

CLT建築物等普及促進委託事業のうち  
CLTの性能データ収集・分析

事業報告書

平成29年7月

一般社団法人 日本CLT協会

# CLT パネル工法における住宅省エネ基準対応(寒冷地)のための検討

## 目次

1. 目的 .....	1
2. 検討対象.....	2
3. 目標とする外皮性能(外皮平均熱貫流率) .....	2
3. 1 平成 28 年省エネ基準の体系.....	2
3. 2 目標とする外皮性能.....	3
3. 3 外皮平均熱貫流率を求めるために必要なデータ .....	4
4. CLT パネルの熱伝導率 .....	5
4. 1 高知県森林技術センターの測定結果に基づく熱伝導率の算出.....	5
4. 2 一般財団法人建材試験センターの測定結果に基づく熱伝導率の算出 .....	18
4. 3 まとめ.....	21
5. 構造熱橋部の線熱貫流率 .....	22
5. 1 線熱貫流率の求め方 .....	22
5. 2 計算対象 .....	23
5. 3 計算条件 .....	26
5. 4 計算結果 .....	26
6. 金物熱橋部の線熱貫流率 .....	55
6. 1 線熱貫流率の求め方 .....	55
6. 2 計算対象 .....	56
6. 3 計算条件 .....	60
6. 4 計算結果 .....	60
7. 防露性能.....	90
7. 1 表面結露に関する検討 .....	90
7. 2 内部結露に関する検討 .....	108
8. 標準的断熱仕様の検討 .....	113

8. 1	熱橋部の外皮平均熱貫流率計算への反映方法 .....	113
8. 2	外皮平均熱貫流率計算 .....	115
8. 3	平成 28 年省エネ基準適合仕様例.....	120
9.	まとめ.....	<b>121</b>

## 1. 目的

CLT パネルを用いた建築物（以降、「CLT 建築物」という。）は、木造の軸組構法及び枠組壁工法、RC 造、S 造のように断熱仕様が確立されていない状況である。しかし、建築物の新設に際しては、規模大きな非住宅建築物において適合義務化が施行されている「建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律（以降、「建築物省エネ法」という。）」に基づき平成 28 年制定の告示（以降、「平成 28 年基準」という。）に適合する必要がある。

そこで、本検討は建築物省エネ法に適合するための技術検討の端緒として、気象条件の厳しい寒冷地（平成 28 年基準における、1 及び 2 地域）における戸建住宅について、平成 28 年基準適合のための外皮性能（外皮（外皮とは、外皮等に接する天井（小屋裏又は天井裏が外気に通じていない場合にあっては、屋根）、壁、床及び開口部並びに当該単位住戸以外の建築物の部分に接する部分をいう。）の断熱性能等）の基準に適合する外皮の断熱性能に係る検討を行い、CLT 建築物の建築物省エネ法適合のための資とすることを目的とするものである。

なお、建築物の耐久性に大きな影響を及ぼす防露性能は、断熱性能及び断熱仕様（部位の断面設計等）が大きく係わるため、本検討において表面結露及び内部結露に関する検討も併せて行う。

実施体制・分科会

### 【CLT パネル工法省エネ基準検討委員会】

（敬称略・順不同）

- 委員長 坂本雄三（東京大学名誉教授）  
委員 赤嶺嘉彦（国土交通省国土技術政策総合研究所）  
城地哲哉（住宅金融支援機構）  
齋藤卓三（一般財団法人ベターリビング）  
金子 弘（公益財団法人日本住宅・木材技術センター）  
砂川雅彦（株式会社砂川建築環境研究所）  
栗原潤一（株式会社ミサワホーム総合研究所）  
事務局 河合 誠（一般社団法人日本CLT協会）  
坂部芳平（一般社団法人日本CLT協会）  
伴 勝彦（一般社団法人日本CLT協会）

## 2. 検討対象

### ① 構造

CLT パネル工法を用いた住宅（以降、「CLT パネル工法住宅」という。）

### ② 地域

対象地域は、建築物省エネ法で定める地域区分の 1 地域と 2 地域を対象とする。  
対象となる都道府県は、寒冷地である北海道と青森県、岩手県（いずれも一部の市町村を除く。）である。

### ③ 建築物の種類

戸建住宅を対象とする。

### ④ 検討性能

平成 28 年省エネ基準で定める外皮平均熱貫流率について検討する。併せて、防露性能も検討する。

その結果を用いて寒冷地における CLT パネル工法住宅の標準的仕様例を示す。

## 3. 目標とする外皮性能（外皮平均熱貫流率）

目標とする外皮性能は、平成 28 年省エネ基準の外皮平均熱貫流率（ $U_A$ ）の基準に適合する性能とする。

以下に、平成 28 年省エネ基準の外皮性能基準の概要と目標とする基準値を示す。

### 3. 1 平成 28 年省エネ基準の体系

平成 28 年省エネ基準は、住宅全体の性能を定めた「性能基準」と部位の性能又は断熱材等の仕様を定めた「仕様基準」がある。これらは、表 3-1 に示す省令、告示に示されている。

表 3-1 平成 28 年省エネ基準の体系

性能基準	住宅全体（共同住宅の場合は、1 住戸当たりの性能）の断熱性能を定めている。	省令「建築物エネルギー消費性能基準等を定める省令」 告示 265 号「建築物エネルギー消費性能基準等を定める省令における算出方法等に係る事項」
仕様基準	部位の断熱性能、又は断熱材、開口部日除けにかかる仕様を定めている。	告示 266 号「住宅部分の外壁、窓等を通しての熱の損失の防止に関する基準及び一次エネルギー消費性能に関する基準」

平成 28 年省エネ基準は、表 3-1 のとおり住宅全体のエネルギー消費性能に係る基準を定めており、外皮性能については、断熱性能に係る事項のほか、日射遮蔽性能に係る事項がある。CLT パネル工法住宅においては、断熱性能だけでなく、日射遮蔽性能においても平成 28 年省エネ基準に適合することとする。

仕様基準は、部位の断熱性能等の基準のほか、断熱層の部位取り合い部等に発生する構造熱橋部の基準があるが、その規定は、コンクリート造、鉄骨造以外の構造については定められていない。CLT パネル工法住宅は、仕様基準に定められていないが、図 3-1 で示すように部位間の取り合い部において断熱層を CLT パネルが貫通して熱橋が発生する。このような熱橋部を構造熱橋部という。また、図 3-2 で示すように構造用の金物が熱損失に与える影響も鑑みる必要があると考える。

よって、仕様基準に定められていない構造熱橋部等を有する CLT パネル工法住宅は、仕様基準を適用することができない。そのため、本検討は、性能基準適合を目標とする。

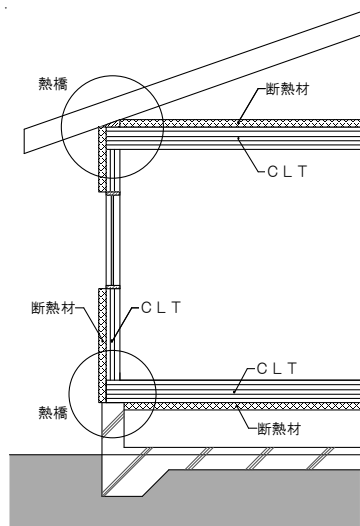


図 3-1 CLT パネル工法住宅の構造熱橋部発生例

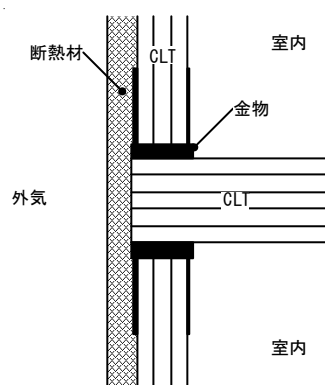


図 3-2 CLT パネル工法住宅の金物熱橋部発生例

### 3. 2 目標とする外皮性能

外皮性能の基準は、表 3-2、3-3 に示す通りである。本検討の対象地域である 1、2 地域においては「冷房期の平均日射熱取得率 ( $\eta_{AC}$ )」の基準は基準値が示されていないため、「外皮平均熱貫流率 ( $U_A$ )」の基準値である  $0.46W/(m^2 \cdot K)$  以下となることを目標として検討を行う。

表 3-2 平成 28 年省エネ基準の外皮性能基準

性能基準	①②いずれの基準も適合しなければならない。 ①外皮平均熱貫流率（記号 $U_A$ 、単位 $W/(m^2 \cdot K)$ ） ②冷房期の平均日射熱取得率（記号 $\eta_{AC}$ 、単位 %）
------	--

表 3-3 外皮性能の基準値 注) いずれも、基準値を超えてはならない。

地域区分	1	2	3	4	5	6	7	8
外皮平均熱貫流率 [ $W/(m^2 \cdot K)$ ]	0.46	0.46	0.56	0.75	0.87	0.87	0.87	—
冷房期の平均日射熱 取得率[%]	—	—	—	—	3.0	2.8	2.7	3.2

### 3. 3 外皮平均熱貫流率を求めるために必要なデータ

外皮平均熱貫流率を求めるためには、CLT パネル工法特有の CLT の熱伝導率 ( $\lambda$ )、部位間取合い部の断熱層に発生する構造熱橋部及び金物熱橋の線熱貫流率をあらかじめ明らかにしておく必要がある。

次章以降、CLT パネルの熱伝導率、構造熱橋部及び金物熱橋部の線熱貫流率について検討を行い、その結果に基づいて外皮平均熱貫流率の標準的例示仕様の検討を行う。

表 3-4 外皮平均熱貫流率を求めるために必要なデータ

CLT の熱伝導率	部位の熱貫流率、ほか全ての熱的評価に必要なデータである。測定データを基に、公的に認知されるための基礎検討とする。
CLT 取り合い部等に発生する構造熱橋部、及び金物熱橋部の線熱貫流率	RC 造と同様に部位取り合い部において断熱層に壁体が貫通する場合がある。様々な取り合い部(納まり)における線熱貫流率をシミュレーションにより求めて、外皮平均熱貫流率計算のためのデータとして公的に認知されるための基礎検討とする。

#### 4. CLTパネルの熱伝導率

CLT 建築物の壁パネルとして通常想定している厚みは低層で 3 層 3 プライ (90mm)、中層以上で 5 層 5 プライ (150mm) であるが、これらの熱伝導率は明らかになっていない。そこで、CLT 建築物の壁パネルの厚み 90mm と 150mm の試験体と、1 プライ厚の試験体の断熱性能を熱貫流率の測定実験で確認し、CLT の熱伝導率を明らかにする。

測定は以下の 2 機関である。

- 高知県森林技術センター／木構造振興株式会社の依頼
- 一般財団法人建材試験センター／日本木材防腐工業組合の依頼

#### 4. 1 高知県森林技術センターの熱伝導率算出について

高知県森林技術センターの実験条件、実験結果を以下に示す。

##### 4. 1. 1 試験体（高知県森林技術センター）

試験体は、厚さ 150mm を 6 体、厚さ 90mm を 6 体、合計 12 体とした。参考として試験体の含水率を表 4-2 及び表 4-3 に示す。インサイジングはしておらず、防腐剤も内部へ注入されていない。

表 4 - 1 試験体の種類

試験体記号	樹種	CLT の構成	長さ×幅 (mm)	厚さ (mm)	試験体本数
t150	杉	Mx60-5-5、A 種	1500×1500	150	6
t90	杉	Mx60-3-3、A 種	1500×1500	90	6



写真 4 - 1 CLT 試験体



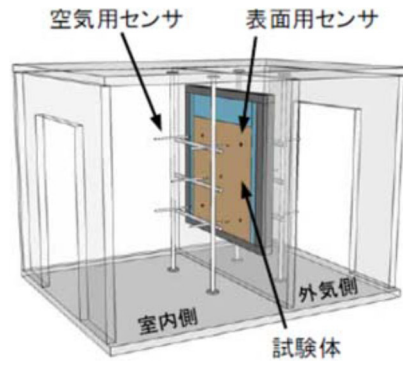


図 4 - 1 試験装置

表 4 - 2 試験体 t150 の含水率

試験体番号	測定項目	測定位置					平均値
		1	2	3	4	5	
t150-1	20℃側含水率(%)	12.5	12.0	11.5	12.0	12.5	12.1
	0℃側含水率(%)	11.5	12.0	10.0	12.5	11.0	11.4
t150-2	20℃側含水率(%)	12.0	11.5	10.5	10.5	13.5	11.6
	0℃側含水率(%)	11.0	10.5	12.0	11.5	10.5	11.1
t150-3	20℃側含水率(%)	11.5	10.5	10.5	11.0	10.5	10.8
	0℃側含水率(%)	11.0	14.0	14.0	12.5	10.5	12.4
t150-4	20℃側含水率(%)	13.5	10.5	11.0	12.5	10.5	11.6
	0℃側含水率(%)	12.0	12.5	11.0	13.0	11.0	11.9
t150-5	20℃側含水率(%)	10.5	12.0	10.0	10.5	11.0	10.8
	0℃側含水率(%)	11.0	11.0	13.5	10.5	12.0	11.6
t150-6	20℃側含水率(%)	11.0	10.5	10.5	11.0	11.0	10.8
	0℃側含水率(%)	10.5	10.5	10.0	11.0	12.0	10.8

表 4 - 3 試験体 t90 の含水率

試験体番号	測定項目	測定位置					平均値
		1	2	3	4	5	
t90-1	20℃側含水率(%)	11.0	13.5	11.0	11.0	14.0	12.1
	0℃側含水率(%)	13.0	14.0	11.0	14.5	14.5	13.4
t90-2	20℃側含水率(%)	12.5	13.0	11.0	12.0	12.5	12.2
	0℃側含水率(%)	10.5	12.5	13.5	11.0	11.5	11.8
t90-3	20℃側含水率(%)	13.0	10.5	10.0	11.0	10.0	10.9
	0℃側含水率(%)	10.0	12.5	10.5	10.0	10.5	10.7
t90-4	20℃側含水率(%)	10.0	10.5	11.0	10.5	10.5	10.5
	0℃側含水率(%)	11.0	10.5	10.5	13.0	10.5	11.1
t90-5	20℃側含水率(%)	11.5	12.0	11.0	10.5	11.0	11.2
	0℃側含水率(%)	10.5	12.5	13.5	11.0	10.5	11.6
t90-6	20℃側含水率(%)	11.0	10.5	11.0	12.0	10.5	11.0
	0℃側含水率(%)	10.5	12.0	11.0	11.0	10.5	11.0

#### 4. 1. 2 試験体（高知県森林技術センター）

試験は、2 槽式環境試験機を用い、JISA1420(建築用構成材の断熱性測定方法-校正熱箱法及び保護熱箱法)に準拠して行った。試験装置図を図 4-2 に示す。試験条件は、室内を想定した槽の温湿度を 20℃、50%、外気側を想定した槽の温度を 0℃とし、成り行きに設定した。各測定点の平均風速は表 4-4 に示すとおり 20℃側が 0.9m/s、0℃側が 0.4m/s であった。センサ取り付け位置を図 4-3 に示す。20℃側の CLT 表面温度と CLT 表面から 100mm 離れた位置の空気温度をそれぞれ 5 点、熱流センサと T 型熱電対を用いて測定した。

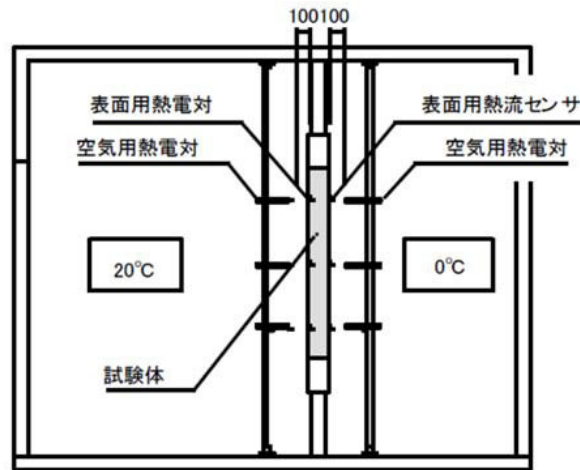


図 4-2 試験装置図

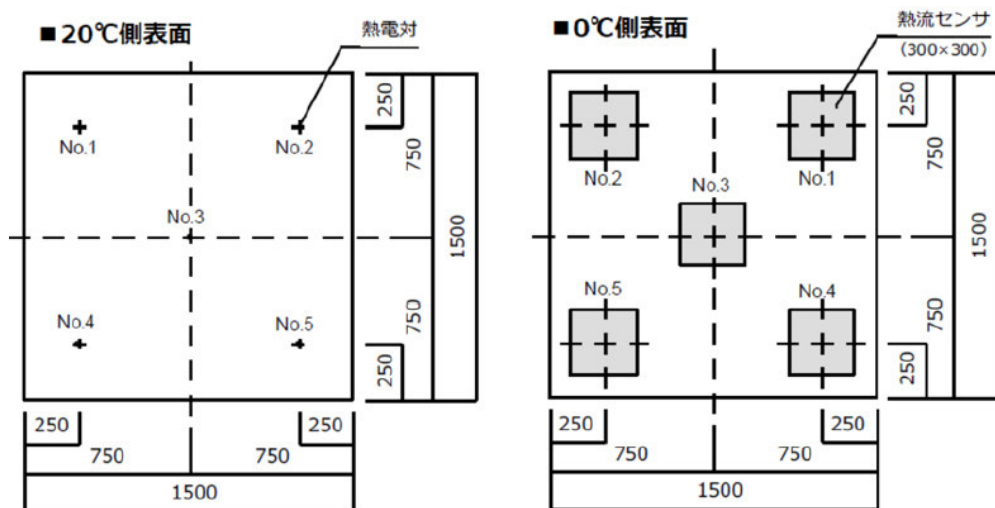


図 4-3 センサ取り付け位置図



写真 4 - 2 試験状況

表 4 - 4 各測定点の風速

測定項目	測定位置					平均値
	1	2	3	4	5	
20℃側風速 (m/s)	1.2	0.9	0.9	0.8	0.6	0.9
0℃側風速 (m/s)	0.7	0.4	0.2	0.7	0.4	0.4

#### 4. 1. 3 試験体（高知県森林技術センター）

試験は熱流密度と表面温度が安定するまで 12 時間以上行い、安定後、各測定点の測定値の 1 時間の平均値を求めた。各測定点の測定値より、CLT の熱貫流率、熱貫流抵抗、熱抵抗を算出した。試験結果をまとめたものを表 4-5 に示す。各試験体の測定値と計算結果を表 4-6～表 4-9 に示す。

表 4 - 5 試験結果まとめ

試験体の種類	項目	試験体No.					
		1	2	3	4	5	6
t150	5点平均熱貫流率 (W/(m <sup>2</sup> ・K))	0.66	0.61	0.61	0.64	0.59	0.61
	5点平均熱貫流抵抗 ((m <sup>2</sup> ・K)/W)	1.53	1.64	1.63	1.56	1.70	1.65
	5点平均熱抵抗 ((m <sup>2</sup> ・K)/W)	1.29	1.42	1.38	1.37	1.49	1.45
t90	5点平均熱貫流率 (W/(m <sup>2</sup> ・K))	0.94	0.92	0.88	0.87	0.88	0.90
	5点平均熱貫流抵抗 ((m <sup>2</sup> ・K)/W)	1.07	1.09	1.14	1.15	1.13	1.11
	5点平均熱抵抗 ((m <sup>2</sup> ・K)/W)	0.87	0.89	0.94	0.94	0.95	0.92

表 4 - 6 試験体毎の試験結果 (t150-1~t150-3)

試験体番号	測定項目	測定位置					平均値
		1	2	3	4	5	
t150-1	熱流密度 (W/m <sup>2</sup> )	13.33	13.90	13.62	13.40	13.80	13.61
	20°C側空気温度 (°C)	20.9	20.7	21.2	21.0	20.6	20.9
	20°C側表面温度 (°C)	19.2	19.2	19.6	19.2	19.6	19.4
	0°C側表面温度 (°C)	1.7	1.3	2.1	1.9	1.7	1.7
	0°C側空気温度 (°C)	0.0	-0.1	0.1	0.1	0.5	0.1
	空気温度差 (K)	20.9	20.8	21.1	20.9	20.1	20.8
	表面温度差 (K)	17.5	17.9	17.5	17.3	17.9	17.6
	熱貫流率 (W/(m <sup>2</sup> ·K))	0.64	0.67	0.64	0.64	0.69	0.66
	熱貫流抵抗 ((m <sup>2</sup> ·K)/W)	1.57	1.50	1.55	1.56	1.46	1.53
	熱抵抗 ((m <sup>2</sup> ·K)/W)	1.31	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29
t150-2	熱流密度 (W/m <sup>2</sup> )	12.84	12.55	12.50	11.59	11.91	12.28
	20°C側空気温度 (°C)	21.0	20.9	21.3	21.3	20.8	21.1
	20°C側表面温度 (°C)	19.5	19.6	19.9	19.7	19.9	19.8
	0°C側表面温度 (°C)	2.5	2.0	2.7	2.5	2.1	2.3
	0°C側空気温度 (°C)	0.7	0.7	0.9	1.0	1.2	0.9
	空気温度差 (K)	20.4	20.2	20.3	20.3	19.6	20.2
	表面温度差 (K)	17.0	17.7	17.3	17.2	17.9	17.4
	熱貫流率 (W/(m <sup>2</sup> ·K))	0.63	0.62	0.61	0.57	0.61	0.61
	熱貫流抵抗 ((m <sup>2</sup> ·K)/W)	1.59	1.61	1.63	1.75	1.64	1.64
	熱抵抗 ((m <sup>2</sup> ·K)/W)	1.32	1.41	1.38	1.48	1.50	1.42
t150-3	熱流密度 (W/m <sup>2</sup> )	11.75	10.97	11.88	11.88	11.16	11.53
	20°C側空気温度 (°C)	20.9	20.4	21.1	21.0	20.4	20.7
	20°C側表面温度 (°C)	19.5	19.2	19.6	19.4	19.5	19.4
	0°C側表面温度 (°C)	3.8	3.1	3.8	3.8	3.4	3.6
	0°C側空気温度 (°C)	2.0	1.8	1.8	1.9	2.3	1.9
	空気温度差 (K)	18.9	18.7	19.3	19.1	18.1	18.8
	表面温度差 (K)	15.7	16.1	15.7	15.7	16.2	15.9
	熱貫流率 (W/(m <sup>2</sup> ·K))	0.62	0.59	0.62	0.62	0.62	0.61
	熱貫流抵抗 ((m <sup>2</sup> ·K)/W)	1.61	1.70	1.62	1.61	1.62	1.63
	熱抵抗 ((m <sup>2</sup> ·K)/W)	1.34	1.47	1.32	1.32	1.45	1.38

熱貫流率  $U(W/(m^2 \cdot K)) = \text{熱流密度}(W/m^2) \div \text{空気温度差}$

熱貫流抵抗  $R_t((m^2 \cdot K)/W) = \text{空気温度差} \div \text{熱流密度}(W/m^2)$

熱抵抗  $R_s((m^2 \cdot K)/W) = \text{表面温度差} \div \text{熱流密度}(W/m^2)$

表 4-7 試験体毎の試験結果 (t150-4~t150-6)

試験体番号	測定項目	測定位置					平均値
		1	2	3	4	5	
t150-4	熱流密度(W/m <sup>2</sup> )	14.07	13.97	13.36	13.40	13.32	13.62
	20℃側空気温度(℃)	20.8	20.9	21.0	21.0	20.9	20.9
	20℃側表面温度(℃)	19.7	19.7	19.9	20.0	20.2	19.9
	0℃側表面温度(℃)	1.1	1.0	1.5	1.3	1.1	1.2
	0℃側空気温度(℃)	-0.5	-0.4	-0.5	-0.4	0.1	-0.3
	空気温度差(K)	21.3	21.2	21.5	21.4	20.8	21.3
	表面温度差(K)	18.6	18.7	18.4	18.7	19.2	18.7
	熱貫流率(W/(m <sup>2</sup> ·K))	0.66	0.66	0.62	0.63	0.64	0.64
	熱貫流抵抗((m <sup>2</sup> ·K)/W)	1.51	1.52	1.61	1.60	1.56	1.56
	熱抵抗((m <sup>2</sup> ·K)/W)	1.32	1.34	1.38	1.39	1.44	1.37
t150-5	熱流密度(W/m <sup>2</sup> )	12.33	12.05	11.09	11.69	12.41	11.91
	20℃側空気温度(℃)	21.1	20.5	20.7	20.7	20.2	20.7
	20℃側表面温度(℃)	19.9	19.2	19.5	19.5	20.0	19.6
	0℃側表面温度(℃)	2.1	1.6	1.9	1.9	1.8	1.9
	0℃側空気温度(℃)	0.4	0.3	0.3	0.3	0.7	0.4
	空気温度差(K)	20.7	20.2	20.4	20.4	19.5	20.3
	表面温度差(K)	17.8	17.6	17.5	17.6	18.2	17.8
	熱貫流率(W/(m <sup>2</sup> ·K))	0.60	0.60	0.54	0.57	0.64	0.59
	熱貫流抵抗((m <sup>2</sup> ·K)/W)	1.68	1.68	1.84	1.75	1.57	1.70
	熱抵抗((m <sup>2</sup> ·K)/W)	1.45	1.46	1.58	1.50	1.47	1.49
t150-6	熱流密度(W/m <sup>2</sup> )	14.28	13.34	13.08	12.96	13.24	13.38
	20℃側空気温度(℃)	20.6	20.4	20.9	21.1	20.6	20.7
	20℃側表面温度(℃)	19.1	19.4	19.7	19.4	19.5	19.4
	0℃側表面温度(℃)	0.1	-0.2	0.3	0.2	-0.1	0.1
	0℃側空気温度(℃)	-1.6	-1.5	-1.3	-1.4	-0.9	-1.3
	空気温度差(K)	22.1	21.9	22.2	22.4	21.5	22.0
	表面温度差(K)	19.0	19.6	19.4	19.2	19.6	19.3
	熱貫流率(W/(m <sup>2</sup> ·K))	0.65	0.61	0.59	0.58	0.61	0.61
	熱貫流抵抗((m <sup>2</sup> ·K)/W)	1.55	1.64	1.70	1.73	1.63	1.65
	熱抵抗((m <sup>2</sup> ·K)/W)	1.33	1.47	1.48	1.48	1.48	1.45

熱貫流率  $U(W/(m^2 \cdot K)) = \text{熱流密度}(W/m^2) \div \text{空気温度差}$

熱貫流抵抗  $R_t((m^2 \cdot K)/W) = \text{空気温度差} \div \text{熱流密度}(W/m^2)$

熱抵抗  $R_s((m^2 \cdot K)/W) = \text{表面温度差} \div \text{熱流密度}(W/m^2)$

表 4 - 8 試験体毎の試験結果 (t90-1~t90-3)

試験体番号	測定項目	測定位置					平均値
		1	2	3	4	5	
t90-1	熱流密度(W/m <sup>2</sup> )	17.96	20.32	17.51	18.22	20.01	18.80
	20°C側空気温度(°C)	20.5	20.4	20.6	20.6	20.5	20.5
	20°C側表面温度(°C)	18.3	18.6	18.8	18.8	18.8	18.7
	0°C側表面温度(°C)	2.5	1.9	2.5	2.7	2.2	2.4
	0°C側空気温度(°C)	0.4	0.3	0.6	0.6	0.8	0.5
	空気温度差(K)	20.0	20.1	20.1	20.0	19.8	20.0
	表面温度差(K)	15.8	16.7	16.3	16.1	16.6	16.3
	熱貫流率(W/(m <sup>2</sup> ·K))	0.90	1.01	0.87	0.91	1.01	0.94
	熱貫流抵抗((m <sup>2</sup> ·K)/W)	1.12	0.99	1.15	1.10	0.99	1.07
	熱抵抗((m <sup>2</sup> ·K)/W)	0.88	0.82	0.93	0.89	0.83	0.87
t90-2	熱流密度(W/m <sup>2</sup> )	18.48	18.12	18.32	17.61	19.02	18.31
	20°C側空気温度(°C)	20.4	20.2	20.9	20.9	20.7	20.6
	20°C側表面温度(°C)	18.5	18.7	18.5	18.8	19.5	18.8
	0°C側表面温度(°C)	2.5	2.2	2.7	2.8	2.2	2.4
	0°C側空気温度(°C)	0.5	0.5	0.6	0.6	1.1	0.7
	空気温度差(K)	20.0	19.7	20.3	20.4	19.6	20.0
	表面温度差(K)	16.1	16.5	15.9	16.0	17.3	16.4
	熱貫流率(W/(m <sup>2</sup> ·K))	0.93	0.92	0.90	0.86	0.97	0.92
	熱貫流抵抗((m <sup>2</sup> ·K)/W)	1.08	1.09	1.11	1.16	1.03	1.09
	熱抵抗((m <sup>2</sup> ·K)/W)	0.87	0.91	0.87	0.91	0.91	0.89
t90-3	熱流密度(W/m <sup>2</sup> )	17.75	18.73	17.29	17.52	18.61	17.98
	20°C側空気温度(°C)	21.1	20.8	21.2	21.3	20.6	21.0
	20°C側表面温度(°C)	19.1	19.2	19.3	19.3	19.3	19.3
	0°C側表面温度(°C)	2.9	1.9	2.9	2.6	1.9	2.4
	0°C側空気温度(°C)	0.6	0.3	0.5	0.4	0.8	0.5
	空気温度差(K)	20.5	20.5	20.7	20.8	19.8	20.5
	表面温度差(K)	16.2	17.3	16.4	16.7	17.3	16.8
	熱貫流率(W/(m <sup>2</sup> ·K))	0.86	0.91	0.83	0.84	0.94	0.88
	熱貫流抵抗((m <sup>2</sup> ·K)/W)	1.16	1.09	1.20	1.19	1.07	1.14
	熱抵抗((m <sup>2</sup> ·K)/W)	0.92	0.92	0.95	0.96	0.93	0.94

熱貫流率  $U(W/(m^2 \cdot K)) = \text{熱流密度}(W/m^2) \div \text{空気温度差}$

熱貫流抵抗  $R_t((m^2 \cdot K)/W) = \text{空気温度差} \div \text{熱流密度}(W/m^2)$

熱抵抗  $R_s((m^2 \cdot K)/W) = \text{表面温度差} \div \text{熱流密度}(W/m^2)$

表 4 - 9 試験体毎の試験結果 (t90-4~t90-6)

試験体番号	測定項目	測定位置					平均値
		1	2	3	4	5	
t90-4	熱流密度 (W/m <sup>2</sup> )	18.22	17.86	16.77	17.49	17.67	17.60
	20°C側空気温度 (°C)	21.2	20.9	20.8	20.8	20.5	20.8
	20°C側表面温度 (°C)	19.1	18.6	18.8	18.9	19.6	19.0
	0°C側表面温度 (°C)	2.9	1.8	2.9	2.8	2.0	2.5
	0°C側空気温度 (°C)	0.6	0.3	0.5	0.6	0.7	0.5
	空気温度差 (K)	20.6	20.6	20.3	20.2	19.7	20.3
	表面温度差 (K)	16.2	16.8	15.9	16.2	17.7	16.6
	熱貫流率 (W/(m <sup>2</sup> ·K))	0.88	0.87	0.83	0.86	0.90	0.87
	熱貫流抵抗 ((m <sup>2</sup> ·K)/W)	1.13	1.15	1.21	1.16	1.12	1.15
	熱抵抗 ((m <sup>2</sup> ·K)/W)	0.89	0.94	0.95	0.92	1.00	0.94
t90-5	熱流密度 (W/m <sup>2</sup> )	18.70	19.41	18.17	17.88	19.96	18.83
	20°C側空気温度 (°C)	20.9	20.8	21.1	21.2	20.8	21.0
	20°C側表面温度 (°C)	18.9	19.0	19.4	19.5	19.4	19.3
	0°C側表面温度 (°C)	1.5	0.9	2.0	1.6	1.0	1.4
	0°C側空気温度 (°C)	-0.5	-0.5	-0.3	-0.4	0.0	-0.3
	空気温度差 (K)	21.4	21.3	21.5	21.6	20.9	21.3
	表面温度差 (K)	17.4	18.1	17.4	17.9	18.5	17.9
	熱貫流率 (W/(m <sup>2</sup> ·K))	0.88	0.91	0.85	0.83	0.96	0.88
	熱貫流抵抗 ((m <sup>2</sup> ·K)/W)	1.14	1.10	1.18	1.21	1.05	1.13
	熱抵抗 ((m <sup>2</sup> ·K)/W)	0.93	0.93	0.96	1.00	0.93	0.95
t90-6	熱流密度 (W/m <sup>2</sup> )	18.58	18.78	18.40	18.81	19.60	18.83
	20°C側空気温度 (°C)	20.5	20.4	20.8	20.8	20.4	20.6
	20°C側表面温度 (°C)	18.8	18.8	19.0	19.1	19.0	19.0
	0°C側表面温度 (°C)	1.8	1.1	2.1	1.9	1.1	1.6
	0°C側空気温度 (°C)	-0.5	-0.5	-0.3	-0.4	0.1	-0.3
	空気温度差 (K)	21.0	20.9	21.1	21.2	20.3	20.9
	表面温度差 (K)	17.1	17.7	16.9	17.2	17.9	17.4
	熱貫流率 (W/(m <sup>2</sup> ·K))	0.88	0.90	0.87	0.89	0.96	0.90
	熱貫流抵抗 ((m <sup>2</sup> ·K)/W)	1.13	1.11	1.15	1.13	1.04	1.11
	熱抵抗 ((m <sup>2</sup> ·K)/W)	0.92	0.94	0.92	0.91	0.91	0.92

熱貫流率  $U(W/(m^2 \cdot K)) = \text{熱流密度}(W/m^2) \div \text{空気温度差}$

熱貫流抵抗  $R_t((m^2 \cdot K)/W) = \text{空気温度差} \div \text{熱流密度}(W/m^2)$

熱抵抗  $R_s((m^2 \cdot K)/W) = \text{表面温度差} \div \text{熱流密度}(W/m^2)$

#### 4. 1. 4 熱伝導率λ算出結果（高知県森林技術センター）

実験データの表 4-6～4-9 より、熱抵抗  $R_s$  ( $(m^2 \cdot K)/W$ ) と CLT 厚さ  $d$  (m) の値と下式を用いて、熱伝導率  $\lambda$  を算出した。それを表 4-10～4-13 に示す。

$$\text{熱伝導率 } \lambda \text{ (W/(m} \cdot \text{K))} = \text{CLT 厚さ } d \text{ (m)} \div \text{熱抵抗 } R_s \text{ ((m}^2 \cdot \text{K)/W)}$$

表 4-10 試験体毎の熱伝導率λ算出 (t150-1～t150-3)

t150-1						
測定位置	1	2	3	4	5	平均
熱流密度 ( $W/m^2$ )	13.33	13.9	13.62	13.4	13.8	13.61
20℃側空気温度 (°C)	20.9	20.7	21.2	21	20.6	20.9
20℃側表面温度 (°C)	19.2	19.2	19.6	19.2	19.6	19.4
0℃側表面温度 (°C)	1.7	1.3	2.1	1.9	1.7	1.7
0℃側空気温度 (°C)	0	-0.1	0.1	0.1	0.5	0.1
空気温度差 (K)	20.9	20.8	21.1	20.9	20.1	20.8
表面温度差 (K)	17.5	17.9	17.5	17.3	17.9	17.6
熱貫流率 ( $W/(m^2 \cdot K)$ )	0.64	0.67	0.64	0.64	0.69	0.66
熱貫流抵抗 ( $(m^2 \cdot K)/W$ )	1.57	1.5	1.55	1.56	1.46	1.53
熱抵抗 ( $(m^2 \cdot K)/W$ ) $R_s$	1.31	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29
CLT厚さ(m) $d$	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
熱伝導率 ( $W/(m \cdot K)$ ) $\lambda$	0.115	0.116	0.116	0.116	0.116	0.116

t150-2						
測定位置	1	2	3	4	5	平均
熱流密度 ( $W/m^2$ )	12.84	12.55	12.5	11.59	11.91	12.28
20℃側空気温度 (°C)	21	20.9	21.3	21.3	20.8	21.1
20℃側表面温度 (°C)	19.5	19.6	19.9	19.7	19.9	19.8
0℃側表面温度 (°C)	2.5	2	2.7	2.5	2.1	2.3
0℃側空気温度 (°C)	0.7	0.7	0.9	1	1.2	0.9
空気温度差 (K)	20.4	20.2	20.3	20.3	19.6	20.2
表面温度差 (K) $\Delta T$	17	17.7	17.3	17.2	17.9	17.4
熱貫流率 ( $W/(m^2 \cdot K)$ )	0.63	0.62	0.61	0.57	0.61	0.61
熱貫流抵抗 ( $(m^2 \cdot K)/W$ )	1.59	1.61	1.63	1.75	1.64	1.64
熱抵抗 ( $(m^2 \cdot K)/W$ ) $R_s$	1.32	1.41	1.38	1.48	1.5	1.42
CLT厚さ(m) $d$	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
熱伝導率 ( $W/(m \cdot K)$ ) $\lambda$	0.114	0.106	0.109	0.101	0.100	0.106

t150-3						
測定位置	1	2	3	4	5	平均
熱流密度 ( $W/m^2$ )	11.75	10.97	11.88	11.88	11.16	11.53
20℃側空気温度 (°C)	20.9	20.4	21.1	21	20.4	20.7
20℃側表面温度 (°C)	19.5	19.2	19.6	19.4	19.5	19.4
0℃側表面温度 (°C)	3.8	3.1	3.8	3.8	3.4	3.6
0℃側空気温度 (°C)	2	1.8	1.8	1.9	2.3	1.9
空気温度差 (K)	18.9	18.7	19.3	19.1	18.1	18.8
表面温度差 (K) $\Delta T$	15.7	16.1	15.7	15.7	16.2	15.9
熱貫流率 ( $W/(m^2 \cdot K)$ )	0.62	0.59	0.62	0.62	0.62	0.61
熱貫流抵抗 ( $(m^2 \cdot K)/W$ )	1.61	1.7	1.62	1.61	1.62	1.63
熱抵抗 ( $(m^2 \cdot K)/W$ ) $R_s$	1.34	1.47	1.32	1.32	1.45	1.38
CLT厚さ(m) $d$	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
熱伝導率 ( $W/(m \cdot K)$ ) $\lambda$	0.112	0.102	0.114	0.114	0.103	0.109



表 4-11 試験体毎の熱伝導率λ算出 (t150-4~t150-6)

t150-4

測定位置	1	2	3	4	5	平均
熱流密度(W/m <sup>2</sup> )	14.07	13.97	13.36	13.4	13.32	13.62
20℃側空気温度(℃)	20.8	20.9	21	21	20.9	20.9
20℃側表面温度(℃)	19.7	19.7	19.9	20	20.2	19.9
0℃側表面温度(℃)	1.1	1	1.5	1.3	1.1	1.2
0℃側空気温度(℃)	-0.5	-0.4	-0.5	-0.4	0.1	-0.3
空気温度差(K)	21.3	21.2	21.5	21.4	20.8	21.3
表面温度差(K) ΔT	18.6	18.7	18.4	18.7	19.2	18.7
熱貫流率(W/(m <sup>2</sup> ·K))	0.66	0.66	0.62	0.63	0.64	0.64
熱貫流抵抗((m <sup>2</sup> ·K)/W)	1.51	1.52	1.61	1.6	1.56	1.56
熱抵抗((m <sup>2</sup> ·K)/W) R <sub>s</sub>	<b>1.32</b>	<b>1.34</b>	<b>1.38</b>	<b>1.39</b>	<b>1.44</b>	<b>1.37</b>
CLT厚さ(m) d	<b>0.15</b>	<b>0.15</b>	<b>0.15</b>	<b>0.15</b>	<b>0.15</b>	<b>0.15</b>
熱伝導率(W/(m·K))	<b>0.114</b>	<b>0.112</b>	<b>0.109</b>	<b>0.108</b>	<b>0.104</b>	<b>0.109</b>

t150-5

測定位置	1	2	3	4	5	平均
熱流密度(W/m <sup>2</sup> )	12.33	12.05	11.09	11.69	12.41	11.91
20℃側空気温度(℃)	21.1	20.5	20.7	20.7	20.2	20.7
20℃側表面温度(℃)	19.9	19.2	19.5	19.5	20	19.6
0℃側表面温度(℃)	2.1	1.6	1.9	1.9	1.8	1.9
0℃側空気温度(℃)	0.4	0.3	0.3	0.3	0.7	0.4
空気温度差(K)	20.7	20.2	20.4	20.4	19.5	20.3
表面温度差(K) ΔT	17.8	17.6	17.5	17.6	18.2	17.8
熱貫流率(W/(m <sup>2</sup> ·K))	0.6	0.6	0.54	0.57	0.64	0.59
熱貫流抵抗((m <sup>2</sup> ·K)/W)	1.68	1.68	1.84	1.75	1.57	1.7
熱抵抗((m <sup>2</sup> ·K)/W) R <sub>s</sub>	<b>1.45</b>	<b>1.46</b>	<b>1.58</b>	<b>1.5</b>	<b>1.47</b>	<b>1.49</b>
CLT厚さ(m) d	<b>0.15</b>	<b>0.15</b>	<b>0.15</b>	<b>0.15</b>	<b>0.15</b>	<b>0.15</b>
熱伝導率(W/(m·K)) λ	<b>0.103</b>	<b>0.103</b>	<b>0.095</b>	<b>0.100</b>	<b>0.102</b>	<b>0.101</b>

t150-6

測定位置	1	2	3	4	5	平均
熱流密度(W/m <sup>2</sup> )	14.28	13.34	13.08	12.96	13.24	13.38
20℃側空気温度(℃)	20.6	20.4	20.9	21.1	20.6	20.7
20℃側表面温度(℃)	19.1	19.4	19.7	19.4	19.5	19.4
0℃側表面温度(℃)	0.1	-0.2	0.3	0.2	-0.1	0.1
0℃側空気温度(℃)	-1.6	-1.5	-1.3	-1.4	-0.9	-1.3
空気温度差(K)	22.1	21.9	22.2	22.4	21.5	22
表面温度差(K) ΔT	19	19.6	19.4	19.2	19.6	19.3
熱貫流率(W/(m <sup>2</sup> ·K))	0.65	0.61	0.59	0.58	0.61	0.61
熱貫流抵抗((m <sup>2</sup> ·K)/W)	1.55	1.64	1.7	1.73	1.63	1.65
熱抵抗((m <sup>2</sup> ·K)/W) R <sub>s</sub>	<b>1.33</b>	<b>1.47</b>	<b>1.48</b>	<b>1.48</b>	<b>1.48</b>	<b>1.45</b>
CLT厚さ(m) d	<b>0.15</b>	<b>0.15</b>	<b>0.15</b>	<b>0.15</b>	<b>0.15</b>	<b>0.15</b>
熱伝導率(W/(m·K)) λ	<b>0.113</b>	<b>0.102</b>	<b>0.101</b>	<b>0.101</b>	<b>0.101</b>	<b>0.103</b>

表 4-12 試験体毎の熱伝導率λ算出 (t90-1~t90-3)

t90-1

測定位置	1	2	3	4	5	平均
熱流密度(W/m <sup>2</sup> )	17.96	20.32	17.51	18.22	20.01	18.8
20°C側空気温度(°C)	20.5	20.4	20.6	20.6	20.5	20.5
20°C側表面温度(°C)	18.3	18.6	18.8	18.8	18.8	18.7
0°C側表面温度(°C)	2.5	1.9	2.5	2.7	2.2	2.4
0°C側空気温度(°C)	0.4	0.3	0.6	0.6	0.8	0.5
空気温度差(K)	20	20.1	20.1	20	19.8	20
表面温度差(K) ΔT	15.8	16.7	16.3	16.1	16.6	16.3
熱貫流率 (W/(m <sup>2</sup> ·K))	0.9	1.01	0.87	0.91	1.01	0.94
熱貫流抵抗 ((m <sup>2</sup> ·K)/W)	1.12	0.99	1.15	1.1	0.99	1.07
熱抵抗 ((m <sup>2</sup> ·K)/W) R <sub>s</sub>	<b>0.88</b>	<b>0.82</b>	<b>0.93</b>	<b>0.89</b>	<b>0.83</b>	<b>0.87</b>
CLT厚さ(m) d	<b>0.09</b>	<b>0.09</b>	<b>0.09</b>	<b>0.09</b>	<b>0.09</b>	<b>0.09</b>
熱伝導率(W/(m·K)) λ	<b>0.102</b>	<b>0.110</b>	<b>0.097</b>	<b>0.101</b>	<b>0.108</b>	<b>0.103</b>

t90-2

測定位置	1	2	3	4	5	平均
熱流密度(W/m <sup>2</sup> )	18.48	18.12	18.32	17.61	19.02	18.31
20°C側空気温度(°C)	20.4	20.2	20.9	20.9	20.7	20.6
20°C側表面温度(°C)	18.5	18.7	18.5	18.8	19.5	18.8
0°C側表面温度(°C)	2.5	2.2	2.7	2.8	2.2	2.4
0°C側空気温度(°C)	0.5	0.5	0.6	0.6	1.1	0.7
空気温度差(K)	20	19.7	20.3	20.4	19.6	20
表面温度差(K) ΔT	16.1	16.5	15.9	16	17.3	16.4
熱貫流率 (W/(m <sup>2</sup> ·K))	0.93	0.92	0.9	0.86	0.97	0.92
熱貫流抵抗 ((m <sup>2</sup> ·K)/W)	1.08	1.09	1.11	1.16	1.03	1.09
熱抵抗 ((m <sup>2</sup> ·K)/W) R <sub>s</sub>	<b>0.87</b>	<b>0.91</b>	<b>0.87</b>	<b>0.91</b>	<b>0.91</b>	<b>0.89</b>
CLT厚さ(m) d	<b>0.09</b>	<b>0.09</b>	<b>0.09</b>	<b>0.09</b>	<b>0.09</b>	<b>0.09</b>
熱伝導率(W/(m·K)) λ	<b>0.103</b>	<b>0.099</b>	<b>0.103</b>	<b>0.099</b>	<b>0.099</b>	<b>0.101</b>

t90-3

測定位置	1	2	3	4	5	平均
熱流密度(W/m <sup>2</sup> )	17.75	18.73	17.29	17.52	18.61	17.98
20°C側空気温度(°C)	21.1	20.8	21.2	21.3	20.6	21
20°C側表面温度(°C)	19.1	19.2	19.3	19.3	19.3	19.3
0°C側表面温度(°C)	2.9	1.9	2.9	2.6	1.9	2.4
0°C側空気温度(°C)	0.6	0.3	0.5	0.4	0.8	0.5
空気温度差(K)	20.5	20.5	20.7	20.8	19.8	20.5
表面温度差(K) ΔT	16.2	17.3	16.4	16.7	17.3	16.8
熱貫流率 (W/(m <sup>2</sup> ·K))	0.86	0.91	0.83	0.84	0.94	0.88
熱貫流抵抗 ((m <sup>2</sup> ·K)/W)	1.16	1.09	1.2	1.19	1.07	1.14
熱抵抗 ((m <sup>2</sup> ·K)/W) R <sub>s</sub>	<b>0.92</b>	<b>0.92</b>	<b>0.95</b>	<b>0.96</b>	<b>0.93</b>	<b>0.94</b>
CLT厚さ(m) d	<b>0.09</b>	<b>0.09</b>	<b>0.09</b>	<b>0.09</b>	<b>0.09</b>	<b>0.09</b>
熱伝導率(W/(m·K)) λ	<b>0.098</b>	<b>0.098</b>	<b>0.095</b>	<b>0.094</b>	<b>0.097</b>	<b>0.096</b>

表 4-13 試験体毎の熱伝導率λ算出 (t90-4~t90-6)

t90-4

測定位置	1	2	3	4	5	平均
熱流密度(W/m <sup>2</sup> )	18.22	17.86	16.77	17.49	17.67	17.6
20°C側空気温度(°C)	21.2	20.9	20.8	20.8	20.5	20.8
20°C側表面温度(°C)	19.1	18.6	18.8	18.9	19.6	19
0°C側表面温度(°C)	2.9	1.8	2.9	2.8	2	2.5
0°C側空気温度(°C)	0.6	0.3	0.5	0.6	0.7	0.5
空気温度差(K)	20.6	20.6	20.3	20.2	19.7	20.3
表面温度差(K) ΔT	16.2	16.8	15.9	16.2	17.7	16.6
熱貫流率 (W/(m <sup>2</sup> ·K))	0.88	0.87	0.83	0.86	0.9	0.87
熱貫流抵抗 ((m <sup>2</sup> ·K)/W)	1.13	1.15	1.21	1.16	1.12	1.15
熱抵抗 ((m <sup>2</sup> ·K)/W) R <sub>s</sub>	<b>0.89</b>	<b>0.94</b>	<b>0.95</b>	<b>0.92</b>	<b>1</b>	<b>0.94</b>
CLT厚さ(m) d	<b>0.09</b>	<b>0.09</b>	<b>0.09</b>	<b>0.09</b>	<b>0.09</b>	<b>0.09</b>
熱伝導率(W/(m·K)) λ	<b>0.101</b>	<b>0.096</b>	<b>0.095</b>	<b>0.098</b>	<b>0.090</b>	<b>0.096</b>

t90-5

測定位置	1	2	3	4	5	平均
熱流密度(W/m <sup>2</sup> )	18.7	19.41	18.17	17.88	19.96	18.83
20°C側空気温度(°C)	20.9	20.8	21.1	21.2	20.8	21
20°C側表面温度(°C)	18.9	19	19.4	19.5	19.4	19.3
0°C側表面温度(°C)	1.5	0.9	2	1.6	1	1.4
0°C側空気温度(°C)	-0.5	-0.5	-0.3	-0.4	0	-0.3
空気温度差(K)	21.4	21.3	21.5	21.6	20.9	21.3
表面温度差(K) ΔT	17.4	18.1	17.4	17.9	18.5	17.9
熱貫流率 (W/(m <sup>2</sup> ·K))	0.88	0.91	0.85	0.83	0.96	0.88
熱貫流抵抗 ((m <sup>2</sup> ·K)/W)	1.14	1.1	1.18	1.21	1.05	1.13
熱抵抗 ((m <sup>2</sup> ·K)/W) R <sub>s</sub>	<b>0.93</b>	<b>0.93</b>	<b>0.96</b>	<b>1</b>	<b>0.93</b>	<b>0.95</b>
CLT厚さ(m) d	<b>0.09</b>	<b>0.09</b>	<b>0.09</b>	<b>0.09</b>	<b>0.09</b>	<b>0.09</b>
熱伝導率(W/(m·K)) λ	<b>0.097</b>	<b>0.097</b>	<b>0.094</b>	<b>0.090</b>	<b>0.097</b>	<b>0.095</b>

t90-6

測定位置	1	2	3	4	5	平均
熱流密度(W/m <sup>2</sup> )	18.58	18.78	18.4	18.81	19.6	18.83
20°C側空気温度(°C)	20.5	20.4	20.8	20.8	20.4	20.6
20°C側表面温度(°C)	18.8	18.8	19	19.1	19	19
0°C側表面温度(°C)	1.8	1.1	2.1	1.9	1.1	1.6
0°C側空気温度(°C)	-0.5	-0.5	-0.3	-0.4	0.1	-0.3
空気温度差(K)	21	20.9	21.1	21.2	20.3	20.9
表面温度差(K) ΔT	17.1	17.7	16.9	17.2	17.9	17.4
熱貫流率 (W/(m <sup>2</sup> ·K))	0.88	0.9	0.87	0.89	0.96	0.9
熱貫流抵抗 ((m <sup>2</sup> ·K)/W)	1.13	1.11	1.15	1.13	1.04	1.11
熱抵抗 ((m <sup>2</sup> ·K)/W) R <sub>s</sub>	<b>0.92</b>	<b>0.94</b>	<b>0.92</b>	<b>0.91</b>	<b>0.91</b>	<b>0.92</b>
CLT厚さ(m) d	<b>0.09</b>	<b>0.09</b>	<b>0.09</b>	<b>0.09</b>	<b>0.09</b>	<b>0.09</b>
熱伝導率(W/(m·K)) λ	<b>0.098</b>	<b>0.096</b>	<b>0.098</b>	<b>0.099</b>	<b>0.099</b>	<b>0.098</b>

#### 4. 1. 5 熱伝導率の統計的考察（高知県森林技術センター）

熱伝導率  $\lambda$  の表 4-10~4-13 の熱伝導率  $\lambda$  の結果から平均値、標準偏差、変動係数を算出する。熱伝導率  $\lambda$  値の実験値と頻度でグラフ化（図 4-4）し、サンプル数に限りがあるため、統計学的な考察も行った。

自然現象の場合、観測サンプル数を極限まで増やすと、そのデータは正規分布に従う。そこで、今回の検討では正規分布を仮定する。図 4-5 に平均値と標準偏差を基にした正規分布を示す。平均値  $\mu$  + 標準偏差の 2 倍である  $2\sigma$ （全体の約 95%）は 0.1166 となった。それは、CLT の試験体の約 95% の熱伝導率  $\lambda$  が 0.116 以下であることを示唆している。安全側を考慮しても CLT 試験体の熱伝導率  $\lambda$  は 0.12 であるといえる。

平均値  $\mu$  : 0.1028W/(m・K)

標準偏差  $\sigma$  : 0.0071 W/(m・K)

変動係数 : 0.0672

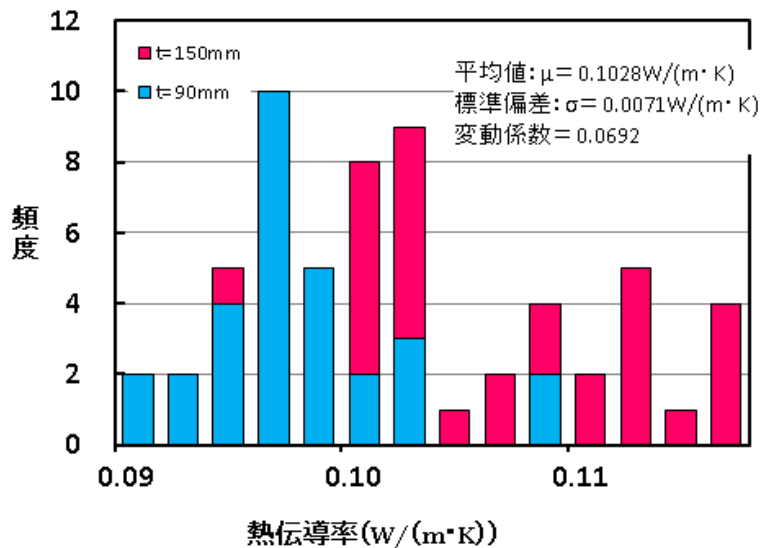


図 4-4 CLT 試験体の熱伝導率  $\lambda$  とその頻度

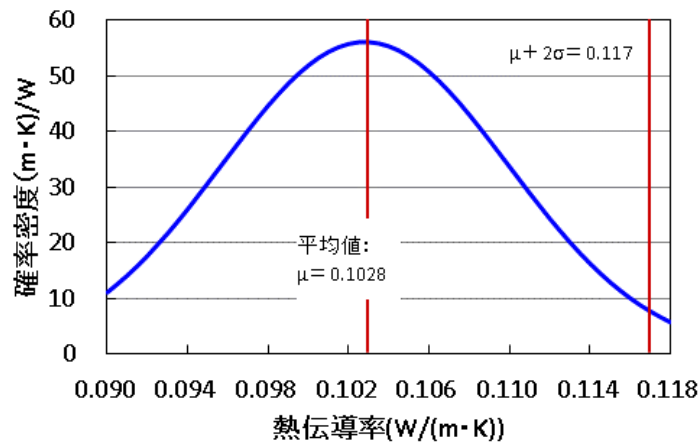


図 4-5 同じ平均値と標準偏差をもつ正規分布

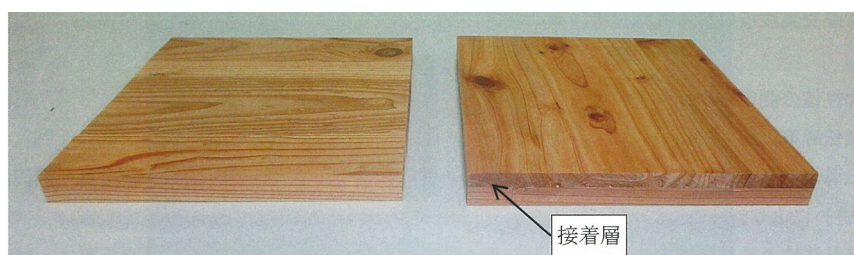
#### 4. 2 一般財団法人 建材試験センターの熱伝導率算出について

建材試験センターの実験条件、実験結果を以下に示す。

##### 4. 2. 1 試験体（建材試験センター）

試験体は、1 プライ厚の接着層ありを 3 体、接着層なしを 3 体、合計 6 体とした。

樹種は杉であり、インサイジングにより内部に防腐剤が注入されている。インサイジング部は小さな空気穴となり熱伝導率の計測値が小さくなると考えられたが、空気層が触れることによる熱流計測の妨げになることも考えられたため、ここではインサイジング部を削り取った試験体を使用した。



接着層を含まない部分 (No. 1-3)

接着層を含む部分 (No. 4-6)

写真 4 - 3 試験体

##### 4. 2. 2 試験方法（建材試験センター）

試験は、恒温槽を用い、JISA1412-2(熱絶縁材の熱抵抗及び熱伝導率の測定方法—第 2 部：熱流計法(HFM 法))に準拠して行った。熱流計法による熱伝導率の測定は、平板状の試験体の両表面に温度差を生じさせた際に、試験体を通過する熱量を熱流計にて測定し、熱伝導率および熱抵抗を求める方法である。測定方法の概要を図 4-6 に、試験状況を写真 4-4 に示す。100 mm離れた位置の空気温度を各々 5 点、熱流センサと T 型熱電対により測定した。

表 4 - 14 熱伝導率の測定条件

項目	内容
試験体平均温度	23°C
養生条件	温度 23°C、相対湿度 50%の雰囲気下にて恒量とした
試験体条件	(No.1-3) 接着層なし (CLT 面外方向) (No.4-6) 接着層あり (CLT 面外方向)
試験体寸法	200mm×200mm
試験体数量	各 3 体

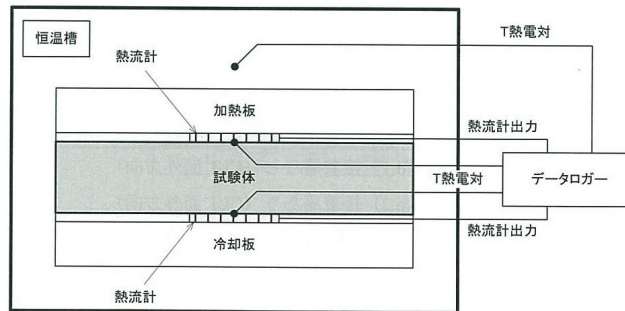


図 4-6 測定方法の概要

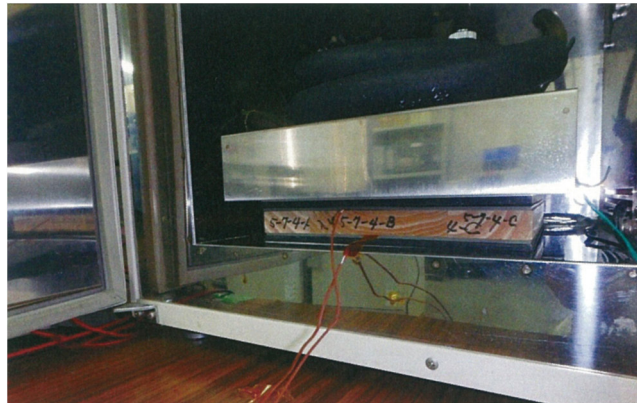


写真 4-4 試験状況

#### 4. 2. 3 試験結果（建材試験センター）

各測定点の測定値より、CLT の熱伝導率、熱抵抗を算出した。各試験体の測定値と計算結果を表 4-15～表 4-16 に示す。

表 4-15 試験結果(接着層を含まない部分)

項目	結果			
	No.1	No.2	No.3	平均
試験体番号	No.1	No.2	No.3	平均
寸法(mm)	200×200 厚さ 18.0	200×200 厚さ 17.5	200×200 厚さ 18.2	-
密度(kg/m <sup>3</sup> )	465	421	436	441
含水率(kg/kg)*	0.095	0.093	0.099	0.096
試験体平均温度 θ <sub>m</sub> (°C)	23.3	23.0	22.9	-
温度差 ΔT(K)	19.4	19.8	20.0	-
試験体を通過する熱流密度 q(W/m <sup>2</sup> )	136.80	141.91	128.27	-
熱伝導率 λ(W/(m <sup>2</sup> ·K))	0.127	0.125	0.117	0.123
熱抵抗 R((m <sup>2</sup> ·K)/W)	0.142	0.140	0.156	-

表 4-16 試験結果(接着層を含む部分)

項目	結果			
	No.4	No.5	No.6	平均
試験体番号	No.4	No.5	No.6	平均
寸法(mm)	200×200 厚さ 23.1	200×200 厚さ 23.1	200×200 厚さ 22.1	-
密度(kg/m <sup>3</sup> )	451	423	428	434
含水率(kg/kg) <sup>*</sup>	0.091	0.090	0.095	0.092
試験体平均温度 $\theta_m$ (°C)	23.0	23.1	23.1	-
温度差 $\Delta T$ (K)	20.3	19.8	19.8	-
試験体を通過する熱流密度 $q$ (W/m <sup>2</sup> )	113.23	93.61	102.57	-
熱伝導率 $\lambda$ (W/(m <sup>2</sup> ·K))	0.129	0.109	0.114	0.117
熱抵抗 $R$ (m <sup>2</sup> ·K/W)	0.179	0.212	0.193	-

※ 試験後に 103±2°Cの乾燥機にて絶乾とした後、JISA1476(建築材料の含水率測定方法)に則って求めた。

#### 4. 2. 4 熱伝導率の統計的考察(建材試験センター)

熱伝導率  $\lambda$  の表 4-15~4-16 の熱伝導率  $\lambda$  の結果から平均値、標準偏差、変動係数を算出する。熱伝導率  $\lambda$  値の実験値と頻度でグラフ化(図 4-7)し、こちらはサンプル数が非常に少ないため、無理矢理ではあるが、統計学的な考察を行った。

図 4-8 に平均値と標準偏差を基にした正規分布を示す。1 プライ厚の CLT 試験体の熱伝導率は、平均値  $\mu$ +標準偏差の 2 倍である  $2\sigma$  (全体の約 95%) は 0.136 となった。それは、CLT の試験体の約 95%の熱伝導率  $\lambda$  が 0.136 以下であることを示唆している。安全側を考慮すると CLT 試験体の熱伝導率  $\lambda$  は 0.14 である。しかしながら、防腐剤の影響、インサイジングしている部分を削り取ったこと、1 プライ厚かつサンプル数も少ないことから、参考情報として扱うべきだと考えられる。

平均値  $\mu$  : 0.1200W/(m · K)

標準偏差  $\sigma$  : 0.0082 W/(m · K)

変動係数 : 0.0679

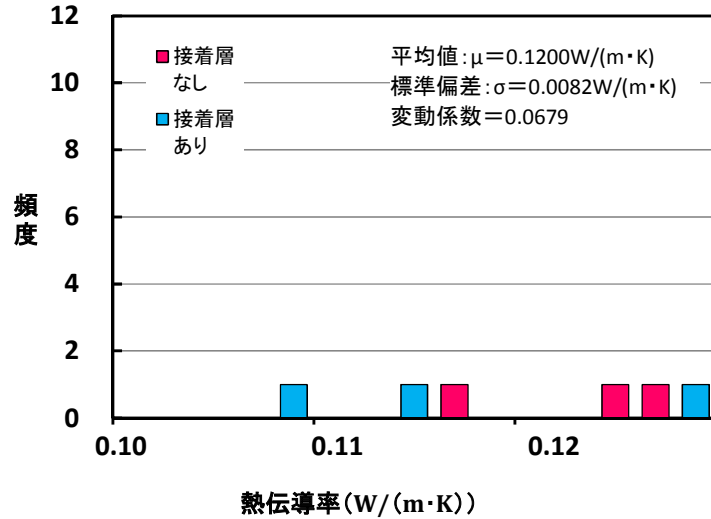


図 4-7 CLT 試験体の熱伝導率 λ とその頻度

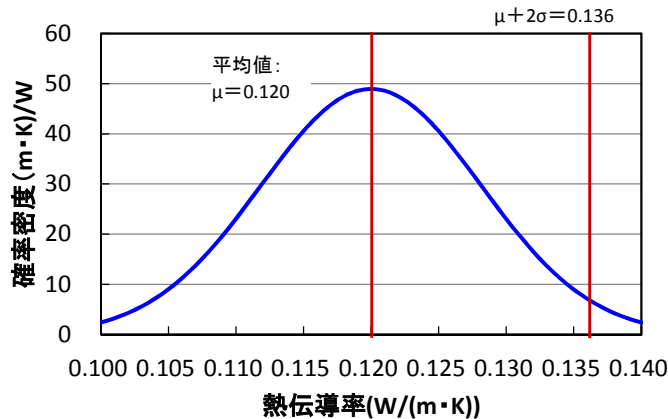


図 4-8 同じ平均値と標準偏差をもつ正規分布

#### 4.3 まとめ

CLT 建築物の壁パネルとして通常想定している厚みは低層で 3 層 3 プライ (90mm)、中層以上で 5 層 5 プライ (150mm) の熱伝導率、1 プライ厚の熱伝導率を明らかにした。

3 層 3 プライ、5 層 5 プライである製品としての CLT 試験体の熱伝導率は、平均値  $\mu$  + 標準偏差の 2 倍の  $2\sigma$  は 0.1166 となり、CLT 試験体の 95% の熱伝導率  $\lambda$  が 0.116 以下であることを示唆しており、安全側を考慮して CLT 試験体の熱伝導率  $\lambda$  は 0.12 であるといえる。

1 プライ厚の CLT 試験体の熱伝導率は、平均値  $\mu$  + 標準偏差の 2 倍の  $2\sigma$  は 0.136 となり、CLT 試験体の 95% の熱伝導率  $\lambda$  が 0.136 以下であることを示唆しており、安全側を考慮して CLT 試験体の熱伝導率  $\lambda$  は 0.14 であるといえる。しかしながら、防腐剤の影響、インサイジング部分を削り取ったこと、1 プライ厚かつサンプル数が少ないことを考慮すると、製品としての CLT の熱伝導率  $\lambda$  は、0.12 を優先することが適切だと考えられる。



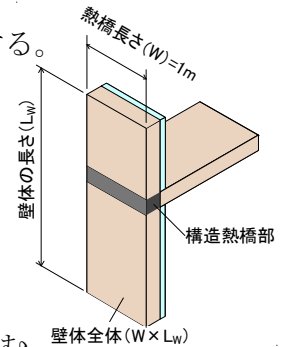
## 5. 構造熱橋部の線熱貫流率 $\psi$

線熱貫流率とは、熱橋部において熱橋長さ1メートルあたりの熱貫流率のことである。

構造熱橋部とは、CLT パネル工法住宅における構造部材等（CLT パネル）による熱橋部をいい、当該熱橋部の長さとは、屋根と壁、壁と床の CLT パネルの取合部（但し、6章の金物熱橋部を除く）の水平方向の長さをいう。線熱貫流率の求め方を以下に示す。

### 5. 1 線熱貫流率の求め方

CLT の住宅の線熱貫流率は、以下の(1)から(3)までの方法により求める。100分の1未満の端数を切り上げた小数第二位までの値とする。



#### (1) 構造熱橋部を含む壁体全体の貫流熱損失 ( $Q_w$ ) を求める。

「[熱橋長さ (W) = 1m] × 壁体の長さ (L<sub>w</sub>) の構造熱橋部を含む計算モデルを設定し、定常2次元伝熱計算プログラムを用いて壁体全体の貫流熱損失を求める。

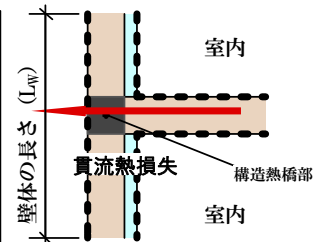
$$Q_w = U_w \times L_w \times W$$

$Q_w$  : 構造熱橋部を含む壁体全体の貫流熱損失 [W/K]

$U_w$  : 構造熱橋部を含む壁体全体の熱貫流率 [W/(m<sup>2</sup> · K)]

$L_w$  : 壁体の長さ [m]

$W$  : 熱橋長さ (1m)



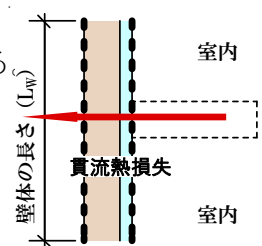
#### (2) 熱橋がないと仮定した場合の壁体全体の貫流熱損失 ( $Q_g$ ) を求める。

(1) で設定した構造熱橋部を含む計算モデルをもとに熱橋がないと仮定した場合の計算モデルを設定し、壁体全体の貫流熱損失を求める。

$$Q_g = U_g \times L_w \times W$$

$Q_g$  : 熱橋がないと仮定した場合の壁体全体の貫流熱損失 [W/K]

$U_g$  : 熱橋がないと仮定した場合の壁体全体の熱貫流率 [W/(m<sup>2</sup> · K)]



#### (3) 線熱貫流率 ( $\psi$ ) を求める。

(1) と (2) で求めた貫流熱損失の差、つまり熱橋の影響による貫流熱損失増加分が線熱貫流率となる。

$$\psi = Q_w / W - Q_g / W$$

$$= U_w \times L_w - U_g \times L_w$$

$\psi$  : 線熱貫流率 [W/(m · K)]

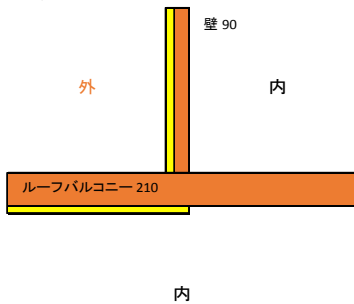
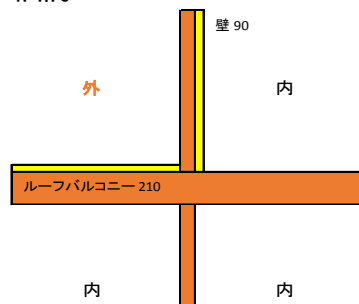
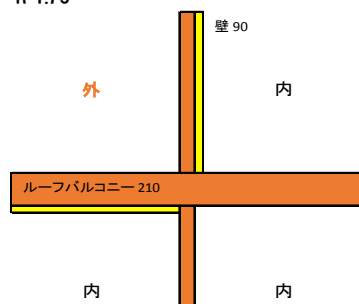
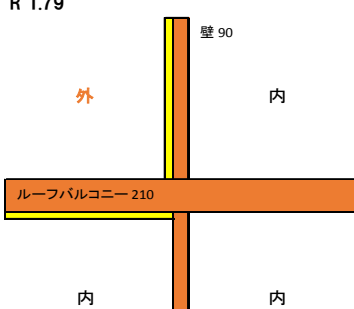
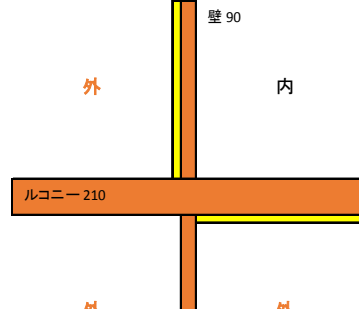
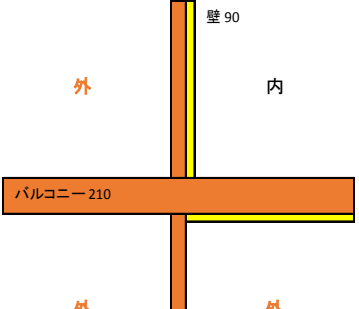
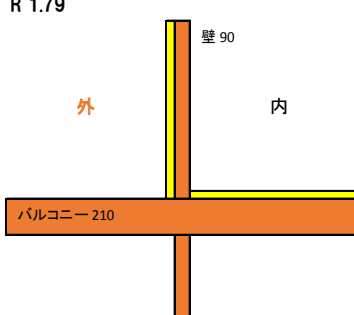
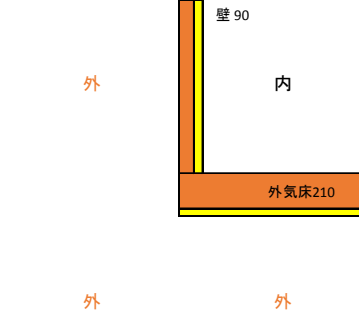
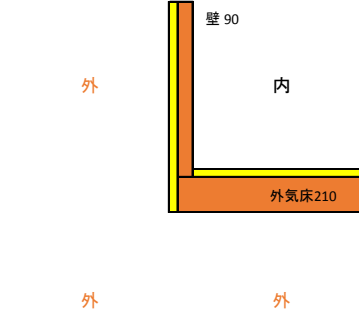
## 5. 2 計算対象

表 5-1 に計算対象の一覧を示す。

表 5-1 計算対象の一覧

No. 2	No. 3	No. 4
<p>R 1.79</p>	<p>R 1.79</p>	<p>R 1.79</p>
No. 5	No. 6	No. 7
<p>R 1.79</p>	<p>R 1.79</p>	<p>R 1.79</p>
No. 8	No. 9	No. 10
<p>R 1.79</p>	<p>R 1.79</p>	<p>R 1.79</p>

No. 11	No. 12	No. 13
<p>R 1.79</p>	<p>R 1.79</p>	<p>R 1.79</p>
No. 14	No. 15	No. 16
<p>R 1.79</p>	<p>R 1.79</p>	<p>R 1.79</p>
No. 17	No. 18	No. 19
<p>R 1.79</p>	<p>R 1.79</p>	<p>R 1.79</p>

<p>No. 20</p> <p>R 1.79</p> 	<p>No. 21</p> <p>R 1.79</p> 	<p>No. 22</p> <p>R 1.79</p> 
<p>No. 23</p> <p>R 1.79</p> 	<p>No. 24</p> <p>R 1.79</p> 	<p>No. 25</p> <p>R 1.79</p> 
<p>No. 26</p> <p>R 1.79</p> 	<p>No. 27</p> <p>R 1.79</p> 	<p>No. 28</p> <p>R 1.79</p> 

### 5. 3 計算条件

INSYS2 次元伝熱・結露システム Ver.2.2.2/(株)建築環境ソリューションズを用いた。  
設定値を表 5-2 に示す。

表 5 - 2 設定値

設定項目	設定値
壁厚	90mm (屋根・壁)、210mm (床)
CLT の熱伝導率	0.13(W/(m・K))
室内側の表面熱伝達抵抗	0.09((m <sup>2</sup> ・K)/W)
外気側の表面熱伝達抵抗	0.04((m <sup>2</sup> ・K)/W)
室内の気温、相対湿度	15℃
外気温	-10℃
断熱材の熱抵抗	0.53、1.79、3.41((m <sup>2</sup> ・K)/W)

### 5. 4 計算結果

計算結果の一覧を次ページの表 5-3 に示す。赤字の括弧は値がマイナスである。

表5-3 構造熱橋部の線熱貫流率  $\psi$

No.	計算名	CLTの厚さ [mm]			線熱貫流率( $\psi$ ) [W/(m <sup>2</sup> ·K)]		
		壁	床	屋根	断熱材の熱抵抗(R) [m <sup>2</sup> ·K/W]		
					0.53	1.79	3.41
1	T_界床_外断_なし_構造	90	210	-			
2	T_界床_内断_なし_構造	90	210	-	0.001	0.058	0.076
3	+_界床-バルコニー_外断_構造	90	210	-	(0.028)	0.040	0.064
4	+_界床-バルコニー_内断_構造	90	210	-	(0.028)	0.040	0.063
5	T_外気床_界床_内断_外断_構造	90	210	-	(0.052)	(0.015)	0.003
6	T_外気床_界床_内断_内断_構造	90	210	-	(0.023)	0.030	0.052
7	T_外気床_界床_外断_内断_構造	90	210	-	(0.036)	0.014	0.037
8	+_外気床_界床_内断_外断_構造	90	210	-	(0.053)	(0.016)	0.002
9	+_外気床_界床_内断_内断_構造	90	210	-	(0.021)	0.040	0.070
10	+_外気床_界床_外断_内断_構造	90	210	-	(0.039)	0.010	0.032
11	T_軒_屋根_外断_外断_構造	90	-	90	(0.007)	0.029	0.039
12	T_軒_屋根_内断_外断_構造	90	-	90	(0.033)	(0.001)	0.013
13	+_外気床_外気床_なし_外断_構造	90	210	-	0.003	0.019	0.028
14	+_外気床_外気床_なし_内断_構造	90	210	-	0.003	0.019	0.028
15	L_屋根_外断_外断_構造	90	-	90	(0.007)	0.029	0.039
16	L_屋根_外断_内断_構造	90	-	90	(0.033)	(0.001)	0.013
17	L_屋根_内断_外断_構造	90	-	90	(0.027)	0.006	0.020
18	T_界床_ルーフバルコニー_内断_外断_構造	90	210	-	(0.052)	(0.015)	0.003
19	T_界床_ルーフバルコニー_内断_内断_構造	90	210	-	(0.023)	0.030	0.052
20	T_界床_ルーフバルコニー_外断_内断_構造	90	210	-	(0.040)	0.007	0.029
21	+_界床_ルーフバルコニー_内断_外断_構造	90	210	-	(0.053)	(0.016)	0.002
22	+_界床_ルーフバルコニー_内断_内断_構造	90	210	-	(0.021)	0.040	0.070
23	+_界床_ルーフバルコニー_外断_内断_構造	90	210	-	(0.039)	0.010	0.032
24	+_外気床_バルコニー_外断_外断_構造	90	210	-	(0.026)	0.037	0.068
25	+_外気床_バルコニー_内断_外断_構造	90	210	-	(0.043)	0.006	0.030
26	+_外気床_バルコニー_外断_内断_構造	90	210	-	(0.058)	(0.019)	0.000
27	L_外気床_内断_外断_構造	90	210	-	(0.035)	0.012	0.034
28	L_外気床_外断_内断_構造	90	210	-	(0.059)	(0.026)	(0.007)

断熱材の熱抵抗 R が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。断熱材の熱抵抗 R が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。

CLT パネルで構成された構造熱橋部の線熱貫流率は、断熱材の熱抵抗 R が 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]の場合、ほぼ全てのケースでマイナスになる。断熱材の熱抵抗 R が大きくなると、線熱貫流率も大きくなる。断熱材の熱抵抗 R が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]となっても、線熱貫流率は 0.076 [W/(m<sup>2</sup>·K)]が最大値となった。

それは、断熱材の熱抵抗が大きくなると、熱橋部に熱流が集中するため、熱橋の熱流量が多くなるためだと考えられる。

次ページ以降に、各ケースの断熱材の熱抵抗 R と線熱貫流率  $\psi$  の傾向を確認した。

No. 2 T型熱橋モデル（壁：内断熱、床：断熱なし、金物なし）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

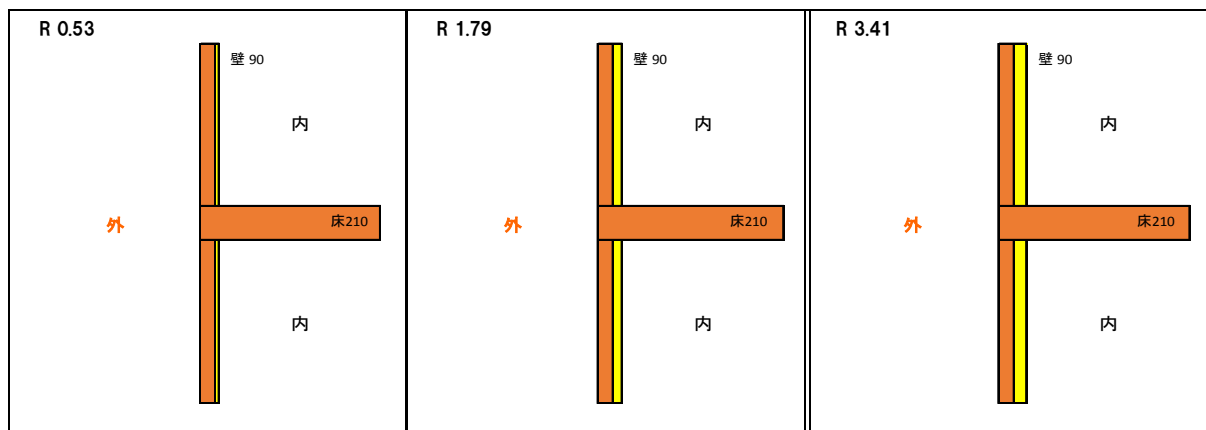


図 5 - 1 T型熱橋モデル（壁：内断熱、床：断熱なし、金物なし）

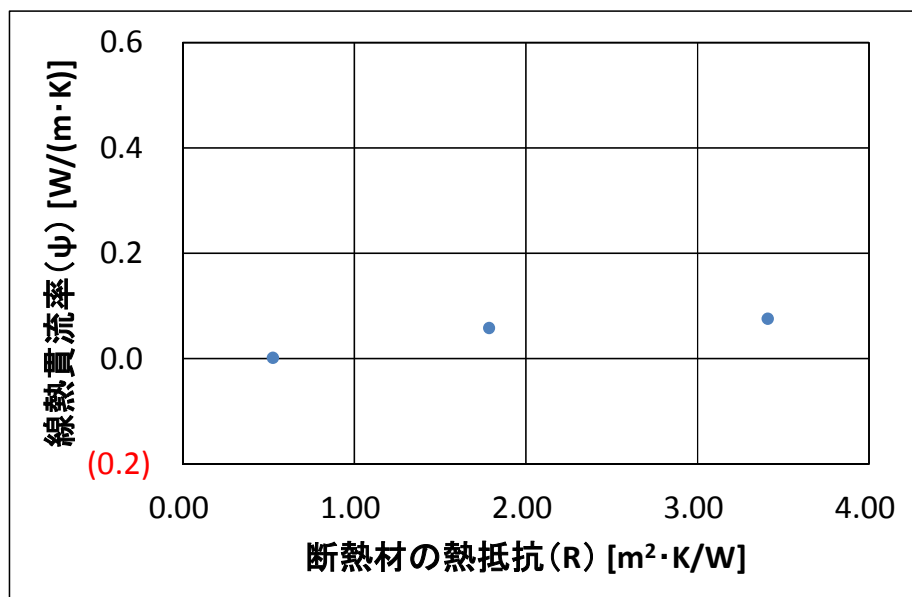


図 5 - 2 T型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

- ・断熱材の熱抵抗（R）が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が大きくなるにつれ、線熱貫流率（ $\psi$ ）も 0.001 [W/(m·K)]、0.058 [W/(m·K)]、0.076 [W/(m·K)]と徐々に大きくなった。  
それは、断熱材の熱抵抗が大きくなると、熱橋部を流れる熱流量が大きくなるためだと考えられる。

No. 3 +型熱橋モデル（壁：外断熱、床：断熱なし、金物なし）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

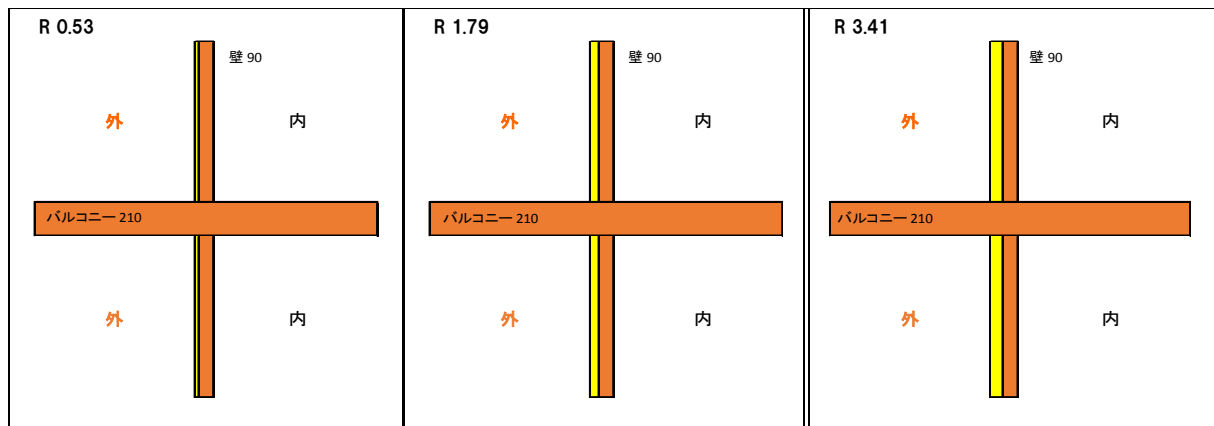


図 5 - 3 +型熱橋モデル（壁：外断熱、床：断熱なし、金物なし）

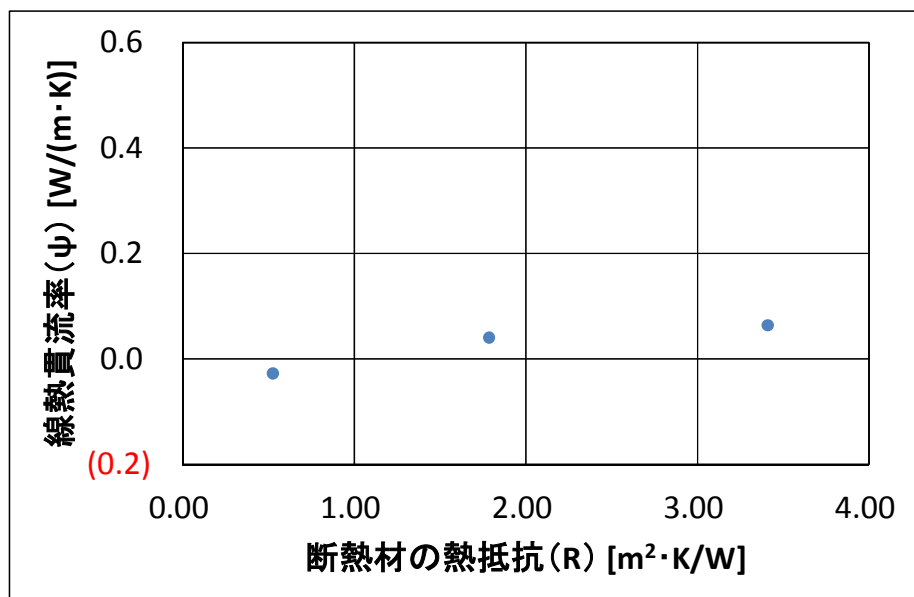


図 5 - 4 +型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

- ・断熱材の熱抵抗（R）が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が大きくなるにつれ、線熱貫流率（ $\psi$ ）も (0.028) [W/(m·K)]、0.040 [W/(m·K)]、0.064 [W/(m·K)]と徐々に大きくなった。  
それは、断熱材の熱抵抗が大きくなると、熱橋部を流れる熱流量が大きくなるためだと考えられる。



No. 4 +型熱橋モデル（壁：内断熱、床：断熱なし、金物なし）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

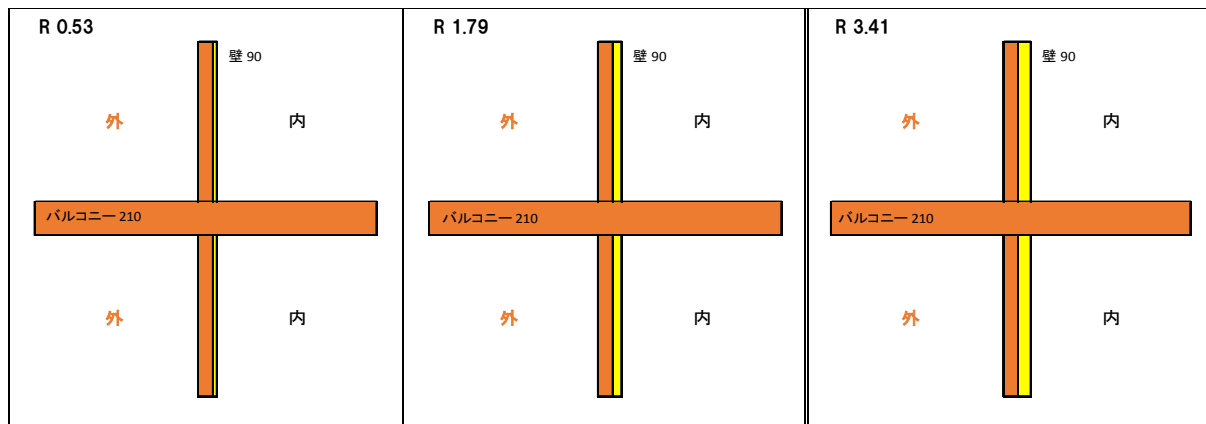


図 5 - 5 +型熱橋モデル（壁：内断熱、床：断熱なし、金物なし）

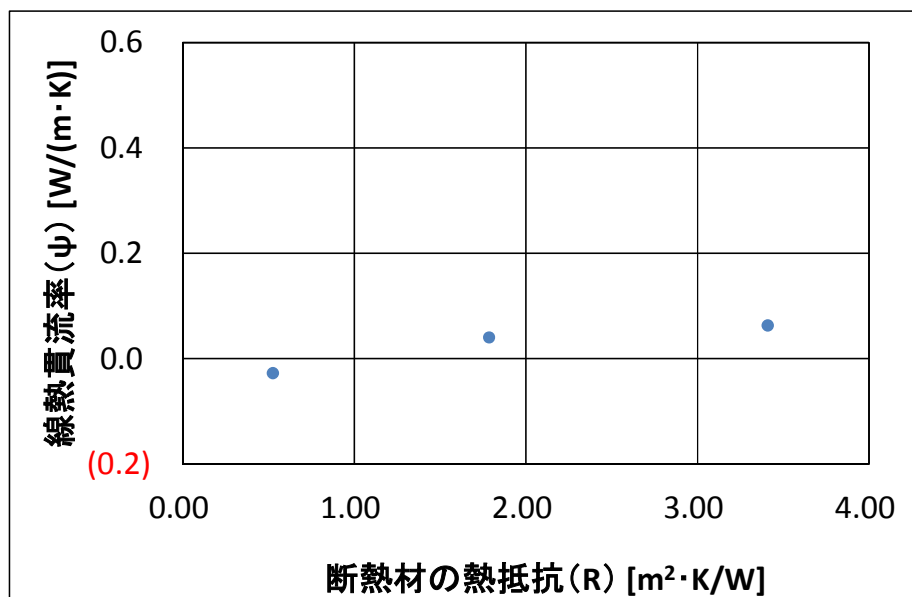


図 5 - 6 +型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

- ・断熱材の熱抵抗（R）が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が大きくなるほど、線熱貫流率（ $\psi$ ）も大きくなった。  
それは、断熱材の熱抵抗が大きくなると、熱橋部を流れる熱流量が大きくなるためだと考えられる。

No. 5 T型熱橋モデル（壁：内断熱、外気床：外断熱、金物なし）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

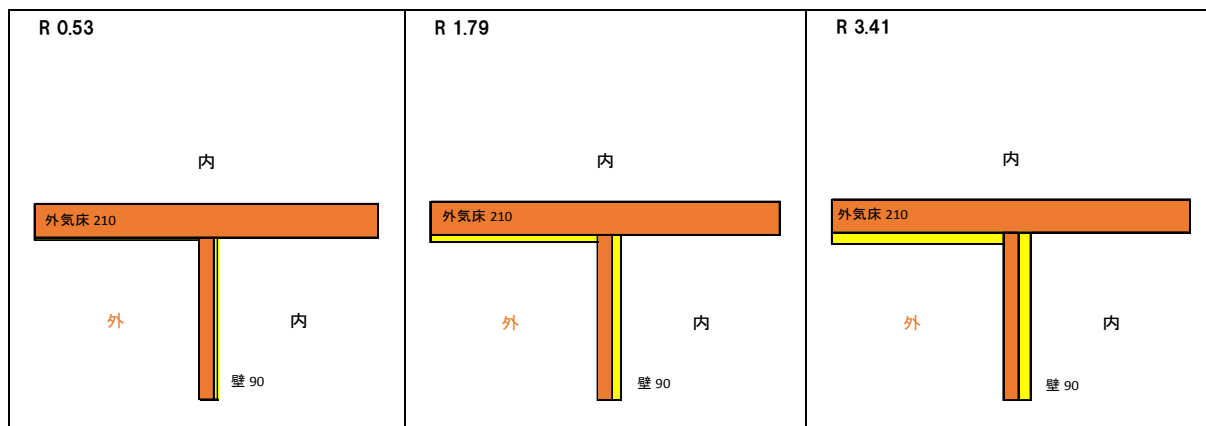


図5-7 T型熱橋モデル（壁：内断熱、外気床：外断熱、金物なし）

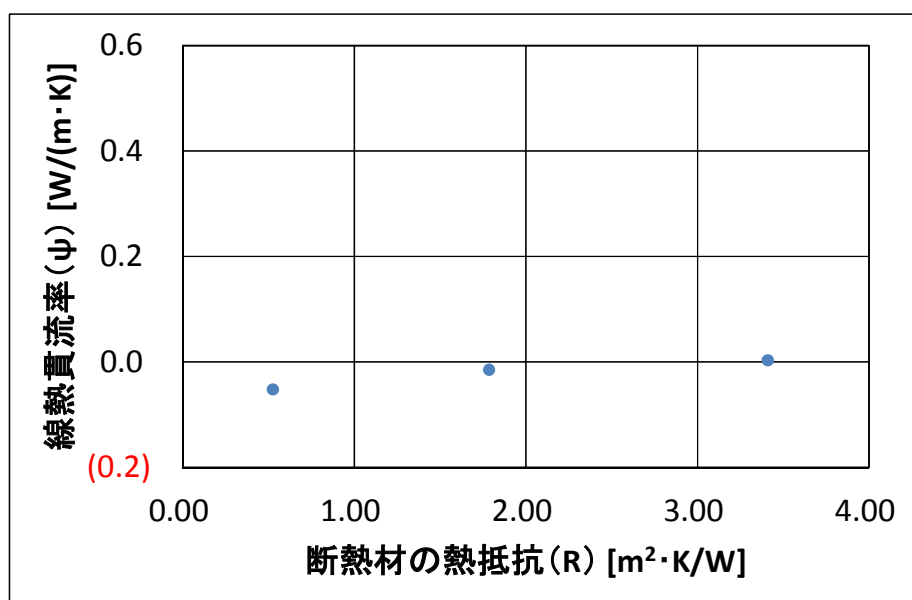


図5-8 T型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

- ・断熱材の熱抵抗（R）が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が大きくなると、線熱貫流率（ $\psi$ ）も **(0.052)** [W/(m·K)]、**(0.015)** [W/(m·K)]、0.003 [W/(m·K)]と徐々に大きくなった。  
それは、断熱材の熱抵抗が大きくなると、熱橋部を流れる熱流量が大きくなるためだと考えられる。

No. 6 T型熱橋モデル（壁：内断熱、外気床：内断熱、金物なし）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

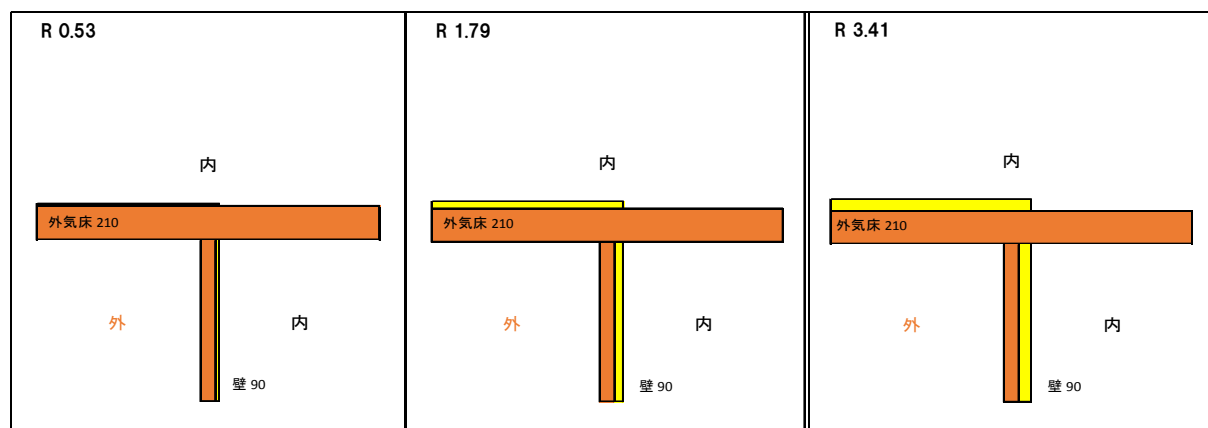


図5-9 T型熱橋モデル（壁：内断熱、外気床：内断熱、金物なし）

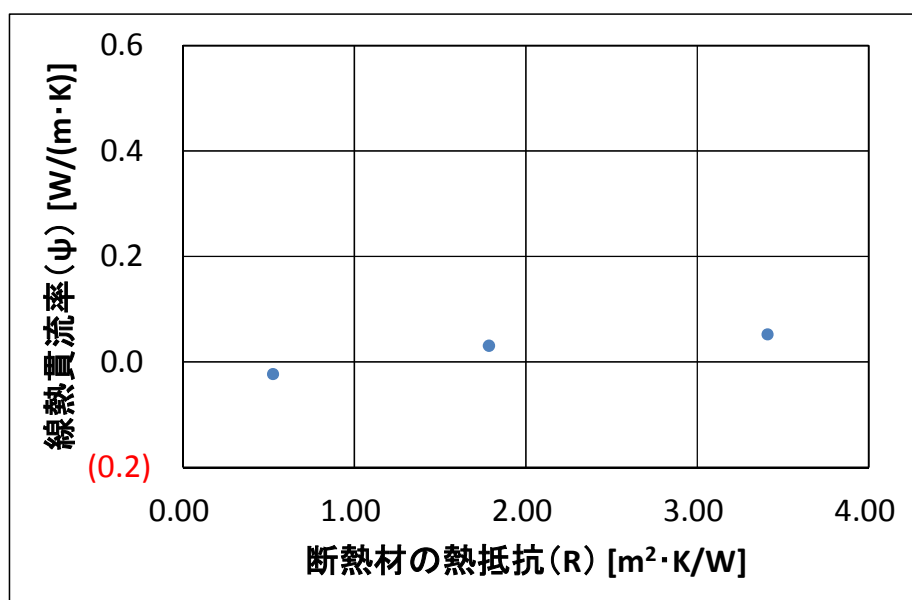


図5-10 T型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

- ・断熱材の熱抵抗（R）が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が大きくなるほど、線熱貫流率（ $\psi$ ）も大きくなった。  
それは、断熱材の熱抵抗が大きくなると、熱橋部を流れる熱流量が大きくなるためだと考えられる。

No. 7 T型熱橋モデル（壁：外断熱、外気床：内断熱、金物なし）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

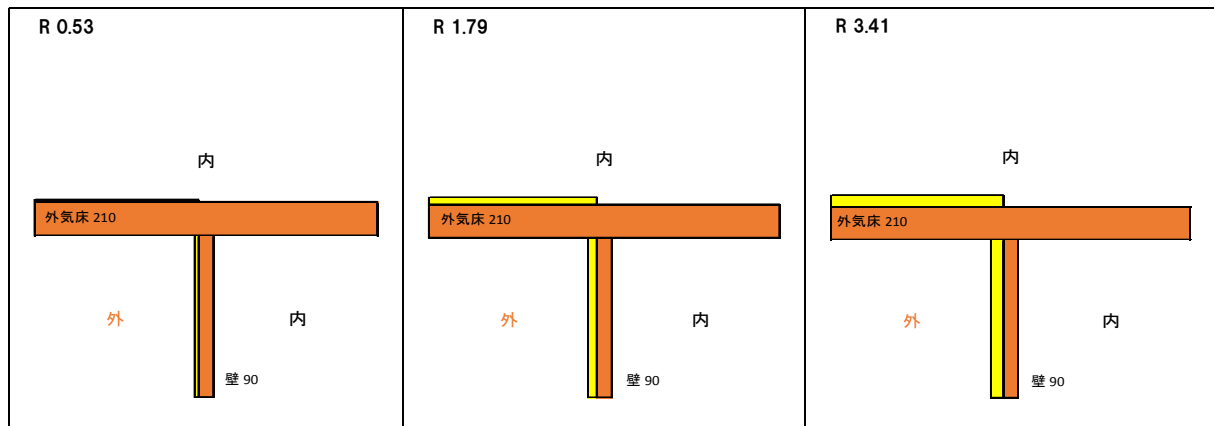


図5-11 T型熱橋モデル（壁：外断熱、外気床：内断熱、金物なし）

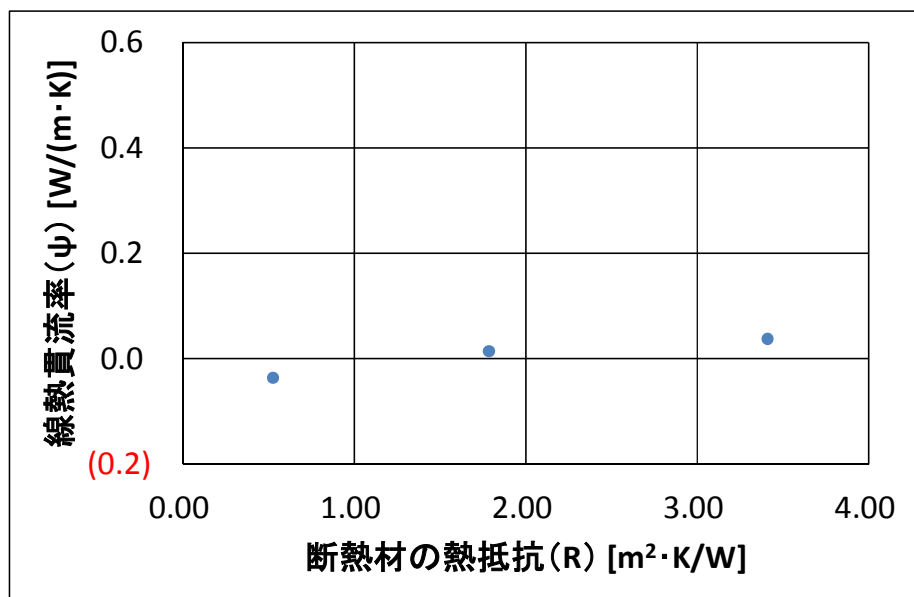


図5-12 T型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

- ・断熱材の熱抵抗（R）が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が大きくなると、線熱貫流率（ $\psi$ ）も徐々に大きくなった。  
それは、断熱材の熱抵抗が大きくなると、熱橋部を流れる熱流量が大きくなるためだと考えられる。

No. 8 +型熱橋モデル（壁：内断熱、外気床：外断熱、金物なし）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

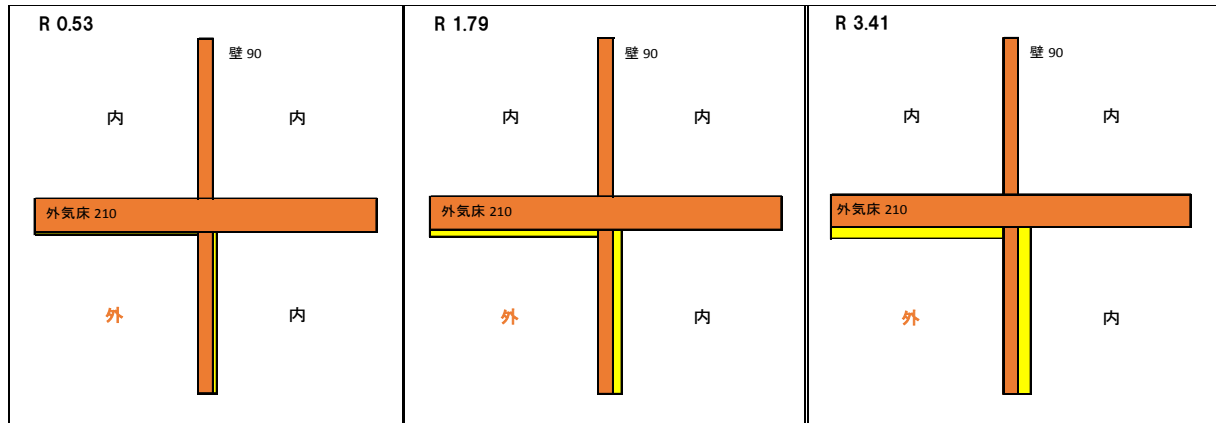


図 5 - 13 +型熱橋モデル（壁：内断熱、外気床：外断熱、金物なし）

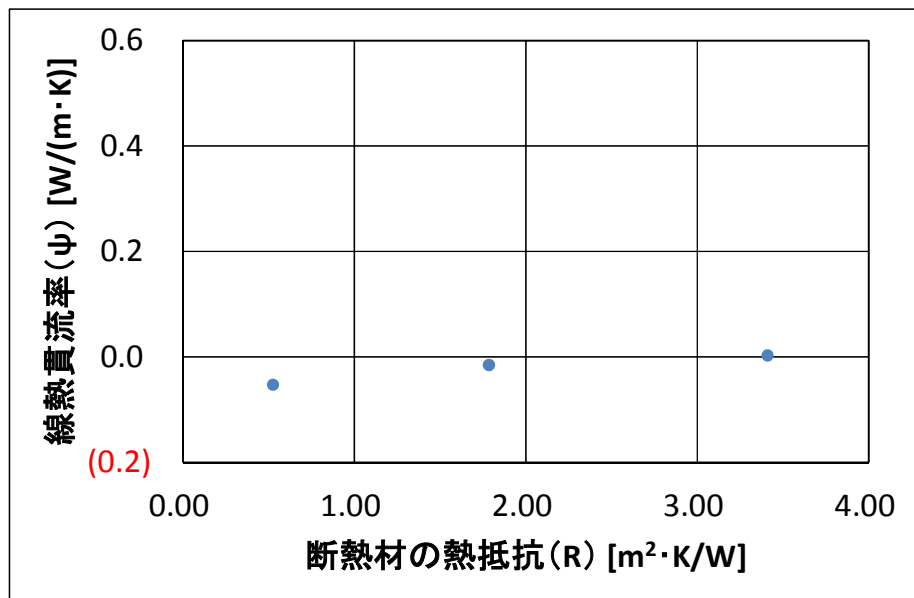


図 5 - 14 +型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

- ・断熱材の熱抵抗（R）が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が大きくなるにつれ、線熱貫流率（ $\psi$ ）も **(0.053)** [W/(m·K)]、**(0.016)** [W/(m·K)]、0.002 [W/(m·K)]と徐々に大きくなった。  
それは、断熱材の熱抵抗が大きくなると、熱橋部を流れる熱流量が大きくなるためだと考えられる。

No. 9 +型熱橋モデル（壁：内断熱、外気床：内断熱、金物なし）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

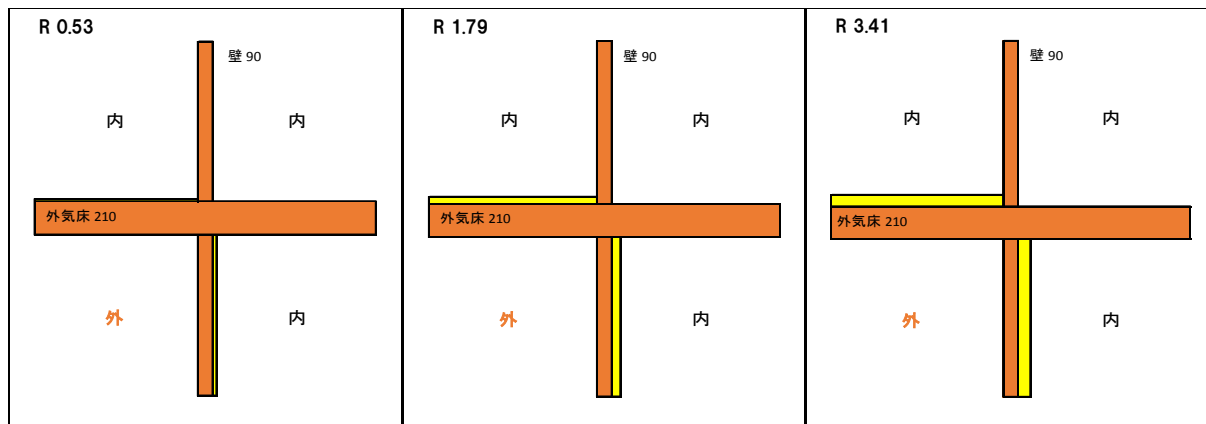


図 5 - 15 +型熱橋モデル（壁：内断熱、外気床：内断熱、金物なし）

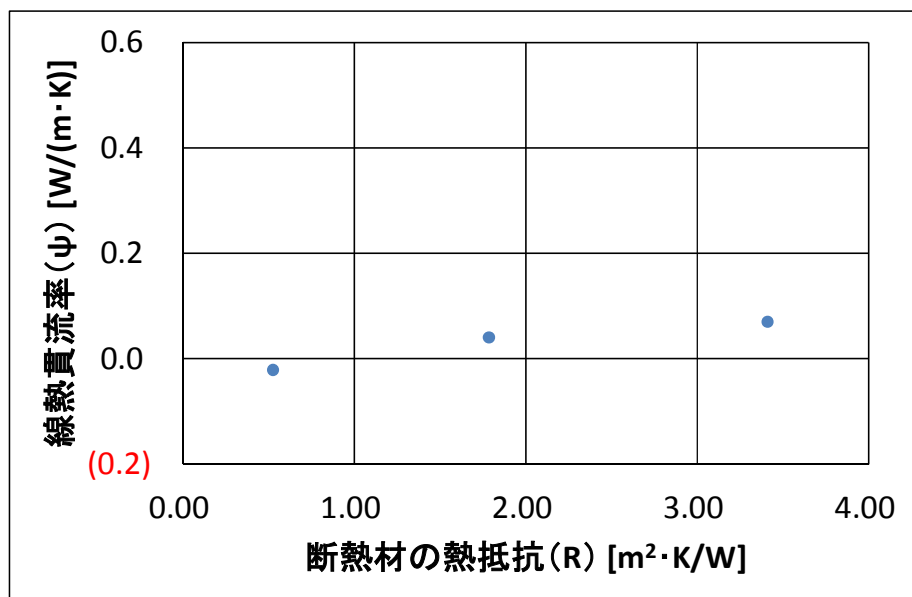


図 5 - 16 +型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

- ・断熱材の熱抵抗（R）が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が大きくなるほど、線熱貫流率（ $\psi$ ）も大きくなった。  
それは、断熱材の熱抵抗が大きくなると、熱橋部を流れる熱流量が大きくなるためだと考えられる。

No. 10 +型熱橋モデル（壁：外断熱、外気床：内断熱、金物なし）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

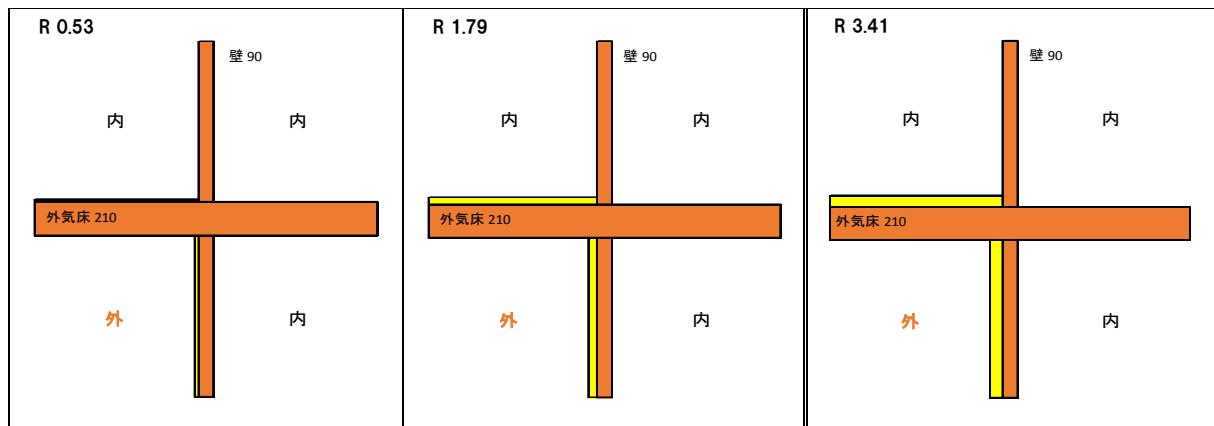


図 5 - 17 +型熱橋モデル（壁：外断熱、外気床：内断熱、金物なし）

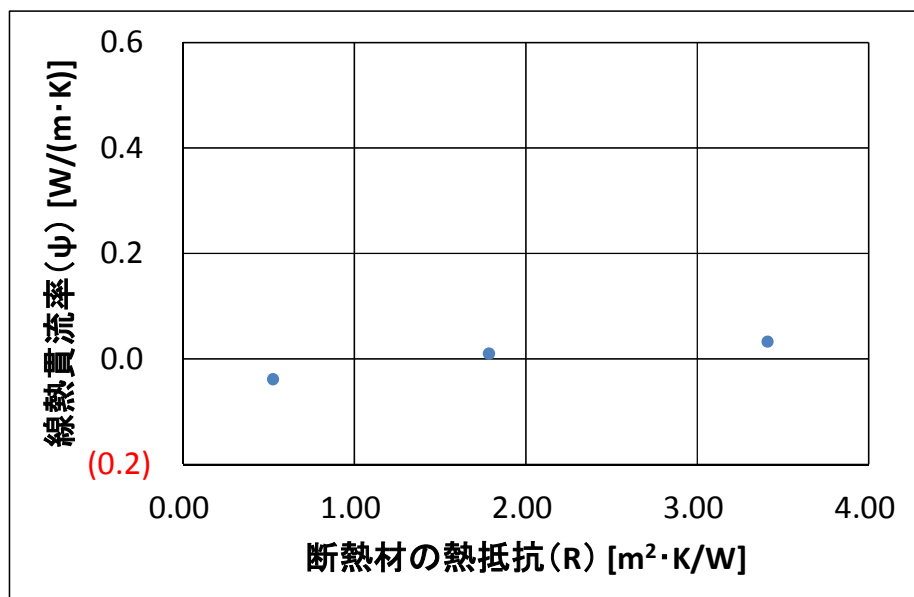


図 5 - 18 +型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

- ・断熱材の熱抵抗（R）が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が大きくなると、線熱貫流率（ $\psi$ ）も徐々に大きくなった。  
それは、断熱材の熱抵抗が大きくなると、熱橋部を流れる熱流量が大きくなるためだと考えられる。

No. 11 T型熱橋モデル（壁：外断熱、屋根：外断熱、金物なし）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

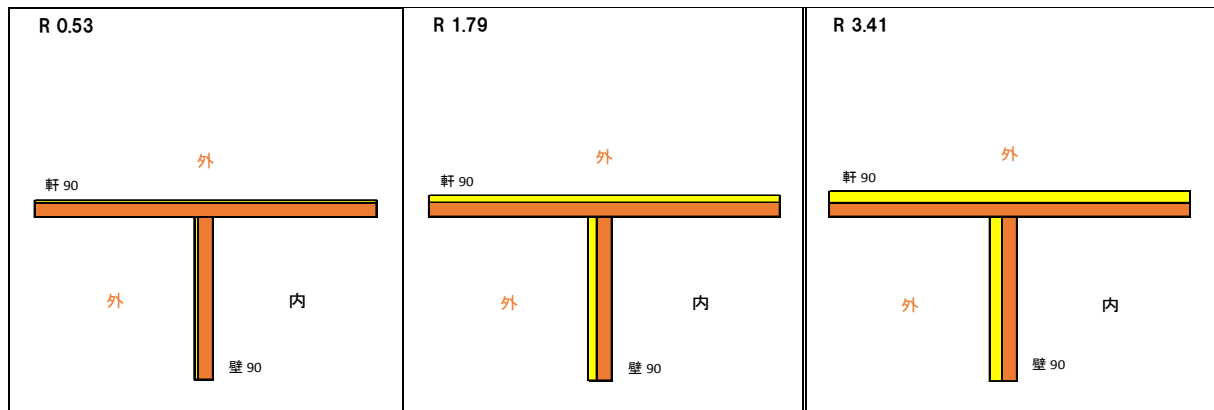


図5-19 T型熱橋モデル（壁：外断熱、屋根：外断熱、金物なし）

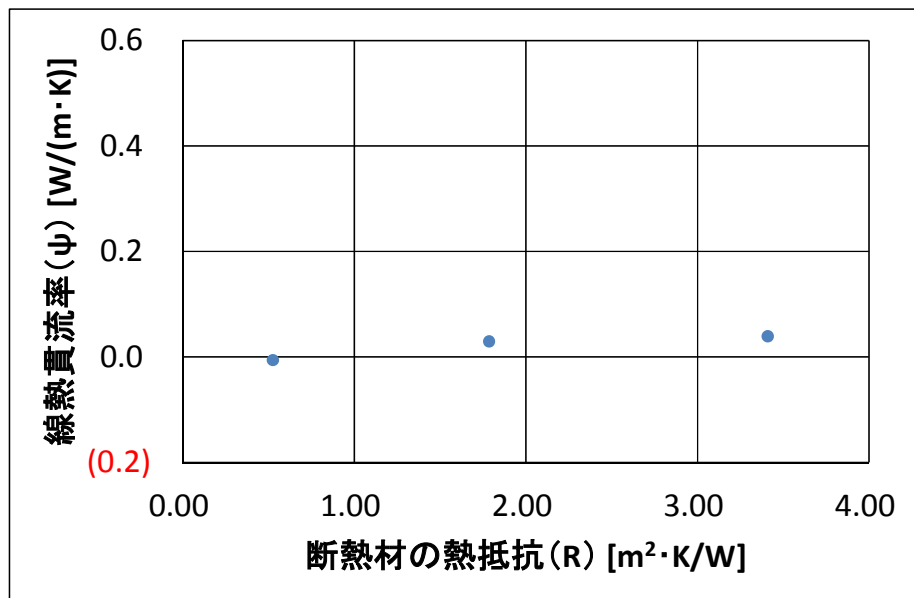


図5-20 T型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

- ・断熱材の熱抵抗（R）が 3.41 [ $m^2 \cdot K/W$ ]は、寒冷地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が 1.79 [ $m^2 \cdot K/W$ ]と 0.53 [ $m^2 \cdot K/W$ ]は、温暖地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が大きくなると、線熱貫流率（ $\psi$ ）も (0.007) [ $W/(m \cdot K)$ ]、0.029 [ $W/(m \cdot K)$ ]、0.039 [ $W/(m \cdot K)$ ]と徐々に大きくなった。  
それは、断熱材の熱抵抗が大きくなると、熱橋部を流れる熱流量が大きくなるためだと考えられる。



No. 12 T型熱橋モデル（壁：内断熱、屋根：外断熱、金物なし）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

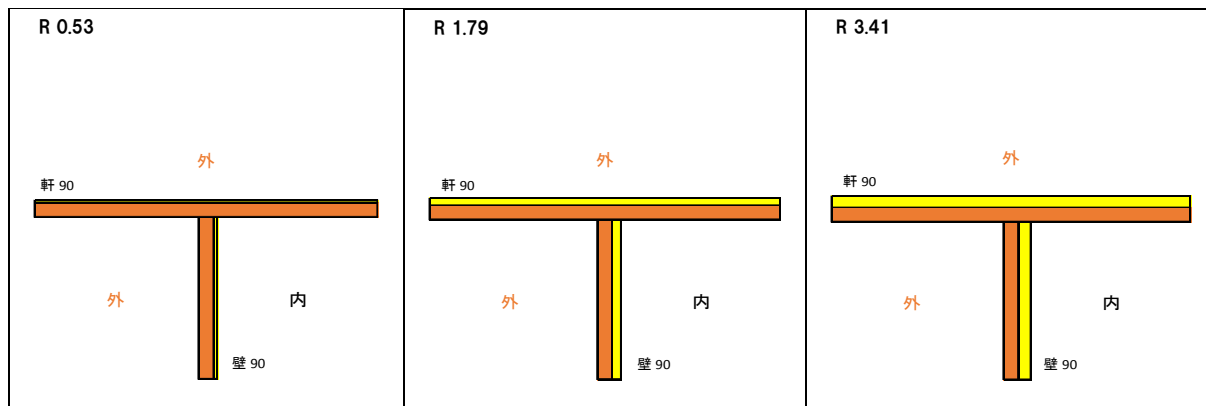


図 5-21 T型熱橋モデル（壁：内断熱、屋根：外断熱、金物なし）

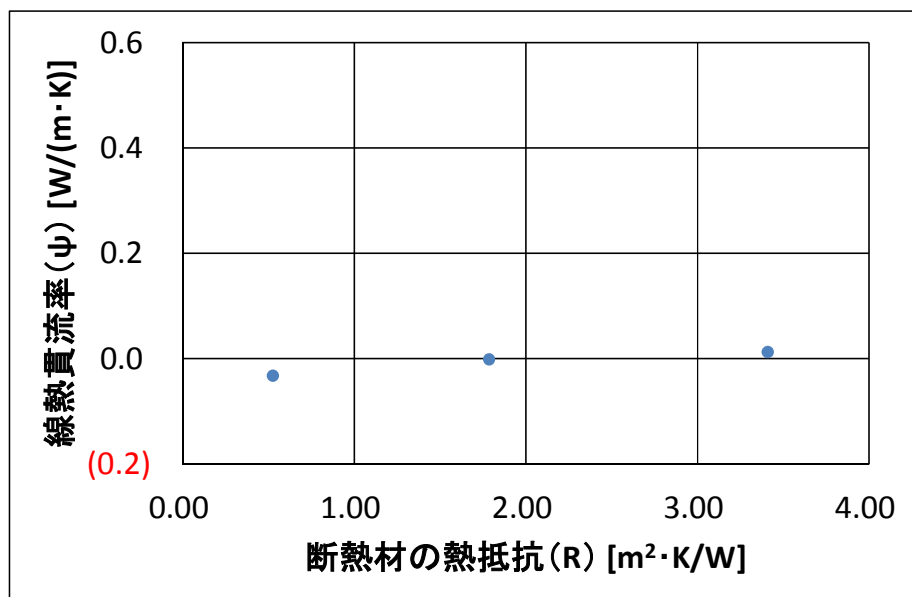


図 5-22 T型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

- ・断熱材の熱抵抗（R）が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が大きくなるほど、線熱貫流率（ $\psi$ ）も大きくなった。  
それは、断熱材の熱抵抗が大きくなると、熱橋部を流れる熱流量が大きくなるためだと考えられる。

No. 13 +型熱橋モデル（壁：断熱なし、外気床：外断熱、金物なし）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

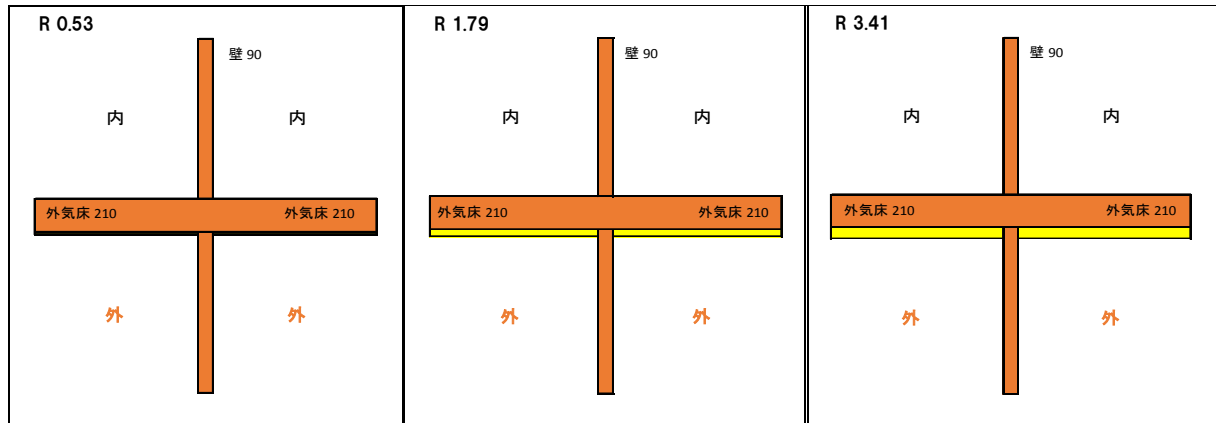


図 5-23 +型熱橋モデル（壁：断熱なし、外気床：外断熱、金物なし）

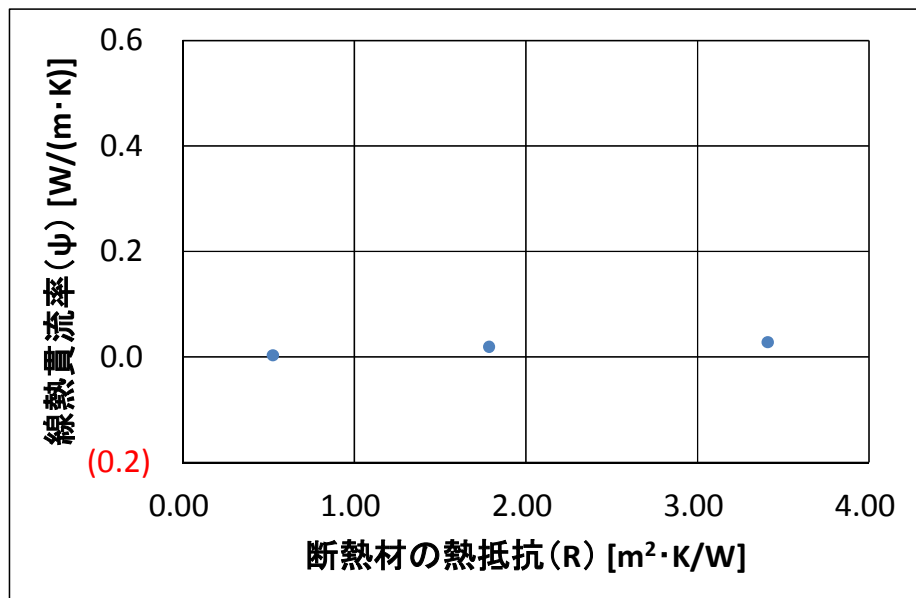


図 5-24 +型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

- ・断熱材の熱抵抗（R）が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が大きくなるにつれ、線熱貫流率（ $\psi$ ）も 0.003 [W/(m·K)]、0.019 [W/(m·K)]、0.028 [W/(m·K)]と徐々に大きくなった。  
それは、断熱材の熱抵抗が大きくなると、熱橋部を流れる熱流量が大きくなるためだと考えられる。

No. 14 +型熱橋モデル（壁：断熱なし、外気床：内断熱、金物なし）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

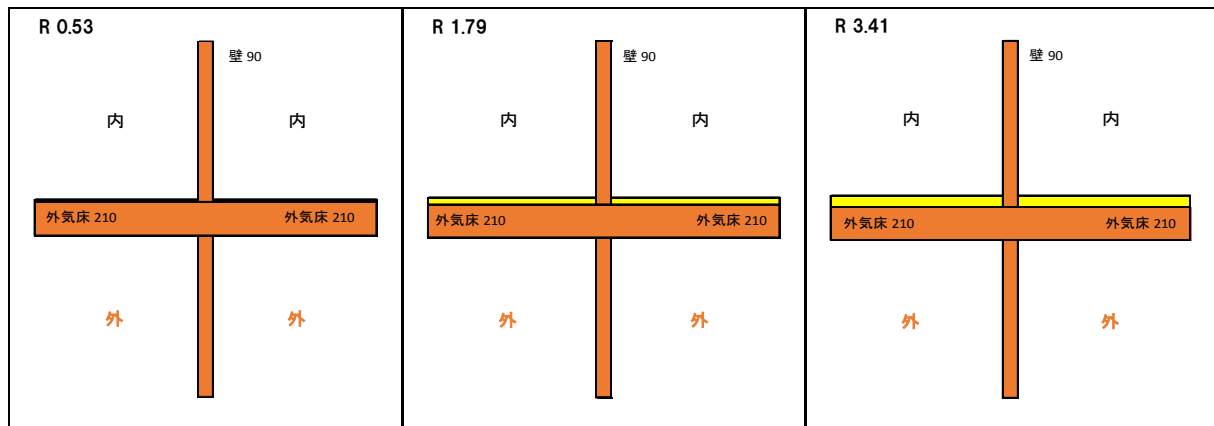


図 5 - 25 +型熱橋モデル（壁：断熱なし、外気床：内断熱、金物なし）

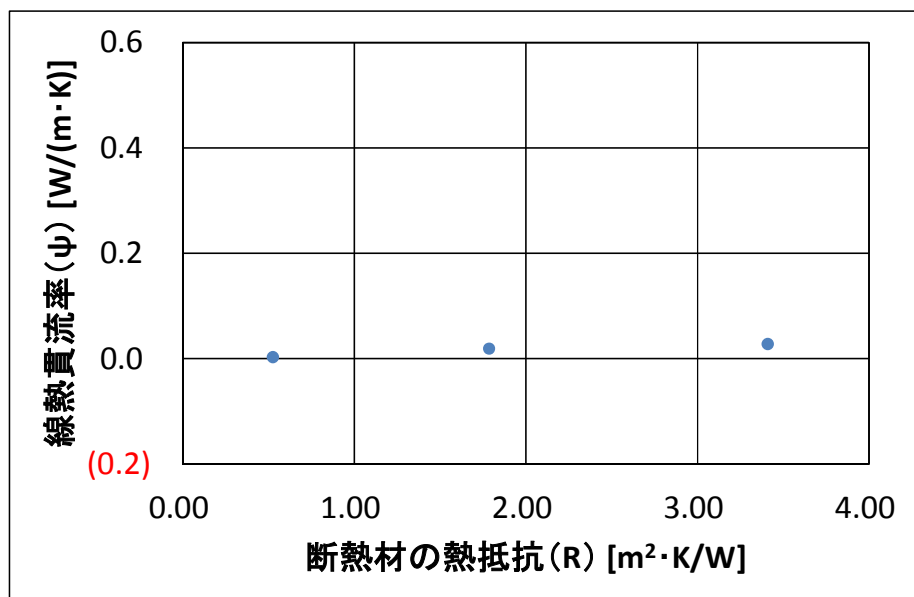


図 5 - 26 +型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

- ・断熱材の熱抵抗（R）が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が大きくなるほど、線熱貫流率（ $\psi$ ）も大きくなった。  
それは、断熱材の熱抵抗が大きくなると、熱橋部を流れる熱流量が大きくなるためだと考えられる。

No. 15 L型熱橋モデル（壁：外断熱、屋根：外断熱、金物なし）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

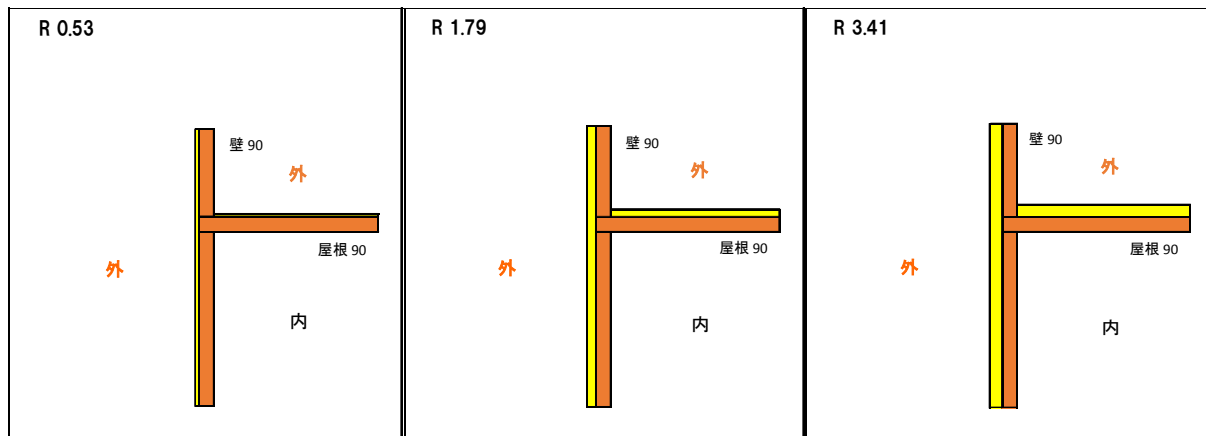


図 5-27 L型熱橋モデル（壁：外断熱、屋根：外断熱、金物なし）

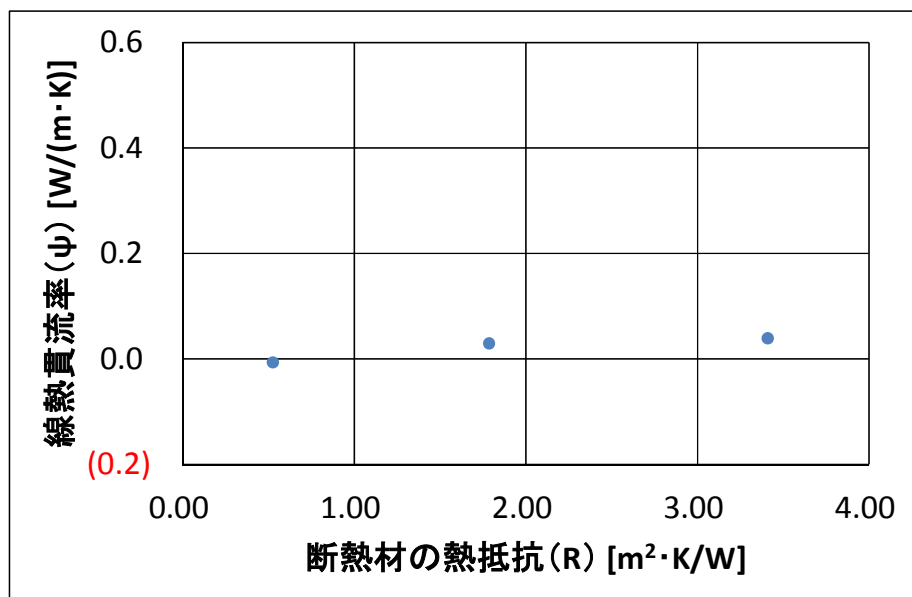


図 5-28 L型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

- ・断熱材の熱抵抗（R）が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が大きくなるにつれ、線熱貫流率（ $\psi$ ）も (0.007) [W/(m·K)]、0.029 [W/(m·K)]、0.039 [W/(m·K)]と徐々に大きくなった。  
それは、断熱材の熱抵抗が大きくなると、熱橋部を流れる熱流量が大きくなるためだと考えられる。

No. 16 L型熱橋モデル（壁：外断熱、屋根：内断熱、金物なし）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

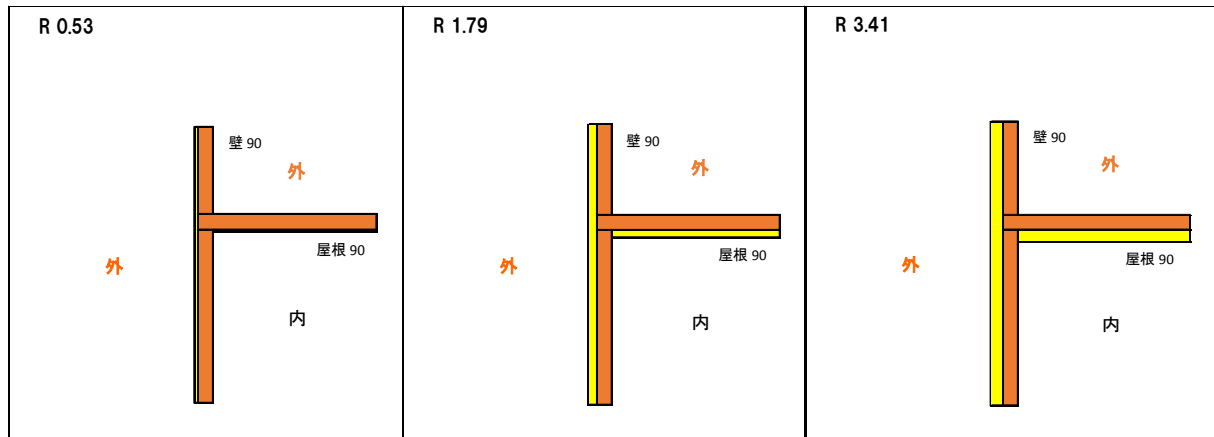


図 5-29 L型熱橋モデル（壁：外断熱、屋根：内断熱、金物なし）

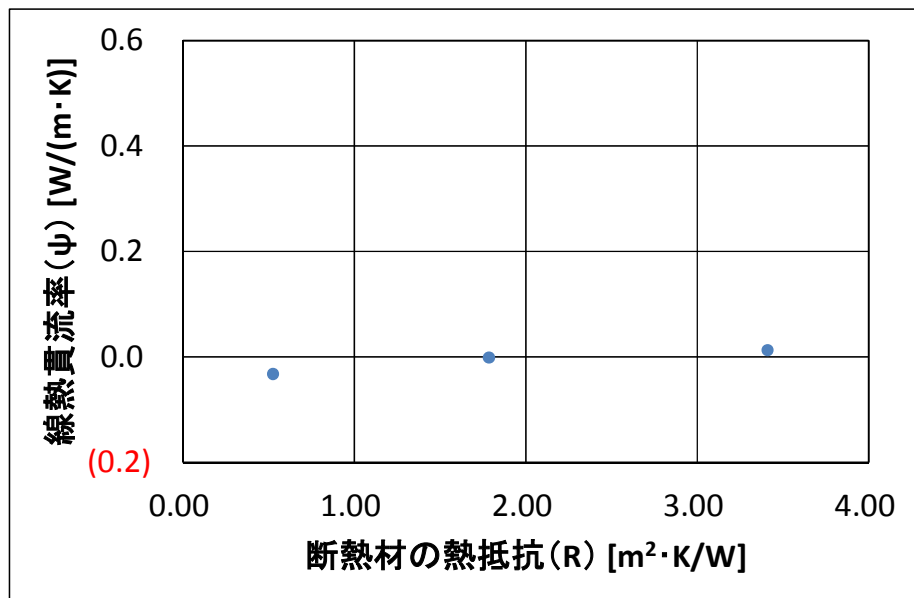


図 5-30 L型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

- ・断熱材の熱抵抗（R）が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が大きくなるほど、線熱貫流率（ $\psi$ ）も大きくなった。  
それは、断熱材の熱抵抗が大きくなると、熱橋部を流れる熱流量が大きくなるためだと考えられる。

No. 17 L型熱橋モデル（壁：内断熱、屋根：外断熱、金物なし）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

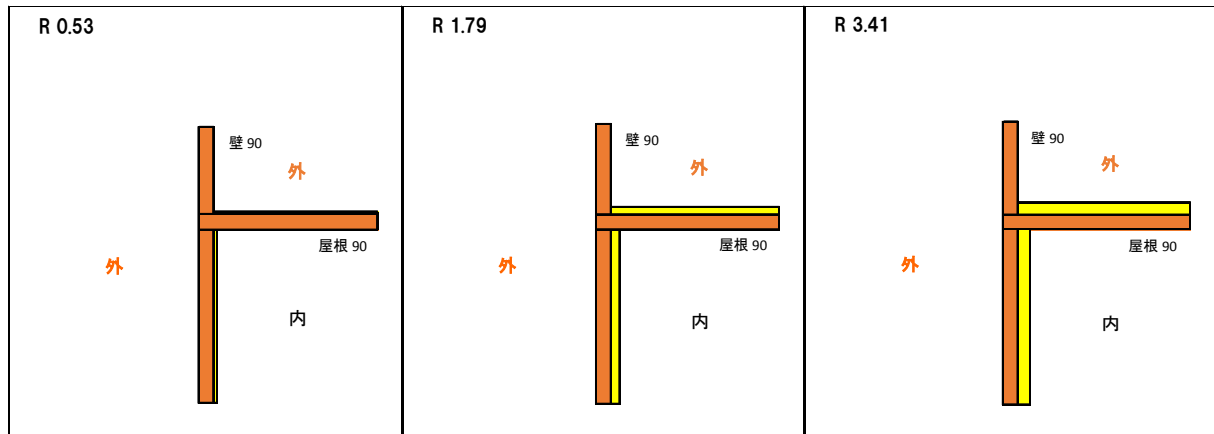


図 5 - 31 L型熱橋モデル（壁：内断熱、屋根：外断熱、金物なし）

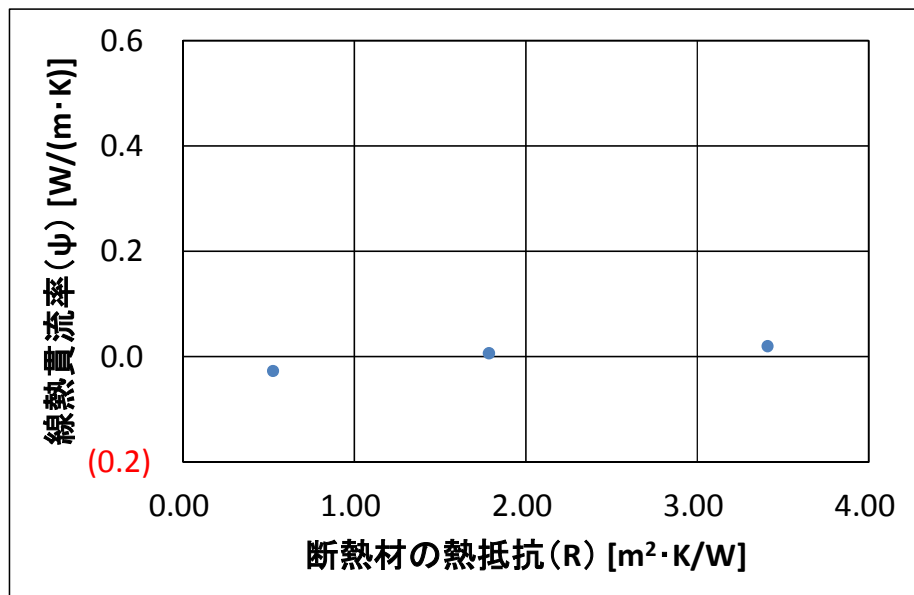


図 5 - 32 L型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

- ・断熱材の熱抵抗（R）が 3.41 [ $m^2 \cdot K/W$ ]は、寒冷地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が 1.79 [ $m^2 \cdot K/W$ ]と 0.53 [ $m^2 \cdot K/W$ ]は、温暖地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が大きくなると、線熱貫流率（ $\psi$ ）も徐々に大きくなった。  
それは、断熱材の熱抵抗が大きくなると、熱橋部を流れる熱流量が大きくなるためだと考えられる。

No. 18 T型熱橋モデル（壁：内断熱、床：外断熱、金物なし）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

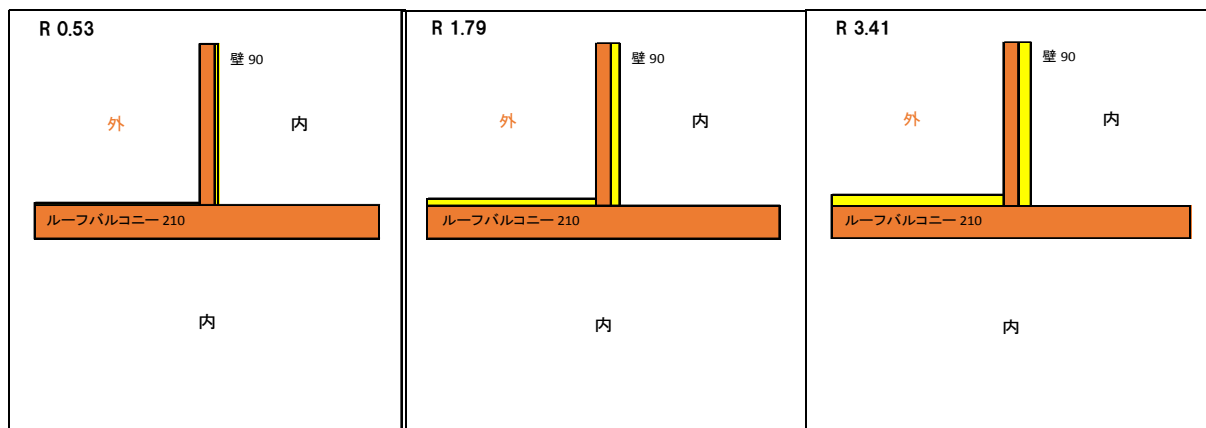


図5-33 T型熱橋モデル（壁：内断熱、床：外断熱、金物なし）

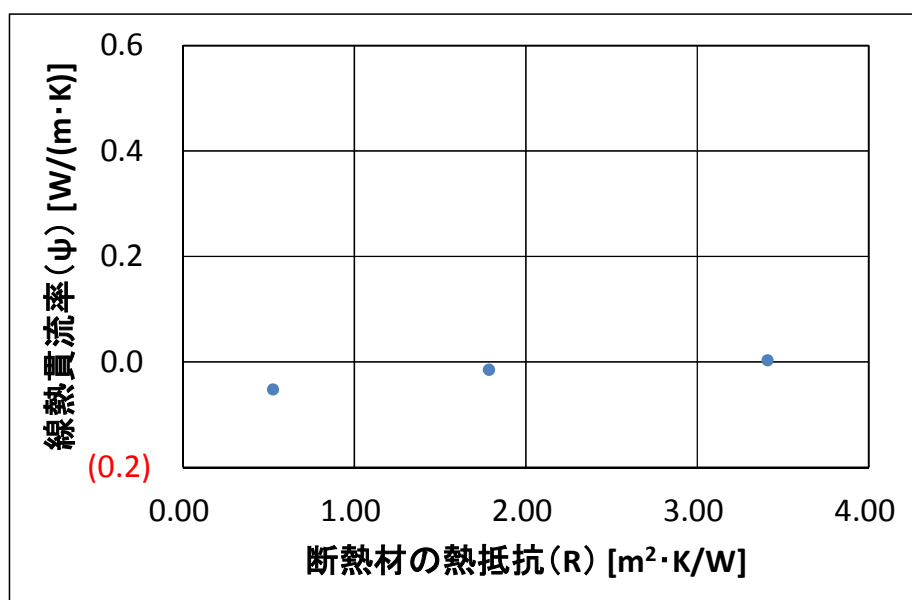


図5-34 T型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

- ・断熱材の熱抵抗（R）が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が大きくなるにつれ、線熱貫流率（ $\psi$ ）も **(0.052)** [W/(m·K)]、**(0.015)** [W/(m·K)]、0.003 [W/(m·K)]と徐々に大きくなった。  
それは、断熱材の熱抵抗が大きくなると、熱橋部を流れる熱流量が大きくなるためだと考えられる。

No. 19 T型熱橋モデル（壁：内断熱、床：内断熱、金物なし）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

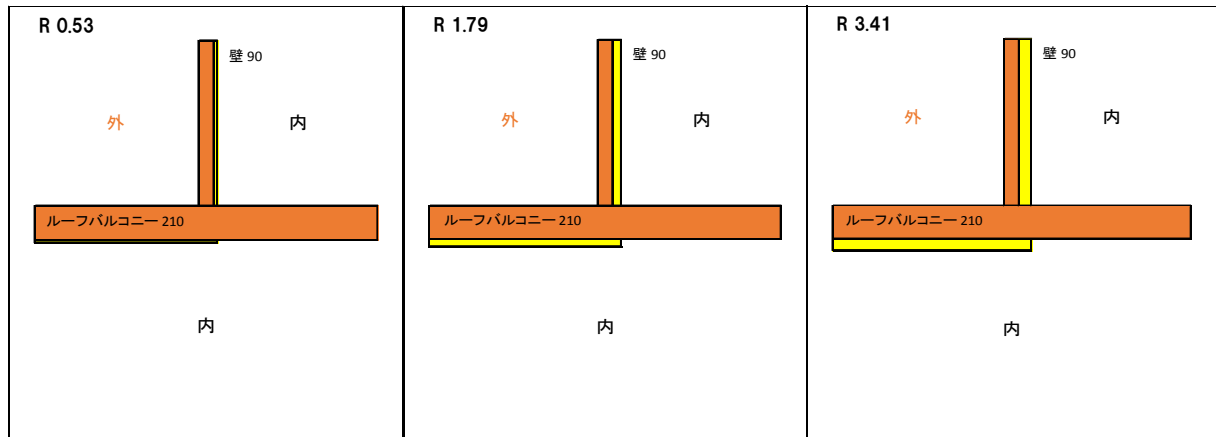


図5-35 T型熱橋モデル（壁：内断熱、床：内断熱、金物なし）

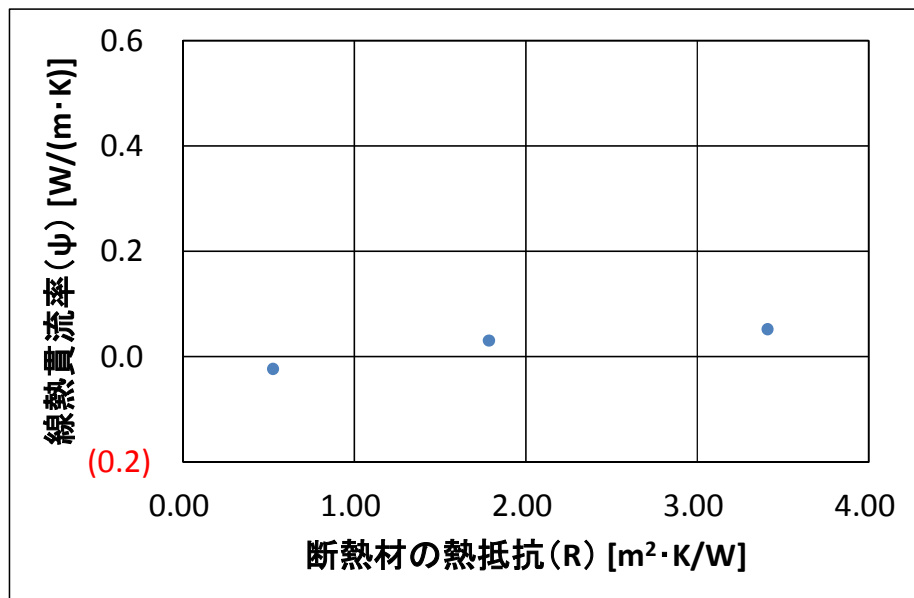


図5-36 T型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

- ・断熱材の熱抵抗（R）が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が 0.53 [m<sup>2</sup>·k/W]のとき、線熱貫流率（ $\psi$ ）は最も小さかった。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]と大きくなるほど、線熱貫流率（ $\psi$ ）も大きくなった。

それは、断熱材の熱抵抗が大きくなると、熱橋部を流れる熱流量が大きくなるためだと考えられる。



No. 20 T型熱橋モデル（壁：外断熱、床：内断熱、金物なし）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

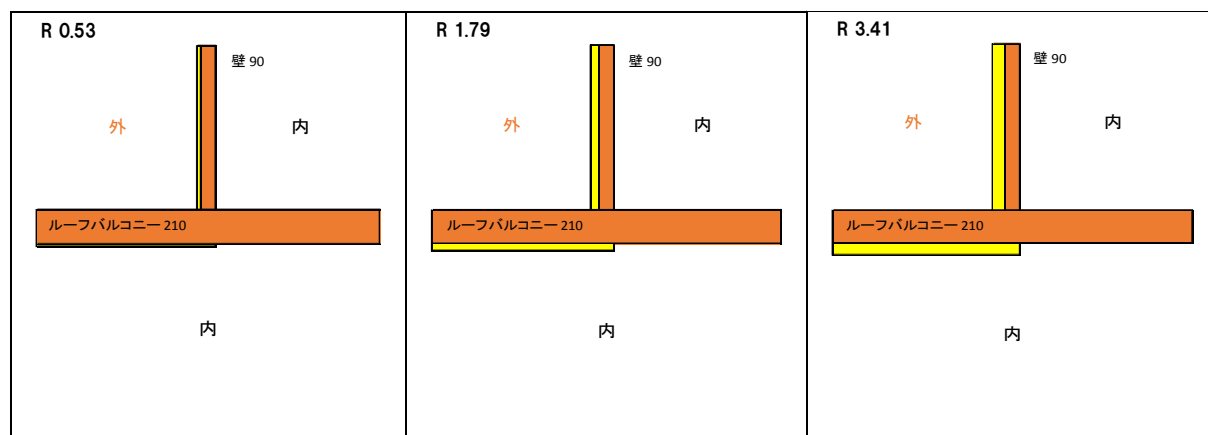


図5-37 T型熱橋モデル（壁：外断熱、床：内断熱、金物なし）

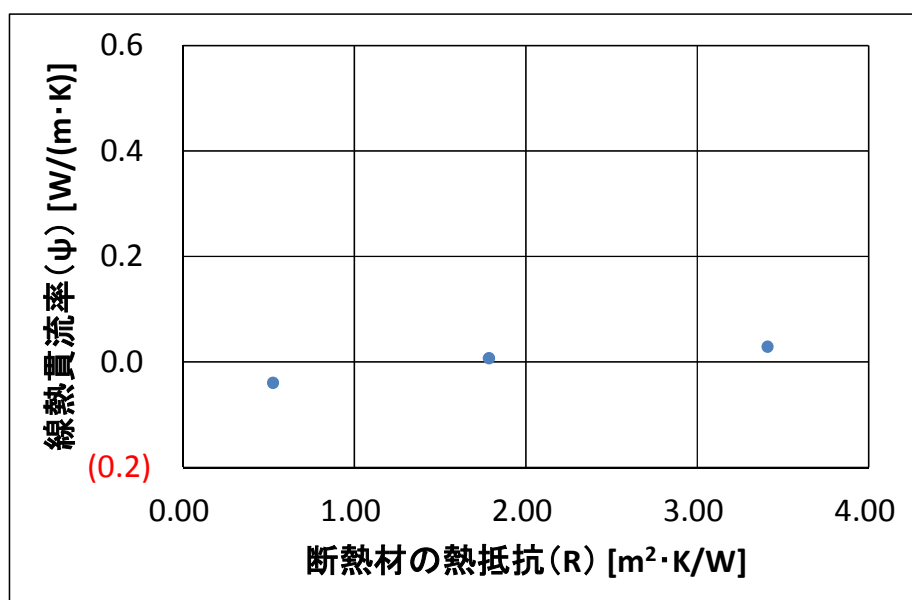


図5-38 T型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

- ・断熱材の熱抵抗（R）が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が大きくなると、線熱貫流率（ $\psi$ ）も徐々に大きくなった。  
それは、断熱材の熱抵抗が大きくなると、熱橋部を流れる熱流量が大きくなるためだと考えられる。

No. 21 +型熱橋モデル（壁：内断熱、床：外断熱、金物なし）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

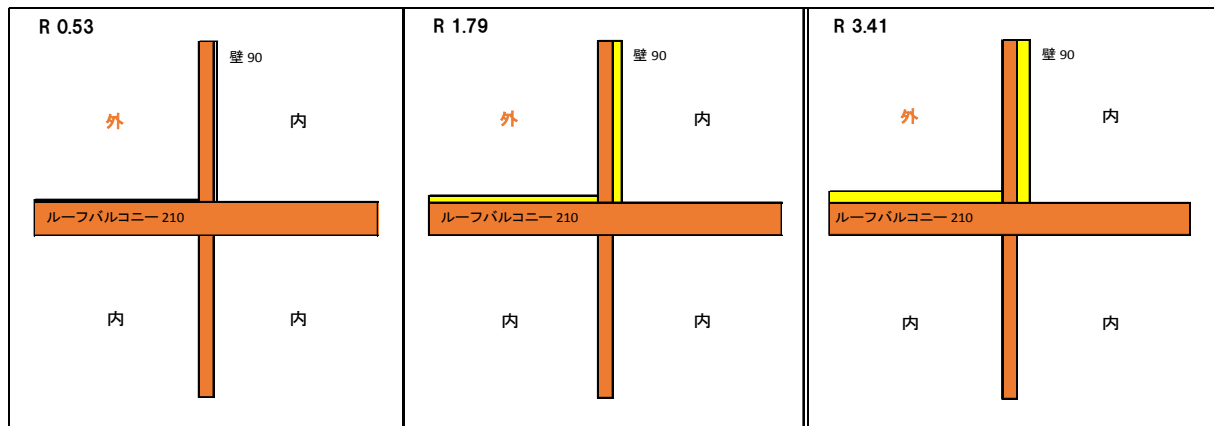


図 5 - 39 +型熱橋モデル（壁：内断熱、床：外断熱、金物なし）

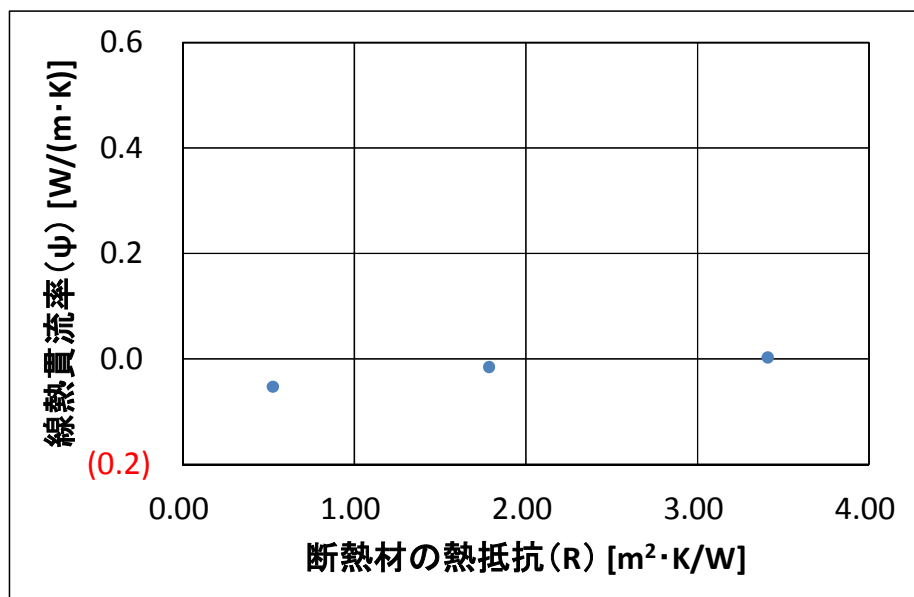


図 5 - 40 +型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

- ・断熱材の熱抵抗（R）が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が大きくなるにつれ、線熱貫流率（ $\psi$ ）も **(0.053)** [W/(m·K)]、**(0.016)** [W/(m·K)]、0.002 [W/(m·K)]と徐々に大きくなった。  
それは、断熱材の熱抵抗が大きくなると、熱橋部を流れる熱流量が大きくなるためだと考えられる。

No. 22 +型熱橋モデル（壁：内断熱、床：内断熱、金物なし）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

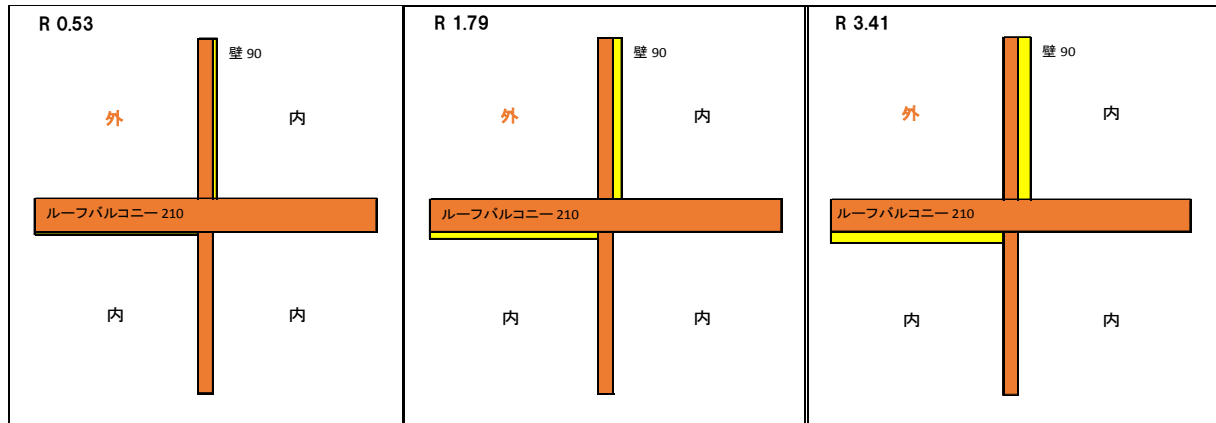


図5-41 +型熱橋モデル（壁：内断熱、床：内断熱、金物なし）

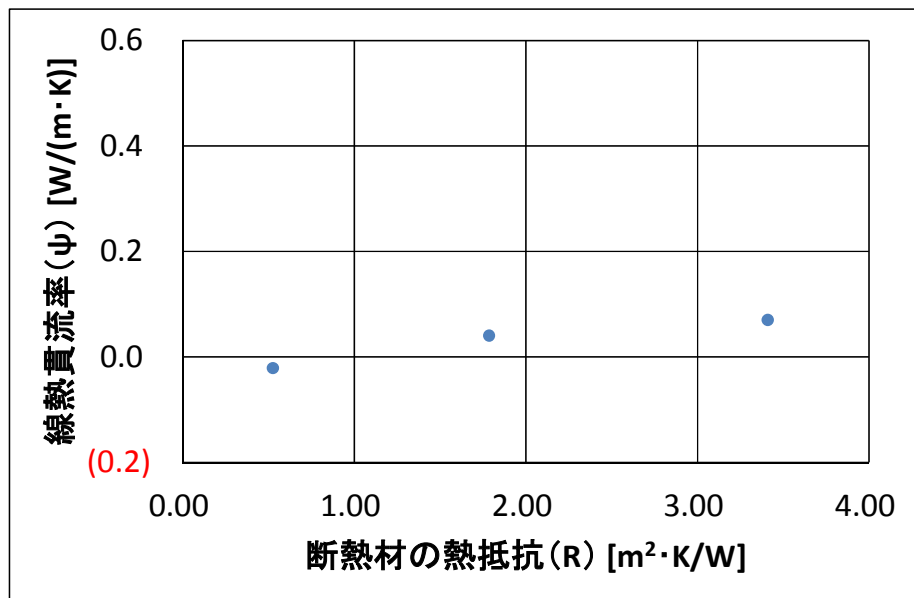


図5-42 +型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

- ・断熱材の熱抵抗（R）が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が大きくなるほど、線熱貫流率（ $\psi$ ）も大きくなった。  
それは、断熱材の熱抵抗が大きくなると、熱橋部を流れる熱流量が大きくなるためだと考えられる。

No. 23 +型熱橋モデル（壁：外断熱、床：内断熱、金物なし）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

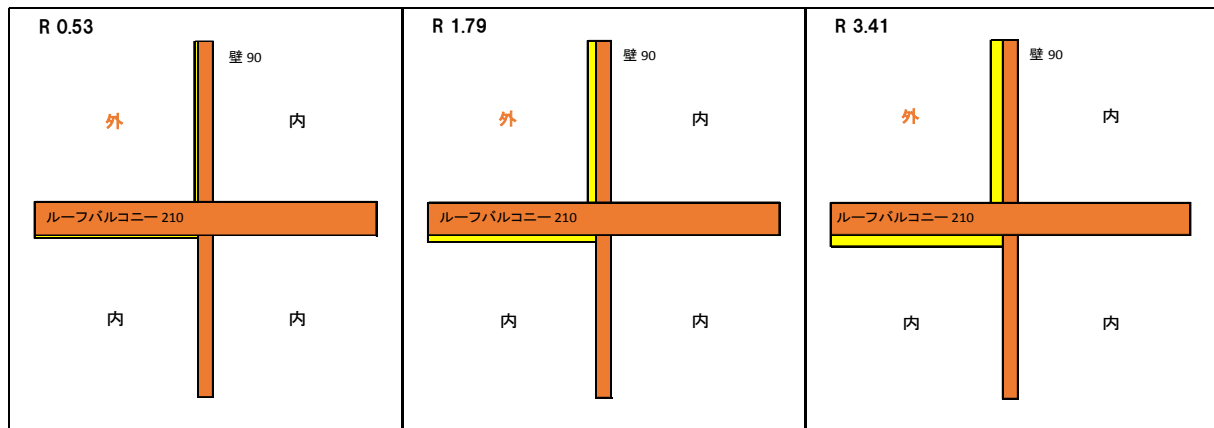


図5-43 +型熱橋モデル（壁：外断熱、床：内断熱、金物なし）

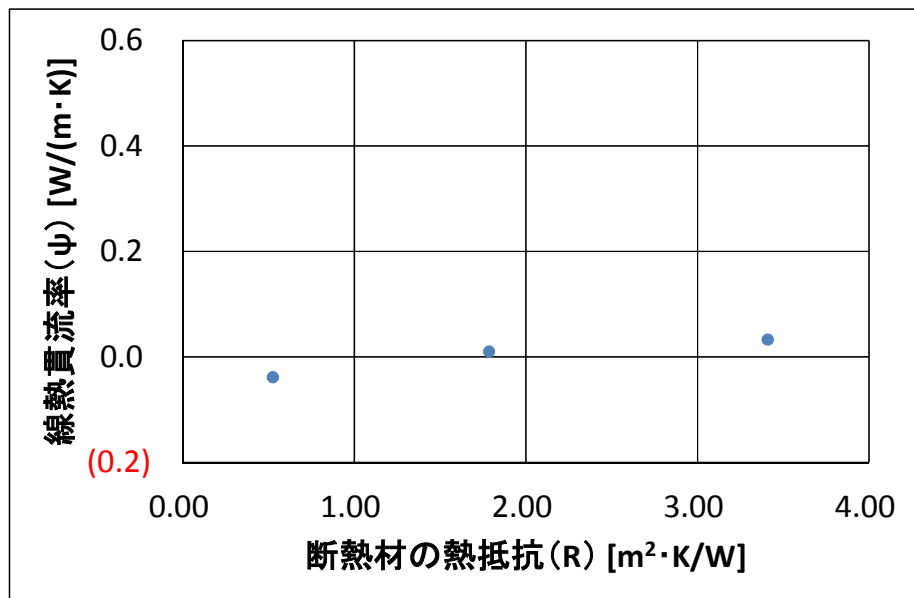


図5-44 +型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

- ・断熱材の熱抵抗（R）が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が大きくなると、線熱貫流率（ $\psi$ ）も徐々に大きくなった。  
それは、断熱材の熱抵抗が大きくなると、熱橋部を流れる熱流量が大きくなるためだと考えられる。

No. 24 +型熱橋モデル（壁：外断熱、外気床：外断熱、金物なし）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

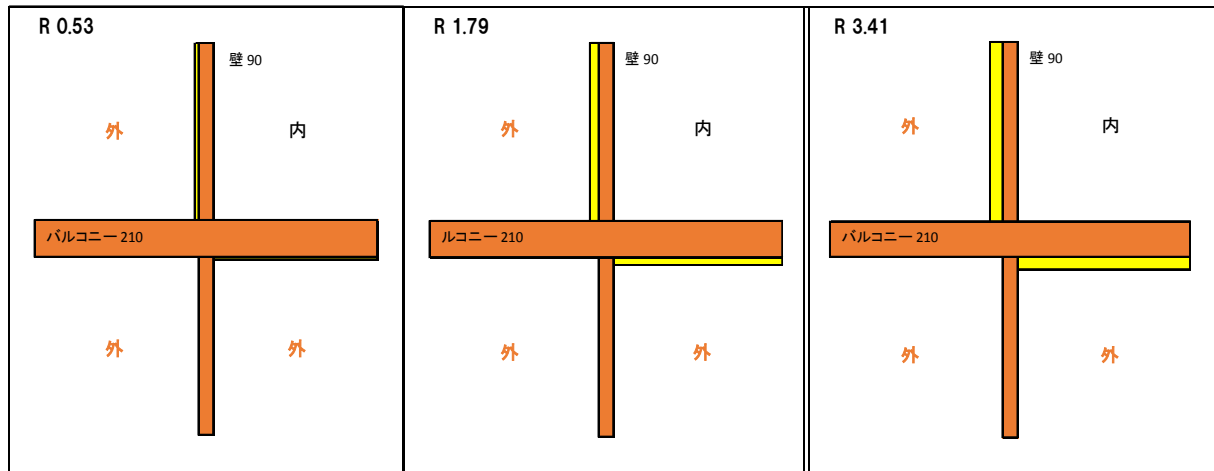


図 5 - 45 +型熱橋モデル（壁：外断熱、外気床：外断熱、金物なし）

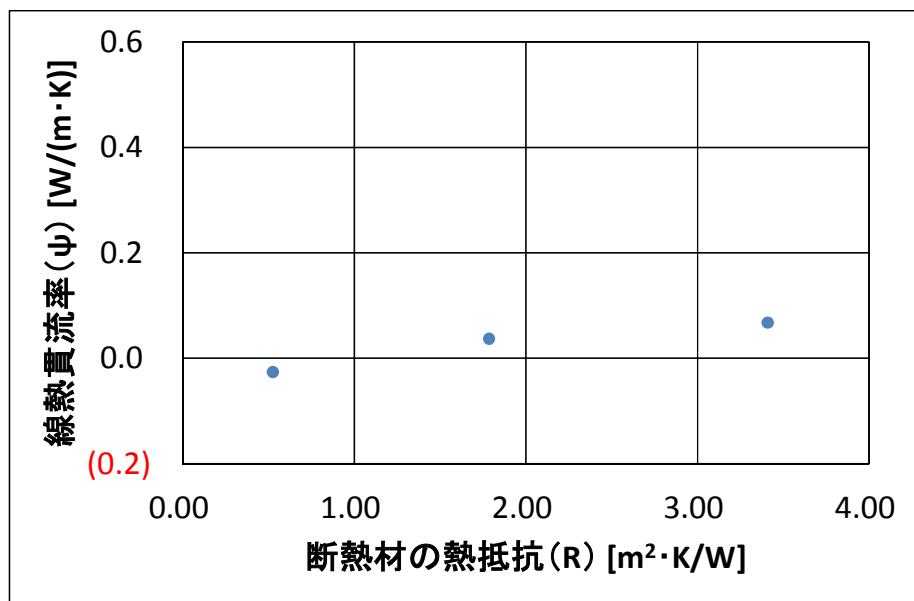


図 5 - 46 +型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

- ・断熱材の熱抵抗（R）が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が大きくなるにつれ、線熱貫流率（ $\psi$ ）も (0.026) [W/(m·K)]、0.037 [W/(m·K)]、0.068 [W/(m·K)]と徐々に大きくなった。  
それは、断熱材の熱抵抗が大きくなると、熱橋部を流れる熱流量が大きくなるためだと考えられる。

No. 25 +型熱橋モデル（壁：内断熱、外気床：外断熱、金物なし）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

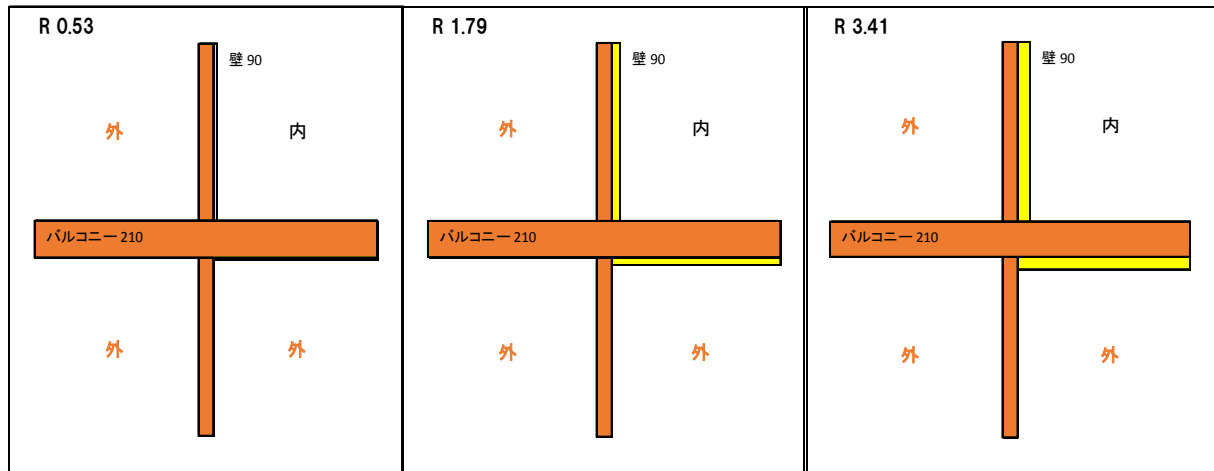


図 5 - 47 +型熱橋モデル（壁：内断熱、外気床：外断熱、金物なし）

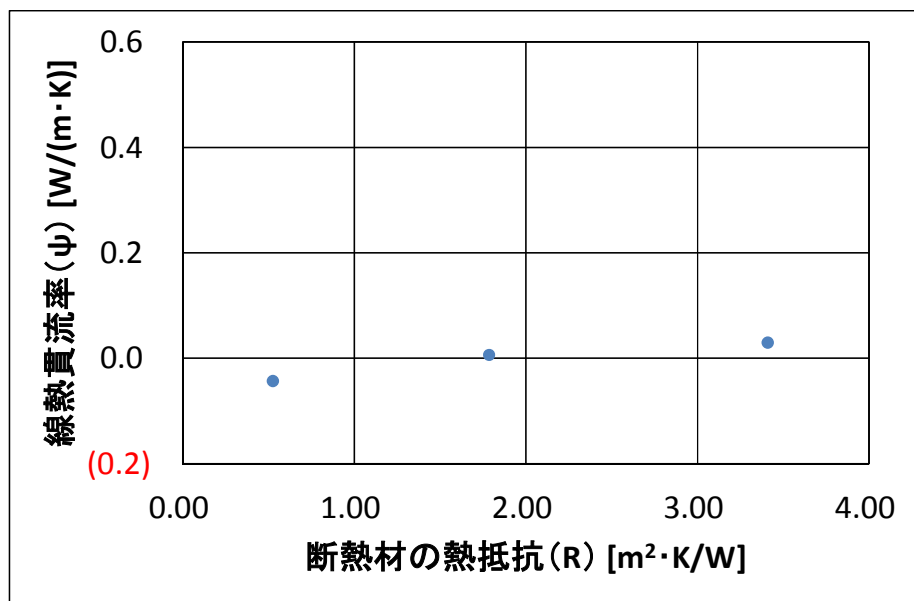


図 5 - 48 +型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

- ・断熱材の熱抵抗（R）が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が大きくなるほど、線熱貫流率（ $\psi$ ）も徐々に大きくなった。  
それは、断熱材の熱抵抗が大きくなると、熱橋部を流れる熱流量が大きくなるためだと考えられる。

No. 26 +型熱橋モデル（壁：外断熱、外気床：内断熱、金物なし）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

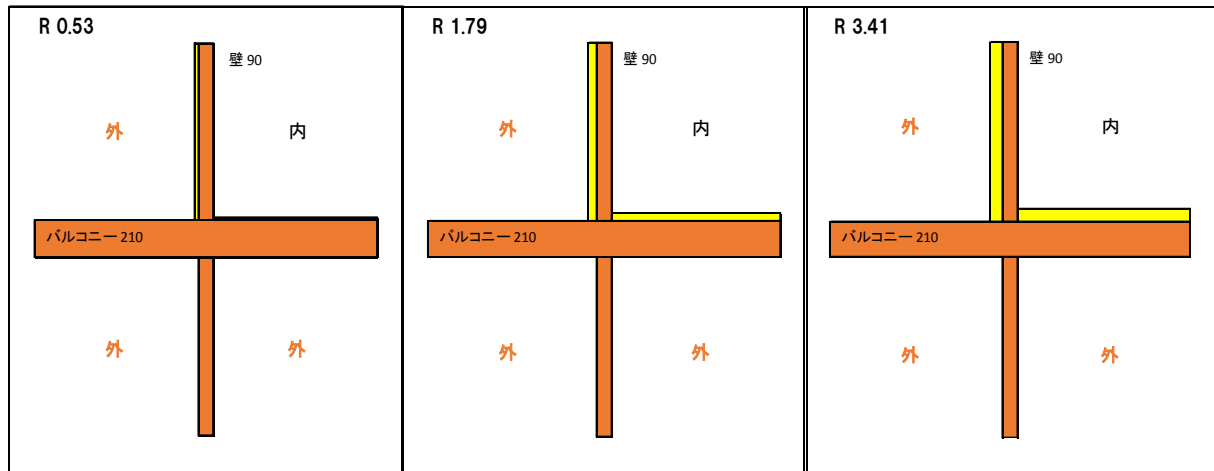


図 5 - 49 +型熱橋モデル（壁：外断熱、外気床：内断熱、金物なし）

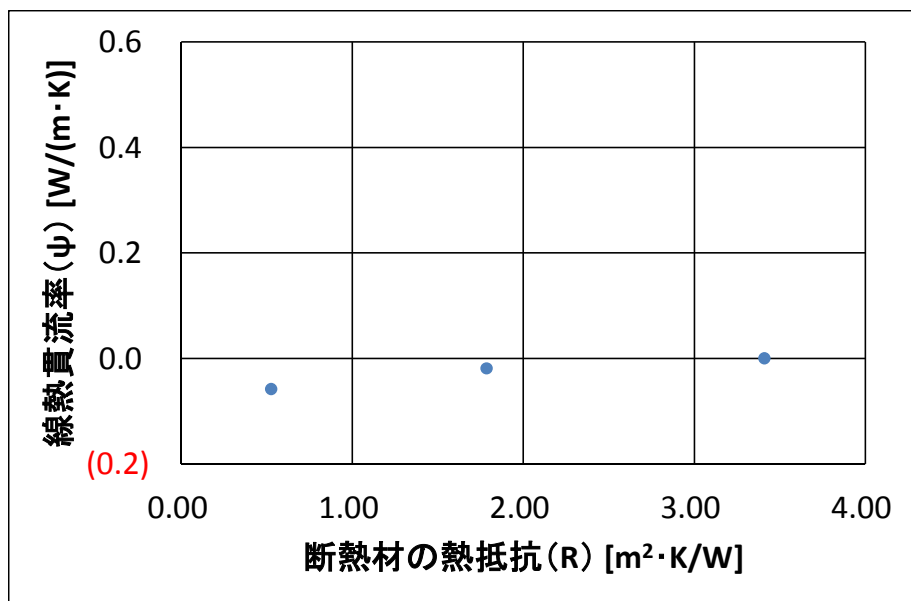


図 5 - 50 +型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

- ・断熱材の熱抵抗（R）が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が大きくなると、線熱貫流率（ $\psi$ ）も徐々に大きくなった。  
それは、断熱材の熱抵抗が大きくなると、熱橋部を流れる熱流量が大きくなるためだと考えられる。

No. 27 L型熱橋モデル（壁：内断熱、外気床：外断熱、金物なし）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

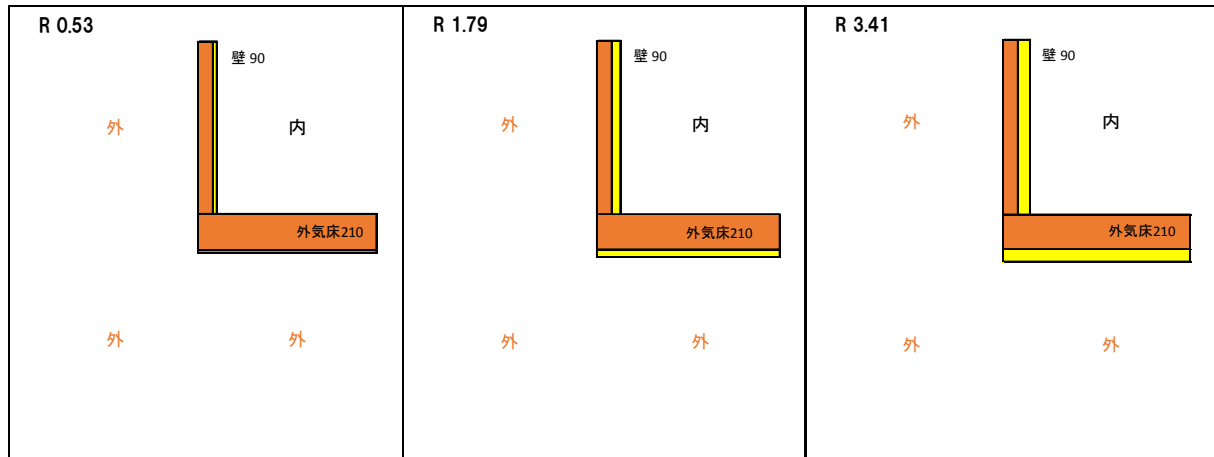


図 5 - 51 L型熱橋モデル（壁：内断熱、外気床：外断熱、金物なし）

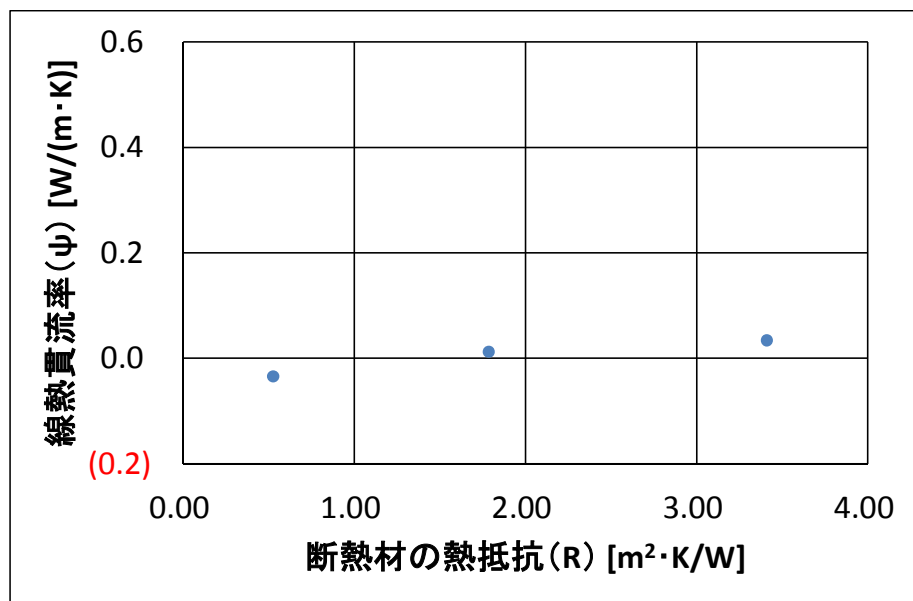


図 5 - 52 L型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

- ・断熱材の熱抵抗（R）が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が大きくなるにつれ、線熱貫流率（ $\psi$ ）も **(0.035)** [W/(m·K)]、0.012 [W/(m·K)]、0.034 [W/(m·K)]と徐々に大きくなった。  
それは、断熱材の熱抵抗が大きくなると、熱橋部を流れる熱流量が大きくなるためだと考えられる。



No. 28 L型熱橋モデル（壁：外断熱、外気床：内断熱、金物なし）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

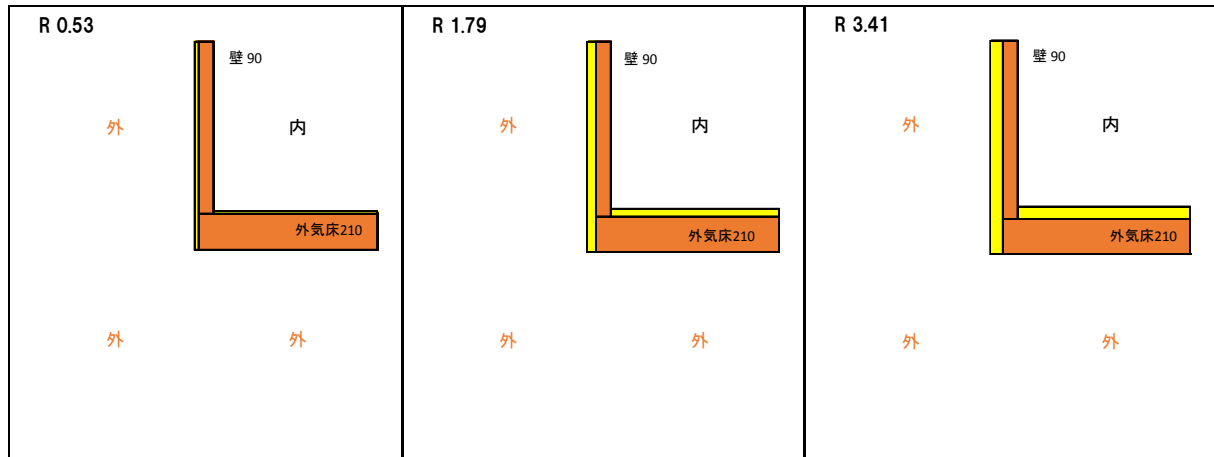


図5-53 L型熱橋モデル（壁：外断熱、外気床：内断熱、金物なし）

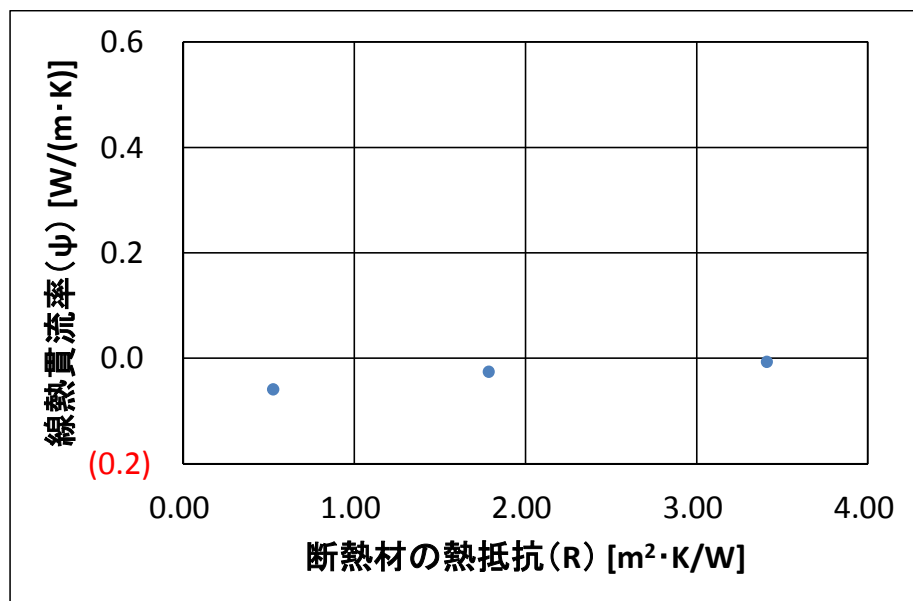


図5-54 L型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

- ・断熱材の熱抵抗（R）が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。
- ・断熱材の熱抵抗（R）が大きくなるほど、線熱貫流率（ $\psi$ ）も大きくなった。  
それは、断熱材の熱抵抗が大きくなると、熱橋部を流れる熱流量が大きくなるためだと考えられる。

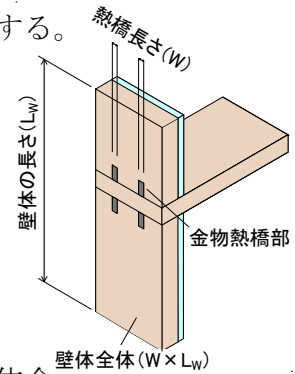
## 6. 金物熱橋部の線熱貫流率 $\psi$

線熱貫流率とは、熱橋部において熱橋長さ1メートルあたりの熱貫流率のことである。

金物熱橋部とは、CLT パネル工法住宅における構造部材等 CLT パネルを挟み込む方式で設置する「せん断金物」及び「引張金物」による熱橋部をいい、当該熱橋部の長さとは当該金物見付けの水平方向の長さをいう。線熱貫流率の求め方を以下に示す。

### 6. 1 線熱貫流率の求め方

CLT の住宅の線熱貫流率は、以下の(1)から(3)までの方法により求める。100分の1未満の端数を切り上げた小数第二位までの値とする。



#### (1) 金物熱橋部を含む壁体全体の貫流熱損失 ( $Q_w$ ) を求める。

熱橋長さ ( $W$ ) × 壁体の長さ ( $L_w$ ) の金物熱橋部を含む計算モデルを設定し、定常2次元伝熱計算プログラムを用いて壁体全体の貫流熱損失を求める。

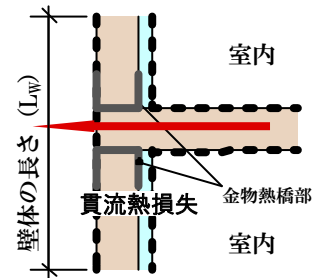
$$Q_w = U_w \times L_w \times W$$

$Q_w$  : 金物熱橋部を含む壁体全体の貫流熱損失 [W/K]

$U_w$  : 金物熱橋部を含む壁体全体の熱貫流率 [W/(m<sup>2</sup> · K)]

$L_w$  : 壁体の長さ [m]

$W$  : 熱橋長さ



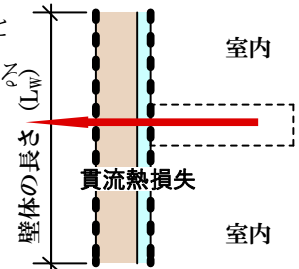
#### (2) 熱橋がないと仮定した場合の壁体全体の貫流熱損失 ( $Q_g$ ) を求める。

(1) で設定した金物熱橋部を含む計算モデルをもとに熱橋がないと仮定した場合の計算モデルを設定し、壁体全体の貫流熱損失を求める。

$$Q_g = U_g \times L_w \times W$$

$Q_g$  : 熱橋がないと仮定した場合の壁体全体の貫流熱損失 [W/K]

$U_g$  : 熱橋がないと仮定した場合の壁体全体の熱貫流率 [W/(m<sup>2</sup> · K)]



#### (3) 線熱貫流率 ( $\psi$ ) を求める。

(1) と (2) で求めた貫流熱損失の差、つまり熱橋の影響による貫流熱損失増加分が線熱貫流率となる。

$$\psi = Q_w / W - Q_g / W$$

$$= U_w \times L_w - U_g \times L_w$$

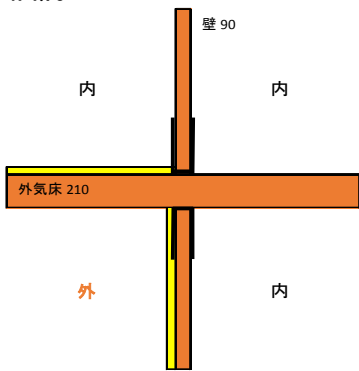
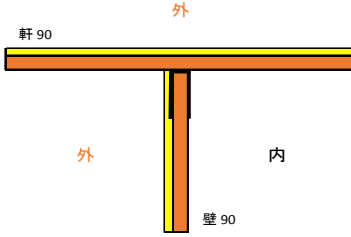
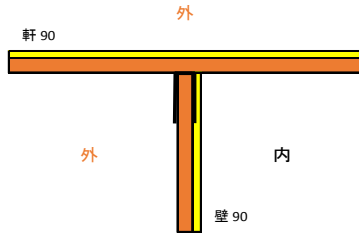
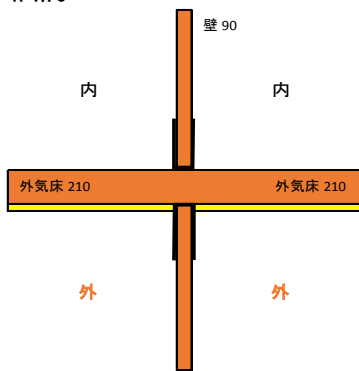
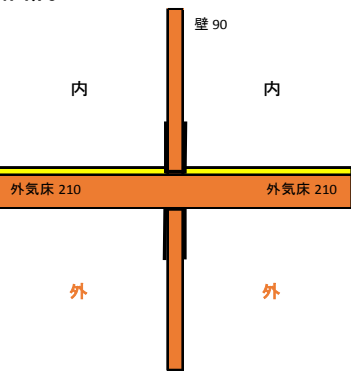

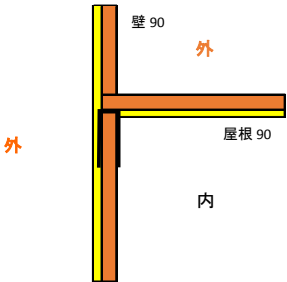

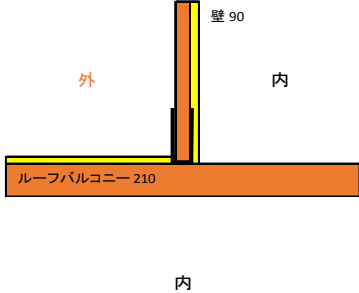
$\psi$  : 線熱貫流率 [W/(m · K)]

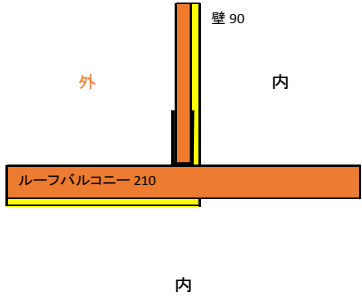
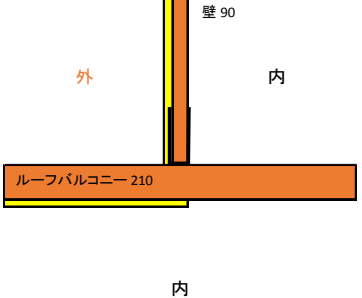
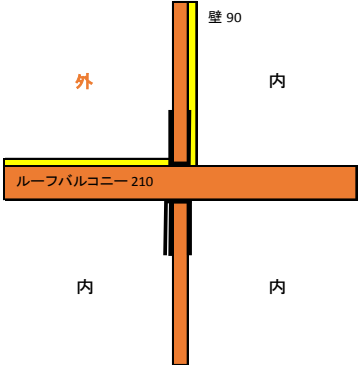
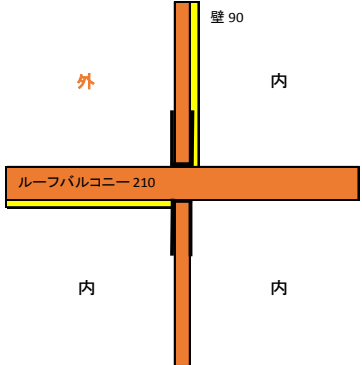
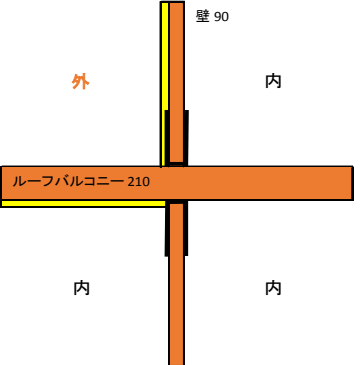
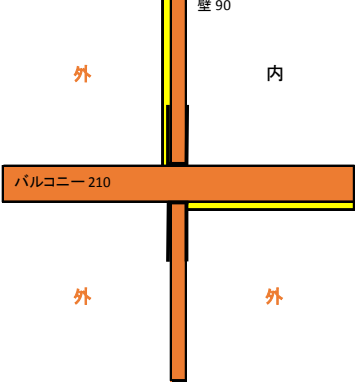
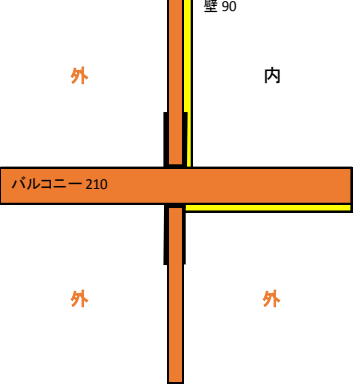
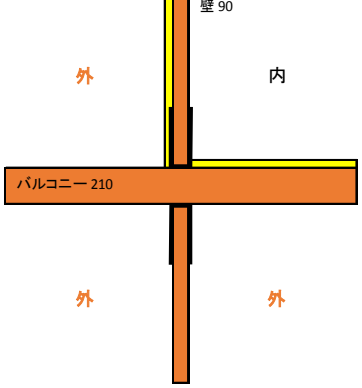
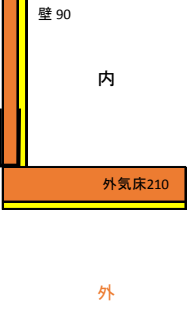
## 6. 2 計算対象

表 6-1 に計算対象の一覧を示す。

表 6 - 1 計算対象の一覧

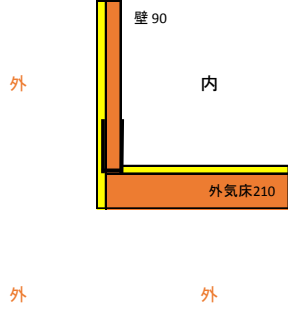
No. 1	No. 2	No. 3
<p>R 1.79</p>	<p>R 1.79</p>	<p>R 1.79</p>
No. 4	No. 5	No. 6
<p>R 1.79</p>	<p>R 1.79</p>	<p>R 1.79</p>
No. 7	No. 8	No. 9
<p>R 1.79</p>	<p>R 1.79</p>	<p>R 1.79</p>

No. 10	No. 11	No. 12
<p>R 1.79</p> 	<p>R 1.79</p> 	<p>R 1.79</p> 
No. 13	No. 14	No. 15
<p>R 1.79</p> 	<p>R 1.79</p> 	<p>R 1.79</p> 
No. 16	No. 17	No. 18
<p>R 1.79</p> 	<p>R 1.79</p> 	<p>R 1.79</p> 

No. 19	No. 20	No. 21
<p>R 1.79</p> 	<p>R 1.79</p> 	<p>R 1.79</p> 
No. 22	No. 23	No. 24
<p>R 1.79</p> 	<p>R 1.79</p> 	<p>R 1.79</p> 
No. 25	No. 26	No. 27
<p>R 1.79</p> 	<p>R 1.79</p> 	<p>R 1.79</p> 

No. 27

R 1.79



### 6. 3 計算条件

INSYS2 次元伝熱・結露システム Ver.2.2.2/(株)建築環境ソリューションズを用いた。  
設定値を表 5-2 に示す。

表 6-2 設定値

設定項目	設定値
壁厚	90mm (屋根・壁)、210mm (床)
CLT の熱伝導率	0.13(W/(m・K))
室内側の表面熱伝達抵抗	0.09((m <sup>2</sup> ・K)/W)
外気側の表面熱伝達抵抗	0.04((m <sup>2</sup> ・K)/W)
室内の気温、相対湿度	15℃
外気温	-10℃
断熱材の熱抵抗	0.53、1.79、3.41((m <sup>2</sup> ・K)/W)

### 6. 4 計算結果

計算結果の一覧を次ページの表 6-3 に示す。赤字の括弧は値がマイナスである。

表6-3 金物熱橋部の線熱貫流率 ( $\psi$ )

No.	計算名	CLTの厚さ [mm]			線熱貫流率( $\psi$ ) [W/(m <sup>2</sup> ·K)]		
					断熱材の熱抵抗(R) [m <sup>2</sup> ·K/W]		
		壁	床	屋根	0.53	1.79	3.41
1	T_界床_外断_なし_金属	90	210	-	0.486	0.101	0.037
2	T_界床_内断_なし_金属	90	210	-	0.574	0.233	0.185
3	+_界床_バルコニー_外断_金属	90	210	-	0.511	0.187	0.138
4	+_界床_バルコニー_内断_金属	90	210	-	0.545	0.223	0.179
5	T_外気床_界床_内断_外断_金属	90	210	-	0.246	0.125	0.129
6	T_外気床_界床_内断_内断_金属	90	210	-	0.270	0.119	0.101
7	T_外気床_界床_外断_内断_金属	90	210	-	0.224	0.079	0.068
8	+_外気床_界床_内断_外断_金属	90	210	-	0.246	0.116	0.115
9	+_外気床_界床_内断_内断_金属	90	210	-	0.280	0.147	0.144
10	+_外気床_界床_外断_内断_金属	90	210	-	0.226	0.081	0.070
11	T_軒_屋根_外断_外断_金属	90	-	90	0.276	0.114	0.084
12	T_軒_屋根_内断_外断_金属	90	-	90	0.230	0.065	0.045
13	+_外気床_外気床_なし_外断_金属	90	210	-	0.027	0.070	0.099
14	+_外気床_外気床_なし_内断_金属	90	210	-	0.028	0.071	0.099
15	L_屋根_外断_外断_金属	90	-	90	0.259	0.096	0.069
16	L_屋根_外断_内断_金属	90	-	90	0.243	0.122	0.119
17	L_屋根_内断_外断_金属	90	-	90	0.239	0.069	0.048
18	T_界床_ルーフバルコニー_内断_外断_金属	90	210	-	0.246	0.125	0.129
19	T_界床_ルーフバルコニー_内断_内断_金属	90	210	-	0.270	0.119	0.101
20	T_界床_ルーフバルコニー_外断_内断_金属	90	210	-	0.221	0.073	0.061
21	+_界床_ルーフバルコニー_内断_外断_金属	90	210	-	0.246	0.116	0.115
22	+_界床_ルーフバルコニー_内断_内断_金属	90	210	-	0.280	0.147	0.144
23	+_界床_ルーフバルコニー_外断_内断_金属	90	210	-	0.226	0.081	0.070
24	+_外気床_バルコニー_外断_外断_金属	90	210	-	0.257	0.138	0.139
25	+_外気床_バルコニー_内断_外断_金属	90	210	-	0.228	0.078	0.067
26	+_外気床_バルコニー_外断_内断_金属	90	210	-	0.221	0.105	0.107
27	L_外気床_内断_外断_金属	90	210	-	0.237	0.077	0.063
28	L_外気床_外断_内断_金属	90	210	-	0.203	0.068	0.066

断熱材の熱抵抗 R が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。断熱材の熱抵抗 R が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。

構造部材等 CLT パネルを挟み込む方式で設置された金物熱橋部の線熱貫流率は、断熱材の熱抵抗 R が 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]の場合、ほぼ全てのケースで各ケースの最大値となる。断熱材の熱抵抗 R が大きくなると、線熱貫流率が減少するケースが多い。

しかしながら、線熱貫流率が増加するケースもある。それは、ケース 13、14 では金物が断熱材で塞がれていないため、断熱材が強化されると金物熱橋に熱流が増加したためだと考えられる。

線熱貫流率は 0.574 [W/(m<sup>2</sup>·K)]が最大値となった。

次ページ以降に、各ケースの断熱材の熱抵抗 R と線熱貫流率の傾向を確認した。



No. 1 T型熱橋モデル（壁：外断熱、床：断熱なし、金物あり）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

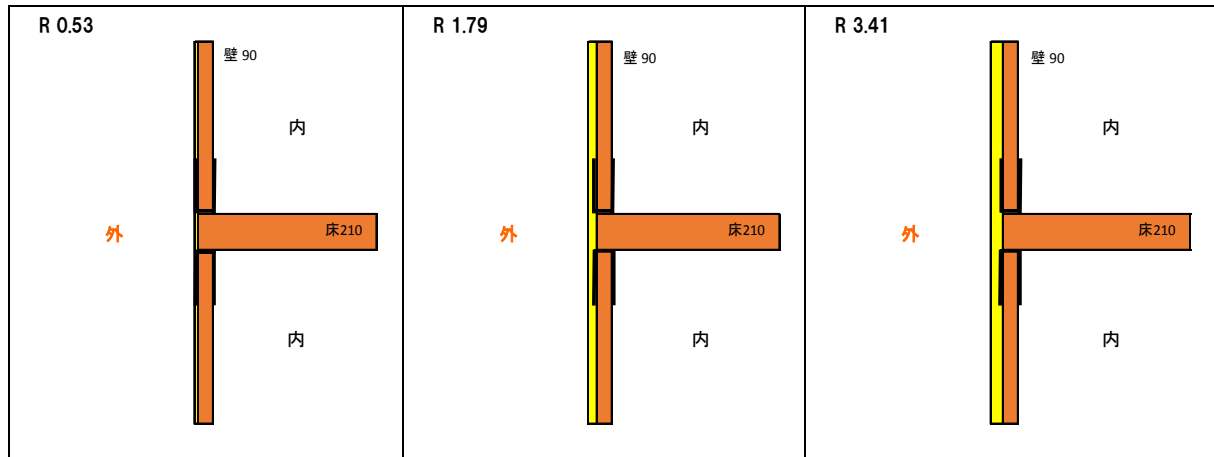


図 6 - 1 T型熱橋モデル（壁：外断熱、床：断熱なし、金物あり）

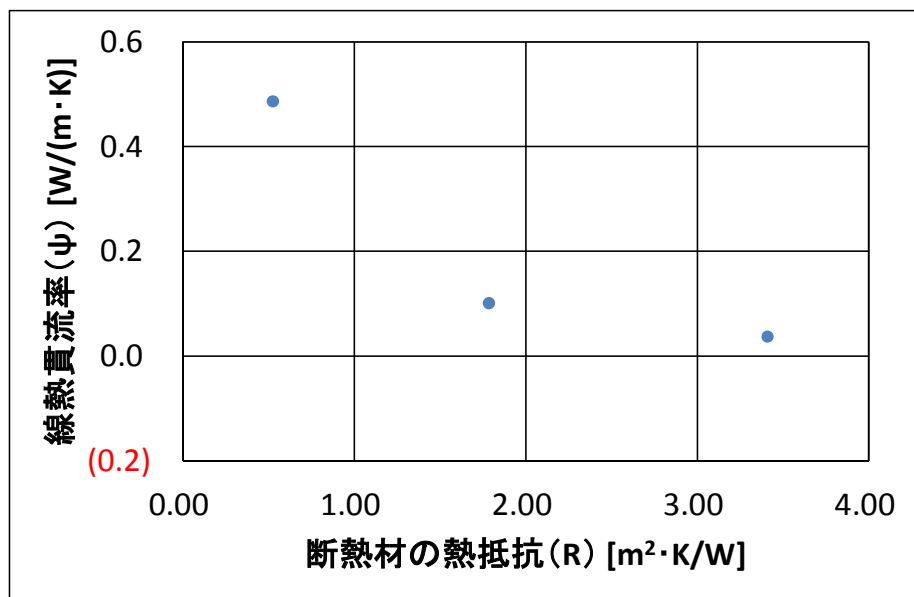


図 6 - 2 T型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

断熱材の熱抵抗 R が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。断熱材の熱抵抗 R が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。

- 断熱材の熱抵抗（R）が大きくなるにつれ、線熱貫流率（ $\psi$ ）は 0.486 [W/(m·K)]、0.101 [W/(m·K)]、0.037 [W/(m·K)]と徐々に小さくなった。それは、断熱材の熱抵抗が大きくなることで単純に金物に流れる熱流が減少したためと考えられる。

No. 2 T型熱橋モデル（壁：内断熱、床：断熱なし、金物あり）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

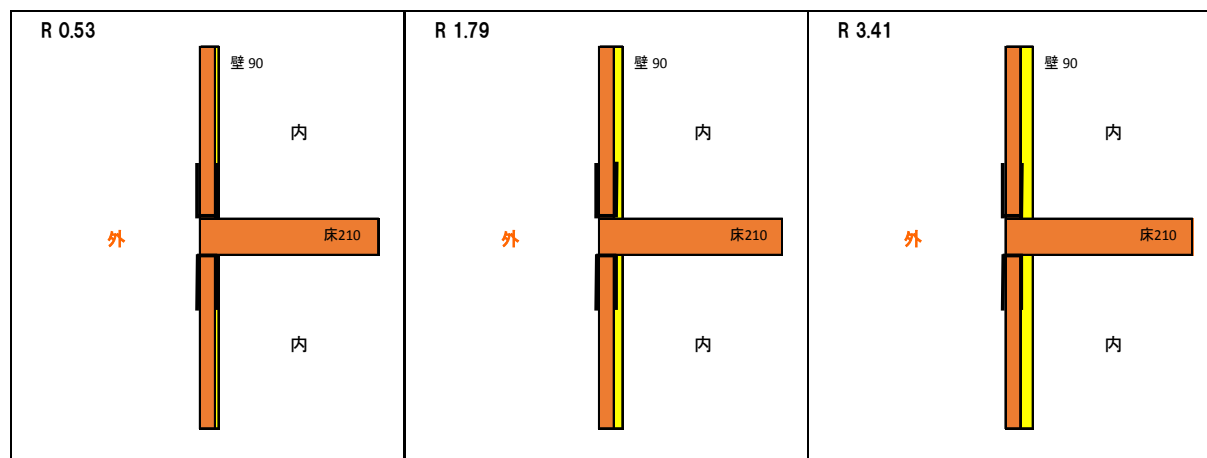


図 6 - 3 T型熱橋モデル（壁：内断熱、床：断熱なし、金物あり）

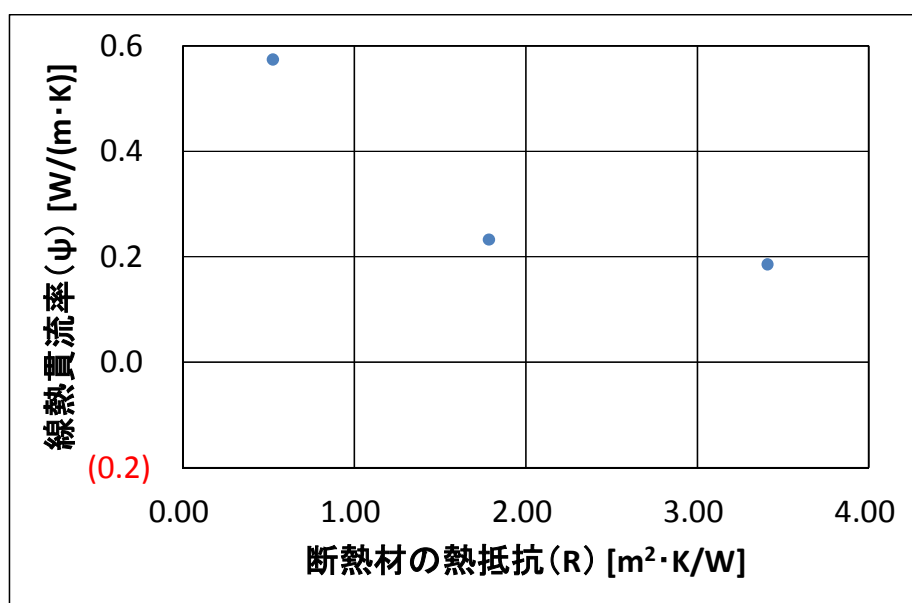


図 6 - 4 T型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

断熱材の熱抵抗 R が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。断熱材の熱抵抗 R が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。

- 断熱材の熱抵抗（R）が大きくなると、線熱貫流率（ $\psi$ ）は徐々に小さくなった。それは、断熱材の熱抵抗が大きくなることで単純に金物に流れる熱流が減少したためと考えられる。

No. 3 +型熱橋モデル（壁：外断熱、床：断熱なし、金物あり）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

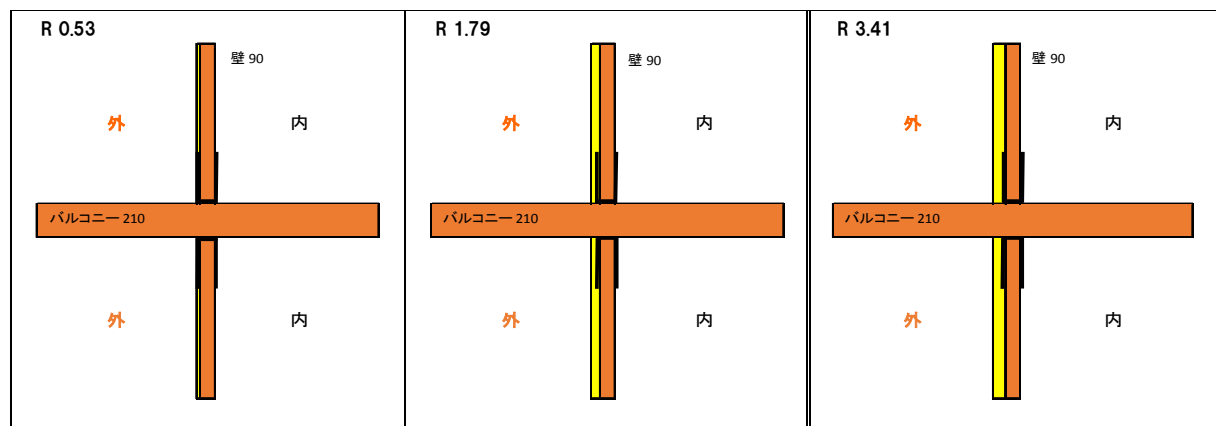


図 6 - 5 +型熱橋モデル（壁：外断熱、床：断熱なし、金物あり）

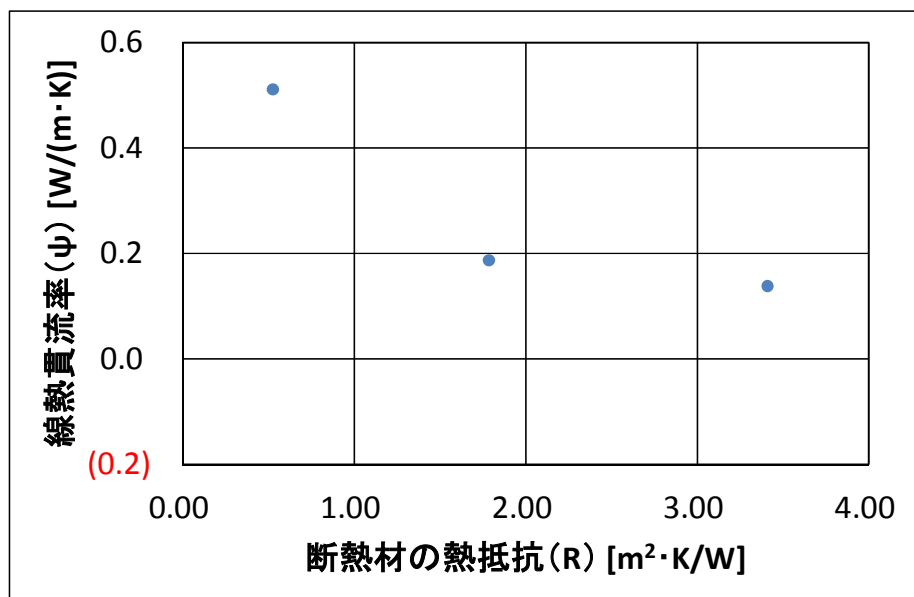


図 6 - 6 +型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

断熱材の熱抵抗 R が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。断熱材の熱抵抗 R が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。

- 断熱材の熱抵抗 (R) が大きくなるにつれ、線熱貫流率 ( $\psi$ ) は 0.511 [W/(m·K)]、0.187 [W/(m·K)]、0.138 [W/(m·K)]と、徐々に小さくなった。それは、断熱材の熱抵抗が大きくなることで単純に金物に流れる熱流が減少したためと考えられる。

No. 4 +型熱橋モデル（壁：内断熱、床：断熱なし、金物あり）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

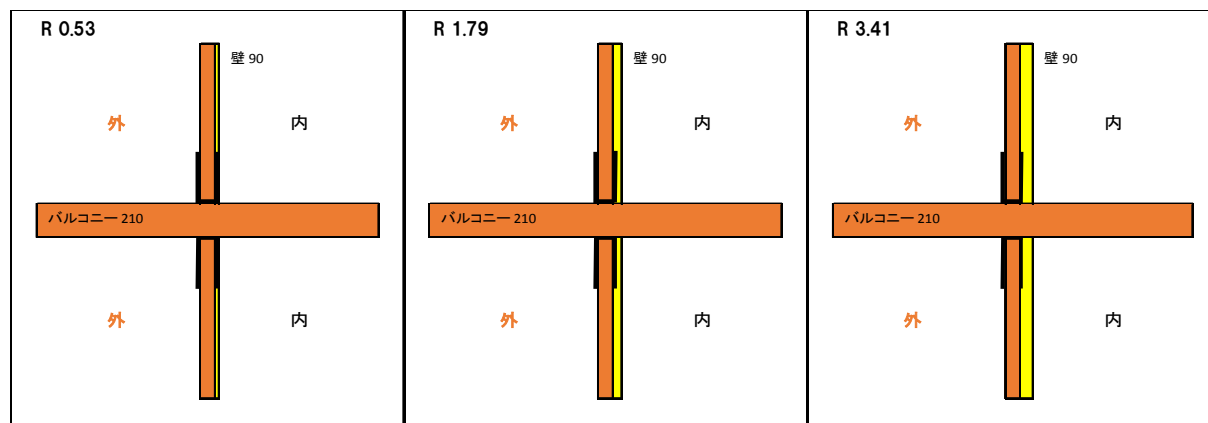


図 6 - 7 +型熱橋モデル（壁：内断熱、床：断熱なし、金物あり）

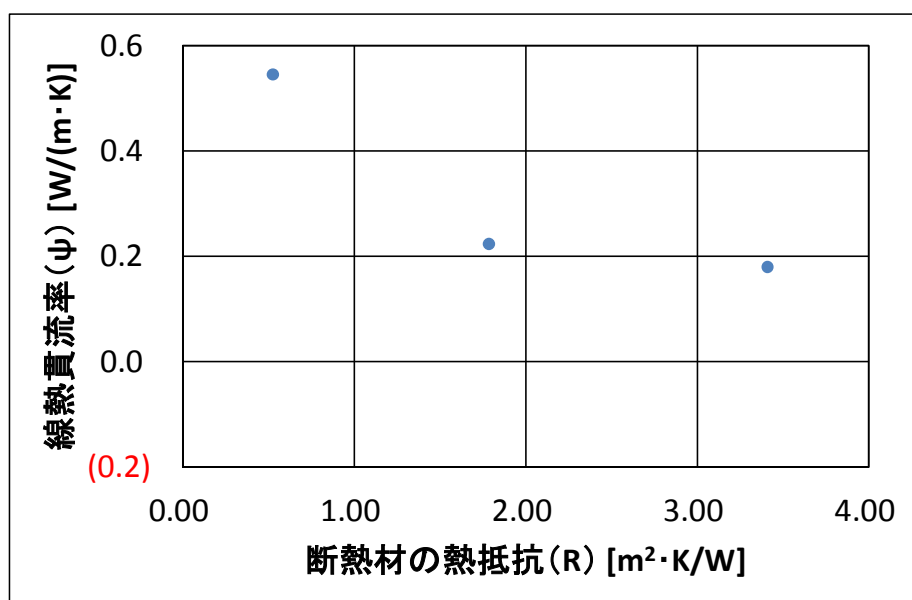


図 6 - 8 +型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

断熱材の熱抵抗 R が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。断熱材の熱抵抗 R が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。

- 断熱材の熱抵抗 (R) が大きくなると、線熱貫流率 ( $\psi$ ) は徐々に小さくなった。それは、断熱材の熱抵抗が大きくなることで単純に金物に流れる熱流が減少したためと考えられる。

No. 5 T型熱橋モデル（壁：内断熱、外気床：外断熱、金物あり）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

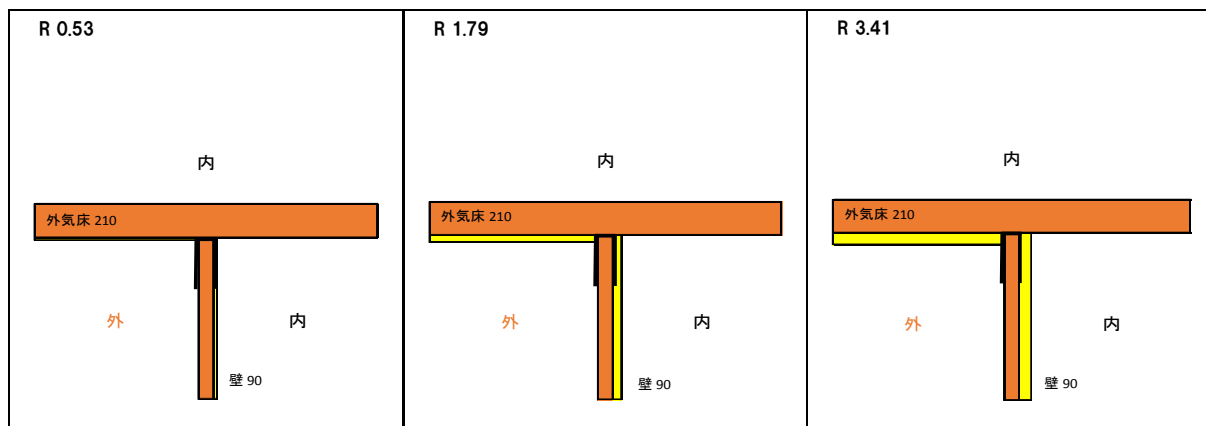


図6-9 T型熱橋モデル（壁：内断熱、外気床：外断熱、金物あり）

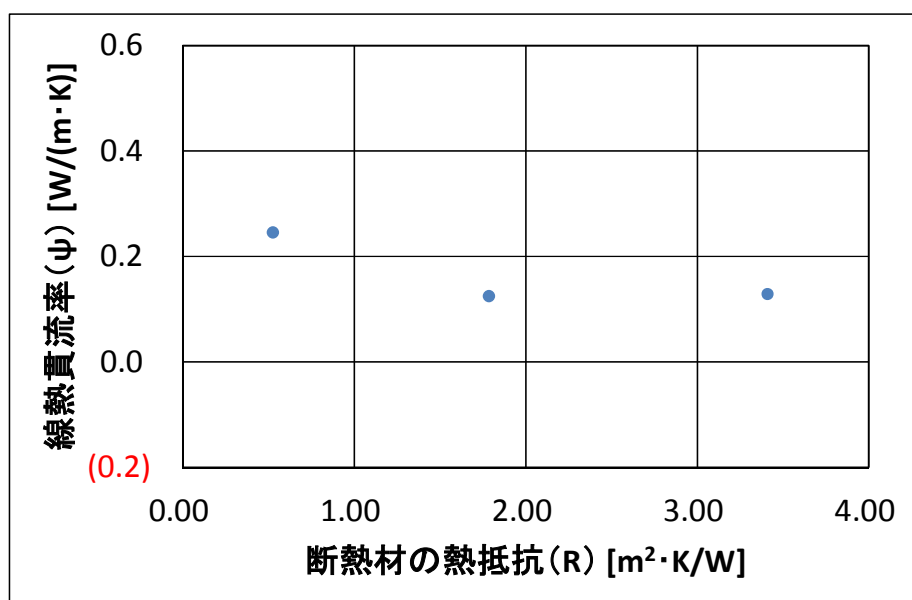


図6-10 T型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

断熱材の熱抵抗 R が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。断熱材の熱抵抗 R が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。

- 断熱材の熱抵抗 (R) が大きくなると、線熱貫流率 ( $\psi$ ) は 0.246 [W/(m·K)]、0.125 [W/(m·K)]、0.129 [W/(m·K)]となった。  
それは、断熱材の熱抵抗が大きくなることで単純に金物に流れる熱流が減少したためと考えられる。
- 断熱材の熱抵抗 (R) が 1.79 と 3.41[m<sup>2</sup>·K/W]の線熱貫流率 ( $\psi$ ) は、ほぼ差がない。

No. 6 T型熱橋モデル（壁：内断熱、外気床：内断熱、金物あり）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

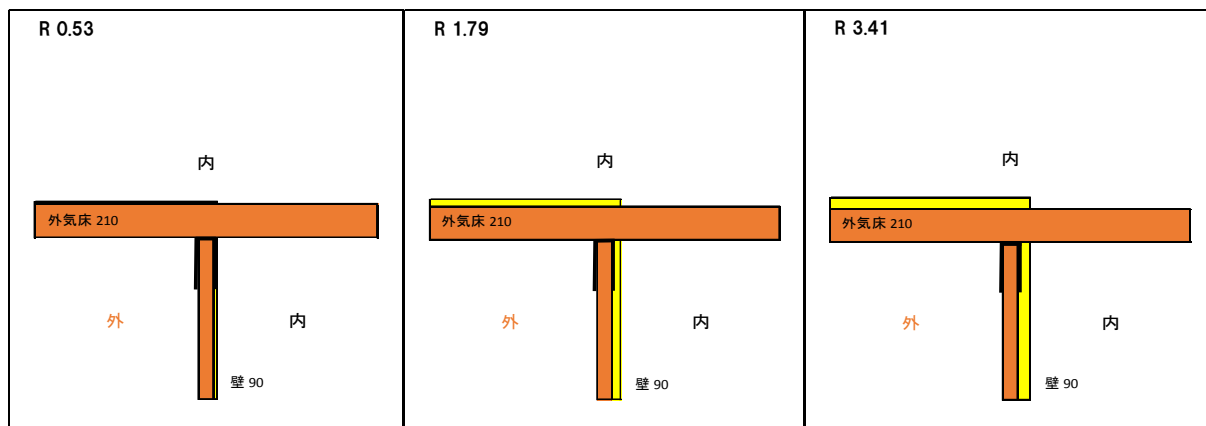


図 6 - 11 T型熱橋モデル（壁：内断熱、外気床：内断熱、金物あり）

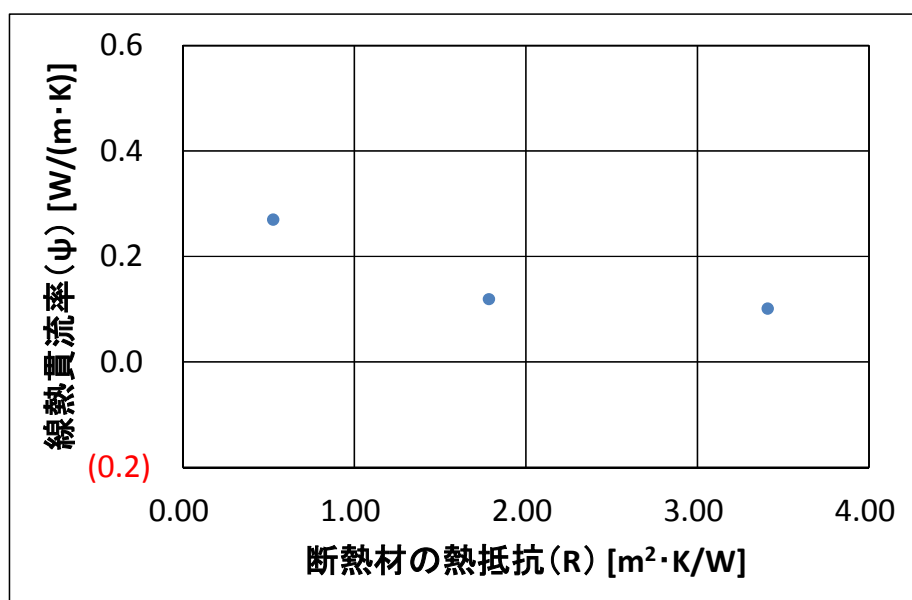


図 6 - 12 T型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

断熱材の熱抵抗 R が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。断熱材の熱抵抗 R が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。

- 断熱材の熱抵抗 (R) が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]の線熱貫流率 ( $\psi$ ) は、0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]よりも小さかった。  
それは、断熱材の熱抵抗が大きくなることで単純に金物に流れる熱流が減少したためと考えられる。
- 断熱材の熱抵抗 (R) が 1.79 と 3.41[m<sup>2</sup>·K/W]の線熱貫流率 ( $\psi$ ) は、ほぼ差がない。

No. 7 T型熱橋モデル（壁：外断熱、外気床：内断熱、金物あり）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

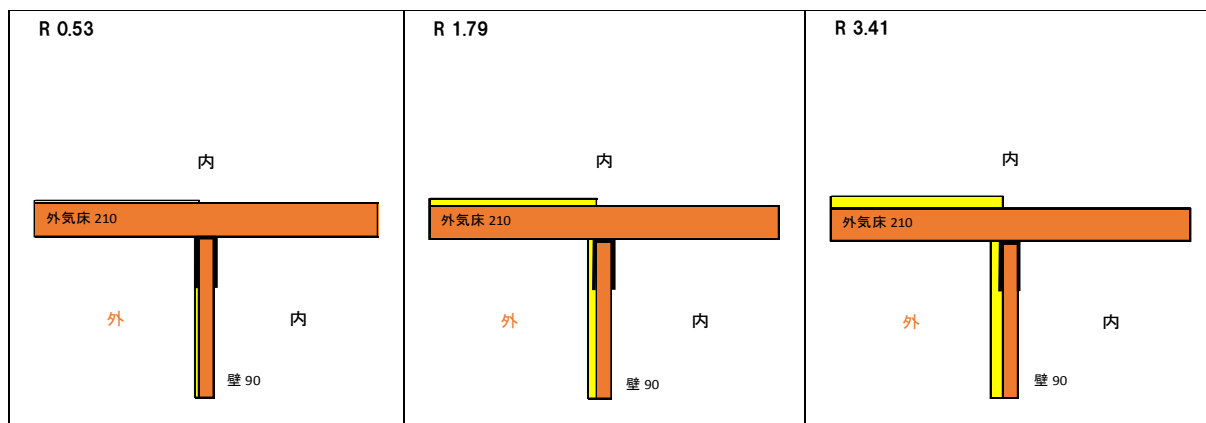


図 6 - 13 T型熱橋モデル（壁：外断熱、外気床：内断熱、金物あり）

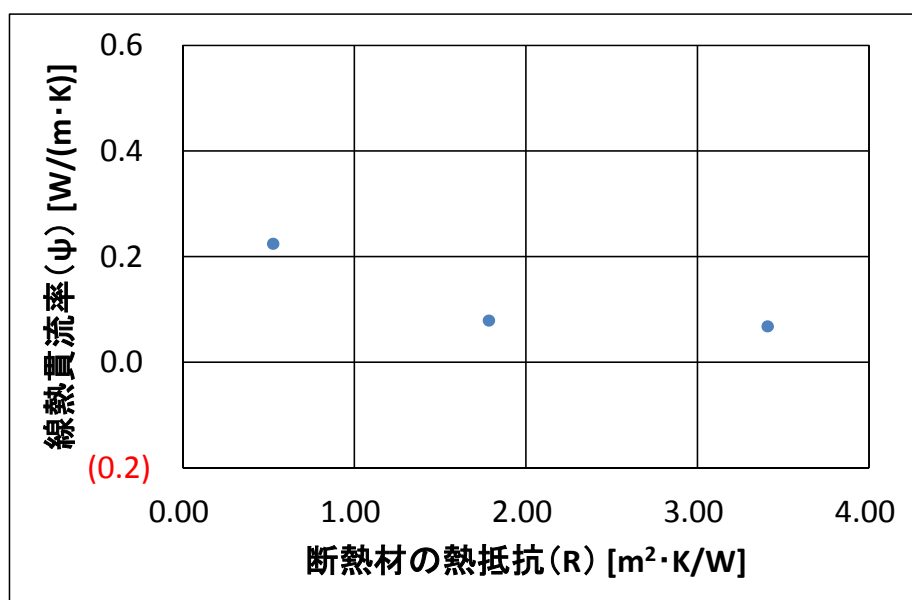


図 6 - 14 T型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

断熱材の熱抵抗 R が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。断熱材の熱抵抗 R が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。

- 断熱材の熱抵抗 (R) が大きくなると、線熱貫流率 ( $\psi$ ) は徐々に小さくなったが、R 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W] の  $\psi$  は、ほぼ同じ値であった。それは、断熱材の熱抵抗が大きくなることで単純に金物に流れる熱流が減少したためと考えられる。

No. 8 +型熱橋モデル（壁：内断熱、外気床：外断熱、金物あり）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

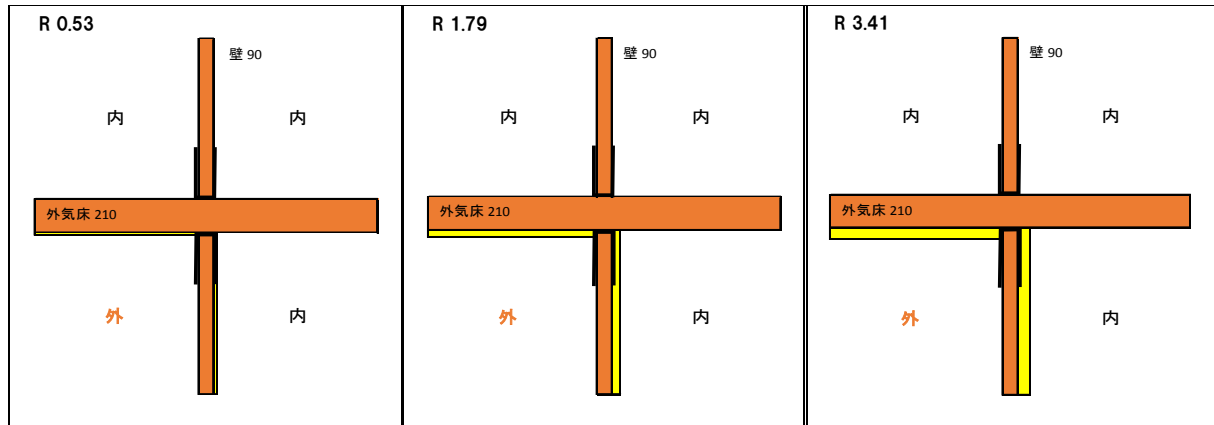


図6-15 +型熱橋モデル（壁：内断熱、外気床：外断熱、金物あり）

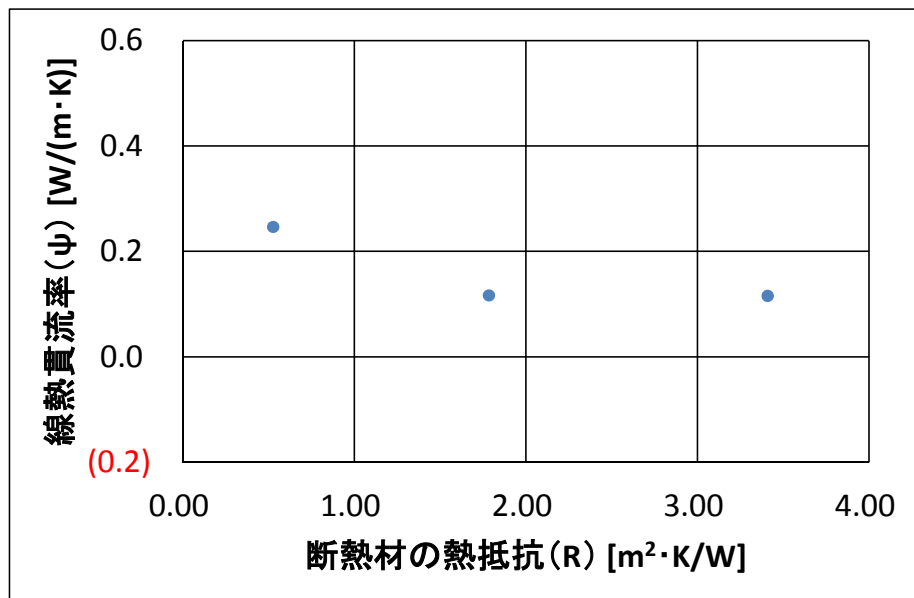


図6-16 +型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

断熱材の熱抵抗 R が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。断熱材の熱抵抗 R が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。

- 断熱材の熱抵抗 (R) が大きくなると、線熱貫流率 ( $\psi$ ) は 0.246 [W/(m·K)]、0.116 [W/(m·K)]、0.115 [W/(m·K)]と徐々に小さくなった。

それは、断熱材の熱抵抗が大きくなることで単純に金物に流れる熱流が減少したためと考えられる。

- 断熱材の熱抵抗 (R) が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]の線熱貫流率 ( $\psi$ ) は、ほぼ同じ値であった。



No. 9 +型熱橋モデル（壁：内断熱、外気床：内断熱、金物あり）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

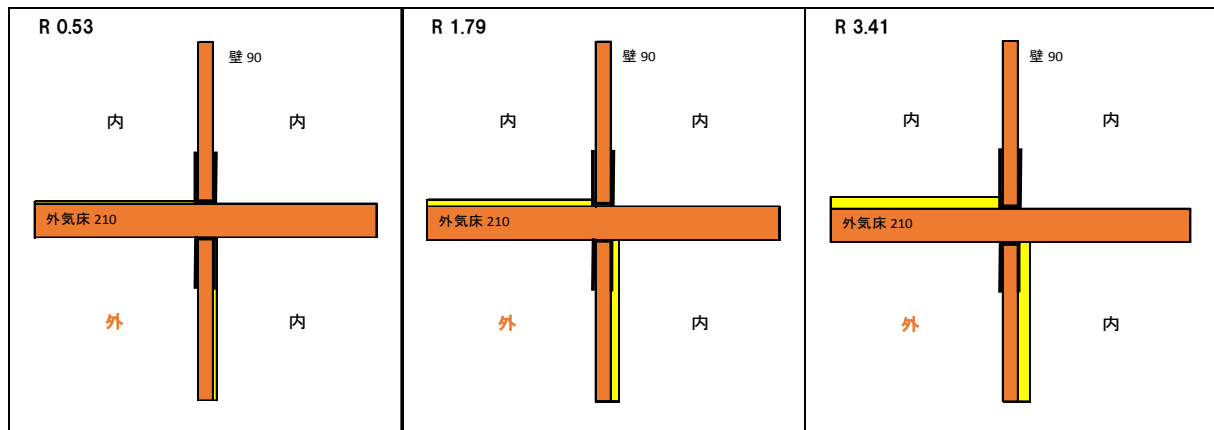


図 6 - 17 +型熱橋モデル（壁：内断熱、外気床：内断熱、金物あり）

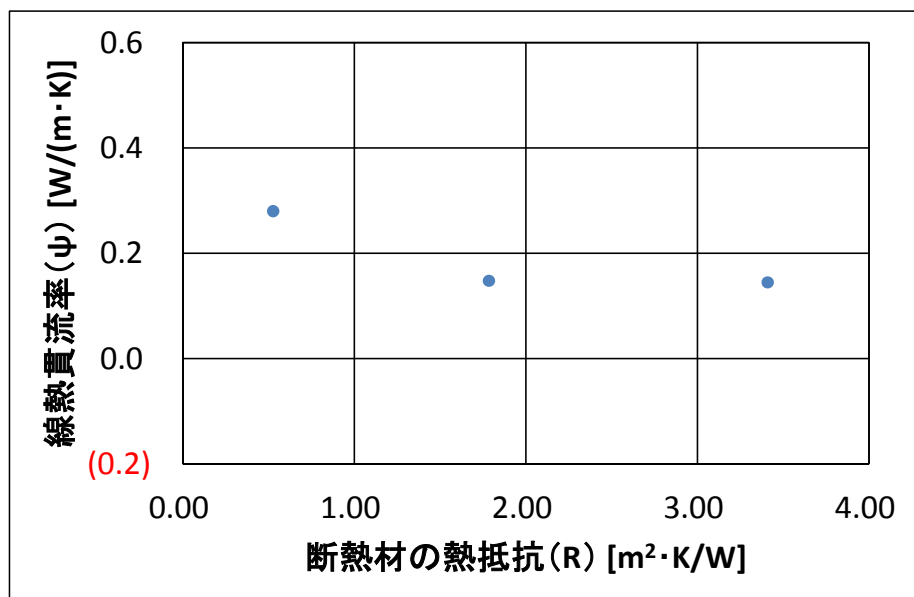


図 6 - 18 +型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

断熱材の熱抵抗 R が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。断熱材の熱抵抗 R が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。

- ・断熱材の熱抵抗 (R) が 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]のとき、線熱貫流率 ( $\psi$ ) は最も大きかった。それは、断熱材の熱抵抗が大きくなることで単純に金物に流れる熱流が減少したためと考えられる。
- ・断熱材の熱抵抗 (R) が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]の線熱貫流率 ( $\psi$ ) は、R 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]よりも小さく、ほぼ同じ値であった。

No. 10 +型熱橋モデル（壁：外断熱、外気床：内断熱、金物あり）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

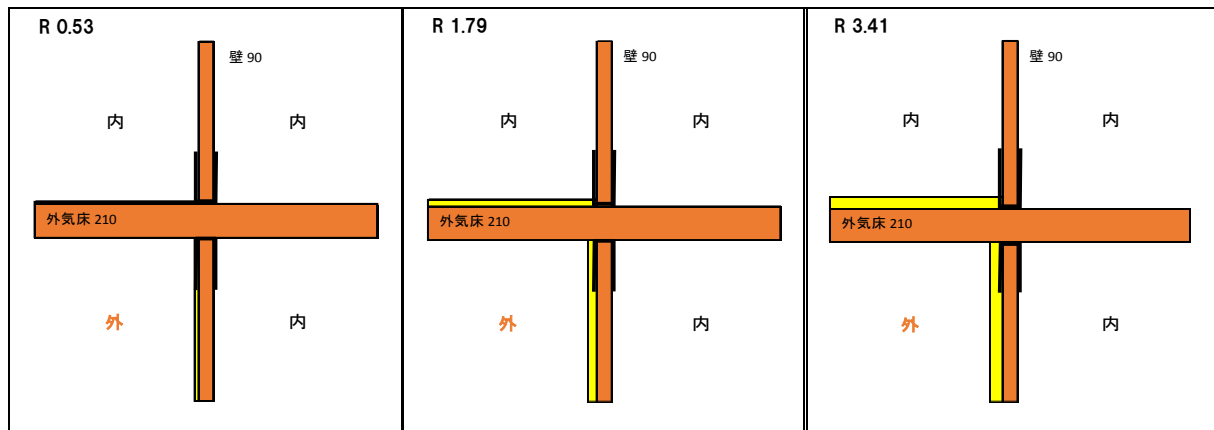


図 6 - 19 +型熱橋モデル（壁：外断熱、外気床：内断熱、金物あり）

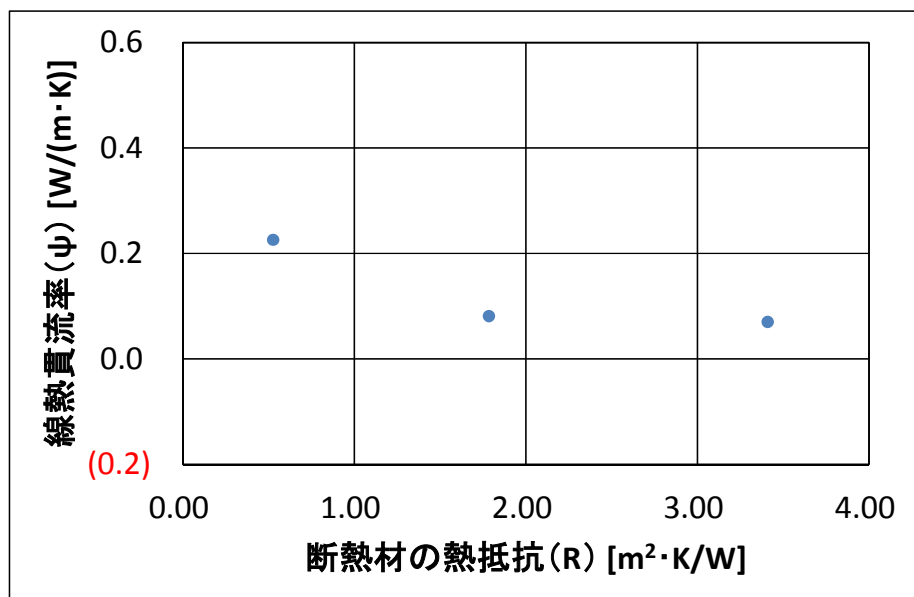


図 6 - 20 +型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

断熱材の熱抵抗 R が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。断熱材の熱抵抗 R が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。

- 断熱材の熱抵抗 (R) が大きくなると、線熱貫流率 ( $\psi$ ) は徐々に小さくなったが、R 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、ほぼ同じ値であった。それは、断熱材の熱抵抗が大きくなることで単純に金物に流れる熱流が減少したためと考えられる。

No. 11 T型熱橋モデル（壁：外断熱、屋根：外断熱、金物あり）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

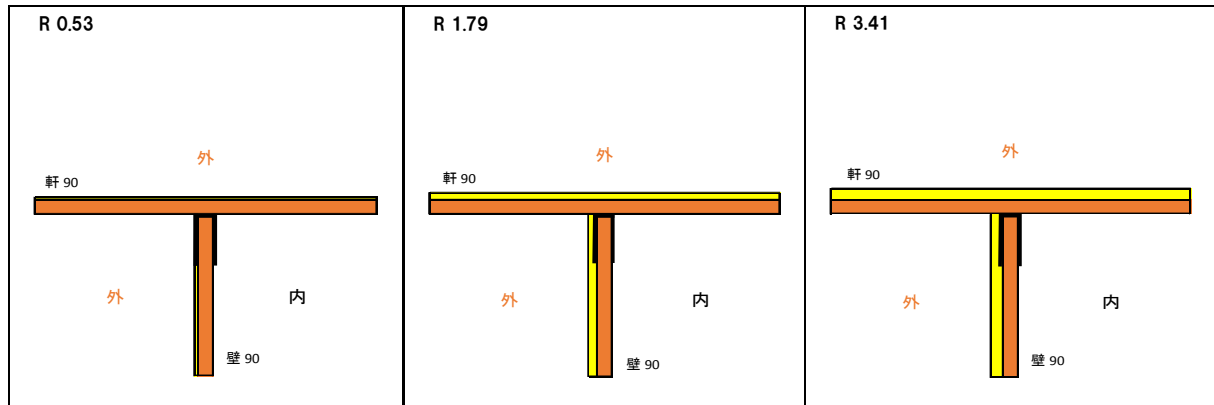


図 6-21 T型熱橋モデル（壁：外断熱、屋根：外断熱、金物あり）

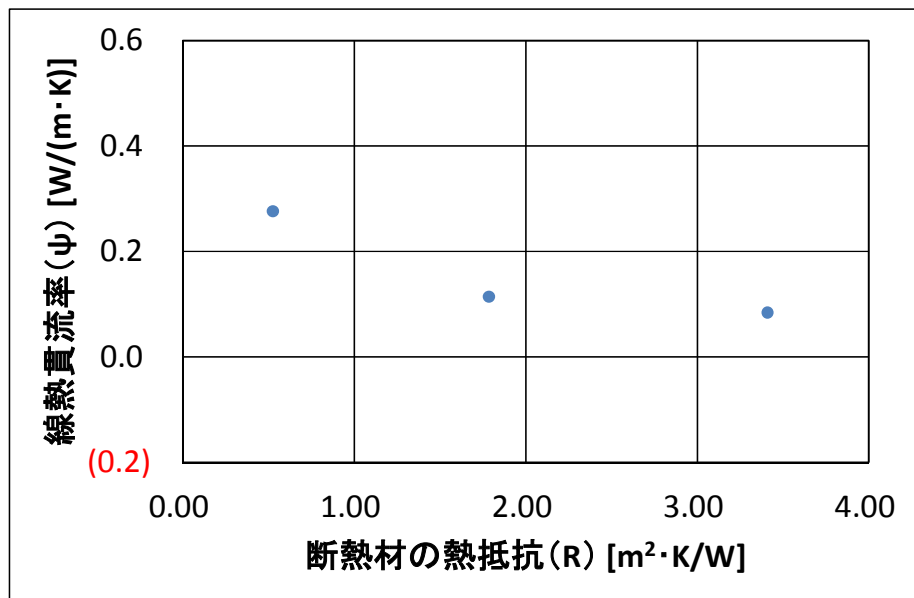


図 6-22 T型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

断熱材の熱抵抗 R が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。断熱材の熱抵抗 R が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。

- 断熱材の熱抵抗 (R) が大きくなるにつれ、線熱貫流率 ( $\psi$ ) は 0.276 [W/(m·K)]、0.114 [W/(m·K)]、0.084 [W/(m·K)]と、徐々に小さくなった。

それは、断熱材の熱抵抗が大きくなることで単純に金物に流れる熱流が減少したためと考えられる。

No. 12 T型熱橋モデル（壁：内断熱、屋根：外断熱、金物あり）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

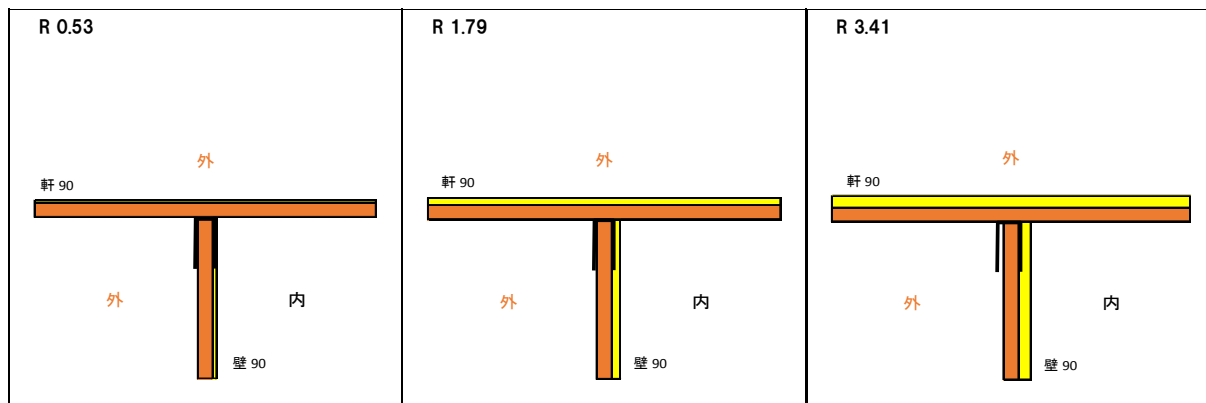


図 6-23 T型熱橋モデル（壁：内断熱、屋根：外断熱、金物あり）

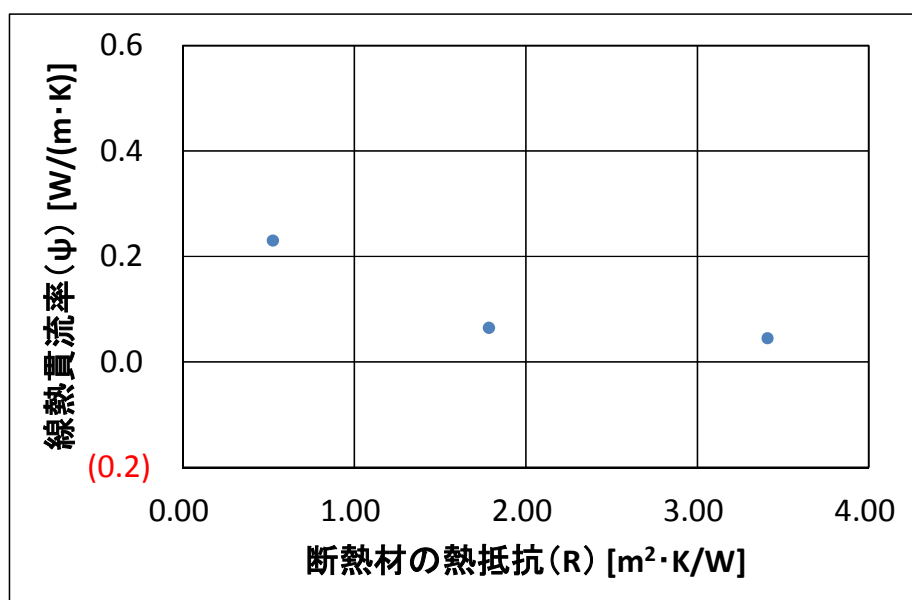


図 6-24 T型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

断熱材の熱抵抗 R が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。断熱材の熱抵抗 R が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。

- 断熱材の熱抵抗（R）が大きくなると、線熱貫流率（ $\psi$ ）は小さくなった。  
それは、断熱材の熱抵抗が大きくなることで単純に金物に流れる熱流が減少したためと考えられる。

No. 13 +型熱橋モデル（壁：断熱なし、外気床：外断熱、金物あり）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

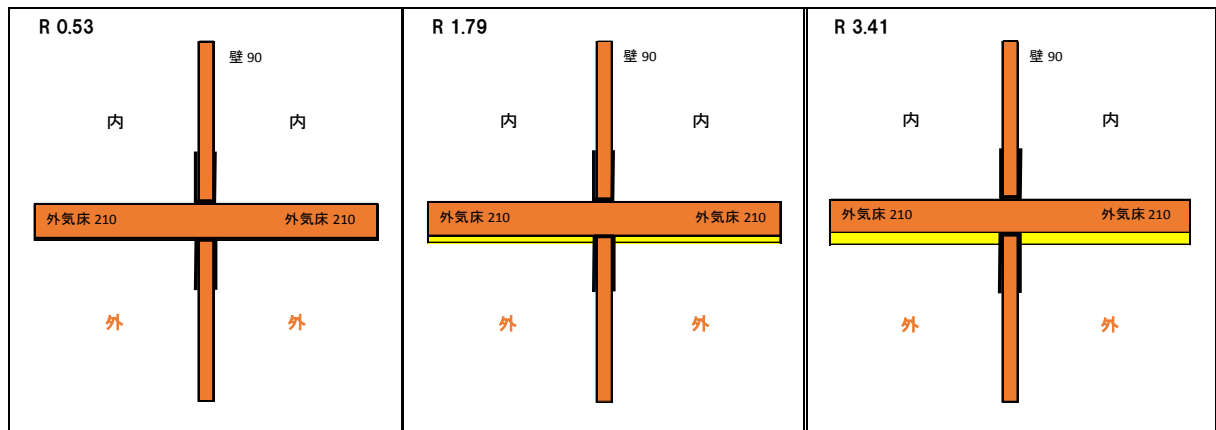


図 6-25 +型熱橋モデル（壁：断熱なし、外気床：外断熱、金物あり）

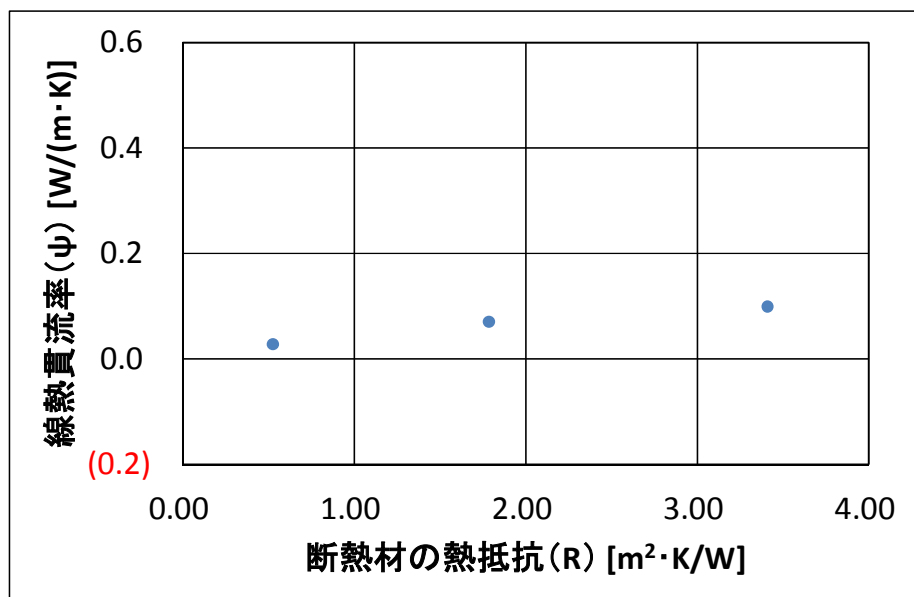


図 6-26 +型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

断熱材の熱抵抗 R が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。断熱材の熱抵抗 R が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。

- 断熱材の熱抵抗 (R) が大きくなるほど、線熱貫流率 ( $\psi$ ) も 0.027 [W/(m·K)]、0.070 [W/(m·K)]、0.099 [W/(m·K)]と徐々に大きくなった。  
それは、金物が断熱材で塞がれていないため、断熱材が強化されると金物熱橋に熱流が増加したためだと考えられる。

No. 14 +型熱橋モデル（壁：断熱なし、外気床：内断熱、金物あり）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

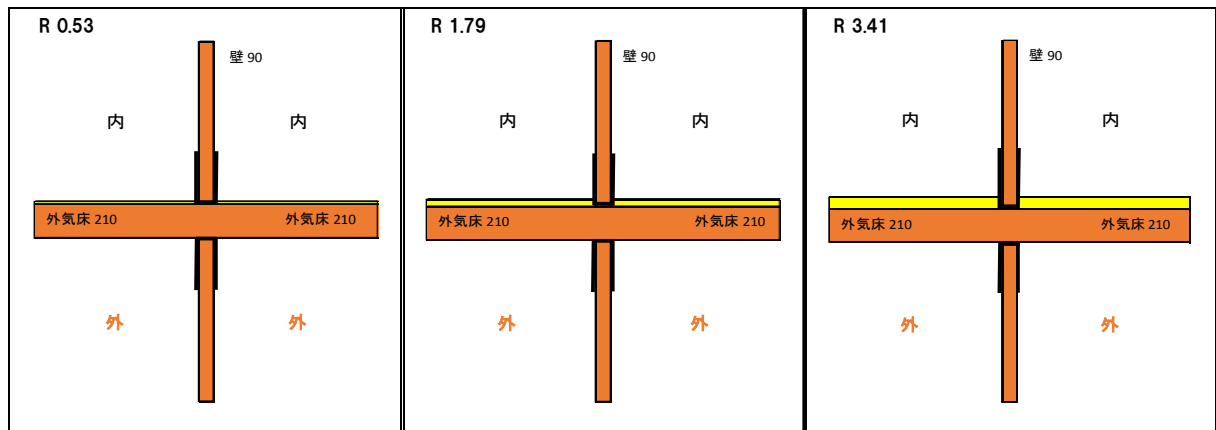


図 6-27 +型熱橋モデル（壁：断熱なし、外気床：内断熱、金物あり）

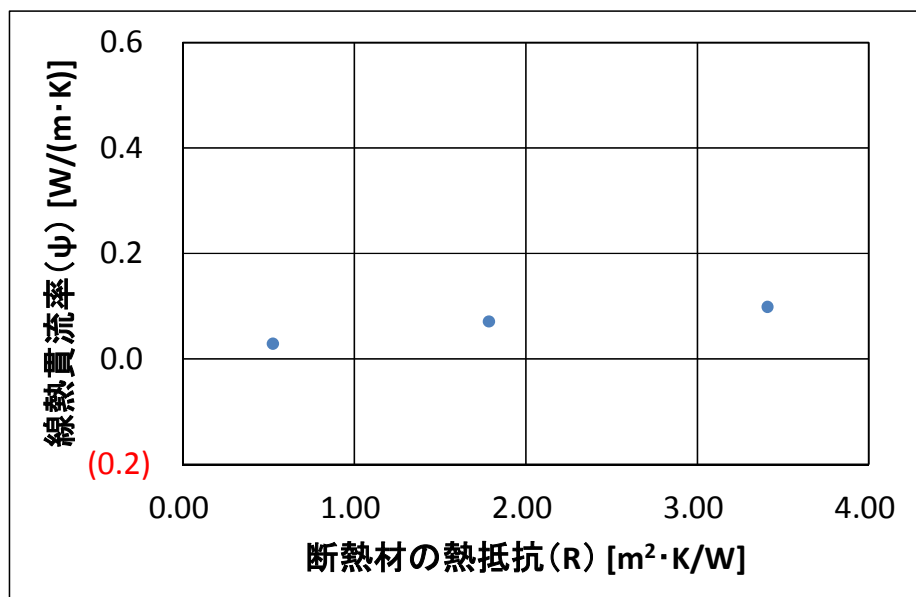


図 6-28 +型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

断熱材の熱抵抗 R が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。断熱材の熱抵抗 R が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。

- 断熱材の熱抵抗 (R) が大きくなるほど、線熱貫流率 ( $\psi$ ) も大きくなった。それは、金物が断熱材で塞がれていないため、断熱材が強化されると金物熱橋に熱流が増加したためだと考えられる。

No. 15 L型熱橋モデル（壁：外断熱、屋根：外断熱、金物あり）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

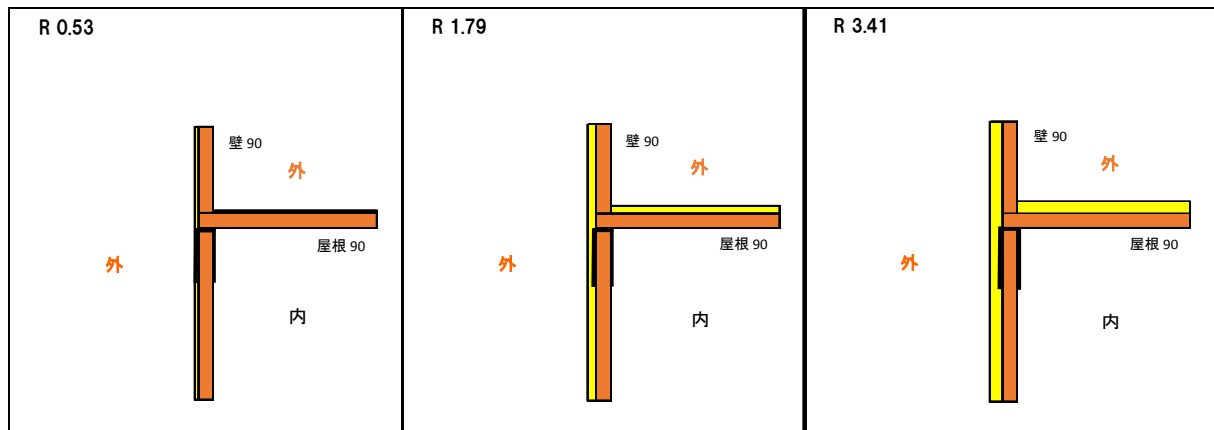


図 6-29 L型熱橋モデル（壁：外断熱、屋根：外断熱、金物あり）

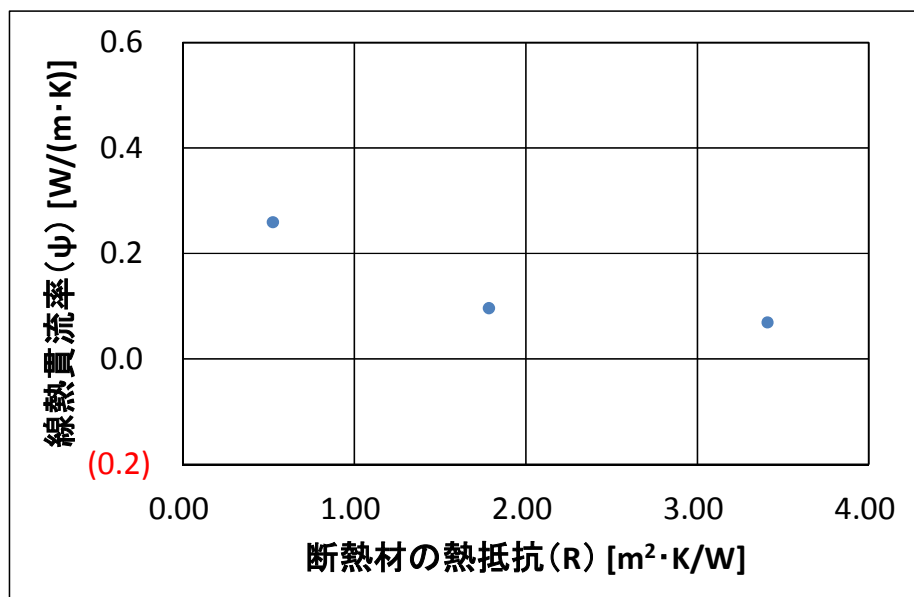


図 6-30 L型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

断熱材の熱抵抗 R が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。断熱材の熱抵抗 R が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。

- 断熱材の熱抵抗 (R) が大きくなるにつれ、線熱貫流率 ( $\psi$ ) は 0.259 [W/(m·K)]、0.096 [W/(m·K)]、0.069 [W/(m·K)]と徐々に小さくなった。

それは、断熱材の熱抵抗が大きくなることで単純に金物に流れる熱流が減少したためと考えられる。

No. 16 L型熱橋モデル（壁：外断熱、屋根：内断熱、金物あり）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

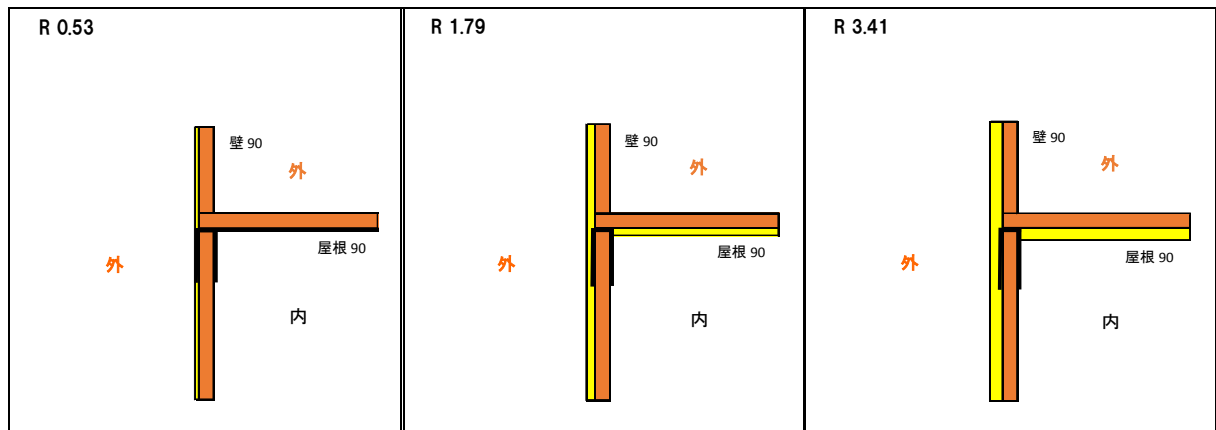


図 6-31 L型熱橋モデル（壁：外断熱、屋根：内断熱、金物あり）

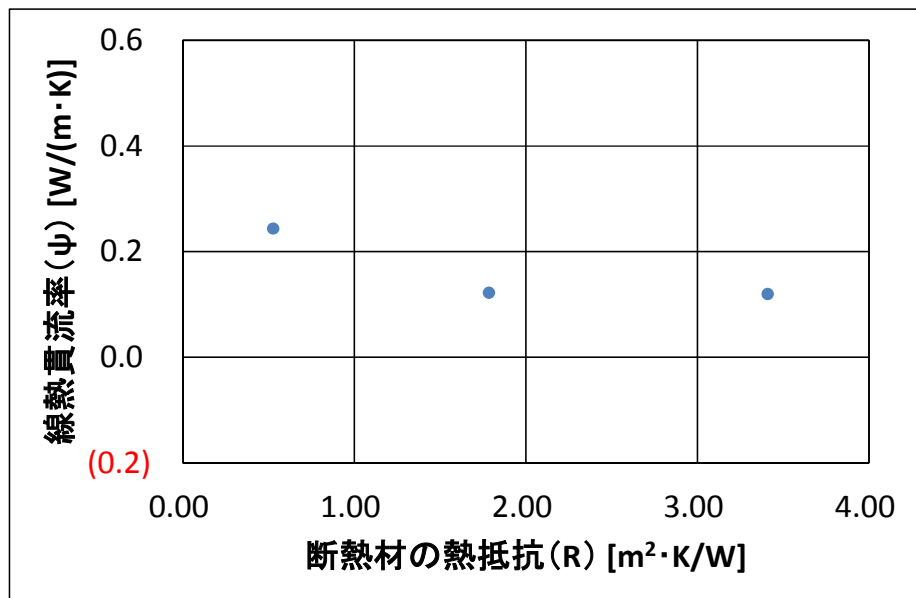


図 6-32 L型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

断熱材の熱抵抗 R が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。断熱材の熱抵抗 R が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。

- 断熱材の熱抵抗 (R) が大きくなるにつれ、線熱貫流率 ( $\psi$ ) は小さくなった。それは、断熱材の熱抵抗が大きくなることで単純に金物に流れる熱流が減少したためと考えられる。
- 断熱材の熱抵抗 (R) が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]の線熱貫流率 ( $\psi$ ) は、ほぼ同じ値であった。



No. 17 L型熱橋モデル（壁：内断熱、屋根：外断熱、金物あり）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

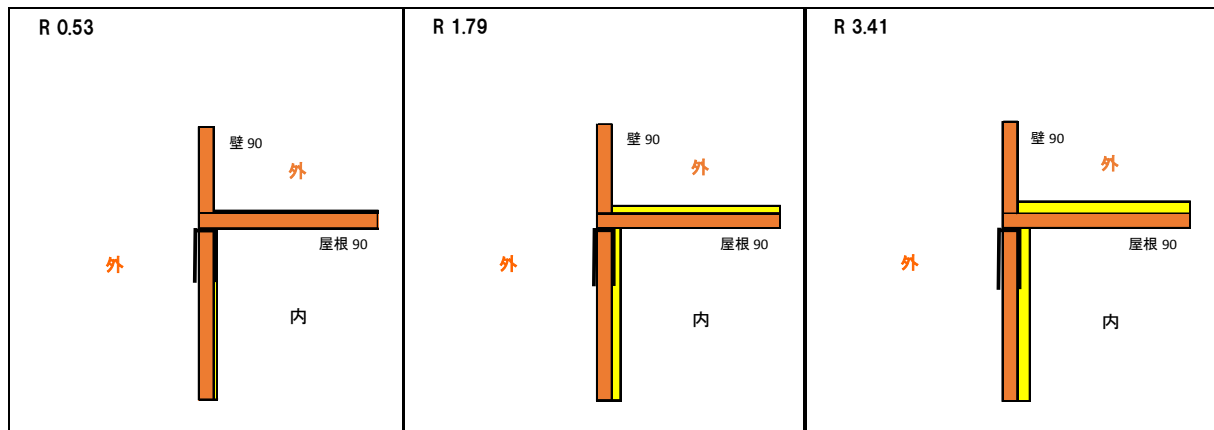


図 6 - 33 L型熱橋モデル（壁：内断熱、屋根：外断熱、金物あり）

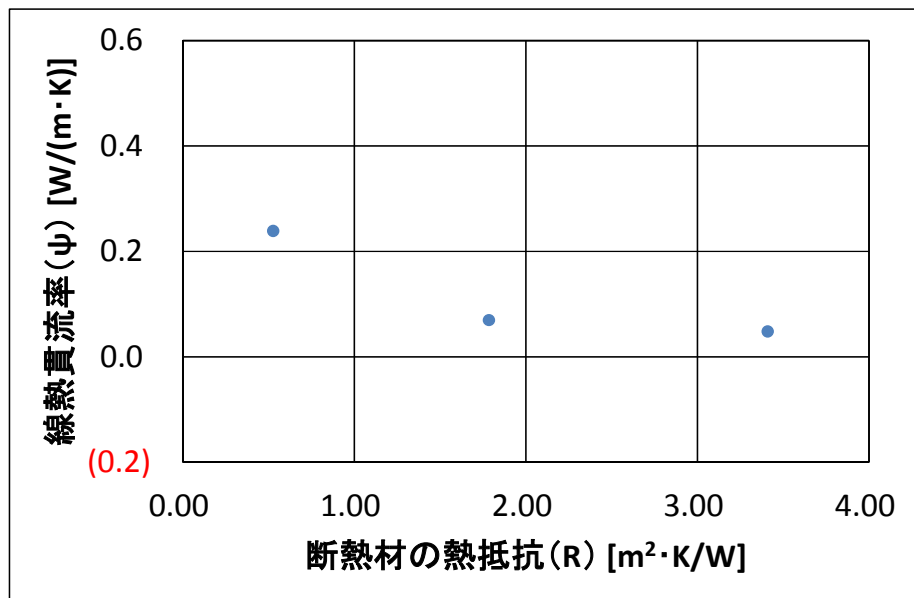


図 6 - 34 L型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

・断熱材の熱抵抗 R が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。断熱材の熱抵抗 R が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。

・断熱材の熱抵抗 (R) が大きくなると、線熱貫流率 ( $\psi$ ) は徐々に小さくなったが、断熱材の熱抵抗が大きくなることで単純に金物に流れる熱流が減少したためと考えられる。R 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]の  $\psi$  は、ほぼ同じ値であった。

No. 18 T型熱橋モデル（壁：内断熱、床：外断熱、金物あり）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

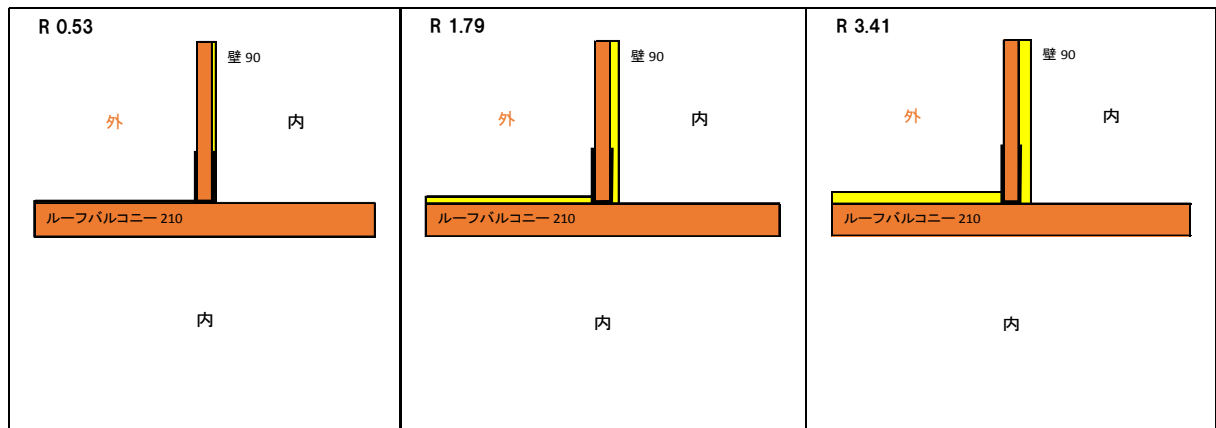


図 6 - 35 T型熱橋モデル（壁：内断熱、床：外断熱、金物あり）

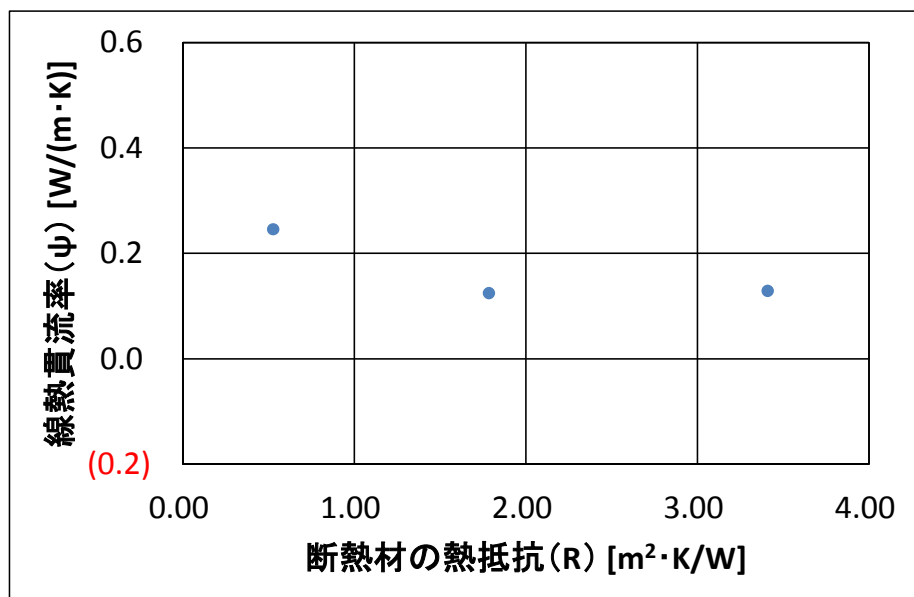


図 6 - 36 T型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

断熱材の熱抵抗 R が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。断熱材の熱抵抗 R が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。

- 断熱材の熱抵抗 (R) が大きくなるにつれ、線熱貫流率 ( $\psi$ ) は 0.246 [W/(m·K)]、0.125 [W/(m·K)]、0.129 [W/(m·K)]と徐々に小さくなった。

それは、断熱材の熱抵抗が大きくなることで単純に金物に流れる熱流が減少したためと考えられる。

- 断熱材の熱抵抗 (R) が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]の線熱貫流率 ( $\psi$ ) は、ほぼ同じ値であった。

No. 19 T型熱橋モデル（壁：内断熱、床：内断熱、金物あり）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

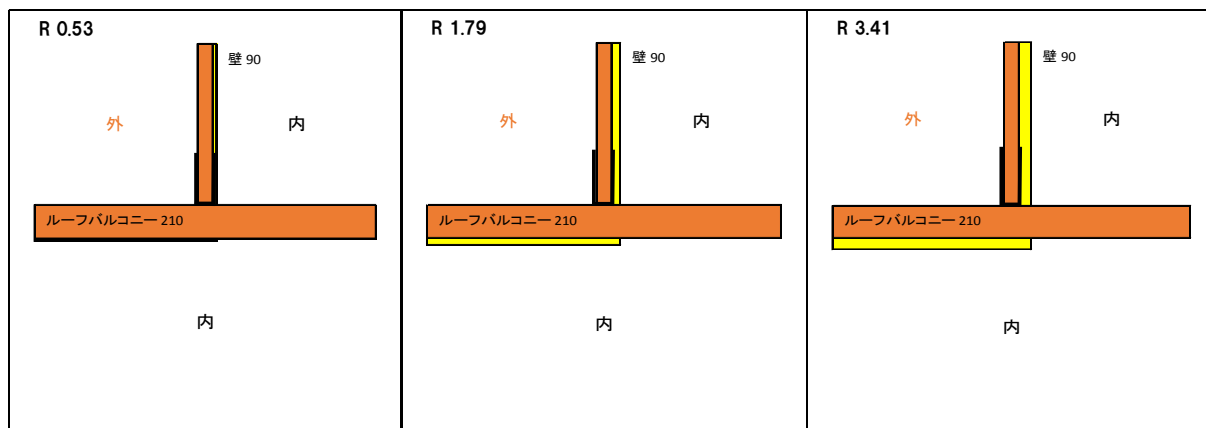


図6-37 T型熱橋モデル（壁：内断熱、床：内断熱、金物あり）

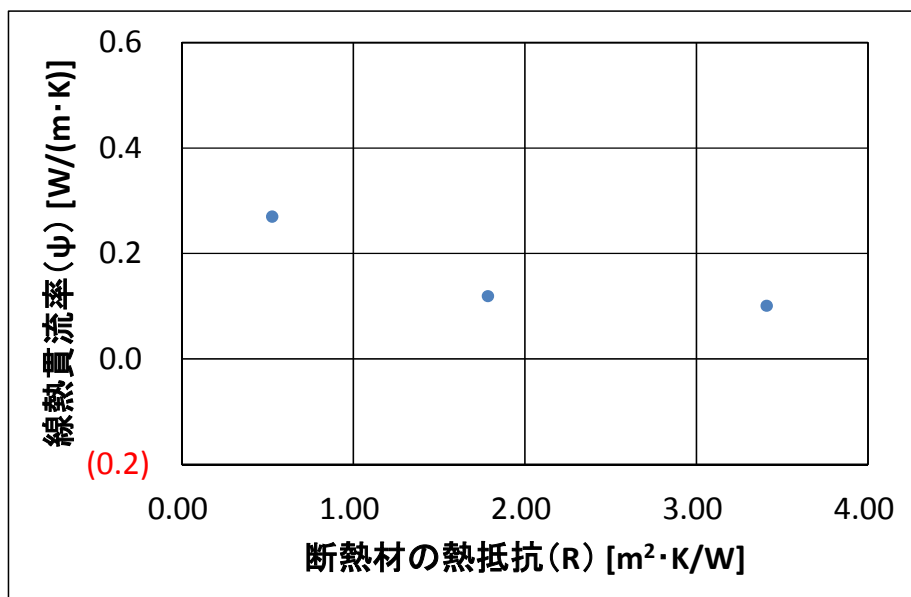


図6-38 T型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

断熱材の熱抵抗 R が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。断熱材の熱抵抗 R が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。

- 断熱材の熱抵抗 (R) が大きくなると、線熱貫流率 ( $\psi$ ) は徐々に小さくなった。それは、断熱材の熱抵抗が大きくなることで単純に金物に流れる熱流が減少したためと考えられる。
- 断熱材の熱抵抗 (R) 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]の線熱貫流率 ( $\psi$ ) は、ほぼ同じ値であった。

No. 20 T型熱橋モデル（壁：外断熱、床：内断熱、金物あり）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

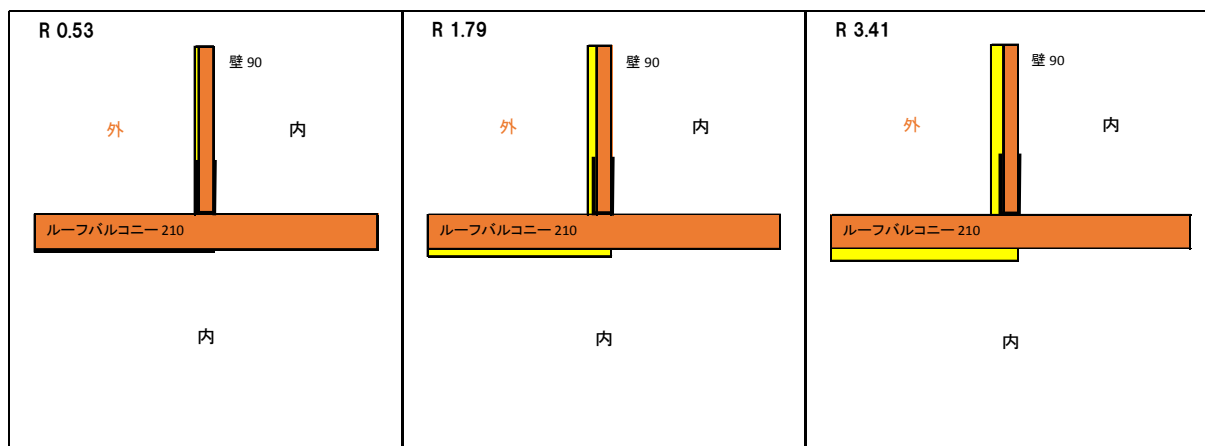


図6-39 T型熱橋モデル（壁：外断熱、床：内断熱、金物あり）

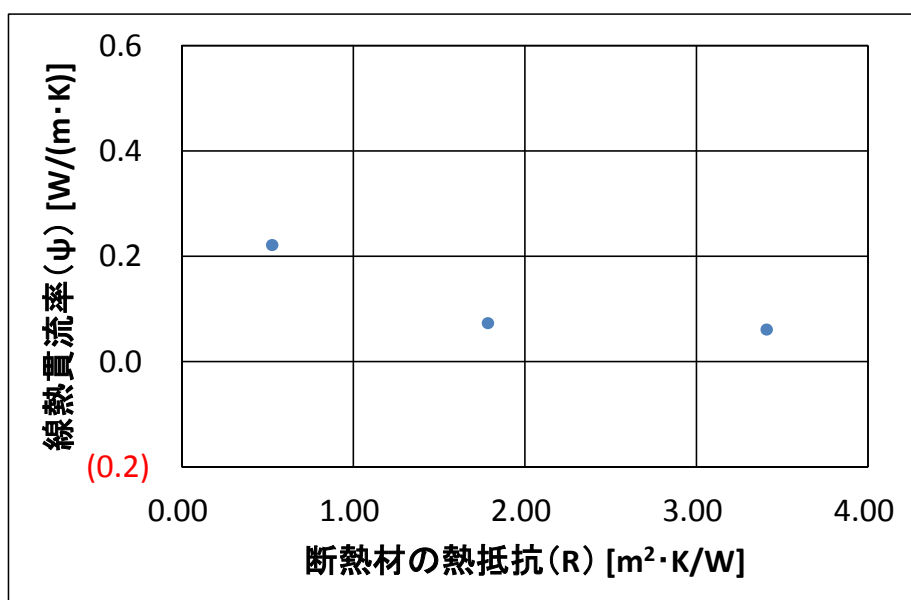


図6-40 T型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

断熱材の熱抵抗 R が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。断熱材の熱抵抗 R が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。

- ・断熱材の熱抵抗（R）が大きくなると、線熱貫流率（ $\psi$ ）は徐々に小さくなったが、断熱材の熱抵抗が大きくなることで単純に金物に流れる熱流が減少したためと考えられる。
- ・R 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]の  $\psi$  は、ほぼ同じ値であった。

No. 21 +型熱橋モデル（壁：内断熱、床：外断熱、金物あり）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

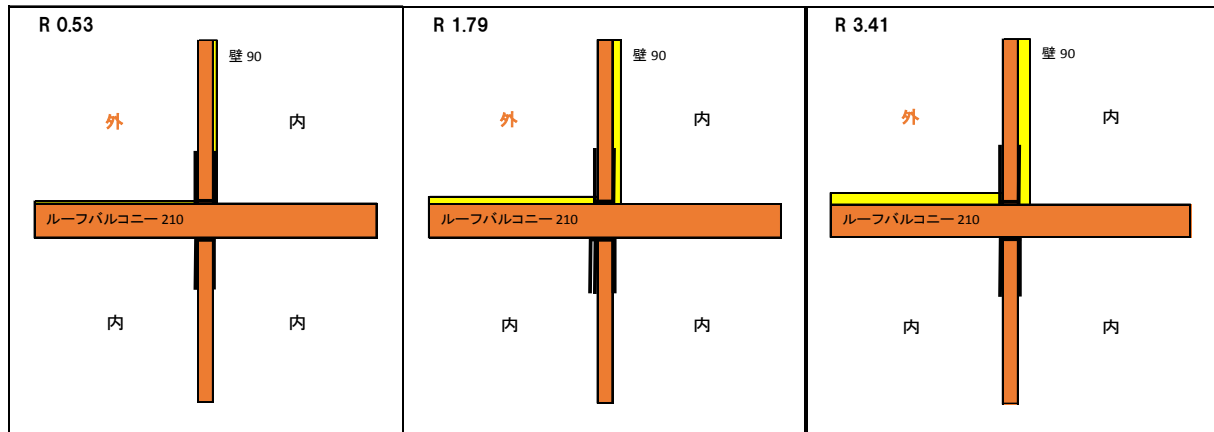


図 6-41 +型熱橋モデル（壁：内断熱、床：外断熱、金物あり）

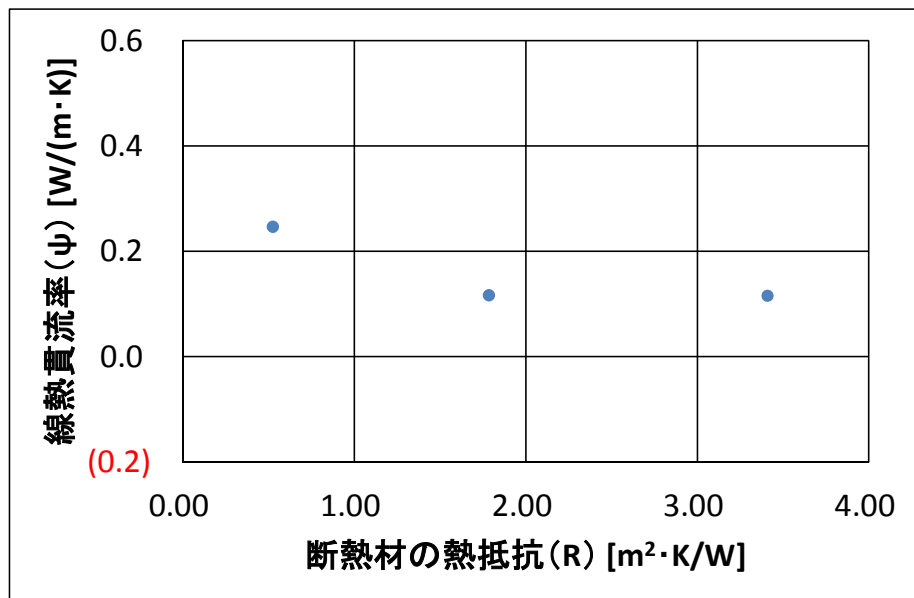


図 6-42 +型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

断熱材の熱抵抗 R が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。断熱材の熱抵抗 R が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。

- 断熱材の熱抵抗 (R) が大きくなると、線熱貫流率 ( $\psi$ ) は 0.246 [W/(m·K)]、0.116 [W/(m·K)]、0.115 [W/(m·K)]と徐々に小さくなった。

それは、断熱材の熱抵抗が大きくなることで単純に金物に流れる熱流が減少したためと考えられる。

- 断熱材の熱抵抗 (R) が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]の線熱貫流率 ( $\psi$ ) は、ほぼ同じ値であった。

No. 22 +型熱橋モデル（壁：内断熱、床：内断熱、金物あり）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

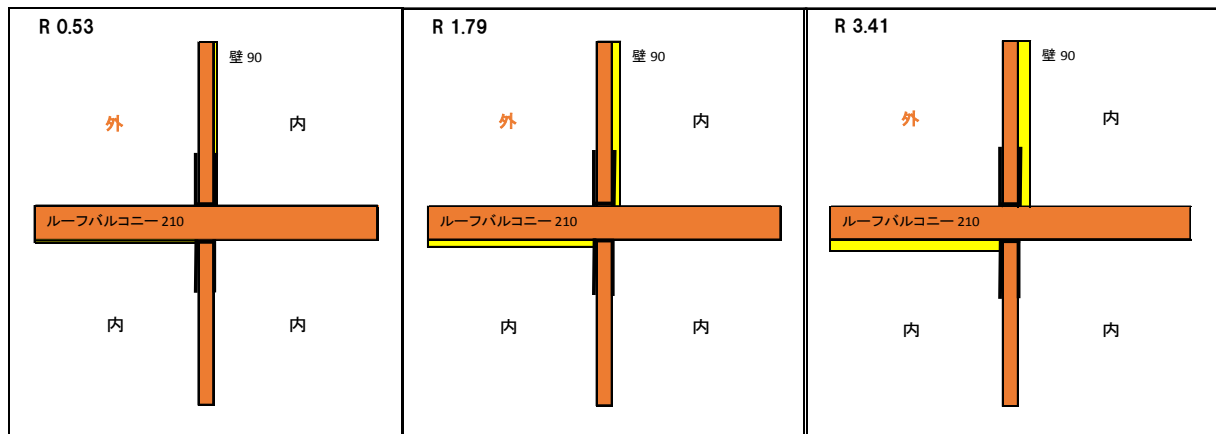


図 6-43 +型熱橋モデル（壁：内断熱、床：内断熱、金物あり）

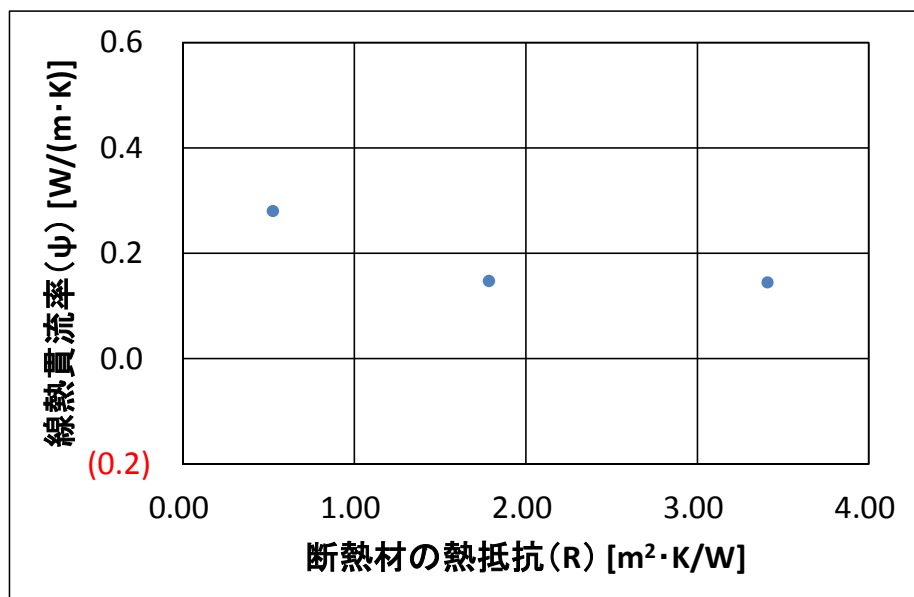


図 6-44 +型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

断熱材の熱抵抗 R が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。断熱材の熱抵抗 R が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。

- 断熱材の熱抵抗 (R) が大きくなるにつれ、線熱貫流率 ( $\psi$ ) は小さくなった。それは、断熱材の熱抵抗が大きくなることで単純に金物に流れる熱流が減少したためと考えられる。
- 断熱材の熱抵抗 (R) が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]の線熱貫流率 ( $\psi$ ) は、ほぼ同じ値であった。

No. 23 +型熱橋モデル（壁：外断熱、床：内断熱、金物あり）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

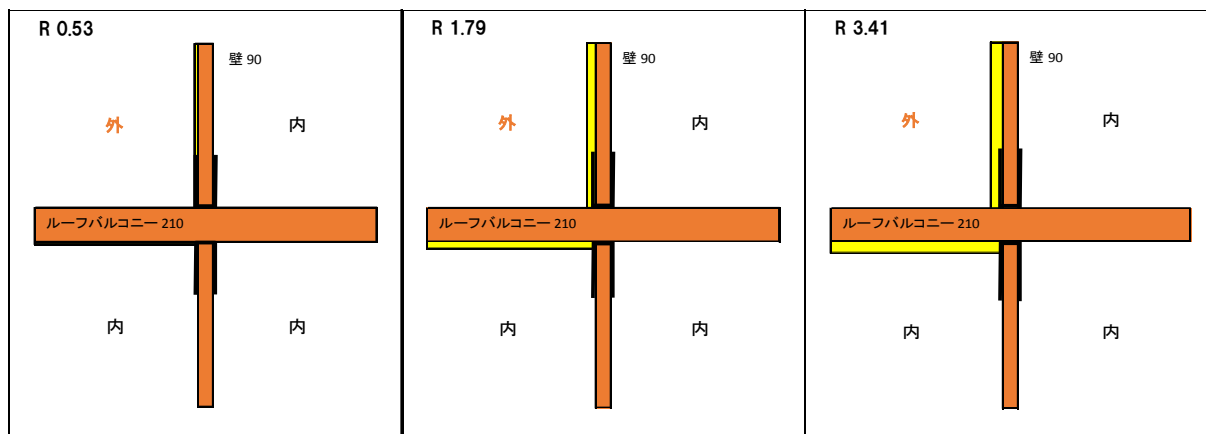


図 6 - 45 +型熱橋モデル（壁：外断熱、床：内断熱、金物あり）

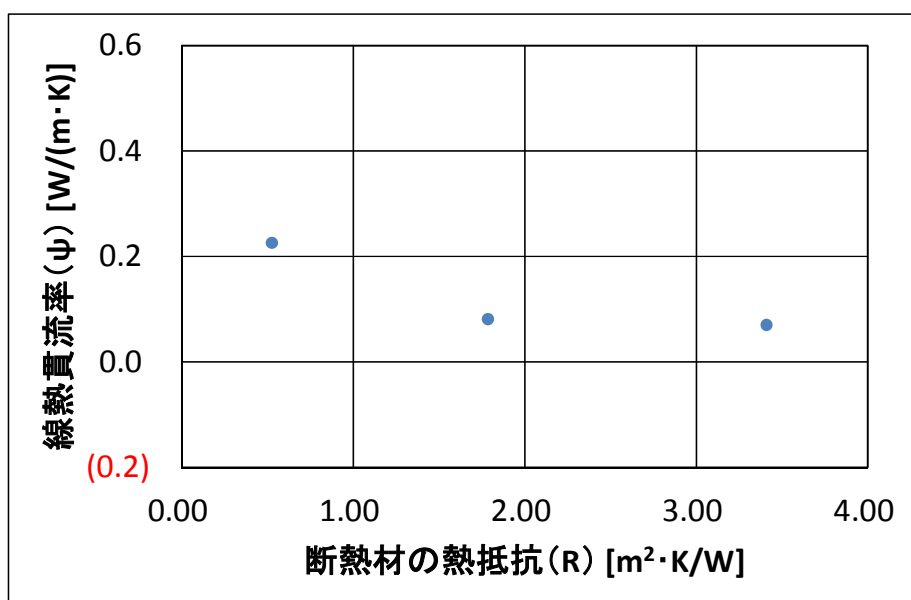


図 6 - 46 +型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

断熱材の熱抵抗 R が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。断熱材の熱抵抗 R が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。

・断熱材の熱抵抗（R）が大きくなると、線熱貫流率（ $\psi$ ）は徐々に小さくなったが、断熱材の熱抵抗が大きくなることで単純に金物に流れる熱流が減少したためと考えられる。

・断熱材の熱抵抗（R）が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]の線熱貫流率（ $\psi$ ）は、ほぼ同じ値であった。

No. 24 +型熱橋モデル（壁：外断熱、外気床：外断熱、金物あり）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

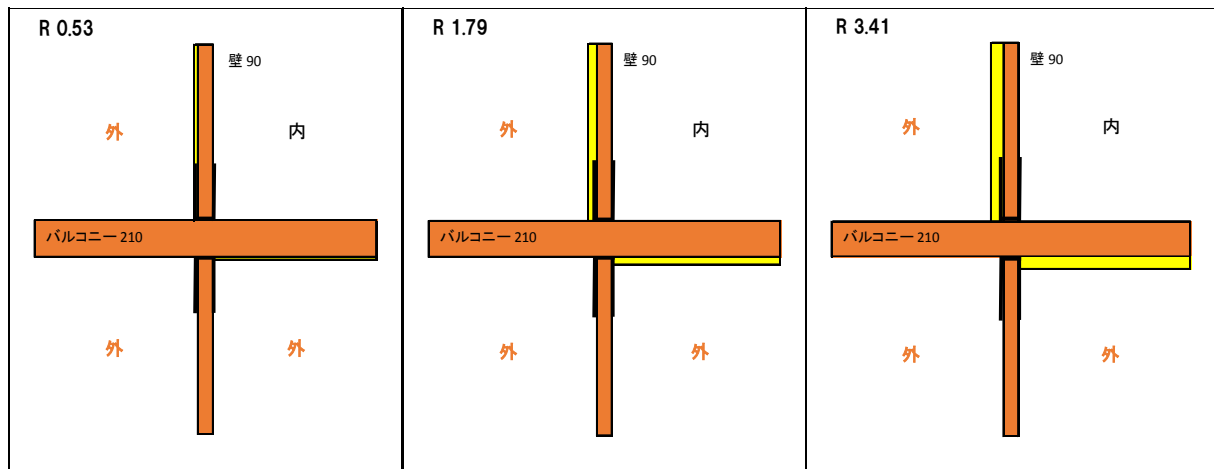


図 6 - 47 +型熱橋モデル（壁：外断熱、外気床：外断熱、金物あり）

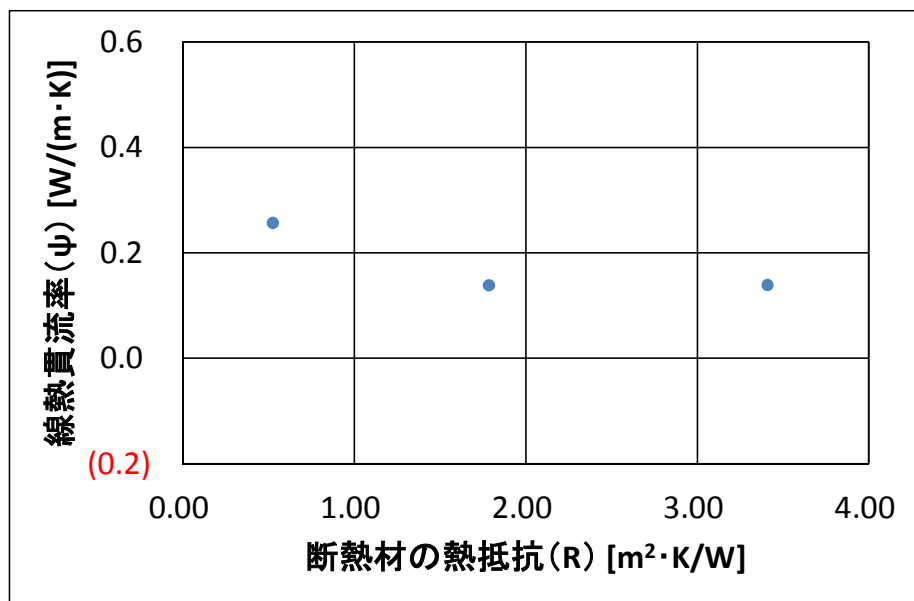


図 6 - 48 +型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

断熱材の熱抵抗 R が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。断熱材の熱抵抗 R が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。

- ・断熱材の熱抵抗 (R) が大きくなると、線熱貫流率 ( $\psi$ ) は 0.257 [W/(m·K)]、0.138 [W/(m·K)]、0.139 [W/(m·K)]となった。それは、断熱材の熱抵抗が大きくなることで単純に金物に流れる熱流が減少したためと考えられる。
- ・断熱材の熱抵抗 (R) 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]の線熱貫流率 ( $\psi$ ) は、ほぼ同じ値であった。



No. 25 +型熱橋モデル（壁：内断熱、外気床：外断熱、金物あり）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

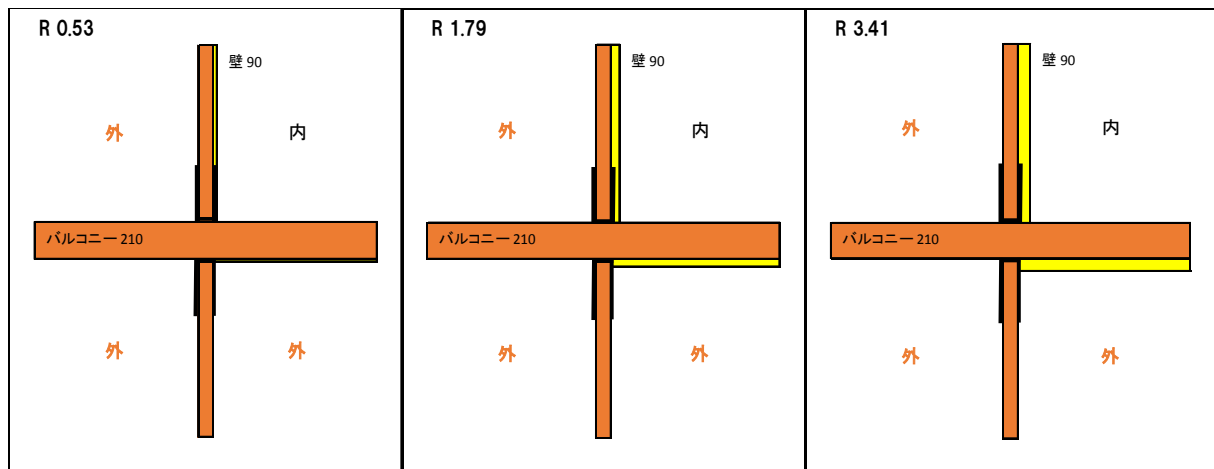


図 6 - 49 +型熱橋モデル（壁：内断熱、外気床：外断熱、金物あり）

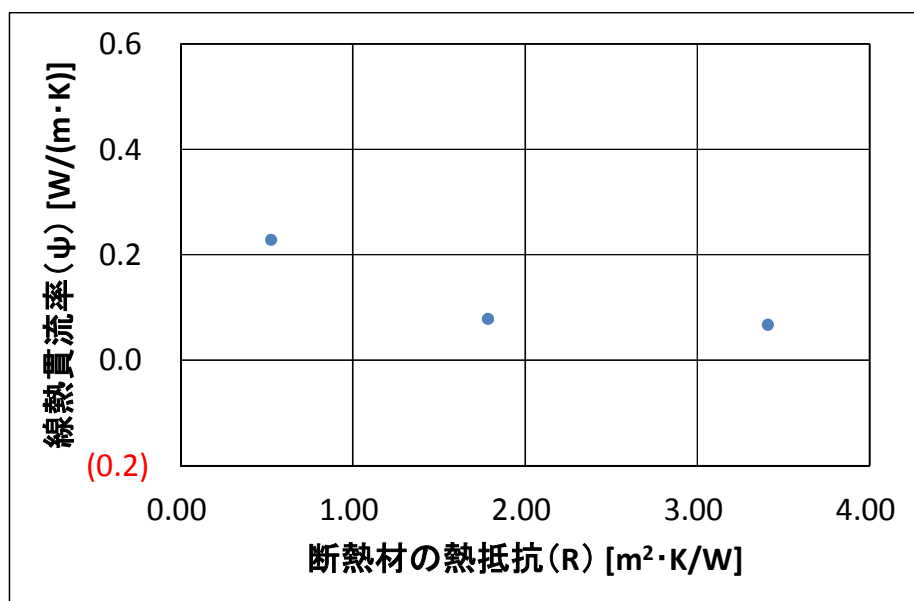


図 6 - 50 +型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

断熱材の熱抵抗 R が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。断熱材の熱抵抗 R が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。

- ・断熱材の熱抵抗（R）が大きくなると、線熱貫流率（ $\psi$ ）は徐々に小さくなった。それは、断熱材の熱抵抗が大きくなることで単純に金物に流れる熱流が減少したためと考えられる。
- ・断熱材の熱抵抗（R） 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]の線熱貫流率（ $\psi$ ）は、ほぼ同じ値であった。

No. 26 +型熱橋モデル（壁：外断熱、外気床：内断熱、金物あり）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

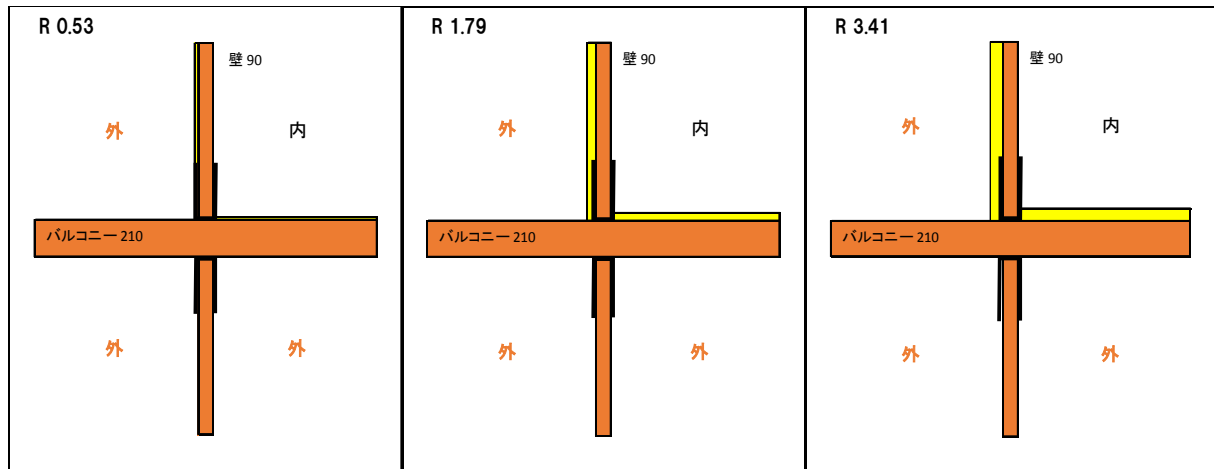


図 6 - 51 +型熱橋モデル（壁：外断熱、外気床：内断熱、金物あり）

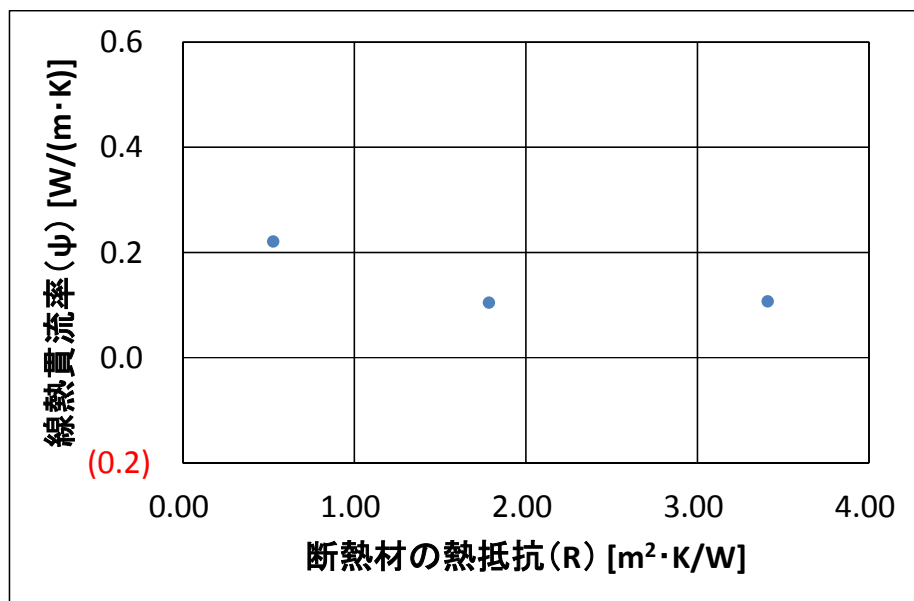


図 6 - 52 +型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

断熱材の熱抵抗 R が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。断熱材の熱抵抗 R が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。

- 断熱材の熱抵抗（R）が大きくなると、線熱貫流率（ $\psi$ ）は徐々に小さくなった。それは、断熱材の熱抵抗が大きくなることで単純に金物に流れる熱流が減少したためと考えられる。R 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]の  $\psi$  は、ほぼ同じ値であった。

No. 27 L型熱橋モデル（壁：内断熱、外気床：外断熱、金物あり）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

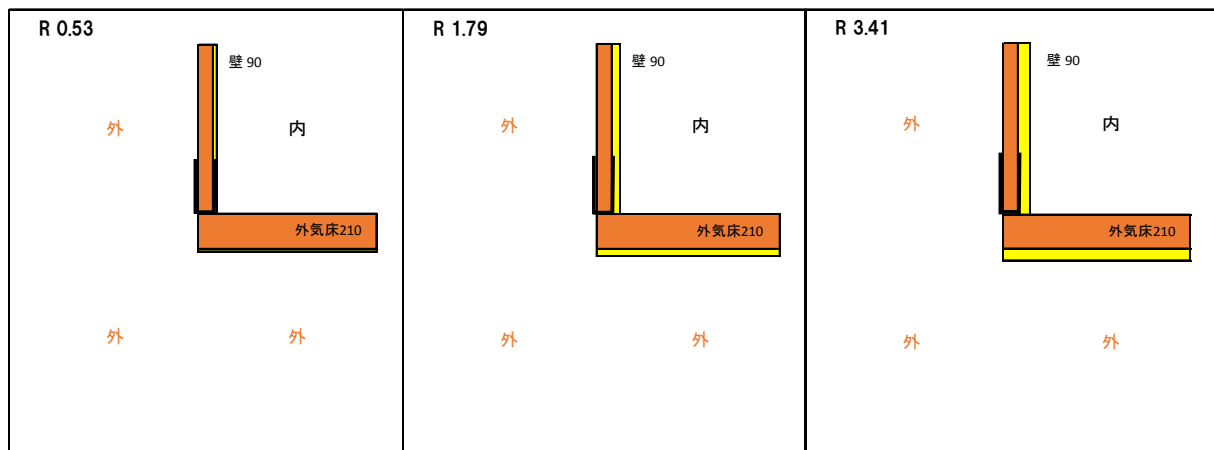


図 6-53 L型熱橋モデル（壁：内断熱、外気床：外断熱、金物あり）

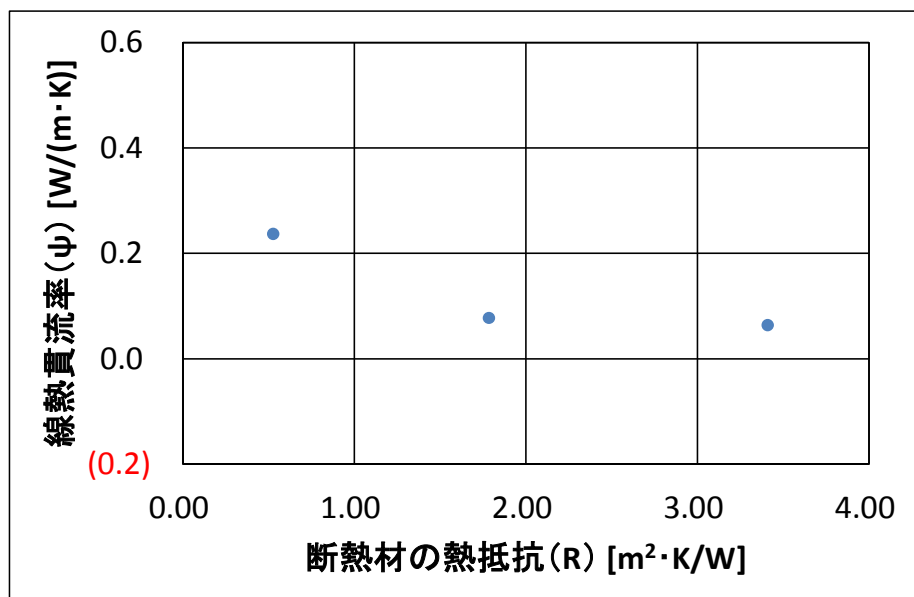


図 6-54 L型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

断熱材の熱抵抗 R が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。断熱材の熱抵抗 R が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。

- 断熱材の熱抵抗 (R) が大きくなると、線熱貫流率 ( $\psi$ ) は 0.237 [W/(m·K)]、0.077 [W/(m·K)]、0.063 [W/(m·K)]と徐々に小さくなった。

それは、断熱材の熱抵抗が大きくなることで単純に金物に流れる熱流が減少したためと考えられる。

No. 28 L型熱橋モデル（壁：外断熱、外気床：内断熱、金物あり）の線熱貫流率（ $\psi$ ）

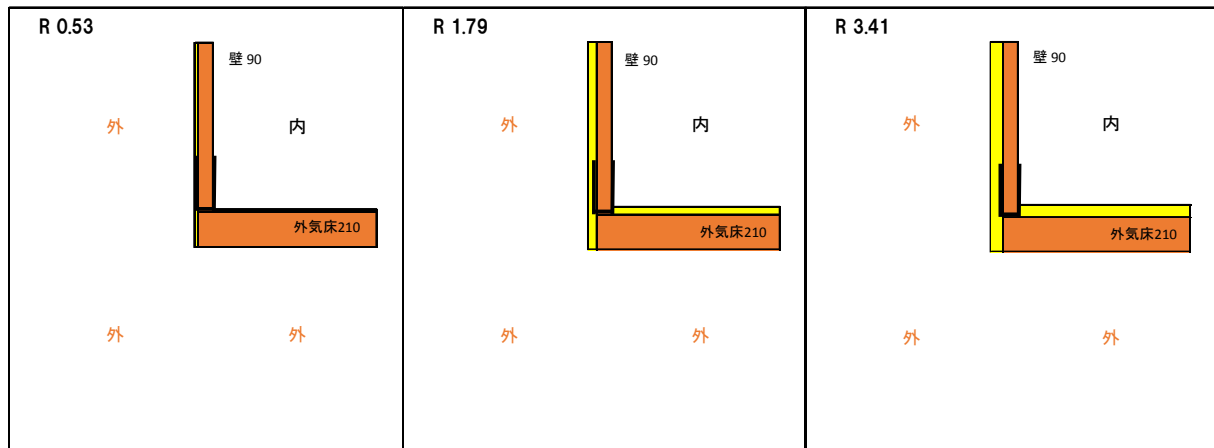


図 6 - 55 L型熱橋モデル（壁：外断熱、外気床：内断熱、金物あり）

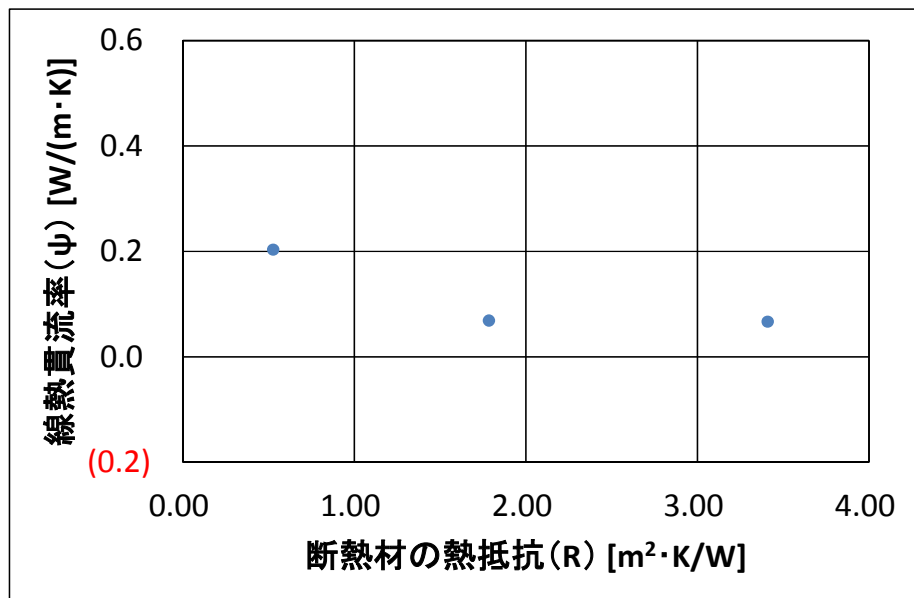


図 6 - 56 L型熱橋モデルによる線熱貫流率（ $\psi$ ）

断熱材の熱抵抗 R が 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、寒冷地を想定している。断熱材の熱抵抗 R が 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 0.53 [m<sup>2</sup>·K/W]は、温暖地を想定している。

- 断熱材の熱抵抗 (R) が大きくなると、線熱貫流率 ( $\psi$ ) は徐々に小さくなったが、断熱材の熱抵抗が大きくなることで単純に金物に流れる熱流が減少したためと考えられる。R 1.79 [m<sup>2</sup>·K/W]と 3.41 [m<sup>2</sup>·K/W]は、ほぼ同じ値であった。

## 7. 防露性能

防露性能は、表面結露は部位取り合い部に最低温度となる金物部の温度を確認する。内部結露は、断熱工法、通気層の有無、断熱材の透湿性能等によって数種の断面構成について結露域発生の危険性について確認する。

### 7. 1 表面結露に関する検討

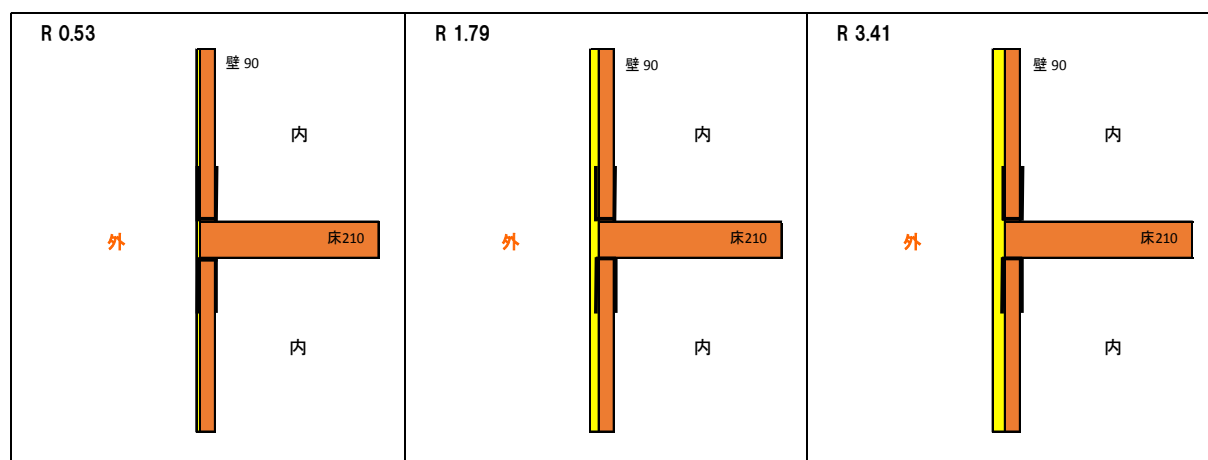
性能表示評価方法基準における結露の発生を防止する対策に関するガイドラインに記載されている表面結露に関する計算方法、計算条件に基づき検討する。

INSYS2 次元伝熱・結露システム Ver.2.2.2/(株)建築環境ソリューションズによる室内の隅角部の最低表面温度の解析と結露の危険性に関して検討を行った。表 5-3、表 6-3 に示す No.1~No.28 のうち代表的納まりである以下の計算対象に対して、結露域発生の危険性を確認した。

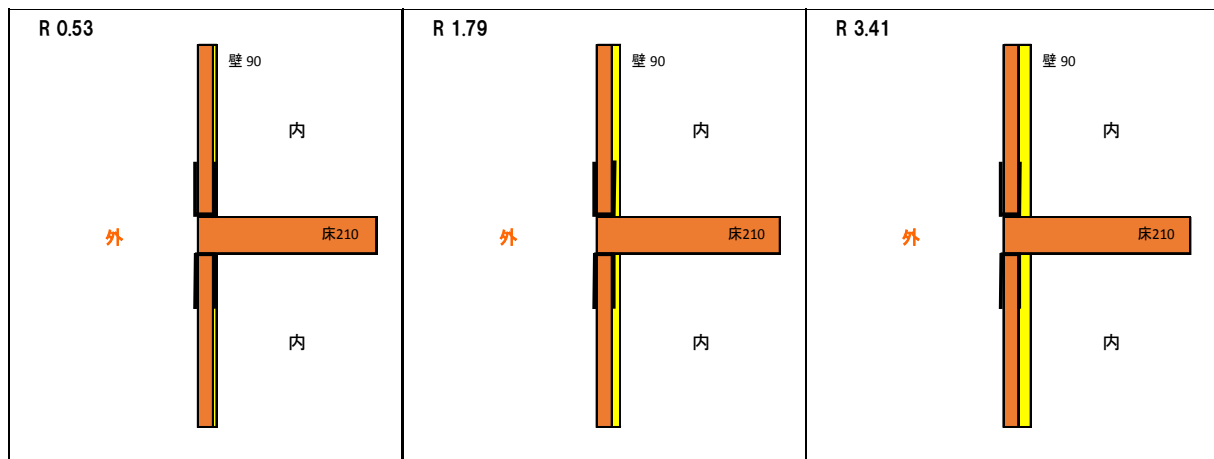
#### 7. 1. 1 計算対象

表 7-1 の金物ありと表 7-2 の金物なしの接合部パターンに対して、検討を行った。

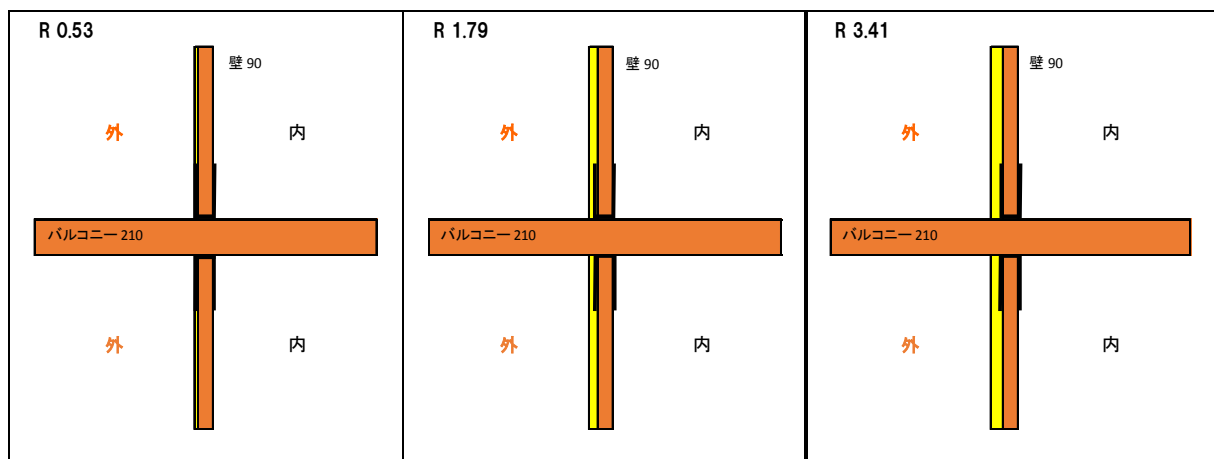
表 7-1 接合部パターン（金物あり No. 1, 2, 3, 9, 13, 14, 16, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28）  
No. 1（金物あり）



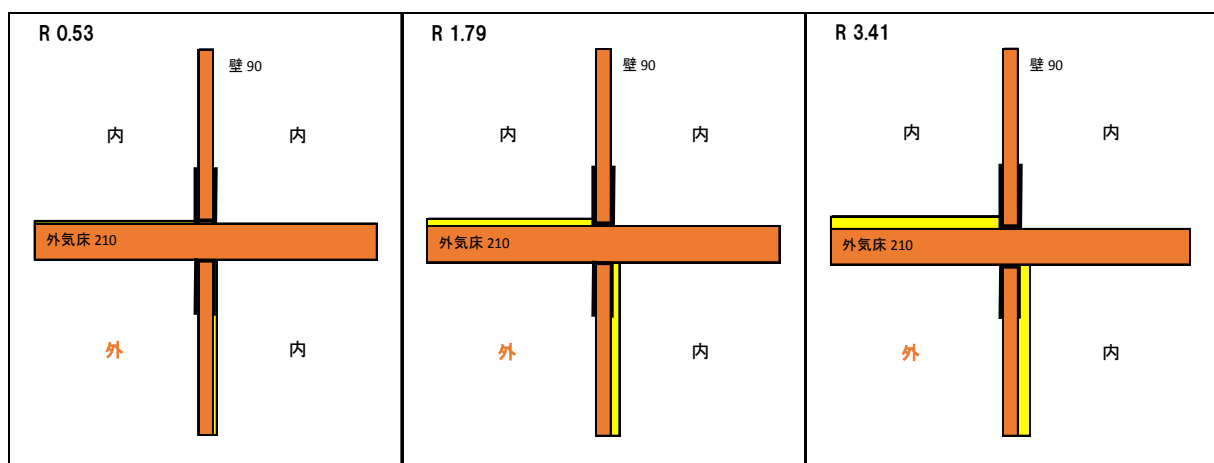
No. 2 (金物あり)



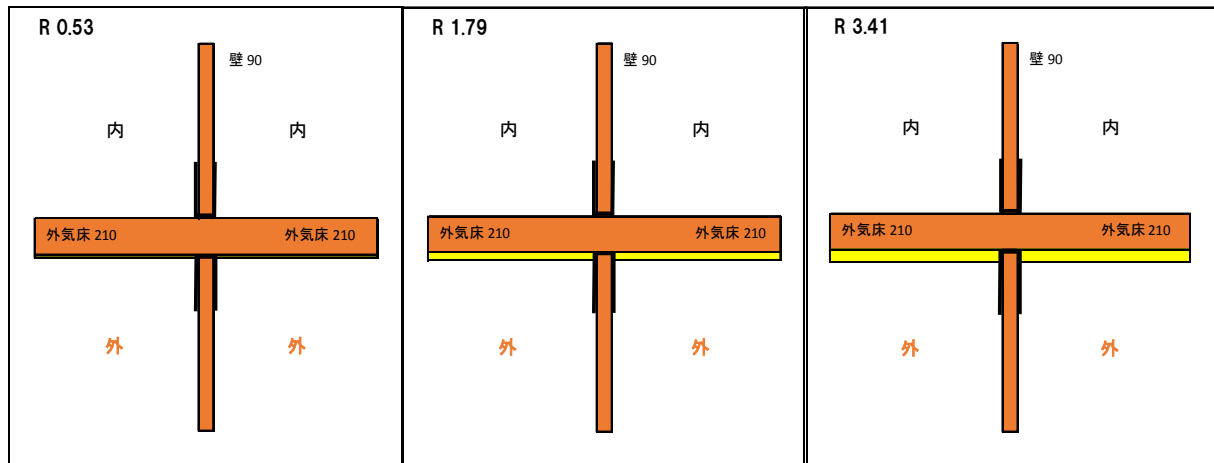
No. 3 (金物あり)



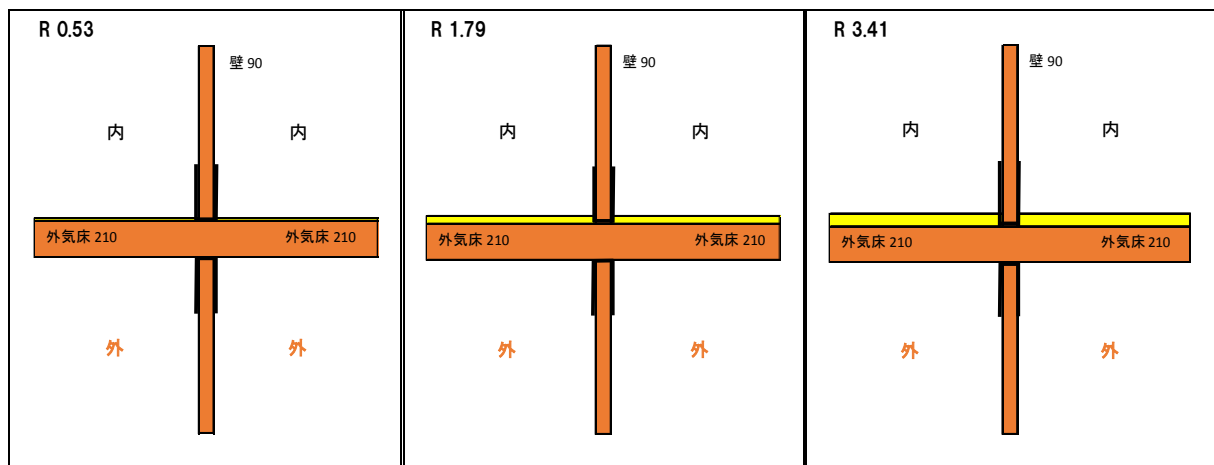
No. 9 (金物あり)



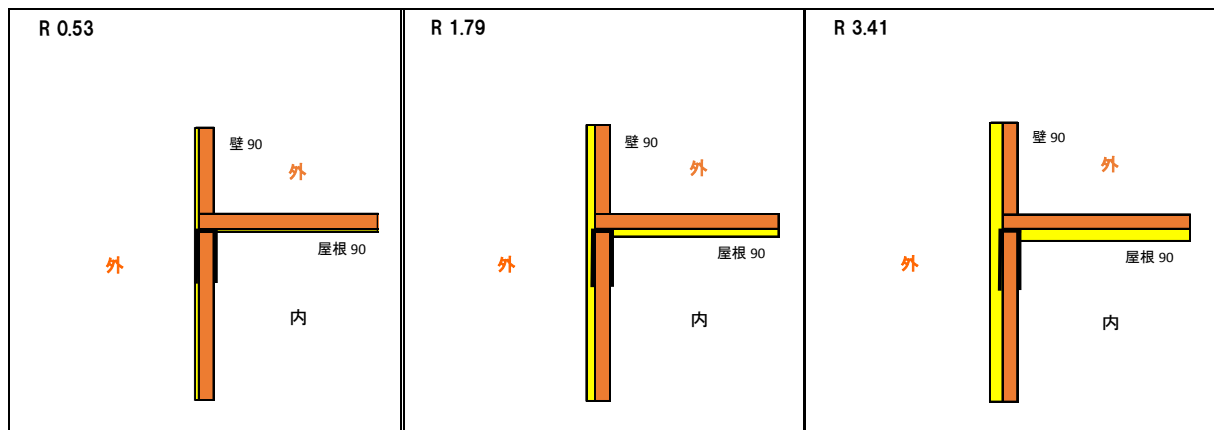
No. 13 (金物あり)



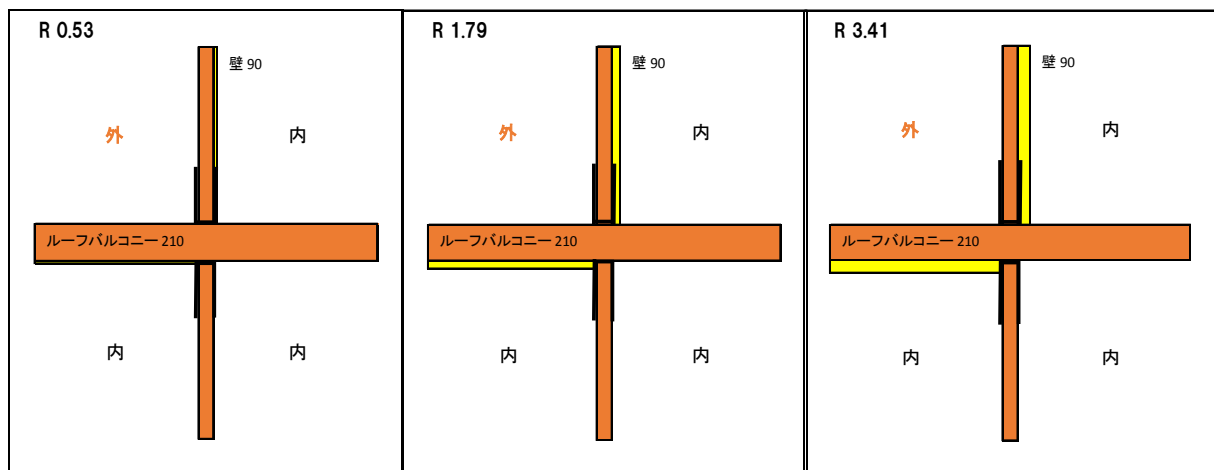
No. 14 (金物あり)



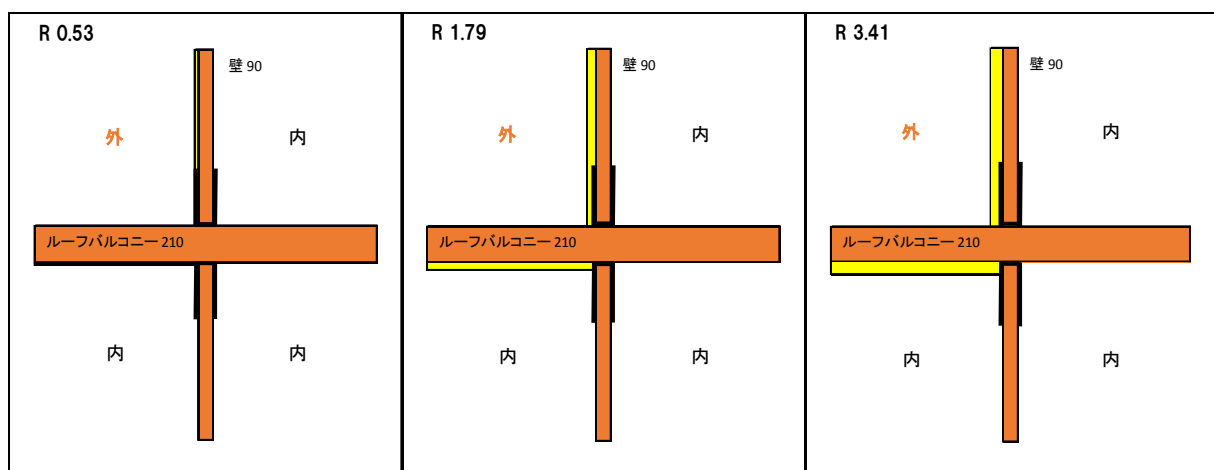
No. 16 (金物あり)



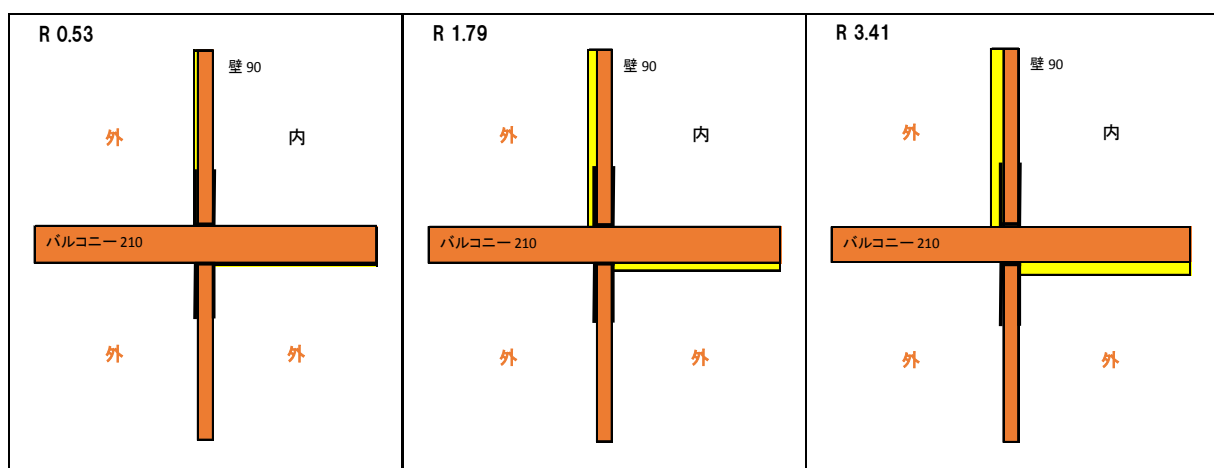
No. 22 (金物あり)



No. 23 (金物あり)

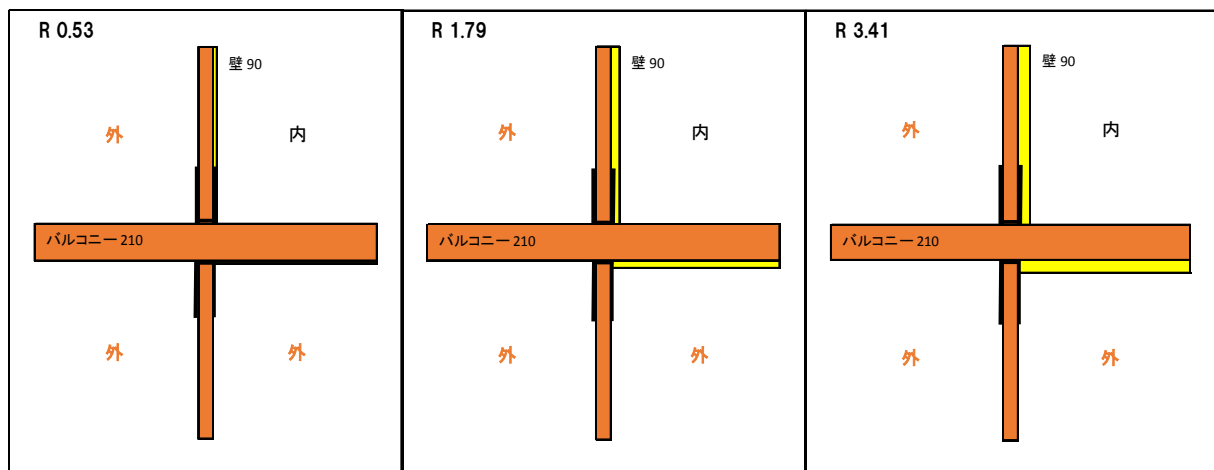


No. 24 (金物あり)

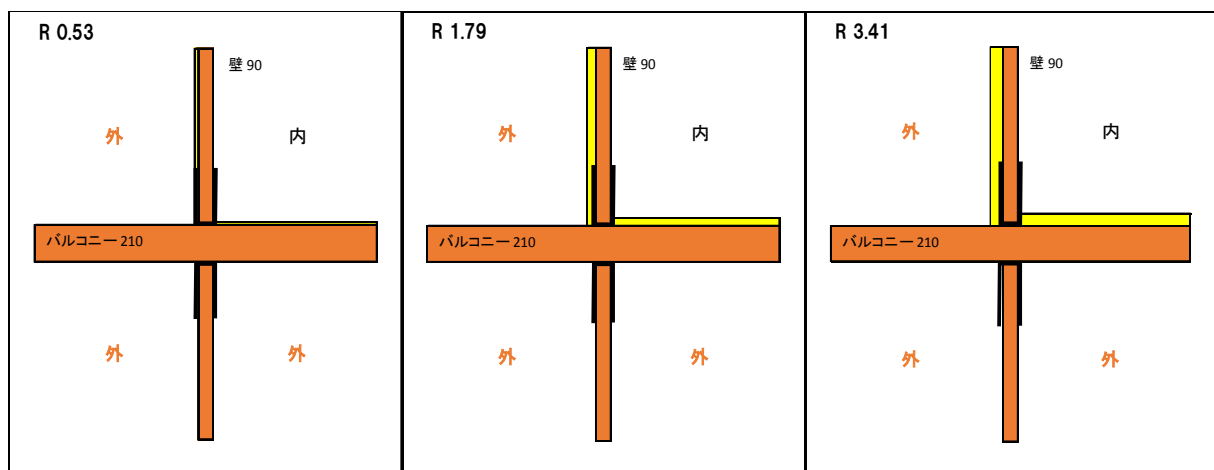




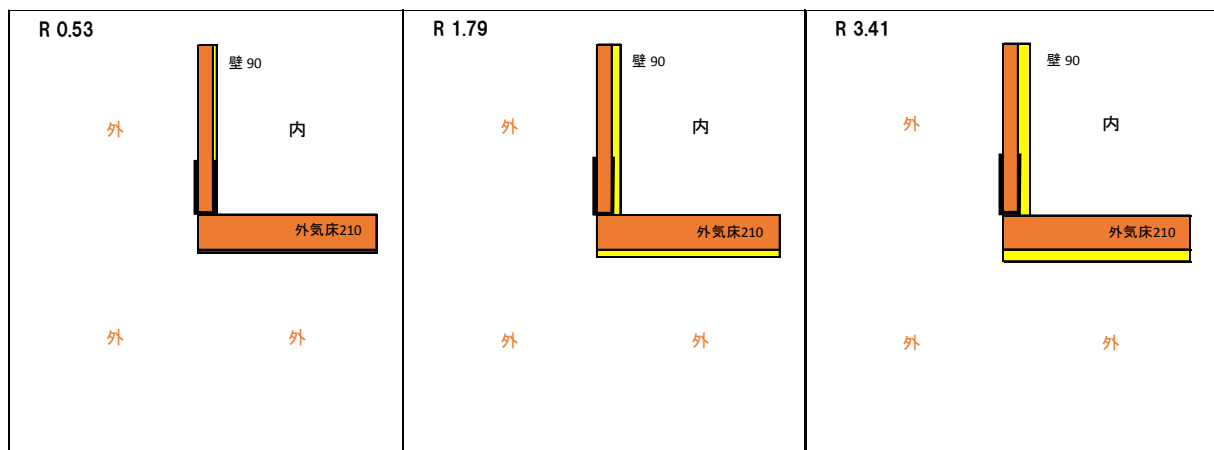
No. 25 (金物あり)



No. 26 (金物あり)



No. 27 (金物あり)



No. 28 (金物あり)

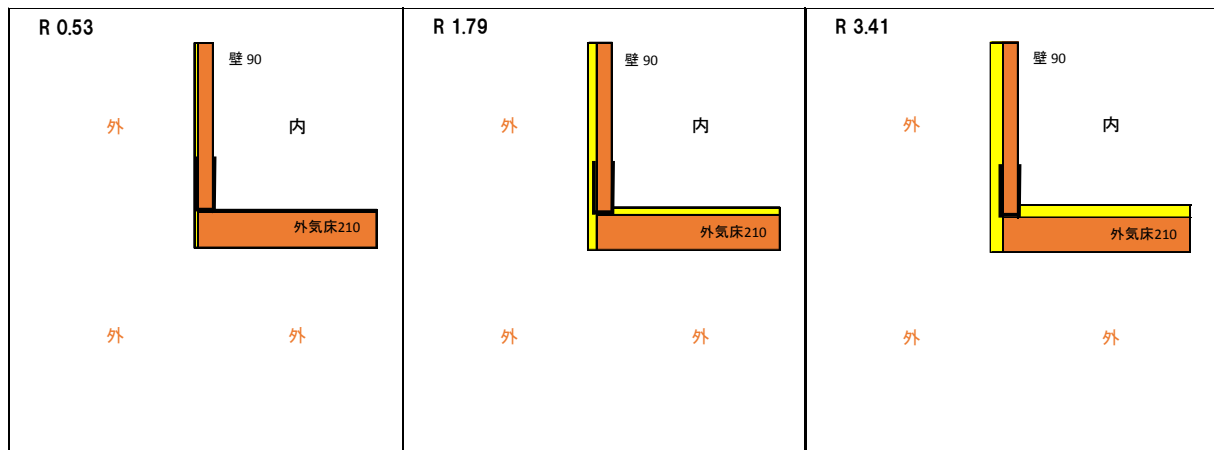
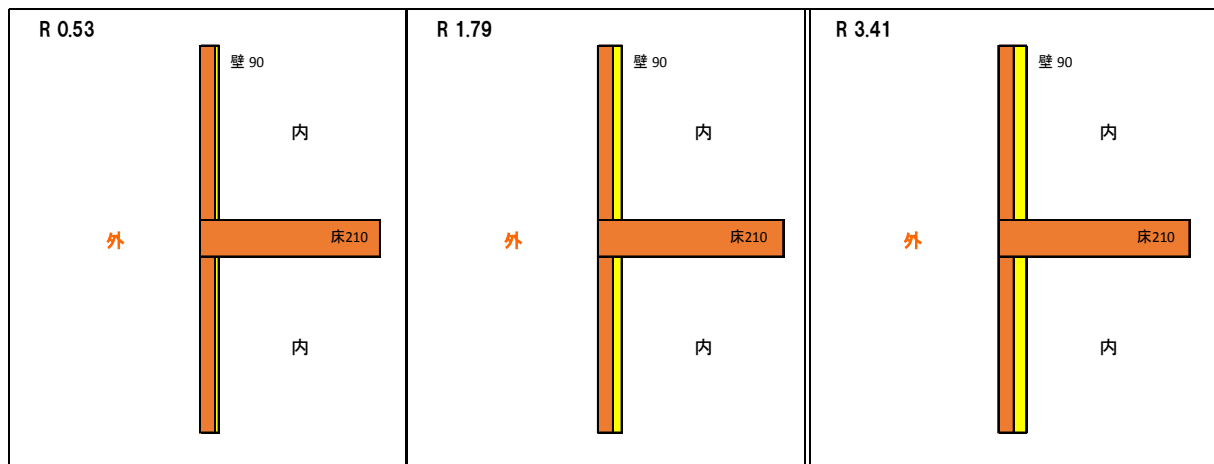
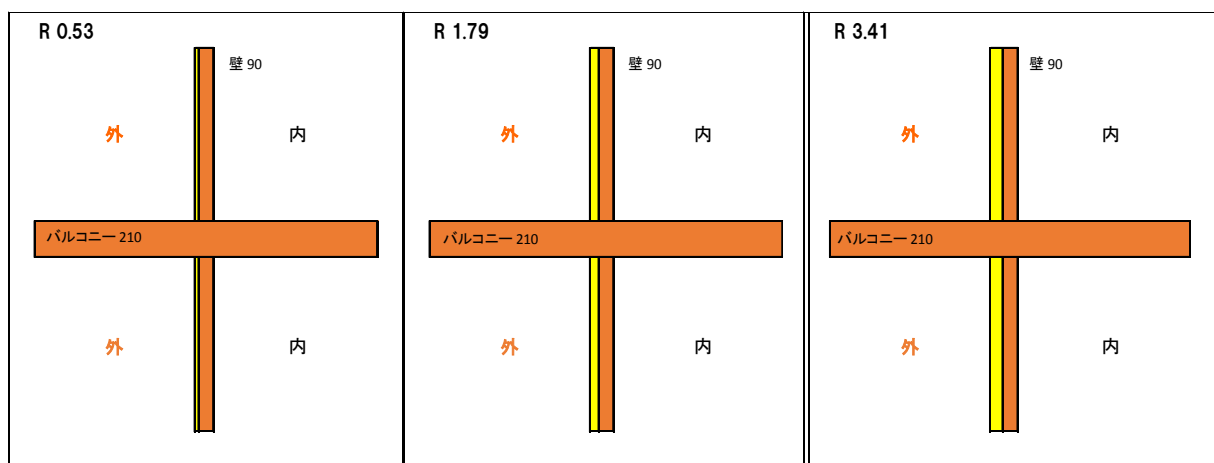


表 7-2 接合部パターン (金物なし No. 2, 3, 9, 13, 14, 16, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28)

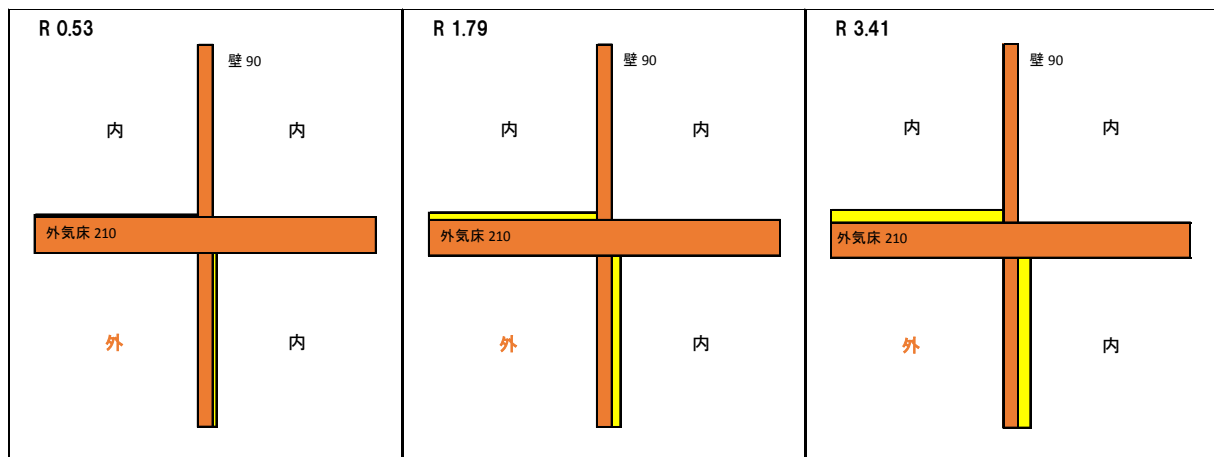
No. 2 (金物なし)



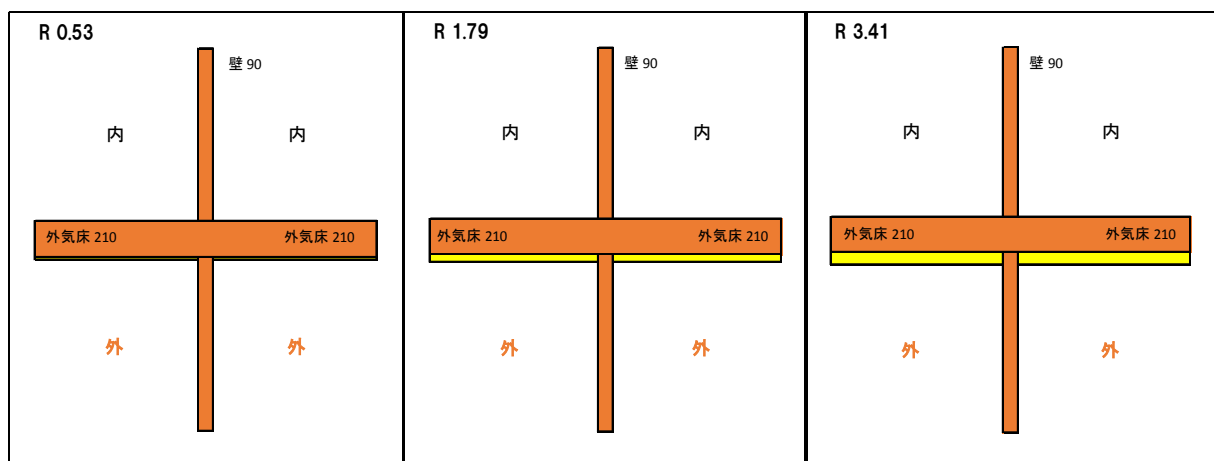
No. 3 (金物なし)



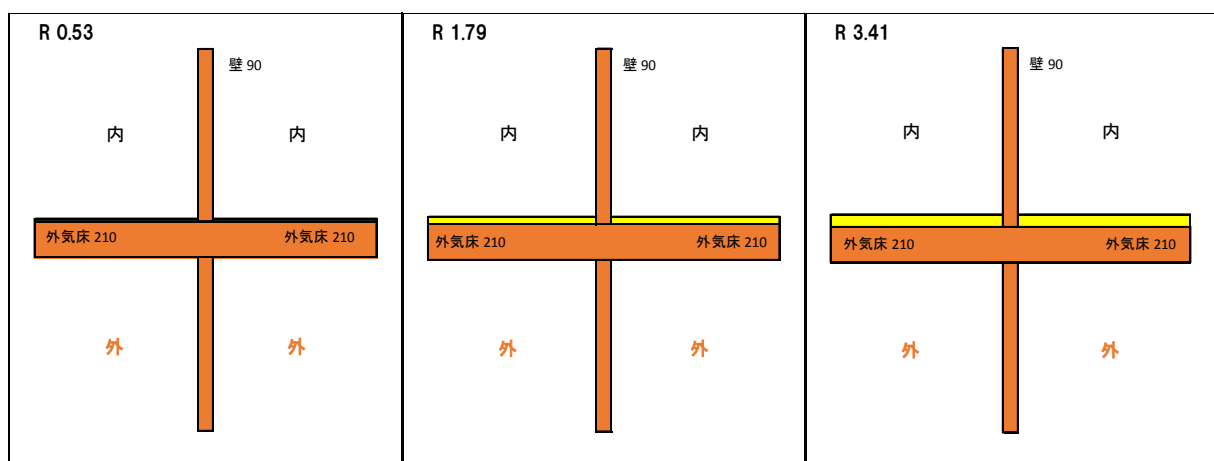
No. 9 (金物なし)



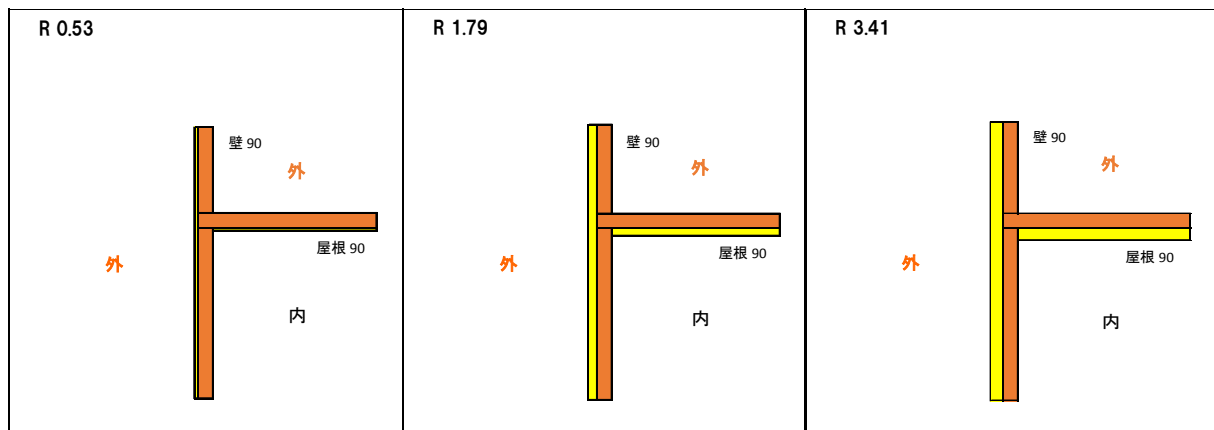
No. 13 (金物なし)



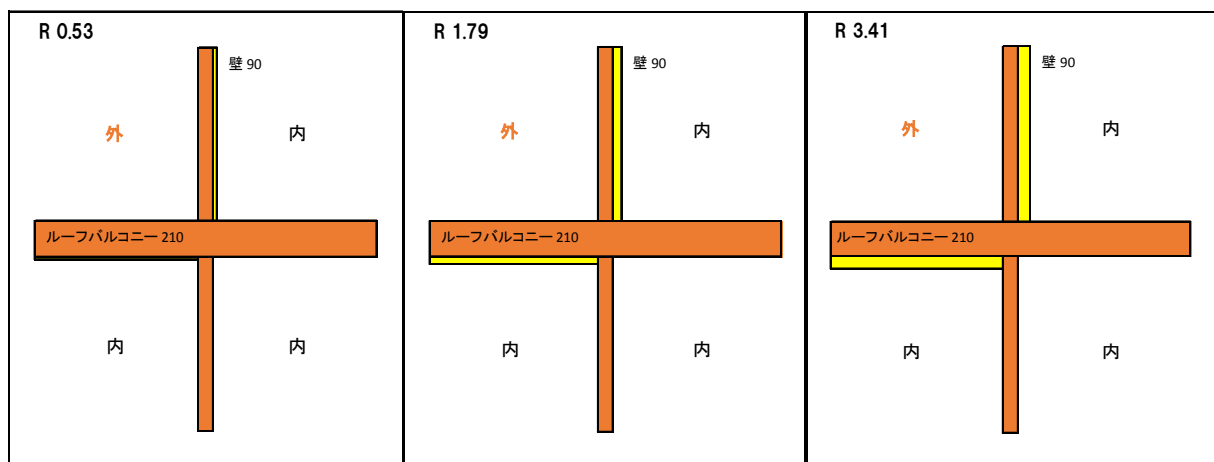
No. 14 (金物なし)



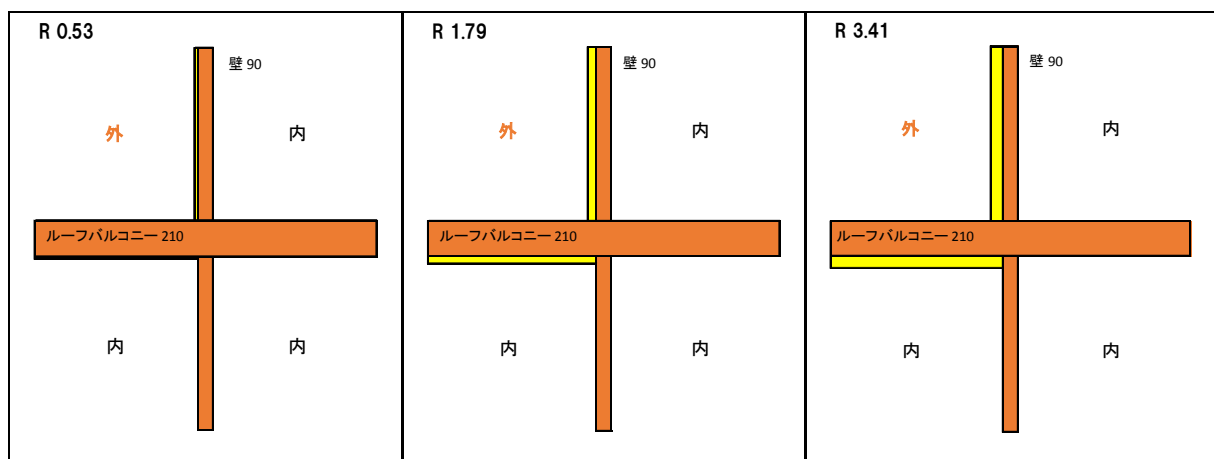
No. 16 (金物なし)



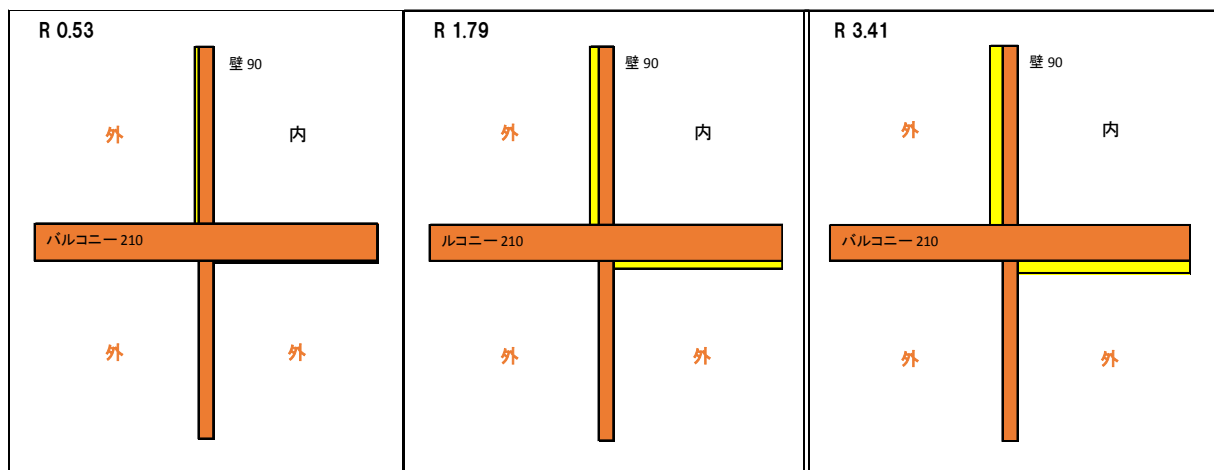
No. 22 (金物なし)



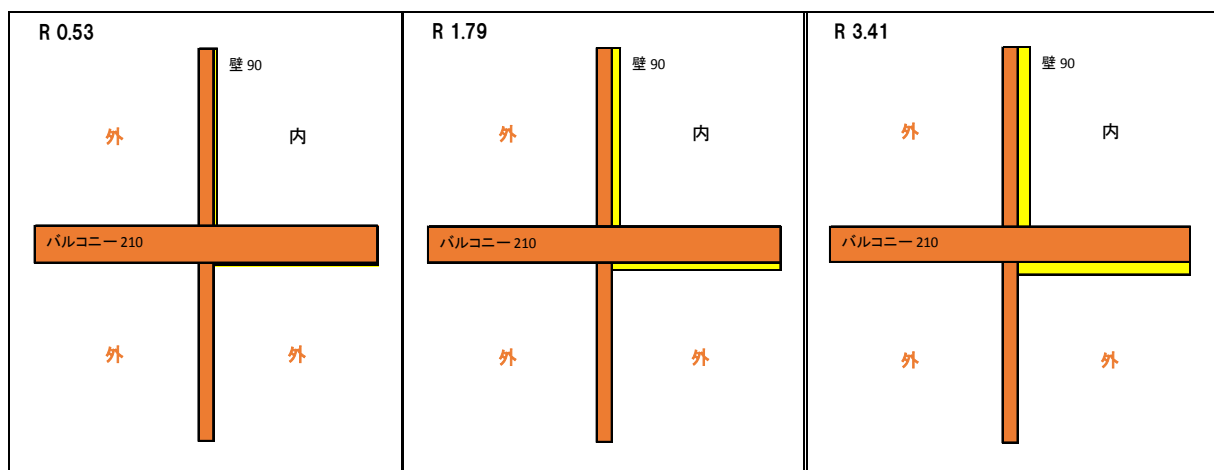
No. 23 (金物なし)



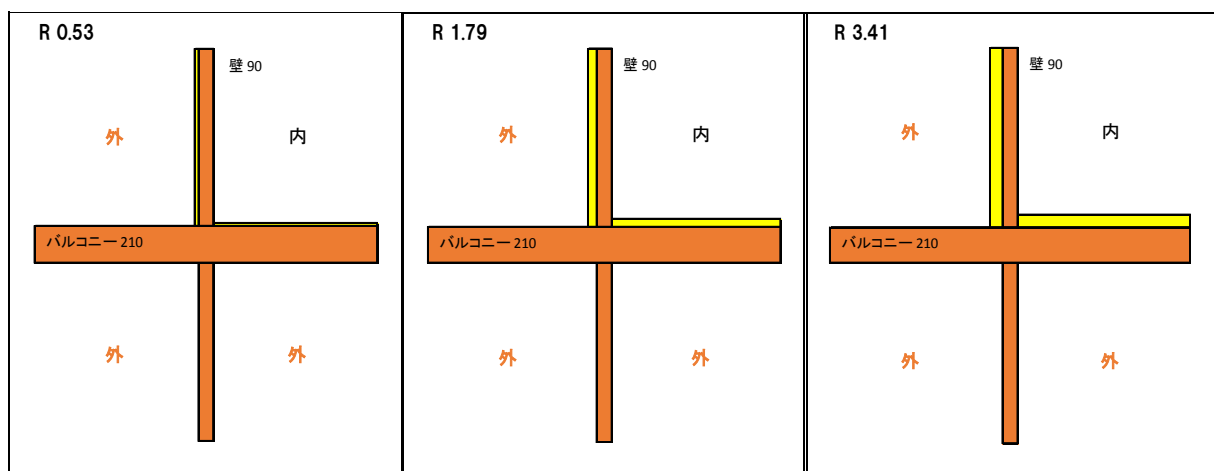
No. 24 (金物なし)



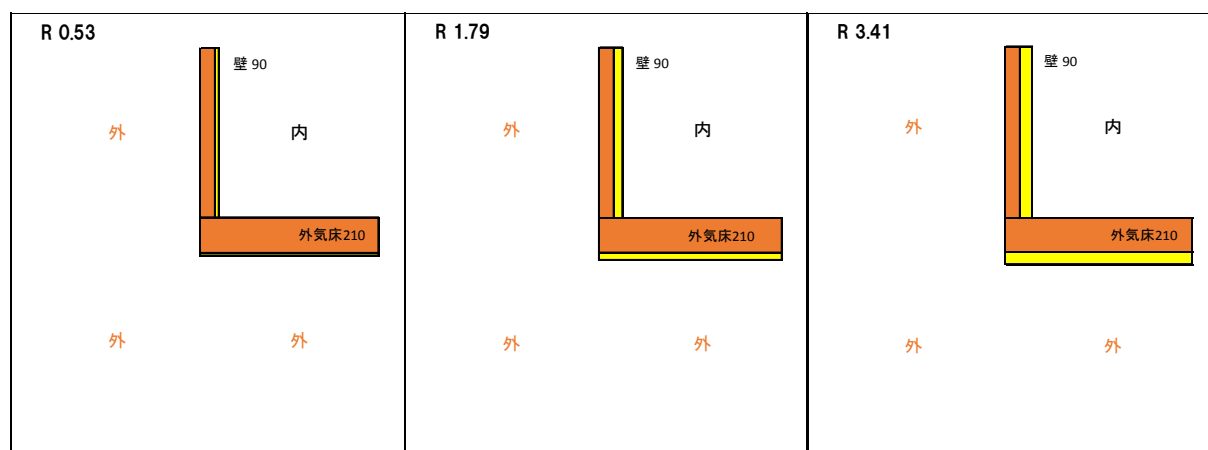
No. 25 (金物なし)



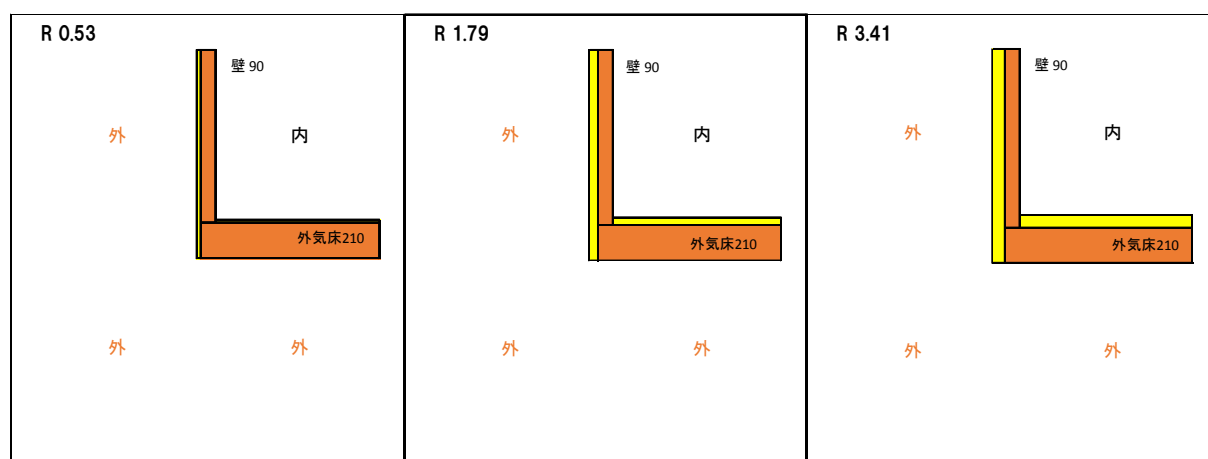
No. 26 (金物なし)



## No. 27 (金物なし)



## No. 28 (金物なし)



### 7. 1. 2 計算条件

室内側表面温度に関して、壁厚、熱伝導率、室内側の表面熱伝達抵抗はそれぞれ安全側の90mm、0.13W/(m・K)、0.09((m<sup>2</sup>・K)/W)に設定し、室温と相対湿度は15℃、60%、外気温は-10℃、結露の恐れが考えられる場合、追加で-20℃、-5℃で結露を確認した。断熱材の熱抵抗Rは0.53、1.79、3.41((m<sup>2</sup>・K)/W)の3パターンである。表7-3に設定値を示す。

表7-3 設定値

設定項目	設定値
CLTのパネル厚	90mm
CLTの熱伝導率	0.13(W/(m・K))
室内側の表面熱伝達抵抗	0.09((m <sup>2</sup> ・K)/W)
外気側の表面熱伝達抵抗	0.04((m <sup>2</sup> ・K)/W)
室内の気温、相対湿度	15℃、60%
外気温	-10℃ 必要があれば-20℃、-5℃

### 7. 1. 3 判定条件

室内の気温は 15℃、室内の相対湿度は 60%の時、室内の露点温度 7.4℃を下回ると表面結露の恐れがある判定となる。

### 7. 1. 4 解析結果

表 7-4～表 7-6 の接合部パターンの金物ありと金物なしの計算に対して、各々の検討を行った室内側の最低表面温度（隅角部）を次ページに示す。

表 7-4 接合部パターンと室内側の最低表面温度のリスト(断熱材の熱抵抗 R0.53)

断熱材 の熱抵抗	接合部 パターン	外気温	表面温度		壁CLT厚 (垂直部材)	床(屋根)CLT厚 (水平部材)	
			金物 あり	金物 なし			
R 0.53	No.1	-20	-	-	90	210	
		-10	9	-			
		-5	-	-			
	No.2	-20	-	-			
		-10	6.6	10.9			
		-5	8.3	-			
	No.3	-20	-	-			
		-10	8.8	12.3			
		-5	10.1	-			
	No.9	-20	-	-			
		-10	7.3	12.1			
		-5	8.8	-			
	No.13	-20	-	-			
		-10	13.9	13.6			
		-5	14.2	-			
	No.14	-20	-	-			
		-10	14	13			
		-5	-	-			
	No.16	-20	-	-			天井 90
		-10	7.6	9.8			
		-5	9.1	-			
	No.22	-20	-	-		90	210
		-10	7.3	12.1			
		-5	8.8	-			
	No.23	-20	-	-			
		-10	9.1	12.8			
		-5	-	-			
	No.24	-20	-	-			
		-10	8.5	11.3			
		-5	9.8	-			
	No.25	-20	-	-			
		-10	6.3	10.3			
		-5	7.9	-			
		0	9.4	-			
	No.26	-20	-	-			
		-10	7.7	10.5			
-5		9.4	-				
No.27	-20	-	-				
	-10	6.2	10.1				
	-5	8	-				
No.28	-20	-	-				
	-10	8	10.5				
	-5	9.4	-				



表 7-5 接合部パターンと室内側の最低表面温度のリスト(断熱材の熱抵抗 R1.79)

断熱材 の熱抵 抗	接合部 パターン	外気温	表面温度		壁CLT厚 (垂直部材)	床(屋根)CLT厚 (水平部材)	
			金物 あり	金物 なし			
R 1.79	No.1	-20	-	-	90	210	
		-10	12.7	-			
		-5	-	-			
	No.2	-20	-	-			
		-10	10	11.5			
		-5	-	-			
	No.3	-20	-	-			
		-10	12.2	13			
		-5	12.3	-			
	No.9	-20	-	-			
		-10	10.8	12.5			
		-5	11.9	-			
	No.13	-20	-	-			
		-10	14.1	14			
		-5	14.3	-			
	No.14	-20	-	-			
		-10	13.9	13.2			
		-5	-	-			
	No.16	-20	-	-		天井 90	
		-10	10.9	10.8			
		-5	-	-			
	No.22	-20	-	-		90	210
		-10	10.8	12.5			
		-5	11.7	-			
	No.23	-20	-	-			
		-10	12.4	13.7			
		-5	-	-			
	No.24	-20	-	-			
		-10	11.7	12			
		-5	12.4	-			
No.25	-20	-	-				
	-10	9.5	10.9				
	-5	10.6	-				
	0	-	-				
No.26	-20	-	-				
	-10	10.9	11.1				
	-5	11.7	-				
No.27	-20	-	-				
	-10	9.4	10.7				
	-5	10.6	-				
No.28	-20	-	-				
	-10	10.3	11.4				
	-5	11.2	-				

表 7-6 接合部パターンと室内側の最低表面温度のリスト(断熱材の熱抵抗 R3.41)

断熱材 の熱抵 抗	接合部 パターン	外気温	表面温度		壁CLT厚 (垂直部材)	床(屋根)CLT厚 (水平部材)	
			金物 あり	金物 なし			
R 3.41	No.1	-20	13.2	-	90	210	
		-10	13.7	-			
		-5	-	-			
	No.2	-20	9.2	-			
		-10	10.9	11.8			
		-5	-	-			
	No.3	-20	12.4	-			
		-10	13.2	13.3			
		-5	13.5	-			
	No.9	-20	10.5	-			
		-10	11.9	12.9			
		-5	12.5	-			
	No.13	-20	13.9	-			
		-10	14.2	14.2			
		-5	14.3	-			
	No.14	-20	13.4	-			
		-10	13.2	13			
		-5	-	-			
	No.16	-20	10.4	-		90	天井 90
		-10	11.7	11.4			
		-5	-	-			
	No.22	-20	10.5	-			
		-10	11.9	12.9			
		-5	12.5	-			
	No.23	-20	12.7	-			
		-10	13.3	13.7			
		-5	-	-			
	No.24	-20	11.6	-			
		-10	12.6	12.3			
		-5	13.1	-			
No.25	-20	7.6	-	90	210		
	-10	10.3	11.2				
	-5	11.3	-				
	0	-	-				
No.26	-20	10.4	-				
	-10	11.7	11.6				
	-5	12	-				
No.27	-20	8.4	-				
	-10	10.4	11.1				
	-5	11.3	-				
No.28	-20	11.2	-				
	-10	12.3	11.8				
	-5	12.8	-				

### 7. 1. 5 室内側最低表面温度（金物あり）

図 7-1～図 7-4 の金物ありの結果について、1.水平面:外断熱/垂直面:外断熱、2.水平面:内断熱/垂直面:外断熱、3.水平面:内断熱/垂直面:内断熱、4.水平面:外断熱/垂直面:内断熱のケースに分類して傾向を確認した。

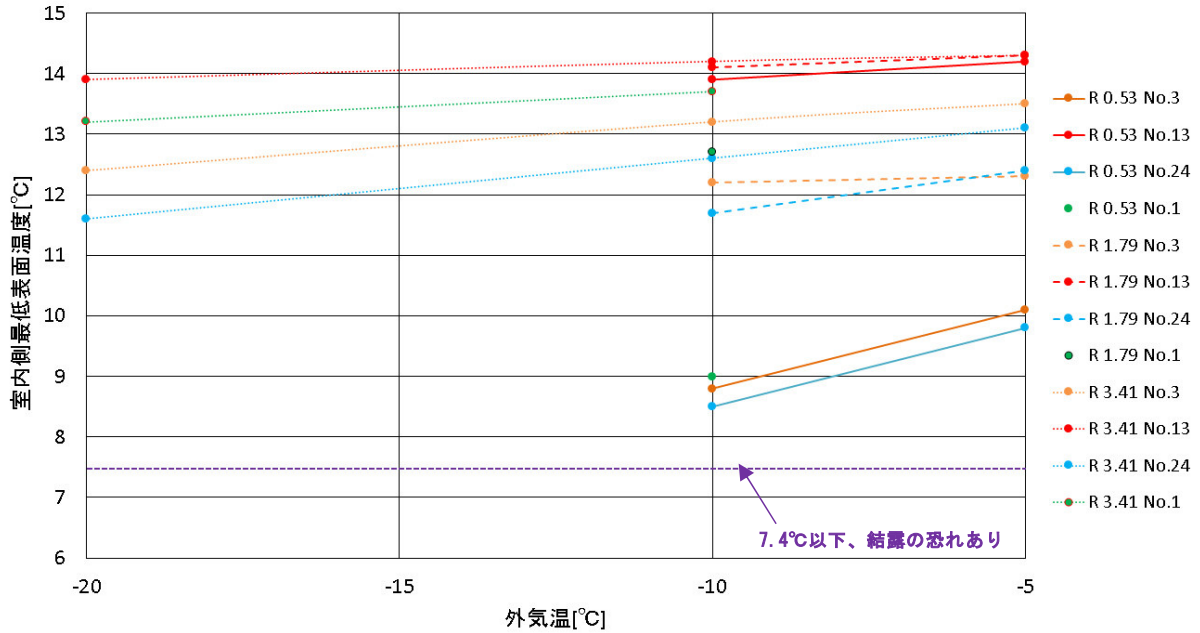


図 7 - 1 外気温度と表面温度の関係（金物あり/水平面:外断熱/垂直面:外断熱）

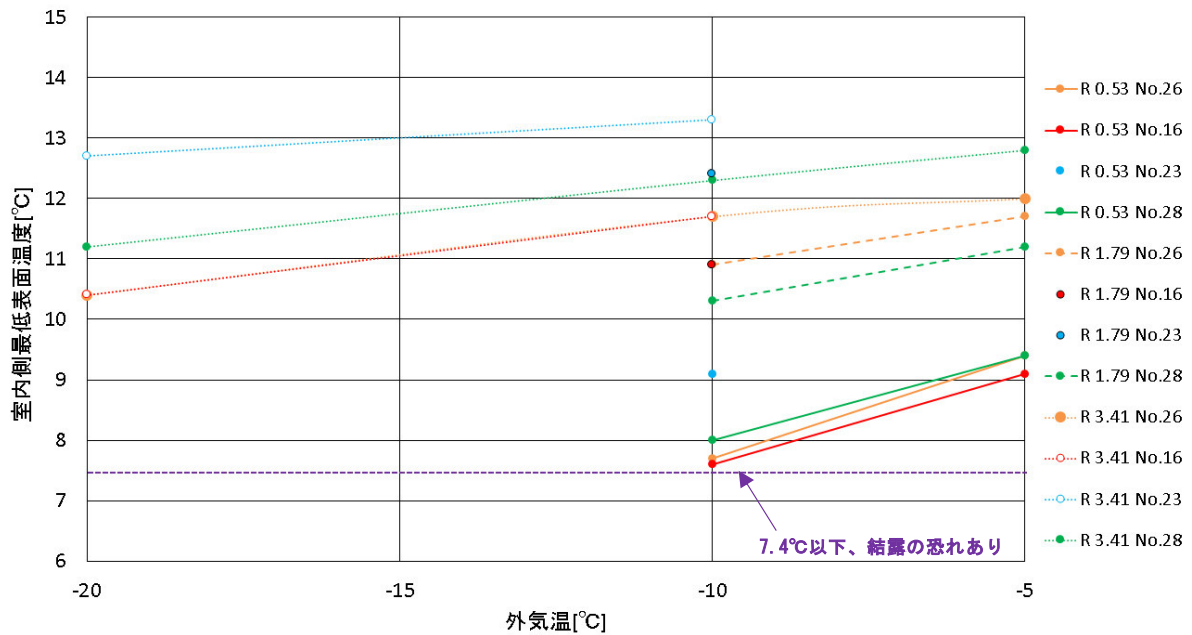


図 7 - 2 外気温度と表面温度の関係（金物あり/水平面:内断熱/垂直面:外断熱）

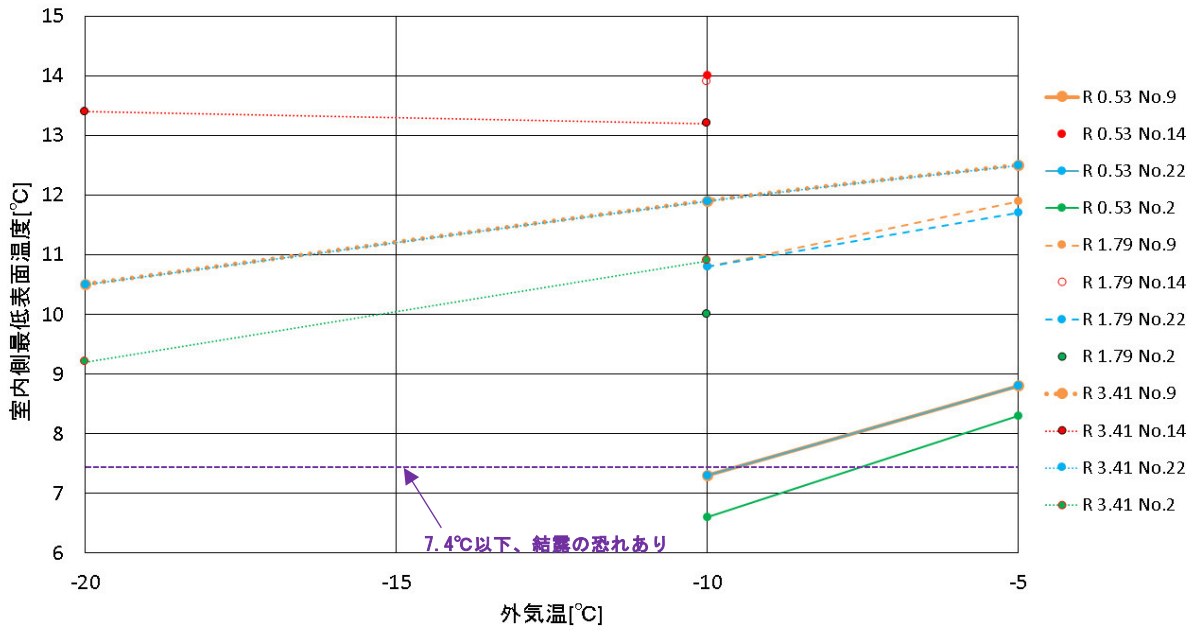


図 7-3 外気温度と表面温度の関係（金物あり/水平面：内断熱/垂直面：内断熱）

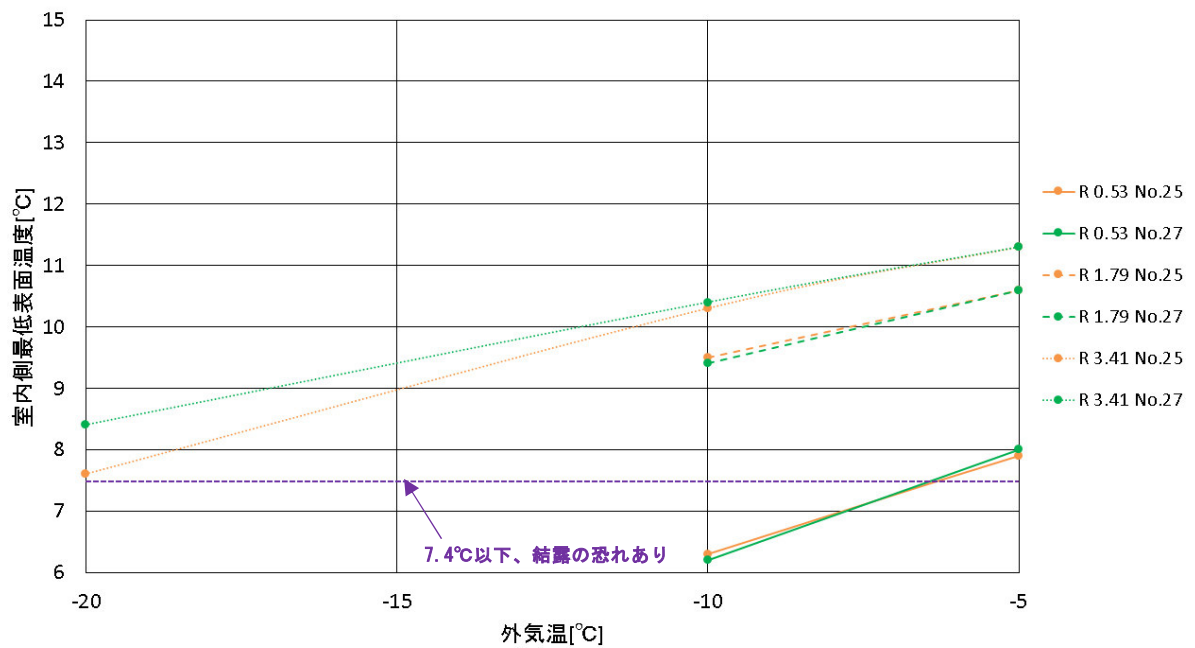


図 7-4 外気温度と表面温度の関係（金物あり/水平面：外断熱/垂直面：内断熱）

水平面：外断熱/垂直面：外断熱のパターン以外では、一部のケースで結露の発生する恐れがあると考えられる。しかしながら、寒冷地を想定した（1,2 地域対象）断熱材の熱抵抗  $R$  が  $3.41((m^2 \cdot K)/W)$  では、結露の発生する恐れはないと考えられる。

### 7. 1. 6 室内側最低表面温度（金物なし）

図 7-5～図 7-8 の金物なしの結果について、5. 水平面：外断熱/垂直面：外断熱、6. 水平面：内断熱/垂直面：外断熱、7. 水平面：内断熱/垂直面：内断熱、8. 水平面：外断熱/垂直面：内断熱のケースに分類して傾向を確認した。

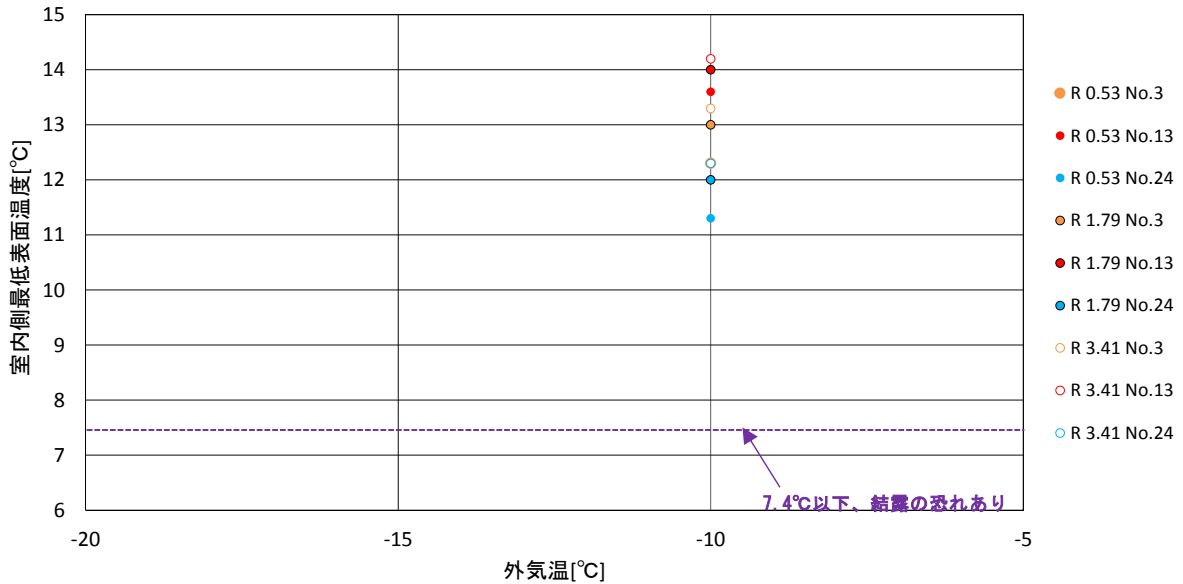


図 7-5 外気温度と表面温度の関係（金物なし/水平面：外断熱/垂直面：外断熱）

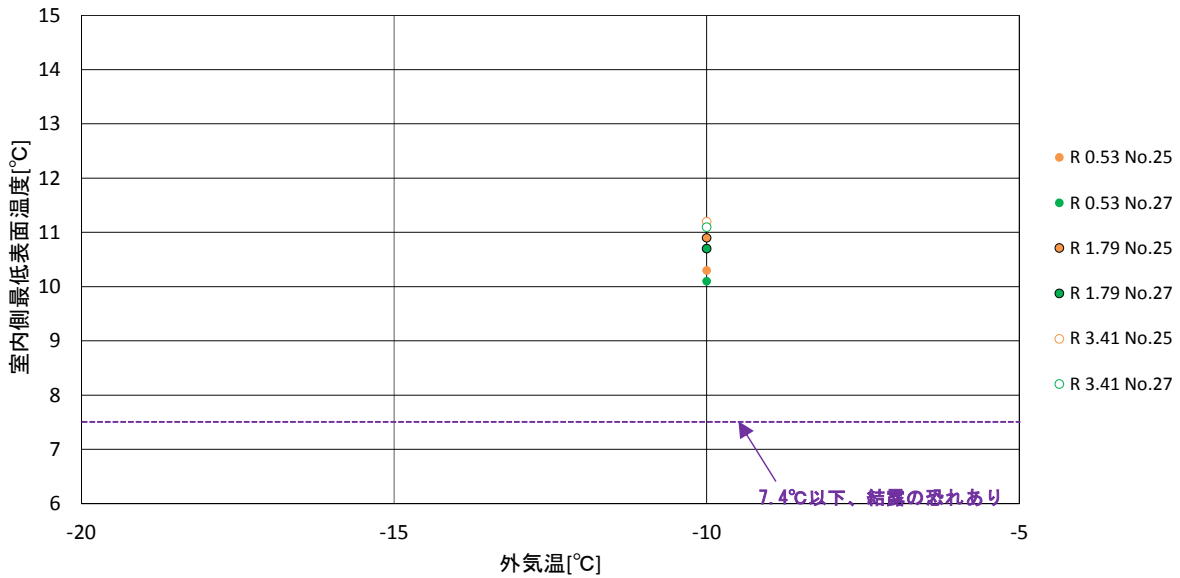


図 7-6 外気温度と表面温度の関係（金物なし/水平面：内断熱/垂直面：外断熱）

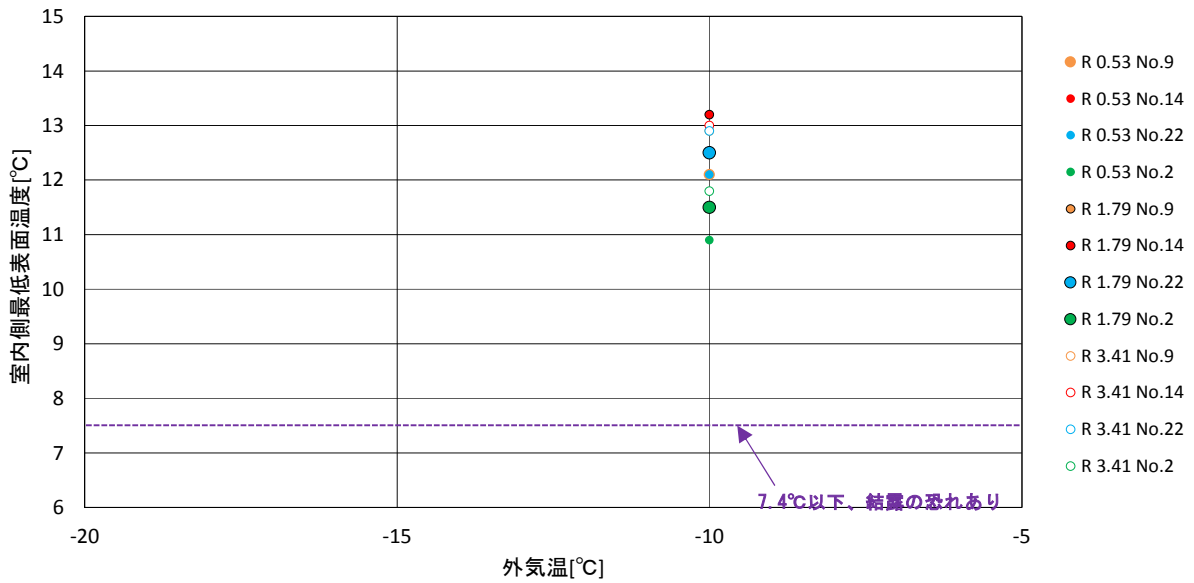


図 7-7 外気温度と表面温度の関係（金物なし/水平面：内断熱/垂直面：内断熱）

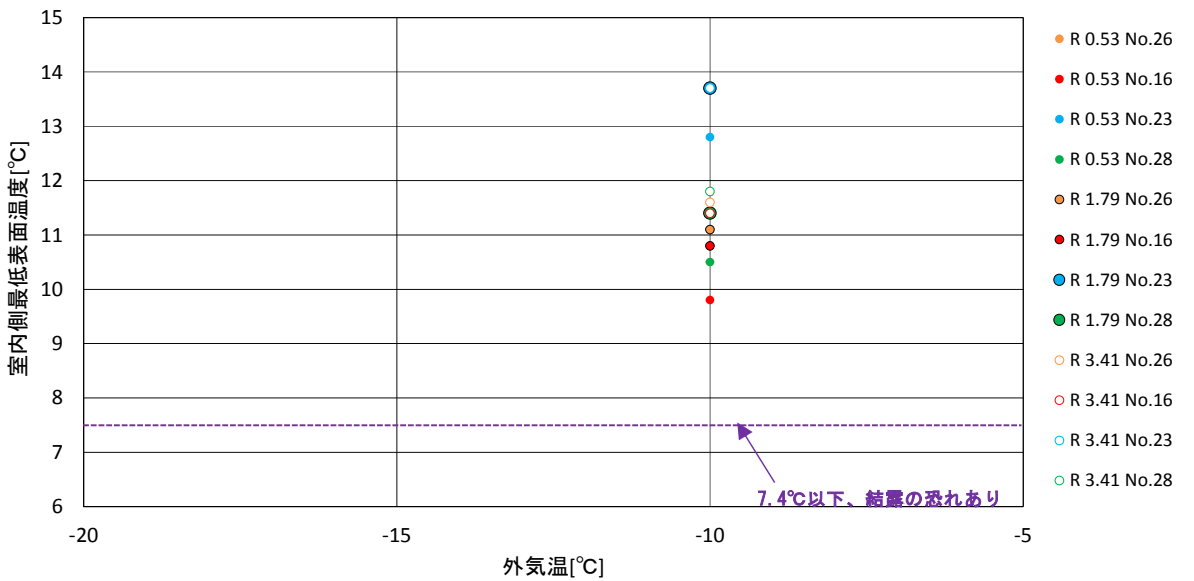


図 7-8 外気温度と表面温度の関係（金物なし/水平面：外断熱/垂直面：内断熱）

金物なしの場合（構造熱橋部のみ）では、結露の発生の恐れがないと考えられる。寒冷地(1,2 地域対象の断熱材の熱抵抗 R3.41((m<sup>2</sup>・K)/W))も、同様に結露の発生する恐れはないと考えられる。

## 7. 2 内部結露に関する検討

CLT パネルの外気側に断熱施工する「外側断熱工法」の場合は、断熱材の外気側に通気層を設けるなどの水蒸気の排出を妨げない材料配置とすることで内部発生の危険性を回避できる。つまり、通気層の設置に加えて、防水層には水蒸気を通しやすい透湿防水シートを用いることが原則となる。

一方、CLT パネルの室内側に断熱施工する「内側断熱工法」の場合は、断熱材の外側にコンクリートよりも水蒸気を通しにくい CLT があるため、層構成上、内部結露発生の危険性が高く、断熱性能が高くなるほどその傾向は顕著となる。内側断熱工法における内部結露対策は、断熱材の室内側に防湿層を設置して、壁体内に室内の水蒸気を流入させないことが肝要である。なお、防湿層を設置しても、外気条件、断熱仕様（高性能であるほど内部結露しやすい）によっては防止できないことがあるため、計算等による確認が必要である。

ここでは、最も内部結露発生の危険性の高い寒冷地（1 地域）だけでなく、温暖地（6 地域）も対象として、断熱工法、断熱材の種別ごとに定常次元結露計算により内部結露発生の危険性について確認する。

### （1）検討概要

検討対象とする壁体は、断熱工法と通気層の有無により表 7-7 に示す 4 種類の層構成を基本とする。断熱材は、繊維系断熱材と発泡プラスチック系断熱材の 2 種類とし、地域、断熱水準に応じて断熱厚さを設定した（表 7-8 参照）。

表 7-7 計算モデルの基本層構成

		外側断熱工法		内側断熱工法	
		通気層あり	通気層なし	通気層あり	通気層なし
外気側 ↑      ↓ 室内側	サイディング*		モルタル	サイディング*	モルタル
	通気層		アスファルト防水	通気層	アスファルト防水
	透湿防水シート		断熱材	透湿防水シート	CLT 150mm
	断熱材		CLT 90mm	CLT 150mm	断熱材
	CLT 90mm		-	断熱材	防湿フィルム (繊維系断熱材の場合)
	-		-	防湿フィルム (繊維系断熱材の場合)	GB 9.5mm
	-		-	GB 9.5mm	(ビニルクロス)省略 :安全側設定
	-		-	(ビニルクロス)省略 :安全側設定	-

表 7-8 断熱仕様

対象地域	断熱水準	外側断熱工法		内側断熱工法	
		繊維系断熱材	発プラ系断熱材	繊維系断熱材	発プラ系断熱材
1地域	高断熱(ZEH等)	GW32K-155	XPS3種-120	GW32K-185	XPS3種-145
6地域	高断熱(ZEH等)	GW32K-90	XPS3種-70	GW32K-110	XPS3種-85
	H28水準相当	GW32K-30	XPS3種-20	GW32K-35	XPS3種-25

GW32K: グラスウール断熱材 密度32kg品

XPS3種: 押出発泡ポリスチレンフォーム第3種

注: XPS3種には、スキン層あり・なしの2種類を設定する。

断熱仕様は、外側断熱工法にて ZEH 等を想定した高断熱水準とした。温暖地の 6 地域については平成 28 年省エネ基準相当の仕様も設定した。内側断熱工法は、断熱層を貫通する熱橋部が外側断熱工法よりも増加することが予想されるため、外側断熱工法よりも約 2 割増しの断熱厚さとした。

## (2) 計算条件

性能表示評価方法に示されている定常一次元結露計算における計算条件による。

### a. 計算プログラム

INSYS 結露計算システム Ver.3.0.0/(株)建築環境ソリューションズ  
(定常一次元結露計算プログラム)

### b. 温湿度条件

表 7-9 計算に用いた温湿度条件

	1地域	6地域
外気	-11.6°C70%	0.9°C70%
室内	10°C70%	

### c. 材料物性値: 表 7-10 参照

CLT の透湿比抵抗は、建材試験センターにおける試験結果をもとに設定した。それ以外は、H25 年省エネ基準解説書による。



表 7-10 材料の熱伝導率と透湿抵抗

材料名	熱伝導率 [W/(m・K)]	透湿比抵抗 [m・s・Pa/ng]	透湿抵抗 [m <sup>2</sup> ・s・Pa/ng]
モルタル	1.5	0.617	—
CLT(3層3プライ)	0.13	1.72	—
CLT(5層5プライ)	0.13	1.39	—
参考)木材	0.13	0.25	—
断熱材:GW32K	0.036	0.00588	—
断熱材:XPS3種(スキンなし)	0.028	0.28	—
断熱材:XPS3種(スキンあり)	0.028	0.73	—
防湿フィルム B種	—	—	0.144
透湿防水シート	—	—	0.00019
GB(せっこうボード)	0.22	0.0252	—

(3) 計算結果

計算結果を表 7-11、7-12 に示す。結露域の有無の列に示す「有」は、材料境界面における水蒸気圧が飽和水蒸気圧よりも高く、結露発生の危険性の高いことを示している。なお、本計算で用いた定常計算は安全側(厳しい結果となる)の評価となっていることが多いが、結露発生の危険性の評価としては適切であると考えられる。

表 7-11 内部結露計算のバリエーションと計算結果 (寒冷地、1 地域)

計算No.	外気条件	断熱工法	通気層	断熱材		断熱厚	結露域の有無	備考	
1-O-1	1地域	外側断熱	あり	繊維系	GW32K	155mm	無し		
1-O-2				発ブラ系	XPS3種(スキン層あり)	120mm	無し		
1-O-3					XPS3種(スキン層なし)	120mm	無し		
1-O-4			なし	繊維系	GW32K	155mm	無し		防水層がアスファルトルーフィングの場合は結露域発生
1-O-5				発ブラ系	XPS3種(スキン層あり)	120mm	無し		
1-O-6				XPS3種(スキン層なし)	120mm	無し			
1-I-1		内側断熱	あり	繊維系	GW32K	185mm	有り	防湿層あり	
1-I-2				発ブラ系	XPS3種(スキン層あり)	145mm	有り	防湿層なし	
1-I-3					XPS3種(スキン層なし)	145mm	有り		
1-I-4			なし	繊維系	GW32K	185mm	有り	防湿層あり	
1-I-5				発ブラ系	XPS3種(スキン層あり)	145mm	有り	防湿層なし	
1-I-6					XPS3種(スキン層なし)	145mm	有り		

表 7-12 内部結露計算のバリエーションと計算結果（温暖地、6地域）

6-O-1	6地域	外側断熱	あり	繊維系	GW32K	90mm	無し	
6-O-2						30mm	無し	
6-O-3						発ブラ系	XPS3種(スキ層あり)	
6-O-4				20mm	無し			
6-O-5				XPS3種(スキ層なし)	70mm			
6-O-6					20mm	無し		
6-O-7		なし	なし	繊維系	GW32K	90mm	無し	
6-O-8						30mm	無し	
6-O-9						発ブラ系	XPS3種(スキ層あり)	
6-O-10				20mm	無し			
6-O-11				XPS3種(スキ層なし)	70mm			
6-O-12					20mm	無し		
6-I-1	内側断熱	あり	繊維系	GW32K	110mm	無し	防湿層あり	
6-I-2					35mm	無し		
6-I-3					発ブラ系	XPS3種(スキ層あり)	85mm	無し
6-I-4			25mm	無し				
6-I-5			XPS3種(スキ層なし)	85mm			有り	
6-I-6				25mm	無し			
6-I-7		なし	なし	繊維系	GW32K	110mm	無し	防湿層あり
6-I-8						35mm	無し	
6-I-9						発ブラ系	XPS3種(スキ層あり)	85mm
6-I-10				25mm	無し			
6-I-11				XPS3種(スキ層なし)	85mm			有り
6-I-12					25mm	無し		

#### (4) まとめ

寒冷地においては、内側断熱工法は防湿フィルム設置などの防露対策を施しても内部結露の危険性が高い。外側断熱工法は、結露域は発生しておらず内部結露の危険性は低い、その条件として「通気層の設置」および「防水層に透湿性の高い透湿防水シート（JIS A6111）等の使用」が挙げられる。

よって、寒冷地においては内部結露防止の観点から以下のことが言える。

- 外側断熱工法が望ましい。 内側断熱工法の採用は避ける。
- 外側断熱工法における内部結露対策として、「通気層の設置」および「防水層に透湿性の高い透湿防水シート（JIS A6111）等の使用」が必要である。

なお、外側断熱工法における内部結露防止のための断面構成例を図 7-9、7-10 に示すので参考とされたい。

また、温暖地は、内側断熱工法で断熱性能の低い（断熱厚が薄い）プラスチック系断熱材による場合に防湿層なしでも結露域は発生していないが、対策としては寒冷地と同様と考える。

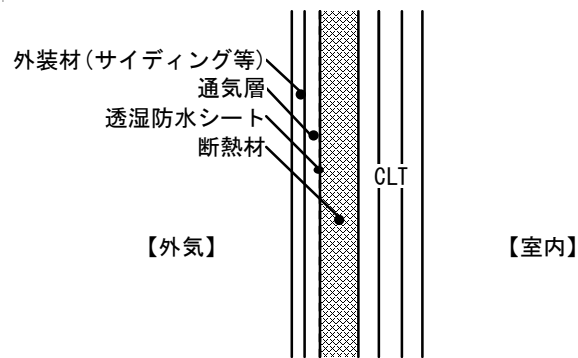


図 7 - 9 内部結露防止のための断面構成（通気層ありの場合）

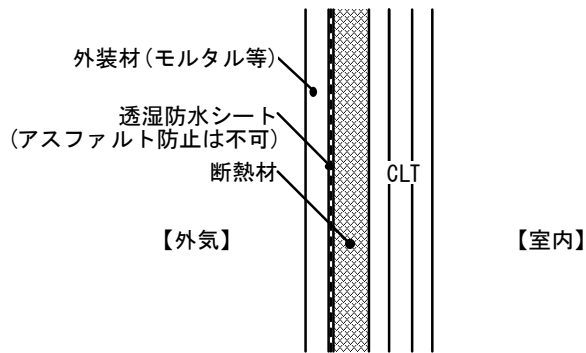


図 7 - 10 内部結露防止のための断面構成（通気層なしの場合）

## 8. 標準的断熱仕様例の検討

前章までの「構造熱橋部、及び金物熱橋部の線熱貫流率」、「防露性能」の検討結果を踏まえ、寒冷地（1、2 地域）において平成 28 年省エネ基準に適合する断熱仕様例の検討を行う。

### 8. 1 熱橋部の外皮平均熱貫流率計算への反映方法

熱橋部の熱損失については、「5.構造熱橋部の線熱貫流率」及び「6.金物熱橋部の線熱貫流率」の検討により 28 通りの取り合い部について断熱仕様 3 種類ごとに結果がでてくる。

本来であれば、断熱仕様ごとに線熱貫流率が異なるため、設計仕様ごとに定常二次元伝熱計算によって線熱貫流率を求めることになるが、専門的な計算であること、作業負荷が大きいことを鑑みて、安全側に線熱貫流率の数値を整理することが合理的であると考えられる。

ここでは、納まり部位ごとに最も線熱貫流率の大きい値（安全側の値）を採用することとする。さらに、納まり部位等の判断等も省略する方法として、以下のように、「納まり箇所別」、「断熱工法別」、「全体」の範囲ごとに最も大きい値を採用する方法も考えられる。

表 8-1 熱橋部の線熱貫流率の集約方法

安全率 ↑ ↓ 高	納まり別 MAX 値とする方法	28 種類の納まり各々について、最大値を採用する。
	箇所別 MAX 値とする方法	壁-床、壁-天井など部位取り合い部の箇所別に、最大値を採用する。
	断熱工法別 MAX 値とする方法	壁と屋根、床の断熱工法の組合せ（4 種類）別に、最大値を採用する。
	全体での MAX 値とする方法	全ての納まりのうちの最大値とする。

表 8-2 に線熱貫流率の集約結果を示す。

表 8 - 2 線熱貫流率一覽表

断熱工法		取合い部		納まり別線熱貫流率 [W/(m·K)]			線熱貫流率 MAX値 [W/(m·K)]					
垂直部位	水平部位	No.	形状	箇所	構造熱橋	金物熱橋 @910、W=100とする	構造熱橋 +金物熱橋 合計 W/(m·K)	箇所別	断熱工法別	全体		
壁	屋根床											
外張断熱	外張断熱	3	十型	壁-界床	0.064	0.511	<b>0.12</b>	<b>0.12</b>	<b>0.12</b>			
		1	T型		0	0.486	<b>0.06</b>					
		13	十型	壁-外気床	0.028	0.099	<b>0.04</b>	<b>0.09</b>				
		24	十型		0.068	0.257	<b>0.09</b>					
				11	T型	壁-屋根	0.039	0.276			<b>0.07</b>	<b>0.07</b>
				15	L型		0.039	0.259			<b>0.07</b>	
内張断熱	外張断熱	2	T型	壁-界床(屋根-間仕切壁)	0.076	0.574	<b>0.14</b>	<b>0.14</b>	<b>0.14</b>			
		4	十型		0.063	0.545	<b>0.12</b>					
		8	十型	壁-外気床	0.002	0.246	<b>0.03</b>	<b>0.06</b>				
		5	T型		0.003	0.246	<b>0.03</b>					
		25	十型		0.03	0.228	<b>0.06</b>					
		27	十型		0.034	0.063	<b>0.04</b>					
				12	T型	壁-屋根(軒あり)	0.013	0.23			<b>0.04</b>	<b>0.05</b>
				17	L型		0.02	0.239			<b>0.05</b>	
				18	T型		0.003	0.246			<b>0.03</b>	
				21	十型		0.002	0.246			<b>0.03</b>	
内張断熱	内張断熱	2	T型	壁-界床(屋根-間仕切壁)	0.076	0.574	<b>0.14</b>	<b>0.14</b>	<b>0.14</b>			
		4	十型		0.063	0.545	<b>0.12</b>					
		2	T型	屋根-間仕切壁	0.076	0.574	<b>0.14</b>	<b>0.14</b>				
		14	十型		床-間仕切壁	0.028	0.028				<b>0.03</b>	
				6	T型	壁-外気床	0.052	0.027			<b>0.05</b>	<b>0.10</b>
				14	十型		0.028	0.028			<b>0.03</b>	
				9	十型		0.070	0.28			<b>0.10</b>	
				19	T型	壁-屋根	0.052	0.27			<b>0.08</b>	<b>0.10</b>
		22	十型	0.07	0.28		<b>0.10</b>					
外張断熱	内張断熱	1	T型	壁-界床	0	0.486	<b>0.06</b>	<b>0.12</b>	<b>0.14</b>			
		3	十型		0.064	0.511	<b>0.12</b>					
		2	T型	屋根-間仕切壁	0.076	0.574	<b>0.14</b>	<b>0.14</b>				
		14	十型		床-間仕切壁	0.028	0.028				<b>0.03</b>	
				7	T型	壁-外気床	0.037	0.224			<b>0.06</b>	<b>0.06</b>
				10	十型		0.032	0.226			<b>0.06</b>	
				26	十型		0	0.221			<b>0.03</b>	
				16	L型	壁-屋根	0.013	0.243			<b>0.04</b>	<b>0.06</b>
				20	T型		0.029	0.221			<b>0.06</b>	
				23	十型		0.032	0.203			<b>0.06</b>	

## 8. 2 外皮平均熱貫流率計算

寒冷地における平成 28 年省エネ基準に適合する断熱仕様を、以下のモデルを用いて検討する。

- ・住宅モデル：自立循環型モデル（寒冷地タイプ）
- ・断熱工法：壁、天井、床ともに外側断熱工法とする。
  - 「7.2 内部結露に関する検討」により、内側断熱工法は不可であるため。
- ・断熱水準：H28 年省エネ基準の仕様基準における熱貫流率基準相当の水準、及び高断熱水準を 2 水準設定する。
- ・熱橋部の熱損失：5.及び 6.の検討、並びに 8.1 に基づき、4 種類の値別に求める。

### ①住宅モデル

平面図を図 8-1～8-4 に示す。1 階と 2 階の平面図には、熱橋部の位置、寸法を示す。

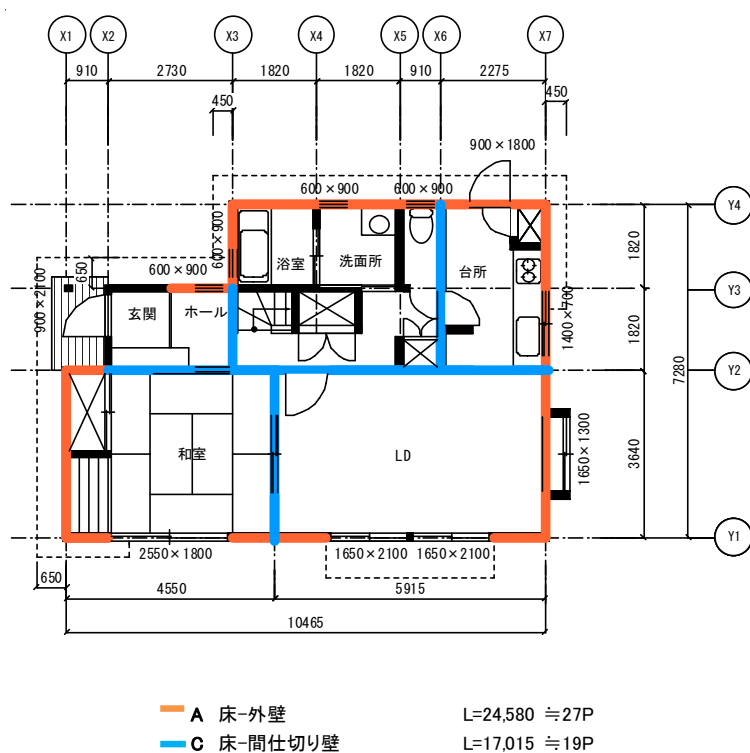


図 8 - 1 1 階平面図（1 階床レベル）

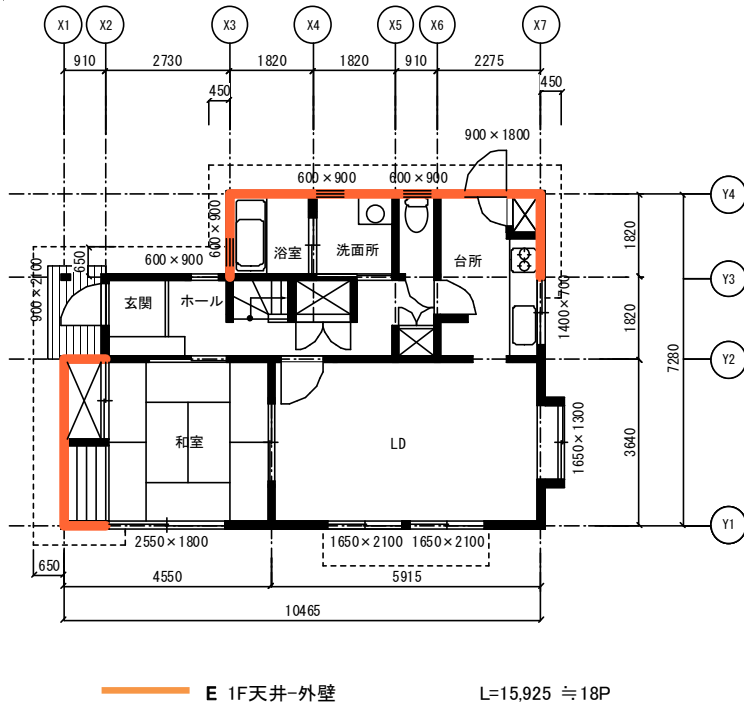


図 8 - 2 1階平面図 (1階天井レベル)

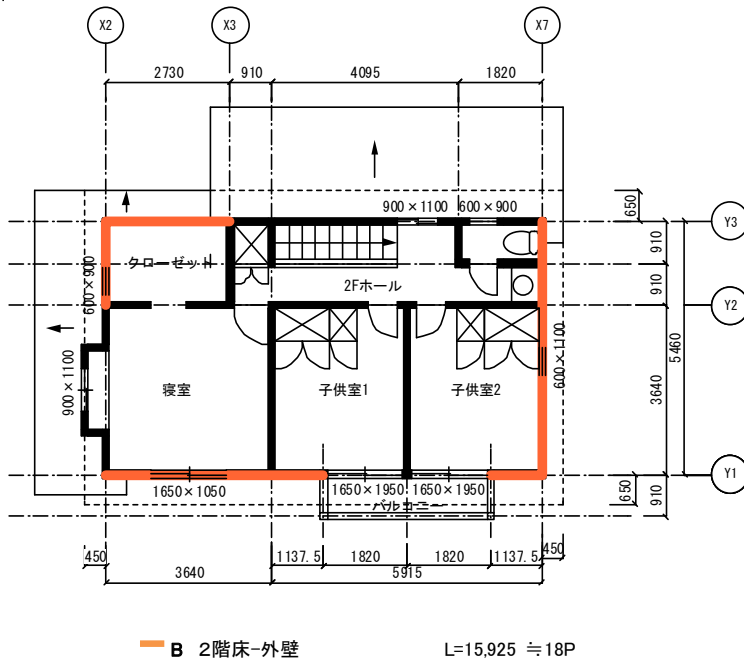


図 8 - 3 2階平面図 (2階床レベル)

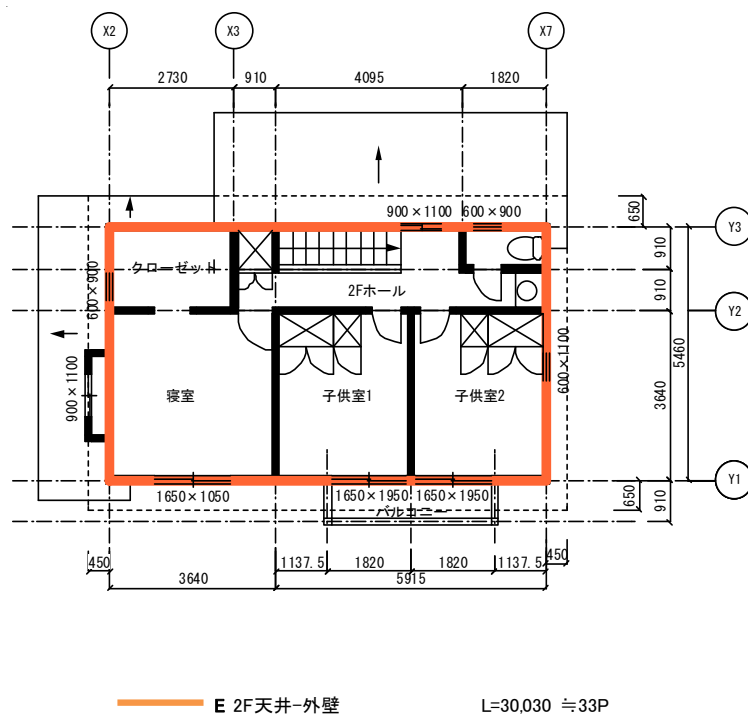


図 8 - 4    2 階平面図（2 階天井レベル）

各部位の面積と線熱橋の長さを表 8-3 に示す。

表 8 - 3    部位面積、及び線熱橋長さ

部位、熱橋部		A 面積[m <sup>2</sup> ]	L 長さ[m]
天井		67.9	—
外壁		146.49	—
床		62.11	—
基礎	外気側	—	6.83
	床下側	—	6.83
窓		21.99	—
ドア		3.24	—
構造熱橋 +金属熱橋	A 床-外壁	—	24.58
	C 床-間仕切り壁	—	17.015
	E 1階天井-外壁	—	15.925
	B 2階床-外壁	—	15.925
	E 2階天井-外壁	—	30.03



## ②断熱工法、断熱仕様

断熱工法は、壁、天井、床ともに外側断熱工法とする。

壁、天井、床の断熱仕様は表 8-4 に示す通り、3 種類設定する。開口部は、熱貫流率  $2.33\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  を基本とし、高断熱開口部として、熱貫流率が 1.90 と 1.60 の場合も用意した。

なお、CLT パネルの厚さは、壁と天井は 90mm、床は 210mm とした。

表 8-4 壁・床・天井の断熱仕様

断熱水準	部位	仕様	断熱の熱抵抗 [ $\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$ ]	部位熱貫流率 [ $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ ]	備考
低 H28 省エネ基準相当	壁	XPS3 種 55 mm	1.96	0.348	CLT90
	床	GW24K 40 mm	1.05	0.329	CLT210
	天井	GW24K 200 mm	5.30	0.161	CLT90
中	壁	フェノール 50 mm	2.27	0.314	CLT90
	床	フェノール 50 mm	2.27	0.235	CLT210
	天井	XPS3 種 150 mm	5.40	0.159	CLT90
高	壁	フェノール 75 mm	3.41	0.231	CLT90
	床	フェノール 75 mm	3.41	0.185	CLT210
	天井	フェノール 150 mm	6.80	0.129	CLT90

・ XPS3 種：押出法ポリスチレンフォーム 3 種、熱伝導率： $0.028\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$

・ GW24K：グラスウール 24 kg 品 熱伝導率： $0.038\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$

・ フェノール：フェノールフォーム 1 種 1 号 熱伝導率： $0.022\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$

断熱仕様は、壁・床・天井の 3 種類と開口部の組合せで、以下の 5 種類とする。

表 8-5 断熱仕様組合せ

No.	壁・床・天井の断熱水準	開口部の熱貫流率
1	低：H28 省エネ基準相当	$2.33\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
2	中	$2.33\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
3	中	$1.90\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
4	高	$2.33\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
5	高	$1.60\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$

### ③熱橋部の線熱貫流率

線熱貫流率の値の集約程度によって外皮平均熱貫流率に与える影響をみるため、外皮平均熱貫流率の計算には、熱橋部の線熱貫流率は、「納まり別（表では、「構造+金物」の欄)」、「取り合い部箇所別」、「断熱工法別」、「全体の最大値」の4種類の値を用いた。

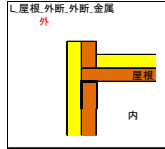
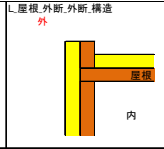
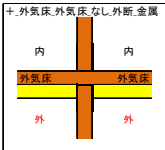
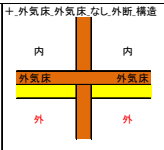
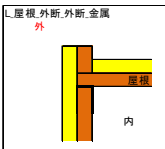
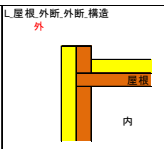
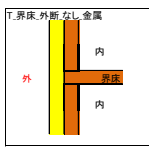
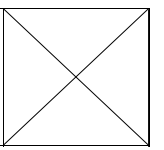
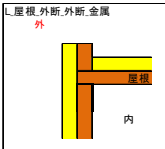
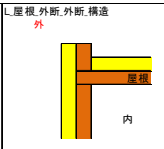
		ψ線熱貫流率					
		構造熱橋	金物熱橋	構造+金物	箇所でのMAX値	断熱工法でのMAX値	全体でのMAX値
A 床-外壁	納まりNo. 15を準用						
		0.039	0.259	<b>0.07</b>	<b>0.07</b>	<b>0.12</b>	<b>0.14</b>
C 床-間仕切壁	納まりNo. 13						
		0.028	0.099	<b>0.04</b>	<b>0.09</b>	<b>0.12</b>	<b>0.14</b>
E 天井-外壁	納まりNo. 15						
		0.039	0.259	<b>0.07</b>	<b>0.07</b>	<b>0.12</b>	<b>0.14</b>
B 外壁-2階床	納まりNo. 1						
		0	0.486	<b>0.06</b>	<b>0.12</b>	<b>0.12</b>	<b>0.14</b>
E 天井-外壁	納まりNo. 15						
		0.039	0.259	<b>0.07</b>	<b>0.07</b>	<b>0.12</b>	<b>0.14</b>

図8-5 外皮平均熱貫流率の計算に用いた線熱貫流率

### 8. 3 平成 28 年省エネ基準適合仕様例

8.1、8.2 の計算条件に基づく外皮平均熱貫流率の結果を表 8-6 に示す。

計算の結果、平成 28 年省エネ基準の木造における仕様基準（熱貫流率基準）相当の断熱性能は、若干適合しない結果となった。適合するためには、開口部の性能を 1 ランクアップ（熱貫流率 1.90W/(m<sup>2</sup>/K)以下）とするか、壁・床・天井の断熱水準を中とすることが目安となる。

表 8 - 6 外皮平均熱貫流率計算結果

1, 2地域	断熱仕様	断熱材 熱抵抗	部位 熱貫流率	外皮平均熱貫流率 U <sub>A</sub> ・H28基準:0.46以下					
				構造熱橋部 熱損失なし	納まり毎 のMAX値	箇所 で MAX値	断熱工法 で MAX値	全体 で MAX値	
断熱水準:低 木造U基準相当	壁	XPS3種(λ=0.028)55mm	1.96	0.348	<b>0.456 適合</b>	0.477 非適合	0.482 非適合	0.494 非適合	0.501 非適合
	床	GW24K(λ=0.038)40mm	1.05	0.329					
	屋根	GW24K(λ=0.038)200mm	5.26	0.161					
	開口部		—	2.330					
断熱水準:中	壁	フェノール(λ=0.022)50mm	2.27	0.314	<b>0.426 適合</b>	<b>0.446 適合</b>	<b>0.451 適合</b>	0.463 非適合	0.460 非適合
	床	フェノール(λ=0.022)50mm	2.27	0.235					
	屋根	XPS3種(λ=0.028)150mm	5.40	0.159					
	開口部		—	2.330					
断熱水準:中 開口部強化	壁	フェノール(λ=0.022)50mm	2.27	0.314	<b>0.391 適合※1</b>	<b>0.411 適合</b>	<b>0.415 適合</b>	<b>0.428 適合</b>	<b>0.434 適合</b>
	床	フェノール(λ=0.022)50mm	2.27	0.235					
	屋根	XPS3種(λ=0.028)150mm	5.40	0.159					
	開口部		—	1.900					
断熱水準:高	壁	フェノール(λ=0.022)75mm	3.41	0.231	<b>0.373 適合※1</b>	<b>0.393 適合※1</b>	<b>0.398 適合※1</b>	<b>0.410 適合</b>	<b>0.416 適合</b>
	床	フェノール(λ=0.022)75mm	3.41	0.185					
	屋根	フェノール(λ=0.022)150mm	6.80	0.129					
	開口部		—	2.330					
断熱水準:高 開口部強化	壁	フェノール(λ=0.022)75mm	3.41	0.231	<b>0.313 適合※</b>	<b>0.333 適合※</b>	<b>0.338 適合※</b>	<b>0.350 適合※1</b>	<b>0.356 適合※1</b>
	床	フェノール(λ=0.022)75mm	3.41	0.185					
	屋根	フェノール(λ=0.022)150mm	6.80	0.129					
	開口部		—	1.600					

※1 ZEH外皮基準(0.40W/(m<sup>2</sup>・K)以下)

## 9. まとめ

寒冷地における CLT パネル工法住宅における標準的断熱仕様例を策定するために、以下に示す検討を行った。

### ①CLT パネルの熱伝導率

測定結果に基づく検討では、熱伝導率  $0.12\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$  が妥当である。

### ②構造熱橋部、金物熱橋部の線熱貫流率

28 種類の納まりについて線熱貫流率を求め、外皮平均熱貫流率計算に使用する方法について整理した。

### ③防露性能

部位取り合い部における表面結露有無の確認においては、問題のないことが確認された。

内部結露については、内側断熱工法は防湿層の設置等では結露域を解消するには、施工性等を勘案すると不安があることが確認された。よって、外側断熱工法を標準とすることが妥当である。

以上の①から③の結果をもとに、8.1 に示す住宅モデルで外皮平均熱貫流率を求めた結果、平成 28 年省エネ基準の木造における仕様基準（熱貫流率基準）相当の断熱性能では、若干ではあるが適合しないことから、開口部の断熱性能強化などの対策を要することが確認された。