

建築物理学講座

第 8 回

一 建築の伝統が試される 原題：“Bautraditionen auf dem Prüfstand”

(Fraunhofer IRB Verlag 刊)

著者 Dr. Helmut Künzel

翻訳 田中 辰明 (お茶の水女子大学名誉教授・工学博士)

3.8 空気層と換気(通気)

外壁内の換気(通気)は、繰り返し議論されてきたテーマである。この問題は建築物や生活環境の時代的变化とも関連している。以下では、外壁内での換気(通気)が提案され、あるいは規定されている建築物を取り上げる。

空気層を持つ石積み外壁

空気層がある場合について述べたい。換気用の開口部についての詳細は省くが、外壁の乾燥を促進するために空気層を一時的に換気することが提案された(セクション 2.2 参照)。また、頻繁に雨にさらされる外壁の場合、外壁内で換気をすれば断熱性が低下するにもかかわらず、外壁の湿潤化を避けるために換気は行われた^[17]。

トリーベル(W. Triebel^[8])によれば空気層のある外壁は、安全な石積み構造として今日でも使用されている唯一の空洞壁構造である。この構造は北ドイツ沿岸部では外壁に換気口があり、内陸部では換気口がない。換気口が存在せず、空気層がある外壁は外壁の断熱性能を高めるためである。空気層が存在する外壁に関する最初の規格である DIN 1053「石積み、計算および施工」(1952年版)には、次のように記されている。「外壁内の空間を乾燥させるため、外壁に1階床および屋根軒下に換気口を設けるか、またはそれに相当する割合の突合せ目地を空けておくことを推奨する。これらの換気口は、壁面(窓やドアを含む)20㎡あたり450cm³程度の面積が必要である。」

換気により外壁内を乾燥させることが重要で、換気による断熱性能の低下は無視できる。これは、先の評価(降雨量が多く平坦な建物の場合の換気、第2.2章)の考え方と一致している。

しかし、1974年版の DIN 1053では、この規制は廃止された。

「外壁の上部と下部には換気口を設けること」が1952年版では推奨であったが、1974年版では「すべき」に変更になった。これは外壁のパラペット部分にも適用され

る。外壁の室内側の層に追加のマットまたはパネル状の断熱材を使用する場合、空気層の厚さは12cmを超えてはならない。

こうして、通気空気層が不可欠であることが示され、壁の下部部分と屋根の軒下にある通気開口部の存在が、外壁表面全体にまで拡大された。無防備な開口部からは、乾燥によって放出されるよりも多くの雨が侵入する可能性があったが、そのことは考慮されなかった(研究^[68]によって確認されている)。換気もまた、風雨の影響を受ける側面に限定されず、一般的に必要とされた。その結果、図58と図59に示すようなファサードの景観となった。

外壁の中央に断熱材を挿入するコア断熱、すなわち今までであった外壁の空気層を断熱材で埋めてしまうことである。この空気層を完全に埋めることは、DIN 1053-1(1996)で初めて規格に盛り込まれた。それ以前は、コア断熱や空気層を4cm以下にするためには、ドイツ建築技術協会の承認が必要であった。しかし、外壁の空気層に断熱材を充填によるコア断熱は、特にオランダでは、その何年も前から行われ、成功していた^[69]。

ホルツキルヘンでの試験壁の実地調査と、1980年代の他のドイツの研究センターによる文献^{[68],[116]}によって、毛細管吸収性のない断熱材の層が、空気層と同じように外壁の2つの層の間の「湿分分離層」として機能し、換気が不要であることが最終的に確認された。

さらなる研究により、クリンカー製の外壁仕上げ層は、セメント断熱材を使用した壁構造に対して有害な影響を及ぼさないことが示されている^[70]。もう一つの問題は、外壁仕上げ層の漆喰塗りである。薄い外壁仕上げ層の漆喰は、場合によってひび割れの損傷を受けやすいことを考慮しなければならない^[71]。空気層がある外壁の、特に煉瓦造の発展の歴史は、文献^[115]に要約されている。

これらの知見に基づき、DIN 1053-12(2009年3月版)と題された規格の新改訂版の草案では、次のような簡潔な表現が採用された。「外壁には、気密層の上に排水



図 58 DIN 1053-1(1996)に準拠した換気口を持つキールの新市庁舎。最も強い雨荷重は建物の最上部で発生する。換気によって除去されるよりも多くの雨が上部の開口部から侵入することが、試験[68]によって確認されている。

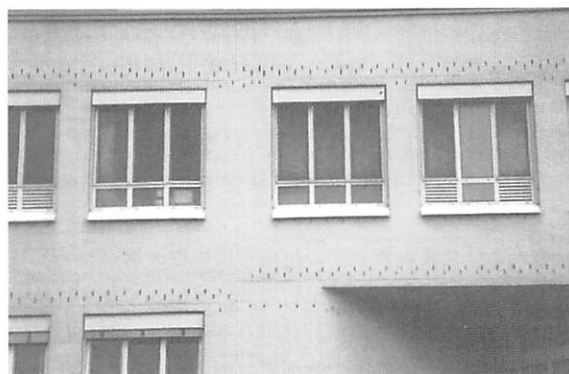


図 59 DIN 1053-1(1996)に準拠した空気層と換気口を備えた左官仕上げのダブルスキン石積みを持つミュンヘンのクリニックのファサード。換気口は欄干部分と保護された入口部分にもある。実際には換気の必要はなく、外壁の漆喰が雨を防ぐ役割も果たしている。

口や換気口(例：開放衝突目地)を設けることができる。これは外壁の欄干部分にも適用される。」

しかし、この草案は意図されたようにDIN 1053の第

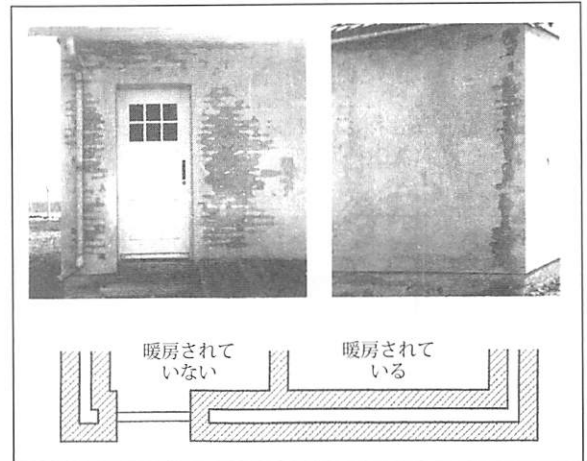


図 60 ダブルスキンの外壁を持つテストハウスの北側ファサードの平面スケッチと、暖房されていない控室と北西のコーナー部分の湿った外壁漆喰の写真。湿気負荷は、試験開始の最初の冬の建物の湿気と、暖房された試験室での追加的な湿気の発生により、特に高くなった。

12部として発行されることはなく、代わりに同じ文言でDIN EN 1996-2/NA:2912-01の一部となったため、以前のような「推奨する」に戻ったが、現在は詳細な科学的調査によって裏付けられている。具体的には、外壁には排水や換気は必要ないということである(文献[120]も参照)。

1981年以前のDIN 4108(2章3節参照)において、空気層が連続することが良い影響を及ぼさないことについて言及されていたことは、正しい事であった。

図60に示す空気層のある外壁(12cmのベタレンガ - 6cmの空気層 - 12cmの穴あきレンガ)の内側^[26]の試験住宅の写真からも明白である。DIN 4108の連続空気層の欠点に関する情報が、屋根裏部屋を住宅用に改築する際に考慮され、遵守されていれば、このような好ましくない事態は避けられたであろう。

というのも、勾配屋根の場合、換気対策の問題が後に出てくるのである。

通気層のある平屋根(陸屋根)

第二次世界大戦後、ドイツではそれまで一般的でなかった平らな屋根(陸屋根)の建物が建てられるようになった。

当時の断熱材は性能が良くなく(主に発泡コルク板と木毛軽量板)また建築工程の遅さが問題であった。

当時、平らな屋根はイタリアやギリシャのような南の

国のものだと多くの人が思っていた。ドイツの気候条件では、雨の影響を受けずに平らな屋根を仕上げることは難しい。実際、当時製造されていた屋根の防水材料は、今日の高品質な素材とは比較にならないほど耐久性に欠けていた。そのため、当時は通気性のある陸屋根がよく使われていた。施工中に増加した初期湿気や雨水は通気によって発散され、雨水は通気空気層の上に別途設置された雨除け屋根構造によって建物躯体に影響しないように配慮されていた。

今日では、発泡合成樹脂や疎水性ミネラルウール板などの実質的に非吸水性の断熱材や、合成樹脂製アスファルトルーフィング膜、布製ポリマールーフイング膜が入り可能なため、通気性のある平らな屋根の建設は問題なく施工されるようになった。通気層の無いコンクリート平屋根は、通気層のある屋根よりもシンプルで施工が容易である。通気層の無い屋根のひとつである、いわゆる下地屋根の場合、その上の断熱層が天候の影響から屋根構造を熱的に保護するため、施工の耐久性という点でさらなる利点がある。通気層の無い平屋根の出現は、新しい建築構造の発展におけるある種の転換期である。

陸屋根に通気層がある場合一番上の屋根スラブは外気温度や大気放射により冷やされる。したがってその屋根スラブは冬季は冷たい。そのため冷たい屋根(カルトダッハ: Kaldach)と呼ばれた。一方通気層が無い屋根スラブの場合室内の暖気が屋根スラブに伝わり、スラブは温かくなる。そこで温かい屋根(ヴァルムダッハ、Warmdach)と呼ばれた。これは愛称であろうが私には奇妙に思われる。通気層のある屋根、通気層の無い屋根という表現も奇妙に思われる。このことについてアイヒラー(Eichler F)とアルント(Arndt H)は次のように説明している。^[72]

屋根裏が歩行可能または這い回れる空間がある構造の屋根では、空気層が換気されるため、屋根構造の下に冷たい空間が生じる。従って屋根スラブは冷たく、冷たい屋根、「カルトダッハ」になる。

空気層が無く屋根スラブが直接暖房された部屋に接している屋根は「暖かい屋根、ヴァルムダッハ」と呼ばれる。アイヒラー氏は別の箇所にはこう書いている: 冷たい屋根、カルトダッハの断熱層(下部シェル)は日陰にあるが、温かい屋根、ヴァルムダッハの屋根は太陽にさらされている。

アイヒラー氏は通気層を備えた外壁を冷たい外壁(カルトファッサード)と呼んでいる。

冷たい屋根、カルトダッハや温かい屋根、ヴァルムダッ

ハという用語が現在ではほとんど使われなくなったことは歓迎すべきことである。

DIN 4108-3(1981)は、換気平屋根の換気口の寸法に関する情報を提供しており、換気口は屋根の勾配と換気口の位置(軒先または棟)によって異なるが、屋根の反対側で屋根面積の少なくとも2%であるべきであると述べている。また、屋根の寸法に応じて室内側の防湿壁に関する情報も提供している。屋根のガイドラインやその他の規則にも対応する情報が記載されており、その中で2%がガイドライン値として記載されている。この2%という値は研究結果に基づいているわけではなく、北欧やカナダにおける木造建築の屋根の構造から得られた経験に基づく伝統的な値である。

通気層のある外壁

平らな屋根と同様、この外壁の設計には当初、外壁表面の2%という通気寸法が要求された。しかし、これでは背の高い建物では、石積みとクラッドの間の距離が非現実的に大きくなってしまいう可能性があった。そのため、DIN 18516-1「外壁下地、通気層のある外壁」では、壁の長さに対して少なくとも50cm/mの開口部を、建物の底面と屋根の端に設けることだけが規定された。

空気層の断熱効果が、換気される中空層がある外壁の石積み(断熱空気層)には十分に考慮されるのに、換気された壁の外装では、たとえ外装材の要素が大きいても考慮されないのは非論理的であった。これは後に変更され、通気層のある外壁の熱伝達率は20W/m²・Kから減少し10W/m²・Kとされた。

元来、屋根の下の空間は、あらゆる備品を保管したり、洗濯物を干したりするために使用されていたものである。

このような屋根裏空間の使用では屋根の構造から換気は十分に行われていた。小型の薄い屋根瓦で葺かれた屋根は普通の雨には強いが、必ずしも防水性が高いわけではない。強風下の降雪や強雨には耐えられなかった。そこで薄い屋根瓦の下に「前掛け」を取り付けることが多かった。これは当初、木製の板材にルーフィング・フェルトを貼ったものであった。性能は良くなかったので、後に安価な下地シートや下張りシートも登場した。(図61のAケース)

屋根裏空間は当初収納スペースとして使用された。これが住宅が不足した時代に更に居住スペースとして使用されるようになった。このような変化はさまざまな段階

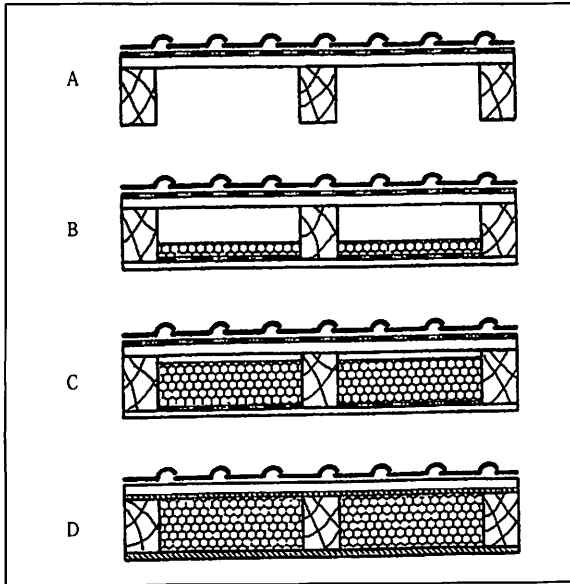


図61 物置としての屋根から完全断熱の住宅階までの屋根構造の展開：
 A: 非断熱屋根。
 木材パネルとルーフィングフェルト
 流雪と埃の侵入の回避(屋根の貯蔵室)
 B: エネルギー危機以前の断熱材を使用した換気屋根
 C: 断熱材を増加させた換気屋根
 エネルギー危機後の断熱
 D: 最大限の断熱材と拡散開放下地膜を使用した非換気屋根

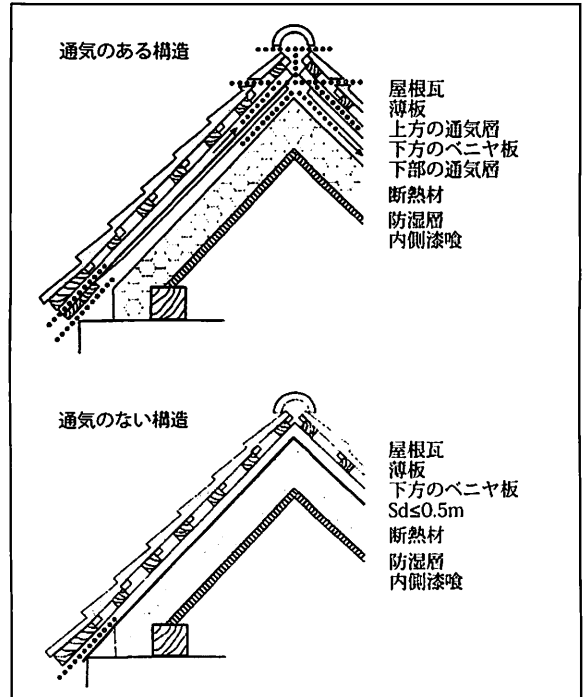


図62 切妻屋根の構造と上から下への構造の詳細(模式図)。上: 屋根葺きガイドライン[73]に従った通気構造で、2つの通気層が棟で互いに接続されている。これにより、点列に従って流動と拡散による湿気の分配が可能になる。点列は、下地膜の下の層から反対側の層への経路を示している。屋根材(パネル接合部)の通気性により、風の流れが発生した場合、この経路に沿って特に効果的な水分輸送が行われる。下図: 垂木の間に完全断熱材を使用し、棟部分を遮ることなく屋根下葺き材またはプレカパー材で覆う非通気構造。

を経て行われた。必要な断熱性能を確保するため、通常は垂木の間に断熱材を挿入し、室内側には漆喰塗りや内装パネルを張った。その後に水蒸気の侵入を防ぐために防湿層が設置された。1973年に起きたエネルギー危機以前は、コスト上の理由から、断熱材の厚さは4~6cmで十分だった。屋根カバーまでの残りの空隙10~14cmは自然換気されていた。この空隙を外気から遮断するのはコストがかかった。(図61のケースB)

年月が経つにつれて、省エネルギーの観点から断熱材の必要量が増え、その結果断熱層の厚みも増した。従って、断熱材の上部と密度の高い屋根表面材料または下地との間の通気スペースがますます狭くなっていった(図61のケースC)。この空間と、屋根材料と最終的な屋根材料の間の空気層を換気するために、屋根のガイドラインに従って、少なくとも2cmの厚さの2つの換気層を維持する必要があった。こうして、屋根の頂部は二つの方向の両方の屋根からくる換気のぶつかる場所となった。

例えば、日当たりの良い南側と雪に覆われた北側というように、一般的に温度が異なる屋根の換気は性質が異なる。これは、温度の異なる外皮の間を湿気が移動する

結果、通気層のある石積みの場合と同じことが起こる可能性がある(図62)。

しかしこの場合、4つの異なる可能性がある。すなわち、片側の下部または上部換気口から空気が入る場合、また反対側の下部または上部換気口から空気が入る場合が考えられる。さらに、外気が換気口から侵入することで、屋根構造の内面に結露が発生し、夜間の放射によって冷却されることがある。質量が小さいため、結露は下地シートなどに発生し、そこから滴り落ちる。さらに、水蒸気の拡散や流れによって、居住空間からの湿気侵入も予想される。これらの影響は、ホルツキルヘンの屋外試験場で、南向きと北向きの屋根面の異なる屋根の構造について調査された(図63)。下地ラッテ¹⁾の有無による2種類の屋根の結果を図64に示す。

南側と下地ラッテのない北側では、冬の測定期間中、垂木の水分は継続的に減少した(屋根トラスは6ヶ月前

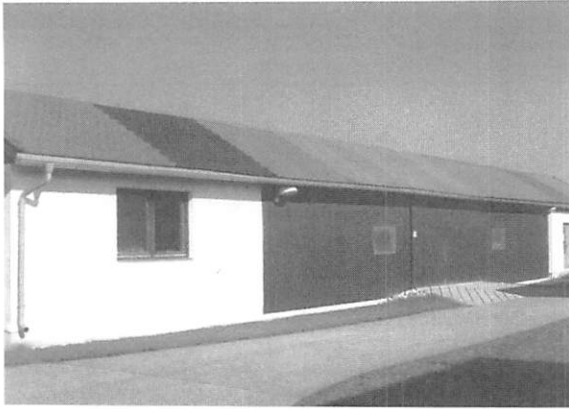


図 63 南と北の方向に平らな傾斜屋根面(280 勾配)を持つテスト棟の図。ここでは、屋根構造の異なる瓦で覆われている(シリコン処理なしの赤瓦とシリコン処理ありの赤瓦、エンゴブド瓦、平板瓦、平板瓦葺き)。

に建てられたばかりであったため、初期含水率はまだ高かった)。しかし、下地ラッテが存在する棟の調査結果では、水分が空気層を経由して分配される可能性があるため、北側の垂木水分は当初かなり増加し、2月から3月の冬の寒い時期に最大値を示した。

一時的に日光が当たり、雪が積もり湿潤になった屋根スラブの下は南側でも北側でも屋根の内表面に結露が発生する可能性があった。また垂木の木材が湿潤になることもあった。

ホルツキルヘンの屋外試験場に南と北を向く平たい勾配屋根をもつ試験棟が建てられた(図63)。ここでは様々な屋根の仕様で試験が行われた。下地ラッテがある場合とない場合の試験結果を図64に示す。下地ラッテが無い場合、小屋組みの垂木の湿度は南側の屋根でも北側の屋根でも冬季の測定期間中常に上昇していた(屋根のトラスは半年前に建設されたばかりで、初期の含水率は未だ高い状態が続いていた)。

屋根の南側で発生した結露が北側の寒い屋根に到達すればするほど、北側屋根の下地材に結露が発生し、垂木が湿る可能性が高くなる。

温度測定の結果、屋根の下地に取り付けられる補助的な構造材によって生じる空隙が、南から北への空気の移動を引き起こすことが確認された。南側でも、屋根の下地に取り付け通気口を大きくするなどの通気能力の強化は悪影響を及ぼす可能性がある。異なる負荷を受ける屋根面の明確な分離が行われない限り、さらに他の屋根の種類に関する試験、調査も行われており、次の文献に詳述されている。[117],[118],[119]

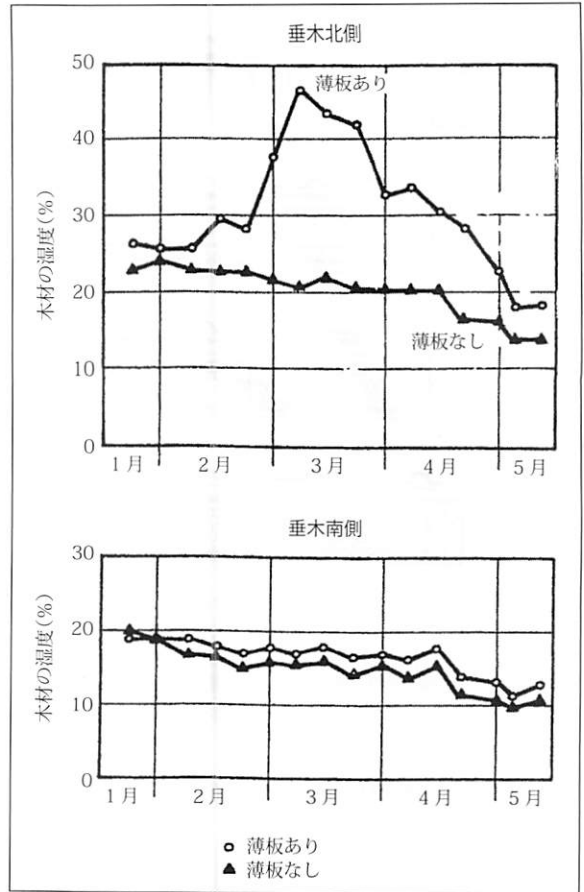


図 64 図 62(上)に示す屋根構造において、カウンターバテンを使用しない場合と使用した場合の垂木(横面)の水分の時間的変化。(280 勾配)

構造体内への外気の侵入や、温度条件の異なる屋根部分間の水分の再分布による水分の侵入は、住宅内の水蒸気拡散による水分の侵入よりも大きくなる可能性がある。垂木の高さに完全に断熱材が挿入され、破風部分に屋根防湿シートを張っている場合、図62の換気屋根のような水分の「再分布」(通過)は不可能である。断熱された屋根の換気理論は木製の羽目板や屋根フェルトによる皮膜を行っていた時代の考え方に由来している。現在では透湿性のあるシートが利用可能になったことで、図62の下の方のように断熱された屋根を湿害を恐れることなく、構築できるようになった。従って通気層のある外壁と同様に断熱と防湿の観点から、通気しないことが望ましい。しかし木構造とレンガ構造の組み合わせた構造物では夏の結露防止と結露による木材の腐朽を防止するために通気が必要になってくる[74]。

3.9 気候条件による防湿

1952年に発行されたDIN 4108「建築構造における断熱」、および1981年までの改訂版では、建築材料の熱伝導率に関する情報や、外部建築部材の最低断熱性に関する要求事項など、主に断熱に関する問題が扱われるようになった。20世紀初頭の在来工法による石造建築の主要なテーマでもあった。

当時使用されていた小型のレンガは、防湿に関しては問題がなかった。しかし雨を防ぐことも、水蒸気を拡散させることもできなかった。

外壁漆喰の雨よけに関する最近の調査についてはすでに報告した。

漆喰外壁と平らな屋根の雨対策に関する最近の研究についてもすでに報告した。

また、多層構造の壁や平らな屋根(陸屋根)のように、水蒸気の拡散に関する研究も行われている。ここでもまた、オットー・グラーフ教授(Prof. Otto Graf)がこの新しい分野の研究を早い段階から始めていた。彼は、同僚のK. エグナー教授(prof. Dr. K. Egner)に有益な論文を書かせ、グラーフが編集者として啓蒙的な序文を書いた。序文の内容は次のようであった。

「この論文はかつての建築技術では問題にされなかった点について言及している。すなわち、建物躯体の内側に断熱を行った場合に断熱材と躯体との境に生じる結露について言及している。」

これからの先進的な建築では、この問題を真剣に考えなければならない。これは壁の水蒸気透過性に関するものである。この出版物には、北欧と北米の文献を分析した研究・経験も含まれており、この分野の出発点として見ることができる^[75]。

建築構造物内で水蒸気が拡散することによって発生する結露の量を計算することは当時ではできなかった。構造物内の蒸気圧曲線と飽和蒸気圧を記録し、結露の可能性があるかどうか、つまり、拡散抵抗に応じた温度曲線によって実際の水蒸気圧が飽和蒸気圧線より高い部分があるかどうかを判断することしかできなかった(図65の例参照)。当然これは定常状態を前提としている。

この場合、防湿層の導入が推奨された。結露の量を判断することができないため安全面を考慮し、通常、アルミ箔を挿入したアスファルトボードなど、防湿効果の高いものが選ばれた。

1959年になって初めて、H. グラザー(H. Glaser)^[76]の発表により、建築部材の内部結露による結露量を図式

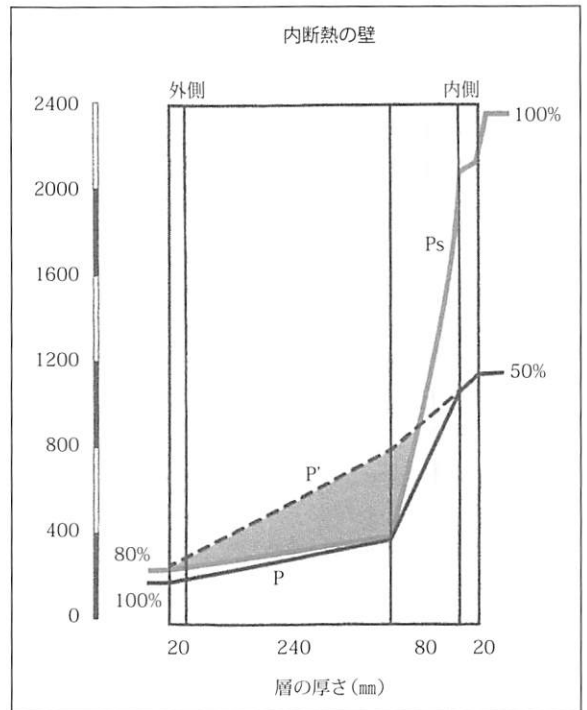


図 65 次の気候条件下における、内断熱材を使用した左官壁の飽和蒸気圧 p_s と架空蒸気圧 p' (各層の拡散抵抗による内部と外部の蒸気圧の区分)の曲線:外部:-10℃、相対湿度 80%、内部:20℃、相対湿度 50%。アミかけ部分(飽和蒸気圧を超える架空の蒸気圧)に結露が発生する可能性がある。[76]の Glaser の基本的な考え方は、実際の蒸気圧は飽和蒸気圧を超えることはできないが、描かれた線 P に従うということである。結露水は、内部断熱材と石積みとの境に析出する。

的に求める方法が知られるようになった。これにより、指定された境界条件下で、建築構造内に予想される結露量を決定することが可能になった(図65)。この可能性に基づく一般的な評価法を導入するため、この分野の研究・試験機関は1962年に手順と境界条件を定義した。通常の下で乾燥が保証され、建築物内の水分の一時的な増加が許容できない不利益(材料の損傷や断熱性の著しい低下)をもたらさない場合は、冬季の条件下で当時の数値計算の可能性を考慮し、また簡略化のため、冬と夏のプロック境界条件が定義された(-10℃で2ヶ月の「冬」と12℃で3ヶ月の「夏」、境界条件の詳細についてはDIN 4108-3を参照)。これらの境界条件は、ドイツにおける基本的な冬と夏の状況のある程度を表すことを意図している(念のため、好ましくない条件下でも凝縮水の量を許容できると仮定した)。

一般に「グラザー法」と呼ばれるこの方法が最初に採用されたのは、1963年の木造住宅ガイドラインと1967

年の陸屋根ガイドラインである。

これらの場合、水蒸気の透過条件を特別に考慮する必要があり、グラーザー法による評価が非常に有効であることが証明された：グラーザー法に従った要件が満たされていれば、欠陥や損傷を予測し判断することができた。

プロセスにおける拡散制限を数学的に推定できる可能性があることから、多くの人々がグラーザー法を用いるようになった。

規格「DIN4108 Teil2に基づく、十分な断熱性能を持つ建材、水蒸気拡散による結露計算による証明が必要なもの」において除外された壁や屋根構造について詳細な説明が行われている。これは労力の節約ではなく、水蒸気拡散による結露の計算説明が不要であったので、このような措置がとられたのである。

例えば、石積みの場合には通常そうである。このような理由から、規格では「DIN 4108 Teil 2に準拠した適切な断熱材を使用した部材で、蒸気拡散による結露損失の数学的検証を必要としないもの」という見出しの下に、より詳細な説明を加えた壁と屋根の構造をリストアップし、検証義務から除外した。これは、労力を節約するためではなく、このような場合には以下の理由からである。水蒸気拡散による水分輸送は毛細管輸送に比べて能力が低いからである。

グラーザー法(1994)に従って水蒸気拡散による水分輸送と結露を計算できるようになり、またWUFI法^[77]やその他のプログラムに従って毛細管伝導による水分輸送を数値計算できるようになったことで、建築構造物における水分輸送について異なる理解がなされるようになった。「湿気は暖かい側から冷たい側へ移動する」とか、「拡散抵抗は内側から外側へ減少するはずである」といった大胆な記述から、人々は離れていった。

私たちは、実際のプロセスについて、より詳細な理解を得た。湿気は「冷たいものから暖かいものへ」運ばれることもある、

つまり、どこかに絶対的な防湿層がない限り、壁は外側と内側に乾燥する可能性がある。水蒸気の通過を止めるが、条件によっては水蒸気を通過させるシートが役立っている。タイトな層よりも拡散開放層(新しく定義された用語)の方が良い。現在では、「必要な限り密閉し、可能な限り透過させる」ことが原則となっている。

調査がグラーザー法により行われ、シミュレーションの結果と異なる結果が出るという事も、理解できることである。しかし実際には間違えた結果ではない。グラ-

ザー法は規範的な手法である。建築構造での水蒸気拡散を実際より簡易化したものである。

一方、シミュレーション計算は、従来必要であった実験的試験の代わりに、特定の設計構造及び指定された境界条件について、個々のケースに適用される結果を提供するものである(これが「シミュレーション」という用語の由来である)。これは、例えば、凍結融解試験や立方体圧縮強度の結果に類似しており、これらはまた、実際の挙動を直接参照することなく建築材料の特性を比較するための規範的な方法である。このような規範となる試験方法は、単純であり、主要な影響を考慮することが重要である。

雨の影響と、建築部材の水蒸気拡散に関連する側面は、長い間、実用的な研究の対象であった。

そして調査や実用化が進められてきた。

なぜ標準化にこれほど時間がかかったのかという疑問が投げかけられることもある。しかし、DIN 4108の改訂と改善が必要であると認識され、10年以上にわたる協議が行われた。最終的にこの規格は1981年に5部構成で発行された。気候に関連した防湿はその内の第3部である。この改訂規格の詳細は以下の通りである。

3.10 夏季のための断熱

中央式暖房が定着し、建物の蓄熱能力や暖房終了後の室温低下の問題があまり重要でなくなったため、DIN 4108の新版に関する協議において、旧版で要求されていた軽量外壁での高い断熱性能は取り消された。しかし、石工業界の代表からの反対を受け、夏季の断熱条件に対する蓄熱能力の影響が規格に盛り込まれることになった。

過渡的な熱影響を伴う温度条件に対する壁重量、ひいては蓄熱量の影響や意義の問題は、長い間議論されてきた。唯一の利点は単純に決定できることである。しかし、内部部材(天井や間仕切り壁)は、一般的に全断面にわたって均等な温度調整を行うため、実際には蓄熱量や温度安定性により大きな影響を与えるという議論もある。壁を介した非定常の熱伝導の場合の温度振幅減衰と位相の遅れは、物理的により意味のあるものであろう。

さらに明確にするために、1975年にバイエルン州²⁾、バーデン・ヴュルテンベルク州³⁾、ヘッセン州⁴⁾の重建築と軽量建築の居住用家屋(それぞれ17棟と23棟)を対象に調査が行われた^[78]。

バーデン＝ヴュルテンベルク州およびヘッセン州での

表4 得られた測定データの平均値をまとめたものである。これによると、壁構造のタイプは、建築や使用に関連する影響と並んで、影響を及ぼす要因のひとつに過ぎず、今回の結果では影響を及ぼすことができなかった。

建築構造	最高室温	最大温度振幅	窓面積の割合	ファサードとバルコニー	日よけの利用
	統計的平均値(50%)		平均的頻度		
重量	23.7℃	2.5K	27%	71%	53%
軽量	24.2℃	4.0K	22%	83%	70%

調査結果は次のようであった^[78]。：住宅の比較された居住空間の夏季の温度条件は、壁構造の種類によって決定されるだけでなく、窓面積の割合、屋根の底の張り出しやバルコニーによる遮光、既存の日除け手段の使用など、他の様々な影響にも左右される。

これは、表4にまとめた測定データの平均値によって示されている。これによると、壁の構造タイプは、建築や使用に関連する影響と並ぶ影響要因のひとつに過ぎず、今回の結果では影響を及ぼすことができなかった。結果として、「重量か軽量か」という構造タイプの影響は、標準化された方法で扱われるほど決定的なものではない。

同時に、フラウンホーファー建築物理研究所 (IBP) の新しく設立された「理論」部門において、理論的および数値的な調査が行われ、その結果、過渡的な熱伝導の場合における温度振幅の減衰と位相の遅れが夏の室内気候に与える影響は比較的小さいことが判明した^([79])。これは特に、今日必要とされている外壁の高断熱化に当てはまる^([79],[80])。その結果、「温度振幅減衰」という新しいパラメータの規格への導入は断念された。

DIN 4108(1981)の第2部では、実用的な調査と理論的な研究に基づき、夏季の断熱に関する記述のみが、様々な建設的かつユーザー依存の注記とともに勧告として記載されている。2003年版では、さらに一般的な内容となっている。(8月号に続く)

〈註〉

- 1) 建築や屋根工事で使用され、主要なラッテの下に配置される補助的なラッテや下地をさす。これは屋根材や壁材などを取り付ける支持構造となる。
- 2) ミュンヘンを州都とするドイツの州、人口約13,000,000人、面積70,542km²
- 3) シュツトガルトを州都とするドイツの州、人口約11,000,000人、面積35,748km²
- 4) ヴィースバーデンを州都とするドイツの州、大都市フランクフルト・アム・マインはこの州にある。人口、6,213,000人、面積21,115km²

〈参考文献〉

[8] Triebel, W.: Geschichte der Bauforschung, Hannover: Vincentz Verlag, 1983

[17] Schachner, R.: Gesundheitstechnik im Hausbau. München: Oldenbourg - Verlag, 1926

[68] Künzel H.: Wärme- und Feuchteschutz von zweischaligem Mauerwerk mit Kerndämmung, Bauphysik 13(1991), Nr. 1, S. 1-9

[69] Wulkan, K. H.: Das Verhalten von Dämmstoffen in nachträglich verfülltem zweischaligem Mauerwerk mit Luftschicht, Bauphysik 5(1983), Nr. 4, S. 116-121

[70] Künzel, H.: Die Auswirkung von Klinker - Vorsatzschalen auf den Feuchtehaushalt von zweischaligem Mauerwerk mit Kemdämmung, Ziegelindustrie International 48(1995), Nr. 11, S. 843-850

[71] Künzel, H.: Zweischaliges Mauerwerk mit verputzter Vorsatzschale. Rissanfällige Bauschäden - Sammlung 2/99. DAB 31(1999), Nr. 2, S. 256-257

[72] Eichler, F.; Arndt, H.: Bautechnischer Wärme- und Feuchtigkeitsschutz. Berlin: VEB Verlag für Bauwesen, 1981

[73] Zentralverband des Deutschen Dachdeckerhandwerks(Hrsg.): Regeln für Dachdeckungen mit Dachziegeln und Dachsteinen. Köln: R. Müller, 1985

[74] Künzel, H. M.; Kehrer, M.: Einfluss der Hinterlüftung auf das Feuchteverhalten von Holzbauwänden. Festschrift zum 60. Geburtstag von Gerd Hauser. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2008

[75] Egner, K.: Feuchtigkeitsdurchgang und Wasserdampfkondensation in Bauten. Fortschritte und Forschungen im Bauwesen. Reihe C, Nr. 1. Stuttgart: Frank'sche Verlagshandlung, 1950

[76] Glaser, H.: Ein grafisches Verfahren zur Untersuchung von Diffusionsvorgängen. Kältetechnik 11(1959), Nr. 10, S. 345-349

[77] Künzel, H. M.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Dissertation Universität Stuttgart, 1994

[78] Künzel; H.; Frank, W.: Die sommerlichen Temperaturverhältnisse in Wohngebäuden schwerer und leichter Bauart. gi Gesundheits - Ingenieur 100(1979), Nr. 3, S. 85-92

[79] Gertis, K.; Hauser, G.: Instationäre Berechnungsverfahren für den sommerlichen Wärmeschutz im Hochbau. Berichte aus der Bauforschung(1975), Nr. 103

[80] Hauser, G.; Gertis, K.: Kenngrößen des instationären Wärmeschutzes von Außenbauteilen. Berichte aus der Bauforschung(1975), Nr. 103

[115] Künzel, H.: Entwicklungsgeschichte des zweischaligen Mauerwerks und die neue DIN 1053-12. Bauphysik 31(2009), Nr. 4, s. 253-258

[116] Künzel, H.: Keine Probleme bei zweischaligem Mauerwerk mit Kemdämmung, Baumarkt 89(1990), Nr. 9, S. 631-633

[117] Künzel, H.; Großkinsky, Th.: Nicht belüftet, voll gedämmt - die beste Lösung für das Satteldach. Das Dachdeckerhandwerk 24(1989), s. 24-30

[118] Künzel, H.: Warum ein wärmegeprägtes Satteldach nicht belüftet werden sollte. Baumarkt 91(1992), Nr. 7, S. 536-543

[119] Künzel, H.: Dachdeckung und Dachbelüftung. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 1996

[120] Altaha, N.; Seim, W.: Eurocode 6 - Kommentar und Anwendungshilfen: DIN EN 1996-2NA: Nationaler Anhang. In: Läger, W.: Mauerverk - Kalender 2012. Berlin: Ernst & Sohn, 2012