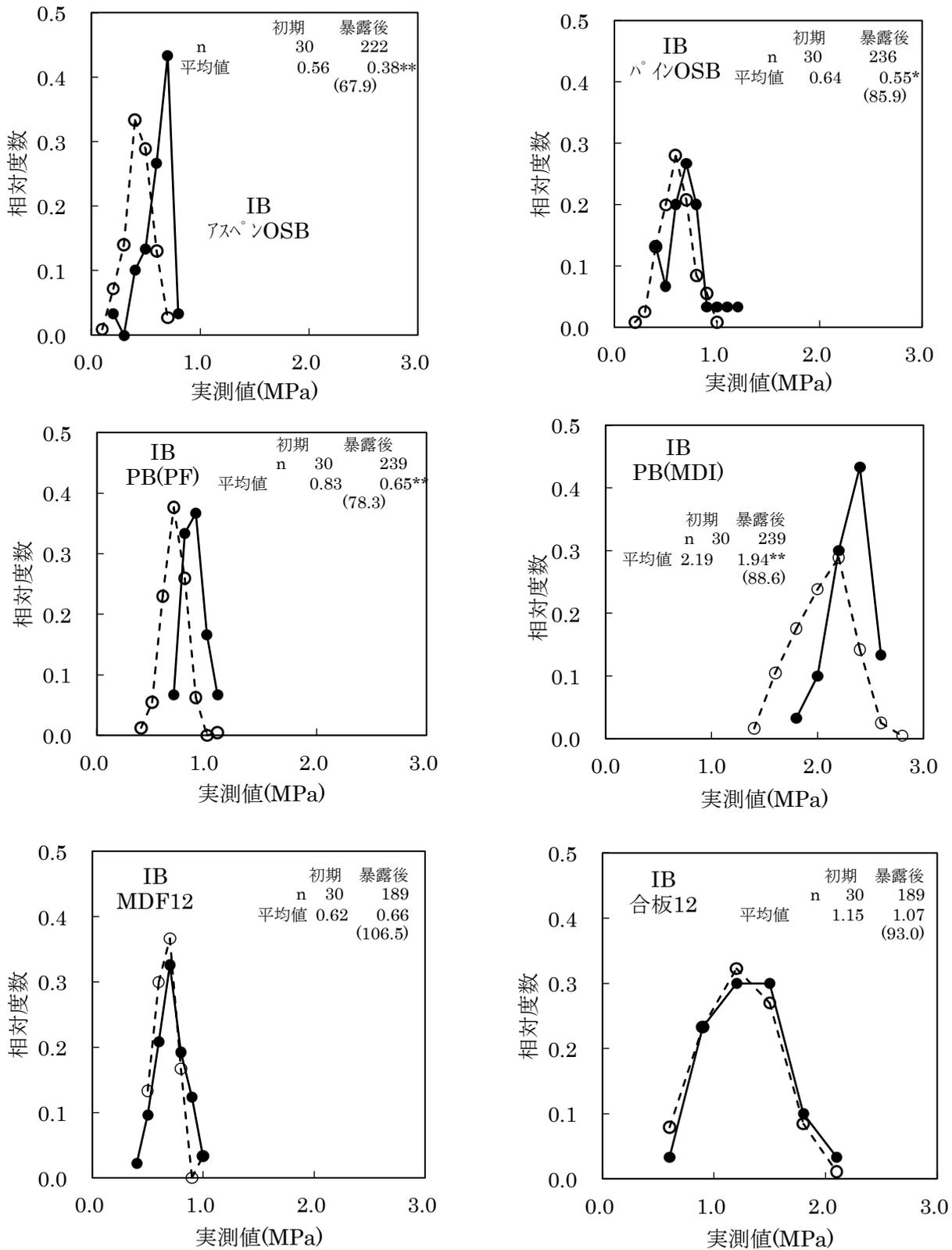


図3 屋内暴露前後のIB分布の比較

*…有意水準5%で初期値と有意差あり, **…有意水準1%で初期値と有意差あり

注) 実線: 初期分布, 点線: 暴露後分布

括弧内: 暴露後平均値 / 初期平均値 × 100)

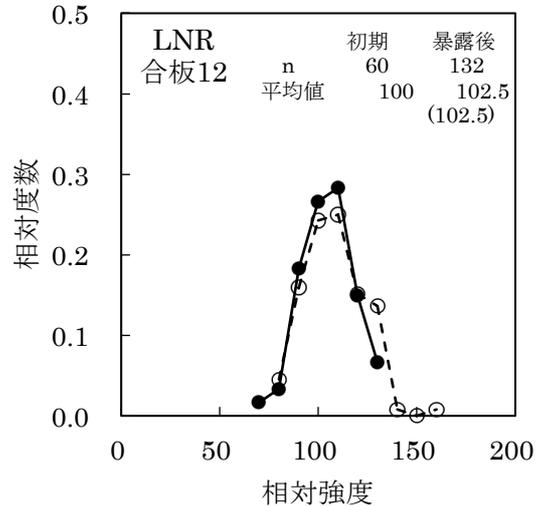
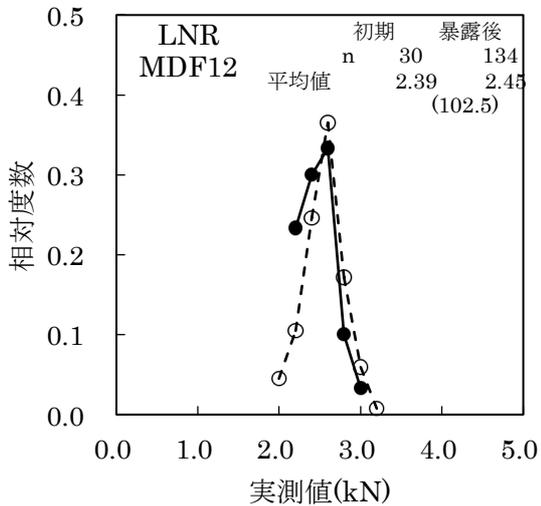
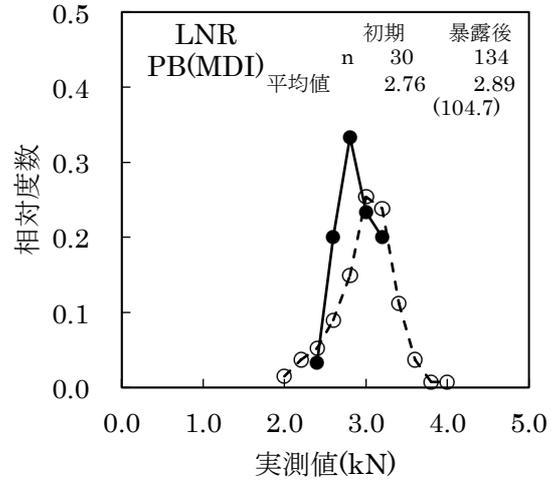
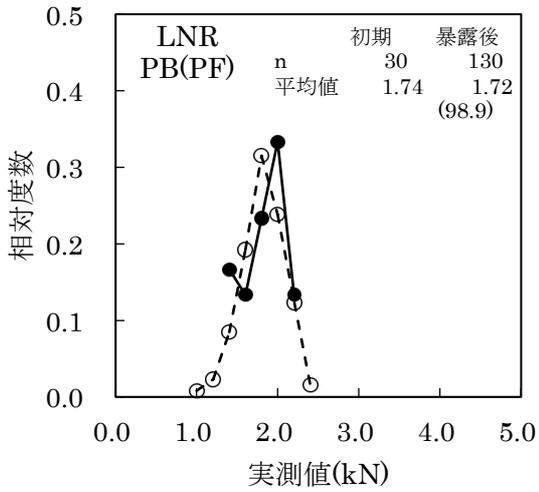
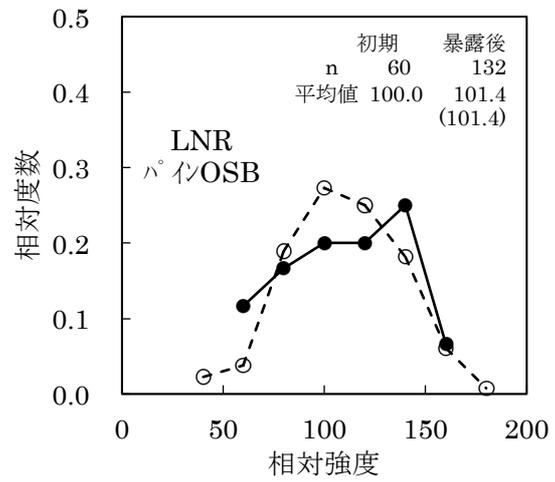
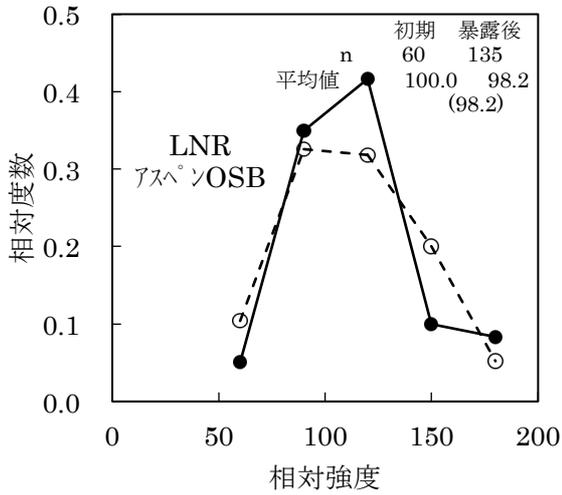


図4 屋内暴露前後の釘側面抵抗 (LNR) 分布の比較

*...有意水準 5%で初期値と有意差あり, * *...有意水準 1%で初期値と有意差あり

注) 実線: 初期分布, 点線: 暴露後分布

括弧内: 暴露後平均値 / 初期平均値 × 100)

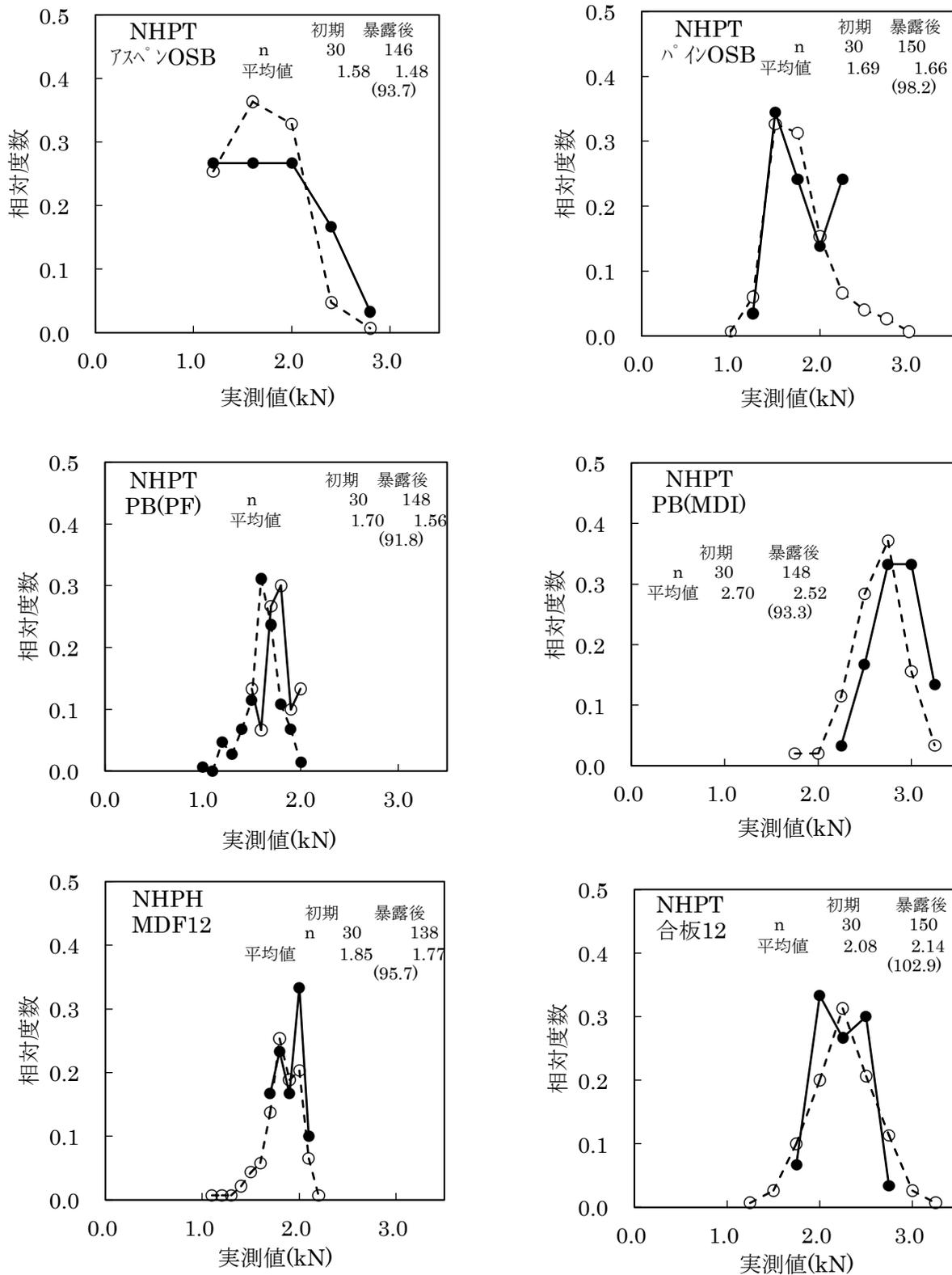


図4 屋内暴露前後の釘頭貫通抵抗 (NHPT) 分布の比較

*...有意水準 5%で初期値と有意差あり, * *...有意水準 1%で初期値と有意差あり

注) 実線 : 初期分布, 点線 : 暴露後分布

括弧内 : 暴露後平均値 / 初期平均値 × 100)

4. まとめ

図1~5における初期値 (実線) の平均値と暴露後試験値 (点線) の平均値について, 有意差検定を行った結果を表2に示す. パネル6種類と物性値5種類という計30条件のうち, 表2の空欄で示される12条件, すなわちPB(MDI)のMOR, MDF12および合板12のIB, 全てのパネルのLNR, そしてOSBと合板のNHPTにおいて有意な劣化は

認められなかった。とくに住宅の耐震性に直結する釘接合性能，とりわけ釘側面抵抗（LNR）は全てのパネルで劣化が認められなかったことは，構造用木質パネルの耐久性を論じるための有用なデータとなり得る。

一方，劣化が認められた 18 条件のうち，低下割合が 10%未満のものは 9 条件，10%以上 20%未満は 6 条件，20%以上が 3 条件となった。アスペン OSB では曲げ性能が約 2 割の低下，IB が約 3 割の低下となっており，他のパネルに比べて耐久性が懸念される材料となっている。また，PB（PF）の IB も 2 割程度低下しており，アスペン OSB に次いで耐久性が懸念される材料となっている。

次項では，これら物性低下が認められたパネルについて，含水率履歴を劣化外力と考えて長期使用の強度劣化を推定する。また，本項では平均値の有意差の有無によって劣化の有無を論じたが，他に採るべき方法として分布の 5%下限の比較も考えられる。ただし，初期値と暴露後の試験体数が大きく異なっており，解析にあたってはこの点にも留意する必要がある。

表 2 暴露前後の平均値の低下割合

	MOR	MOE	IB	LNR	NHPT
アスペン OSB	16**	22**	31**		
パイン OSB	6*	10**	14*		
PB（PF）	8**	10**	22**		8**
PB（MDI）		3*	11**		6**
MDF12	5**	6**			4*
合板 12	13**	8**			

空欄：有意差なし（劣化なし）

数字（平均値の低下割合）：（初期平均値－暴露後平均値） / 初期平均値 × 100

*…有意水準 5%で初期値と有意差あり

**…有意水準 1%で初期値と有

4.3 屋内使用における劣化外力の導入と強度劣化の推定

1. はじめに

本項では前項（4.2）で示された暴露前後での強度分布の比較で平均強度が統計的に有意に低下した木質パネルとその機械的物性を対象に、暴露期間中に受けた水分履歴をベースとする劣化外力を検討し、物性劣化との相関性が最も高くなる劣化外力の試算方法を決定した。また、決定された劣化外力と物性劣化の関係式を用いて、使用 30 年後あるいは 60 年後の残存強度を推定した。

なお、対象とする木質パネルと物性の組み合わせは以下のとおりで、計 18 条件である。アスペン OSB ; MOR, MOE, IB, パイン OSB ; MOR, MOE, IB, PB (PF) ; MOR, MOE, IB, NHPT, PB (MDI) ; MOE, IB, NHPT, MDF12 ; MOR, MOE, NHPT, 合板 12 ; MOR, MOE.

2. 劣化外力の算出方法

一般に、木質パネルの機械的物性劣化の要因（生物劣化を除く）は、含水率変化に伴う木質エレメントの膨潤・収縮応力が接着層や接着点に作用して接着剤の凝集力が低下すること、加水分解によって接着部の凝集力の低下を起こすことが挙げられている。ここで、膨潤・収縮応力の大きさは含水率の変化幅に依存し、また、応力緩和を伴うため変化速度にも依存する複雑な問題であり、木質ボードでは様々な接着点の存在形態があるため、その現象理解を一層複雑にしている。そこで本研究では、劣化外力を考える際に膨潤・収縮応力の大小には言及せず、加水分解の観点に絞り、以下の 2 点をベースに劣化外力の算出方法を検討した。

- i) 含水率が高いほど加水分解は促進される
- ii) 時間が経過するほど加水分解は促進される

劣化外力 α を次式で定義し、ここに、 k は含水率に対応する劣化係数であり、 t はその劣化係数が持続した時間（年）である。

$$\alpha = \sum (k \times t)$$

表 1（前節 4.2 に既出）は試験パネルが暴露された環境での含水率の変動範囲を示すが、このデータを用いて劣化外力 α を算出するが、最適な算出方法を模索するために、以下の 2 点をパラメータとした。

- iii) $k=0$ となる含水率の下限を、4%、8%、12% の 3 種類に設定
- iv) 含水率と k の関係を、直線、指数、対数の 3 種類に設定

すなわち、（下限含水率 3 種類） \times （ k 重み付け 3 種類）= 9 種類の計算方法で算出された α のうち、物性劣化との関係に最も相関性の高いものを選定した。図 1 は含水率変動と設定した劣化係数 k の関係を示しており、表 2 は α 算出に用いた劣化係数 k の一覧である。

表 1 暴露条件別パネル含水率の変動範囲（%，下段は変動幅）

分類	I	II	III		IV	V
			野地板	軒天・鼻隠し		
アスペン OSB	6.7 ⇄ 11.2	7.7 ⇄ 12.1	5.3 ⇄ 11.2	9.1 ⇄ 17.6	7.5 ⇄ 16.2	16.2
	4.5	4.4	5.9	8.5	8.7	
パイン OSB	6.7 ⇄ 11.2	7.7 ⇄ 12.1	5.3 ⇄ 11.2	9.1 ⇄ 17.6	7.5 ⇄ 16.2	16.2
	4.5	4.4	5.9	8.5	8.7	
PB (PF)	8.5 ⇄ 12.3	8.8 ⇄ 15.5	7.3 ⇄ 12.3	10.9 ⇄ 17.2	9.0 ⇄ 15.2	15.2
	3.8	6.7	5.0	6.3	6.2	
PB (MDI)	7.7 ⇄ 11.1	7.9 ⇄ 14.0	6.6 ⇄ 11.1	9.8 ⇄ 15.5	8.1 ⇄ 13.7	13.7
	3.4	6.1	4.5	5.7	5.6	
MDF12	7.6 ⇄ 10.0	8.5 ⇄ 10.9	6.1 ⇄ 10.1	9.6 ⇄ 13.7	8.2 ⇄ 13.3	13.3
	2.4	2.4	4.0	4.1	5.1	
合板 12	10.1 ⇄ 11.5	9.1 ⇄ 13.0	6.1 ⇄ 12.0	10.7 ⇄ 17.3	8.8 ⇄ 16.2	16.2
	1.4	3.9	5.9	6.6	7.4	
平均	7.9 ⇄ 11.2	8.3 ⇄ 12.9	6.1 ⇄ 11.3	9.9 ⇄ 16.5	8.2 ⇄ 15.1	15.1
	3.3	4.7	5.2	6.6	7.0	

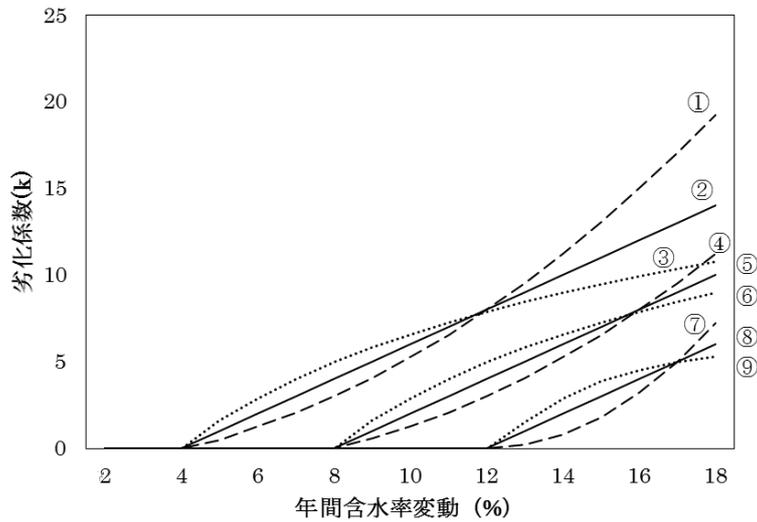


図1 含水率変動と劣化係数 k の関係 (9 種類の設定)

表2 劣化外力算出に用いた劣化係数の一覧

			年間含水率変動範囲 (%)						
			4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18
①	4%	指数	0.5	2.1	4.1	6.6	9.6	13.1	17.1
②	4%	直線	1.0	3.0	5.0	7.0	9.0	11.0	13.0
③	4%	対数	1.6	4.0	5.8	7.2	8.4	9.5	10.4
④	8%	指数	0.0	0.0	0.6	2.1	4.1	6.6	9.6
⑤	8%	直線	0.0	0.0	1.0	3.0	5.0	7.0	9.0
⑥	8%	対数	0.0	0.0	1.6	4.0	5.8	7.2	8.4
⑦	12%	指数	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.8	5.0
⑧	12%	直線	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	3.0	5.0
⑨	12%	対数	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	3.9	5.0

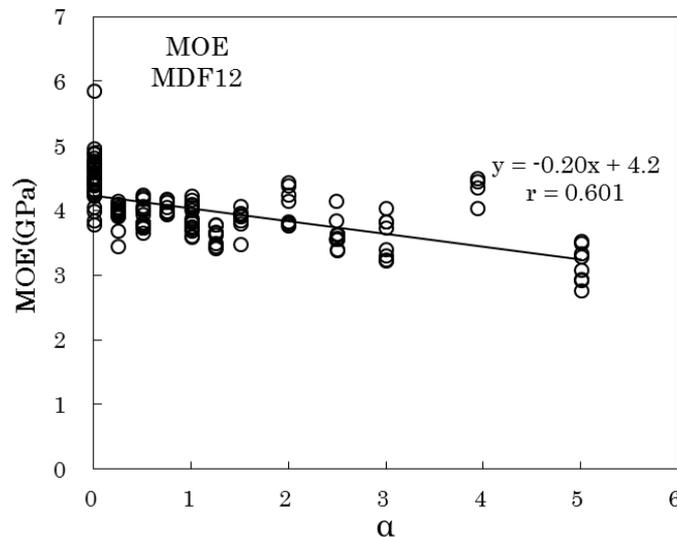


図2 劣化係数 α と MOE 低下の関係 (MDF12, 条件⑧)

表 3 α と物性値の相関係数 (r 値) の一覧

		劣化係数 k の設定条件									
		4%			8%			12%			
		直線	指数	対数	直線	指数	対数	直線	指数	対数	
MOR	合板 12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.13	0.07	
	アスペン OSB	0.00	0.00	0.00	0.06	0.24	0.04	0.35	0.41	0.34	
	パイン OSB	0.00	0.00	0.00	0.03	0.06	0.03	0.09	0.07	0.10	
	PB (PF)	0.17	0.06	0.22	0.03	0.11	0.04	0.27	0.25	0.31	
	MDF12	0.21	0.02	0.27	0.14	0.29	0.17	0.50	0.50	0.50	
MOE	合板 12	0.00	0.02	0.00	0.07	0.17	0.06	0.23	0.23	0.22	
	アスペン OSB	0.00	0.09	0.00	0.17	0.34	0.14	0.44	0.49	0.44	
	パイン OSB	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.26	0.20	0.29	
	PB (PF)	0.00	0.00	0.00	0.12	0.06	0.00	0.28	0.25	0.33	
	PB (MDI)	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	
	MDF12	0.18	0.04	0.00	0.22	0.39	0.26	0.60	0.60	0.60	
IB	アスペン OSB		0.16	0.07	0.19	0.05	0.03	0.05	0.09	0.14	0.09
	パイン OSB	0.07	0.06	0.07	0.06	0.04	0.06	0.02	0.04	0.01	
	PB (PF)	0.08	0.07	0.08	0.07	0.07	0.06	0.07	0.06	0.07	
	PB (MDI)	0.31	0.29	0.32	0.27	0.23	0.26	0.18	0.17	0.18	
NHP T	PB (PF)	0.10	0.07	0.12	0.05	0.02	0.06	0.02	0.01	0.02	
	PB (MDI)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	MDF12	0.00	0.10	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

網掛け部：5%または1%で有意な相関，太字：r 値が最大

3. 物性劣化との相関性

表 3 は 9 種類の方法による劣化係数で計算した劣化外力と物性劣化との相関係数を一覧表にしたものであり，相関関係の一例を図 2 に示した．有意な相関（網掛け部）は MOR では 5 パネル中の 3 パネル，MOE では 6 パネル中の 5 パネルで得られ，曲げ性能は本研究の劣化外力である程度は推定可能という結果がとなった．しかし，IB は 4 パネル中の 1 パネル（アスペン OSB も一部なので正確には 2 パネル）しか有意な相関は認められず，NHPT ではいずれのパネルおよび α 算出方法でも有意な相関は得られなかった．

以上のように，パネルおよび物性の種類に応じて相関の有無は異なるが，有意な相関が得られた条件内で相関係数の大きさから α 算出方法の優劣を比較すると，

- 1) 劣化係数を $k=0$ とする含水率の下限值は 12% が最適
- 2) k の含水率による重み付け（直線，指数，対数）の適否に規則性は見られないという知見が得られた．

表4 $\log \alpha$ と物性値の相関係数 (r 値) の一覧

		k								
		4%			8%			12%		
		直線	指数	対数	直線	指数	対数	直線	指数	対数
MOR	合板 12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.11	0.15
	アスペン OSB	0.00	0.00	0.00	0.01	0.30	0.02	0.27	0.25	0.35
	パイン OSB	0.00	0.02	0.00	0.00	0.03	0.00	0.06	0.05	0.08
	PB (PF)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.36	0.41	0.39
	MDF12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24	0.09	0.21	0.00	0.32
MOE	合板 12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.23	0.20	0.28
	アスペン OSB	0.00	0.03	0.00	0.13	0.42	0.10	0.36	0.32	0.43
	パイン OSB	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	0.24	0.18	0.33
	PB (PF)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.47	0.00	0.47	0.47	0.47
	PB (MDI)	0.00	0.04	0.01	0.06	0.10	0.07	0.15	0.00	0.16
	MDF12	0.00	0.00	0.00	0.13	0.36	0.18	0.30	0.00	0.43
IB	アスペン OSB	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.15	0.12	0.15
	パイン OSB	0.04	0.05	0.04	0.05	0.06	0.05	0.05	0.03	0.05
	PB (PF)	0.18	0.19	0.18	0.18	0.19	0.18	0.15	0.11	0.15
	PB (MDI)	0.41	0.42	0.41	0.41	0.39	0.41	0.35	0.41	0.31
NHPT	PB (PF)	0.02	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	PB (MDI)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	MDF12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

網掛け部：5%または1%で有意な相関，太字：r 値が最大

表5 $\sqrt{\alpha}$ と物性値の相関係数 (r 値) の一覧

		k								
		4%			8%			12%		
		直線	指数	対数	直線	指数	対数	直線	指数	対数
MOR	合板 12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.27	0.22	0.24	0.21
	アスペン OSB	0.00	0.00	0.00	0.04	0.28	0.01	0.48	0.50	0.48
	パイン OSB	0.00	0.00	0.00	0.02	0.05	0.02	0.10	0.09	0.10
	PB (PF)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.04	0.34	0.36	0.36
	MDF12	0.00	0.10	0.00	0.11	0.29	0.15	0.57	0.57	0.57
MOE	合板 12	0.00	0.00	0.00	0.04	0.16	0.03	0.31	0.30	0.31
	アスペン OSB	0.00	0.06	0.00	0.16	0.39	0.13	0.56	0.57	0.55
	パイン OSB	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.39	0.36	0.40
	PB (PF)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.39	0.00	0.39	0.39	0.39

	PB (MDI)	0.00	0.00	0.00	0.02	0.05	0.03	0.17	0.00	0.14
	MDF12	0.00	0.00	0.00	0.19	0.40	0.24	0.69	0.69	0.69
IB	アスペン OSB	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.18	0.20	0.17
	パイン OSB	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.03
	PB (PF)	0.13	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.11	0.10	0.12
	PB (MDI)	0.37	0.36	0.37	0.34	0.31	0.34	0.15	0.18	0.16
NHPT	PB (PF)	0.07	0.05	0.08	0.03	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
	PB (MDI)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	MDF12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

網掛け部：5%または1%で有意な相関，太字：r 値が最大

4. 相関性の向上にむけた座標軸の変換

前項では劣化外力の座標軸として α そのものを用いたが，ここでは， $\log \alpha$ および $\sqrt{\alpha}$ の2種類を用いて，相関係数が向上するかどうかを検討した．結果を表4と5に示す．表3に得られた最適条件の相関係数と比べると，X軸を $\log \alpha$ および $\sqrt{\alpha}$ にした場合で得られた相関係数の方がすべての場合で大きくなった．すなわち，屋外暴露試験の場合と同様，木質パネルの劣化速度は，劣化外力の増加とともにしだいに緩やかになっていくことが示唆される．なお，座標軸を \log や $\sqrt{}$ に変換してもNHPTに関しては有意な相関は得られなかった．

5. 強度劣化の推定

上記の相関性の検討結果をもとにr値が0.3以上の場合を対象として，最も高い相関係数が得られたX軸およびX座標の算出方法で得られた回帰式を用いて，特定の使用環境における強度残存率を推定した．

想定した使用環境は，住宅の構造用下地材のうち内部結露や事故的水掛かり等の水分トラブルが生じない場合と定期的に生じる場合の2条件とした．水分トラブルが生じない場合として，表1に示す水分レベルⅢ（野地板）の含水率変動データを用い，30年後と60年後の強度残存率を推定した．また，水分トラブルが定期的に生じる条件として，表1に示す水分レベルⅣの含水率変動データを用い，30年後の強度残存率を推定した．具体的には，それぞれの含水率変動から前述の方法に従って α を算出してx座標を決定し，回帰式からy座標を求める．初期値に対する残存率を算出したのが表6である．結果を概観すると，水分トラブルが無い場合の30年および60年後の性能は，PB (MDI)のIBで20%~25%程度の低下が生じるものの，曲げ性能の劣化は最大で1割程度という結果となった．一方，水分トラブルがある場合，いくつかのパネルと強度の組み合わせで強度が半減するという推定結果となった．これより内部結露や事故的水掛かりなどの水分トラブルを定期的に点検し，補修・修繕することの必要性が示唆される．

表6 最適な劣化外力指標より推定した使用30年および60年後の強度劣化

強度	分類	水分トラブル(内部結露、事故的水掛り)				
		なし			あり	
		含水率範囲(%)	残存率(%)		含水率範囲(%)	残存率(%)
			30年	60年		30年
MOR	アスペンOSB	5.3~11.2	100	100	7.5~16.2	36
	PB(PF)	7.3~12.3	96	93	9.0~15.2	79
	MDF12	6.1~10.1	100	100	8.2~13.3	32
MOE	合板12	6.1~12.0	100	100	8.8~16.2	68
	アスペンOSB	5.3~11.2	100	100	7.5~16.2	29
	ハインOSB	5.3~11.2	100	100	7.5~16.2	66
	PB(PF)	7.3~12.3	89	86	9.0~15.2	71
	MDF12	6.1~10.1	100	100	8.2~13.3	62
IB	PB(MDI)	6.6~11.1	79	76	8.1~13.7	77

5. 促進劣化試験の結果と考察

5.1 促進劣化試験の結果

静岡大学 小島 陽一, 鈴木 滋彦

1. はじめに

耐久性能評価の際、実際に使用された材料の物性試験を行うことが最も良いとされ理想と考えられている¹。しかしながら、評価の基準となる初期値が得られない場合がほとんどであり、現実問題としては困難といえる^{2,4}。現実的な木質パネル類の耐久性能評価の手法としては、長期的評価と短期的評価が考えられる。屋外暴露試験のように、長期の使用を考慮し、時間経過の要素を加えて評価するものが長期的評価である。しかし、屋外暴露に関しては長期間を要する、地域差が生じる、再現性が乏しい、使用環境と暴露環境に差がある、など様々な問題点が指摘されている^{1,5}。一方、短期的評価は吸水、煮沸、スチーム、凍結、乾燥処理などの促進劣化処理を行って物性値の変化を見ることで、品質を検討し、将来の保証をしようというものである。この促進劣化試験は屋外暴露試験に比べ短期間に行えるという利点があり、耐久性能を判断するための実用的な手法として不可欠であるが、処理が人為的であるために、屋外暴露試験を抛り所として強弱や妥当性が判断されている。本節では、プロジェクトの一環として実施した各種促進劣化試験の結果を紹介する。

2. 促進劣化試験の概要

促進劣化試験として、①JIS-B 処理繰り返し、②APA D-1 処理繰り返し、③V313 法、④ASTM6 サイクル試験、⑤VPSD 法の 5 つを実施した。詳細を以下に示す。

①JIS-B 処理繰り返し

パーティクルボードの耐久性能に関連した国内の規格としては、JIS A5908⁶の湿潤曲げ A 試験および B 試験がある。同様の試験法が JANS20⁷および ISO20585⁸にも規定されている。これらは本来、濡れた状態で曲げ試験を行うものであり、処理は 1 回行うことと規定されているが、本プロジェクトでは湿潤曲げ試験 B 試験の煮沸処理および常温浸漬処理を施した後に乾燥処理を行い、これらを最大 6 回繰り返すサイクル処理として行った。

- (1) 沸騰水中に 2 時間浸漬
- (2) 室温水中に 1 時間浸漬
- (3) 60°C 温風乾燥 21 時間

②APA D-1 処理繰り返し

APA-The Engineering Wood Association の試験方法 D-1⁹には、66°C 温水中に 8 時間浸漬→82°C で元の重量まで乾燥→室温で 1.5 時間静置の促進劣化試験が規定されているが、本プロジェクトでは乾燥時間を 14.5 時間と定め、これらを最大 6 回繰り返すサイクル処理として行った。

- (1) 66°C の温水中に 8 時間浸漬
- (2) 82°C 温風乾燥 14.5 時間
- (3) 室温で 1.5 時間静置

③V313 法

欧州では EN 規格¹⁰ (EN321) に乾湿処理を繰り返す促進処理方法が規定されている。同様の試験法が JANS12¹¹および ISO16987¹²にも規定されている。これらは本来、吸水、凍結、温風乾燥の 1 サイクルを 3 回繰り返すものであるが、本プロジェクトでは最大 6 回繰り返した。

- (1) 20±1°C の水中に 70±1 時間浸漬
- (2) -12 から -20°C の凍結処理 24±1 時間
- (3) 70±2°C 温風乾燥 70±1 時間
- (4) 調湿 4±0.5 時間

④ASTM6 サイクル試験

米国では、American Society for Testing and Materials (ASTM) の試験方法 D1037¹³が知られている。これは

- (1) 49℃の温水中に 1 時間浸漬
- (2) 93℃のスチーム処理 3 時間
- (3) -12℃の凍結処理 20 時間
- (4) 99℃熱風乾燥 3 時間
- (5) 93℃のスチーム処理 3 時間
- (6) 99℃熱風乾燥 18 時間

を 1 サイクルとして、これらを 6 回繰り返す方法である。

⑤VPSD 法

木質パネル類の劣化に大きく影響を及ぼすとされる水分の吸脱湿を繰り返す方法として Vacuum Pressure Soak and Dry (VPSD 法)¹⁴を実施した。VPS は Heebink¹⁵によって始められ、その後繰り返し処理が行われるようになった。VPSD 法は以下の処理を 1 サイクルとして、これらを数回繰り返す方法である。

- (1) 減圧 (1.3kPa) 吸水 0.5 時間
- (2) 加圧 (2.9×10^2 kPa) 吸水 1 時間
- (3) 60℃温風乾燥 22 時間

以上、5 つの促進劣化試験を、それぞれ規格に定められたサイクル数に加え、1~10 回のサイクル数で行った。各処理ステージで質量および厚さを測定し、初期値を基準として厚さ膨張率 (TS) および吸水率 (WA) を算出した。処理終了後、十分に養生した後、曲げ試験、はく離試験を行い、各種物性値を算出した。

3. 促進劣化試験の結果

以下に促進劣化試験の結果を示すが、筆者らは促進劣化試験の結果をこれまでに厚さ膨張率 (TS)¹⁶、内部結合力 (IB)¹⁷、曲げ性能 (MOR および MOE)¹⁸の 3 項目を中心にまとめている。ここでも、上記 3 項目に分けて結果を紹介する。なお、詳細に関しては、論文を参考にされたい。

3.1 厚さ膨張率

図 1 に 5 つの促進劣化試験における各処理ステージごとの厚さ膨張率 (TS) の変化を示す。この図より TS は浸漬処理、スチーム処理、減圧加圧吸水処理後に増加し、乾燥処理後に減少する傾向が見て取れる。V313 法や ASTM6 サイクル試験において、凍結処理 (-12℃) 後に TS はわずかに増加した。試験終了後の TS は PF 接着剤使用のボード (PB (PF) や OSB2 種類) でより高くなっており、JIS-B 処理繰り返しや ASTM6 サイクル試験では 30%を超える値となっている。一方、MDI 接着剤使用のボード (PB (MDI) や MDF (MDI)) では PF 接着剤使用ボードに比べて TS は低い値となった。合板の TS は全促進劣化試験において 10%以内に収まっていた。

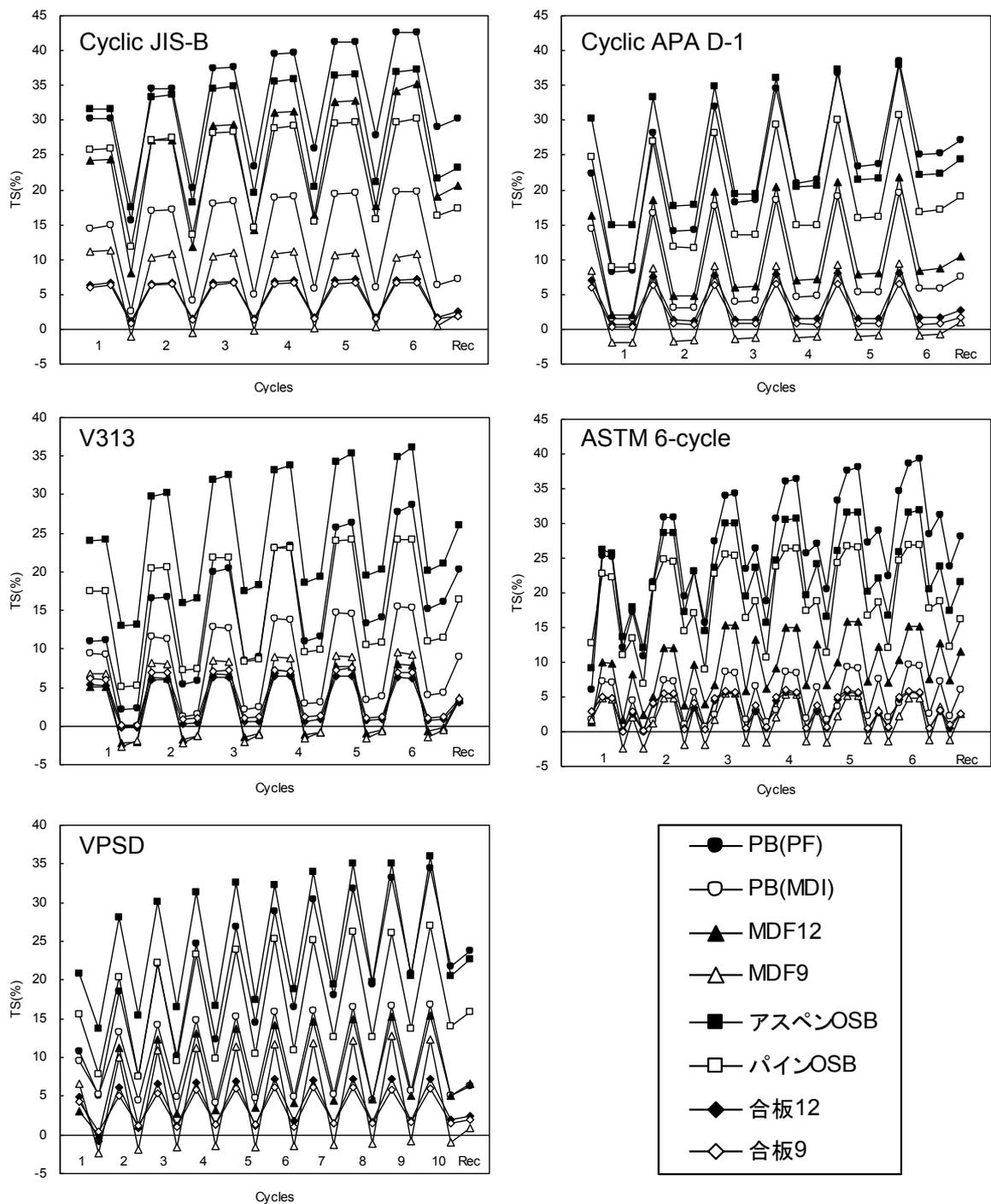


図1 促進劣化試験における各処理ステージごとの厚さ膨張率 (TS)

3.2 内部結合力 (IB)

図2に5つの促進劣化試験における内部結合力 (IB) 残存率の結果を示す。残存率とは初期を100%として試験後にどれだけ強度を維持しているかを表す指標である。試験体によっては残存率が100%以上になることがあるが、その場合は100%とした。合板を除いて、全ての促進劣化試験において、IB残存率は処理サイクルの増加に伴い、指数関数的に減少する傾向を示した。PB (PF) や OSB (aspen) では、最終的なIB残存率が10%以下となった。それに対し、PB (MDI) では40%、さらにはMDF (MDI) では80%を維持する結果となった。エレメントサイズで比較すると、エレメントサイズが小さい材料ほど高いIB残存率を維持する結果となったことから、エレメントサイズは内部結合力に大きく影響を及ぼす因子であると推察される。

それぞれの処理試験での劣化速度を比較するために、IB残存率と処理回数 (t) を以下の式で近似した。

$$IB \text{ 残存率} = A + (100 - A) \times \exp(-t/B)$$

ここで係数 A は下限値、B は下限値に近づく速さを示すものである。これらの係数を非線形の最小二乗法により求めた。表 1 に合板を除く 6 種類のマット成形タイプのボードについて促進処理試験ごとに得られた係数 A および B をまとめた。これより、ボードの種類によって強度下限値や劣化速度に大きな差が生じていることが分かる。

次に、IB 残存率と厚さ膨張率 (TS) の関係を考察する。図 3 に促進劣化試験における IB 残存率と TS をプロットした結果を示す。IB 残存率は TS の増加に伴って指数関数的に減少する傾向を示した。また図中に示した近似曲線は以下の式となり、材料の種類に関係なく、相関性が高い結果となった。

$$IB \text{ 残存率} = \exp(4.590 - 0.084 \times TS)$$

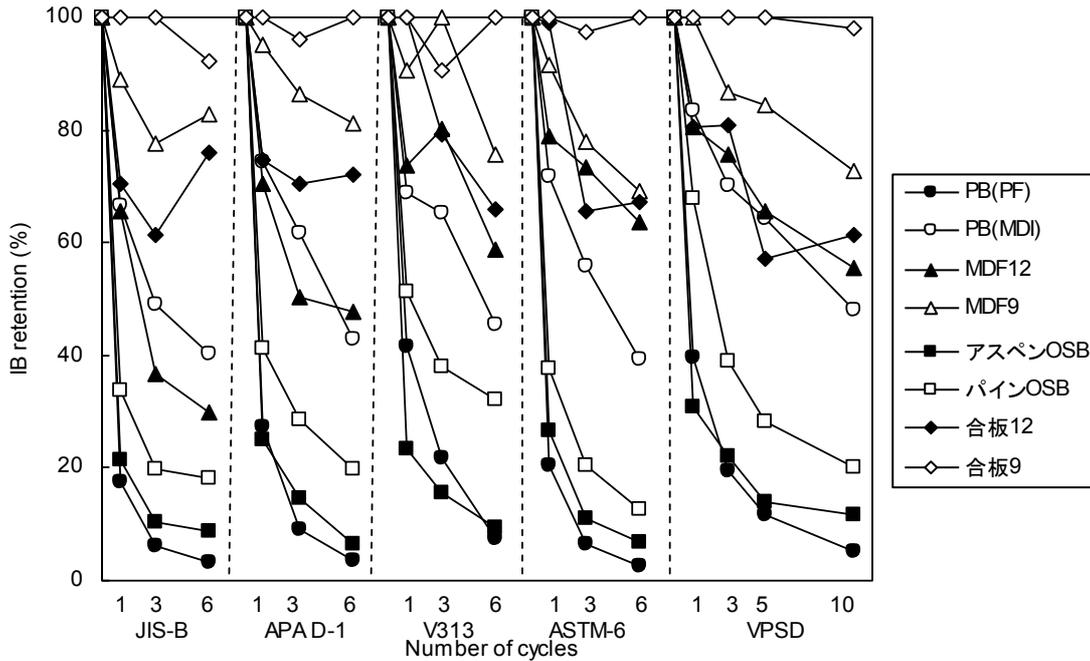


図 2 促進劣化試験における内部結合力 (IB) 残存率の推移

表 1 マット成形タイプボードでの係数 A および B

	Cyclic JIS-B		Cyclic APA D-1		V313		ASTM 6-cycle		VPSD	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
PB(PF)	4.7	0.50	5.6	0.69	11.5	0.99	4.3	0.56	13.9	0.85
PB(MDI)	41.2	1.26	40.2	2.33	49.9	1.42	38.4	1.97	62.4	1.78
MDF12	28.0	1.49	46.7	1.21	68.7	0.63	66.1	1.23	67.8	1.29
MDF9	80.3	0.99	76.3	3.71	---	---	60.9	3.76	45.4	8.89
アスペンOSB	9.5	0.49	10.2	0.56	12.4	0.48	8.5	0.62	17.7	0.55
パインOSB	18.6	0.59	23.4	0.71	34.2	0.76	15.5	0.76	23.5	1.85

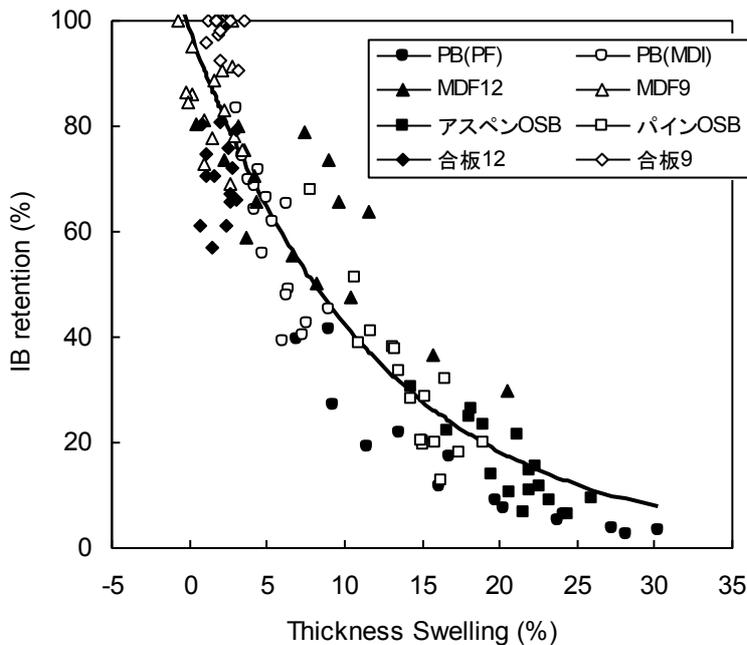


図3 IB 残存率と TS の関係

3.3 曲げ性能

図4に5つの促進劣化試験における曲げ性能（MOR および MOE）残存率の結果を示す。5つ全ての促進劣化試験でMDF（MDI）ではMOR, MOE 残存率ともに80%程度を維持する結果となった。合板に関しては、バラつきが非常に大きい結果となった。また基本的には、曲げ性能残存率はサイクル数に対して指数関数的な減少傾向を示した。

次に促進劣化試験間の相関性を検討する。表2に曲げ性能残存率を指標として直線回帰（ $Y=aX+b$ ）して得られた係数 a , b および相関係数 R の値を示す。促進劣化試験名の後の括弧内の数字は繰り返し数を示す。この表より全体的に相関係数は高く、直線的な関係が見られたといえる。特に、JIS-B (6) と APA D-1 (6), JIS-B (6) と ASTM (6), APA D-1 (6) と ASTM (6), V313 (3) と VPSD (10) の組合せでは、相関係数が0.9以上であり、かつ、回帰直線の切片 (b) が ± 10 以内に収まっていた。そのため、この4つの組合せに関して、 $Y=ax$ で直線回帰を行った。その結果を図5に示す。この図より、4つの組合せ全てで相関係数がほぼ1.0となり、1対1の関係が見て取れる。このように、JIS-BやAPA D-1は規格では繰り返し回数は1回とされているが、6回繰り返すことで、他の促進劣化試験との相関性が高くなることが分かった。

表2 促進劣化試験間の相関性

X-axis	coefficient	Y-axis			
		APA(6)	V313(3)	ASTM(6)	VPSD(10)
JIS-B(6)	a	0.90	0.50	0.88	0.61
	b	7.2	33.2	6.7	26.2
	R	0.97	0.79	0.94	0.88
APA(6)	a		0.59	0.99	0.72
	b		27.4	-0.7	19.6
	R		0.87	0.98	0.95
V313(3)	a			1.29	1.03
	b			-24.5	-2.8
	R			0.86	0.91
ASTM(6)	a				0.71
	b				20.7
	R				0.95

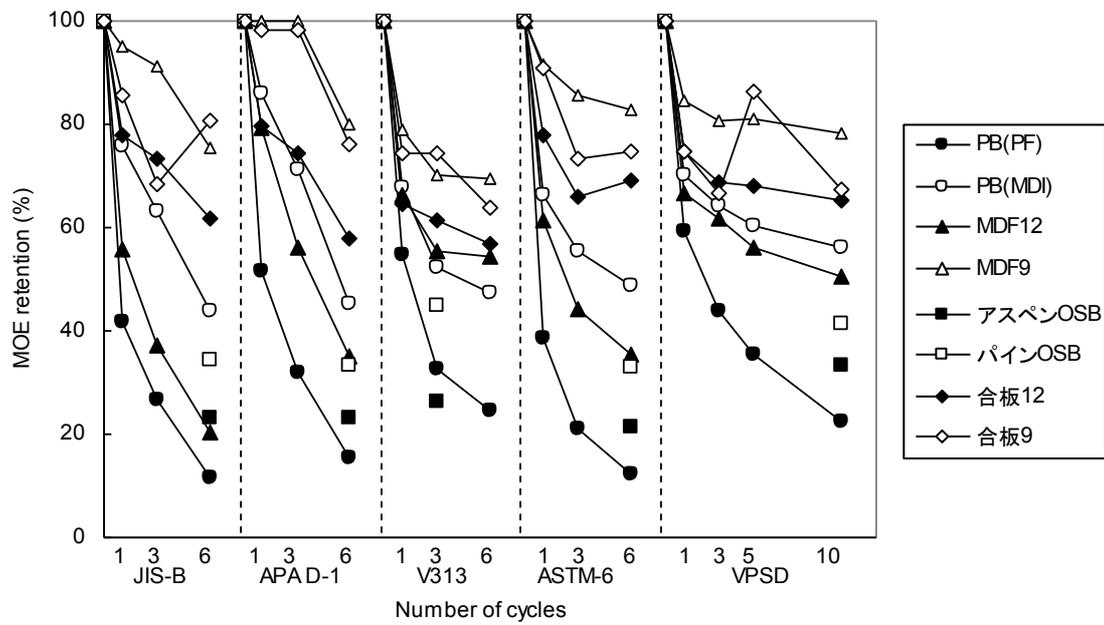
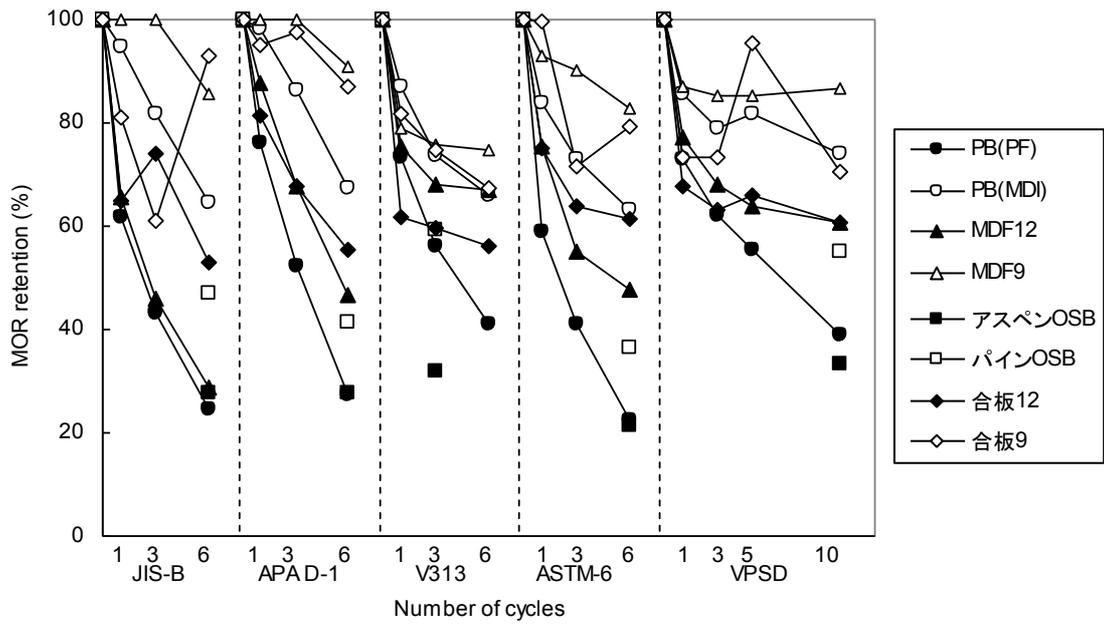


図4 促進劣化試験における曲げ性能（上：MOR 残存率，下：MOE 残存率）の推移

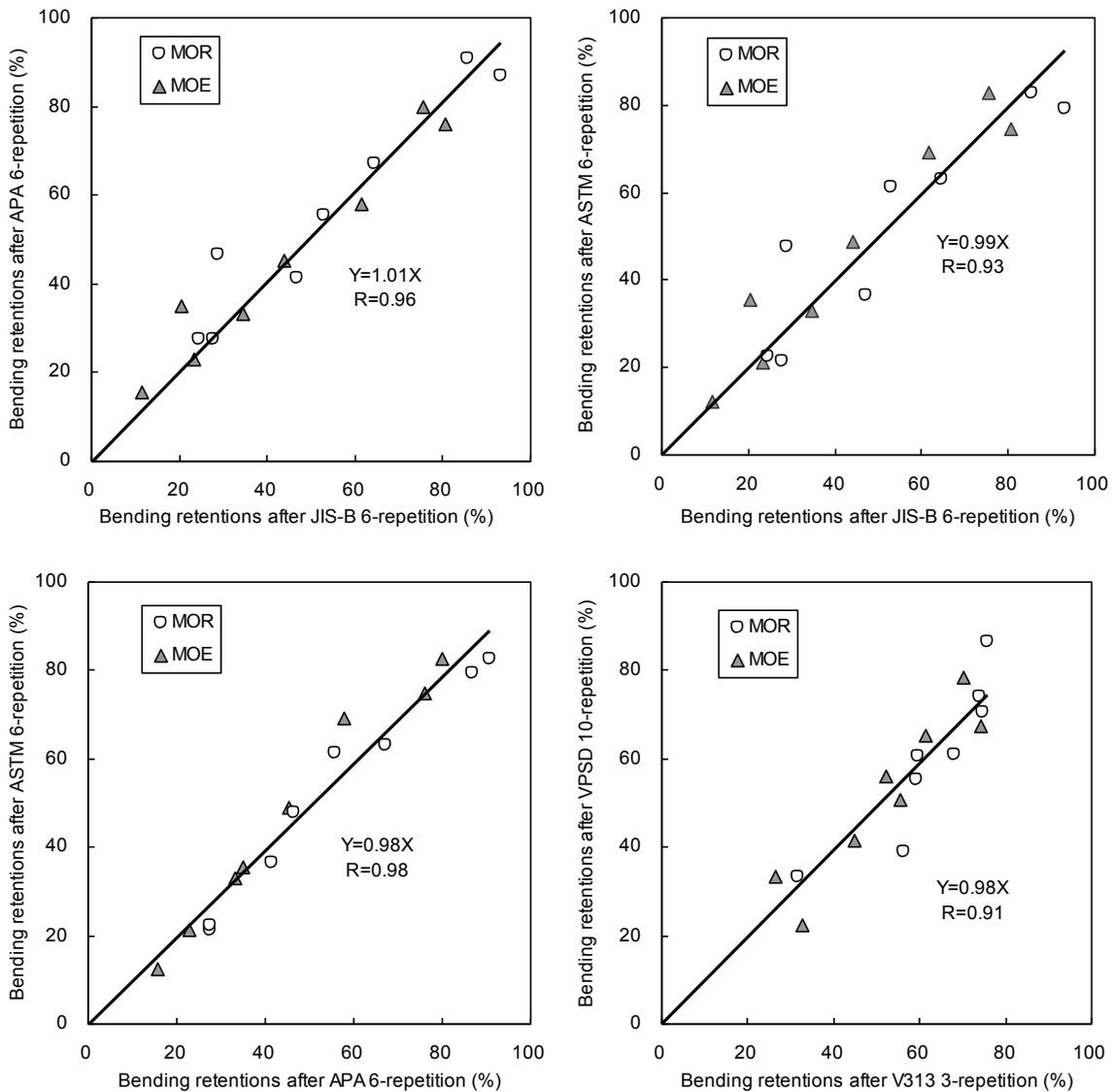


図5 曲げ性能を指標とした促進劣化試験間の相関性

4. まとめ

本プロジェクトの大きな柱の1つとして5種類の促進劣化試験を実施し、厚さ膨張率、内部結合力、曲げ性能の3つの観点から考察を行った。通常、促進劣化試験はサイクル終了後のみ、厚さや重量を測定し、強度試験を実施するものであるが、本プロジェクトでは各処理ステージごとの厚さ変化、重量変化を追うことで、各処理ステージでのボード類の挙動を推察することが可能となった。また、例えばJIS-B試験等においては規格としては1回処理をした後に試験をして終了となるが、本プロジェクトではその他の促進劣化試験との相関性を検討するために、あえて規格に定められた試験回数以外も実施した。いずれにせよ、本プロジェクトで実施した促進劣化試験は非常に手間と時間がかかることを痛感したのでもう少し簡易な方法（実使用環境に近い条件？）を考案していくことが必要なのではないかと思われる。

5. 文献

1. 鈴木滋彦ら：静岡大学農学部附属演習林報告 24, 63-70 (2000)
2. 日本住宅・木材技術センター：床用パーティクルボードの手引き、その品質と性能, 70-79 (1984)
3. 大熊幹章ら：木材工業 36 (6), 8-18 (1981)
4. 有馬孝礼：日本木材学会第5回日本木材接着研究会要旨集, 25-30 (1984)
5. 往西弘次：日本木材学会研究分科会報告書「木材の科学と利用技術 1.接着耐久性」, 51-58 (1989)

6. 日本工業規格 : JIS A5908 (1984)
7. Japanese Australian New Zealand Standard : JANS 20 (1999)
8. International Organization for Standardization : ISO 20585 (2005)
9. APA-The Engineered Wood Association : APA PRP 108 (1994)
10. The European Standard : EN321 (1993)
11. Japanese Australian New Zealand Standard : JANS 12 (1999)
12. International Organization for Standardization : ISO 16987 (2003)
13. American Society for Testing and Materials : ASTM D1037 (1995)
14. 西田忠弘 : 静岡大学農学部卒業論文 (2006)
15. Heebink BG : Forest Products Journal 17 (9) , 77-80 (1967)
16. Kojima et al. : Forest Products Journal 59 (5) , 35-41 (2009)
17. Kojima et al. : Journal of Wood Science 57 (1) , 7-13 (2011)
18. Kojima et al. : Journal of Wood Science 57 (2) , 126-133 (2011)

5.2 促進劣化試験と屋外暴露試験の対応

静岡大学 小島 陽一, 鈴木 滋彦

1. はじめに

北米や欧州の規格で定められた促進劣化試験は、その結果と当該国の自然環境ベースの促進劣化試験として位置づけた屋外暴露試験結果を比較することで、その処理条件の妥当性が検討されてきた。古くは、米国林産試験場において、1958年に実施されたバイマツのフレックボードを使用した屋外暴露試験では、8年間の屋外暴露での劣化に相当する促進劣化条件として ASTM6 サイクル試験および 70°C-20%RH と 27°C-90%RH のサイクル試験を挙げている¹。さらに、フェノール樹脂接着剤で製造した各種木質パネル類の屋外暴露試験では、最長 12 年間の屋外暴露試験結果と ASTM6 サイクル試験および 10 分間煮沸→3.75 時間 107°C 乾燥試験の間に相関性があることを報告されている^{2,3}。他にも、市販のアスペンウェハーボードを対象としたカナダのプレーリーや沿岸部を含む 3 地点の屋外暴露試験では、5 年間の屋外暴露試験後の曲げ性能に相当する促進劣化条件として、ASTM6 サイクル試験と 2 時間連続煮沸試験を挙げている⁴。一方で、メラミン樹脂系接着剤で作製し、オーバーレイ加工等も二次加工した木質パネルの屋外暴露試験では、米国 4 地点での屋外暴露試験結果と促進劣化試験結果には十分な相関が認められなかったと報告している⁵。このようにマット成形ボード類に関しては、暴露試験地が北米中心であり、国内の検討事例はあまり見当たらない。本節では、プロジェクトで実施した屋外暴露試験結果と前節で紹介した促進劣化試験結果の対応関係を考察した。

2. 実験概要

屋外暴露試験に関しては、2章で述べたとおりの方法で実施した。また促進劣化試験は前節で述べたとおりである。

3. 両者の対応関係についての考察

以下に促進劣化試験と屋外暴露試験の対応を紹介するが、筆者らはこれまでに主に、内部結合力 (IB)⁶、曲げ性能 (MOR および MOE)⁷ の 2 項目を中心にまとめている。ここでも、上記 2 項目に分けて結果を紹介する。なお、詳細に関しては、論文を参考にされたい。

3.1 内部結合力を指標にした両者の対応

静岡市での 5 年間の屋外暴露試験結果と 5 つの促進劣化試験結果を並べたものを図 1 に示す。ここでは、規格に定められたサイクル数での結果には*を付した。また VPSD 法に関しては、1 回、3 回繰り返し、5 回繰り返し、10 回繰り返しの 4 条件全てを記載した。屋外暴露試験に関しては、1 年～5 年までの 5 つのデータを記載した。屋外暴露のデータは第 3 章で述べたように地域差を補正するために気象因子によって「劣化外力」を算出することで暴露試験地以外での劣化も予測できる。この図では、劣化外力として月平均気温 T_m と月降水量 P_m の積 ($\sum (T_m \times P_m)$) の対数をとったものを採用した。このように、促進劣化試験結果と屋外暴露試験結果を 1 つの図に示すことで、促進劣化試験と屋外暴露試験の処理の厳しさを比較することが可能となった。

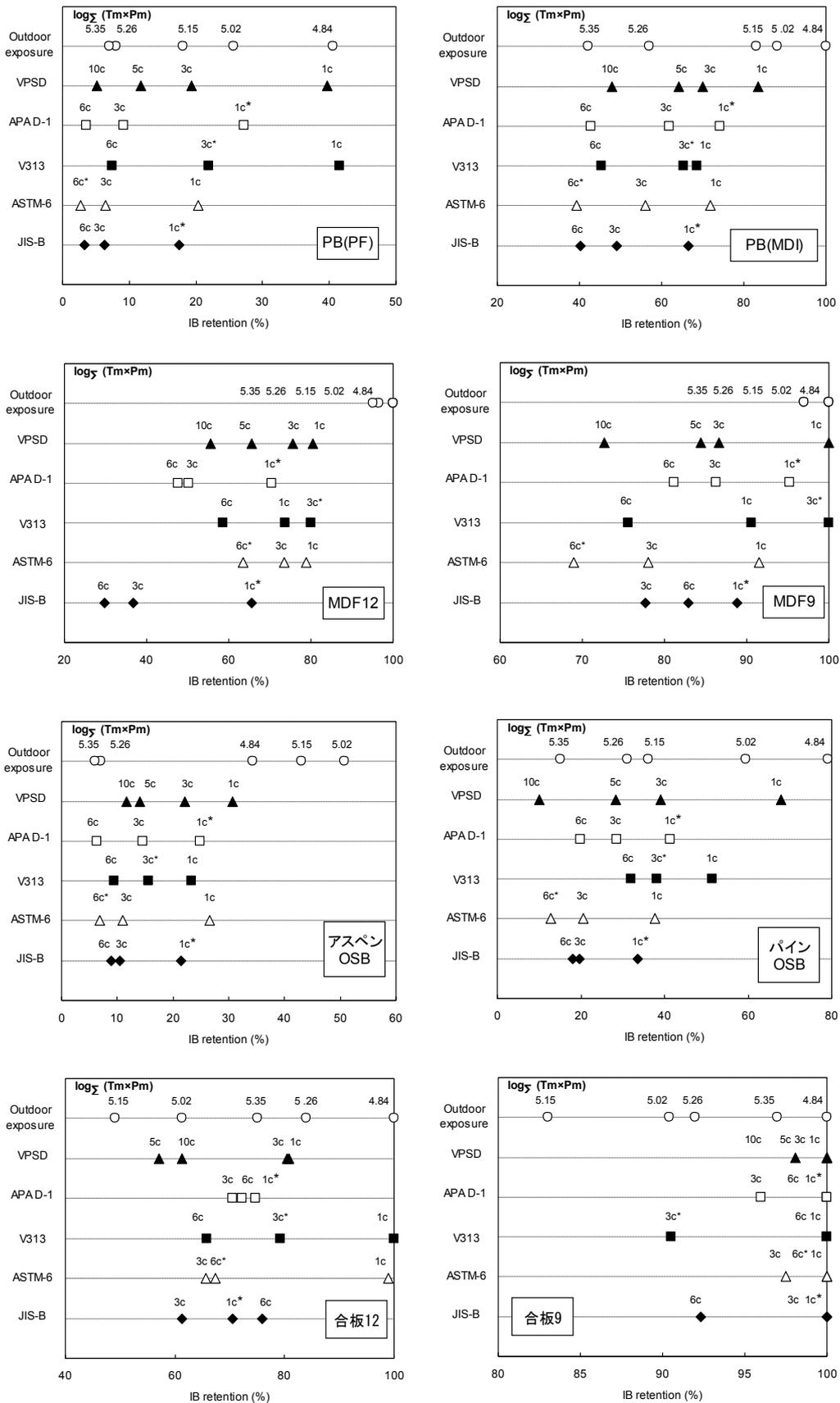


図1 内部結合力を指標とした促進劣化試験と屋外暴露試験の対応

さらに、少々乱暴な手法であるが、全パネル（8種類）の結果を平均化することで図1ではパネル毎の結果であったものを1つの図としてまとめた。その図を図2に示す。この図における Mean IB retention（平均IB残存率）とはPB（PF）のIB残存率からPW（9）のIB残存率までの8種類のパネルのIB残存率を平均化したものである。式で表現すると以下のとおりである。

Mean IB retention= [PB (PF) の IB 残存率+PB (MDI) の IB 残存率+.....+PW (9) の IB 残存率] ÷8

また、この図における縦軸は促進劣化試験の種類（屋外暴露を含む）となっており、cはサイクル数、屋外暴露試験での数値は図 1 と同様に劣化外力を表している。この図より各処理の厳しさを比較することができる。例えば、劣化外力が 5.02 の地域での劣化は VPSD 法 1 回に相当すること、さらには、APA D-1 処理の 6 回繰り返しの劣化は JIS-B 試験の 3 回繰り返しや VPSD 法の 10 回繰り返しの劣化に相当すること、等が言える。また他の屋外暴露試験地での劣化外力は第 3 章ですでに掲載済みであり、その値とこの図の劣化外力の値を比較することで、地域間の劣化の差を比較することも可能になる。さらに、規格回数（図中の*）で処理の厳しさを比較すると、ASTM6 サイクル試験が最も厳しい処理条件であると言える。

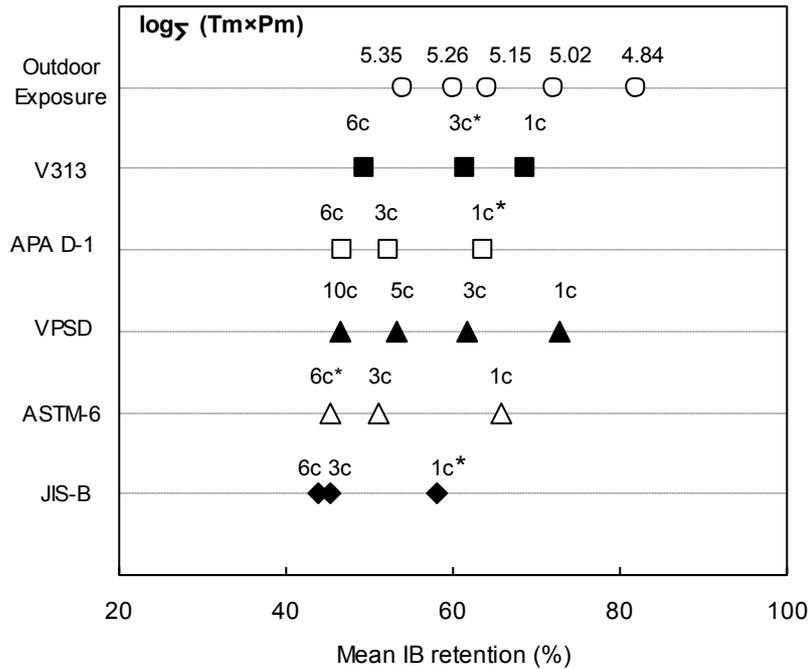


図 2 内部結合力を指標とした促進劣化試験と屋外暴露試験の対応

3.2 曲げ性能を指標にした両者の対応

表 1 に曲げ性能を指標にした促進劣化試験と屋外暴露試験（静岡 5 年）間の相関性を示す。ここでは $Y=aX+b$ で直線回帰し、係数 a および b、相関係数 R の値を示した。全ての組合せで相関係数 R の値は 0.82-0.95 となり、両者には高い相関性が見られた。中でも、相関係数が 0.9 以上であり、かつ、回帰直線の切片 (b) が ±10 以内に収まっていたのが、ASTM6 サイクル試験と屋外暴露 5 年の組合せである。この組合せについて、 $Y=aX$ で直線回帰した結果を図 3 に示す。傾き 1.07、相関係数 0.91 とほぼ直線関係となった。つまり静岡 5 年間の屋外暴露試験による曲げ性能の劣化は ASTM6 サイクル試験における劣化とほぼ同等であると言える。

表 1 曲げ性能を指標にした促進劣化試験と屋外暴露試験（静岡 5 年）の相関性

X-axis	coefficient	Y-axis				
		JIS-B(6)	APA(6)	V313(3)	ASTM(6)	VPSD(10)
5-year Outdoor Exposure	a	0.86	0.88	0.61	0.92	0.69
	b	10.4	11.4	30.2	8.7	25.3
	R	0.82	0.92	0.93	0.93	0.95

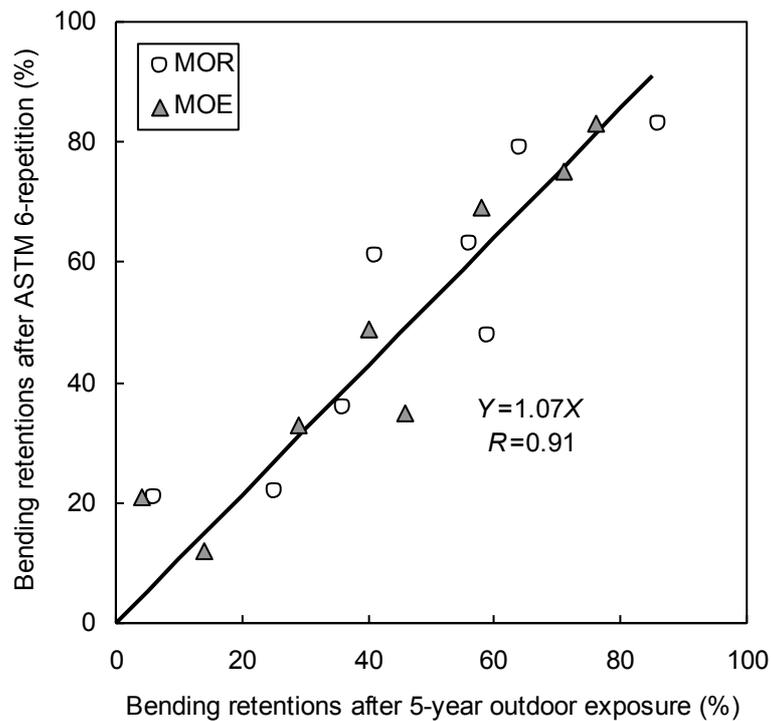


図3 ASTM6 サイクル試験と屋外暴露（静岡5年）の対応

4. まとめ

本節では、5つの促進劣化試験結果（特に内部結合力、曲げ性能）と静岡での5年間の屋外暴露試験結果の対応関係を検討した。基本的に、規格に定められている促進劣化試験は屋外暴露試験結果と相関性が高くなるように設定された試験であるため、本プロジェクトにおいても、両者は高い相関性を示した。このことから長期間を要する屋外暴露試験を実施せずに、短期間で結果の出る促進劣化試験を実施して屋外暴露試験での劣化を推察することは可能であると言える。また、屋外暴露試験結果「劣化外力」の考え方を利用し、気象因子から劣化外力を算出することで様々な場所における屋外暴露試験と促進劣化試験との相関性も検討可能である。

5. 文献

1. Jokerst R : USDA Forest Service, Forest Products Laboratory Research Note, FPL0199 (1968)
2. River BH : Forest Products Journal 44 (11/12) , 55-65 (1994)
3. Okkonen EA et al. : Forest Products Journal 46 (3) , 68-74 (1996)
4. Alexopoulos J : Forest Products Journal 42 (2) , 15-22 (1996)
5. Geimer RL et al. : USDA Forest Service, Forest Products Laboratory Research Note, FPL0212 (1973)
6. Kojima et al. : Journal of Wood Science 57 (1) , 7-13 (2011)
7. Kojima et al. : Journal of Wood Science 57 (2) , 126-133 (2011)

1. はじめに

5.1において、促進劣化試験後の各種木質パネルのMOEおよびMOE残存率の変化挙動は、JIS-B, APAおよびASTMの三者間、V313とVPSDの二者間で相関性が高い傾向が認められた。これらは、変化挙動の相関性が高いということは、劣化メカニズムが各試験で類似している可能性が高いことを示唆している。従って、水熱ストレスによる接着劣化がもたらす物性変化は、化学反応速度論に準じたモデルで統合化できる可能性がある。

化学反応速度論を用いた物性変化の解析は、塗料やプラスチック製品を対象とした高分子材料全般で幅広く取り組まれており、木材や木材接着、木質材料への適用例も多く、熱ストレスによる劣化は、乾熱の1パラメータとしたArrhenius式、および、水分定常状態での加水分解を想定した湿熱を1パラメータとしたArrhenius式、温度・湿度が共に変化する2パラメータを用いたEyring式、木材・接着層・木質パネルの内部応力や外力をパラメータとして形状変化や疲労を検討する変形回復や疲労分布の推定式等が検討されている。本項は、化学反応速度や半減期のモデルで一般的な指数関数的減衰モデルを用いて、促進劣化試験の統合解釈を検討する。

2. 実験方法

2.1 促進劣化試験の加速強度の導出

木質パネルを促進劣化させたときに、特性値が一次速度で低下する場合、特性値残存率は以下の式で表すことができる。

$$Y = A_0 \times e^{-kt} \quad \dots (1)$$

ここで、Yは特性値残存率、A₀は初期特性値（今回は、特性値残存率=100%、kは加速強度、tは促進劣化試験のサイクル数（≒時間）を示す。

そして、(1)式の両辺で対数をとると、以下のようになる。

$$\log Y = 2 - (k/2.303) \cdot t \quad \dots (2)$$

MOE残存率をY、促進劣化試験のサイクル数をXとした場合、図1右の近似直線の傾きk/2.303から、促進劣化試験の加速強度kが導出される。

次に課題となるのが、加速強度の算出対象である。図1右に1サイクル目のデータで求めた近似直線①と、6サイクル目までのデータで求めた近似直線②を示す。理想的な解析は、「1サイクル目のデータを用いて加速強度を算出し、その値にサイクル数を乗じて、規定サイクル数の加速強度にする」とすること、すなわち、近似直線①で算出したkを全てのサイクル数のkとして使用できることが理想であるが、例えば近似直線①から求めたkは1.763、近似直線②のkは0.385であり、4.58倍も①が大きい。仮に初期値～1サイクル目のデータを解析して加速強度を得たとして

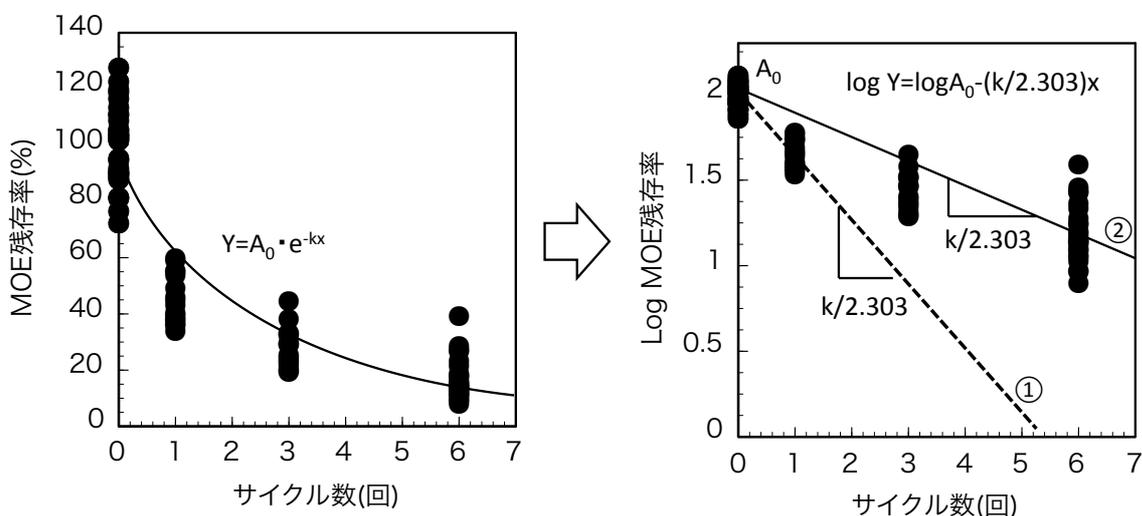


図1. MOE残存率とサイクル数の関係と加速強度の導出

も、6倍すれば6サイクル目の結果に相当するわけではない。この傾向は、PB以外の他のボードおよび各種強度においても、サイクル間での加速強度に同一性が認められなかった。以上のことは、例えば1サイクル目は、初期～中期劣化挙動を、6サイクル目は初期～中期～末期劣化挙動というように、木質パネルが経る劣化挙動のステージが異なっていることを示している。従って、本試験においては、各種促進劣化試験の統合解釈は、同一の劣化メカニズム、すなわち、活性化エネルギーが等しいことが前提とされる化学反応速度論を元にして進めることが難しく、さらに、1サイクルにおける加速強度を算出してサイクル数を変えたときの挙動を予測することや、促進劣化処理の温度や時間をパラメーターとして異なる温度時間条件に暴露したときの挙動を予測することも困難であると判断される。そこで本試験では、実用的な観点から、各試験の規定サイクル数（JIS-B：1サイクル、ASTM：6サイクル、V313：3サイクル、APA：1サイクル）における劣化度合いを比較し、JIS-B 1サイクルを基準としたときの加速強度についてまとめた。

2. 2 解析の対象

本節の解析対象は、JIS-B, ASTM, V313, APA の各試験におけるはく離強度 IB および曲げヤング率 MOE, 曲げ強度 MOR の強度残存率を解析対象とする。また、接着タイプで2種類ある各ボードについては、平均化したデータを用いる。すなわち、PB (PF) および PB (MDI) はパーティクルボード (PB) として、MDF9 および MDF12 は MDF として、OSB (aspen) および OSB (pine) は OSB として、合板 9 および合板 12 は PW として扱う。これは、接着条件のバリエーションが多い市販製品への対応を意図している。表 1 に、各木質パネルで強度残存率の低い順（劣化が激しかった順）に各促進劣化試験を順位付けしたところ、順位の相違は、木質パネル内よりもパネル間が大きい

表 1. 各促進劣化試験の規定サイクル数における強度残存率の低下順位

(a) IB

残存率 低下順位	PB		MDF		OSB		PW	
	PF	MDI	MUF	MDI	aspen	pine	12	9
1	ASTM(6)	APA(1)						
2	JIS-B(1)	V313(3)	JIS-B(1)	JIS-B(1)	V313(3)	JIS-B(1)	JIS-B(1)	ASTM(6)
3	V313(3)	JIS-B(1)	APA(1)	APA(1)	JIS-B(1)	V313(3)	APA(1)	JIS-B(1)
4	APA(1)	APA(1)	V313(3)	V313(3)	APA(1)	APA(1)	V313(3)	V313(3)

(b) MOE

残存率 低下順位	PB		MDF		OSB		PW	
	PF	MDI	MUF	MDI	aspen	pine	12	9
1	ASTM(6)	ASTM(6)	ASTM(6)	ASTM(6)	-	-	V313(3)	V313(3)
2	V313(3)	V313(3)	V313(3)	V313(3)	-	-	ASTM(6)	ASTM(6)
3	JIS-B(1)	JIS-B(1)	JIS-B(1)	JIS-B(1)	-	-	JIS-B(1)	JIS-B(1)
4	APA(1)	APA(1)	APA(1)	APA(1)	-	-	APA(1)	APA(1)

(c) MOR

残存率 低下順位	PB		MDF		OSB		PW	
	PF	MDI	MUF	MDI	aspen	pine	12	9
1	ASTM(6)	ASTM(6)	ASTM(6)	V313(3)	-	-	V313(3)	V313(3)
2	V313(3)	V313(3)	JIS-B(1)	ASTM(6)	-	-	ASTM(6)	ASTM(6)
3	JIS-B(1)	JIS-B(1)	V313(3)	JIS-B(1)	-	-	JIS-B(1)	JIS-B(1)
4	APA(1)	APA(1)	APA(1)	APA(1)	-	-	APA(1)	APA(1)

傾向となった。このことから、促進劣化試験の劣化ストレスは、接着タイプよりもエレメントタイプに強く依存することが示唆された。

3. 結果と考察

表 2 に、各促進劣化試験の IB および MOE, MOR の強度残存率を示す。OSB の MOE および MOR 残存率について

ては、当該サイクルが未測定のため空欄となっている。各促進劣化試験に続く括弧は規定のサイクル数を示す。(JIS-B (1)は1サイクル)。また、表2のJIS-B (1)の各木質パネルの強度残存率を基準として算出した、他の促進劣化試験の加速強度の値を表3に示す。加速強度は1より小さい場合は、JIS-Bより促進劣化度合いが低く、1より大きい場合は促進劣化度合いが大きいことを意味する。表3において、全体の傾向をみた場合、特性値ごと、および、木質パネルごとで加速強度の値の大小が異なることが理解できる。

JIS-B (1)に対する加速強度の変動幅は、表3(c)のMORで最も広く、PBのASTM(6)で2.63、MDFのAPA(1)0.36となっている。一方で、変動幅が最も小さいのは表3(a)のIBであった。

表2. 各促進劣化試験の規定サイクルにおける強度保持率

(a) IB保持率(%)

Type	JIS-B (1)	APA (1)	V313 (3)	ASTM (6)
PB	42.0	50.8	43.7	21.1
MDF	77.2	82.9	91.8	66.3
OSB	27.5	33.1	26.9	9.9
PW	85.3	87.4	84.9	83.7

(b) MOE保持率(%)

	JIS-B (1)	APA (1)	V313 (3)	ASTM (6)
PB	58.8	68.8	42.6	30.6
MDF	75.5	89.6	62.9	59.1
OSB	-	-	-	-
PW	81.8	88.9	67.9	71.9

(c) MOR保持率

	JIS-B (1)	APA (1)	V313 (3)	ASTM (6)
PB	78.2	87.2	65.0	42.7
MDF	82.9	93.8	72.0	65.3
OSB	-	-	-	-
PW	65.0	81.3	59.7	61.3

表3. JIS-B(1)を基準とした各促進劣化試験の加速強度

(a) IB: JIS-B(1)に対する加速強度

	JIS-B (1)	APA (1)	V313 (3)	ASTM (6)
PB	1.00	0.85	0.97	1.36
MDF	1.00	0.75	0.36	1.48
OSB	1.00	0.92	1.01	1.24
PW	1.00	0.86	1.02	1.11
平均	1.00	0.84	0.84	1.30

(b) MOE: JIS-B(1)に対する加速強度

	JIS-B (1)	APA (1)	V313 (3)	ASTM (6)
PB	1.00	0.76	1.39	1.68
MDF	1.00	0.42	1.52	1.67
OSB	-	-	-	-
PW	1.00	0.61	1.76	1.54
平均	1.00	0.60	1.56	1.63

(c) MOR: JIS-B(1)に対する加速強度

	JIS-B (1)	APA (1)	V313 (3)	ASTM (6)
PB	1.00	0.59	1.60	2.63
MDF	1.00	0.36	1.63	2.03
OSB	-	-	-	-
PW	1.00	0.53	1.15	1.11
平均	1.00	0.49	1.46	1.92

4. まとめ

促進劣化試験は、1サイクル実施後の強度低下が高く、場合によっては半減するため、木質ボードの劣化挙動を同サイクルの試験条件で解析するには非常に不向きである。木質ボードの劣化外力-強度残存率曲線は、ロジスティック関数に類似したものであると想定されるため、初期の強度低下で長い線形領域を示す強度低下数%~20%の間の、劣化外力(水・熱ストレスの積算)のプロットをたくさん取得できる試験条件の設定が望ましいことが確認された。

6. 総括

1. 屋外暴露試験の有用性と限界

第1章の「本プロジェクト実施の経緯」で詳細に示されたように、屋外暴露試験は当該地域の最も過酷な使用環境での劣化把握という意味があり、歴史的には耐久性評価のための促進劣化試験の妥当性を裏付ける検証データとして利用されてきた。たとえば、FPL（米国林産試験場）で実施された屋外暴露8年あるいは12年の結果とASTM-6サイクルとの相関性、アスペンWB（ウェハーボード）のカナダ3地点における5年間暴露とASTM-6サイクルや2時間煮沸との相関性などである。しかし、屋外暴露ではその試験地の気象条件等が結果に反映するため、試験材料の劣化進行に関する情報は、いわば地域限定データという側面が強い。材料が受けた気象由来の劣化外力が定量化できなければ、屋外暴露試験結果と促進試験結果の対応が分かっても、その対応関係は地域限定データの域を脱し得ないことになる。

上記のようなデメリットの克服には、多地点での同時試験の実施が有効と言える。そこで本プロジェクトでは、気温や降水量にある程度の幅がある日本各地の8地点が選択され、最長7年の屋外暴露の同時試験を行うことで地域限定データの域を超えた解析が試みられた。3.1項では各試験地での試験結果および劣化の特徴が示され、続く3.2.1項では暴露試験に依存しないマスターカーブが検討された。ここで言うマスターカーブとは、各種の気象因子を用いた劣化外力と物性劣化の関係を示す関係式を意味する。具体的には、気象因子をどのように組み合わせ、どのような積算方法で劣化外力を算出すれば、物性劣化との相関性が最も高くなるかが検討された。最善となる劣化外力の算出方法はパネルおよび物性の種類で多少異なったが、気象データの収集容易性なども考慮すると、月単位の降水量と平均気温の積を暴露期間で積算した値を劣化外力とすることが現実的であると判断された。そして、その劣化外力の対数と物性劣化（強度残存率）との間の直線式が得られ、これをマスターカーブと扱った。さらに、この算出方法で得たマスターカーブの適用の妥当性について、相関係数を指標に既存の各種劣化外力（CI, DI, AI）と比較した結果、本プロジェクトで提案した算出方法の方が既存の方法よりも木質パネルには適合し易いことが明らかとなった。このマスターカーブを用いれば、屋外暴露試験地以外の地域でも気象条件を入力することで物性劣化が推定できる。その一例として、3.2.1項では、耐水性の異なる2種類のPBについて海外15都市で屋外暴露された場合のMORの半減期間が推定された。

一方、上述の劣化外力とは異なる二つの解析が、屋外暴露での物性劣化が比較的大きかったPB（PF）を対象に実施され、3.2.2項に示された。一つ目は目的変数を曲げ強さと剥離強さとし、説明変数を気温、日照時間、降水量とする重回帰分析であり、暴露期間ごとで分析された。その結果、有用な説明変数の序列は物性の種類や暴露年数で異なっており、この事より物性の劣化メカニズムが時系列的に変化する可能性が示唆された。二つ目は気温、日照時間、降水量を説明変数とする主成分分析である。暴露5年目の試験結果を用いて主成分分析した結果、第1主成分の寄与率は約77%と高く、気温、日照時間、降水量が第1主成分に集約された。そこで、第1主成分得点を劣化外力指標（Climate Deterioration Index; CDI）と扱い、PB（PF）のMORと剥離強度（IB）についてCDIとの相関性（相関係数）が調べられた。その結果、MORに関しては前述の劣化外力における相関係数よりも若干低い、IBに関しては逆に著しく高い相関係数となり、気温と降水量の積の積算値を劣化外力とする推定方法と比べて同等以上の推定精度を有することが示唆された。

以上のように本プロジェクトでは、地理的に比較的広範囲に渡る多地点での屋外暴露試験を同時実施することで、木質パネルの各種物性劣化と気象因子の関係が多少なりとも定量化でき、地域限定データの域を脱し得たことが成果の一つと言えよう。ただし、屋外暴露試験は、あくまで当該地域の最も過酷な使用環境での劣化把握という意味を持つため、このデータが直接役立つのは風雨に晒される外構用途に木質パネル材料を使う場合であろう。その観点から、3.2.5項では「高耐候性パネルに関する所見」が述べられるとともに、各種の促進劣化試験がもたらす劣化外力と屋外暴露がもたらす劣化外力との対応関係が5.2項で示された。

本節の見出しに示した屋外暴露の“有用性”とは、二つの内容を指している。一つは水熱等を組み合わせた現行の

各種促進劣化試験に対して、その促進試験が屋外暴露の何年分に相当するといった意味づけが可能となる点である。もう一つは、外構用途としての耐候性の基礎データ（未塗装という意味で）となる点である。一方、“限界”とは、屋外暴露試験結果を一般的な木質パネルの使い方での寿命予測にどのように活用するか、その換算には解決すべき課題が多いことを示す。その要因として、住宅材料部材のように基本的に防水層の内側に使われる木質パネルの場合、その劣化メカニズムが屋外暴露における劣化メカニズムと必ずしも同一とならない点が挙げられる。そこで、次節では本プロジェクトで考察された屋外暴露における劣化メカニズムについて記述する。

2. 屋外暴露における劣化メカニズム

はじめに、屋外暴露で生じる劣化部位に着目する。屋外暴露試験では風雨や紫外線の作用が材料表面、とくに雨水は試験体の上端面、紫外線は南に面する試験体表面に集中する。そのため、表面性状に大きく影響される曲げ性能の劣化進行に比べて、パネル厚さ中央付近の接着強度である剥離強さの劣化進行は遅れるといった特徴がある。これは試験体の大きさにも依存し、パネル端面の防水機能が失われた場合は表裏面に比べて空隙の多い端面からの吸水が生じ易く、端面付近の劣化進行は早まる。本プロジェクトの試験体サイズは尺角（30cm 角）で、四端面は防水処理してから供試されたが、全試験地を通じての統一的な防水機能の維持管理や機能喪失の調査が十分であったとは言い難い。すなわち、端面からの劣化進行に対して、その防止措置の程度が異なる試験データが混在した状態で解析が行われた。ただし、剥離強度の分析は試験体採取位置（端面付近とパネル中央付近）を区別して行っており、この点に留意した再分析も可能である。

上述のように屋外暴露では風雨と紫外線が主たる劣化因子であり、その作用の仕方が試験体の部位で異なるといった特徴がある。一方、建築物の構造用下地などの用途では紫外線と風雨ではなく、もっぱら温湿度変化と事故的な雨水等の侵入による含水率変動が主たる劣化因子であり、作用の程度や作用の部位も使用環境で様々に異なる。そのため、防水層の室内側に施工される木質パネル材料に対して、屋外暴露試験の結果を寿命推定に使うことは劣化メカニズムの相違の点からも困難が予想される。たとえば“この使用部位では屋外暴露での劣化速度の 1/10 程度の劣化速度である”といった単純な換算は困難であり、新たなアプローチからの検討が必要と思われる。

さて、屋外暴露での劣化メカニズムでは、腐朽菌が木材主成分を分解して強度低下を引き起こすという生物劣化を考慮する必要がある。本プロジェクトでは試験体の採取時に腐朽の目視観察を行っており、耐腐朽性の低い樹種であるアスペンを原料とする OSB では、多くの試験地で目視での腐朽発生が認められた。木質接着製品の強度劣化は、生物劣化と接着劣化の両方が複合して生じるケースもあるが、本プロジェクトでは屋外暴露の水熱ストレスによる物性劣化を調べることを基本としていたため、生物劣化や紫外線の影響を排除した解析が必要となった。そこで、3.2.3 項では、紫外線による低分子化と雨水による溶出および生物による分解によって接着劣化単独との相違が検出しやすい重量減少率、物性劣化と関連性が高い厚さ変化という二つのパラメータに着目して分析が行われた。具体的には厚さ変化率と剥離強度残存率との関係を重量減少率の依存性から統計解析し、たとえばアスペン OSB では重量減少率 10% を境に当該関係に挙動変化が生じ、これは目視観察の結果とも一致することなどが明らかにされた。さらに「木質ボードの屋外暴露による劣化＝水熱条件による接着劣化＋紫外線劣化＋生物劣化」とし、このうち「水熱条件による接着劣化＝促進劣化処理による劣化」と捉えることで、接着劣化と生物劣化の分離解釈が試みられた。具体的には“屋外暴露試験での重量減少率が、促進劣化試験において極度に物性低下が生じたときの重量減少率を上回ったときに接着劣化以上の劣化が屋外暴露で生じている”と捉える考え方であり、屋外暴露試験と促進劣化試験の重量減少率の度数分布の対比から分離評価の可能性が示唆された。

最後に、前節で述べた屋外暴露試験の有用性に関する話に再び触れるが、外構用途を想定した高耐久パネルであれば屋外暴露試験は十分に意味をもつ。たとえば、本プロジェクトで供試した木質ボード類のうち MDF は最も緻密な構造（水分浸透性が低い）を持つため暴露 7 年後でも剥離強度の低下は小さく、高耐久パネルの資質を備えた材料であることが検証された。木質接着製品の耐久性は、前述のように接着劣化と生物劣化の両方を考慮しなければならないが、生物劣化も接着劣化も材料中の水分滞留が劣化要因として共通となることから、基本的には水分滞留を防ぐこ

とが両方の解決策となり、高耐久パネルの必須条件が高い防水性であることが再認識できる。

3. 屋内暴露試験の有用性と限界

“耐久性の根拠として実績に勝るものない”，これは誰もが認める事実である。しかし、実際使用された木質パネルが運よく入手できて物性が把握できたとしても、その材料の初期物性や使用期間中に受けた水熱ストレスなどが不明であれば、物性劣化の分析は困難である。そこで本プロジェクトでは、初期物性が既知の材料を水熱ストレスが把握しやすい環境に暴露する屋内暴露試験が実施された。具体的には、住宅等の構造用下地としての耐久性評価を目的に、合板、OSB、パーティクルボード（PB）、MDF を種々の温湿度環境下に最長 10 年間暴露した。暴露環境は、通常室内、住宅の床下空間、実験住宅の野地板・軒天・鼻隠し、恒温恒湿室を用いた乾湿繰り返しおよび長期湿潤環境とした。これらの環境は屋外暴露とは異なって日射や風雨によるパネル表面劣化を受けず（一部の条件では若干の影響あり）、温湿度変動に伴う含水率変化が主たる劣化外力となる暴露環境である。

屋内暴露試験では、最長 10 年まで、特定の暴露期間を経たパネルの強度性能を測定し、初期性能に対する劣化の有無とその程度が調べられた。その結果、(1) 耐震性に関与する釘側面抵抗は、いずれのパネルも低下せず、釘頭貫通抵抗の低下も 1 割未満、(2) 合板は MOR・MOE のみ 1 割程度低下、(3) OSB や PB では、剥離強度が 1～3 割、曲げ性能は最大 2 割程度低下、(4) これらの物性低下率は促進劣化（2 時間煮沸後の乾燥状態）による低下率の 1/2 以下で、MOR や釘接合性能では 1/4 以下、などの知見が得られた（4.2 項）。続いて劣化が認められたパネルとその物性の組み合わせ（18 条件）について、含水率履歴に基づく劣化外力を導入し、物性劣化を最も精度良く推定できる劣化外力の算出方法が検討された。その結果、(1) 18 条件中の 9 条件で劣化外力と物性劣化との間に有意な相関関係 ($r>0.3$) を確認、(2) MOR および MOE と劣化外力の相関性は、含水率 12%以上の水分履歴を劣化外力の対象とすることで向上、また、座標軸を劣化外力の平方根あるいは対数に変換することでさらに相関性が向上、などが明らかとなった。そして、劣化外力と物性劣化に適度な相関が得られた（相関係数 0.3 以上）条件を対象に、その回帰式を用いて、水分トラブルが生じる使用環境（45%RH⇔90%RH サイクルに相当する含水率履歴）での 30 年後の性能を推定した結果、パネルの種類に応じて MOE は 3～7 割減、MOR は 2～7 割減、IB は約 2 割減となった。これらの推定結果から、内部結露や事故的水掛かりなどの水分トラブルを定期的に点検し、補修・修繕することの重要性が再認識できる。

さて、屋内暴露試験の有用性とは、劣化要因が水分変動に限定され、実際使用における劣化メカニズムそのものを対象とするため、屋外暴露と異なって劣化メカニズムの点で寿命予測の妥当性が高いことであろう。本プロジェクトの最長 10 年の屋内暴露では、住宅等の構造用下地として耐震性に関わる釘側面抵抗の低下は確認されず、木質パネルの耐久性を判断する好材料が得られたと言える。また、気象因子をベースとする劣化外力指標の提案によって屋外暴露試験のマスターカーブを得たように、屋内暴露でも含水率履歴に基づく劣化外力を導入すること長期使用後の物性推定の道筋が示された。しかし、それが可能なのは屋内暴露試験の期間中に物性劣化が認められた場合に限られる。すなわち、ここに“屋内暴露試験の限界”があり、劣化が確認されるまで長期間の試験を行わなければ推定のためのデータが得られない、という点が課題である。

4. 今後の課題

各章の随所および本章にも木質パネルの耐久性評価に関わる課題が言及されているが、ここで今一度、整理してみたい。

今回のプロジェクトを通じて最も気になったことは、屋外暴露試験や促進劣化試験で得られるデータは物性劣化がある程度進んだ状態およびそれ以降となっている点である。仮に“物性劣化の進行が屋外暴露期間や促進劣化の処理時間などに対してロジスティック関数的に生じる”とすると、今回得られたデータはロジスティック関数を適用するには不十分である。たとえば、屋外暴露試験では暴露 1 年目でもかなりの物性低下を示す材料も見受けられ、暴露 1 年未満のデータがいくつかあればロジスティック関数の適用が可能となり、これまでと異なった解析が行えたと思われる。また、促進劣化試験においても 1 サイクル実施後の強度低下が高く、場合によっては半減するなど、屋外暴露

と同様の短所が見られる。初期の強度低下で長い線形領域を示すような劣化外力（水・熱ストレスの積算）に促進劣化条件を設定することが必要となる。

一方、屋内暴露（実際使用）においても、物性劣化はロジスティック関数的に生じる可能性がある。本プロジェクトの屋内暴露試験では最長 10 年暴露でも劣化が発生しなかった材料に対しては寿命推定する手立てが得られなかった。すなわち、これが屋内暴露試験の限界であり、多少なりとも物性劣化が認められるまで試験期間を延ばすこと以外、現状では解決策は見当たらない。また、屋内暴露試験で劣化が認められた材料およびその物性については、類似材料の耐久性データ（製造企業が保有する実際使用後の物性データなど）も活用しながら、ロジスティック関数的な解析を行うことで、より精度の高い寿命推定に繋がる可能性がある。

最後に、本プロジェクトでは十分に検討できていない点として、①促進劣化試験の統合化、②屋内暴露と促進劣化試験の関係、がある。この 2 点は木質パネルの耐久性評価の究極の課題と言えよう。序章（本プロジェクトの経緯）にも述べられたように、この 2 点を突き詰め、“簡易な促進劣化試験により使用環境での寿命推定方法を確立する”ことを本プロジェクトの最終目標とした。その道は険しく一筋縄ではないことがプロジェクトのデータ解析を通じて改めて認識された。しかし、本報告書に示された数々の知見が、最終目標への道しるべに資することは確かである。

謝 辞

本プロジェクトは 2003 年 9 月の計画立案にはじまり、2016 年 3 月の本報告書作成に至る 12 年半の歳月をかけて実施された。その間、日本木材学会大会時の研究会や日本木材加工技術協会木質ボード部会シンポジウムなどを通じて数々の中間報告が行われ、そして、ここにプロジェクト成果が最終報告書として取りまとめられるに至った。プロジェクトに参加された下記の方々（所属は参加当時）をはじめ、関係するすべての方々に厚く御礼申し上げます。

北海道立総合研究機構森林研究本部林産試験場： 吹野 信，戸田正彦

秋田県立大学木材高度加工研究所： 山内秀文，足立幸司

岩手大学農学部： 関野 登，佐藤春菜

岩手県林業技術センター： 東野 正，大橋一雄，鹿野厚子，阿部一成

森林総合研究所： 高麗秀昭

静岡大学農学部： 鈴木滋彦，小島陽一，池田正行

京都大学生存圏研究所： 梅村研二

岡山県農林水産総合センター森林研究所： 野上英孝，小川 裕

宮崎県木材利用技術センター： 藤元嘉安，岩崎新二，森田秀樹，松元明弘

木質パネル第二次耐久性プロジェクトの研究成果・業績リスト

プロジェクト中間報告集

1. 木質パネル第二次耐久性プロジェクト 中間報告書, 木質パネル研究会第 2 次耐久性プロジェクト中間報告会, 2004, 1-21
2. 木質パネル第二次耐久性プロジェクト 中間報告書(その 2), 第 14 回木質ボード部会シンポジウム講演集, 2005, 1-68 →暴露 1 年目
3. 木質パネル第二次耐久性プロジェクト 中間報告書(その 3), 第 15 回木質ボード部会シンポジウム講演集, 2006, 93-128 →暴露 2 年目
4. 木質パネル第二次耐久性プロジェクト 中間報告書(その 4), 第 16 回木質ボード部会シンポジウム講演集, 2007, 85-124 →暴露 3 年目
5. 木質パネル第二次耐久性プロジェクト 中間報告書(その 5), 第 17 回木質ボード部会シンポジウム講演集, 2008, 79-129 →暴露 4 年目
6. 木質パネル第二次耐久性プロジェクト 中間報告書(その 6), 第 18 回木質ボード部会シンポジウム講演集, 2009, 99-152 →暴露 5 年目
7. 木質パネル第二次耐久性プロジェクト 中間報告書(その 7), 第 19 回木質ボード部会シンポジウム講演集, 2010 →暴露 6 年目
8. 木質パネル第二次耐久性プロジェクト 中間報告書(その 8), 第 20 回木質ボード部会シンポジウム講演集, 2011 →暴露 7 年を終えた中間まとめ

講演 (シンポジウム等)

1. 関野 登, 木質パネル第 2 次屋内外暴露プロジェクトの実施について, 第 12 回木質ボード部会シンポジウム「リサイクルの推進と製品の安全性」, 日本木材加工技術協会, 東京, 講演要旨集: 22-28, 2003
2. 関野 登, 第 2 次耐久性評価プロジェクトとその進捗状況, 日本木材学会木質パネル研究会設立記念シンポジウム, つくば, 講演要旨集: 35-42, 2004
3. 関野 登, 木質パネル第 2 次耐久性プロジェクトの進捗状況 — プロジェクト概要および屋外暴露 1 年目の劣化 —, 第 26 回木材接着研究会・第 3 回木質パネル研究会合同シンポジウム, つくば, 2005, 講演要旨集: 32-43
4. 吹野信, 建築廃木材の輸送コストと破碎処理コスト, 日本木材学会木質パネル研究会講演会, 2008, つくば
5. 小島陽一, 西田忠弘, 鈴木滋彦, 暴露地“静岡”における基礎物性の劣化, 日本木材加工技術協会木質ボード部会第 17 回シンポジウム「環境に立ち向かう! 木質ボード」, 99-102, 2008
6. 戸田正彦, 耐力壁のせん断性能に及ぼす木質パネルの釘接合耐力低下の影響, 日本木材学会木質パネル研究会講演会, 2009, 松本
7. 関野登, 木質パネル耐久性能評価 (その 1) 第 2 次耐久性評価プロジェクトの進捗状況, 第 19 回木質ボード部会シンポジウム, 東京, 2010
8. 小島陽一, 木質パネル耐久性能評価 (その 2) 促進劣化処理と屋外暴露との関係, 第 19 回木質ボード部会シンポジウム, 東京, 2010
9. 関野 登, 木質パネル第二次耐久性プロジェクトの概要と進捗, 日本木材学会木質パネル研究会・生物劣化研究会合同講演会, 宮崎, 2010
10. 小島陽一, 木質パネルにおける促進劣化処理と屋外暴露との関係, 日本木材学会木質パネル研究会・生物劣化研究会合同講演会, 宮崎, 2010

11. 小島陽一, 木質ボードの屋外暴露耐久性, 第9回産官学接着若手フォーラム, 愛知, 2010
12. 小島陽一, 合板及びマット成形ボードの耐久性能評価について, 社団法人日本木材加工技術協会合板部会大会講演会, 東京, 2011

総説・紹介記事

1. 高麗秀昭, 関野 登, 第二次木質パネル屋外暴露プロジェクト, 木材工業, 60, 229-232, 2005
2. 関野 登, 高麗秀昭, 木質パネル第2次耐久性評価プロジェクト, Journal of Timber Engineering, 18 (4), 110-117, 2005
3. 関野 登, 木質パネル材料の接着耐久性及その評価方法, 木材保存, 32 (4), 140-144, 2006
4. 関野 登, 木質パネル第2次耐久性評価プロジェクトー進捗状況および暴露3年間の解析結果の一例, Journal of Timber Engineering, 20 (5), 127-134, 2007
5. 鈴木滋彦, 二つの木質パネル屋外暴露試験と耐久性能評価, 木材工業技術短信, 第26巻第1号, 1-11, 2008
6. 関野登, 佐藤春菜, 木質パネル第二次耐久性評価プロジェクト-開始6年目の進捗状況-, Journal of Timber Engineering, 23 (5), 185-191, 2010
7. 足立幸司, 木質パネルの耐久性評価法, 日本接着学会誌, 48, 395-402, 2012
8. 小島陽一, 足立幸司, 木質材料の耐久性能評価手法の確立: 進展と今後の課題
木材学会誌, 61 (3), 178-185, 2015

論文・紀要

1. Norita H, Kojima Y, Suzuki S, The aging effects of water immersion treatments in wet-bending for standardized testing of wood panels, J. of Wood Science, 54 (2), 121-127, 2008
2. Kojima Y, Norita H, Suzuki S., Evaluating the durability of wood-based panels using thickness swelling results from accelerated aging treatments, For Prod J, 59, 35-41, 2009
3. 山内秀文, 梅村研二, 屋外暴露試験廃材を用いて作製したパーティクルボードの物性評価, 木材学会誌, 56 (6), 405-411, 2010
4. Kojima Y, Suzuki S, Evaluating the durability of wood-based panels using internal bond strength results from accelerated aging treatments, J Wood Sci, 57 (1), 7-13, 2011
5. Kojima Y, Suzuki S, Evaluation of wood-based panel durability using bending properties after accelerated aging treatments, J Wood Sci, 57 (2), 126-133, 2011
6. Y. Kojima, T. Shimoda, S. Suzuki, Evaluation of the weathering intensity of wood-based panels under outdoor exposure, J Wood Sci, 57 (5), 408-414, 2011
7. 高麗秀昭, 屋外暴露した中質繊維板の耐久性, 木材学会誌, 58 (6), 347-356, 2012
8. Y. Kojima, T. Shimoda, S. Suzuki, Modified method for evaluating weathering intensity using outdoor exposure tests on wood-based panels, J Wood Sci, 58 (6), 525-531, 2012
9. H. Korai, N. Sekino, H. Saotome, Effects of Outdoor Exposure Angle on the Deterioration of Wood-Based Board Properties, Forest Products Journal, 62 (3), 184-190, 2012
10. H. Korai, K. Adachi, H. Saotome, Deterioration of wood-based boards subjected to outdoor exposure in Tsukuba, J Wood Sci, 59 (1), 24-34, 2013
11. 関野 登, 佐藤春菜, 屋外暴露試験による中密度繊維板 (MDF) の耐久性評価, 岩手大演報, 44, 19-40, 2013
12. 高麗秀昭, 服部和生: 表面塗装が屋外暴露したパーティクルボードの耐久性の向上へ与える効果, 木材学会誌, 59

- (6) :361-366 (2013)
13. Noboru Sekino, Haruna Sato, Koji Adachi, Evaluation of particleboard deterioration under outdoor exposure using several different types of weathering intensity, *J Wood Sci* 60 (2) , 141-151, 2014
 14. Hideaki Korai, Hiroshi Saotome, Masaharu Ohmi: Effects of water soaking and outdoor exposure on modulus of rupture and internal bond strength of particleboard, *Journal of Wood Science*, 60 (2) :127-133 (2014)
 15. Hideaki Korai, Hiroshi Saotome: Effects of water soaking and outdoor exposure on nail joint properties of particleboard, *Journal of Wood Science*, 60 (2) :134-140 (2014)
 16. Hideaki Korai, Ken Watanabe, Hidetaka Nogami, Makoto Fukino, Yoshiyasu Fujimoto: Simple and useful index for analyzing particleboard subjected to outdoor exposure, *Journal of The Adhesive Society of Japan*, 50 (8) : 260-267 (2014)
 17. 関野 登, 佐々木優花, 屋根下地に使用された各種木質ボードの釘接合性能の劣化, *岩手大演報*, 46, 37-57, 2015
 18. Hideaki Korai, Ken Watanabe: Effectiveness of principal component analysis for analyzing particleboard subjected to outdoor exposure. *Journal of Wood Science*, 61 (1) :35-39 (2015)
 19. Ken Watanabe, Hideaki Korai, Yasuhiro Matsushita, Tomoyuki Hayashi: Predicting internal bond strength of particleboard under outdoor exposure based on climate data: comparison of multiple linear regression and artificial neural network, *Journal of Wood Science*, 61 (2) : 151-158 (2015)
 20. Hideaki Korai, Yoshiyasu Fujimoto: Nail-head pull-through strength and lateral nail resistance strength of wood-based boards subjected to various climatic conditions in Japan, *Journal of Wood Science*, 61 (4) : 401-411 (2015)
 21. Hideaki Korai, Yoichi Kojima, Shigehiko Suzuki: Bending strength and internal bond strength of wood-based boards subjected to various exposure conditions, *Journal of Wood Science*, 61 (5) : 500-509 (2015)
 22. Hideaki Korai, Ken Watanabe: Comparison between climatic factors and climate deterioration index on strength reduction of particleboards subjected to various climatic conditions in Japan, *European Journal of Wood and Wood Products*, 73 (5) : 563-571 (2015)
 23. Hideaki Korai, Ken Watanabe, Katsuhiko Nakao, Tetsuya Matsui, Tomoyuki Hayashi: Mapping of strength reduction of particleboard subjected to various climatic conditions using a climate deterioration index, *European Journal of Wood and Wood Products*, 73 (6) :807-817

国際学会発表

1. Sekino N, Korai H, Suzuki S, How durable are wood-based panel products? - Toward the establishment of durability estimation methods-, *Proceedings of the ninth European panel products symposium*, 269-274, 2005
2. Sekino N, Korai H, Suzuki S, Durability Performance of Wood-Based Panels Evaluated by Outdoor/Indoor Exposure tests and Accelerated Aging Treatments, *Proceedings from International Symposium on Wood Science and Technologies (IAWPS 2005)* , Yokohama, Japan, Vol. I, 130-131, 2005
3. Fujimoto Y, Sekino N, Korai H, Nogami H, Ohashi K, Nail Joint Performance of Several Wood-based Panels Subjected to Outdoor Exposure and Accelerated Aging Tests, *Proceedings from International Symposium on Wood Science and Technologies (IAWPS 2005)* , Yokohama, Japan, Vol. II, 143-144, 2005
4. Yamauchi H, Hukino M, Sekino N, Korai H, Suzuki S, Umemura K, Nogami H, Fujimoto Y, Outdoor Exposure Tests of Several Wood-based Panels for Structural Uses, *Proceedings from International Symposium on Wood Science and Technologies (IAWPS 2005)* , Yokohama, Japan, Vol. II, 181-182, 2005

5. Sekino N, Mechanical durability of wood-based panels – Nail joint performances: Correlations between outdoor exposure and laboratory aging tests -, The Asia-Pacific seminar program (ISO/TC89: Wood-Based Panels) , Tokyo, Japan, 14-17th Nov. Seminar Proceedings, A5, 2006
6. Sekino N, Korai H, Nail Joint Durability of Wood-based Panels - Correlations between outdoor exposure and laboratory aging tests -, Conference Proceedings of Wood Resources and Panel Properties, COST Action E44-E49, Valencia, Spain, 113-122, 2006
7. Korai H., Sekino N, Mechanical durability of wood-based panels exposed to high relative humidity and cyclic relative humidity change, Conference Proceedings of Wood Resources and Panel Properties, COST Action E44-E49, Valencia, Spain, 253-257, 2006
8. Sekino N, Korai H, Suzuki S, Mechanical Durability of Several Wood-based Panels Evaluated by Outdoor Exposure Tests and Accelerated Aging Treatments, 10th World Conference on Timber Engineering, Miyazaki, Japan, 2008
9. Fujimoto Y, Sekino N, Korai H, Nogami H, Ohashi K, Nail joint performance of several wood-based panels subjected to outdoor exposure, 10th World Conference on Timber Engineering, Miyazaki, Japan, 2008
10. Kojima Y., Suzuki S, Effects of accelerated aging treatments and outdoor exposure on the mechanical properties of wood-based panels, International Symposium on Wood Science and Technology (IAWPS2008) , Harbin, China, 2008
11. Kojima Y, Suzuki S, Relationship between accelerated aging treatments and outdoor exposure tests on the mechanical properties of commercial wood-based panels, The international Forestry Review, XXIII IUFRO World Congress, Seoul, Korea, 439-440, 2010
12. Fujimoto Y, Sekino N, Korai H, Nogami H, Ohashi K, Nail Joint Performance of Several Wood-based Panels during Five-year Outdoor Exposure, The international Forestry Review, XXIII IUFRO World Congress, Seoul, Korea, 304-305, 2010
13. Noboru SEKINO, How durable are wood-based mat-formed panels? Bond durability evaluated by the weathering intensity under outdoor exposure, BIOCAMP2012 Workshop –The 21st Wood Based Panel Symposium, Nov. 27, Shizuoka, Japan, p63-72, ISBN978-4-88962-004-7, 2012
14. Noboru SEKINO and Haruna SATO, Durability of Medium-density Fiberboard Evaluated by the Weathering Intensity under Outdoor Exposure, Proceedings of the 11th Pacific Rim Bio-Based Composite Symposium (BioComp 2012) , Nov. 28-30, Shizuoka, Japan, P08, pp.328-335, ISBN 978-4-88962-006-1, 2012
15. Yoshiyasu Fujimoto, Hideki Morita, Akihiro Matsumoto, Hideaki Korai and Noboru Sekino, Relationships between Density and Strength Performance of Wood-Based Panels during Five-Year Outdoor Exposure, Proceedings of the 11th Pacific Rim Bio-Based Composite Symposium (BioComp 2012) , Nov. 28-30, Shizuoka, Japan, P17, pp.390-397, ISBN 978-4-88962-006-1, 2012
16. Yoichi Kojima, Shigehiko Suzuki, Evaluation of the weathering intensity on 7-year outdoor exposure tests in Japan using wood-based panels, Proceedings of the 11th Pacific Rim Bio-Based Composite Symposium (BioComp 2012) , Nov. 28-30, Shizuoka, Japan, P16, pp.382-389, ISBN 978-4-88962-006-1, 2012

国内学会発表

1. 野上英孝,関野登,高麗秀昭,藤元嘉安,大橋一雄, 各種市販木質パネルの釘接合性能 (第 1 報) : 側面抵抗と貫通抵抗の相関および一面せん断性能との関係, 日本木材学会大会, 55, 2005
2. 関野登,野上英孝,高麗秀昭,藤元嘉安,大橋一雄, 各種市販木質パネルの釘接合性能 (第 2 報) : 促進劣化処理による耐久性の評価, 日本木材学会大会, 55, 2005
3. 高麗秀昭,関野登,藤元嘉安,野上英孝,大橋一雄, 各種市販木質パネルの釘接合性能 (第 3 報) : 釘めり込みによる接

合性能の変化, 日本木材学会大会, 55, 2005

4. 藤元嘉安,高麗秀昭,関野登,野上英孝,大橋一雄, 木質パネルの耐久性の評価 (第 1 報): 供試パネルの初期物性および板厚方向密度分布, 日本木材学会大会, 55, 2005
5. 乗田広規, 鈴木滋彦, 湿潤曲げ試験法の劣化効果について, 日本木材学会大会, 55, 2005
6. 関野登, 木質パネル第2次耐久性プロジェクトの進捗状況-プロジェクト概要および屋外暴露1年目の劣化-, 木材接着研究会講演要旨集, 26, 32-43, 2005
7. 関野登,高麗秀昭,野上英孝,藤元嘉安,大橋一雄, 各種市販木質パネルの釘接合性能 (第 4 報): 屋外暴露試験と促進劣化処理の対応, 日本木材学会大会, 56, 2006
8. 高麗秀昭, 関野登, 木質パネルの耐久性の評価 (第 2 報): 高相対湿度および乾湿繰り返し下に設置した木質パネルの耐久性, 日本木材学会大会, 56, J09-1100, 2006
9. 乗田広規,池田正行,鈴木滋彦, 促進劣化処理繰返しによる曲げ性能低下と屋外暴露の関係, 日本木材学会大会, 56, 2006
10. 関野登, 高麗秀昭, 野上英孝, 藤元嘉安, 大橋一雄, 各種市販木質パネルの釘接合性能 (第 5 報) 屋外暴露 2 年目までの劣化を最も良く再現する促進処理方法, 日本木材学会年次大会, 57, I09-0915, 2007
11. 西田忠弘,小島陽一,鈴木滋彦, VPSD 繰り返し処理による木質ボード類の曲げ性能低下, 日本木材学会年次大会, 57, PI008, 2007
12. 小島陽一,乗田広規,鈴木滋彦, 木質パネルにおける促進劣化処理繰返しと屋外暴露との関係, 日本木材学会年次大会, 57, I09-0900, 2007
13. 関野登, 屋外暴露による木質パネル材料の性能劣化 ~釘接合性能: 合板・OSB・PB・MDF~, 日本木材加工技術協会合板部会講演会, 2007
14. 野上英孝, 岡山県内における各種市販木質パネルの屋外暴露試験-3 年間の屋外暴露による基礎物性の変化について-, 日本木材学会中国・四国支部第 19 回研究発表会 (岡山), 研究発表会要旨集: 22-1, 2007
15. 関野登, 高麗秀昭, 野上英孝, 藤元嘉安, 各種市販木質パネルの釘接合性能 (第 6 報) 屋外暴露 3 年間の劣化とその地域間比較, 日本木材学会年次大会, 58, I18-0945, 2008
16. 小島陽一,西田忠弘,鈴木滋彦, 屋外暴露試験による木質パネルの耐久性能評価-全国 8 地域における屋外暴露 3 年間の基礎物性解析-, 日本木材学会年次大会, 58, I180-0930, 2008
17. 藤元嘉安, 森田秀樹, 松元明弘, 各種市販木質パネルの耐久性の評価-暴露地"都城"における基礎物性の劣化比較-, 第 15 回日本木材学会大会九州支部大会 (大分), 35-36, 2008
18. 関野登, 佐藤春菜, 鹿野厚子,各種市販木質パネルの釘接合性能 (第 7 報) -屋外暴露における劣化外力の数値化-,日本木材学会年次大会, 59, I15-1045, 2009
19. 凌楠, 高麗秀昭, フェノール樹脂およびイソシアネート樹脂を用いたパーティクルボードの耐久性, 日本木材学会年次大会, 59, PI012, 2009
20. 佐藤春菜, 齊藤有美, 関野登, 屋外暴露された木質ボードの強度劣化メカニズム-接着劣化と生物劣化の分離評価の試み-,日本木材加工技術協会年次大会, 27, 79-80, 2009
21. 小島陽一, 鈴木滋彦, 静岡県における屋外暴露試験による木質パネルの耐久性能評価, 日本木材学会中部支部大会講演要旨集, 19, 68-69, 2009
22. 関野登, 佐藤春菜, 鹿野厚子, 各種市販木質パネルの釘接合性能 (第 8 報) -屋外暴露における劣化外力の算出方法-,日本木材学会年次大会, 60, I18-0900, 2010
23. 下田智也, 小島陽一, 鈴木滋彦,屋外暴露試験による市販木質パネルの劣化速度および劣化外力の数値化, 日本木材学会年次大会, 60, PI018, 2010
24. 山内秀文, 梅村研二, 木質パネルの屋外暴露耐久性に及ぼす各種因子の影響, 日本木材学会年次大会, 60, I18-0915, 2010

25. 藤元嘉安, 5 年間屋外暴露された木質パネルの基礎物性変化-パネル厚さおよび密度変化との関係-, 日本木材学会九州支部大会講演集, 17, 23-24, 2010
26. 阿部一成, 東野正, 佐藤春菜, 関野登, 各種市販木質パネルの釘接合性能 (第 9 報) -実験住宅に使用した外装材料の劣化-, 日本木材加工技術協会年次大会, 28, 105-106, 2010
27. 藤元嘉安, 5 年間屋外暴露された木質パネルの厚さ方向密度分布変化, 日本木材加工技術協会年次大会, 28, 61-62, 2010
28. 下田智也, 小島陽一, 鈴木滋彦, 屋外暴露試験による木質パネルの劣化に及ぼす気象因子の影響, 日本木材加工技術協会年次大会, 28, 107-108, 2010
29. 小島陽一, 下田智也, 鈴木滋彦, 曲げ性能を指標とした木質パネルの耐久性能評価, 日本木材学会中部支部大会講演要旨集, 20, 60-61, 2010
30. 関野登, 佐藤春菜, 屋外暴露された木質ボードの強度劣化メカニズム (II) ~厚さ変化と強度低下の相関性に及ぼす生物劣化の影響~, 日本木材学会年次大会, 61, I18-05-1145, 2011
31. 高麗秀昭, 関野登, 屋外暴露試験による木質パネルの耐久性評価~強度劣化に及ぼす暴露角度の影響~, 日本木材学会年次大会, 61, I20-05-0900, 2011
32. 戸田正彦, 関野登, 野上英孝, 藤元嘉安, 各種市販木質パネルの釘接合性能 (第 10 報) -一面せん断試験結果を用いた壁倍率の推定-, 日本木材学会年次大会, 61, H19-P-AM21, 2011
33. 小島陽一, 下田智也, 鈴木滋彦, 木質パネル類を用いた屋外暴露試験による基礎物性の劣化, 2011 年度日本木材学会中部支部大会講演要旨集, p.82-83, 2011
34. 下田智也, 小島陽一, 鈴木滋彦, 屋外暴露試験における木質パネル劣化に及ぼす気象因子の影響, 日本木材学会年次大会, 61, I19-P-AM24, 2011
35. 野上英孝, 小川 裕, 岡山県内における各種市販木質パネルの屋外暴露試験 (第 2 報) -5 年間の屋外暴露による基礎物性の変化について-, 日本木材学会中国・四国支部第 23 回研究発表会 (広島), 研究発表会要旨集: 48-49, 2011
36. 関野 登, 佐藤春菜, 屋外暴露された木質ボードの強度劣化メカニズム (III) ~接着劣化に起因する内部結合力低下の抽出~, 第 62 回日本木材学会大会 (札幌), 3 月, 研究発表要旨集: 148, I15-P-AM18: ISSN 0549-3994, 2012
37. 下田智也, 小島陽一, 鈴木滋彦, 全国 8 地域の屋外暴露試験 7 年間における木質パネルの劣化速度および劣化外力, 第 62 回日本木材学会大会研究発表要旨集, p. 147, 2012
38. 関野 登, 佐藤春菜, 屋外暴露試験による MDF の接着耐久性評価, 日本木材加工技術協会第 30 回記念年次会 (東京), 10 月, 講演要旨集: 11-12, 2012
39. 高麗秀昭, 木質ボードの劣化メカニズムの解明 第 1 報, 日本木材加工技術協会第 30 回記念年次会 (東京) 講演・研究発表要旨集, 10 月, 53-54, 2012
40. 高麗秀昭, 渡辺憲, 林知行, ニューラルネットワークによる屋外暴露したパーティクルボードの性能解析 (第 1 報) ニューラルネットワークおよび重回帰分析による剥離強さの予測, 日本木材加工技術協会第 31 回年次会 (静岡) 講演・研究発表要旨集, 10 月, 50-51, 2013
41. 渡辺憲, 高麗秀昭, 林知行, ニューラルネットワークによる屋外暴露したパーティクルボードの性能解析 (第 2 報) 月別気象要因が剥離強さの予測に与える影響, 日本木材加工技術協会第 31 回年次会 (静岡) 講演・研究発表要旨集, 10 月, 52-53, 2013
42. 関野 登, 佐々木優花, 屋根下地に使用された各種木質ボードの釘接合部の劣化, 日本木材加工技術協会第 32 回年次大会 (秋田), 10 月, 講演・研究発表要旨集, 22-23, 2014
43. 高麗秀昭, 野上英孝, 吹野信, 藤元嘉安屋外に暴露したパーティクルボードの性能, 第 64 回日本木材学会大会研究発表要旨集 (CD-ROM 版), I14-10-1530, 松山, 3 月, 2014
44. 高麗秀昭, 渡辺憲, 中尾勝洋, 松井哲哉, 林知行, 屋外暴露したパーティクルボードの強度低下の地図化, 第 65

回日本木材学会大会研究発表要旨集（CD-ROM版）:I17-P-S05, 東京, 3月, 2015

45. 関野登, 佐々木優花, 高麗秀昭, 種々の屋内温湿度環境下に最長10年間暴露された木質パネルの強度性能, 日本木材加工技術協会第33回年次大会講演・研究発表要旨集, 25-26, 2015