

構造用木質パネルの釘接合性能に及ぼす 促進劣化処理条件の影響^{*1}

小島陽一^{*2}, 小林千夏^{*2}, 庄司拓磨^{*2}, 小堀 光^{*2}, 鈴木滋彦^{*2},
西城戸邦治^{*3}, 高橋一聡^{*3}

Effect of Accelerated Aging Test Condition on the Nailed Joint Performance of Wood-based Panels for Construction

Yoichi KOJIMA^{*2}, Chinatsu KOBAYASHI^{*2}, Takuma SHOJI^{*2},
Hikaru KOBORI^{*2}, Shigehiko SUZUKI^{*2}, Kuniharu NISHIKIDO^{*3}
and Kazuaki TAKAHASHI^{*3}

Durability performance of nailed joints of wood-based panels is of importance in structural applications. In this study, the effect of timing of nailing during accelerated aging treatment on the nailed joint performance of particleboard and plywood was investigated. The retention of lateral nail resistance (LNR) and nail head pull-through (NHP) for the Dry-1 condition, where nailing was performed before accelerated aging treatment, kept almost same value as those for the Dry-2 condition, where nailing was performed after accelerated aging treatment. These results showed that the timing of nailing during accelerated aging treatment did not affect LNR and NHP. On the other hand, nail withdrawal resistance (NWR), as defined by ASTM, for the Dry-1 condition was clearly lower than that for the Dry-2 condition.

Keywords : wood-based materials, durability performance, accelerated aging treatments, nailed joint performance

木質パネル類を構造用途に利用する場合、釘接合性能の耐久性が重要となる。本論文では、パーティクルボード (PB) と合板 (PW) を用いて、促進劣化処理試験を行う際の釘の打ち込みタイミングによって各釘接合性能にどのような影響を及ぼすのかを検討した。その結果、釘打ちした後に促進劣化処理を施した Dry-1 と処理後に釘打ちを行った Dry-2 において、JIS 規格に規定された釘側面抵抗 (Lateral nail resistance : LNR) 残存率、および釘頭貫通力 (Nail head pull-through : NHP) 残存率が同程度になったことから、促進劣化処理前後の釘打ちのタイミングは LNR や NHP に影響を及ぼさないことが明らかとなった。一方、ASTM 規格に規定される釘引抜抵抗 (Nail withdrawal resistance : NWR) に関しては、Dry-1 の方が明らかに小さな値を示した。

^{*1} Received July 25, 2018; accepted August 31, 2018. 本研究の一部は第68回日本木材学会大会 (2018年3月, 京都) で発表した。

^{*2} 静岡大学農学部 Faculty of Agriculture, Shizuoka University, Shizuoka 422-8529, Japan

^{*3} 積水ハウス株式会社 Sekisui House, Ltd. Osaka 531-0076, Japan

Corresponding author: Y. Kojima (kojima.yoichi@shizuoka.ac.jp)

1. 緒 言

近年、パーティクルボード (PB) や中密度繊維板 (MDF) をはじめとする木質ボードの需要が高まっている。世界の PB 生産量、MDF 生産量は2000年では、それぞれ約6400万 m³、約2000万 m³であったが、2016年では、それぞれ約9300万 m³、約9900万 m³まで増加している¹⁾。もともと、PB や MDF は家具や内装材等の造作用途での利用が多かったが、近年では、合板の代替材料として建築用途での利用が進んでいる。

PB や MDF を木造住宅の耐力壁として利用する場合、面材の種類と施工方法に基づき、耐力壁の壁倍率が定められている。しかし構造用面材を多用する枠組壁工法建築物において、壁倍率を定めた平成13年国土交通省告示第1541号²⁾に MDF は含まれておらず、PB は厚さ12 mm 以上でのみ壁倍率が定められていた。PB や MDF を構造部材で使用するためには、合板等と同じ厚さで同程度の性能を確保することが必要である。そのため、厚さ12 mm の PB は重量増となり、構造用合板に比べて作業性が悪く、市場に浸透を図ることができなかった³⁾。そのため PB、MDF とともに厚さ9 mm 品について会社ごとに個別大臣認定を取得することで市場認知活動が展開されてきたが、製品の間に互換性が無く、広く普及するには至らなかった。そこで2010年に国土交通省告示化対応について議論が開始され、「構造用 MDF」の JIS 化を目指すことが検討された。

こうした背景のもと、2014年に JIS A5905：繊維板⁴⁾、2015年に JIS A5908：パーティクルボード⁵⁾の改正が行われ、釘接合部の強度性能に関する構造用の規格が追加された。構造用途に木質ボードを使用するためには釘接合部の強度性能だけではなく、長期耐久性も重要になる。一般に長期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が、今回の JIS 規格改正から数年しか経過していないため、使用実績は乏しく、その

他の方法で判断せざるを得ない。

そこで本研究では、耐久性評価手法の1つである促進劣化処理試験に着目した。促進劣化処理試験は、吸水処理、煮沸処理、凍結処理、乾燥処理等を繰り返し行って各種特性の低下を評価することで品質を検討し、将来の保証をするものである。促進劣化処理試験には屋外暴露試験や使用実績の評価と異なり、短時間で行うことができるという利点が挙げられるが、処理条件と実使用環境の対応関係が問題となる。しかし、屋外暴露試験との対応関係から時間に換算する手法が可能であり、実際に、米国の ASTM D1037⁶⁾、欧州規格の EN321 (V313)⁷⁾等の促進劣化処理効果が検証されている⁸⁻¹⁰⁾。これらの報告は木質パネルの曲げ性能や内部結合力といった基礎物性について促進劣化処理試験を行い、劣化挙動を評価したものであり、釘接合性能に関してそのような報告例は非常に少ない¹¹⁾。合板に関しても同様で、釘接合性能試験の報告事例は多数存在するものの¹²⁻¹⁵⁾、釘接合性能の長期耐久性を評価した事例はほとんど見当たらない。そこで木質パネルの釘接合部の耐久性について、促進劣化処理試験を実施し、釘接合性能の変化を検討することが課題となる。促進劣化処理試験を行う場合、釘を「先」に打ち、その後処理を施す方法と、処理の「後」に釘を打つ方法が考えられ、釘打ちのタイミングにより釘接合性能の劣化に相違が生じる事が懸念される。そのため、本論文では、各種釘接合性能に与える釘打ちのタイミングの影響を評価することを目的とし、3種類の釘接合性能試験を実施した。

2. 実験方法

2.1 供試材料

Table 1 に供試材料の概要を示す。本論文では、国内で構造用として使用されている市販の木質パネルから PB と合板 (PW) を選定した。両材料ともに公称厚さは9.0 mm である。

試験体の寸法は、釘側面抵抗力試験で、150×75

Table 1. Specifications of commercial panels.

Panel type	Abbreviation	Adhesive	Thickness (mm)	Density (g/cm ³)	Classification Construction
Particleboard	PB	pMDI	8.98	0.75	JIS, 18P type
Plywood	PW (Pr)	PF	8.92	0.55	JAS, Special type
	PW (Pp)				3 ply

Notes: PB, particleboard; PW, plywood; Pr, parallel direction; Pp, perpendicular direction; pMDI, polymeric methylene diphenyl diisocyanate; PF, phenol formaldehyde resin

mm, 釘頭貫通力試験および釘引抜抵抗試験では、 50×50 mm とした。なお、釘側面抵抗試験における PW は表板、裏板の繊維方向が加力方向に対して平行 (Pr), 垂直 (Pp) の2種類を用意した。釘側面抵抗試験体の写真を Fig. 1 に示す。

釘接合性能試験に用いた釘は CN50 (胴部径2.87 mm, 呼び長さ50.8 mm) である。なお、試験体数は常態試験 (初期値算出用) に各20体, 促進劣化処理試験用に各10体用意した。

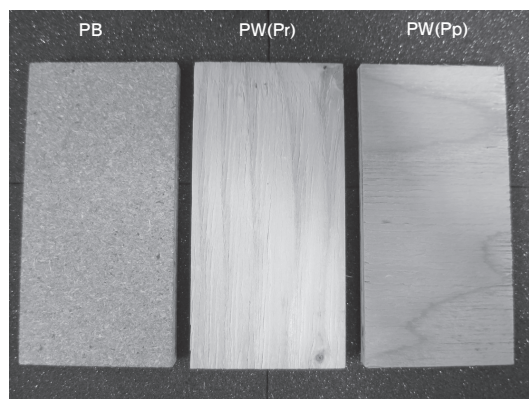


Figure 1. Specimens for lateral nail resistance.

Notes: PB, particleboard; PW, plywood; Pr, parallel direction; Pp, perpendicular direction

2.2 釘接合性能試験の概要

本研究では、3種類の釘接合性能試験を実施した。以下にそれらの概要を記す。

2.2.1 釘側面抵抗試験

Fig. 2 に試験の模式図を示す。試験は JIS 規格に準拠して実施した⁵⁾。試験体の端部から12 mm の位置に、釘打ちによる割れを防ぐため、ボール盤を用いて直径2.5 mm の案内孔をあけ、ハンマーで CN50 釘を試験体表面に垂直に打ち込んだ。打ち込み深さは試験体表裏面からの釘の突き出し部分の長さがほぼ等しくなる位置とした。試験は万能試験機 (AGS-5kN, 島津製作所) を用いて変位速度2.0 mm/min で行い、試験体と釘が離れるまで加力し、最大垂直引張荷重 (P_{max}) を求めた。このときの P_{max} を釘側面抵抗 (Lateral nail resistance: LNR) とした。なお、試験体の左右に加力用の鋼板治具を配置して釘を支持した。摩擦による影響を除くため、試験体と鋼板のギャップを試験体両面に対して約1 mm ずつ設けた。また PW は上述したとおり、表板裏板の繊維方向が加力方向に対して平行、垂直の2方向、PB に関しては製造方向が加力方向に對し

て直交するように設置した。

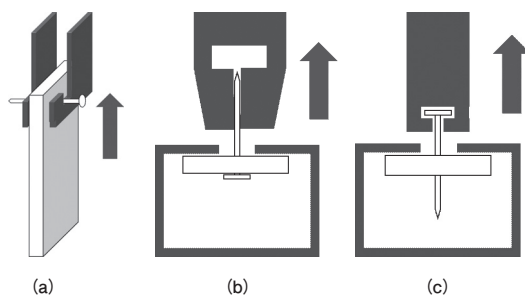


Figure 2 Configurations of nailed joint tests.

Note: (a) lateral nail resistance test, (b) Nail head pull-through test, (c) Nail withdrawal resistance test
The arrows show the load direction.

2.2.2 釘頭貫通力試験

Fig. 2 に試験の模式図を示す。試験は JIS 規格に準拠して実施した⁵⁾。釘打ちによる初期割れを防ぐため、ボール盤を用いて試験体の中央部に直径2.5 mm の案内孔をあけ、ハンマーで CN50 釘を試験体表面に垂直に打ち込んだ。打ち込み深さは釘頭部の裏面が試験体表面に接触する位置とした。試験は万能試験機を用いて変位速度2.0 mm/min で行い、試験体と釘が離れるまで加力し、 P_{max} を求めた。このときの P_{max} を釘頭貫通力 (Nail head pull-through: NHP) とした。試験体に方向性がある PW では、試験時に曲げ変形の影響を受ける恐れがあるため、表面の繊維方向がパネル部を支持するスリットに直交するように試験体を設置した。PB は製造方向とスリットが直交するように設置した。

2.2.3 釘引抜抵抗試験

Fig. 2 に試験の模式図を示す。試験は ASTM 規格⁶⁾ を参考に行った。釘打ちによる初期割れを防ぐため、ボール盤を用いて試験体の中央部に直径2.5 mm の案内孔をあけ、ハンマーで CN50 釘を試験体表面に垂直に打ち込んだ。打ち込み深さは試験体表裏面からの釘の突き出し部分の長さがほぼ等しくなる位置とした。試験は万能試験機を用いて変位速度1.5 mm/min で行い、試験体と釘が離れるまで加力し、 P_{max} を求めた。このときの P_{max} を釘引抜抵抗 (Nail withdrawal resistance: NWR) とした。

2.3 促進劣化処理試験条件

本研究では、JIS A5908 の湿潤時曲げ強さ B 試験⁵⁾ を参考にした3種類の方法で促進劣化処理を行い、各釘接合性能に及ぼす釘打ちのタイミングの影響を検討した。Fig. 3 に各処理条件のフローチャートを

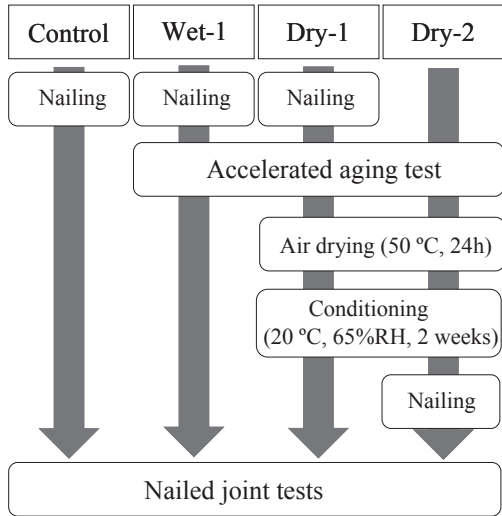


Figure 3. Flow chart of accelerated aging test conditions.

示す。「Wet-1」ではB試験に倣い、釘を打ち込んだ後、煮沸処理2時間、常温水浸漬処理1時間を施し、湿潤状態で各釘接合性能試験を行った。「Dry-1」、「Dry-2」では煮沸処理、常温水浸漬処理に加え、50℃温風乾燥24時間、2週間以上養生をした後に各釘接合性能試験を行った。「Dry-1」では釘を打ち込んだ状態でB試験を行い、温風乾燥、養生後に各釘接合性能試験を行った。「Dry-2」ではB試験を行い、温風乾燥、養生後に案内孔をあけ、釘を打ち込み、各釘接合性能試験を行った。得られた釘接合性能の平均値から初期値（常態）に対する促進劣化処理後の残存率を算出して考察に用いた。

3. 結果と考察

3.1 常態時の釘接合性能

Table 2に常態時のLNR, NHP, NWRの値（20体の平均値および標準偏差）を示す。JISに規定されているLNR, NHPの値⁵⁾は両者ともに1.0 kNであり、本研究で用いた試験体は、これらの値をクリ

アした。また、パネル間で比較すると、LNRでは、PB>PW (Pp)>PW (Pr), NHPでは、PW>PB, NWRでは、PB>PWであった。

3.2 促進劣化処理試験後の釘接合性能

3.2.1 釘側面抵抗力（Lateral nail resistance : LNR）

Fig. 4に各処理後のLNR残存率を示す。残存率は常態試験で得られた値の平均値を100%として、促進劣化処理後にどれだけ性能を維持しているかを表す指標である。処理方法に着目して比較を行うと、LNR残存率はPB, PWともにDry-1≒Dry-2>Wet-1であった。Wet-1のLNR残存率が最も低くなった理由には、試験を湿潤状態でを行い、高含水率であったためにPB, PWともに木材と接着機構の劣化が生じ、強度が低下したと考えられる。興味深いことに、Dry-1とDry-2のLNR残存率が同程度であり、促進劣化処理試験前後での釘打ちのタイミングの影響はないことが示唆された。Dry-1は促進劣化処理試験前に釘を打ち込むため、釘近傍では煮沸工程で木材の膨潤、乾燥工程で木材の収縮が生じているのに対し、Dry-2では促進劣化処理後に釘を打ち込むため、釘近傍では木材の膨潤、収縮は生じないと考えられる。既往の研究¹⁶⁾において釘打ちのタイミングを検討するために、厚さ12 mmのPBを用いて処理前に釘打ちした場合（先打ち）のLNR、処理後に釘打ちした場合（後打ち）のLNRが比較されている。結果は先打ち、後打ちのLNR間に有意差は認められなかった。LNRに対する釘近傍の木材の膨潤、収縮による影響が予想されたが、以上のことから材の劣化のみがLNRに影響を与えるものと思われる。

次にPWの繊維方向によるLNRへの影響を考察する。

Fig. 4より、PWのLNR残存率はPW (Pr)>PW (Pp)となった。

Fig. 5に常態試験後およびDry-1試験後のPW (Pp)試験体の破壊性状を示す。表板、裏板は釘近傍の木材繊維に沿った割裂により、芯板は釘胴部径

Table 2. Initial properties of test samples before accelerated aging test.

Panel type	Abbreviation	LNR (kN)	NHP (kN)	NWR (kN)
PB	PB	1.51 (0.15)	1.22 (0.08)	0.42 (0.06)
PW	PW (Pr)	1.21 (0.26)	1.47 (0.26)	0.36 (0.09)
	PW (Pp)	1.47 (0.24)		

Values in parenthesis indicate standard deviations.

Notes: PB, particleboard; PW, plywood; Pr, parallel direction; Pp, perpendicular direction; LNR, Lateral nail resistance; NHP, Nail head pull-through; NWR, Nail withdrawal resistance

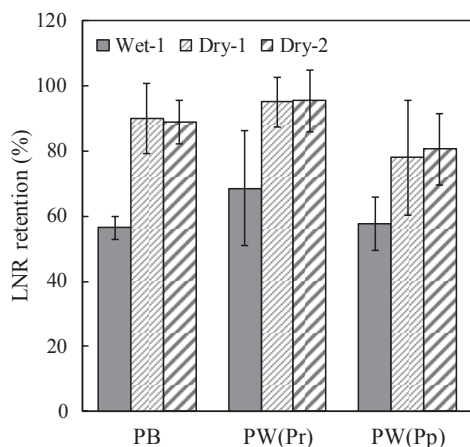


Figure 4. Effect of accelerated aging test conditions on LNR retention.

Note: PB, particleboard; PW, plywood; Pr, parallel direction; Pp, perpendicular direction; LNR, lateral nail resistance.
Wet-1, Dry-1, Dry-2 see Fig.3.
Error bars show standard deviation.

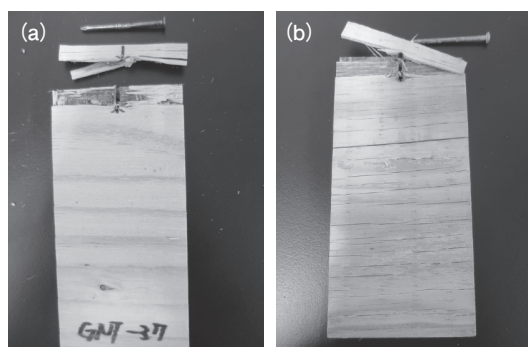


Figure 5. Typical failure of PW (Pp) after LNR test. (a) control, (b) Dry-1

に沿ったせん断により破壊が生じていた。常態と Dry-1 の破壊性状を比較すると、Dry-1 では促進劣化処理の煮沸工程において木材の膨潤、乾燥工程による木材の収縮が生じたことで、木材繊維に沿った割れが認められた。常態時は木材繊維を割裂するための力が必要になるが、促進劣化処理後は木材繊維の割れに沿って破壊が生じ、常態時よりも割裂に要していた力が減少するため、LNR は低下したと考えられる。加力方向に対して垂直な単板を Pp 試験体では2枚、Pr 試験体では1枚より構成されているために、Pp 試験体のほうが残存率の低下が大きくなったと考えられる。

Fig. 6 に PB および PW (Pr) 試験体の破壊性状

を示す。PB では、V字型に破壊されており、促進劣化処理の有無による破壊性状の差は認められなかった。PW (Pr) では、表板と裏板が釘胴部の直径に沿ってせん断、加力方向に対して垂直な繊維方向を持つ芯板が木材繊維に沿った割裂により破壊されていた。試験時には、先に表板と裏板が破壊され、その後芯板が破壊されていた。これは各抵抗要素(表板、裏板および芯板)の変形能力の差であると推定される。PW においても促進劣化処理の有無による破壊性状の差は認められなかった。

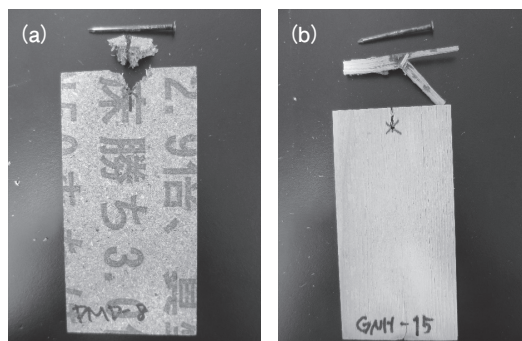


Figure 6. Typical failure of (a) PB and (b) PW (Pr) after LNR test.

3.2.2 釘頭貫通力 (Nail head pull-through : NHP)

Fig. 7 に各処理後の NHP 残存率を示す。PB, PW いずれにおいても LNR の結果と同様に、NHP 残存率は Dry-1 ≧ Dry-2 > Wet-1 であった。Wet-1 が最小となった理由には LNR 同様、湿潤状態で試験を行っていることが挙げられる。PB, PW ともに含水率が高くなったことにより木材と接着機構の劣化が生じ、強度が低下したと考えられる。PB は熱圧縮によりエレメントを変形固定し、圧密化することで強度を発揮するのに対し、PW では単板を直交して接着することで強度を発揮する。浸漬処理により PB のエレメントは厚さを回復するのにに対し、PW の厚さ変化はわずかであることから、PB のほうが強度低下が大きかったと考えられる。また Dry-1 と Dry-2 の NHP 残存率が同程度になったことより、LNR 同様に NHP に対しても促進劣化処理前後の釘打ちのタイミングの影響はないことが明らかとなった。これは PB の場合、釘頭が表層を貫通、PW の場合は釘頭が単板の繊維の切断に要する力に NHP が左右されるため、釘胴部近傍の木材の膨潤、収縮は NHP に影響を及ぼさないことによると考えられる。また、常態、各処理条件において PW の

ばらつきがPBよりも大きくなった。これはPWのNHPは釘が打ち込まれた位置の表板の早晚材の影響を受けるため¹⁷⁾、PWではばらつきが大きくなったものと考えられる。

Fig. 8にPB, PWの破壊性状を示す。PBは変位が大きくなるにつれ、中心に沿って折れるように破壊が進み、最終的に2つに分断した。これは試験体の寸法が影響していると考えられる。Wet-1, Dry-1の試験体に打ちこんだ釘に着目すると、打ち込まれていた部分の塗装が剥がれていることが確認でき、またその塗装が接合部に付着していることも確認できた。PWの場合、釘が打ち込まれた表板の繊維に沿った部分が接合部に引き込まれるような破壊性状を示した。また促進劣化処理を行った試験体の接合部は黒ずんだ色となっていた。またPB同様にWet-1, Dry-1のみ釘が打ち込まれた部分の塗装が剥がれていた。PB, PWどちらにおいても促進劣化処理前後で破壊性状に大きな違いは確認できな

った。

3.2.3 釘引抜抵抗力 (Nail withdrawal resistance : NWR)

Fig. 9に各処理後のNWR残存率を示す。PB, PWどちらにおいてもDry-2>Wet-1>Dry-1であった。Wet-1のNWR残存率が小さくなった理由には、LNRやNHP同様に湿潤状態で試験を行ったことが挙げられ、PB, PWともに含水率が高くなったことにより、木材と接着機構が劣化し、強度が低下したことによると考えられる。Dry-2に比べ、Dry-1のNWR残存率が小さかったことからNWRは促進劣化処理前後での釘打ちのタイミングの影響を受けることが分かった。Dry-1は促進劣化処理前に釘を打ち込むため、釘近傍では促進劣化処理の煮沸工程により木材の膨潤が、乾燥工程により木材の収縮がそれぞれ生じるのに対して、Dry-2では促進劣化処理後に釘を打ち込むため、釘近傍の木材の膨潤、収縮は生じていない。NWRは摩擦力の影響を大きく

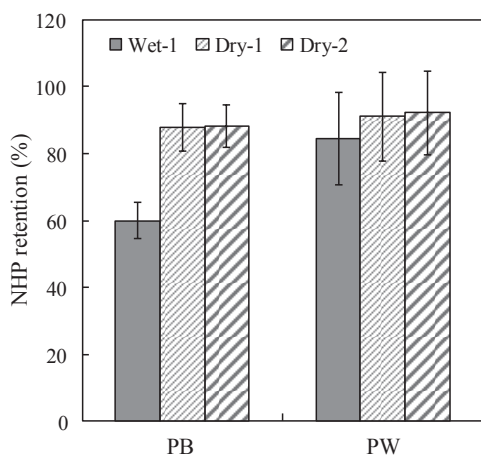


Figure 7. Effect of accelerated aging test conditions on NHP retention.

Note: PB, particleboard; PW, plywood; NHP, nail head pull-through.
Wet-1, Dry-1, Dry-2 see Fig.3.
Error bars show standard deviation.

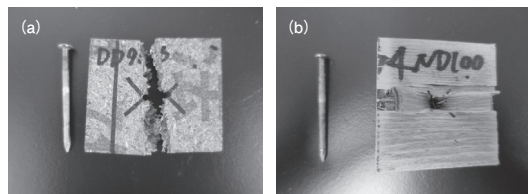


Figure 8. Typical failure of (a) PB and (b) PW after NHP test.

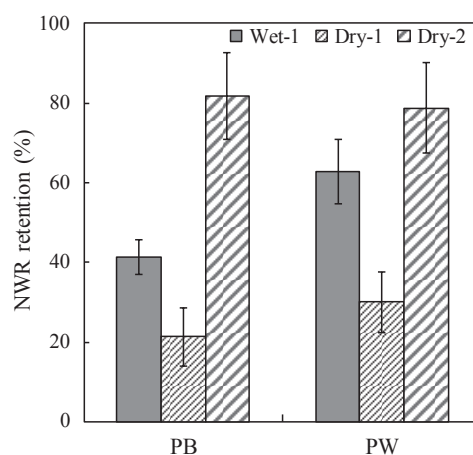


Figure 9. Effect of accelerated aging test conditions on NWR retention.

Note: PB, particleboard; PW, plywood; NWR, nail withdrawal resistance.
Wet-1, Dry-1, Dry-2 see Fig.3.
Error bars show standard deviation.

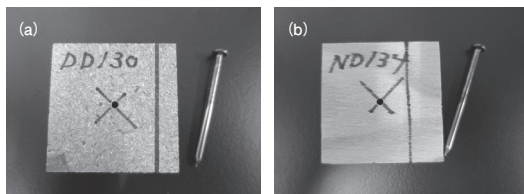


Figure 10. Typical failure of (a) PB and (b) PW after NWR test.

受けるため、Dry-1 は木材の膨潤、収縮により、Dry-2 に比べて摩擦力が低下していると考えられる。Dry-2 の残存率に着目すると、PB で81.6%、PW で78.8%となり、いずれのパネルにおいてもLNR、NHP と同様にほぼ80%程度の残存率を示した。これより、Dry-2 のように、促進劣化処理後に釘打ちを行って釘引抜抵抗試験を実施する場合は、試験体の劣化がNWR を左右する要因であると考えられる。

Fig. 10にPB、PW の破壊性状を示す。PB、PW どちらにおいても釘接合部以外に破壊箇所は確認できなかった。試験後の釘に着目すると常態試験後、各処理後全てにおいて引き抜かれた部分の塗装が剥がれていた。また接合部にも塗料の付着が確認された。PB、PW とともに常態と促進劣化処理後で破壊性状に大きな違いは確認できなかった。

4. 結 論

本論文では、木質パネルの釘接合性能を促進劣化処理により評価することを最終目標とし、特に、釘打ちのタイミングによる影響を検討した。その結果、釘打ちした後に処理を施したDry-1 と処理後に釘打ちしたDry-2 のLNR 残存率、NHP 残存率が同程度であったことから、促進劣化処理前後の釘打ちタイミングはLNR とNHP に対して影響を及ぼさないことが明らかとなった。本研究はPB やMDF のJIS 規格に構造用の区分が新たに追加されたことを受け、LNR やNHP の耐久性評価を行うことを目的としている点、Dry-2 のように促進劣化処理後に釘打ちを行う方法は先打ちの場合に比べて、より容易に促進劣化処理を行うことが出来る点を踏まえ、今後は、Dry-2 の方法を参考に、ボード類の種類や促進劣化処理試験の種類を増やし、検討を進めていく予定である。

文 献

- 1) FAO : 世界森林資源評価, <http://www.fao.org/faostat/en/#home> 2018年5月17日参照.
- 2) 構造耐力上主要な部分である壁及び床版に、枠組壁工法により設けられるものを用いる場合における技術的基準に適合する当該壁及び床版の構造方法を定める件、平成13年国土交通省告示第1541号 (2001) (最終改正：平成28年6月1日国土交通省告示第790号).
- 3) 青木謙治：木質ボードの構造用途への利用拡大. 木材工業 71(11), 465-470 (2016).
- 4) JIS A 5905：ファイバーボード. 日本規格協会 (2014).
- 5) JIS A 5908：パーティクルボード. 日本規格協会 (2015).
- 6) ASTM D 1037: American Society for Testing and Materials (1999).
- 7) EN321: Cyclic tests in humid conditions. The European Standard (1993).
- 8) Bryan, H. R.: Outdoor aging of wood-based panels and correlation with laboratory aging. *Forest Prod. J.* 44(11/12), 55-66 (1994).
- 9) Mirski, R., Dziurka, D., Wieryszewski, M.: Properties of OSB boards after a few cycles of aging tests. *Wood Research* 60(4), 633-644 (2015).
- 10) 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).
- 11) Herzog, B., Yeh, B.: Nail withdrawal and Pull-Through Strength of Structural-Use Panels. Proceedings of 9th World Conference on Timber Engineering, Portland, Oregon, USA, 2006, p. 549-556.
- 12) 大熊幹章, 森泉 周：比較的厚い市販木質系ボード類の材質 (第1報) 基礎的材質について. 木材学会誌 23(10), 509-512 (1977).
- 13) 大熊幹章, 森泉 周：比較的厚い市販木質系ボード類の材質 (第2報) 耐久性について. 木材学会誌 23(10), 513-518 (1977).
- 14) Chow, P., McNatt, J. D., Lambrechts, S. J., Gertner, G. Z.: Direct withdrawal and head pull-through performance of nails and staples in structural wood-based panel materials. *Forest Prod. J.* 38(16), 19-25 (1988).
- 15) 大畑 敬, 河村 進：合板・OSBの釘保持性能と実大壁の強度性能比較. 島根県産業技術センター研究報告 46, 25-28 (2010).
- 16) 関野 登, 清野光咲：パーティクルボードの釘側面抵抗に及ぼす試験方法の影響. 木材学会誌 61(1), 40-47 (2015).
- 17) 青木謙治, 洪沢龍也, 戸田淳二：各種構造用面材料を用いた釘接合部の水掛かりに対する耐久性評価. 木材工業 69(5), 198-203 (2014).