

建築の結露と健康性

国立保健医療科学院 統括研究官 大澤元毅

1. はじめに

－たかが結露、されど結露－

今回は、本誌2011年9月号の「建築物と水とのかかわり」で書ききれなかった「結露」にかかわる話をさせていただく。筆者自身、研究を始めた昭和50年代から幾度となく相談を受けてきたが、当時から結露は見慣れた現象で、「湿気を出さないように」「よく換気しましょう」との対策が唱え続けられていた。しかし、住宅リフォーム紛争処理支援センターに持ち込まれる相談件数の推移¹⁾を見ても、結露の汚れやカビ、腐食・腐朽に悩まされる住人はあとを絶たず、今も建物管理上のリスク要因であり続けている。これには、たんに技術開発やその普及・啓発の遅れが問題とばかりはいえない事情があるので、その背景や経緯から説明を始めることとする。なお、建築構造や結露に詳しい方には、初歩的過ぎて煩わしいかもしれない。また、設備機器や配管の防露・防湿には触れていないので、予めお詫びしておく。

2. かつての結露、今日の結露

いまさらで恐縮だが、結露のメカニズムそのものは至極単純、建築内外の空気が、水分を水蒸気として保持できる限界(露点温度)より低温の材料に接触し、冷やされたと

きに、中の水蒸気が液化してしまう現象である。空調コイルでの除湿と同じことが、建築内の様々なところで起きれば、内装汚損・錆の発生、木質腐朽や金属腐食に始まって、カビや空気汚染の原因にもなるし業務にもさしさわる。しかし9月号でも触れたとおり、現実の建築では居住者にはヒトとしての要求、建物には空調換気や執務のためそれぞれの都合があって温湿度は一方向的に上げることも下げることも難しい。特に水分には個人差の大きい温熱感と湿度感とが絡む上、それらを運ぶ空気と熱の移動にも影響を及ぼすから満点の解決はあり得ない。どこかのモグラを力づくで叩けば思いもかけぬ別のモグラが顔を出すことになる。

歴史を振り返ると、変動性の大きい温帯気候のわが国で、エネルギーも資源も限られた建築がとってきた室内環境戦略は、やや投げやりな「開放性」「追随性」の重視であった。

近代の建築・空調システムは、躯体側の「断熱」「気密」「防湿」「遮熱」「蓄熱」などに、設備機器により「暖冷房」「換気」「除加湿」など、あの手この手を使って「熱」「空気」「水分」の流れを制御しようとする。しかし、一部寒冷地やブロック造を除くと昭和40年頃までの日本建築に断熱性や気密性は葉に

したくてもなく、土蔵や日除け・柱間建具操作をのぞけば、室内環境は自然・外界のなすがまま、冷氣熱気が室内を吹き抜ける時代が続いた。湿気の滞留が呼び込む白蟻やカビ・腐朽のリスクの方が深刻と考えていたとも言えるが、暑さ寒さに対抗して温湿度を支配しようという発想は希薄で、日本人は火鉢や団扇、のちにはストーブや扇風機で暖身・採涼を行い、変動や分布と折合いながら寒暑をしのいできた。実際には燃料や経済的な制約もあって、切実さはさほど感じられない。

戦後だけをとっても、サッシや気密性の高い鉄筋コンクリート構造が普及して気流や湿気移動が滞りがちに、省エネ目的の断熱材使用により温度分布・温度差が大きく、コンクリートなどの蓄熱性材料の増加により温度変化の遅れが生じるなど、技術を使いこなすためのモグラ対策が次々と求められてきた(図-1は住宅における変遷の例)。

このように結露の原因は時代とともに移り変わっており、今日の結露はかつての結

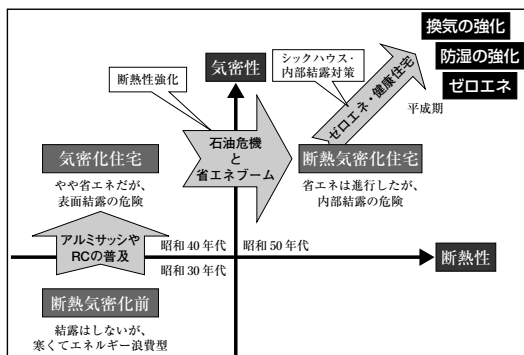


図-1 近年の熱水分・気密問題の変遷

露とは似て非なるものになってきている。この30年で断熱性や気密性は何倍にもなり、通気構造や外断熱構造が普及するなか、かつては望むべくもなかった「空間の暖房・冷房」「常時換気」の実現が、結露の原因と対策を様変わりさせている。

3. 結露対策の基礎戦略と技術

湿度と温度、水分と熱の流れを知って、水分を低温部位から遠ざけることが基本中の基本である。水分に関しては、その「発生」「防湿」「排湿」「吸放湿」かの何れか又は全て、一方熱に関しては「発生」「断熱遮熱」「移動」「蓄熱」などの収支を考えてバランスをとる(表-1)。しかし、建物内のいたるところ、あらゆる時間に、まんべんなくその収支勘定をあわせるのが不可能なことは明らかなので、現実の建物では「部位」と「時期」に応じていくつもの戦術を使い分ける必要がある。

(1) 保温(断熱化と冷橋防止)による対策

基本は、先ず何よりも適切な断熱構造を確保して、建物側の温度の底上げを行い、温度の変動や分布に負けない基礎体力を養うことである。図-1の左上象限に示された「気密化住宅」に代表される状況はこれを欠いて温度水準が低い状態である。

断熱性の乏しかった時代には当たり前の光景ではあったが、今では保温が良くなって見かけることも減った。しかし、よく知られたことだが一般の住宅構造と断熱工法

には、生まれつきの様々な熱的弱点がある。例えば、木・鉄骨やコンクリート構造かを問わず、構造を支える柱や梁、筋違などの部位には断熱材が入りにくく、しばしば「冷橋」と呼ばれる弱点を生じている。「冷橋」表面が低温になれば、結露しやすくなり「表面結露」の危険が高まる構図である。これを防ぐために断熱を二重張りにしたり、構造体の外側に設ける方法も採られるが、コストや手間がかかることから、今でも一般的とは言えない。全般的に保温性が不足する場合と、冷橋など局所的に問題となる場合とがあり、工法によっても対処法は変わってくる。なお、窓などの開口部はガラスを使わなければならない宿命か

ら、一般に外壁より保温性は劣る。ガラスを複層にしたり、エアフロー機構を採用するなどの対策もとられているが、まだまだ高根の花で、実はここが今も結露対策のネックになっている。

(2) 防湿(気密)による対策

表面結露が断熱水準上昇に伴って改善される中、昭和50年代以降、内装や天井・床下の裏側の構造体内部で発生する「(冬型の)内部結露」が注目された。断熱材は字面の通り熱を遮り、自身は低温となるため、室内から侵入してきた湿気が侵入すれば結露を生じ、見えない天井裏や壁内の構造材を損なう危険を生じてしまう。何より怖いのは見えないところで進行する可能性がある

被害	現象	関連要因	指標
汚損 カビ 腐朽・腐食 生理的 要求条件 ↓ 生物化学的 生育条件	水分(露点温度) ↓ 温度(表面温度)	水分発生 住まい方 (生活時間、目標湿度、調理・洗濯・入浴習慣)	放湿量
		暖房方式 (開放/密閉、空気/放射、容量、湯沸器等を含む)	暖房方式、放湿量
		水分流入防止 壁内防湿(内部結露用) 室間防湿(表面・内部結露用)	透過抵抗、排湿効果 湿度低下率(室間)
		開口気密化(夏型結露用)	通気特性
		水分排出 通風計画(室内側換気口・開口配置) 通風計画(壁内通気)	換気特性 壁内通気量、地盤面放湿量
		換気設備計画(換気扇、フード、吸気口) 住まい方(換気習慣)	換気量、捕集率等
		吸放湿 吸放湿計画(吸放湿材配置)	吸放湿特性、初期含水量
		熱発生 住まい方 (生活時間、目標湿度、調理・洗濯・入浴習慣) 暖房方式(開放/密閉、空気/輻射、容量) 開口計画(採熱/遮蔽)	放熱量 暖房機種、放熱量 開口面積、遮蔽係数
		熱流出入防止 外壁断熱(熱抵抗、断熱材種・方式、冷橋対策)	熱抵抗値 (平均、最低値、内外比率)
		熱流通促進 開口計画(熱抵抗、気密性) 通風計画(換気口・開口配置) 空気分布(暖冷房吹出方式・室内家具等)	熱抵抗値、気密性 換気特性 室内表面温度分布 (平均、最低値)
蓄放熱 空間断熱(間仕切、床/天井、戸界壁)	室温低下率(空間)		
	熱容量計画(熱容量配分)	温度降下率、熱容量	

表-1 結露関連要因

ることと、液化した水分が流れ下って柱脚や土台に集中しやすいことである。発泡プラスチック系断熱材は湿気を通しにくいいため比較的安全といわれているが、袋に入れられたグラスウールなどの繊維系断熱材の扱いが課題となった。欧米の断熱住宅で用いられていたプラスチックシートを張りめぐらす防湿施工法がこれを機に導入され普及していった。しかし、今でこそ防湿施工は大工職が当たり前のように行っているが、当初は断熱に触れたこともなかった者による施工はその精度が危ぶまれる時代が長く続いた。今日の手順が確立・普及するにつれて、省エネルギー性、温熱快適性或いは機械換気効率の改善にも不可欠で大切な機能になっている。

(3) 排湿の促進(通気層・透湿防水材と通気止め)

上記の防湿気密が機能すれば、躯体内に侵入する水分量は激減して結露安全性も改善されることから一部では半ば公然と「気密化(C値)競争」が進んだ。しかし、様々な取り合いや接合部を持つ建築においては施工が困難な場合も多く、湿気侵入をゼロにすることは不可能に近い。一方、「表面結露」「内部結露」に続く第三の結露形態と言われる「夏型結露」は、木材含水などの形で構造躯体内部に閉じ込められた水分が、日射加熱などで急激に放出され、局所に結露する現象である。継続期間は短い、壁体内部等に水分が蓄積する危険があるため、湿気の移動と排出を促すために住宅では断熱層

の外側に厚さ十数ミリで上下端部が開放された空隙層を「通気層」と称して設ける構造が推奨されるようになった。この通気層は日射を緩和する効果もあって、耐久性の面からも評価されている。なお、「通気止め」はこれとは逆に、充填されていない間仕切り壁や外壁の端部に設けて、過大な気流や湿気移動を防止しようという工夫である。

(4) 換気・排湿の確保

建築基準法によって全ての建築物に一定(毎時0.5回)以上の換気が課されることになり、室内の湿度が高くなりすぎる事態は少なくなかった。住宅の換気規制は結露対策には強い味方であるが、かえって寒冷地等では過度の乾燥を引き起こす場合も生じている。

窓開け等、換気習慣への指導・誘導にも同様の湿気を逃がす効果が期待される。

(5) 室間温度差と温度変化の低減

温暖化対策で省エネが進み、間欠的な部分空調の建物が増加している。しかし、ここでは非空調時間帯に或いは非空調空間での温度水準が低下することとなり、結露対策上のリスク要因となる。

この事態に関する対応の基本は建物全体の保温力強化であり、設計時に適切に熱容量を配置できれば非空調域との温度差・温度変化の低減を図ることができる。

(6) 健康リテラシーと運用基準・生活習慣の改善

以上具体的な戦術を記したが、最終的に結果発生を左右するのは運用段階の維持管

理を担う者の判断と行動である。適切な知識に基づいて判断がなされ、効果的に実行されているかが問われる。

また本誌2011年7月号の「建築の空気」でも述べているように近年、事務所ビルや学校建築における湿度が下限の40%を下回って建築物衛生法上「不適」と判定される事例が増えている。理由はいくつか考えられるが、「建具での結露を防ぐため」「個別式空調機で加湿が十分できないため」などが有力視されている。感染症予防や乾燥対策なども考えると、これは結露防止策としては

有効だが健康上はバランスを欠いた判断であると思う。

4. 結露の見きわめと対策手順

結露を起こす原因が多様化した今日、その原因を調べて的確に対処することが不可欠になっている。ここからの記述は筆者も検討中の内容であるが、症状が重い場合を想定し、一つの試案としてお示しする。

(1) 判断手順の試案

利用者・居住者の情報や相談に加わる形を想定している。以上に述べた結露発生の

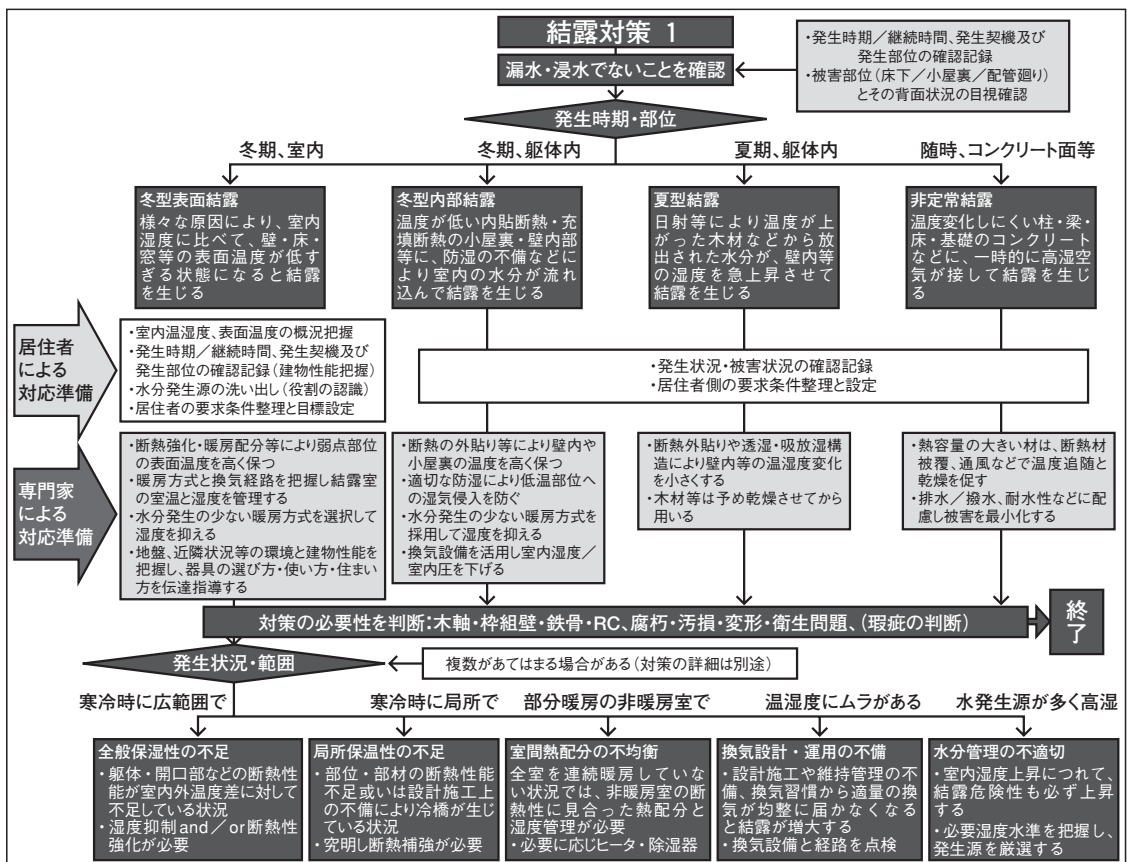


図-2 結露対策の流れ(例)

時期と部位の区分に基づき、先ず「冬型室表面」「冬型躯体内」「夏型躯体内」「非定常型」に分類してから対策を考えることが望ましいだろう。ここでは対策の必要性、発生状況・範囲などに従って分類する方式を提案している。(図-2)

(2) 結露要因の追求と対策

原因追求に用いる資料のほとんどは、漏水・結露判定でのものと重複するため、その過程で明らかになる場合が多い。被害発生前との比較検討を中心に、先に述べた対策の基本戦略が達成されているか否かを検証しながら追及を進める。しかし、その要因が単一であることはまれで、多くの場合はバランスの乱れなどに起因する複合的な要因が判明する。

①保温(断熱と冷橋対策)

断熱と冷橋対策に伴う問題は、設計上の原因と施工上の原因に二分される。内外温度差がある時期又は再現できる状況なら、他のかく乱要因を整理した上で温度分布の測定を行えば、端的に所期の断熱性能が発揮されているか否かを明らかにできる。但し、内外温度差が大きくなりがちな場所に倉庫・押入れを設けるなどの設計的原因は見つかっても対策は非常に難しい。

②防湿(気密)

本格的にやるなら、建物全体の気密性能を、減圧法による相当隙間面積測定で明らかにする一方、内装を撤去して施工状況・結露状況を確認する。仕様から予測される

水準の気密性があるか、(マスク法などで)部位別に偏りが無いかなどを必要に応じて調査・確認する。

③排湿の促進(通気層・透湿防水材と通気止め)

間接的に施工写真や材料表で確認することも可能であるが、実際に結露水やその被害が顕在化しない場合には、兆しのある部位を分解するなどの手順が必要とされる。

④換気・排湿の確保

換気設備の性能は、送風量と差圧測定で概略を把握することができる。整備履歴や運転記録、設置時の測定データなどを参照して確認することが有益である。

⑤空間温度差と温度変化の低減

室内の温度分布とその変動は、測定により比較的簡単に明らかにできる。暖房空間の温湿度と対照させればその成否を確認することが可能である。

⑥健康リテラシーの向上と生活習慣の改善

室内の水蒸気発生と暖房・換気運転の状況、温度・湿度の水準などを確認して、整備と劣化の程度を判定する。また、利用・管理している者の判断・行動規準を確認し、適宜啓発を行うことも再発防止に向けて有益である。

⑦施工管理による対策

施工の良し悪しが建物全体の防湿性能を左右することは繰り返し述べたとおりである。水分移動は対流ばかりでなく、小さな穴を抜ける拡散によってもたやすく生じ、大きな被害につながる危険性がある。複雑

で大きな建物を多くの人手が作りあげるには、そのミスや手抜きを事前に予防し、チェックする監理体制が必要とされる。主な監理項目としては、施工精度、材料含水率、養生期間、手直しなどがあげられるが、なかでも防湿材と断熱材の施工精度を維持することが一般に最も困難な項目で、施工マニュアルに則った作業が不可欠である。また、材料含水率は特に未乾燥な木材等を用いないためのチェック、養生期間は殊にコンクリート打設や湿式仕上げ時に十分とるなど常識的な配慮の積み重ねを忘れてはならない。

(3) 近年の不具合事例

結露対策の最後に、禁忌・不具合の代表的事例を示しておく。

①二重防湿による不具合

近年は強化された断熱に釣り合わせようと、防湿施工も厳重になってきている。しかし、防湿性のある材を二重或いはそれ以上に用いた場合、一旦液水になると透湿では逃がせなくなり、水分が滞留(トラップ)される最悪の事態を招いてしまう。フィルム・シート状のものだけでなく、断熱材やコンクリート躯体、スラブ、或いは配管の防露などについても同様である。

②間欠使用による不具合

使用頻度の少ない公共施設等では、熱容量の大きい構造躯体や基礎周りの温度が休業期間中に低下してしまい、再開時に大量

の結露を生じる危険事例が散見される。前述の「非定常結露」の変形パターンであるが、大型ホールで照明施設に滴下してガラス破損を招いたり、温水プールの内装下地を水浸しにするなどの被害例がある。

5. おわりに

結露は、発生状況や原因が移りゆく中で、しぶとく生き残って健康を脅かし続けている。結露も含め、水とのつき合いを建築の宿命として受け止め、致命傷を負わないようなつきあい方を考えていかななくてはならない。そのためにも、結露原因の多様化を日頃から意識し、その原因を調べて的確に対処する能力を日頃から養っておくべきだろう。

なお、今回は建築と障がい者とのかかわりについて、生活環境研究部建築・施設管理分野の阪東先生から情報提供をいただくと考えている。

【参考文献】

- 1) 住宅リフォーム紛争処理支援センター、住宅相談と紛争処理の状況(2010年)
http://www.chord.or.jp/tokei/pdf/chord_report2011.pdf
- 2) 大澤「建築物と水とのかかわり」空衛2011年9月号及び、田島「建築の空気」空衛2011年7月号