寒冷地における基礎断熱した床下空間の温湿度環境特性

TEMPERATURE AND HUMIDITY VARIATION IN CRAWL SPACE INSULATED AT FOUNDATION WALL

福島 明*, 入江雄司**
Akira FUKUSHIMA and Yuji IRIE

The project was focused on houses in cold regions with good insulation. The temperature and humidity of crawl spaces of two houses, which have well-insulated floor and foundation wall insulation, were measured to identify their basic characteristics. Then influences of thermal condition of a crawl space on room temperature, prevention of high humidity in summer were discussed. As a result, the crawl space built with foundation wall insulation showed the highest efficiency in keeping the space dry. It also improves room environment, such as, temperature in summer.

Keywords: crawl-space, foundation-wall-insulation, temperature, humidity,
床下空間, 基礎断熱, 温度, 湿度,

1. はじめに

日本の伝統的な住宅の床下は、徹底した外への開放によって構造体の耐久性を保ちながら、開放系住宅の熱や湿気に対する貴重な緩衝空間としての役割を担ってきた。しかし、寒冷地の床下空間は、寒さへの対応からコンクリートの布基礎の普及と床の断熱、気密性の向上によって、通風性が損なわれ、熱的にも湿気的にも外とも内とも言えない環境へと変化している。寒冷地でのこうした床下環境の変化は、冬期の水道凍結等寒冷地特有の障害を残したまま、夏期の結露や腐朽など新たな問題を生じる原因となる。北海道においては地盤防湿の徹底によって極端な高湿化は避けられるようになっているものの、長期的な耐用性を考えた時、床組の高湿化やカビ腐朽菌の発生などの可能性は少なくない。

断熱住宅における床下環境を改善し、障害の発生をほぼ完全に防止する方法の1つが基礎断熱である。断熱を床から基礎に移すことにより、床下を住宅の断熱の内側として熱的に室内に取り込み、積極的に活用してゆくことで、防腐剤に頼ることなく高い耐久性を実現できることが可能となり、寒地における緩衝空間として、床下空間に新たな役割や機能が生まれることが期待される。

床下環境に関する研究は、既存の外へ開放した床下に

関して、いくつもの報告がなされ、例えば、宮田¹⁾は実験住宅における詳細な調査から、初めて床下環境の熱湿気性状の一般化を試みている。また、基礎断熱で室内へ開放した床下に関しては、荒谷²⁾が実測とシミュレーションにより温度環境に関する検討を行っており、耐久性の向上と夏季の環境改善の可能性を示している。しかし、断熱性・気密性に優れた住宅における湿度環境を含めた環境特性については、十分に明らかにされているとは言えない。

本報告では、基礎断熱した床下空間を寒冷地の断熱性・気密性に優れた住宅で積極的に利用してゆくことを目的に、気密性・断熱性に優れた床断熱と基礎断熱の既存住宅の床下環境を長期的に測定し、その基礎的な特性を明らかにした。また、床下を熱的に室内にすることが、室内環境に及ぼす影響と、夏期の床下空間の防露性についても検討した。

2. 実測の概要

2.1 実測住宅

測定対象としたのは、北海道札幌市に建設された床断熱と基礎断熱の断熱気密住宅2棟である。各住宅の基礎伏図と床周り詳細図を図1に示す。基礎断熱のS住宅は

* 北海道立寒地住宅都市研究所 工修

** 北海道立寒地住宅都市研究所

Hokkaido Prefectural Cold Region Housing and Urban Research
Institute, M. Eng.
Hokkaido Prefectural Cold Region Housing and Urban Research
Institute

1988年建設の在来木造住宅である。基礎の床下側に押出発泡ポリスチレン 50 mmを打ち込み床断熱はしていない。相当隙間面積は、約 $3 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ である。床下換気口は断熱材を詰め込み、年間を通じて密閉している。また、床断熱のM住宅は、1991年建設のツーバイフォー工法の住宅である。床は 125 mmの高性能グラスウールで、床下換気口は $10 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$ の換気口が、9ヶ所設けられ、厳寒期の1月から3月まで閉鎖した他は開放している。相当隙間面積は約 $1 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ と高い気密性を有している。地盤面の防湿処理は、両住宅共に厚さ 0.1 mmのポリエチレンシートを敷込み、S住宅（基礎断熱）では火山灰、M住宅（床断熱）では、乾燥砂 100 mmで押さえている。両住宅とも温水セントラルヒーティングで、断熱仕様は、ほぼ新省エネルギー基準を満足している。

2.2 測定の概要

測定期間は、1993年8月から1994年8月までの1年間で、1994年夏は記録的な暑さであった。温湿度の連続測定の位置は、両住宅共に北側の床下点検口直下の床下と、居間の床上 1.2m である。また、夏季の床下周囲温度の性状を把握するため 1994年8月に、床裏および1階床表面温度など、基礎伏図中に示した位置で測定を行

った。

温湿度の測定には、サーミスタ温度センサーと電気抵抗式の湿度センサーによるS社製の温湿度測定器を用い、測定の前後と中間に、分流式精密湿度発生装置により校正した。その他の温度は、T型熱電対により測定した。

3. 測定結果

3.1 年間の温湿度変動

図2は、床下空間と室内の日平均温度および絶対湿度の旬平均値の年間変動である。床断熱住宅の床下は、冬期間、床下換気口を閉鎖し連続全屋暖房をしているため、冬期間外気より温度が高く推移するが、暖房が終わり換気口が開放される4月下旬から外気と温度が逆転し、夏期にも温度上昇は少ない。記録的な暑さだった1994年夏には 23°C まで上昇するが、1993年には 20°C までしか上昇していない。厚い床断熱によって室内から床下への熱移動が少なく床下の温度上昇が遅れるためである。これに対して、基礎断熱の床下は、年間を通じて安定した温度で推移し、外気温度より低くなるのは、盛夏のごく短い期間に限られる。

次に絶対湿度は、両住宅の床下とも夏期のわずかな期間を除いて外気より高い。床断熱住宅では、換気口を閉鎖した冬期間に外気より高い絶対湿度を示すが、換気口を開放した期間には、ほぼ外気に等しく、室内や地盤からの水蒸気による影響は少ない。また、基礎断熱住宅では、床に断熱・防湿が施されておらず、床下空間は室内へ開放された条件であるが、絶対湿度は室内より低く保たれており、床下の乾燥に優位な特性を示している。盛夏のわずかな期間であるが、いずれの住宅でも床下の絶対湿度が外気より低く経過し、この時期の床下換気が床下への水分供給に働くことがわかる。これらの湿度環境に関わる特性は、床下の吸放湿特性や、住宅内の空気の流れと関わっているものと考えられ、湿度環境の形成のメカニズムの解明については、今後の課題である。

図3は、年間の日平均相対湿度を低い順から並べて示したものである。基礎断熱住宅では、最高75%で年間のほとんどの期間が60%を下回る。これに対して、床断熱住宅では、およそ40%の期間に相対湿度が70%を超え、80%を超える期間が20%に達する。相対湿度は木材の腐朽に大きく関わることが知られており、木材の耐久性からみて、年間を通じて圧倒的に基礎断熱が有利なことがわかる。

3.2 冬期の温湿度変動

図4(a)は、冬期間の温湿度の日変動を両住宅について示したものである。断熱住宅の特徴で、室温の変動が小さく、床下温度も安定している。室内の湿度は、床断熱住宅が基礎断熱住宅より高く推移している。これは居住者が相当量の加湿を行っているためで、夜間には窓に結露を生じており、基礎断熱住宅の相対湿度が一般の全室暖房住宅に近い。床断熱住宅は床の気密防湿性が高く、室内の湿度環境が床下に及ぼす影響は小さいことから、床下環境の比較には支障がないと言える。基礎断熱の住宅では、床下温度は室温の変動に伴って緩やかに変動し、外気温度が-15℃まで下がっても15℃を維持している。相対湿度は、床下も室内も共に30%以下で推移し、たいへん乾燥した環境になっている。また、床断熱住宅でも、換気口の閉鎖によって床下温度が比較的高く保たれてお

図3 日平均相対湿度分布

り、10℃を維持している。床下温度の上昇によって相対湿度は40%から50%と比較的低く保たれており、全室暖房の住宅では冬期間床下換気口を閉鎖する北海道の習慣は、冬期間床下の乾燥化に効果のあることがわかる。

次に図4(b)は、これらの温湿度を湿り空気線図上にプロットしたものである。地盤防湿の無い木質パネル住宅の床下環境の測定結果⁹⁾を比較のためプロットしている。全室暖房化によって床断熱住宅でも温度が上昇し、相対湿度が低下していることがわかる。また、地盤防湿の無い住宅では、地盤からの発湿によって、絶対湿度の上昇もみられる。地盤防湿と全室暖房が一般化した北海道の

(a) 温湿度変動

(b) 湿り空気線図上の温湿度

図4 冬期の温湿度環境

住宅では、冬期の高湿化の恐れは相対的に小さくなっていくといえる。

3.3 春期及び夏期の温湿度変動

図5(a)は、暖房が止まる5月初旬の温湿度の日変動である。床断熱の場合、床下の温度は冬期と変わらず10℃程度と低く経過し、相対湿度も70%以上に上昇する。しかし、基礎断熱住宅では、室温の日平均値程度に推移し、相対湿度は50%を超えず、高い乾燥状態を維持している。春は、腐朽菌の活動が一般に活発になる時期であるが、床断熱と基礎断熱の湿度環境に最も大きな違いを生じる

図5 春期の温湿度環境

時期である。図5(b)は、測定結果を湿り空気線図上にプロットしたものであるが、絶対湿度の差は小さく、温度の上昇遅れが床断熱の床下環境を高湿にしていることがわかる。

1994年の夏は記録的な暑さであった。図6(a)は外気温度が急上昇した7月下旬で連日外気温が30℃を上回った時期の測定結果である。床断熱の住宅では、日中23℃程度までしか温度が上昇しない。基礎断熱住宅でも床下温度が25℃を超えることがなく、室温より低い温度を保っているが、床断熱住宅に比べて平均3℃程度高く

図6 夏期の温湿度環境

推移する。次に、相対湿度では、床断熱の住宅では、80%を絶えず超えているのに対して、基礎断熱住宅では、70%を超えない。図6(b)は、両住宅の温湿度を湿り空気線図上で示したものであるが、絶対湿度には大きな違いはみられず、平均でわずか3℃の温度の違いが、相対湿度で10%以上の差になって表れている。

3.4 夏期の床周りの温度特性

夏期の床周り各部の温度変動を図7に示す。床断熱住宅では、床裏の表面温度が日中床下空気温度より低く推移している。これは、床断熱住宅特有の現象で、断熱された床の裏側表面が地盤面への輻射によって冷却されるためである。床下空間の相対湿度が80~90%であっても、床裏の表面や地盤面で温度が低ければ、近傍の相対湿度が上昇して含水率の上昇を招く。断熱性の向上などを目的に断熱厚さを増し床下空間が狭まると、この現象が高じて、結露やそれに伴う腐朽被害の危険性が高くなる。

図7 夏期の床下温度環境

これに対して、基礎断熱住宅では床裏温度は床下温度より絶えず高く維持され、結露発生の恐れは全く無い。また、室内から床下への熱流をみると、床断熱住宅では、ほとんど熱移動が生じないのに対して、基礎断熱住宅では、1㎡当り最大20kcal/h、1階全体では、約1500kcal/hもの吸熱効果がみられる。この結果、基礎断熱住宅の床表面温度は、床断熱住宅より絶えず低く保たれ、その差は夜間に大きく最大4℃に達している。1階室温も同様な傾向を示し、日中温度の上昇する時間帯の差は少ないが、夜間の就寝時間帯には基礎断熱住宅の1階室温が低下し、床断熱住宅に比べて2~3℃以上低くなっている。

基礎断熱化が、寒冷地の住宅の床組み木材の耐久性を高めるばかりでなく、夏期の環境改善にも大きな効果を上げることがわかる。

4. まとめ

断熱性気密性に優れた基礎断熱と床断熱の既存住宅において、床下環境を長期測定した結果、寒冷地における基礎断熱した床下環境について、次のことが明らかになった。

- (1) 基礎断熱の住宅の床下は、床断熱の住宅に比べて年間を通じて低い相対湿度を維持し、高い乾燥性が期待できる。
- (2) 基礎断熱の床下は、冬期間、絶対湿度が室内より低く保たれ、床下の乾燥に優位な性状を示す。
- (3) 床断熱住宅では、暖房期間の終わる春から夏にかけて床下温度の上昇が遅れ、相対湿度が70%以上に上昇し、夏期には80%を超える。基礎断熱住宅では、相対湿度が70%を超えるのは、盛夏の僅かな期間である。
- (4) 床断熱住宅では、床断熱の裏面温度が、床下空気温度より低く経過し、床組の高湿化の恐れが生じるが、基礎断熱住宅では、床裏面温度は絶えず床下空気温度より高く推移し、床組の高湿化の恐れはない。
- (5) 基礎断熱住宅では、夏期に地盤への吸熱により、床断熱住宅に比べて、床面温度が2℃以上低く保たれ、1階室内の環境改善に効果がある。

以上の結果、断熱性・気密性に優れた寒冷地の住宅において、基礎断熱化は床下空間の乾燥維持に高い効果を示し、室内の夏期の環境改善にも効果が期待できることが明かとなった。今後、床下空間の湿度環境形成のメカニズムを明らかにするとともに、床下空間を利用した換気方式など、緩衝空間としての積極的な利用方法について研究を進める予定である。

参考文献

- 1)宮田靖久、松本 衛：住宅の小屋裏と床下空間の熱・湿気性状、日本建築学会計画系論文集 第457号 pp.19～28、1994.3
- 2)荒谷 登：住居の熱環境計画への研究、博士論文、1973.9

関連論文

- I)福島 明：木造住宅の床下環境調査（その1）、日本建築学会北海道支部研究報告集 54、pp.65～68、1981.3
- II)福島 明、入江雄司：基礎断熱した床下の環境特性、日本建築学会大会学術講演梗概集D、pp.293～294、1994.9

(1995年5月8日原稿受理，1995年8月14日採用決定)