

学位論文題名

基礎を断熱した床下空間の熱湿気性状に関する研究

学位論文内容の要旨

住宅の高断熱高気密化は地球環境問題へも直結する今日的な課題であるが、寒冷地から温暖地まで多様な気候帯にある我が国は、床下周りの断熱化に今なお多くの未解決の課題を抱えている。その理由は、床下空間が上階居室の温湿度環境から多大な影響を受けていることや、地盤面に接し、流入外気の影響も受け易く、一般居室と熱湿気性状が大きく異なっていることによる。基礎周りを如何に気密化しても、外気や上階居室との室間換気量の低減には限界があり、床下空間の温湿度環境は床周りの隙間分布とその構成材料の吸放湿性能に支配されている。本研究の目的は、発展途上の住宅床・基礎断熱手法のうち基礎断熱工法に焦点を絞り、それを採用した床下空間の湿度環境形成の実態とその要因を明らかにして、断熱気密住宅の温湿度環境の改善、長寿命化の一助にすることにある。

本論文は、研究の背景と目的に関わる第1章、温暖地の基礎断熱床下空間の実測を整理した第2章、床下空間の熱湿気性状に関与する空気移動を論じた第3章、吸放湿材の物性同定手法に触れた第4章、基礎断熱床下空間の熱湿気性状解析手法を検討した第5章、それらを受けて基礎断熱床下空間の環境形成要因を探った第6章、最後に全体のまとめと今後の課題に言及した7章、から構成されている。

第1章では、伝統的な住宅技術と、その変化をもたらす社会状況を背景とした断熱基準との整合性、特に、環境、計画、構造、材料などとの総合化に関わる課題や、湿気を対象として基礎断熱工法に関わる既往の研究について取りまとめ、本論文の背景、位置付けと研究の目的を論じている。

第2章では、温暖地に建設された基礎断熱住宅の床下空間の温湿度環境を実測し、北海道で普及・発展してきた基礎断熱工法が、温暖地でそのまま適用し得ることを確認した。例えば、温暖地と北海道の気候の大きな違いは、降水量が多く、気温が上昇しない梅雨時期と、その後にくる夏期の高温多湿にあるが、床下を外気に開放して湿度への対応を図っている床断熱住宅や床部分に断熱のない住宅に比べ、外気に対して熱的に閉じている基礎断熱工法は上階居室の温湿度環境が床下空間の高湿化を防止し、長寿命化に好影響を与えていることを明らかにした。また、竣工初年度は未乾燥コンクリート等からの発湿により床下空間の混合比が高めに推移する基本的な特性を明らかにし、その高湿状況も越冬後1年でほぼ解消すること、また、冬期は断熱工法の如何に関わらず、地盤防湿処理を行えば高湿化しないことを明らかにした。

第3章では、床下空間の外気流入量の決め手となる基礎と土台間の隙間量、上階居室と

床下との界床隙間量および居住空間部分の外皮隙間を測定する手法を提示し、6軒のプラットフォーム床工法住宅の実測から、基礎-土台隙間量が住宅全体の外皮隙間量の20～60%に相当することや床面の隙間量が1階部分の床面積基準で $1.3\sim 3.2\text{cm}^2/\text{m}^2$ になること示した。また、間仕切壁先行床を採用した軸組工法は現場測定が難しいので、実際と同条件で実物大模型を作成して通気特性を測定し、特性値を求めると共に、トレーサーガス法による床下周りの空気移動量を測定し、室内と外気との間で生じている空気移動の実態を明らかにした。

第4章では、建築材料の実用的な湿気物性同定について論じている。床下空間の熱湿気性状の把握およびその改善には、空間構成材料の物性同定が欠かせない。1次元半無限体に基づく拡散方程式を用い、吸放湿材の表面湿流積分値を指数関数で近似して平衡重量を予測し、平衡重量約97%（約1/3の平衡含湿到達時間で随時湿度励振設定を切り替えることで大幅な時間短縮が可能）で同定する実用的な新測定法を提案した。例えば、水蒸気拡散領域における熱水分同時移動方程式を基本にして湿気伝導率をパラメータ推定で求め、40～55%RHでは線形系の扱い（重量応答変化から含水率変化率 κ 、 ν を求める手法）とし、平衡含水率曲線の微分係数の変化が大きくなる60～75%RH以上の場合は非線型系の扱い（吸湿過程で κ 、 ν を変化させる手法）とする考え方が、吸湿初期の重量応答をより良くトレースできることを明らかにした。

第5章では、基礎断熱床下空間の温湿度変動の数値解析用プログラムの開発を行い、温暖地における基礎断熱住宅の温湿度実測結果を用いて解析手法の妥当性を検討し、開発プログラムが十分に適用可能であることを示した。例えば、基礎断熱床下空間に対してハイグロスコピック領域の熱水分同時移動理論を適用して断熱壁体の単位応答を算出したり、断熱壁体に見出せる断熱材以外の部分の温度勾配が小さくなる場合の熱・湿気単位応答の性状変化を検討して、逐次積分法に基づいた多数室の吸放湿と空気移動を連成した動的解析手法を開発した。

第6章では、基礎断熱床下空間の温湿度環境が、躯体の隙間要因に大きく影響されることを示した。例えば、床下が高湿化する夏期にどのような隙間や室内温度条件が高湿化の危険性を招来させるのかを定量的に把握し、長寿命化に向けて検討を加えた。気密性能が向上すると上階居室の湿気の影響を受けるので、床下空間の温湿度環境の保持には上階居室の湿度環境調整が重要になること、最も高湿化する事例を対象に現実的対応の一つとして吸放湿材料を利用した熱湿気性状の改善を検討し、その効果は外側断熱・断湿条件の場合、部位別の違いよりも界床を除く吸放湿材の表面積と材厚に大きく依存することを明らかにした。

第7章では、総括として各章を取りまとめると共に本研究の成果と今後の課題に言及している。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 繪 内 正 道

副 査 教 授 窪 田 英 樹

副 査 教 授 持 田 徹

副 査 助 教 授 羽 山 広 文

学 位 論 文 題 名

基礎を断熱した床下空間の熱湿気性状に関する研究

住宅の高断熱高気密化は省エネルギーに直結する今日的な課題であるが、多様な気候帯にある我が国は、床下周りの断熱化に今なお未解決の課題を抱えている。その理由は、1階を木造床とする床下空間が多熱容量の地盤面に接し、流入外気量も多く、上階居室と熱湿気性状が大きく異なっているからである。例え、基礎周りの気密化に努力しても、外気や上階居室との間の換気量の低減は難しく、床下空間の熱湿気性状は床周辺の隙間分布と構成材の吸放湿性能の影響を受けざるを得ない。本研究の目的は、基礎断熱工法を採用した床下空間の湿度環境形成の実態とその要因を明らかにして、断熱気密住宅の温湿度環境の改善や断熱機密住宅の長寿命化に向けた礎とすることにある。

第1章では、伝統的な住宅技術と断熱設計基準との整合性、特に、環境、計画、構造、材料などとの総合化に関わる課題や、湿気を対象として基礎断熱工法に関わる既往の研究について取りまとめ、本論文の背景や位置付けと研究の目的を論じている。

第2章では、温暖地に建設された基礎断熱住宅の床下空間の温湿度環境を実測し、床下を外気に開放して湿度への対応を図っている床断熱住宅や床部分に断熱のない住宅に比べ、外気に対して熱的に閉じている基礎断熱工法採用住宅では、上階居室の温湿度環境が床下空間の高湿化を防止し、長寿命化に好影響を与え得ることを確認した。

第3章では、床下空間の外気流入量を決定する基礎と土台間の隙間量、上階居室と床下との界床隙間量および居住空間部分の外皮隙間を測定する手法を提示し、プラットフォーム床工法住宅の実測から、基礎と土台間の隙間量が住宅全体の外皮隙間量の20～60%に相当することや床面の隙間量が1階部分の床面積当りで $1.3\sim 3.2\text{cm}^2/\text{m}^2$ になること示した。また、実物大模型を作成して通気特性を把握すると共にトレーサースガス法を用いて床下周りの空気移動量を測定し、室内と外気との間で生じている空気移動の実態を明らかにした。

第4章では、1次元半無限体を仮想した拡散方程式を用い、吸放湿材の表面湿流積分値を指数関数で近似して平衡重量を予測し、平衡重量約97%（約1/3の平衡含湿到達時間で随時湿度励振設定を切り替えることで大幅な時間短縮が可能）で同定する実用的な新測定法を

提案して、相対湿度 40～55%RH では線形系の扱いとし、平衡含水率曲線の微分係数の変化が大きくなる 60～75%RH 以上の場合には、非線型系の扱いとする想定が、吸湿初期の重量応答をより良く近似できることを明らかにした。

第 5 章では、基礎断熱床下空間に対してハイグロスコピック領域の熱水分同時移動理論を適用して断熱壁体の単位応答を算出し、断熱壁体に見出せる断熱材以外の部分の温度勾配が小さくなる場合の熱・湿気単位応答の性状変化を検討して、逐次積分法に基づいた多数室の吸放湿と空気移動を連成した動的解析手法を開発し、その有用性を明らかにした。

第 6 章では、基礎断熱床下空間の温湿度環境が、躯体の隙間要因に大きく影響されることを示し、床下が高湿化する夏期にどのような隙間や室内温度条件が高湿化の危険性を招来させるのかを定量的に把握し、長寿命化に向けて検討を加えた。例えば、気密性能が向上すると上階居室の湿気の影響を受けるので、床下空間の温湿度環境の保持には上階居室の湿度環境調整が重要になること、最も高湿化する事例を対象に現実的対応の一つとして吸放湿材料を利用した熱湿気性状の改善を検討し、その効果は外側断熱・断湿条件の場合、部位別の違いよりも界床を除く吸放湿材の表面積と材厚に大きく依存することを明らかにした。

第7章では、総括として各章を取りまとめると共に本研究の成果と今後の課題に言及している。

これを要するに、著者は、住宅の更なる高断熱高気密化に向けた建築計画と建築環境計画の整合性とその確立のために、建築材料の湿気物性同定、床下空間の空気流動測定や温湿度環境のシミュレーション方法を開発・改良するに必要な新知見を得たものであり、建築材料・施工学及び建築環境計画学の進展に寄与するところ大である。

よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。