熱処理木材を使った木製外装による建物模型を用いた建物内外の熱負荷抑制効果の評価

EVALUATION OF REDUCTION EFFECT ON THERMAL LOAD INTO INSIDE AND OUTSIDE OF WOODEN CLADDING BUILDING USING HEAT TREATED WOOD BY MODEL STRUCTURE

荘保伸一 — * 1 小淵義照 — * 2
吉田篤正 — * 3 木下進一 — * 4

Shinichi SHOHO — * 1 Yoshiteru KOBUCHI — * 2
Atsumasa YOSHIDA — * 3 Shinichi KINOSHITA — * 4

キーワード：
木製外装, 熱処理木材, 熱負荷, 建物模型

Keywords:
Wooden cladding, Heat treated wood, Thermal load, Model structure

In this study, thermal load suppressant effect to the inside and outside of building covered with heat-treatment wood was evaluated with ten kinds of fabricated model structure with concrete. The surface temperature of the daytime wooden cladding became higher than the concrete surface, and thermal load to the atmosphere grew big. On the other hand, on after the evening when solar radiation became weak, the surface temperature decreased rapidly. The conductive heat flux was smaller than the concrete surface without the cladding, and transfer of heat was suppressed throughout the day.

1. はじめに

アスファルトやコンクリート材料で構成された都市部のヒートアイランド現象の緩和対策として、断熱性に優れ、熱容量が小さい木材でこれらを覆うことにより、日中の日射熱の吸収および夜間の大気への放熱を抑制することが確認されている¹⁾。また外断熱による空調負荷の削減による人工排熱の減少および省エネ効果も期待できる。一方、木材を屋外で使用する際に懸念される腐れや反り、狂いなどについては、200℃以上の熱と水蒸気で処理することにより、寸法安定性、耐朽性を付与する技術が確立されている²⁾。筆者らはこれまでにコンクリートやALCで組立てた建物模型を用い、熱処理木材で被覆したときの建物内外への熱負荷の抑制効果について、高反射塗料や金属サイディングなど他の材料と比較評価をおこなった³⁾、また既存建物を使って水平面および鉛直面を熱処理木材で被覆したときの大気への熱負荷抑制効果についても評価をおこなっている⁴⁾。

本研究では、コンクリート製の建物模型を用い、熱処理木材で被覆したときの熱処理温度の違いによる大気熱負荷への影響および木製外装材の厚さと躯体との隙間空間の違いによる建物内部への熱負荷の影響について評価した。また木製外装で被覆したときの室内空調負荷の削減効果についても評価した。

2. 試験方法

2-1 試験場所の選定

測定は長野市信州新町にある松六コンクリート㈱の敷地内にておこなった。試験地は、昼間全ての時間帯で建物模型に日射が当たる場所を選定した。

2-2 建物模型の概要

建物模型は厚さ 60 mm のプレストレスト・コンクリート製（以下コンクリート）の U 字構を 2 つ組み合わせ、開口部に U 字溝蓋を取り付けて箱型にした。また室内換気のために通気口を 2 箇所設け、それぞれの通気口にファンを取り付けた。模型の寸法は横 300mm、高さ 720mm、奥行 620mm、内容積は約 0.134m³ である。換気風量は約 2.4m³/min、換気回数は約 18 回/min である。建物模型は 10 体作成し、表 1 に示す木製外装材を壁面と屋根に取り付けた。建物模型の外観及び概略図を図 1 に示す。各模型の下部にはコンクリート躯体への伝熱を防ぐため、90mm 角の木材を置き、空間を確保した。

2-3 測定項目および方法

躯体および木製外装材の表面温度測定は T 型熱電対を用い、躯体表面での伝導熱流束測定は熱流計（江藤電気㈱ M55A、寸法：L50mm × W50mm × T0.7mm、感度定数：0.01mV/(W/m²))を用いた。熱流計は接触抵抗を減らすため放熱用シリコングリスを塗布し、躯体表面にアルミテープで固定した。測定位置は No. 0 および No. 1 は屋根と壁の東西南北の各部に熱電対を設置し、熱流計も東西南と屋根の躯体外側表面に設置した。それ以外の模型（No. 2～No. 9）については一部分の測定とし、木製外装材の種類等による表面温度や熱流束の差を比較することを目的として設置した。表面温度と熱流束の記録はデータロガーにて 1 分間隔で行った。気象要素として、全天日射量、赤外放射量、気温、風向・風速および試験地の地面温度を 10 分間隔で測定した。建物模型は互いの影が影響しないように 1.5m ずつ離して東西に 2 列に並べた。測定は 2011 年 9 月 2 日から 9 月 20 日（夏期）、および 2011 年 12 月 12 日から 2012 年 2 月 3 日（冬期）に実施した。また大阪府堺市中区にある大阪府立大学の敷地内

¹⁾ 越井木材工業㈱技術開発室 室長代理
(〒559-0026 大阪市住之江区平林北 1-2-158)

²⁾ 越井木材工業㈱技術開発室

³⁾ 大阪府立大学大学院工学研究科機械工学分野 教授

⁴⁾ 大阪府立大学大学院工学研究科機械工学分野 准教授

¹⁾ Assistant Manager, Technical Development Dept., Koshii & Co., Ltd.

²⁾ Technical Development Dept., Koshii & Co., Ltd.

³⁾ Prof., Dept. of Mechanical Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture Univ.

⁴⁾ Assoc. Prof., Dept. of Mechanical Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture Univ.

において、各木製外装材の日射反射率の測定を2011年9月と2012年1月に行った。測定には一辺1mの正方形の試料を使用した。

表1 各建物模型の木製外装の仕様

No	材料	熱伝導率(W/(m・K))	材厚	空気層(mm)
0	なし			
1	カラマツ 熱処理なし	0.11	12	30
2	カラマツ 220℃熱処理	-	12	0
3	カラマツ 220℃熱処理	-	12	30
4	カラマツ 220℃熱処理	-	12	60
5	カラマツ 220℃熱処理	-	15	30
6	カラマツ 220℃熱処理	-	21	30
7	カラマツ 240℃熱処理	-	12	30
8	スギ 220℃熱処理	0.081	12	30
9	ヒノキ 220℃熱処理	0.098	12	30

※カラマツ220℃及び240℃熱処理材の熱伝導率は測定できていない

図1 各建物模型の外観及び概略図

3. 結果

3-1 気象データ

測定期間のうち日射が一日を通して雲の影響を受けず安定している2011年9月14日と2012年1月9日の気象データを図2に示す。この2日について、各建物模型の表面温度および熱流束の日変化の評価を行う。

図2 測定時の気象データ（2011年9月14日、2012年1月9日）

3-2 木製外装材の有無による影響

建物模型No.0とNo.1について、天井面の厚さ方向の温度分布を図3、図4に示す。なお値はいずれも10分平均値で表示している。9月14日（夏期）の測定結果より、No.1の木製外装材の表面温度は日中No.0のコンクリート表面温度よりも若干高くなっている。日射反射率はカラマツ素材52%の方がコンクリート38%よりも高いが、熱伝導率はコンクリート2.00W/(m・K)に比べ、カラマツ素材0.11W/(m・K)は20分の1と小さいため、日射の吸収に応じてコンクリートより

も表面温度が上がりやすいと考えられる。一方、日射が弱くなる16時以降は木製外装材の表面温度は急激に低下し、気温との差がなくなるのに対し、コンクリート表面では24時頃まで気温との差が残っている。木材はその断熱性から、日中材料内部への蓄熱が少なく夜間の放熱がほとんどないのに対し、コンクリートでは日中蓄えた熱が夜間も放出され続けていることを示している。これらのことは1月9日（冬期）の測定結果でも同様の傾向が見られた。

No.0とNo.1の夏期および冬期の各面の4時間毎の熱流束積算値を図5、図6に示す。ここで、伝導熱流束の正の値は躯体表面の吸熱、負の値は大気への放熱を表している。外装材があるNo.1は夏期、冬期とも躯体コンクリート表面の熱の出入りがNo.0に比べて小さくなっており、1日を通して熱移動が抑制されていることがわかる。

3-3 木製外装材の熱処理温度による影響

熱処理温度の違いによる木製外装材の表面温度と日射反射率の関係を図7に示す。9月14日（夏期）の日射反射率はカラマツ素材>220℃ヒノキ>220℃カラマツ>220℃スギ>240℃カラマツであった。熱処理木材は処理温度が高くなるに従って暗褐色に変化するため、日射反射率が低下し、表面温度が高くなったと考えられる。一方、4か月経過した1月9日（冬期）では、熱処理木材の日射反射率が2~5%低下したのに対し、カラマツ素材は16%と大きく低下した。これは紫外線と雨による木材表面の退色（灰色化）による影響であり、カラマツ素材の色の変化が最も大きかったと考えられる。

3-4 木製外装材と躯体の隙間空間および外装材の厚さによる影響

冬期における木製外装材と躯体の隙間空間の違い（No.3、4）および外装材の厚さの違い（No.3、6、No.5は欠測）による南面の4時間毎の熱流束積算値をそれぞれ図8、図9に示す。隙間空間が増すことにより、また外装材の厚さが増すことにより熱貫流率が小さくなり、断熱性が高まることが考えられるが、いずれも躯体表面の熱流量に大きな差はなかった。なお、No.2の熱流量は被覆のないNo.0よりも小さくなるはずであるが、今回値が大きくなったため、熱流計に不具合があったと考えられる。

3-5 数値解析による熱収支評価

木製外装で被覆したときの室内空調負荷の削減効果を評価するために、設置状態と同様の状況を想定した数値解析を行う。解析モデルを図10に示す。試験体を構成する側壁および屋上面が厚さに対して十分に広いものと仮定し、上面、下面、東西南北面それぞれについて深さ方向に1次元のモデルを適用する。モデルは被覆木材層、空気層およびコンクリート層の3層で構成された6面と試験体内部空間で構成する。考慮する方程式は固体内部においては非定常熱伝導方程式、空気層および試験体内部空間においてはボックスモデルを適用する。水分の蒸発の影響は考慮しない。被覆木材、空気層、コンクリートの寸法（縦、横、厚さ）は設置状態と同じとした。試験体はファンにより換気がされている。測定現場にて側壁下部の吸気口での風速を測定した結果を考慮して、吸気・排気とも5m/sとし、吸気温度は気温、排気温度はボックス内温度とした。境界条件として実測された気象要素のほか太陽位置を日時より計算して与えた。各部材表面・裏面では対流熱伝達ならびに輻射熱伝達を考慮する。気流に接する各構成面の最も外側の表面においてはユルゲスの式を適用する。木製外装材およびコンクリートの密度、比熱、熱伝導率、表面の日射反射率、赤外放射率を表2に示す。

図3 No. 0, No. 1 の天井面の厚さ方向の温度分布 (夏期)

図4 No. 0, No. 1 の天井面の厚さ方向の温度分布 (冬期)

図5 No. 0, No. 1 の各面の熱流束4時間積算値 (夏期)

図6 No. 0, No. 1 の各面の熱流束4時間積算値 (冬期)

図7 正午の木製外装材の表面温度と日射反射率の関係

図8 No. 3, No. 4 の南面の熱流束4時間積算値 (冬期)

図9 No. 3, No. 6 の南面の熱流束4時間積算値 (冬期)

図10 数値解析モデル概要

表 2 木製外装材およびコンクリートの密度，比熱，熱伝導率，日射反射率，赤外放射率

	木製外装材	コンクリート
密度(kg/m ³)	367	2400
比熱(J/(kg K))	1450	1000
熱伝導率(W/(m K))	0.08	2.30
日射反射率	0.36	0.38
赤外放射率	0.95	0.95

3-6 解析結果

夏期と冬期の代表的な測定日として，2011 年 9 月 14 日と 2012 年 1 月 9 日を対象として，建物模型 No.0 と No.8 の冷暖房熱量の数値計算を行った。解析結果を図 11，図 12 示す。

図 11 夏期の冷房熱量（上：外装材なし，下：外装材あり）

図 12 冬期の暖房熱量（上：外装材なし，下：外装材あり）

空調時間は 8 時から 20 時までの 12 時間とし，夏期は 28℃，冬期は 18℃設定とした。木製外装の外断熱効果により，夏期は被覆のないものに比べ，冷房負荷が 64.9%削減した。冬期は朝夕の暖房負荷が軽減されるが，日中の日射熱をさえぎるため，削減率は 4.2%であった。夜間も空調を稼働した場合，暖房負荷の削減効果はより高くなると考えられる。

4. まとめ

熱処理木材を使った木製外装による建物内外の熱負荷抑制効果を確認するため，複数の建物模型を用いて，建物内外への熱負荷の抑制効果を評価した。得られた知見は以下の通りである。

- (1) 木製外装材の表面温度は木材の断熱特性(低熱伝導率)により，日中外装のないコンクリート面よりも高くなるが，熱処理木材を使った場合，熱処理温度が高くなるに従って暗褐色に変化し，日射反射率が低下するため，表面温度はさらに高くなり，大気顕熱負荷が大きくなることが実測から確認された。しかし 4 か月経過すると，熱処理されていない木材は紫外線等の劣化により，日射反射率が大きく低下し，熱処理木材とほぼ同じ値になった。
- (2) 木製外装を施した場合，躯体との隙間空間が増すことにより，また外装材の厚さが増すことにより熱貫流率が小さくなり，断熱性が高まることが考えられるが，実測の結果より，いずれも躯体表面の熱流量に大きな差はみられなかった。
- (3) 木製外装材による空調負荷削減効果について数値解析をおこなった結果，被覆のないものに比べ，夏期は冷房負荷が 64.9%，冬期は暖房負荷が 4.2%削減した。

謝辞

本研究は，平成 23 年度長野県補助事業の森林整備加速化・林業再生事業(地域材利用開発事例調査)により実施されたものである。ご協力いただいた関係各位に謝意を表します。

参考文献

1) 信田聡・田中生・小淵義照・荘保伸一・山口秋生，屋上のウッドデッキ・木製壁パネルの被覆がヒートアイランド抑制に及ぼす影響，日本木材学会大会発表要旨集，No.61，G18-06-1145, 2011. 3.

2) 森田珠生・荘保伸一・山口秋生・今村祐嗣・桃原郁夫，熱処理木材の耐朽性，耐蟻性について，(社)日本木材保存協会第 25 回年次大会研究発表論文集，pp.2～7, 2009. 5.

3) 荘保伸一・小淵義照・吉田篤正・木下進一，木製外装を施した建物模型を用いた建物内外の熱負荷抑制の評価，環境情報科学 学術研究論文集 27，165-170, 2013. 11.

4) 荘保伸一，小淵義照，吉田篤正，木下進一，木製外装を施した建物による大気への熱負荷抑制の効果，日本建築学会技術報告集，Vol.20，No.44，pp.173-176, 2014. 2.

[2014 年 6 月 18 日原稿受理 2014 年 10 月 1 日採用決定]