



温暖地の基礎断熱住宅における床下暖房システムに関する研究

藤田, 浩司

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2008-03-25

(Date of Publication)

2012-02-16

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲4209

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1004209>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



氏 名 藤田 浩司
博士の専攻分野の名称 博士（工学）
学 位 記 番 号 博い第 501 号
学位授与の要件 学位規則第 5 条第 1 項該当
学位授与の日付 平成 20 年 3 月 25 日

【 学位論文題目 】

温暖地の基礎断熱住宅における床下暖房システムに関する研究

審 査 委 員

主 査 教 授 松下 敬幸
教 授 森山 正和
教 授 藤谷 秀雄
准教授 高田 暁

従来、寒冷地特有の存在とされていた高断熱・高気密住宅が、国の政策および人々の関心を背景に本州以南の温暖地においても徐々に増えてきている。しかし、住宅の健康・快適性や省エネ性、耐久性を高めるためには、住宅の断熱・気密性能を高めるだけでは不十分であり、その地域の気候や生活習慣に適した工法および空調システムが必要である。

従来、温暖地では床断熱工法が多く採用されてきたが、梅雨から夏期に高温高湿な外気が床下に入ると地盤によって冷やされて起こる床下結露の危険性が指摘され、その問題を解決する方法として外周基礎の立ち上がり面で断熱を行い床下を熱・湿氣的に室内側に取り込む基礎断熱工法が採用されることが多くなってきている。

また、温暖地の暖房方法は家全体を暖める全館暖房ではなく、一部の部屋のみを暖める部分暖房が一般的であるが、部分暖房の場合、部屋間の温度差により結露の発生やヒートショックの危険が大きく存在する。暖房の方式としては主に、エアコンやファンヒーターのような対流型の暖房方式と、床暖房のような放射型の暖房方式があるが、放射型の暖房方式は対流型で問題となる気流による不快感や大きな上下温度差を低減させることができる。そこで、放射型の暖房方式で全館暖房を行うことができれば理想的である。床暖房を全室に敷設することも可能であるが、基礎断熱住宅の床下空間全体を暖めると1階床全体を暖めることになり、導入が比較的容易である。これを「床下暖房」と呼ぶ。大きな温度差を原因とする各危険性を低減するために温度が極端に低くなる場所や時間をつくらないための暖房（ベース暖房）としての利用を考えたとき、この床下暖房は適した方法であると考えられる。

床下暖房の熱源としては様々なものが考えられるが、ヒートポンプエアコンによる温風を使用すると、投入エネルギーの数倍の出力を期待することができる。さらに深夜電力を利用して蓄熱型の暖房とすると、電力利用の平準化の効果や、ランニングコストの低減を期待することができる。床下暖房の場合、床下は非居住空間であるので、その床下自体を蓄熱体の設置場所とすることができる。

本研究は、温暖地の基礎断熱住宅における床下暖房について、その温熱環境や床下と地盤および居室間の熱移動特性を明らかにし、また蓄熱型の床下暖房を行う場合の蓄熱・放熱特性の把握、および蓄熱材の適した使用量などの決定方法を提案することを目的として検討を行った。

第1章では、全館暖房を行うことが一般的ではない温暖地において、室温温度差による諸問題の危険性を低減し、放射型の暖房環境が得られる暖房方法として、床下暖房が有用である可能性について言及した。また、床下暖房を行う前提とする基礎断熱住宅の温湿度特性に関する研究のレビューを通して全館暖房の必要性を確認し、床暖房や蓄熱を利用した暖房方法に関する研究のレビューを行った。さらに、対流熱伝達率に関する研究のレビューを行い、床下暖房時の土間表面および床裏の対流熱伝達率に適用できるデータが十分

でないことを示した。

第2章では、実大実験棟において床下暖房を行い、居室および床下の温度環境と、床下から床、土間および外周基礎への熱流の測定を行い、床下暖房時の基本的な熱挙動の把握を行った。その結果、床下暖房時の居室は放射型の暖房環境となっていることが確認され、床下から土間への熱流は、エアコン吹出直近はやや大きくなるが、その他の部分では床および土間への熱流のおよそ20%程度であることがわかった。また、床下温度分布の制御はファン等による気流制御で可能であることが確認され、エアコンの能力を十分に活用するには気流制御やエアコンの吸込部分と吹出部分を適切に離すことによりショートサーキットを抑制する必要があることが確認された。

第3章では、床下暖房の検討を行う際に重要となる土間表面および床裏の対流熱伝達率について検討を行った。床下空間を模擬した風洞実験を行い、床下暖房時の床下空間のように限られた高さの空間を温風が乱流かつ共存対流の状態で行われる場合の上向きおよび下向き熱流の対流熱伝達率の検討を行った結果、上面の上向き熱流の対流熱伝達率は6~10W/m²Kで、下面の下向き熱流の対流熱伝達率は1~4W/m²Kであることがわかった。上向き熱流の対流熱伝達率が下向き熱流の場合の2.5~5倍となっているのは自然対流の影響であると考えられる。

第4章では、顕熱蓄熱材を用いた蓄熱型の床下暖房について、その温度環境と蓄熱体の蓄熱・放熱挙動の把握、および第6章で構築する数値計算モデルの実測再現精度の確認のためのデータ取得を目的として実大実験を行った。顕熱蓄熱材として容積比熱の大きい蓄熱レンガを使用し送風機による強制放熱を行った場合と、容積比熱の小さいコンクリートブロックを使用し強制放熱を行わなかった場合それぞれについて、蓄熱・放熱量を推定し、各部温度挙動の違いについて検討を行った。その結果、前者の蓄熱・放熱量は後者の約3倍となり、居室および床表面の温度変化幅が小さくなった。居室および床表面の温度の挙動は、蓄熱・放熱量の違いの影響を受け、それらを大きくすることで居室および床表面の温度変化を小さくすることができることが確認された。

第5章では、潜熱蓄熱材を用いた蓄熱型の床下暖房について、その温度環境と蓄熱体の蓄熱・放熱挙動の把握、および第6章で構築する数値計算モデルの実測再現精度の確認のためのデータ取得を目的として実大実験を行った。その結果、潜熱蓄熱材が相変変化温度付近で推移する場合には、変化の小さい安定した居室・床表面温度となることが確認された。

第6章では、任意の外気温度条件や建物条件、蓄熱材の熱性能や使用量において検討を行えるようにするため、建物および蓄熱システム全体を数値的にモデル化した。数値計算法としては前進型有限差分法を用いた。居室、床下の温度はそれぞれ1質点に代表させ、居室と外気間の熱移動は外壁の熱貫流と換気を考えた。床および地盤内部の温度は垂直方向の1次元非定常熱伝導を考えた。床裏および土間表面の対流熱伝達率は、第3章の検討

(氏名： 藤田 浩司 NO. 3)

結果よりそれぞれ $10\text{W/m}^2\text{K}$ 、 $3\text{W/m}^2\text{K}$ とした。蓄熱体内の空気層および居室、床下の温度の計算方法は、定圧条件としてそれぞれのエネルギー収支から流出流量を計算し、質量保存から温度を計算する方法とした。蓄熱体内の蓄熱材温度については、空気層の空気流れに平行な方向と垂直方向の2次元非定常熱伝導を考えた。潜熱蓄熱材の場合には、1つの相変化温度を考え、その温度にあるときは一定温度のまま融解熱量分を蓄熱もしくは放熱するモデルとした。このように構築した数値計算モデルに、第4章および第5章で示した顕熱蓄熱材および潜熱蓄熱材を用いた実験の条件を与えて計算を行った結果、実験結果と数値計算結果で多少の違いはあるが全体的な熱挙動は概ね再現されており、外気条件や建物条件を変えて蓄熱型床下暖房の温熱環境や蓄熱・放熱挙動の検討を行うには十分な精度を持っているとみなされた。

第7章では、第4章および第5章の蓄熱型の実験より確認された「居室および床表面の温度挙動はエアコンの発熱量や蓄熱体の蓄熱・放熱量、潜熱蓄熱材の相変化温度の影響を受ける」という事をふまえ、蓄熱時および放熱時それぞれにおける居室平均温度を概ね設定した温度とするために必要なエアコン暖房能力や蓄熱・放熱量を外気温度条件や建物の断熱性能に応じて決定する方法を示した。また、そのために必要な蓄熱材の使用量や潜熱蓄熱型の場合の適した相変化温度の選定方法について示した。これらは蓄熱時および放熱時それぞれにおける定常熱収支に基づいて示し、その妥当性について前章で構築した非定常の数値計算モデルを用いて確認した。さらに、顕熱蓄熱型と潜熱蓄熱型の比較を行い、同じ温度環境をつくるのに必要な蓄熱材体積は潜熱蓄熱型の方が小さくなるが、適切な相変化温度を選ばなかった場合にはその温度変化は大きくなることを示した。

第8章では、これらのまとめを述べた。

氏名	藤田 浩司		
論文題目	温暖地の基礎断熱住宅における床下暖房システムに関する研究		
審査委員	区分	職名	氏名
	主査	教授	松下 敬幸
	副査	教授	森山 正和
	副査	教授	藤谷 秀雄
	副査	准教授	高田 暁
副査			
要旨			
<p>従来、温暖地では床断熱工法が多く採用されてきたが、梅雨から夏期に高温高湿な外気が床下に進入し地盤によって冷やされて起こる床下結露の危険性が指摘され、その問題を解決する方法として外周基礎の立ち上がり面で断熱を行って床下を熱・湿氣的に室内側に取り込む基礎断熱工法が採用されることが多くなってきている。また、温暖地の暖房方法は家全体を暖める全館暖房ではなく、一部の部屋のみを暖める部分暖房が一般的であるが、部分暖房の場合、部屋間の温度差により結露の発生やヒートショックの危険が大きく存在する。1階の床全体に極端な低温部をつくらないという考え方を実現する方法として床下を暖房する方法があり、これと基礎断熱工法とを組合せたものを本研究は対象としている。</p> <p>本研究は、温暖地の基礎断熱住宅における床下暖房について、その温熱環境や床下と地盤および居室間の熱移動特性を明らかにし、また深夜電力を利用した蓄熱を行うなどの蓄熱型の床下暖房における蓄熱・放熱特性の把握、および蓄熱材の適した使用量などの決定方法を提案することを目的としている。</p> <p>第1章では、温暖地における床下暖房の有用性について述べるとともに、床下暖房の前提となる基礎断熱住宅の温湿度性状及び暖房方法に関する研究のレビューを行っている。</p> <p>第2章では、実大実験棟によるエアコンを用いた床下暖房の実測をもとに、床下暖房時の基本的な熱挙動の把握を行っている。実験結果から、床下暖房時の居室は放射型の暖房環境となっていること、床下から土間への損失熱流が約20%程度あることなどを確認している。</p> <p>第3章では、床下暖房の検討を行う際に重要となる土間表面および床裏の対流熱伝達率について検討を行っている。床下を模擬した風洞実験を行った結果、上面の上向き熱流の対流熱伝達率は $6\sim 10\text{W/m}^2\text{K}$、下面の下向き熱流の対流熱伝達率は $1\sim 4\text{W/m}^2\text{K}$ であることを示している。</p> <p>第4章では、実大実験棟における「顕熱」蓄熱材を用いた蓄熱型の床下暖房の実験を行っている。顕熱蓄熱材として容積比熱の大きい蓄熱レンガと容積比熱の小さいコンクリートブロックを使用した比較を行い、居室および床表面の温度の挙動は、蓄熱・放熱量の違いの影響を受け、それらを大きくすることで居室および床表面の温度を変化の小さい安定した温度にすることができることを確認している。</p> <p>第5章では、実大実験棟における「潜熱」蓄熱材を用いた蓄熱型の床下暖房の実験を行っている。その結果、潜熱蓄熱材が相変化温度付近で推移する場合には、変化の小さい安定した居室・床表面温度となることを確認している。</p>			

氏名

藤田 浩司

第6章では、任意の外気温度条件や建物条件、蓄熱材の熱性能や使用量に関する床下暖房システム設計を行えるようにすることを目的として、建物および蓄熱システム全体を数値モデル化する方法を示している。居室、床下の空間温度はそれぞれ1質点とし、外壁は熱貫流として、床面及び地面は前進型有限差分法を用いて解く方法としている。なお、土間表面および床裏の対流熱伝達率は第3章の結果を用いている。蓄熱体内の蓄熱材温度については、空気層の空気流れに平行な方向と垂直方向の2次元非定常熱伝導の取り扱いとしている。潜熱蓄熱材の場合には、1つの相変化温度を考え、その温度で一定温度のまま融解熱量分を蓄熱または放熱するモデルとしている。第4章および第5章で示した顕熱蓄熱材および潜熱蓄熱材を用いた実験の条件に対応した数値計算モデルによる計算を行った結果、実験結果の全体的な熱挙動は概ね再現できていることを確認している。

第7章では、床下暖房のシステム設計法について述べている。エアコンの暖房能力の決定方法、顕熱蓄熱材における発熱量に対する蓄熱量の割合と蓄熱材体積との関係を用いた顕熱蓄熱材の使用体積を決定する方法、潜熱蓄熱材における蓄熱材の相変化温度と使用量を定常熱収支から決定する方法などを示し、その妥当性について前章で構築した数値計算モデルを用いて確認している。

第8章では、これらのまとめを述べている。

以上のように、本研究は温暖地の基礎断熱住宅における床下暖房に関して、実大実験棟による床下暖房時の熱的な挙動性状把握の実測と風洞実験による対流熱伝達率の測定を行い、顕熱蓄熱材及び潜熱蓄熱材を床下暖房に使用した場合の特性を明確にするとともに数値モデルを構築して床下暖房システム設計の方法を提案し、実測との比較によってその妥当性を検証しており、床下暖房に関する研究として価値ある集積と認める。よって学位申請者の藤田浩司は、博士（工学）の学位を得る資格があると認める。