

混練型 WPC の屋外ばく露実験

(その1) ばく露5年目までの結果

OUTDOOR EXPOSURE EXPERIMENT ON WOOD PLASTIC COMPOSITES

Part 1 Progress up to the fifth year

市川菜奈絵^{*1}, 栗木茂^{*2}, 大塚洋之^{*3} 山本拓弥^{*1}
ICHIKAWA Nanae, KURIKI Shigeru, OTSUKA Hiroyuki and YAMAMOTO Takuya

When wood is used for the exterior of a building, it is prone to deterioration over time due to ultraviolet rays, wind, and rain. Wood plastic composite (WPC), made by mixing and molding wood powder and resin, is a material that provides weather resistance. This paper reports the results of outdoor exposure experiments on WPC up to the fifth year. Changes in color and gloss were measured on vertical louvers, as a vertical component. As a horizontal member, a wooden deck was subjected to surface temperature measurements, analysis of surface deposits, and observation of moisture properties. As a result, the following findings were obtained.

1. When used as a vertical louver, WPC exhibits only minor changes after five years of exposure, though the way it changes varies depending on the type of resin.
2. When used as a wood deck, WPC is highly susceptible to sunlight and ultraviolet rays and deteriorates rapidly. The extent of deterioration depends on the resin and surface conditions, such as roughening.

Keywords: Wood Plastic Composite, Outdoor Exposure, Weather Resistance, Louver, Wooden Deck

混練型 WPC, 屋外ばく露, 耐候性, ルーバー, ウッドデッキ

1. はじめに

木材を建築物の外装に利用する場合、紫外線や風雨による経年変化が課題となりやすい。色、質感や二酸化炭素貯蔵など、木材の利点を生かしながら耐候性を確保する材料として、木粉と樹脂を混練し成形した Wood Plastic Composite (以下、混練型 WPC) が挙げられる。

本報では、混練型 WPC の実環境における耐候性について知見を得るため、垂直部材として縦ルーバー、水平部材としてウッドデッキを試験体として実施している屋外ばく露実験について5年目までの結果を報告する。縦ルーバーについては、主として美観の観点から要因によらず外観の経年変化の程度を評価した。ウッドデッキは、屋外にほぼ水平に設置されることから、日射や降雨の影響をより強く受ける。そのため、より大きな変化を想定し、成分分析¹⁾などの評価を行うこととした。また、日射による影響として表面温度が高くなることが指摘されていることから、対策品（遮熱タイプ）も含め実測した。

2. 縦ルーバー

2.1 実験概要

表1に縦ルーバー試験体の仕様を示す。混練型 WPC はいずれも中空タイプで、炭素貯蔵量は同寸法のスギ製材と同程度である。樹脂としては、L-1は主に廃プラスチック類が、L-2はスチレン系樹脂が使用されている。

また、L-1の表面は木材の質感に似せるため粗し加工されている。比較のため、無垢のスギに含浸型塗料を工場にて塗装したL-3も対象とした。各仕様3体とし、150 mm 間隔で、上下端および中央を図1のようにボルトで外壁に固定した。ばく露地は茨城県つくば市、ばく露開始時期は2019年10月である。評価面の向きは南向き鉛直とした。

表1 縦ルーバー試験体の仕様

記号	仕様	メーカー	奥行	L*	a*	b*	G ₆₀
L-1	混練型 WPC1 廃プラスチック類	A	120 mm	56.28	8.14	21.15	1.75
L-2	混練型 WPC2 スチレン系	B	150 mm	51.78	15.57	26.78	3.97
L-3	スギ+含浸型塗料	—	120 mm	63.03	10.45	25.03	18.73

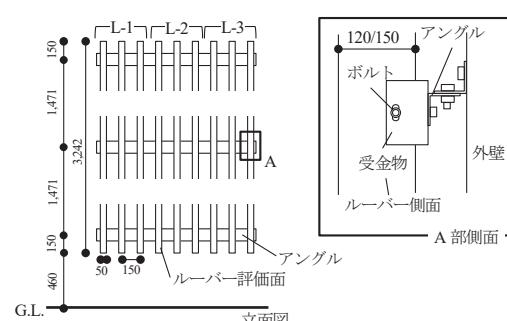


図1 縦ルーバー取り付け概要

*1 戸田建設(株)技術研究所 修士(工学)

*2 戸田建設(株)技術研究所

*3 戸田建設(株)技術研究所 修士(理化学)

Technology Research Institute, TODA CORPORATION, M.Eng.

Technology Research Institute, TODA CORPORATION

Technology Research Institute, TODA CORPORATION, M.Sci. and Che.

表2に縦ルーバーの測定概要を示す。ばく露状態のまま、色(L^* , a^* , b^*)および鏡面光沢度を測定した。測定値を試験体ごとに平均し、ばく露前(測定時期0カ月)の値との差 ΔL^* , Δa^* , Δb^* および ΔG_{60} を、また式(1)によりばく露前との色差 ΔE^*_{ab} を求めた。測定時には目視にて全体の観察、屋内保管品との比較をした。なお、L-3については柾目面を測定面とした。

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \quad \cdots (1)$$

表2 縦ルーバーの測定概要

測定項目	L^* , a^* , b^* (CIE 1976 $L^* a^* b^*$ 色空間)	鏡面光沢度(60°) G_{60}
測定機	測色計 NF333(日本電色製)	光沢度計 PG-1M(日本電色製)
測定点	下端より約150, 890, 1,630, 2,370 mm(4点)	
測定時期	0, 1, 2, 3, 6, 9, 12, 18, 24, 30, 36, 48, 60カ月	

2.2 実験結果および考察

図2に ΔL^* , Δa^* , Δb^* , ΔG_{60} および ΔE^*_{ab} の推移を、図3にばく露期間60カ月における試験体の外観を示す。L-1はばく露開始から6カ月まで ΔL^* が増加している。これは、廃プラスチック類は主としてオレフィン系樹脂であり、Kiguchiら²⁾によって示されたような樹脂の白色化が起きたためと考えられる。6カ月以降は ΔL^* および Δb^* が減少しており、目視では、わずかに灰色化の傾向や微生物汚染とみられる黒色の汚れが確認された。L-2は Δa^* が12カ月頃から、 Δb^* が6カ月頃からそれぞれ増加しており、スチレン系樹脂の黄変の影響が考えられる³⁾。また、 ΔG_{60} が12カ月まで増加した後、減少しており、表面の劣化が起きている可能性がある。L-3は、 ΔL^* , Δa^* および Δb^* に増減が見られる。日射によるヤケに伴う濃色化や降雨による着色成分の流出による淡色化などの外観変化が連続的に起きたことが反映された。3年(36カ月)頃からはいずれも減少傾向となっているが、目視観察でも全体的な微生物汚染が確認されたことから、灰色化の段階になったと言える⁴⁾。一方、 ΔG_{60} は実験を通して減少傾向にあるが、目視観察では細かなひび割れが発生していることなどから、塗膜の減少とひび割れの影響と考えられる。

L-1とL-2とを比較すると、色差 ΔE^*_{ab} に明確な差はないが、60カ月までの外観変化は同程度であるが、樹脂の違いに起因して ΔL^* , Δa^* , Δb^* および ΔG_{60} の傾向は異なる。L-1およびL-2は、L-3に見られる顕著な外観の変化はないものの色や光沢度に変化が見られ、より長期のばく露により耐候性が低下する可能性がある。

3. ウッドデッキ

3.1 実験概要

表3にウッドデッキの床板の概要を示す。D-1およびD-2は主に廃プラスチック類が、D-3はスチレン系樹脂が使用されている。D-1およびD-2はリブ加工、D-2の表面は粗し加工が施されている。また、D-1はソリッド、D-2およびD-3は中空である。比較のため、ウッドデッキに

使われる木材として一般的なイペD-4も対象とした。床板は、3階建て建物の屋上に設置した金属製の下地にビス止めされている。屋上への立ち入りはほとんどなく、定期的な清掃も行われない。ばく露地は茨城県つくば市、ばく露開始時期は2019年10月である。

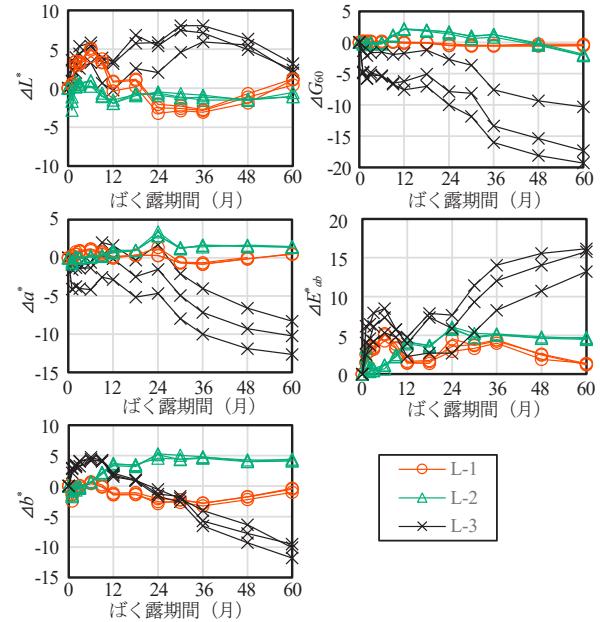


図2 ΔL^* , Δa^* , Δb^* , ΔG_{60} および ΔE^*_{ab} の推移

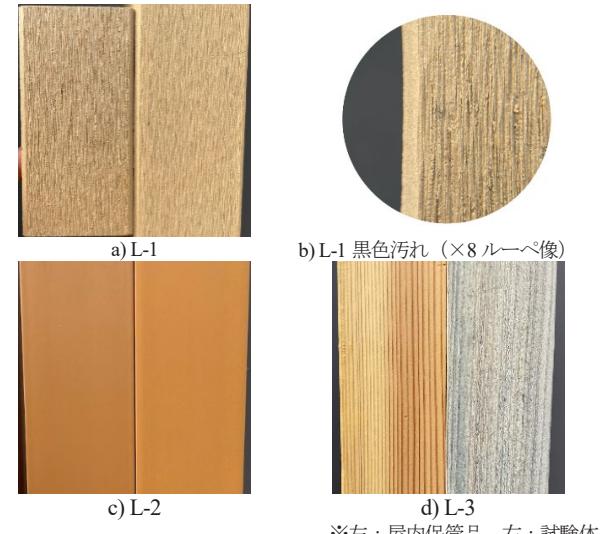


図3 ばく露期間60カ月における試験体の外観

表3 ウッドデッキの床板の概要

記号	種類・仕様	メーカー	幅(mm)	厚(mm)
D-1	混練型 WPC3(廃プラスチック類) ソリッド・リブ加工	A	145	24.0
D-2	混練型 WPC4(廃プラスチック類) 中空・遮熱タイプ・リブ、粗し加工	A	145	30.0
D-3	混練型 WPC5(スチレン系) 中空	B	140	27.5
D-4	防腐処理イペ	—	150	30.0

表4に測定項目を示す。表面温度は、床板表面にT熱電対をOPPテープで張り付け測定した。参考として、イペより密度の低いスギ板（厚30.0 mm）についても同様に測定した。床板表面を立位および座位で観察した。床板表面を清掃後、検査用の綿棒を用いて100×100 mmの範囲を拭き取り、顕微鏡観察後、ポテトデキストロース寒天培地およびM40Y培地に接種して培養することでカビの有無を確認した。床板表面の水に対する性質を評価するため、床板表面に0.5 mlの水を滴下し、1分後の水滴高さ（H）、床板の木目方向および木目垂直方向の水滴幅（図4 S1, S2）または濡れ色幅（図4 N1, N2）を測定した。混練型WPC（D-1～D-3）については、比較として恒温恒湿室（20°C, 60%RH）で保管していたサンプルも同様に測定した。D-2およびD-3について、外観観察で各々のウッドデッキ由来と思われる付着物が認められたことから、ペーパータオルを用いて床板表面を拭き取ることで表面の付着物を採取し、FT-IRによって成分を分析した。

表4 測定項目

測定項目	概要
表面温度	7月、T熱電対をOPPテープで張り付け
外観観察	立位（1,200 mm）、座位（100 mm）
カビの有無	顕微鏡観察、ポテトデキストロース寒天培地およびM40Y培地で培養
水に対する性質	0.5 mlの水を滴下し水滴の広がりを測定（図4）
付着物	FT-IR、D-2, D-3を対象

3.2 実験結果および考察

図5に表面温度の測定結果を示す。参考として測定したスギを除いて、最高温度が60°Cを超えた。14:00前後にD-1の温度がやや高くなったものの、遮熱タイプであるD-2も含めて仕様による大きな差はなかった。

図6に各床板のばく露期間5年における外観を示す。立位での観察では、D-2に黒色汚れやクラックが、D-4に全体的な灰色化と割れが認められた。座位で観察すると、共通して塵埃等の付着が、D-1のリブの凹部に黒色汚れが、D-3に床板と同系色の粉体の付着が見られた。

図7に床板表面を拭き取った綿棒の顕微鏡像の例を示す。菌糸が認められ、培養によってもすべての床板にカビの発育が確認された。培地による差は認められなかった。

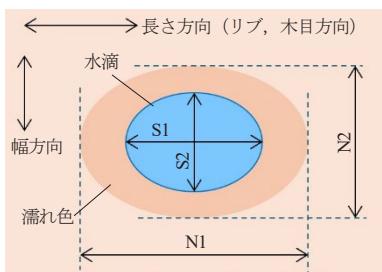


図4 水に対する性質の評価における測定位置

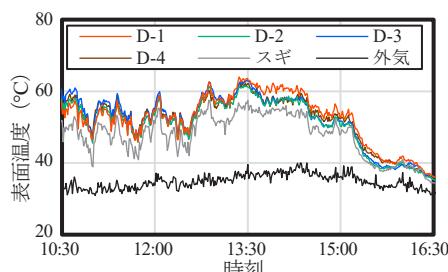


図5 表面温度の測定結果

図8に水に対する性質の測定結果を示す。混練型WPCであるD-1～3すべてにおいて、保管サンプルに対して水滴高さHは小さく、水滴幅S1, S2は大きくなつた。D-1およびD-3は、保管サンプル、ウッドデッキとともに濡れ色は観察されなかつた。D-2のウッドデッキは、濡れ色となつた範囲が水滴の広がつた範囲より広くなり、吸水が確認された。D-4については、水滴が出来ず、すべて吸水された。D-2はリブがあり長さ方向（リブ

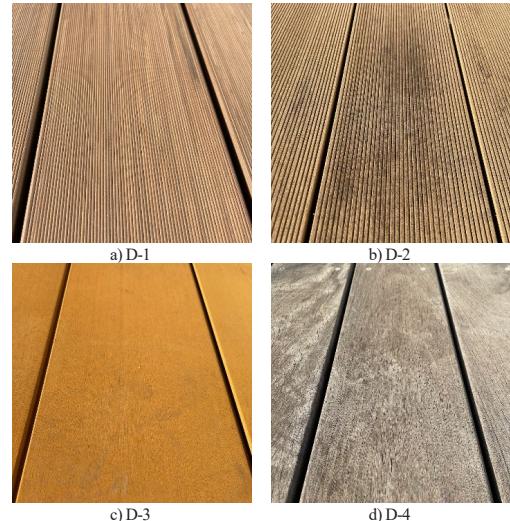


図6 各床板のばく露期間5年における外観

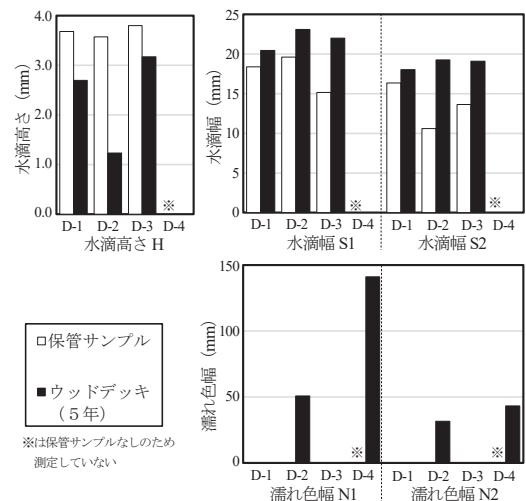


図8 水に対する性質の測定結果



図7 顕微鏡像の例

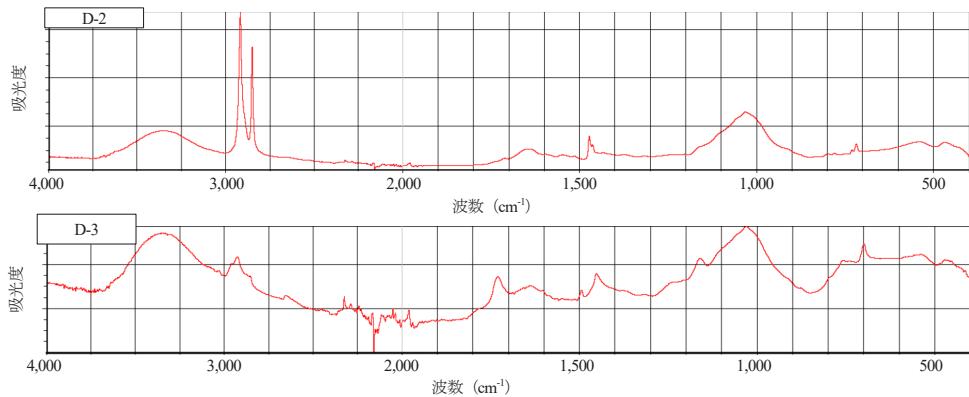


図9 付着物のFT-IRの結果

方向)に沿って水が広がるため, 保管サンプルは, S1とS2の比が約1.8あるが, ウッドデッキでは幅方向(リブに垂直方向)にひび割れが起きており, 約1.2と比が小さくなつた. D-4は, 長さ方向に割れが発生しており, 割れに沿つて水が広がつたため, N1とN2の比が3を超えた.

図9に付着物のFT-IRの結果を示す. D-2では, 3,000~2,800 cm⁻¹, 1,460 cm⁻¹, 720 cm⁻¹付近にピークが見られる. 廃プラスチック類の主要な樹脂であるポリエチレンと考えられる. D-3では, 3,000 cm⁻¹, 1,500 cm⁻¹, 700 cm⁻¹付近にスチレン系樹脂と思われるピークが確認された. また, D-2, D-3に共通して, 1,000 cm⁻¹にセルロース由来と考えられるピークが見られる. D-2, D-3ともに付着物には, それぞれの混練型WPCに含まれる樹脂や木粉が含まれており, それらはチョーキングやひび割れ等により脱離したものと考えられる.

以上の測定結果より, D-1は, 床板そのものの劣化はほぼなく, 汚れの付着や表面にカビが発生したことにより表面の濡れ性が大きくなつたと考えられる. D-2は, 表層にクラックが発生することで濡れ性や吸水性が大きくなり, また侵食されたと考えられる. D-3は, 濡れ性がわずかに大きくなつたものの吸水はなく, チョーキングなどごく表層のみの劣化と思われる. D-4は, 初期の濡れ性や吸水性が不明であるものの, 割れや風化により吸水性が高い状態となっている. 既往の研究⁵⁾では, 混練型WPCの耐水性は木粉の含有率や水との接触時間の影響を受けると報告されている. 今回対象とした製品の木粉含有率は把握できていないが, 劣化程度の差は木粉含有率の影響を受けている可能性がある. また, 水平部材としたことで, 図10のように降雨後の雨水が長期間表



図10 晴天時(乾燥状態)と降雨後のウッドデッキ

面に残ることでより劣化が進行しやすい環境にあると言える. 5年目まではおよそ D-4≥D-2>D-3>D-1の順に劣化が大きいと考えられる.

4. まとめ

縦ルーバーおよびウッドデッキを対象とした混練型WPCの屋外ばく露により, 以下の知見を得た.

- ・縦ルーバーとした場合, 5年までの範囲では著しい外観の変化はない.
- ・縦ルーバーとした場合の外観変化は, 色差としては同程度であるものの, 変化の要因は樹脂によって異なると推察される.
- ・ウッドデッキとした場合, 縦ルーバーとした場合と比較して劣化が進みやすい.
- ・温度上昇を抑制する遮熱タイプの混練型WPCを含め, 日射により表面温度は60°Cを超える高温となる.
- ・美観向上のための粗し加工やリブ加工は, 雨水が残りやすくカビの発生につながりやすい.

今後は, ばく露および測定を継続し, 長期の耐候性データを取得する予定である.

参考文献

- 1) K. Ebe and N. Sekino Surface deterioration of wood plastic composites under outdoor exposure, *Journal of Wood Science*, Vol.61, pp.143~150, 2015
- 2) M. Kiguchi, Y. Kataoka, H. Matsunaga, K. Yamamoto and P. Evans Surface deterioration of wood-flour polypropylene composites by weathering trials, *Journal of Wood Science*, Vol.53, pp.234~238, 2007
- 3) 本間精一 「プラスチック材料大全」, 日刊工業新聞社, p.195, 2015.12
- 4) 片岡厚 「木材の気象劣化と表面保護—気象劣化のメカニズム」, 木材保存, Vol.43, No.2, pp.58~68, 2017
- 5) 木口実, 片岡厚, 松永浩史, 桃原郁夫, 川元スミレ, 大友祐晋 「木粉・プラスチック複合材(混練型WPC)の耐久性(1)耐水性に及ぼす木粉含有率の影響」, 木材保存, Vol.36, No.2, pp.52~58, 2010