

床暖房の上下放熱量に関する研究

正会員 ○清水則夫

床暖房パネル 放熱特性 上下比率

1. はじめに 床暖房は、消費エネルギーがすべて室内の暖房に使用されるのではなく、一部が床下へ放熱されるため、このエネルギーを削減する必要がある。優良住宅部品の認定（以下、BL 認定という）では、木造戸建住宅に設置した床暖房の上下への放熱量の比率を、床上（室内側）18℃、床下4℃で試験を行う。この条件は、30年以上前に定められたもので、現在の使用状態に合致しているとはいえない。そこで同じ試験法で床上・下の温度を現実に近い状態に設定して温水床暖房の実験を行うことにした。また、集合住宅の中間階では温度条件だけではなく床下空間も室内であるために熱伝達抵抗も異なる。そこで、電気床暖房を集合住宅の中間階に設置した時を想定した実験を行うことにした。本報では、これらの実験で得られた床暖房の放熱特性について報告する。

2. 実験方法 実験は、恒温室・保護箱、内箱、ファン・ヒーターユニット、供試体設置用架台、軸流ファンで構成される装置を用いて行った。床暖房パネルを中間階に設置し居室と下階室の設定室温が同じ時は、試験装置の保護箱・内箱・ファンヒーターユニットを取り除き、恒温室内に風除けの衝立を設置して実験を行った。実験では、温水床暖房は循環温水の流量とパネル出入り口の温度差、電気床暖房は消費電力を測定して入力熱量を算出し、床上への放熱量を熱流計で測定し、その差を床下放熱量とした。

木造戸建住宅で温水床暖房を使用する実験は、設定室温を室内18~24℃、床下4~17℃とした。実験では、2種類の温水床暖房（温水パネルA・B、循環温水温度60℃、流量A:1.3、B:0.5 l/min、床仕上げ材12mm厚フローリング、床下断熱A:スタイロフォーム135mm厚、B:ポリスチレンフォーム65mm厚）を使用した。

集合住宅の中間階は、床スラブに乾式二重床を設置し床暖房パネルを載せフローリング仕上げする場合と床スラブにセルフレベリング材や合板を介して床暖房パネルを載せフローリング仕上げ（以下、直貼りフローリング）するケースが多い。乾式二重床は、スラブと置き床の間の空気層が断熱材の役割を果たすが、直貼りフローリングは無断熱のため、床上放熱量の比率が悪くなる。今回の実験では、条件の悪い直貼りフロ

ーリング使用時を想定し実験を行うことにした。スラブの断熱条件を以下に、測定条件を表1に示す。

- ①省エネ法に示された断熱を実施した1階のスラブ
- ②無断熱の1階スラブ
- ③無断熱の中間階スラブ
- ④中間階で①の条件での放熱特性に近づけるための断熱を実施したスラブ
- ⑤④の断熱条件を実施した1階のスラブ

実験では、条件変更のためにフローリングを取外すことで生じる誤差をなくすためにフローリング一体型電気床暖房パネルを使用した。一体型のフローリングは通常のフローリングより薄いため、厚さ4mmの合板を上部に貼り付けて測定を行った。

最近の集合住宅は、スラブ厚200mmが一般的であるため、実験はスラブ部分をこのコンクリートと熱抵抗がほぼ同等となる合板（12mm厚2枚貼り）に置き換え実施した。スラブの上に設置する断熱材にはスチレンボード（ $\lambda: 0.030\text{w}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ）、スラブ下に設置する断熱材にはスタイロフォーム（ $\lambda: 0.038\text{w}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ）を使用した。

床暖房の放熱特性は、床表面の風速（表面熱伝達抵抗）に影響される。室内と1階の床下では表面熱伝達抵抗が異なる。そこで、表面熱伝達抵抗の設定は、室内 $0.11\pm 0.02 (\text{m}^2\cdot\text{K})/\text{W}$:微風、1階床下 $0.06\pm 0.02 (\text{m}^2\cdot\text{K})/\text{W}$:弱風で行うことにした。ここでいう、熱伝達抵抗は、測定結果から次式により求めた見掛けの表面熱伝達抵抗とした。

表1 測定条件

中間階						
居室室温	設定 18℃					
居室風速	微 風					
下階室室温	設定 18℃			設定 12℃		
下階室風側	微 風					
床上断熱厚	無	6mm	12mm	無	6mm	12mm
床下断熱厚	無					
1 階						
試験番号	7	8	9	10		
居室室温	設定 18℃					
居室風速	微 風					
下階室室温	設定 4℃					
下階室風側	弱 風					
床上断熱厚	無		6mm	12mm		
床下断熱厚	50mm	無				
一般的には、1階のスラブは省エネ法に基づき外断熱で断熱補強されるケースが多いが、中間階のスラブは断熱補強が行われない。						

表 2 測定結果 (温水床暖房)

	床上空間の温度を変化								床下空間の温度を変化							
	温水パネル No.A				温水パネル No.B				温水パネル No.A				温水パネル No.B			
床上空間温度 (°C)	18.2	20.2	21.9	23.8	18.1	20.1	22.2	24.1	21.9	21.8	21.9	22.2	22.3	22.2	22.0	
床下空間温度 (°C)	3.7	3.8	3.9	3.8	3.9	3.9	4.0	4.1	3.9	9.3	15.4	4.0	10.0	13.1	17.1	
総放熱量 (W/㎡)	190	180	171	165	179	174	165	157	171	167	166	165	164	163	161	
床上放熱量 (W/㎡)	153	146	138	133	139	135	129	122	138	136	138	129	133	132	133	
床上放熱量の比率	80.5%	80.8%	80.8%	81.0%	77.7%	77.8%	78.2%	78.0%	80.8%	81.7%	83.1%	78.2%	80.8%	81.2%	82.8%	
床下放熱量の比率	19.5%	19.2%	19.2%	19.0%	22.3%	22.2%	21.8%	22.0%	19.2%	18.3%	16.9%	21.8%	19.2%	18.8%	17.2%	
床下放熱量 (W/㎡)	37	35	33	31	40	39	36	35	33	31	28	36	31	31	28	
床上熱伝達抵抗	0.11	0.11	0.11	0.10	0.11	0.11	0.11	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	
床下熱伝達抵抗	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	

熱伝達抵抗の単位: (㎡・K/W)

$$r_i = (\theta_{i_s} - \theta_i) \times A / Q_u$$

$$r_o = (\theta_{o_s} - \theta_o) \times A / Q_d$$

r_i : 見かけの床上表面熱伝達抵抗 [(㎡・K) / W]
 r_o : 見かけの床下表面熱伝達抵抗 [(㎡・K) / W]
 A : 床暖房パネルの放熱面積 [㎡]
 Q_u : 床上放熱量 [W]
 Q_d : 床下放熱量 [W]
 θ_i : 室内空気温度 [°C]
 θ_{i_s} : 床仕上げ材平均表面温度 [°C]
 θ_{o_s} : 床下平均表面温度 [°C]
 θ_o : 床下空気温度 [°C]

実験装置、測定方法、見掛けの熱伝達抵抗の詳細は、既報による¹⁾。

3. 測定結果 温水床暖房の測定結果を表 2、電気床暖房の測定結果を表 3 に示す。温水床暖房の実験では、床下空間の温度を変えずに床上空間の温度を高くすると、総放熱量、床上・床下放熱量ともに減少するが、床上・下の放熱量の比率はほとんど変わらなかった。一般の住宅では、室内の設定温度を上げると放熱量が多くなるが、今回の実験では、装置のヒーターユニットが働き住宅の断熱性能が良くなった状態となり総放熱量が減少するという結果が得られた。床上空間の温度を変えずに、床下空間の温度を高くすると、総放熱量が減少し床上放熱量の比率が高くなることが示され

た。実験で使用した試験体の床下熱抵抗が大きいため、総放熱量の減少幅は小さかった。電気床暖房は床下が無断熱のため、床下空間の温度が高くなると床上放熱量の比率の上昇が顕著に示された。

BL 認定では、標準施工状態での床上放熱量の比率 (以下、比率という) が一般タイプで 60% 以上、高効率タイプで 80% 以上としている。1 階のスラブを省エネ法に示された断熱施工すると、高効率タイプ (比率が 88%) となるが、無断熱の場合は比率が 53% と一般タイプに満たないことが示された。中間階は、無断熱であっても、一般タイプの基準を満たしていた。中間階を高効率タイプにするには 12mm 厚程度の断熱施行が必要なが示された。一方、1 階は中間階で高断熱タイプとなる 12mm 厚の断熱施行では比率が 74% 程度であることが示された。

4. まとめ BL 認定では床上空間 18°C、床下空間 4°C と現状より厳しい条件で床上・下放熱量の比率を測定しているが、省エネ法に準じた断熱を行った状態で現状に近い温度で測定した場合と比率は 2~4% の差が生じる程度で、床下断熱が強化されるほど、その差が小さくなることが示された。また、床暖房パネルを集合住宅の中間階に設置した際の放熱特性が把握できた。

床暖房が施工された中間階のスラブを断熱施行するのは、床の段差 (バリアフリー) 解消などで難しいが、地球温暖化防止のためには検討する必要がある。中間階は、スラブに蓄熱された熱エネルギーが再放出されるため必ずしも浪費エネルギーとはいえないので評価方法も検討する必要がある。

【文献】

1) 清水: 床暖房システムの放熱量に関する研究、日本建築学会計画系論文集、第 516 号、61-68、1999 年 2 月

表 3 測定結果 (電気床暖房)

	中間階						1 階			
	無	6mm	12mm	無	6mm	12mm	無	6mm	12mm	
スラブ上の断熱材厚	無	6mm	12mm	無	6mm	12mm	無	6mm	12mm	
スラブ下の断熱材厚	無						50mm	無		
床上空間温度 (°C)	18.2	18.3	18.3	18.0	18.1	18.2	18.2	18.1	18.3	18.3
床下空間温度 (°C)	18.3	18.2	18.1	11.6	11.8	11.6	3.4	3.5	3.8	3.8
消費電力 (W/㎡)	151	153	152	160	156	157	157	156	157	159
床上放熱量 (W/㎡)	108	120	127	99	114	124	138	82	103	117
床上放熱量の比率	71.8%	78.5%	83.7%	62.0%	73.5%	78.9%	88.2%	52.8%	65.9%	73.8%
床下放熱量の比率	28.2%	21.5%	16.3%	38.0%	26.5%	21.1%	11.8%	47.2%	34.1%	26.2%
床下放熱量 (W/㎡)	43	33	25	61	41	33	19	74	53	42
床上熱伝達抵抗	0.11	0.11	0.10	0.12	0.11	0.11	0.10	0.11	0.11	0.10
床下熱伝達抵抗	0.09	0.09	0.09	0.09	0.10	0.10	0.06	0.06	0.05	0.07

熱伝達抵抗の単位: (㎡・K/W)

*1 (財)バタリービングつくば建築試験研究センター 博士(工学)

*1 Center for Better Living, Tukuba Building Test Laboratory, Dr. e