

特集 「品質の向上をめざして」

事例調査に基づく結露防止対策

三小田 憲 司

Guideline on Prevention of Dew Condensation based on Case Survey

Kenji Mikoda

Abstract

Two hundred fifty cases of dew condensation were collected and categorized as “summer type”, “winter type”, and “exceptional type”. The dew condensation of exceptional type occurred depending on the air-conditioning condition and meteorological condition. The pattern of the occurrence mechanism of each case was derived, the cause was analyzed, and the frequent occurrence points were specified. As a result, it was concluded that there exist a number of sites in a building where the dew condensation occurs, but the knowledge regarding the pattern of occurrence is very limited. Therefore, if designers and constructional experts focus on only the basic theory, the prevention of dew condensation can be achieved to a great extent. This paper reports on the prevention of dew condensation analyzed using case studies in order to improve the technique adopted by designers and constructional experts.

概 要

社内外の250件の結露事例報告を収集し、夏型結露、冬型結露、空調条件や気象状況次第で発生する特殊型結露に分類した。さらに、各々の結露タイプについて、結露発生メカニズムを類型化し、結露発生要因および多発部位の特定、採るべき基本対策について検討した。その結果、建物で結露が発生する場所は多岐に渡るが、結露発生に至るパターンはごく限られており、基本となる結露対策の考え方を習得すれば、防露設計に関して品質の向上を図ることができることが分かった。本論文では、設計・施工に携わる実務者の技術力向上による品質確保を目的として、具体的事例をベースに結露タイプ別に結露防止対策を中心に述べる。

1. はじめに

結露防止に関する社内設計技術の向上を目的として、2005年に筆者らは社内外の結露事例の調査分析を行い、「結露の防止と対策¹⁾」をまとめた。

同書は、結露防止に関する社内技術標準資料として、本社品質保証室の監修下で社内イントラネットに掲載され、社内説明会開催等を通して水平展開が図られてきた。内容的には、若年意匠設計者を対象に、基本原理の理解伝達や意識啓蒙に重点が置かれているため、基本的な結露現象的を絞った構成となっており、一定の役割を果たしてきたが、社内技術標準として設計・施工に携わる実務者全般が利用している状況下では、内容をさらに充足させる必要性が高い。

そこで、本報は社内外より収集した250件の結露事例分析に基づいて、建築系の設計・施工に携わる実務関係者全般を対象に、結露防止対策を提示することを目的として作成された。

2. 事例調査概要

建物で発生する結露は、躯体で生じる建築系結露と設備機器の周辺で生じる設備系結露に分類される。

本報では、戸建て住宅を除く建築系結露に関する社内外

の事例を調査した。社内事例の情報源は、品質不具合FBシート、担保工事施工伺い、技術相談室、技研社内受託物件である。社外の情報は、過去20年間に国内で発行された一般書籍や専門雑誌^{2)~6)}である。調査事例を整理した結果、有効事例は社内事例124件と一般書籍情報126件の計250件となった。

3. 結露タイプの分類

建築系結露は、材料特性値や気象条件といった自然物理の法則に従って発生するので、発生地点は多岐に渡るが、発生パターンを絞り込んで類型化することが可能である。したがって、結露タイプ別に基本となる結露対策の考え方を習得すれば、防露設計に関して品質の向上を図ることができる。

本報では、建築系結露を夏型結露、冬型結露、空調条件や気象状況次第で発生する特殊型結露に分類した。

3.1 夏型結露

3.1.1 地下室型結露(夏-1型) 冷たい地盤に接する地下室外壁、土間床、地下ピット周辺で夏場に生じる結露を地下室型結露と定義した。

(1) 地下室の断熱不足(パターン1) 夏場に高湿外気が地下室へ侵入したとき、地下外壁の断熱性が不十分な

場合には冷たい地盤の影響を受けて、Photo1のように結露やカビが生じる。倉庫の荷捌き場でも、シャッター開放時に高湿外気が侵入すると、冷たい土間床に接触してPhoto2のように結露することがある。

(2) 地下室の換気・換気不足 (パターン2) 地下倉庫やロッカー室で、ロッカーや棚を壁に密着させると、裏面が低温になる上に換気不足を招いて結露する。また、長期空調停止状態の空き室、密室状態の地下階段室、地下EVホールの淀み域などは、換気量が不足して結露する。

(3) 地下ピットの防湿不足 (パターン3) 床スラブ下の湿潤地盤や竣工直後の床下コンクリートから放出される水蒸気によって床スラブ下面で結露し、床上の仕上げ材がふくることがある。斜面地を造成した集合住宅では、法面からの水が侵入して敷地内が慢性的に高湿化し、隣接する居室で結露が発生することがある。

3.1.2 屋根型結露 (夏-2型) 夏場に小屋裏に高湿外気が侵入したとき、放射冷却の影響を受けて発生する結露を夏型の屋根型結露と定義した。

(1) 屋根の断熱不足 (パターン1) シングル折板屋根など屋根の断熱性が低いとき、面戸から高湿外気が小屋裏に流入して、夜間に小屋裏の鉄骨部材で結露する。

(2) 屋根材の吸湿 (パターン2) 吸水性の高いスレートやALCなどの屋根材や小屋裏のグラスウールが、雨水や高湿外気の水蒸気を吸収する。翌朝、日射を受けて屋根面の温度が急上昇したときに、屋根材や断熱材から蒸発した水分により小屋裏の鉄骨で結露する。

3.2 冬型結露

3.2.1 ヒートブリッジ型結露 (冬-1型) ヒートブリッジが原因の結露をヒートブリッジ型結露と定義した。

(1) 断熱切欠き (パターン1) 内断熱屋根スラブの断熱ボード継ぎ目や鋼製打ち込みインサートなど局所的に断熱性の低い部分がヒートブリッジとなって結露する。

(2) 床隅角部 (パターン2) 床や天井との接合部、柱型、梁型、外気に接する戸境壁など、外気に接する隅角部は二次元の方向から冷熱が侵入するので、折り返し断熱が省略された場合には、Photo3のように結露する。

3.2.2 屋根型結露 (冬-2型) 冬場に屋根の小屋裏に室内暖気が侵入して、屋根面で冷やされて生じる結露を冬型の屋根型結露と定義した。

(1) 天井ボードの吸湿 (パターン1) 屋根裏の断熱設計に当たり、天井ボードを断熱すると、小屋裏の温度は室温より下がる一方、天井ボードと取り付け器具の取合い部分からは、どうしても室内水蒸気が屋根裏に侵入してしまうので、屋根裏の鉄骨部材で結露する。結露水が落滴して天井ボードを濡らし、天井落下事故につながることもある。

(2) 屋根の断熱不足 (パターン2) 断熱性の低いシングル折板の屋根裏は、夜間に温度が下がる一方、室内水蒸気は天井にシート防水しても完全な防湿は難しいので、屋根裏に水蒸気が侵入する。そして、屋根裏鉄骨部材や薄手の裏打ちグラスウールで結露する。



Photo 1 地下室の結露事例
Case of Basement



Photo 2 倉庫の結露事例
Case of Warehouse



Photo 3 ヒートブリッジ結露
Case of Heat Bridge Type



Photo 4 機械室の結露事例
Case of Machine Room

3.2.3 庇型結露 (冬-3型) 冬場に室内暖気が軒天井裏に回り込んで発生する結露を庇型結露と定義した。

(1) 寒冷地 (パターン1) 寒冷地のホテルなどで、軒天井裏と母屋の防湿区画が不十分なとき、暖気が軒天井裏に回り込んで結露する。また、庇のように突出していても、事務所バラベットの立ち上がりでの露出鉄骨や胴縁でも、室内暖室空気の流れ込みにより結露することがある。

(2) 温暖地多湿空間 (パターン2) 温暖地でも屋内プールなどの多湿空間から天井裏に水蒸気が侵入し、さらに防湿区画されていない軒天上裏や隣室天井裏に回り込むと結露する。

3.2.4 盲点型結露 (冬-4型) セオリー通りに断熱、防湿、換気していれば問題はないが、見落とされがちのために多発している冬型結露を盲点型結露と定義した。

(1) 断熱ミス (パターン1) 外壁、屋根スラブ、外気に接する床スラブで断熱材が省略されると結露する。盲点になり易い場所は、外壁では施工時の寸法狂いによる断熱処置の省略、打込ボックス、アルコーブの冷氣溜まりに面する壁などである。ピロティ直上やベランダ直下の床スラブ、油圧式EVシャフトの屋根スラブ、斜線制限にかかる集合住宅最上階居室天井も見落とされがちである。

(2) 防湿ミス (パターン2) 機械室や工場印刷室などの外壁で、吸音を兼ねて断熱材にグラスウールを単独使用すると、Photo4のように内部結露を引き起こす。

(3) 換気ミス (パターン3) 押入れの壁・床のクリアランスが不足すると、換気不足により空気が淀む。また、収納物の断熱効果による収納物裏面の温度低下や布団からの水蒸気放出などと相まって結露する。

(4) 使用ミス (パターン4) 住宅室内で大量に水蒸気が発生すると、瑕疵がなくとも結露する。開放型ストーブの使用、人体の水蒸気発生などが要因となる。高気密化

した集合住宅での換気不足も要因となる。

3.3 特殊型結露

3.3.1 一時現象型結露（特殊-1型） 特異な気象条件で一時的に発生する結露を一時現象型結露と定義した。

(1) 濃霧多発地域（パターン1） 山間部や川沿いの濃霧多発地域などにある工場や倉庫で、湿った外気が折板屋根の面戸や開放シャッターから室内に流入し、冷たい鉄骨部材や床面に触れて結露する。

(2) 熱帯性低気圧（パターン2） 春先や晩秋に発達した熱帯性低気圧が接近すると、倉庫荷捌き場に暖湿気流が開放シャッターから入り込むと、躯体は周囲の急激な温度上昇に追従できず、激しい結露に見舞われる。

(3) 内陸地冬季晴天（パターン3） 内陸地の倉庫バックヤードの折板庇が冬季夜間の晴天無風時に結露し、結露水が落下して荷物を濡らす。折板面で結露し、翌朝日射を受けて氷膜が融けて結露水が落下することもある。

(4) 養生不十分（パターン4） 施工中に土間コンや天井スラブの乾燥が不十分なまま仕上げ工事にかかった場合、躯体から放出される水蒸気が屋根裏で冷やされて、鉄骨部材廻りで結露する。コンクリート打設から仕上げまでの期間の短い集合住宅最上階で発生することもある。

3.3.2 ガラス型結露（特殊-2型） ガラスやサッシで発生する結露をガラス型結露と定義した。

(1) ヒートブリッジ（パターン1） サッシ枠回りが絶縁されていない場合に、ヒートブリッジが生じて冬に結露する。原理的には冬-1型と同じである。

(2) 内部結露（パターン2） 冬場に室内空気が二重ガラス内部に侵入して、外ガラス側で結露する。スペーサーの紫外線劣化、封切れやサッシ継ぎ目のシール施工不良が原因である。最近、高層ビルのダブルスキンで、ペリメータの加湿空気が外壁と天井裏の取合い部分から侵入して結露するケースが増えている。

(3) 防湿区画不備（パターン3） 冬場に事務所ビルカーテンウォールのスパンドレルに、ペリメータの加湿空気が回り込んで、夜間暖房停止した後で結露する。室内加湿空気が耐火ケイカル板にいったん吸収された後、翌朝日射により窓廻り温度が上昇し、蒸発してガラスで結露することもある。原理的には冬-3型と同じである。

(4) 室内ガラス（パターン4） 夏場に冷房設定温度の低い部屋と管理室や外気流入の影響を受ける見学者通路を隔てたガラススクリーンが結露で曇ることがある。

(5) トップライト（パターン5） 水平設置のトップライトは放射冷却の影響を受けやすいので、結露が生じやすい。トップライトで結露排水処理が不適当な場合には、結露水が床面に落下して問題となる。

3.3.3 冷凍施設型結露（特殊-3型） 冷凍施設で発生する結露を冷凍施設型結露と定義した。

(1) ヒートブリッジ（パターン1） 冷蔵室に隣り合う常温室の床面や、冷蔵室の直上階の梁型部分がヒートブリッジで結露する。隣室側の折り返し断熱の不備や梁型の断

熱性能不足が原因で、原理的には冬-1型と同じである。

(2) 防湿区画不備（パターン2） 冷蔵施設の天井裏の間仕切り壁が床スラブまで延びていないと、常温室の暖かい空気が侵入して、Photo5のように結露する。あるいは、冷蔵室と常温室を隔てるボックス内電線管のシールが不

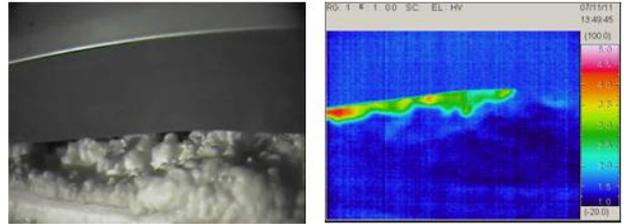


Photo 5 冷凍施設の結露事例（高湿空気の流入）
Case of Refrigerator (Inflow of High Humidity Air)

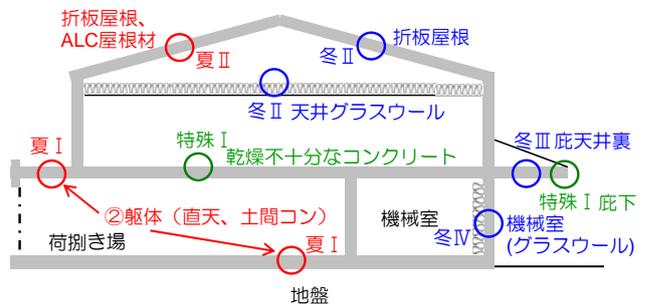


Fig. 1 工場・倉庫系施設の結露多発部位
Frequent Occurrence Points at Factory and Warehouse

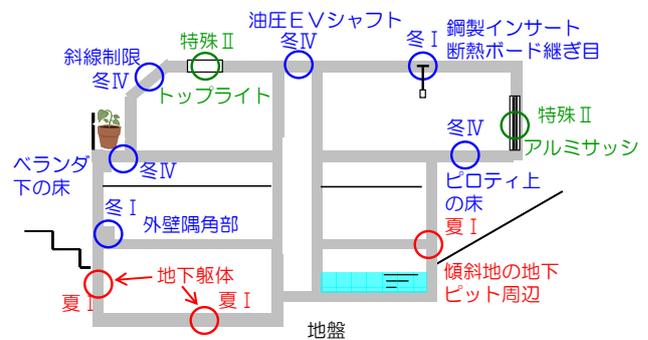


Fig. 2 集合住宅の結露多発部位
Frequent Occurrence Points at Housing Complex

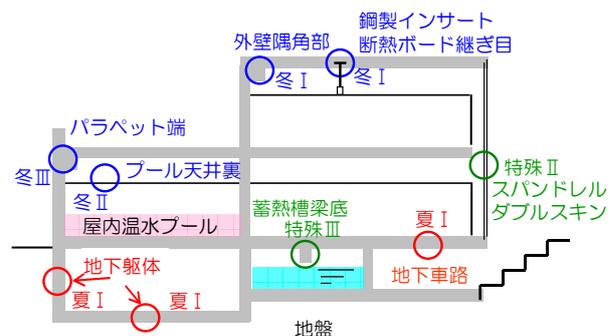


Fig. 3 事務所ビルなどの結露多発部位
Frequent Occurrence Points at Office etc.

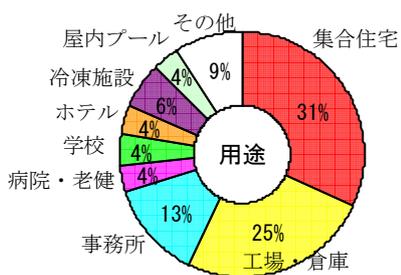


Fig. 4 建物用途別の結露発生率
Buildings Occurred Dew Condensation

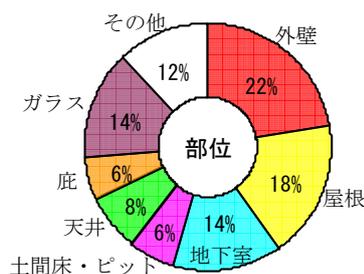


Fig. 5 建物部位別の結露発生率
Area Occurred Dew Condensation

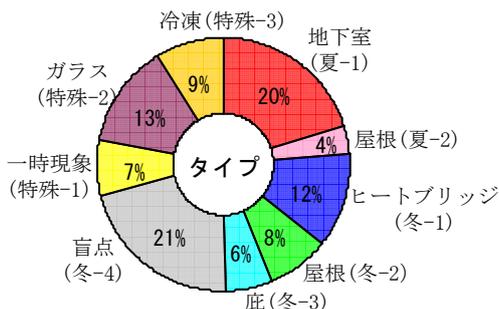


Fig. 6 結露タイプ別の発生率
Type of Dew Condensation

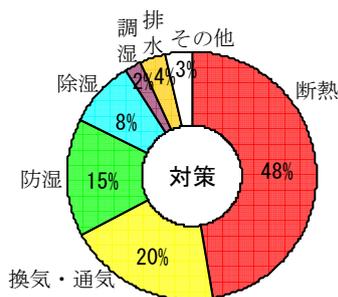


Fig. 7 対策工事の採用率
Method of Countermeasure Construction

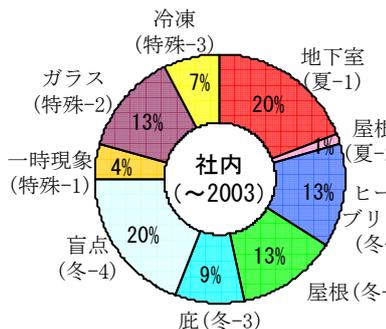


Fig. 8 2003年以前の結露事例
Dew Condensation before 2003

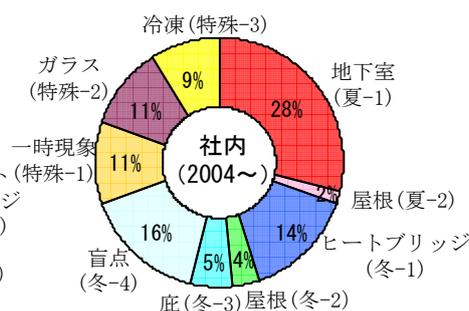


Fig. 9 2004年以後の結露事例
Dew Condensation after 2004

完全なときに結露する。原理的には冬-3型と同じである。

(3) 盲点 (パターン3) 床吹出し空調の床スラブや蓄熱槽梁底が断熱されていないときに結露する。冷蔵室隣室側でロッカーを壁に密着させると、ロッカー裏面で通気ミスにより結露する。

3.4 結露タイプと建物用途および多発部位との関係

工場・倉庫の結露多発部位をFig. 1に示す。外気侵入を受けやすい地下室や屋根裏で夏型結露が多発し、外気に晒された屋根や庇で冬型結露が多発する。吸音対策上グラスウールが用いられることが多いが、使用法の誤りで内部結露を招くケースも多い。集合住宅の結露多発部位をFig. 2に示す。屋根回りの外気侵入の影響は小さいので、夏型結露は地下室や1階部分に限られている。冬型結露は、断熱が省略された外壁や内断熱屋根スラブで多発している。冬期は窓ガラスの結露も多い。事務所ほかの施設の結露多発部位をFig. 3に示す。集合住宅と同じように、夏型結露は地下室周辺に集中し、冬型結露は外壁や屋根スラブで多い。

4. 結露事例の傾向

4.1 社内外の比較

建物用途別の結露発生率をFig. 4に示すが、集合住宅、工場・倉庫、事務所の3用途で約7割を占めた。建物部位別の結露発生率をFig. 5に示す。外壁、屋根、地下室・地下ピット周辺の3地点で約6割を占める。屋根に関しては、設計・施工段階での技術研究所への相談は多いが、結露発生事例の社内報告は少なかった。これは、対策意識の高さが

未然防止につながっていると考えられる。地下室周辺に関しては、社内報告では地下駐車場や地下車路などでの報告が多かった。結露タイプ別の結露発生率をFig. 6に示す。夏型が1/4、冬型が1/2、どちらにも属さない特殊型が1/4を占めた。結露事例の対策方法の内訳をFig. 7に示す。対策手段として最も多いのは断熱工事で約5割を占め、換気・通気、防湿を合わせると全体の8割を占める。

4.2 最近の傾向

発生年が識別可能な社内事例を対象に、2003年以前の事例の結露タイプをFig. 8に、直近5年間の事例の結露タイプをFig. 9に示す。直近5年間では、以前より地下室型結露が9%増えた。特に建築基準法の容積率緩和を背景に、斜面に建つ半地下居室の結露が増える傾向にある。また、意匠に凝ったアプローチの集合住宅が増えているが、夏場の高湿外気が玄関ホールで淀んでしまう構造も見受けられ、玄関ホール、E Vホール、外構で結露するケースが増えている。一方、冬型結露は16%減少した。但し、屋根の結露については、既存アスベスト屋根工場の断熱改修に絡んで、天井断熱方式に変更してかえって結露を招いてしまうケースが見られるので、注意したい。一時現象型結露は増加傾向にあり、特に物流倉庫バックヤードの屋外折板庇での発生が盲点になっている。ガラス型結露の発生率には大きな変化は見られないが、以前は単板ガラスやアルミサッシの結露が主流であったが、最近ではガラス建築物の流行を背景に、ガラスカーテンウォールのスパンドル部分の結露が多いのが特徴である。

5. 結露タイプ別の防止対策

設計時の不具合未然防止手法として、チェックシートによる確認が有効である。本報では視覚的にも確認できる図解方式のチェックシートを用いて、対策の要点を整理した。

5.1 夏型結露

5.1.1 地下室型結露（夏-1型） 地下室型結露のチェックシートをFig. 10に示す。地下室への外気侵入量が多いと結露が防げないケースもあり、適切なレイアウト設計が重要である。階段室やE Vホールなど断熱施工が難しいところは、地盤に接触させない工夫も大切である。集合住宅では、居住者への使用上の注意説明に関して、夏型結露に対しては換気が逆効果に作用することに留意する。

(1) 断熱不足（パターン1） 地下外壁の断熱対策は、内断熱の場合は防湿性の高い断熱材を躯体に密着させるのが最も安全で、やむなく復壁で断熱する場合は、耐水性の複合断熱ボードを使用する。軽鉄下地の防錆処理も大切である。複壁内には底面のヒートブリッジ対策として、水抜き管を設置し、湧水槽等へ接続する。地下車路や寺院本堂の天井では、吸放湿性の大きな人造木板で二重天井を形成し、かつ躯体に結露防止塗料を塗布する方法も有力である。床の断熱対策では耐荷重性と防湿性がポイントとなるため、発泡ポリスチレンボードを敷き込む方法が適切である。施工中の土間床結露の応急処置では、大型扇風機等による換気も有力である。

(2) 通気・換気不足（パターン2） 地下倉庫やロッカー室では、ロッカーや棚を壁や床から離して通気スペースを確保することが大切である。使用頻度の少ない地下室は空気が淀みやすく結露することがあるので、テナント貸の空き室などは外気が高湿時を避けて定期的に換気することが大切である。

(3) 防湿不足（パターン3） 床下ピットのコンクリートを乾燥させ、慢性的な湿潤状態にしないことが重要で、換気孔を設置するなどして、乾燥化を図りたい。地盤に対する防湿処理や傾斜地における排水処理にも留意したい。コンクリートの透湿抵抗の高さを信奉する施工関係者が多いが、常時湿った状態のコンクリートからは室内側に放湿して、慢性的な結露の要因となり得るので注意したい。

5.1.2 屋根型結露（夏-2型） 屋根型結露のチェックシートをFig. 11に示す。屋根断熱と屋根裏換気が基本対策である。

(1) 屋根断熱不足（パターン1） 折板小屋裏は、構造上面戸からの湿気侵入を完全に防止することは困難である。そこで、屋根材または小屋裏の鉄骨を断熱補強した上で、強制換気により補完することが基本対策となる。夏場の換気は外気温湿度条件によっては逆効果に働くこともあるので、絶対湿度制御方式が望ましい。

(2) 屋根材吸湿（パターン2） 屋根材や断熱材から放出される水蒸気を換気で屋外排出することが基本となる。ALC屋根採用時は、雨水吸湿対策として既存屋根への

外断熱が採用されることもある。また、製造直後の含水率が高いことに留意して、施工管理にも注意したい。

5.2 冬型結露

5.2.1 ヒートブリッジ型結露（冬-1型） ヒートブリッジ型結露のチェックシートをFig. 12に示す。外気に接する躯体の断熱では、局所的な切欠きを作らないことと隅角部の折り返し断熱が基本である。

(1) 断熱切欠き（パターン1） 内断熱屋根スラブはヒートブリッジが生じやすく、吊りボルトやインサートに注意する。結露防止だけでなく、熱伸縮防止の立場からも、コンクリート屋根は外断熱が望ましい。外壁では、セパレータ軸足の撤去確認ミスなどが盲点となりやすい。

(2) 床隅角部（パターン2） 外壁の床隅角部には、床荷重、遮音性能、耐火性能を考慮した上で、ボード打込み直上げや吹付け浮き床仕上げなどによる折り返し断熱を行うことが基本である。戸境壁では、発泡系断熱材の上に仕上げ材としてケイカル板や石膏ボードを用いると、共鳴して遮音性能低下を招くことがあるので注意する。折り返し断熱の必要長さは、次世代省エネルギー基準⁷⁾で気



Fig. 10 夏-1型結露のチェックシート
Check Seat of Dew Condensation of Summer-1 Type

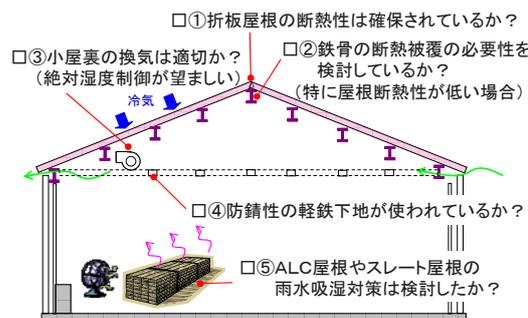


Fig. 11 夏-2型結露のチェックシート
Check Seat of Dew Condensation of Summer-2 Type

候区分ごとに示されており、関東以南のRC造集合住宅では450mm必要である。不動産会社等で仕様基準を定めているケースもあるので、物件に応じて確認されたい。

5.2.2 屋根型結露（冬-2型） 屋根型結露のチェックシートをFig. 13に示す。屋根断熱、屋根裏換気、天井防湿の組み合わせが有効な対策である。

(1) 天井ボード吸湿（パターン1） 折板工場では天井面の防湿が難しく、天井で断熱するとかえって屋根裏の温度が下がり、結露の危険性が高くなるので、屋根で断熱するのが安全である。やむを得ず天井断熱とする場合、小屋裏の換気を図り、天井に防湿シートや目地テープ張りを徹底する。屋内温水プールでは、小屋裏の強制換気を徹底するとともに、塩素含有水蒸気に対する軽鉄下地や照明取付け器具の防錆対策に留意する。

(2) 屋根の断熱不足（パターン2） 屋根の断熱性能確保が基本で、吊りボルト類がヒートブリッジとにならない構造の二重折板製品や防湿性に優れた発泡プラスチック系断熱材の吹付処理が望ましい。断熱材の選定に当たり、耐火性も要求される。天井は防湿に重点を置き、小屋裏の換気で補足する。

5.2.3 庇型結露（冬-3型） 庇型結露のチェックシートをFig. 14に示す。軒天井裏と母屋の防湿区画による室内空気の回り込み防止を中心に対策をたてる。

(1) 寒冷地（パターン1） 軒天井内を防湿区画して、室内暖湿空気が軒天井やパラペット立ち上がりへ回り込まないようにした上で、軒天井裏を断熱し、補足として庇下に通気孔を設置する。

(2) 温暖地多湿空間（パターン2） 屋内プールや水の使用の多い工場が対象となるので、透水性断熱材や吸水性ボードの使用は極力避けるのが賢明である。天井ボードの防湿と、小屋裏の強制換気が対策の基本となる。

5.2.4 盲点型結露（冬-4型） 盲点型結露のチェックシートをFig. 14に示す。断熱、防湿、換気、集合住宅における使用上の注意など基本的対策だが、盲点になり易い。

(1) 断熱ミス（パターン1） 外気に接する躯体はすべて断熱の検討対象となる。原則として打込ボックスは、外壁面に設けないようにしたい。躯体と断熱材の間に隙間が生じると内部結露しやすいので、断熱材は躯体に防湿系断熱材を密着させる。

(2) 防湿ミス（パターン2） 多湿空間や通気性の悪い空間室では、断熱材の防湿性に留意する。機械室でグラスウールを使用するときは、躯体に防湿系断熱材を密着させた後でグラスウールを張り付けることが基本である。

(3) 通気ミス（パターン3） 押入れは原則外壁に面して配置しないようにする。

(4) 使用ミス（パターン4） 集合住宅では、引渡し時の居住者側への適切な説明が重要である。夏と冬の換気効果の違い、室内の水蒸気発生源、24時間換気システムの適切な運用について把握することが大切である。高气密化した集合住宅で、居住者が24時間換気システムのスイッチを知らずにオフにして生活しているケースや、寒さを感じ

て給気口を閉じるケースが目立つ。冷気が人に直接当たらないように、給気口を配置すべきである。

5.3 特殊型結露

5.3.1 一時現象型結露（特殊-1型）

(1) 濃霧多発地域（パターン1） 濃霧多発地域のように通年多湿環境にある場合には、自然換気が有効とは限

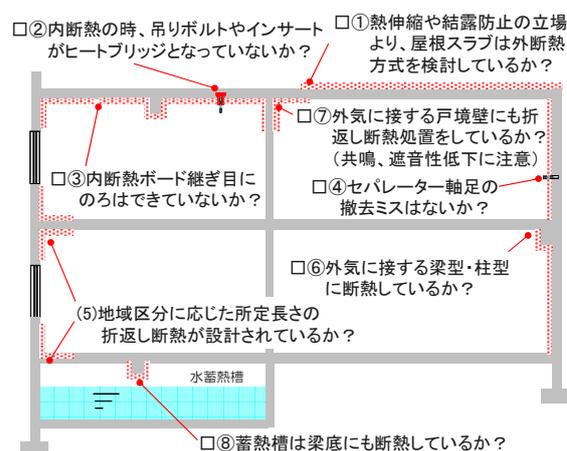


Fig. 12 冬-1型結露のチェックシート
Check Seat of Dew Condensation of Winter-1 Type

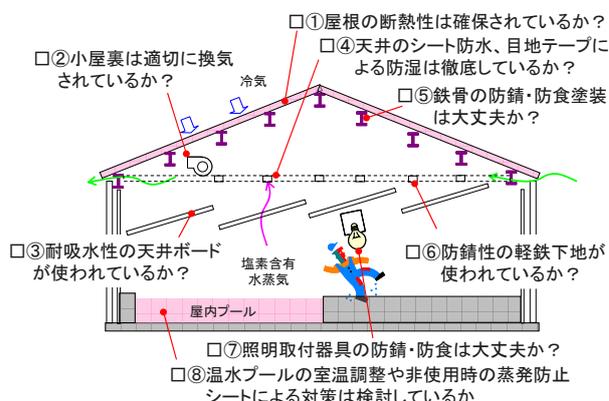


Fig. 13 冬-2型結露のチェックシート
Check Seat of Dew Condensation by Winter-2 Type

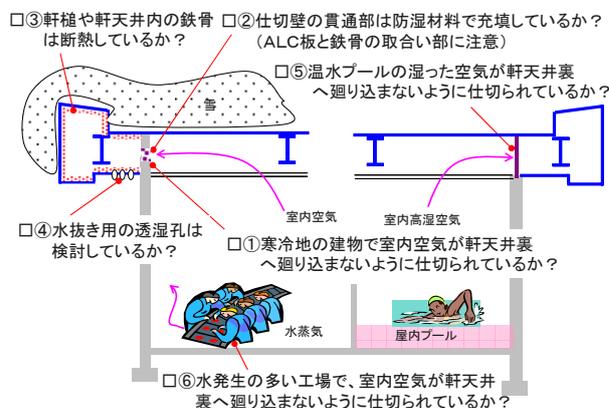


Fig. 14 冬-3型結露のチェックシート
Check Seat of Dew Condensation by Winter-3 Type

らないので、除湿を念頭に対策を考える。

(2) 熱帯性低気圧 (パターン2) 季節外れの熱帯性低気圧接近に伴う一時的現象で、倉庫荷捌きなどでまれに生じる。結露量と発生頻度が少ない場合には、結露防止塗料が採用されるケースもある。事前予測は困難である。

(3) 内陸地冬季晴天 (パターン3) 内陸地で放射冷却が厳しい日の朝方に、屋外折板庇で一時的に発生する現象であるが、結露水の落滴を許容できない場合は底下側に断熱が必要である。結露防止塗料による対策も考えられる。

(4) 養生不十分 (パターン4) 屋根仕上げ工事にかかる前に換気を徹底して、躯体の乾燥を確認する。竣工初年度の冬にコンクリートからの水分が抜けきっていないケースでは、しばらく換気して様子を見る必要がある。

5.3.2 ガラス型結露 (特殊-2型) ガラス型結露のチェックシートをFig. 15に示す。発生原理や対策方法は、これまで説明してきた基本的パターンの組み合わせで対応できる。

(1) ヒートブリッジ (パターン1) サッシ枠廻りは、断熱縁切りすることが基本である。温暖地では、結露受皿による対策も考えられるが、凍結の恐れのある寒冷地では許されない。

(2) 内部結露 (パターン2) 二重ガラス内部結露の対策は、封着部の気密性確保が基本で、非常手段としてシリカゲル乾燥剤が用いられることもある。ダブルスキンの場合は、室内加湿空気に対する防湿区画を徹底した上で、透湿孔やガラリを設置する。

(3) 防湿区画不備 (パターン3) ガラスカーテンウォールのスパンドレルについて、防湿区画を行い、透湿孔による通気対策を講じる。ペリメータの加湿空調の影響がある場合は、耐水性の耐火ボードを採用したい。

(4) 室内ガラス (パターン4) 室内ガラスであっても、冷蔵室と常温室を隔てたガラスなど、部屋間の温度差が大きい場合は、断熱性の高いガラス使用を検討したい。

(5) トップライト (パターン5) トップライトでは、複層ガラスの使用を前提に考える。また、人の立ち入りに対する安全対策、高所メンテナンス、夏期暑熱対策も考慮しなければならない。

5.3.3 冷凍施設型結露 (特殊-3型) 冷凍施設型結露のチェックシートをFig. 16に示す。発生原理や対策方法は、これまで説明してきた基本的パターンばかりである。

(1) ヒートブリッジ (パターン1) 冷蔵室と隣り合う一般室との界壁は、折り返し断熱を行う。用途変更により、常温室を冷蔵室に改造する場合は、特に注意する。

(2) 防湿区画不備 (パターン2) 冷蔵施設の間仕切壁は床スラブまで延長して、天井裏に高湿空気が回り込まないようにする。電気ボックスでは、電線管内を断熱詰め物でシールすることが大切である。

(3) 盲点 (パターン3) フリーアクセス冷房の床下、蓄熱槽の梁底、冷蔵庫隣室の壁際ロッカーなど、基本的な断熱、通気確保にも細心の注意を払いたい。

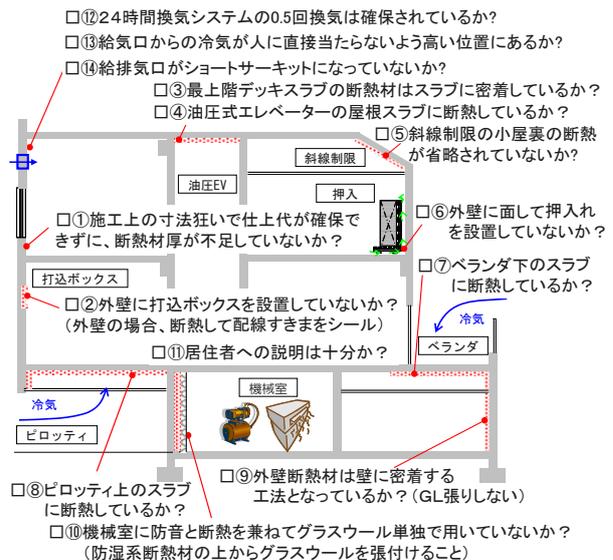


Fig. 15 冬-4型結露のチェックシート
Check Seat of Dew Condensation by Winter-4 Type

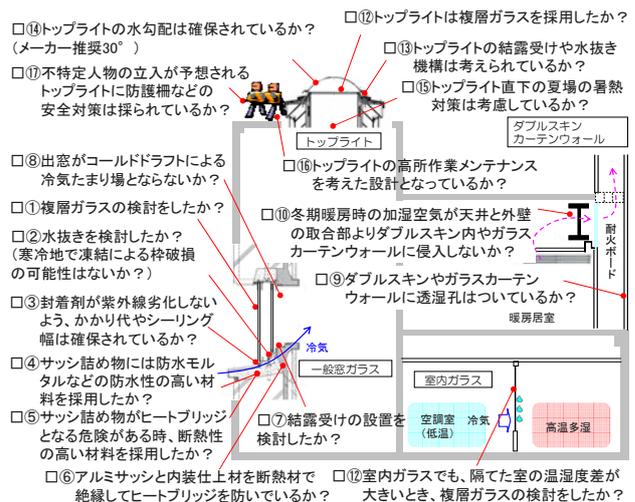


Fig. 16 特殊-2型結露のチェックシート
Check Seat of Dew Condensation by Exceptional Type-2

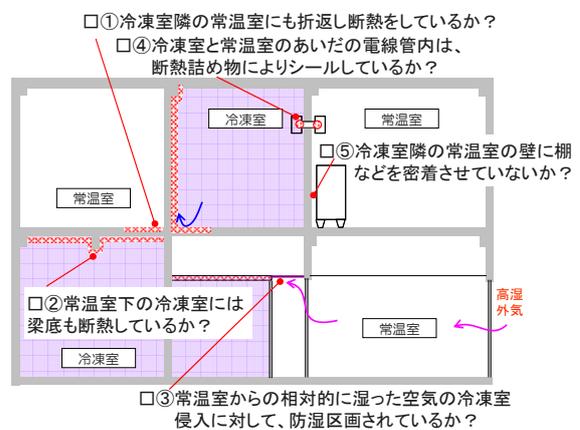


Fig. 17 特殊-3型結露のチェックシート
Check Seat of Dew Condensation by Exceptional Type-3

6. 断熱材の選定について

代表的な断熱材の特徴をTable1に示す。グラスウールは安価で吸音性が高いため、工場や機械室を中心に幅広く使用されているが、透湿性が大きいので高湿空間での使用には注意したい。ロックウールは、防火性が要求される場所でも有用である。天然系建材は吸放湿性が大きいので、地下車路、地下駐車場、寺院本堂の天井や高気密住宅の内装材に利用されることがある。地下車庫や車路など、耐火性が要求される場合は、人造木材が有効である。発泡プラスチック系断熱材は、独立気泡構造のため透湿性が小さいので、断熱性と防湿性に優れている。このうち、押し出しポリスチレンフォームは耐圧性が高いので、床スラブの打込ボードに重用され、硬質ウレタンフォームは、断熱性が高く現場発泡タイプも普及している。一般外壁用のほか梁、鉄骨、サッシなどの吹付充填用に重用されている。なお、現場発泡ウレタンについては、施工時の火災対策に注意する。フェノールフォームは、炭化水素ガスを気泡内に注入したタイプが近年開発されており、建材用断熱材の中では最も断熱性が高く、納まりが厳しい場所での適用が考えられる。ポリエチレンフォームは発泡系断熱材の中では最も柔軟性に富み、挿入・充填用に利用されている。複合製品としては、2枚の鋼板の間に断熱材を注入した金属パネルが、断熱性と防湿性を兼ね備えた断熱材として、工場や冷凍施設で広く使用されている。結露対策技術に関する近年の傾向としては、結露現象が一時的かつ結露量が少ない場合には、調湿機能を有する塗料が検討されるケースが増えているが、数年おきに塗り替えが必要である。そのほか、断熱塗料と銘打った商品が注目を集めているが、日射遮蔽効果の期待値は大きい、よほどの厚みを持たせない限り、断熱効果は小さい。ノンフロン系高性能断熱材の開発も注目を集めているが、既存断熱材より熱抵抗が1桁大きい真空断熱材は、高コストや端部のヒートブリッジが課題で、建築分野への普及は難しい状況にある。安価な既存断熱材とのコスト比較に晒される断熱材の新規開発技術に関しては、断熱性のほかに難燃性を兼ね備えたセラミライトエコG™、シックハウス対策効果と吸放湿性を兼ね備えた内装材フォトサーノ™、耐火性と吸放湿性を兼ね備えた人造木材エースライト™のような付加価値のある断熱材が自社開発されており、用途によっては適用が期待される。

7. まとめ

2005年に作成した「結露の防止と対策」では夏型2パターン、冬型4パターンの基本解説を行ったが、本報告では冷凍施設型結露を新たに追加するとともに、特異な気象条件が原因の一時現象型結露やガラス廻りの結露を独立した結露タイプとして取り上げた。また、結露タイプ別に図解式チェックシートを採用し、断熱材の適正な使用法に言及するなどして、内容の充足を図った。本調査により得られた知見を整理すると、次の通りである。

Table 1 主な断熱材の分類
Type of Insulator

分類	材料名	熱伝導率 (W/mK)	透湿率 (ng/msPa)	適用部位
無機 繊維	グラスウール	0.036 ~ 0.052	250	機械室外壁 二重折板
	ロックウール	0.043 ~ 0.058	210	屋根(耐火)
天然	合板	0.16	2	天井(調湿)
	珪藻土	0.16	—	内壁(調湿)
発泡 プラスチック	ポリスチレンフォーム (押出法)	0.034 ~ 0.040	3.3~7.4	床(耐圧)
	硬質ウレタン (現場発泡)	0.023 ~ 0.026	1.0~5.7	外壁一般 鉄骨吹付
スチ ック	フェノールフォーム	0.020 ~ 0.036	3.5	薄型仕様 (高断熱)
	ポリエチレンフォーム	0.038 ~ 0.042	0.3	挿入・充填 (柔軟性)
塗料	結露防止 塗料	—	0.5	壁一般

- 1) 建物で発生する結露は、夏型結露、冬型結露、気象・空調条件次第で発生する特殊型結露に分類される。
- 2) 結露の多い建物は、集合住宅、工場・倉庫、事務所で約7割を占める。
- 3) 結露の多い部位は、外壁、屋根、地下室・ピット床回りで約6割を占める。
- 4) 地下室型結露が増加傾向にあり、傾斜地の集合住宅の半地下居室、複雑なアプローチの集合住宅のホールなどで多発している。
- 5) 夏型結露の対策では、建物内への外気侵入を極力なくす建築計画が対策上重要である。地下外壁は躯体に防湿系断熱材を密着させた上で底部に水抜き管を設け、天井は吸放湿性の大きな材料による二重天井が有効である。
- 6) 冬型結露の対策では、ヒートブリッジに対する断熱、屋根裏の換気、軒天井裏に対する母屋との防湿区画が有効である。
- 7) ガラス型結露や冷凍施設型結露は、発生パターンを見誤らなければ、対策は断熱、防湿区画、排水機構設置など基本的な手法で対応できる。

参考文献

- 1) 大林組社内技術資料：結露の防止と対策、(2004)
- 2) 建築技術：No. 436, 484, 528, 561, 561
- 3) 日経アーキテクチャ：1999年6月14日号、2002年8月5日号、2001年5月14日号、日経BP社
- 4) 建物の結露編集委員会：建物の結露、学芸出版社、(2004)
- 5) (社)建築設備技術者協会：建築設備トラブルシューティング、オーム社、(2004)
- 6) 水が招く建築トラブル解消術：日経BP社、(2006)
- 7) (財)建築・環境省エネルギー機構：住宅の省エネルギー基準の解説、(2001)