

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

主論文の要旨

論文題目 木質空間の熱伝達機構に関する研究

氏名 中谷 岳史

論文内容の要旨

本研究では、木質繊維系断熱材の内部微小空間における熱伝達機構と、木質系壁体の屋外－壁体－建築空間領域の熱伝達機構を検討し、木材の有する熱特性を有効に利用する知見を得ることを目的とする。

木質繊維系マットの内部微小空間における熱伝達機構と、木質系壁体の屋外－壁体－建築空間領域の熱伝達機構を検討し、木材の有する熱特性を有効に利用する知見を得ることを目的に、材料や壁体の熱貫流、そして室内温熱環境に関する先行研究と関連づけながら、研究背景と目的、そして研究意義を明確にした。

建築壁体の熱移動において、熱物性や指標などを明確にする為、日射が作用する壁体の熱伝導について式展開を整理した。また熱物性が熱貫流における影響を整理した。

1. 有限微小厚さの壁体の熱収支式から、非定常熱伝導方程式や差分近似を導出した。また各熱物性の定義と単位を明確にした。熱貫流率は、瞬時温度定常仮定が前提条件であることを確認した。
2. 長波長放射の熱授受から放射熱伝達率を導出し、影響要因や設計値導出を明確にした。屋外－壁体－建築空間領域の放射熱授受において、実効放射から夜間放射への式展開における前提条件を明確にした。そして日射が作用する壁体の熱収支から、相当外気温度を導出した。また計測方法と校正方法を示した。
3. 日射が作用する壁面における熱流時間変動に対して、熱伝導率と容積比熱の役割を示した。境界の熱流変動は、主に短波日射が主要な要因であった。熱伝導率は入出力の熱流の大小に影響した。熱伝導率が小さければ、隣接する質点に向けた熱伝導が小さくなり、熱伝導による温度時間変化量が小さくなった。容積比熱が

大きければ表面質点の温度時間変化が緩慢になり、対流熱伝達が大きい状態が継続し、また壁体内部質点の熱伝導による熱移動に時間遅れが生じた。

製材時廃棄物の鉋屑を原料にした木質系マット状断熱材の熱物性を確認する為、熱伝導率と容積比熱を測定した。また原料の鉋屑とケナフの配合比率やマット密度、熱流方向が熱物性値に及ぼす影響を検討した。以下に結果を示す。

1. 全測定条件の平均熱伝導率は $0.069(\pm 0.005) \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ であった。マット密度と熱伝導率は負の相関であった。熱伝導率が最小となったのは、密度 $0.08 \text{ g}/\text{cm}^3$, (Wood shaving : Kenaf of 25% : 70%) の条件であり、 $0.061(\pm 0.002) \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ であった。
2. 断熱マットの原料がプレーナー屑単体もしくはケナフ単体では、マット密度の増減によって熱伝導率が大きく変動した。鉋屑とケナフ繊維を等配合することで、熱伝導率の分散が小さくなり、安定した。熱流方向間(水平, 上向き, 下向き)による熱伝導率の影響は、統計的に確認できなかった。
3. 木質繊維系低密度マットの全測定条件の平均容積比熱は $150(\pm 46) \text{ kJ}/(\text{m}^3\cdot\text{K})$ であった。マット密度と容積比熱は正の相関であった。容積比熱が最大となったのは、マット密度 $0.08 \text{ g}/\text{cm}^3$, (Wood shaving : Kenaf of 70% : 25%) の条件であり、 $229(\pm 55) \text{ kJ}/(\text{m}^3\cdot\text{K})$ であった。配合比について、マット密度と容積比熱の関係を共分散分析で検定した。配合比の影響は確認できなかった。

木質系マット状断熱材を対象に、複合材料の熱伝導率の推定モデルを作成し、熱移動経路を検討した。また実験条件の範囲外の要因を推定し、マットの高密度化による熱伝導率の低減を推定した。さらに熱伝導率の低下を目的に、添加繊維の繊維密度による熱伝導率の低下効果を検討した。以下に結果を示す。

1. 熱伝導率の推定モデルは、Hager モデルを複合材料に適用できるように改良した。
2. 材料密度と配合比から、マット密度変化に伴う繊維層と空気の体積割合の関係を算出した。ケナフと鉋屑の繊維比重が異なる為、マット密度が同一でも鉋屑の配合比が多くなるほど、マット内部の空気の体積割合が増加した。
3. 熱伝導率モデルにより、マット内部の伝熱経路の検討を行った。実験条件内の密度範囲では、マット密度が高くなると、伝導成分による熱伝導率は増加し、放射成分による熱伝導率は低下した。放射成分による熱伝導率の低下が相対的に大きい為、密度増加によりマット全体の熱伝導率は現象した。
4. 実験条件より高密度の条件を推定すると、マットを高密度にすることは放射成分の熱伝導率を低減するのに有効であった。しかしマット密度を $0.10 \text{ g}/\text{cm}^3$ 以上にすると、放射成分による熱伝導率の低下が止まる。また空気の体積割合が減少する為、伝導成分による熱伝導率が増加し、マット全体としては熱伝導率が増加に転じることが予想された。
5. 熱伝導率推定モデルを用いて、鉋屑に混合する繊維の密度がマット全体の熱伝導

率に及ぼす影響を検討した。繊維の密度を高くすると熱伝導率は低下した。スギと同程度の密度(0.40g/cm^3)の繊維を用い、密度を高くすれば、マット全体の熱伝導率は $0.060\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ を下回る可能性が予測できた。

木造住宅の壁体構成が室内温熱環境に及ぼす影響を明らかにするため、同一敷地内に建設された3種類の実験棟の温熱環境について、実測調査に基づいて検討した。各実験棟は同一形状、同一容積であり、壁体の仕様が異なる。Type MW は板土複合壁仕様、Type M は土壁仕様、Type I は断熱壁仕様である。非空調条件の自然室温を計測した。また実験棟の連続空調時のエアコンの消費電力を測定し、壁体構成が省エネルギーに及ぼす影響を検証した。結果を以下に示す。

1. 非空調条件では、月平均室内気温の水準及び外気温より室温が高くなる時間割合は、Type I > Type WM > Type M の順であり、断熱性能の大小関係と一致した。
2. 年間を通じた室温上昇率(室温日較差/外気日較差)を検討した結果、Type M は年間を通じて 100%以下に分布するのに対して、Type I は 100%以上に分布した。Type WM は、Type M と Type I の間の傾向を示した。Type M は断熱性能が低いために室温上昇が抑制され、熱容量が大きいことで室温が平準化したと考えられる。
3. 空気温度の位相遅れを検討した結果、実験棟間で最高気温と最低気温の出現時刻で差が見られた。Type WM が最も位相遅れが大きく、位相遅れには熱容量に加えて、断熱性能が影響することが示された。
4. 室内外温度差と空調用消費電力量は相関関係にあり、室内外温度差が大きくなると消費電力量が増加した。両変数はバイリニアの関係にあり、室内外温度差が約 20°C を超えると消費電力量の増加傾向が大きくなった。
5. 各実験棟の消費電力量と室内外温度差の一日の時間的変動には、建物の熱負荷や熱容量が関係することを示した。

熱容量による貫流熱量低減効果を検討する為、非定常熱伝導方程式による数値解析を行った。夏季の西側壁体を対象とし、相当外気温度と室内気温は第2章の計測データを用いた。終日を通じ、相当外気温度が室内気温より高い。壁体種類と厚さを解析要因とし、日積算室内側貫流熱量を検討した。以下に結果を示す。

1. 壁体の内部温度分布を計算した。夕方の短波日射の低下に伴い、頂点を有する放物線型が出現し、相当外気温度が室内側気温より高い状態でも、外気側表面では室内から外気に向けた逆向きの熱流方向が生じた。外気側熱的境界の再放熱は、夕方から翌日の日出まで継続した。
2. 夕方から夜間にかけて、外気側熱的境界において再放熱が生じた。厚さ 100mm の壁について、材料間で日積算再放熱量を比較した結果、土 > 木材 > 木質繊維マット > グラスウールの順であり、容積比熱の大小関係であった。またグラスウールでは外気側壁体表面の再放熱が殆ど生じなかった。

3. 外気側熱的境界における再放熱量を入力熱量で除した値を再放熱率と定義した。熱的定常仮定では、再放熱率は0%である。板壁厚さ50mmでは再放熱率10%程度であるのに対し、厚さ100mmで35%、厚さ200mmで65%となった。再放熱量は、壁体厚さが強く影響した。
4. 室内側貫流熱量を外気側壁体入力熱量で除した値を熱通過率と定義した。熱的定常仮定では、熱通過率は100%である。板壁厚さ50mmでは熱通過率90%程度であるのに対し、厚さ100mmで70%、厚さ200mmで40%程度となった。再放熱によって、日積算貫流熱量が低減され、厚みの影響が顕著であった。
5. グラスウールを基準とし、日積算室内側貫流熱量の等価熱抵抗を算出した。木材は55%、木質繊維系マットは90%の熱抵抗でグラスウール熱抵抗と等価となった。