

熱橋の影響

Fraunhofer建築物理研究所 所員 田中 絵梨
(お茶の水女子大学 生活科学修士)

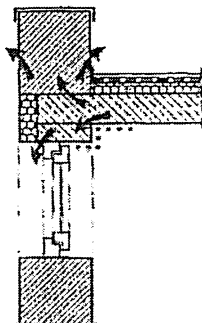
1. はじめに

現在は日本でも、省エネルギー住宅の建設にあたり「断熱の強化」が一般的となっている。断熱の強化とえば、外壁や屋根などの各部位の断熱材の厚みを増し、熱貫流率を下げる方法が第一に挙げられる。しかしそれだけでは不十分であり、実際には、外壁と屋根の接合部やバルコニーの断熱構造の良し悪しにより、建物の全体的な断熱性能が良くも悪くもなる。なぜならば外壁と屋根の接合部やバルコニーと外壁の接合部などは、躯体が交差するために断熱層が連続することが難しく、熱が流れやすい「熱橋」となり得るからである。

熱橋の影響は、断熱層が厚いほど、また建物の気密性が高いほど、大きくなる。また熱橋は、エネルギーだけではなく、室内の温熱環境や、結露およびカビの発生などの湿気による害にも関係する。したがって建物の断熱・気密化がすすんできた日本においては、これまで以上に熱橋を重要視し、しっかりと対策をする必要がある。筆者がドイツで熱橋に関する調査をしている際に、構造と熱橋の影響の大きさを体系的にまとめた資料、通称「熱橋カタログ」^(1,2)や、熱橋の計算手法を定めた規格⁽³⁾、および熱橋に関する基準や指針値が明記された資料⁽⁴⁾に触れることができた。

そこで今回は、熱橋に関する知見やドイツでの熱橋の扱われ方を紹介する。

図1 天井と外壁の接合部
および窓枠周辺にお
ける熱橋による熱の
流れ (Stuttgart大学での
講義資料より作成)



2. 熱橋の影響

2.1 建物の熱損失に対する影響

建物の熱損失全体に対する熱橋部分の熱損失の大きさに関して、筆者が行った検証結果を紹介する。

<検証の目的>

一戸建て住宅の熱損失全体に対する熱橋の影響の大きさを把握することを目的とし、断熱層の厚みおよび工法による違いを比較した。

<検証内容>

標準的な一戸建て住宅のモデルとして、建築学会により提案されている標準問題用の住宅モデル(床面積126㎡)⁽⁵⁾を参考にした。建物の構造には、コンクリート造の内断熱と外断熱、そして木造の充填断熱と外張り断熱の4種類の構造を想定した。また、断熱層の厚みは、次世代省エネルギー基準⁽⁶⁾で気候区ごとに定められている、外壁や屋根などのそれぞれの建物部位に対する熱貫流率の許容値を満たすように設定した。表1に示される基準値に従い、断熱層の厚みは4つの段階に分けられる。

以上に述べた、4種の構造それぞれにつき、断熱層の厚みを4段階に変化させたモデルに対して、外壁の角、天井と屋根の取り合い部、窓枠、基礎と床の取り合い部、間仕切壁と外壁の取り合い部、階間、の7箇所において熱橋による熱損失の大きさをシミュレーションした。シミュレーションには、Fraunhofer建築物理研究所で開発された熱橋計算ソフトStatwlを用いた。

<検証結果>

シミュレーションの結果を用いて、熱橋部分の熱損失の大きさを算出した。それを用いて、外壁や屋根、床などの建物表面からの熱損失および熱橋部分からの熱損失を含む、建物の熱損失全体に対する熱橋の影響の大きさを、式(1)により算出した。

表1 次世代省エネルギー基準に定められた、各建物部位の熱貫流率の基準値

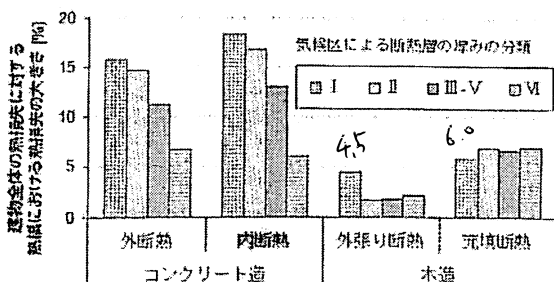
住宅の構造	部位	地域の区分					
		I	II	III	IV	V	VI
鉄筋コンクリート造・内断熱	屋根または天井		0,27	0,35	0,37		0,37
	壁		0,39	0,49	0,75		1,59
	床	外気に接する部分	0,27	0,32	0,37		..
		その他の部分	0,38	0,46	0,53		..
	土間床等の外周	外気に接する部分	0,47	0,51	0,58		..
		その他の部分	0,67	0,73	0,83		..
鉄筋コンクリート造・外断熱	屋根または天井		0,32	0,41	0,43		0,43
	壁		0,49	0,58	0,86		1,76
	床	外気に接する部分	0,38	0,46	0,54		..
		その他の部分
	土間床等の外周	外気に接する部分	0,47	0,51	0,58		..
		その他の部分	0,67	0,73	0,83		..
その他の構造	屋根または天井		0,17	0,24	0,24		0,24
	壁		0,35	0,53	0,53		0,53
	床	外気に接する部分	0,24	0,24	0,34		..
		その他の部分	0,34	0,34	0,48		..
	土間床等の外周	外気に接する部分	0,37	0,37	0,53		..
		その他の部分	0,53	0,53	0,76		..

$$\text{熱橋の影響} = \frac{|\sum \Psi_i * l_i|}{(\sum \Psi_i * l_i + \sum U_i * A_i)} * 100 (\%) \dots\dots(1)$$

Ψ_i ; 建物部位 i における単位長さあたりの熱橋係数
 l_i ; 熱橋が生じる建物部位 i の長さ
 U_i ; 建物部位 i における単位面積あたりの熱貫流率
 A_i ; 建物部位 i の面積

建物の熱損失全体に対する熱橋の影響の大きさを比較した結果を、図2に示す。最も熱橋の影響が大きいのは、内断熱のコンクリート造で、気候区Ⅰ、つまり寒冷地で最も高断熱が要求される地域においては、建物の熱損失全体に対する熱橋部分での熱損失は約18%を占めるという結果となった。今回の検証では断熱補強のない場合とし、また各建物部位や接合部の構造は実際にはさまざまなバリエーションがあるため、一概に述べることはでき

図2 建物全体の熱損失に対する熱橋における熱損失の大きさの比較。ローマ数字による分類は、表1に基づいて設定した断熱層の厚みの分類を示す。断熱層の厚みは、Ⅰが最も厚く、Ⅵが最も薄い。



ないが、傾向として以下のようにまとめることができる。

(1) 構造による違い

コンクリート造は木造に比べて、熱橋による熱損失の割合が大きい。これは、躯体となる建材の熱伝導率が、木造は0,14W/mKであるのに比べてコンクリートは1,6W/mKと大きく、熱伝導率が高いほど熱を通しやすいためである。

(2) 断熱層の厚みによる違い

断熱層の厚みが厚いほど、熱橋による熱損失の割合は大きい。というのも、断熱層の厚みが厚ければ、建物表面を通る熱貫流による熱損失の量が小さくなるため、割合として熱橋による熱損失の割合が大きくなるためである。

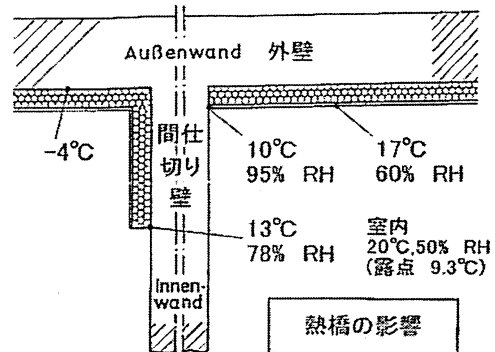
(3) 工法による違い

断熱材を躯体の内側または躯体の間に設ける工法（内断熱および充填断熱）の方が、断熱材を躯体の外側に設ける工法（外断熱および外張り断熱）よりも、熱橋による熱損失の割合が大きい。というのも、前者は躯体が交差する部分で断熱層が途切れるため、その途切れた部分を集中的に熱が流れ出るためである。

2.2 室内の温湿度に対する影響

熱橋部分は熱の流れが集中して生じているため、その周辺の温度分布に影響を与える。室内の快適性に関して言えば、壁の表面温度が均一であることが望ましいが、熱橋がある部分の室内の表面温度は、特に冬は低温となり、快適性を害する。また、表面温度が露点温度を下回ると、結露が生じる。露点温度を下回らなくても、相対湿度が上がるため、カビが発生する危険性が高くなる。

図3 熱橋による室内の温度および相対湿度への影響 (Stuttgart大学での講義資料より作成)



3. ドイツにおける熱橋に関する基準

3.1 DIN (ドイツ工業規格)

ドイツにおいて建物の省エネルギーに関する基準は、DIN (ドイツ工業規格) 4108 「Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden: 建物の断熱と省エネルギー」にまとめられている。ドイツの「建築基準法」において、このDIN4108を遵守するよう定められている。この規格は、図4に概要を示すように、断熱の最低基準や防湿基準、気密性や暖房負荷の計算方法などを記した7つの章および、記号や用語の説明、熱橋部分の施工例の2つの付録から成る。

図4 DIN4108の概要

DIN4108「建物の断熱と省エネルギー」
 第一章：単位
 第二章：断熱の最低基準
 第三章：気候に応じた防湿、計画と施工の要求事項とヒント
 第四章：断熱および防湿に関する物性値
 第五章：(以前は独立していたが、現在は第三章に含まれる)
 第六章：年間暖房エネルギーおよび年間暖房負荷の計算
 第七章：建物部位および接合部の気密-計画および施工の推奨例
 付録1：記号および用語
 付録2：熱橋部分の施工例

DIN4108の第2章^(*)には、断熱の最低基準が定められている。具体的には、冬の断熱、夏の断熱、各建物部位の最低断熱基準、熱橋部分の断熱、気密性に関して記されている。

その中で「熱橋部分の断熱」に関しては次のように記されている。

- ・DIN4108 付録2⁽⁷⁾に記されている「熱橋部分の施工例」と同等とみなされる施工を行っている場合は、熱橋に関して特別な処置は不要である。
- ・DIN4108 付録2⁽⁷⁾に記されている施工例とは異なる施工をしている場合は、熱橋の影響を最も大きく受ける箇所において、温度ファクター f_{Rsi} (*)が0.7以上とならなければならない。

↓
Rsi

Rsi

(*) 温度ファクター f_{Rsi} は以下の式によって算出される。

$$f_{Rsi} = (\theta_{si} - \theta_e) / (\theta_i - \theta_e)$$

ここで、

θ_{si} 室内壁の表面温度

θ_i 室内の空気温度

θ_e 室外の空気温度

(f_{Rsi})

つまり、 $f_{Rsi} \geq 0.7$ を満たすためには、室外温度が-5℃で室内温度が20℃であると仮定した場合、壁の表面温度が12.6℃以上である必要がある。これを満たしていれば、室内の相対湿度が50%であるとする、カビが発生する危険性がない。

この温度ファクターは、実測またはコンピューターを用いた温熱シミュレーションにより算出されるが、その際の境界条件などの詳細は、DIN EN ISO 10211-2⁽³⁾に準じる必要がある。

次に、付録2「熱橋部分の施工例」⁽⁷⁾の概要を紹介する。

この付録には、熱橋を防ぐための施工方法が、接合部ごとに図示されている。ここに示されている施工例はい

図5 DIN4108 付録2「熱橋部分の施工例」における、外壁の種類と接合部のマトリックスの例

Tabella 1 - Detailübersicht 外壁の構造

Art des Anschlusses 接合部の構造	Ronalquerschnitt			
	M	A	K	S
1	Bild 1 bis Bild 3	Bild 4 bis Bild 6	-	Bild 7 bis Bild 9
1.1	Bild 10 bis Bild 12	Bild 13 bis Bild 15	Bild 16 bis Bild 18	Bild 19 bis Bild 24
2	Bild 25 bis Bild 29	Bild 29 bis Bild 31	Bild 32 bis Bild 35	Bild 36 bis Bild 41
3	Bild 42	Bild 43	Bild 44 bis Bild 46	Bild 47
4	Bild 48	Bild 49	Bild 50 bis Bild 52	Bild 53
5	Bild 54	Bild 55	Bild 56 bis Bild 58	Bild 59

対応する図の番号