

2年間屋外暴露した能登ヒバ・スギ異樹種構成 CLT の外観変化

石田洋二

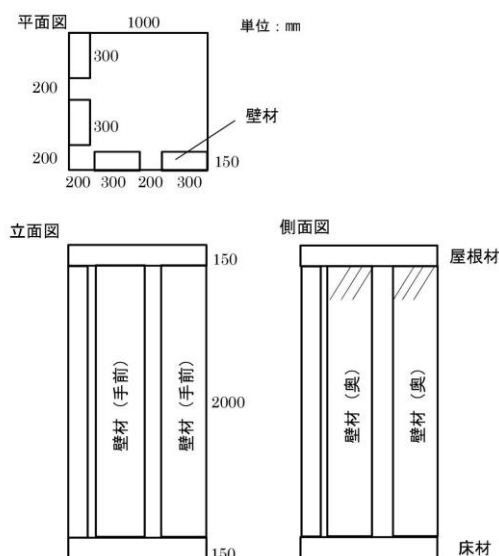
I はじめに

能登ヒバ（以下、ヒバ）は材色が良く光沢があり、また独特の芳香や高い防腐性能・強度性能などから高い評価を受けている。近年急速に普及が進む CLT はスギが主流となっているが、本県ではヒバとスギの異樹種構成とすることで、CLT の付加価値化を提案している。CLT は建築物の外壁、屋根やベランダなど屋外で使用される例もあるが、多くの場合は木材保護塗料の塗布や、外装材による被覆などで劣化軽減対策が図られる。しかし、ヒバは無垢の材の特性や防腐性能が高いという認識から、あえて木質感を残すために対策が手薄となる恐れがある。本報告は、ヒバとスギの異樹種構成 CLT の屋外環境での各種の外観変化をスギ CLT と比較しながら評価し、実際の施工現場での参考資料とすることを目的とする。また、劣化軽減対策の一例として、木材保護塗料の塗装による軽減効果も併せて報告する。

II 試験方法

1 材料

異等級構成で強度等級 Mx90、層構成 5 層 5 プライの外層のみヒバ、内層にスギを用いた CLT（以後、ヒバスギ CLT）と、全層スギを用いた CLT（以後、スギ CLT）を材料とした。CLT の積層接着には、屋外使用を考慮して、レゾルシノール・フェノー



図—1 暴露試験体組立図

ル系樹脂を使用した。両 CLT から、図—1 のような暴露試験体をそれぞれ 2 体作製した。各部材の組み立ては、L 型ステンレス金物とビスで固定した。また、ヒバスギ CLT とスギ CLT の 2 体ずつの試験体を構成する壁材、屋根材、床材の半数には木材保護塗料 (sikkens 社製セトール HLSe ライトオーク色) を全面塗装 (3 回塗り) し、2 試験体の中でまんべんなく配置されるようにした。

2 暴露処理

2016 年 10 月 26 日に、暴露試験体 4 体を石川県白山市河内町地内の石川ウッドセンター屋外敷地内に設置した。ヒバスギ CLT とスギ CLT の各 2 試験体を互いに 180° 回転して設置することで、両 CLT ごとに、壁材の配置または向き方角 (東南西北)、壁面の屋根材による庇陰の有無 (屋外・屋内)、塗装の有無の全ての組合せを対比できるようにし、更に両 CLT の屋根材と床材、塗装の有無の全ての組合せも対比できるようにした (写真—1)。



写真—1 暴露状況 (濃色に見えるのが塗装部材)

3 材色変化

暴露開始直後の 2016 年 11 月 2 日に、色彩色差系 (コニカミノルタ製 CR-400、光源 C、2° 視野、スポット径 50mm) を用いて暴露初期の色彩要素 L*、a*、b* を測定した。暴露終了後 2018 年 11 月 27 日 (暴露期間約 2 年) に、同様に色彩要素を測定した。測定箇所は、壁材においては、壁面を高さ方向に 3 区分してそれぞれ 3 点測定し、区分ごとに平均した。屋根材と床材においては、1 面当たり 4 隅と中心の 5 点測定し平均した。また、床材以外は表裏両面測定した。

4 表面割れ

暴露後約半年経過した時点で、CLT 板面に現れた幅 0.2mm 以上の割れを全て計測した。1 つの割

れにつき、幅と長さを測定した。壁材については、高さ方向に3区分した面ごとに集計した。

5 寸法変化

暴露終了後の2018年12月7日に、試験体を解体し、各部材の寸法変化を測定した。寸法変化は、部材の曲がり（外層ラミナ方向の部材長に対する面内方向曲がりの矢高長の割合）、幅（外層ラミナ方向に対して直交方向の寸法）、厚さ（CLTの積層方向の寸法）を測定した。幅と厚さについては、各部材の長さ・幅方向の分布を把握するため、各辺の両端部、中央部とその間を25cmピッチで測定した。なお、寸法変化の初期値は設計寸法とし、曲がりは0、幅は300mm、厚さは150mmとした。

6 接着層付近の割れ

暴露終了後、CLT断面（木口面、側面）に現れたラミナ同士の接着層付近に現れた材の割れ（以下、層割れ）の幅と長さを測定した（写真-2）。なお本調査では、接着層のはく離部分と木部破断部分が混在したクラックを測定しており、接着性能を評価するはく離試験における純粋な接着はく離長とは異なる。

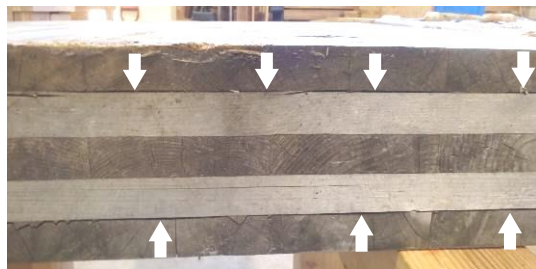


写真-2 CLT 木口面の接着層付近の割れ

III 結果および考察

1 材色変化

暴露初期の色彩要素 L^* 、 a^* 、 b^* を色差基準色とし、暴露終了後に測定した色彩要素との差から、

暴露期間中の色差

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

を算出した。無塗装の暴露試験体について、部材位置ごとの色差を図-2に示す。木材の変色の要因には、紫外線を吸収し分解したリグニンが雨水等で流亡することによる白色化や、材表面に水分が滞留することによるカビなどが考えられる（岡野ら、2006）。図中、壁材を見ると、屋根材による日除け、雨除けの影響を受けない屋外においては、日光を多く受ける南・西面を中心に色差が大きかった。屋内においては、方角による違いはほぼなく、地上高が高い位置では色差が小さく、低い位置になるほど大きい傾向があった。これは地上高が高いほど屋根材との距離が近いため、日光や湿気の影響を受けにくかったためと考えられる。屋根・床材においては、屋外に露出された屋根上面の色差が大きかったが、屋内の屋根下面は小さかった。床の上面は、地上高が低いため日光や湿気の侵入を受け、色差が大きかった。ヒバスギ CLT とスギ CLT との比較では、屋外露出された壁面においては全般的に、ヒバスギ CLT の色差が大きいようであった。屋内では東、南面は両 CLT がよく一致していたが、西、北面では傾向がばらついてきた。屋根・床材では、日光や湿気の影響を受ける屋根上面と床上面では、ヒバスギ CLT の方がやや大きいか同等であった。

2 表面割れ

暴露開始後、約半年経過した時点での CLT 表面の割れ発生状況を図-3に示す。なお、その期間中冬季を経ており、調査時点は翌春5月の好天日であった。よって、冬季に吸湿した材の乾燥が進行し表面割れが発生しやすい状況であったと推測される。部材位置ごとの表面割れ発生量は、ヒバスギ CLT とスギ CLT で傾向がやや異なった。スギ

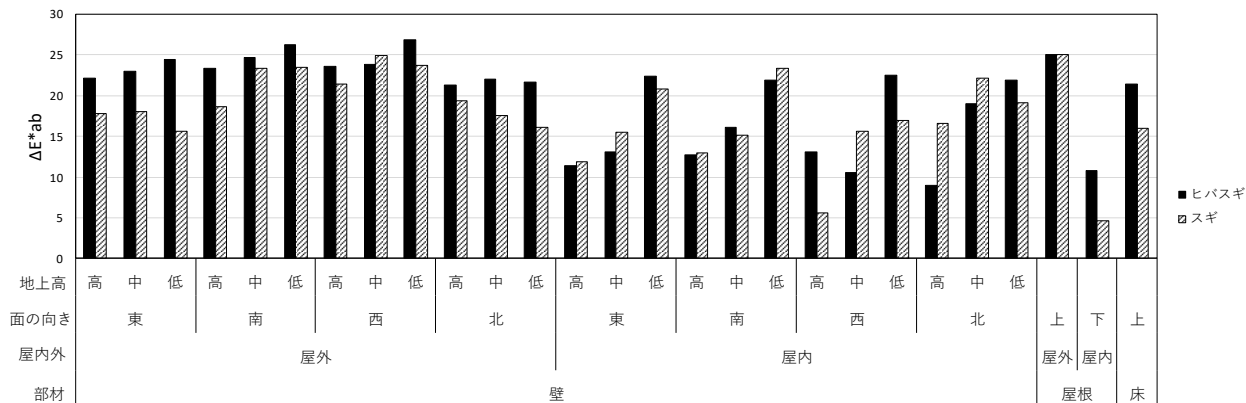
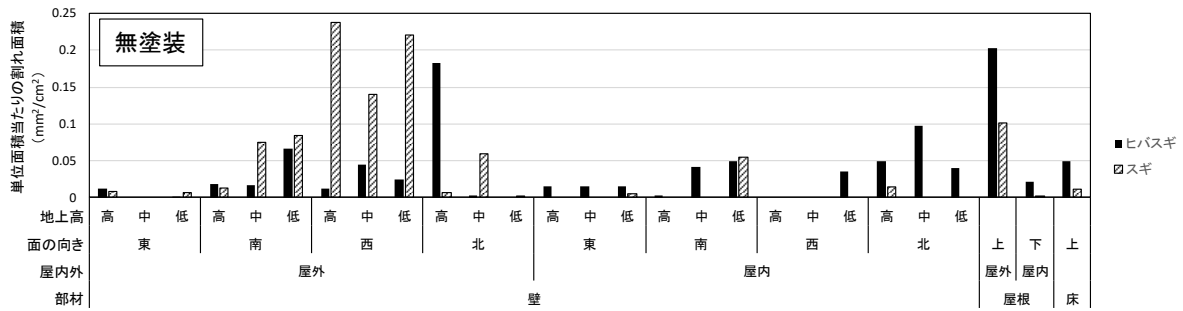
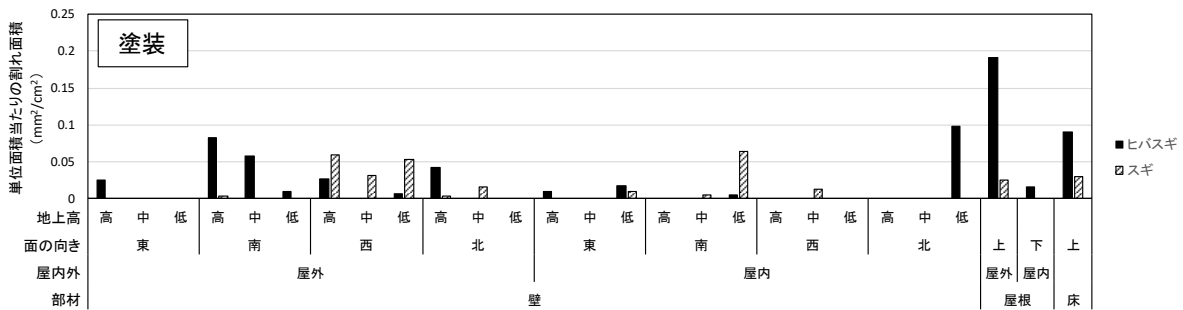


図-2 無塗装部材の色差



図—3 無塗装部材の単位面積当たりの割れ面積



図—4 塗装部材の単位面積当たりの割れ面積

CLT では、屋外露出された壁の西面、屋根上面で割れが多かった。これに対してヒバスギ CLT の壁材は屋外・屋内の北面に多く割れが発生していた。屋根・床材については、スギ CLT と同様に屋根上面で最も割れが多かった。壁材の北面に割れが多かった原因は明らかでないが、日光が当たらず湿気が溜まりやすい環境が要因となったのかも知れない。

図—4 に木材保護塗料を塗布した場合の表面割れを示す。無塗装と比較して、スギ CLT は割れの発生が大幅に抑えられた。一方、ヒバスギ CLT は、部材位置により効果がばらついていて、

3 寸法変化

○曲がり

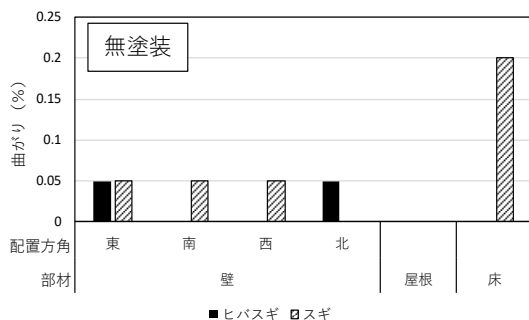
無塗装部材の部材条件ごとの曲がりを図—5 に示す。スギ CLT の床材において最も大きな曲がりが発生していたが、その値は 0.2% であり、実用上問題のない程度であった。壁材はヒバスギ CLT、

スギ CLT とともに曲がりはいくらか微小であり、ほとんど曲がりはないものと考えられた。

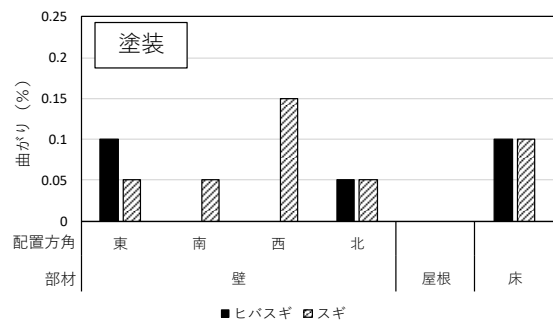
塗装部材の場合も曲がりはいくらか微小であり(図—6)、塗装の効果を検証することはできなかった。

○幅

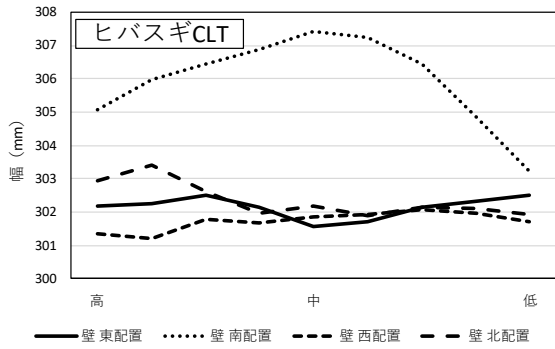
無塗装の壁材について、幅の寸法の高さ(長さ)方向の分布状況を図—7 に示す。暴露開始時の幅 300mm を基準として、いずれの部材も寸法が増加していた。ヒバスギ CLT では、南配置の部材のみ特異的に 3.5~7.5mm (1.2~2.5%) 程度増大していた。その他の部材は 1~3.5mm (0.3~1.2%) 程度の寸法増大であり、大きな差異はなかった。高さ方向の分布では、南配置の部材は中間部を中心に凸形に膨らんでいた。日射量が多い南配置であることから、乾湿繰り返しにより外層ラミナのヒバがねじれようとする作用が強く働く一方で、上下端を金物で固定されていることから中心部付近に変形が現れたことが推測された。その他の方角



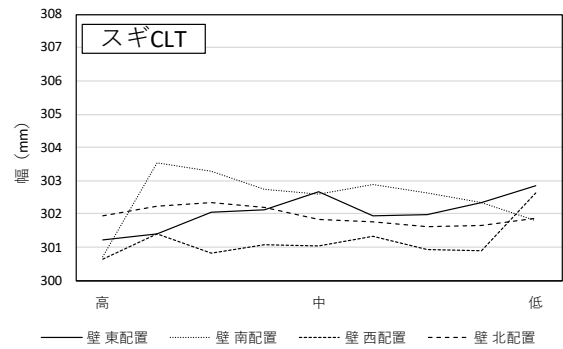
図—5 無塗装部材の曲がり



図—6 塗装部材の曲がり



図一七 無塗装ヒバスギCLTの高さ方向の幅分布



図一八 無塗装スギCLTの高さ方向の幅分布

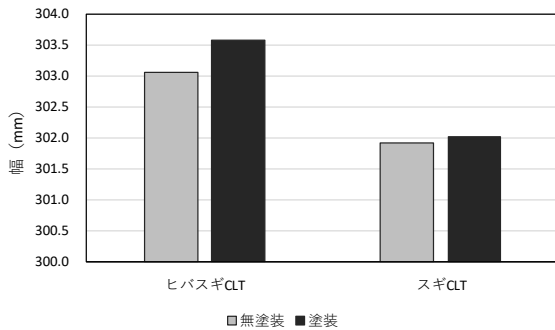
の部材は、高さ方向にはほぼ一定の分布であった。スギCLTについては、いずれの方角の部材も1～3.5mm(0.3～1.2%)程度の寸法増大に収まり、ヒバスギCLTの南配置以外の部材と同程度であった。高さ方向の分布はほぼ一定であった。

図一九ではヒバスギCLTおよびスギCLTの全ての壁材の幅データを平均し、無塗装と塗装で比較

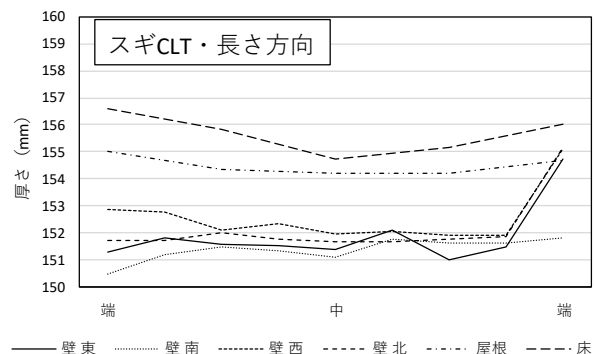
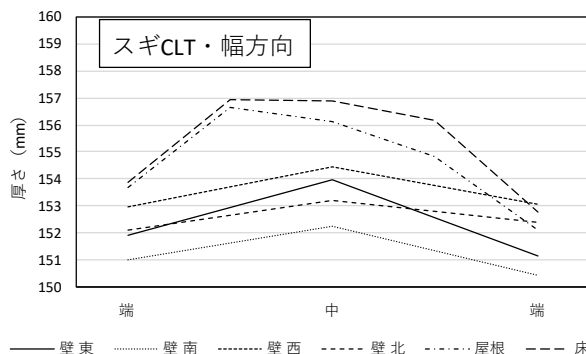
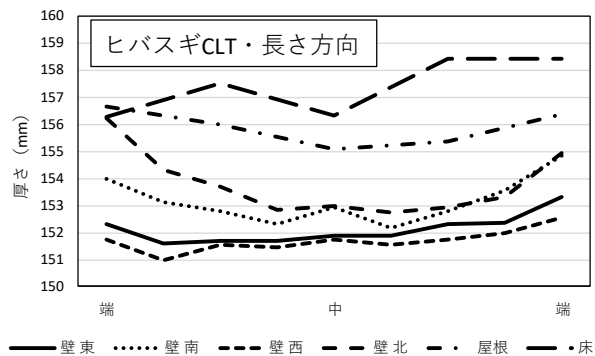
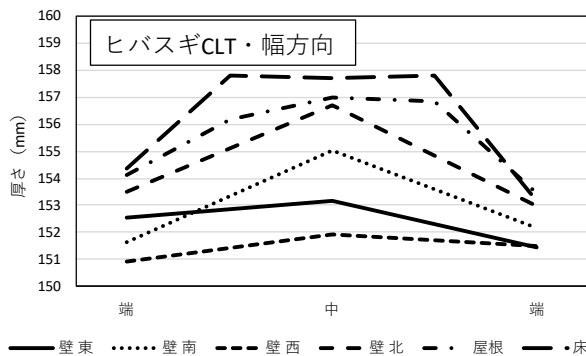
した。いずれのCLTも、塗装された場合の方が幅寸法が微増していた。幅については、塗装による寸法変化の軽減効果は認められなかった。

○厚さ

無塗装のヒバスギCLTおよびスギCLTについて、部材の配置条件ごとに、CLTの厚さの幅方向および長さ方向の分布を図一〇に示す。暴露開始時のCLTの厚さは150mmであったので、全ての部材の厚さは増加していた。ヒバスギCLTは、壁材で1～6.5mm(0.7～4.3%)、屋根・床材で3～8mm(2～5.3%)の増加、スギCLTは、壁材で0.5～5mm(0.3～3.3%)、屋根・床材で2～7mm(1.3～4.7%)の増加であった。ヒバスギCLT、スギCLTともに、床材の厚さが最も大きく膨らみ、屋根材が次いで大きい傾向であった。壁材の配置別の大小関係については、ヒバスギCLTとスギCLTに共



図一九 塗装の有無による壁材幅の比較



図一〇 無塗装のヒバスギCLTおよびスギCLTの厚さ分布(左側:幅方向、右側:長さ方向)

通しておらず、ヒバスギCLTでは北配置が最も大きく、スギCLTでは西配置が最も大きかった。表面割れがヒバスギCLTでは屋外の北面に多く、スギCLTでは屋外の西面に多かった結果と符合しており、厚さの増加と表面割れは、外層ラミナの共通した変形や変質に起因した可能性が考えられる。また、厚さの分布については、ヒバスギCLTとスギCLTで共通して、幅方向の分布は中間部が膨らんだ凸形に、長さ方向の分布は両端が膨らんだ凹形となる傾向があった。試験体CLTの外層ラミナは、木表側が表面に現れるように積層されていた。外層ラミナが暴露により吸湿する際、木表側に盛り上がるように幅反りしようとする。CLTの幅方向で見た端部以外は、内層側の接着によって拘束されているため端部付近で巻き込むような変形が生じ、凸形の断面形状になったと考えられる。

図-11ではヒバスギCLTおよびスギCLTの全部材の厚さデータを平均し、無塗装と塗装で比較した。いずれのCLTも、塗装を施すことで、厚さの寸法変化が軽減されていた。

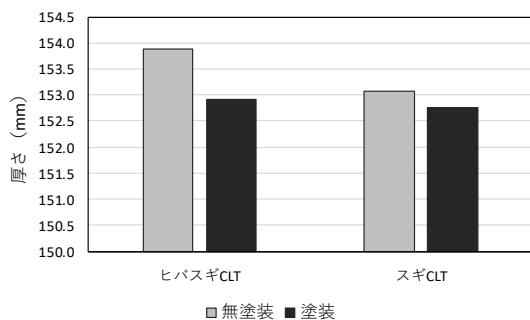


図-11 塗装の有無による部材厚さの比較

4 接着層付近の割れ

無塗装のヒバスギCLTおよびスギCLTについて、部材断面に現れた接着層の接着長さ当たりの層割れ面積を求めた。図-12では、壁材側面（外層ラミナに平行な断面）におけるデータを示している。両CLTはともに、部材の配置方角、地上高の高さ、接着層番による層割れ分布の傾向に法則性は見られなかった。ヒバスギCLTの接着層1と4は、ヒバとスギ間の接着であるが、他のスギ同士の接着層と特段の差異はなかった。スギCLTにおいては、突出して層割れ量の大きい接着層が散見された。これに対しヒバスギCLTは層割れ量は低い水準であった。図-13は、壁材木口面（外層ラミナに垂直な断面）におけるデータである。壁材木口面は、暴露試験体の状態では屋根材・床材に被覆される構造であった。しかし、両CLTの層割れ面積最大

値は200mm²/m前後と、側面と比べて顕著に大きかった。CLT厚さが長さ方向において端部で増大していたのは、この木口面での大きな層割れによる部材端部の開きが大きな要因となっているようである。ヒバスギCLTでは、木口上面の接着層4の層割れが目立ち、木口下面の接着層1もやや大きな水準であった。一方スギCLTでは接着層1または4の層割れは目立たず、木口面においては、ヒバとスギ間の接着層付近はスギ同士の接着層よりも層割れが生じやすい可能性がある。図-14は、屋根・床材の配置条件別、断面別のデータである。図中、各部材の一側面だけは、断面の仕上げ切削がなされておらず測定不能としている。両CLTに共通して、木口面での層割れが顕著であった。ヒバスギCLTでは、接着層1と4がやや層割れが目立ち、スギCLTではその他の層での層割れが目立つことから、屋根・床材においても、ヒバとスギ間の接着層付近が割れやすい傾向が見られた。ただし、全般的な層割れ量は、スギCLTの方がヒバスギCLTより大きい傾向があった。

図-15ではヒバスギCLTおよびスギCLTの全部材の層割れデータを平均し、無塗装と塗装で比較した。いずれのCLTも、塗装を施すことで、層割れが軽減されていた。

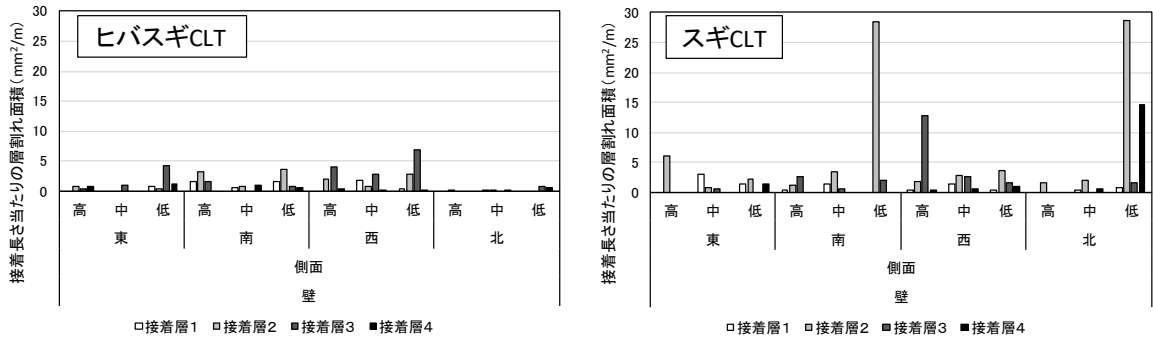
IV まとめ

5層5プライのヒバスギCLTを垂直・水平使い、配置、暴露面方向、塗装の有無等の組合せが対比できる暴露試験体を作成し、およそ2年間の屋外暴露を行った。暴露に伴う材色変化、表面割れ、寸法変化、接着層付近の割れの外観変化をスギCLTと比較した。また外観変化の軽減対策の一つとして、木材保護塗料の効果を検証した。

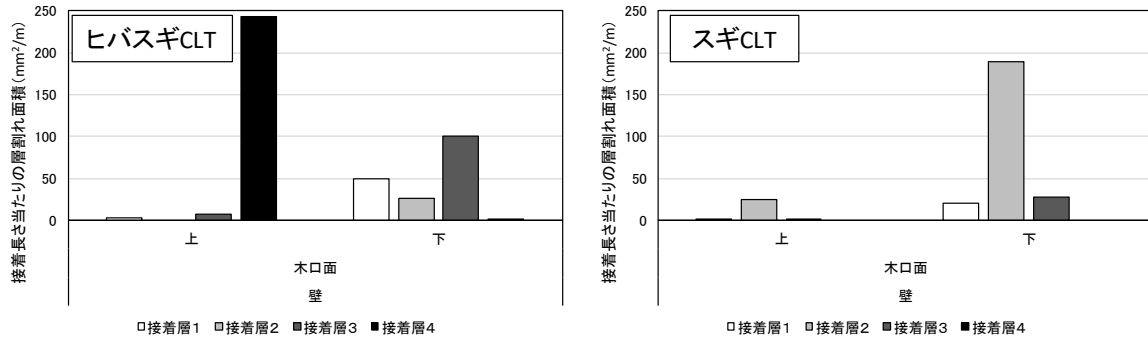
材色は、日光と雨水の影響が大きいほど変色していた。ヒバスギCLT（表面はヒバ）の方がスギCLTよりやや材色変化は大きい傾向があった。

表面割れは、スギCLTでは、日光と雨水の影響を受ける部分での発生が顕著であったが、ヒバスギCLTは、その傾向が明確ではなく、北向き壁面で割れが顕著に発生する例も見られた。

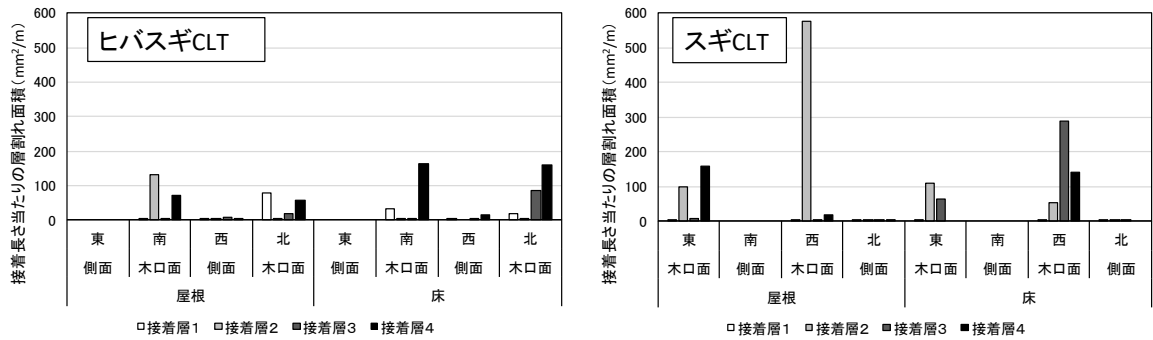
寸法変化については、曲がりや両CLTともに微小であった。壁材の幅は両CLTで基本的に同程度の寸法増大(0.3~1.2%)だったが、ヒバスギCLTは南配置の壁材のみ突出して増大(1.2~2.5%)していた。厚さは床材・屋根材の寸法増大が大き



図—12 無塗装の壁材側面の層割れ量



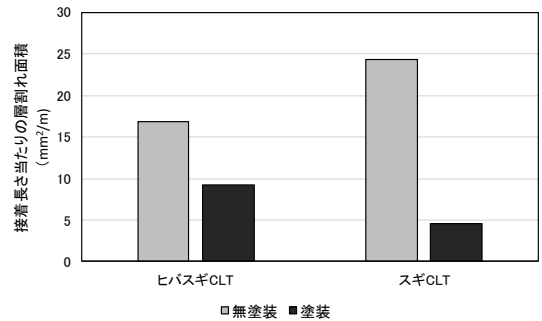
図—13 無塗装の壁材木口面の層割れ量



図—14 無塗装の屋根材・床材の層割れ量

く、ヒバスギ CLT で 2～5.3%、スギ CLT で 1.3～4.7% の増大、壁材では 0.7～4.3%、0.3～3.3% の増大であった。ヒバスギ CLT の方がやや増大量が大きかった。厚さの幅方向の分布は中間部が大きく、長さ方向の分布は端部が大きくなる傾向があった。CLT 断面に現れた接着層付近の割れは、壁材、屋根・床材ともに木口面で多く発生していた。全般的には、ヒバスギ CLT はスギ CLT よりも層割れが少なかったが、ヒバとスギ間の接着層ではスギ同士の接着層よりも多い傾向が見られた。

塗装により、厚さの寸法変化と接着層付近の割れで軽減効果が表れていた。表面割れはスギ CLT では軽減されていたが、ヒバスギ CLT での効果は判然としなかった。曲がりと幅の寸法変化に対する効果は、両 CLT とも見られなかった。



図—15 塗装の有無による層割れ量の比較

引用文献

- (公財) 日本住宅・木材技術センター (2018) CLT を活用した建築物等実証事業の成果—これまでの実績と今後の展望—: p. 97
- 岡野健ほか (2006) 木材科学ハンドブック: p. 289-292