

結露が起こる理由と発生の抑制技術

Reasons and Countermeasure Technologies for Dew Condensation

権 藤 尚

I. はじめに

結露現象自体は空気中の水蒸気が露点温度以下の部位で水となって現れる物理現象でありメカニズムとしては単純である。しかし、実際の建物においては複数の部材構成や様々な使用条件により複雑な現象となって現れる。また、一時的に濡れた後に乾燥し、実害にならない場合もあるが、極端な場合には結露水によって重量が増加したり強度が劣化したりした天井材が室内に落下するなど、人命に関わるような事故につながる場合もある。こうした結露事故を防ぐ方策としては、過去に発生した結露事故を分析し、結露事故の起こりやすい用途やパターンを解析して、設計・施工の上流側でチェックできるように情報を抽出することが重要である。また、整理した情報を用いることで結露事故が起きた場合の原因把握がスムーズとなり効果的な対策がとりやすくなる。

当社では、結露事故防止のために設計・施工時に参照すべき技術資料のとりまとめや結露検討プログラムの開発など、技術情報を周知・展開してきた。本報告では、過去に発生した結露事故に関する社内の情報と市販書籍などの情報から一般建築物を対象に結露事故の傾向・パターン・対策などをとりまとめた内容を紹介する。

II. 結露害の類型化と対策

1. 全体の傾向

(1) 解析対象

戸建て住宅を除く建物における結露事故事例の内、市販書籍¹⁾、建築業協会報告書²⁾および調査結果から現象と原因が明確になっている合計 201 件の事例を解析対象とした。

(2) 用途と季節との関連

結露事故が発生した建物を用途別に集計した結果、集合住宅 32%、生産施設 23%、流通施設 14%の三用途が特に多い傾向があった (Fig. 1)。集合住宅では居住者の生活行為に伴う発湿が多く、空調・換気が制御されていないこと、生産・流通施設では加湿空間や低温室など結露の起こりやすい条件が存在することが結露の発生が多い理由と考えられる。次に、結露原因として季節要因を基に分類した。なお、冬型結露・夏型結露を下記のように定義した。

冬型結露：室内加湿等が原因で冬季等に低温となる外気に面した部位で発生する結露

夏型結露：主に梅雨・夏季の絶対湿度の高い外気が建物内に流入し、低温室や地下室の地盤に面した壁等の建物内の低温部位で発生する結露

その他：上記二つに当てはまらない結露（建材からの放湿による結露等）

その結果、冬型結露が 63%、夏型結露が 31%であった (Fig. 2)。さらに、用途と季節要因の組み合わせと結露発生との関連を整理し

た結果、下記に述べる傾向が見られた (Fig. 3)。

a. 集合住宅：生活行為に伴う発湿が主な原因であるため、冬型結露が 9 割。

b. 生産施設：空調加湿が原因で結露する冬型結露と、建物内に低温室がありその周囲への外気侵入が原因で結露する夏型結露とが半々。

c. 流通施設：建物内に低温室がある場合が多く、その周囲への外気侵入による夏型結露が 8 割。

(3) 結露害発生部位

結露害の発生した部位は屋根・天井 24%、外壁 16%、床 14%、設備 10%、窓 9%の順であった (Fig. 4)。屋根・天井面で結露した場合、結露水が室内に落ちてくるためにすぐに実害に結びつく。極端な場合は天井部材が落下するため、最も注意が必要である。

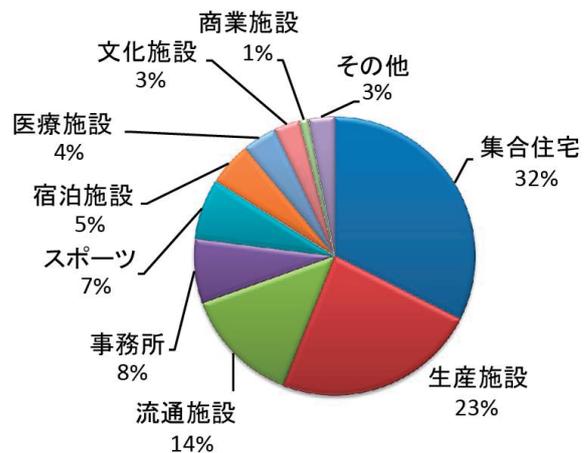


Fig. 1 結露発生建物の用途

(Usage of Building Where Dew Condensation Occurred)

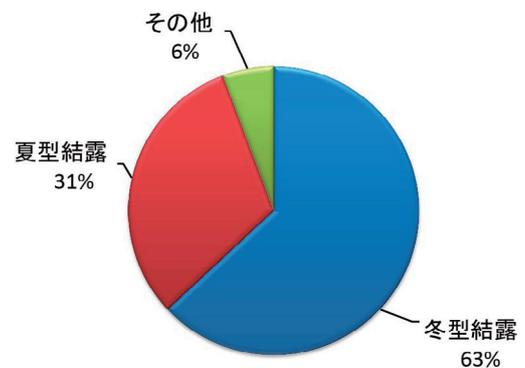


Fig. 2 結露発生の季節分類

(Seasons When Condensation Occurred)

2. 類型化と対策

結露事故を元に原因・対応に対して類型化すると、事前検討時の注意事項が明確になり、また、結露害が起きた場合の原因把握もスムーズとなり効果的な対策がとれる。冬型結露・夏型結露・その他に分けてそれぞれについて類型化を行った。

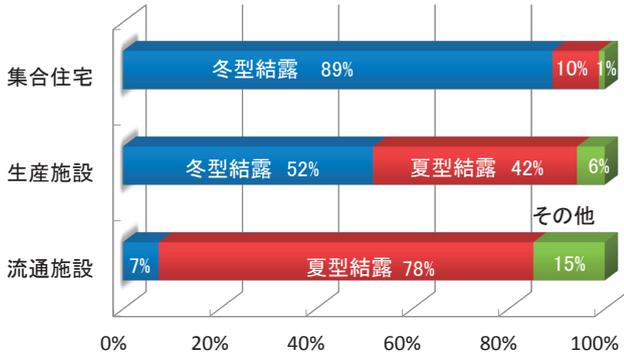


Fig. 3 用途と結露発生時期の関係
(Relationships Between Building Usage and Condensation Season)

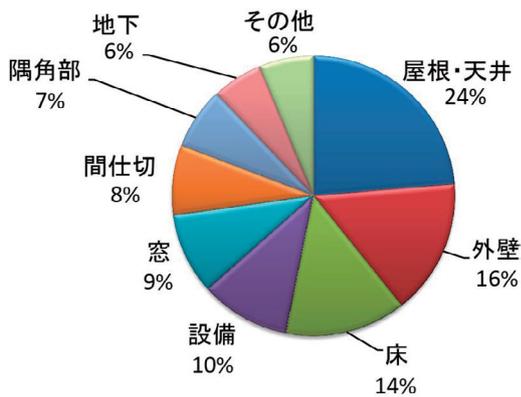


Fig. 4 結露害の発生した部位
(The Part Where Dew Condensation Occurred)

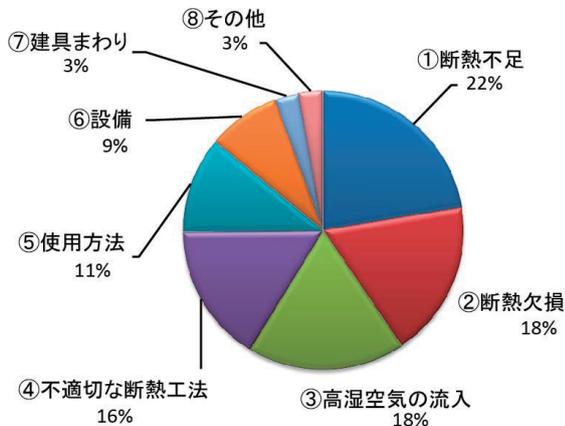


Fig. 5 冬型結露の類型
(Types of Dew Condensation in Winter)

Table 1 冬型結露の代表例と対応
(Representative Examples of Winter Condensation and Countermeasures)

模式図	現象と対応
<p>バルコニー スラブ下断熱なし</p>	<p>①断熱不足</p> <p>現象：外壁や屋根に断熱がなく結露発生。 対応：設計時に室内外条件に応じた部位仕様とする。</p>
<p>スラブ上下断熱補強なし</p>	<p>②断熱欠損</p> <p>現象：躯体ヒートブリッジ部の断熱補強がなく、床上・スラブ下で結露。集合住宅で多い。 対応：床スラブ・界壁等のヒートブリッジにおける断熱補強を行う。</p>
<p>パラペット等にて結露 高温空気流入</p>	<p>③高温空気の流入</p> <p>現象：室内の高温空気が天井裏や隣室に流入し、外壁・屋根・パラペット等で結露。生産施設やプール・浴室で多い。 対応：湿気の漏気を防ぐとともに断熱等を行う。</p>
<p>グラスウール 外壁等で内部結露</p>	<p>④不適切な断熱工法</p> <p>現象：外壁・屋根等に吸音用グラスウール等が使用されて結露。生産施設で多い。 対応：外壁・屋根等への吸音用グラスウールの適用は避ける。</p>
<p>⑤想定外の使用法</p> <p>現象：過度な加湿や換気不足。集合住宅に多い。 対応：使用上の留意事項を周知する。</p>	
<p>ダクトからの高温空気が結露 加湿空間</p>	<p>⑥設備配管等</p> <p>現象：加湿空気排気の漏気による結露、浴室排気ダクト内結露の落滴等。 対応：漏気・落滴の無いダクト処理を行う。</p>

(1) 冬型結露

冬型結露の類型を Fig. 5 に示す。発生の多い①～⑥の代表的な例を Table 1 に示す。

①断熱不足(22%)

屋根面に断熱材が無いなど全般的に断熱がない場合や、断熱材があっても室内温湿度条件に対して厚み不足となって結露するパターン。設計・施工段階の検討不足が原因であり、各部位について断熱仕様の検討が必要である。

②断熱欠損(18%)

RC躯体のヒートブリッジが原因で外壁に接続した床スラブ上下面にて結露するパターン。特に、集合住宅において床スラブの下面で結露して水滴を起している事例が多い。近年は品確法にて断熱補強が必要となり、減少傾向にあると考えられる。対応としては床スラブ面の断熱補強が必要である。

③高温空気の流入(18%)

生産施設において建物内にある加湿空間の湿気が、他の空間や天井裏・パラペット等に侵入して結露するパターン。冬季に40～50%程度に暖房加湿された空気が非空調の廊下・隣室・天井裏・パラペット等に流入し、温度が低い部位にて結露する。加湿空間の空気のリークを防止するとともに、リークした場合の流出経路において断熱等の対応が必要である。

④不適切な断熱工法(16%)

主に生産施設において外壁・屋根等に用いた防湿層のないグラスウールで内部結露しているパターン。この場合のグラスウールは主に吸音を意図しており、外部に面した部位で吸音する場合には慎重な検討を要する。

⑤想定外の使用方法(11%)

室内において過剰な加湿や換気運転を行わないなど設計時の想定とは異なる使用条件の結果結露しているパターン。集合住宅に多い。使用上の留意事項を伝達する必要がある。

⑥設備配管等(9%)

加湿空気を排気する際にダクトからリークして結露する場合がある。ダクト接合部の気密性を確保し、リーク・水滴防止を図る。

(2) 夏型結露

夏型結露を分類して Fig. 6 に示す。発生の多い①～④の代表的な例を Table 2 に示す。

①低温室周囲(37%)

生産施設・物流施設において冷凍倉庫・低温室などの周囲に外気が侵入し結露するパターン。近年、短工期の要請から鉄骨造が多くなり外壁の気密性が確保しにくくなっていることと、食品工場などでコールドチェーン確保のために15℃程度の低温室を断熱パネルで構築する建物が増加していることが相まって、断熱パネル裏面で結露発生して室内に水滴する事例が増加している。特に、低温室で挟まれた天井裏や二重壁内での結露が多い。低温室温度が15℃とあまり低温でないために断熱を行わない場合があり、極端な場合には、結露水による重量増などで天井面の落下につながるため、まず適切な断熱を行う必要がある。その上で建物内への外気侵入を防止する必要があるが、鉄骨造では困難な場合が多く、天井裏等での除湿等が必要となる。

②地盤に面した部位(25%)

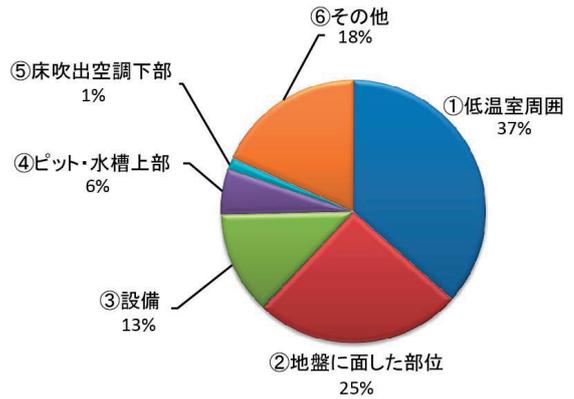


Fig. 6 夏型結露の類型
(Types of Dew Condensation in Summer)

Table 2 夏型結露の代表例と対応
(Representative Examples of Summer Condensation and Countermeasures)

模式図	現象と対応
	<p>①低温室周囲</p> <p>現象: 低温室周囲空間(特に低温室で挟まれた天井裏・壁体内部等)に外気が浸入し結露。生産施設・流通施設で多い。 対応: 低温室に挟まれる空間を作らない。外気浸入を抑制し、空調・除湿を行う。</p>
	<p>②地盤に面した部位</p> <p>現象: 非空調地下室の地中壁や土間床等の地盤に面した部位に外気が浸入し結露。生産施設・流通施設で多い。 対応: 外気浸入を抑制し、空調・除湿を行う。</p>
	<p>③設備配管等</p> <p>現象: 冷風ダクト・冷水配管等の温度の低い設備に建屋内に流入した外気が触れて結露。 対応: 断熱・防湿処理を適切に行う。</p>
	<p>④蓄熱槽上部</p> <p>現象: 蓄熱水槽などの上部の冷やされた部位に外気が浸入し結露。 対応: 断熱を適切に行った上で、外気浸入を抑制し、空調・除湿を行う。</p>

非空調の土間床倉庫や地下室において、外気侵入に伴い地盤の影響を受けて低温化した土間床・地中壁等にて結露するパターン。特に、地盤温度が外気より遅れて上昇する春先から梅雨時期に相対湿度の高い外気が室内に流入した際に発生することが多い。土間床では常時結露する訳ではなく、気象条件によって一時的に落滴やぬれ現象が発生する。断熱だけでは対応しきれない場合が多く、空間の空調または除湿等の対応が有効である。しかし、物流倉庫等では空間が大きく、開口部を常時開放して使用しているなど対応が困難な場合があり、結露を止めることは困難と判断して運用上実害がないように対応する場合もある。

③設備配管等(13%)

冷風ダクト・冷水配管等の温度の低い設備に建物内に流入した外気が触れて結露。対応は断熱・防湿処理を適切に行うことである。

④蓄熱槽上部(6%)

蓄熱水槽などの上部の冷やされた部位に外気が侵入し結露。対応は断熱を行った上で、外気侵入を抑制する。上部空間の空調・除湿を行う。

(3) その他

その他に発生の多い例を Table 3 に示す。

①材料からの放湿

建材が当初保有していた水分や吸湿していた水分が、日射等による温度上昇により急激に放湿されて近傍の温度の低い部位にて結露するパターン。ALC・ケイカル板・木毛板等の初期含水率の高い材料を使用する際には含水率の管理に注意する。放湿抑制のための断熱や放湿時に換気できるように配慮する必要がある。

②放射冷却

庇等の折板屋根において、放射冷却により冷やされた部位に外気の水蒸気が触れて結露するパターン。秋から冬にかけて放射冷却の大きい夜間から朝にかけて発生する。折板屋根に断熱をすることで結露量は減少する。簡単な断熱では完全に防止することは難しい。

Ⅲ. まとめ

一般建築を対象として過去に発生した結露害を分析し、結露の起こりやすい用途や類型を解析し、下記を示した。

- ・ 結露の多い建物用途は集合住宅・生産施設・物流施設。

Table 3 その他結露の代表例と対応
(Representative Examples of Other Condensation and Countermeasures)

模式図	現象と対応
	<p>①材料からの放湿</p> <p>現象: 建材が当初保有していた水分や雨水吸水したもの等が日射等により放湿し周囲空間の温度の低い部位にて結露。 対応: 初期の含水率管理に留意し、放湿時には換気する。</p>
	<p>②放射冷却</p> <p>現象: 庇等の折板屋根において放射冷却により冷やされた屋根に外気の湿度が触れて結露。 対応: 折板屋根には断熱を行う。</p>

- ・ 冬型結露 6割、夏型結露 3割の割合で発生。
- ・ 住宅は冬型結露、生産施設は冬型・夏型半々、物流施設は夏型結露が多い。
- ・ 冬型結露の発生は、①全面的な断熱不足②断熱欠損③湿気空気の流入④不適切な断熱工法で多い。
- ・ 夏型結露の発生は、①低温室周囲②地盤に面した部位で多い。

参考文献

- 1) 建物の結露, 「建物の結露」編集委員会編, 学芸出版社, 2003.
- 2) 断熱工事の知恵 知っておきたい不具合事例, 社団法人建築業協会編, 2000.
- 3) 権藤尚, 荒井良延, 新橋正博, 成廣弘: 結露事故の類型化に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集環境工学 D-2, 2008. 9, pp. 354-355.