

本かわら版 第四版

日経ホームビルダーの連載第二弾！ 長寿命な屋根について土屋名誉教授・屋根シ ステム総合研究所とともに掲載されました。



屋根には結露リスクがいっぱい

弊社は普段から屋根における不具合事例を調査している。IDTという雨漏り調査や屋根の葺き替え工事などで情報を収集している。雨漏りと間違えられやすいが、結露事例も多く発生している。今回は屋根の結露について、日経ホームビルダー2013・6で掲載されたので、以下に紹介する。

屋根の不具合は、降雨による漏水だけでなく、知らない間に少しずつじわじわと水が染み込む浸水による結露も多い。供給源は、雨、露、霜、室内で発生する水蒸気など。それらが屋根の様々な所で結露となって現れる。下の図の①～⑧が結露の発生リスクの高い箇所だ。

①は屋根材の外表面。冬季、夜半から明け方に起こる放射冷却現象の影響で、外気温より低くなる外表面部に結露が生じて霜になる。霜が解けて水になると、スレートや瓦などに浸透する(写真1参照)。

②は屋根材とルーフィングの隙間。ルーフィングにしわがあるとプールのように水がたまり、それがルーフィングに打ち付けたクギまわりの隙間から浸透する可能性がある(写真2)。

③はルーフィングと野地合板の間。クギまわりの隙間から雨水が浸入する恐れがある(写真3)。

④は野地合板の室内側。温度の低い小屋裏に室内の湿気が入り込んで相対湿度が高くなり、外気温に低い部位に触れると結露する。⑤～⑧はクギが介在して発生する結露。これについては、後で詳しく解説する。

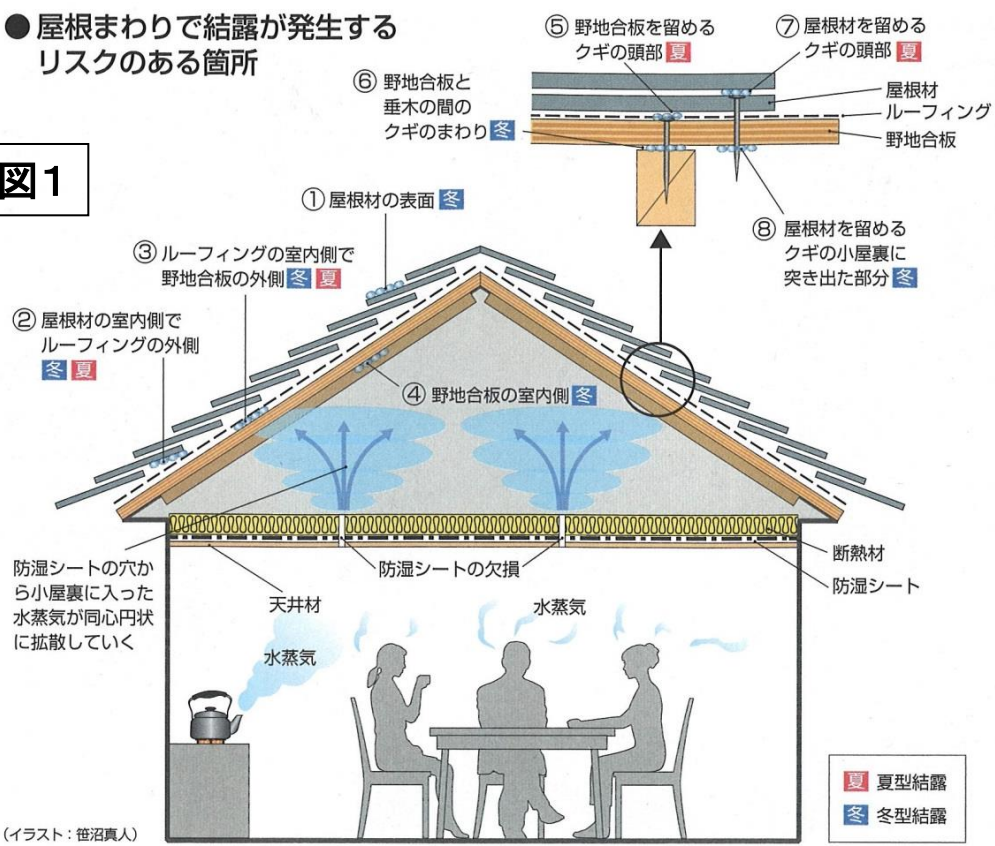
④⑥⑧の各部位では、野地下に通気層を設ける一般的な通気工法が正常に機能していれば結露を防げる可能性がある。そのほかの部位は野地上にあるので、従来の通気工法で予防することは難しく、野地上にも通気層を設ける必要がある。

発行所：神清

瓦のことなら
株式会社 神清 かみせい
まかせて安心!
百四十年の信頼と実績

●屋根まわりで結露が発生する リスクのある箇所

図1



(イラスト：笹沼真人)

本 やまほん かわら版 第四版

発行所：神清

瓦のことなら
株式会社 神清 かみせい
まかせて安心!
百四十年の信頼と実績



野地合板の上に結露が発生している様子。クギまわりの隙間から雨水が浸入することで起こる。右ページの図③に該当

右は結露の影響で野地板から突き出たクギにさびが発生した状態。右ページの図④に該当。左は金属屋根とアスファルトルーフィングを剥がして野地板をひっくり返した状態。垂木を固定していたクギのまわりに結露が発生し、カビや汚れによる黒い腐朽の跡が残っていた。同図⑤に該当



スレートを剥がすと下のアスファルトルーフィングがびしょ濡れていた。右ページの図②に該当

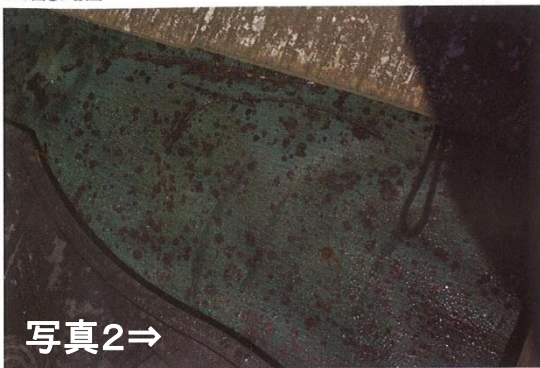
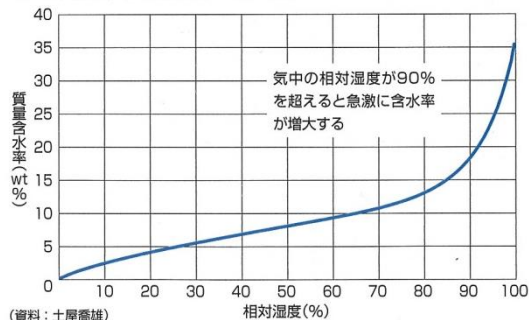


写真2⇒

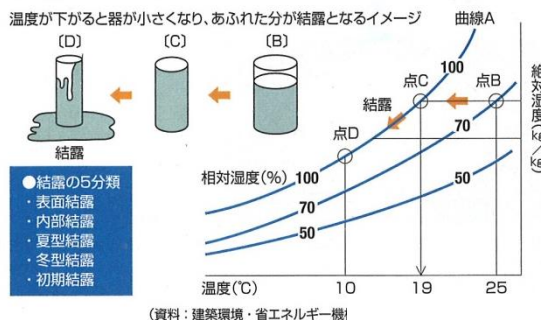


● 合板の平衡含水率曲線



(資料：土屋高雄)

● 結露発生メカニズム



空気中には多かれ少なかれ、水蒸気が含まれている。ある限定された空間に存在できる水蒸気量は温度には限りがある。含み得る最大の水蒸気量は温度に依存し、温度が高くなるにつれて2次曲線的に増加する(図2)。水蒸気量が同じ空間で温度を下げると相対湿度は徐々に高くなり、やがて100%に達する。このときの温度を露点温度と呼び、それ以下の温度では水蒸気として存在することができず水滴となる。この現象が結露だ。

結露は発生場所で2つに分けられる。見える所で起こる「表面結露」と、壁内など見えない所で起こる「内部結露」だ。図1の①が表面結露、ほかは内部結露だ。

発生する季節によって「冬型結露」「夏型結露」と呼び分けることもある。冬季に暖房している室内の窓ガラスに発生する結露のように、温度の高い空間に露点温度以下となる箇所がある場合の結露が冬型だ。夏季に、高温高湿の外気が冷えた箇所に接して発生する結露が夏型だ。冬型が外気の下がる夜間に発生しやすいのに対し、夏型は昼間に発生するのが特徴だ。

湿度100%弱で合板は腐朽

写真1



スレート屋根の表面に結露が発生している東京都世田谷区に建つ住宅。上図①に該当 (写真・資料：特記以外は屋根システム総合研究所)

本かわら版 第四版

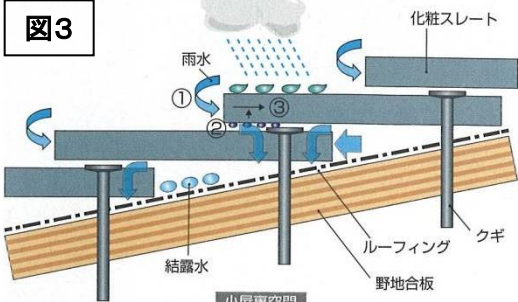
発行所：神清

瓦のことなら
株式会社 神清
まかせて安心!
百四十年の信頼と実績

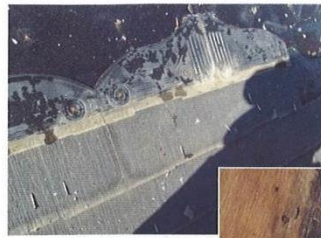


●屋根材から雨水が浸水する仕組み

図3



化粧スレートの小口面①と裏面②から化粧スレート内③へ浸透



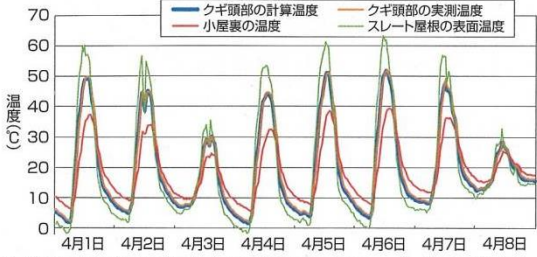
左はスレートを留めたクギの頭部が結露してさびが出ている様子。60ページの図⑦に該当。下は野地合板を垂木に留めたクギ頭部がさびて、クギまわりの合板が黒ずんでいたセメント瓦葺きの住宅。同図⑤に該当

写真4→



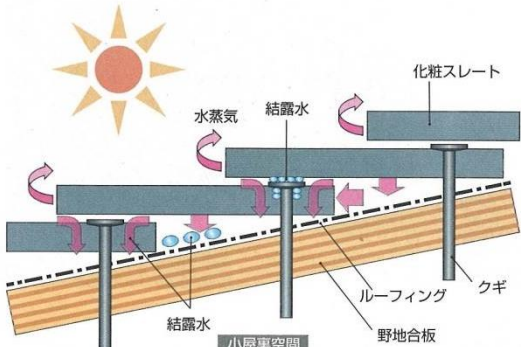
グラフ1

●実験棟で測定したクギ頭部などの温度



クギ頭部の温度は午前9時ごろから午後5時ごろまでスレート屋根表面より低く、小屋裏の温度が高い場合は露点を下回る。計算に基づくシミュレーションも実測に近い値を示した

●晴天時にクギのまわりで結露する仕組み



(資料：土屋高雄)

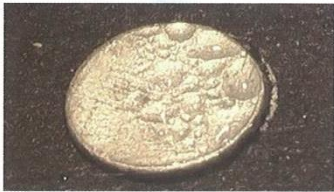


写真5

あらかじめ含水したスレートに模擬太陽として赤外線ランプを照射して、スレートを留めるクギに結露が発生するかどうかを実験した。照射開始から約10分で結露が発生した

8月の晴天時の正午に、日射を受けた屋根断面の温度分布をシミュレーションした結果。通気層のない状態。場所は山形県 (資料：土屋高雄)

●スレートを留め付けるクギまわりの温度分布

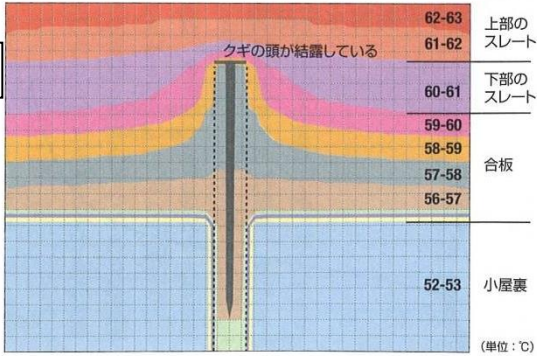


図4

クギ頭部は年中ぬれている

屋根下地に使われる野地合板は、結露が生じる条件下でも表面に水滴を確認できないことが多い。これは、多孔質の合板が水分を吸収して、材の内部に拡散させるからだ。木材は一般に、含水率が30%以上になると腐朽が進行するとされる。合板の含水率は周辺の相対湿度が90%を超えると急激に増大し、相対湿度が98%付近になると含水率は30%に達する(図2の左)。従って、野地合板を腐らせないようにするには、結露の発生源を抑えるのもとより、合板の含水率が30%より小さくなるような環境を保つことが重要になる。

クギまわりで注意したい場所は、野地合板を垂木に留めるクギと屋根材を留めるクギの頭部だ(図1の⑤⑦、写真4)。これら2カ所の結露発生メカニズムは共通している。屋根材の小口や裏面から浸透した雨水が屋根材全面に広がり、含水率が増加する。野地合板は雨水だけでなく、小屋裏から入った湿気の影響も受ける。そこに屋間の強烈な日射が当たって、材料の重なり部にできた隙間に水蒸気が放出され高温高湿となる。クギ頭部はクギのまわりの温度より低いので、高温高湿な空気に接すると結露が生じる(図3)。夏型結露の典型だ。

グラフ1は、このメカニズムを確認するために実施した実証実験の結果だ。切り妻屋根の実験棟に、スレート、改質アスファルトルーフィング、野地合板、天井断熱を施し、クギ頭部とスレート、小屋裏の温度を測定した。午前9時ごろから午後5時ごろまでクギ頭部の温度はスレートより低くなり、最大で10.0の開きがある。

あらかじめ含水させた屋根材に赤外線ランプを照射して、クギ頭部にどのように結露が発生するのかも試みた。照射後10分足らずでクギ頭部に結露が発生し始め、1時間後には高さ約1mmの水溜りが形成された(写真5)。

野地合板と垂木の間で結露(図1の⑥)は、両者の間の僅かな隙間に小屋裏の湿気が入り込み、温度の低いクギに接して発生する冬型だ。どの向きの屋根でも起こり得る。結露量の多寡は小屋裏の湿度状況に左右される。

本やまほんかわら版 第四版

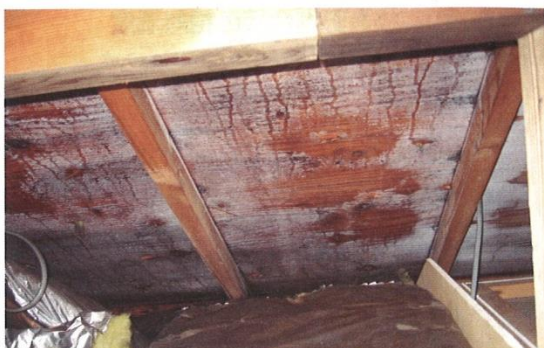
発行所：神清

瓦のことなら
株式会社 神清
まかせて安心!
百四十年の信頼と実績

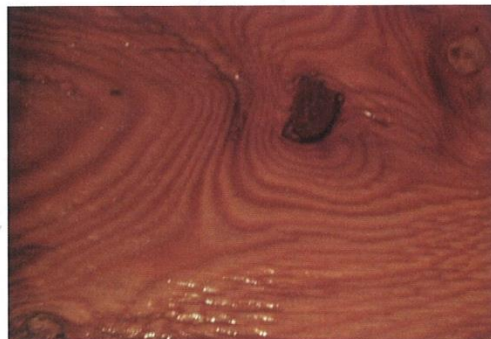
skj
SKJグループ



築24年の住宅で、北側の野地合板が水分を含んで層状剥離を起こしている様子。日射の当たる南面の野地合板から放出された湿気が外気に十分排出されず、温度の低い北側の野地合板に回ったと考えられる。60ページの図③④に該当



北側の野地合板だけにカビが生じていた事例。吊り木や断熱材のまわりに隙間が多数見られる。60ページの図④に該当



押出法ポリスチレンフォーム板(XPS)を剥がすと、北側の屋根の野地合板がびっしょりぬれて、クギがさびていた。XPSに防湿シートを施していなかった。東北地方に建つ築半年の屋根断熱の住宅。60ページの図④に該当 (写真：本誌)

小屋裏に突き出たクギまわりの結露(図1の⑧)は、夜間の外気温の低下に伴い、クギまわりの表面温度が露点温度以下となったときに発生する冬型だ。クギの温度は頭部が接する空気と小屋裏の温度の平均値に近く、頭部と下部の温度差は2.0程度だ(図4)。

1日に2.5リットルが流入

屋根や天井、外壁に断熱材を施工する場合は、断熱材への湿気の流入を抑えるため、室内側に防湿シートを設けるのが基本だ。

防湿シートは厚いほど防湿効果が高くなる。防湿効果は水蒸気の通しにくさを数値にした「透湿抵抗」で示され、値が大きいほど防湿効果は高い。例えば、寒冷地で裸のグラスウールを覆う厚さ0.2mmタイプ防湿シートの透湿抵抗は約1000(単位はmhmHg/g、以下同)、温暖地用の厚さ0.02mmタイプ(袋入り用)は約80だ。

防湿シートに穴などの欠損があると、そこから室内の湿気が流入して、結露が発生する恐れがある。防湿シートの穴の影響を試算してみた。

グラフ2は、湿度度が室内は18.0、90%、外気が0.0、80%の状態、透湿抵抗が1000の防湿シートに穴が開いたときの野地合板の相対湿度だ。欠損がないときは74%だが、穴が大きくなるにつれて高くなり、直径18mmで100%に達する。図5は防湿シートに直径22mmの穴が開いたときに、湿気が流入する様子を示したものだ。断熱材の中を湿気が同心円状に広がっていくのが分かる。

表1は、防湿シートに穴が開いたときの透湿抵抗の低下を示したものだ。透湿抵抗1000の防湿シートに直径10mmの穴が開くと、透湿抵抗は50に低下する。穴から入る水分の量も計算した。透湿抵抗80の防湿シートに長さ1mにわたって幅1mmの隙間がある状態を直径36mmの穴(透湿抵抗が5程度とみなすと、70㎡の天井から1日当たり約2.5リットルの水分が入ることになる。換気が半分近くの水分は排出されるが、残りは野地合板などに吸収され、結露を生じて劣化を進行させる。

以上が掲載された内容である。断熱材を施工するときに、1mmの隙間が1㎡あるとこれだけで、かなりの湿気が小屋裏に通過してしまう。耳付の断熱材の施工でも耳部分の施工は十分な注意が必要である。70㎡の天井から1日当たり約2.5リットルの水分が入ることになる。参考までに、写真6に野地合板の結露写真を追加します。

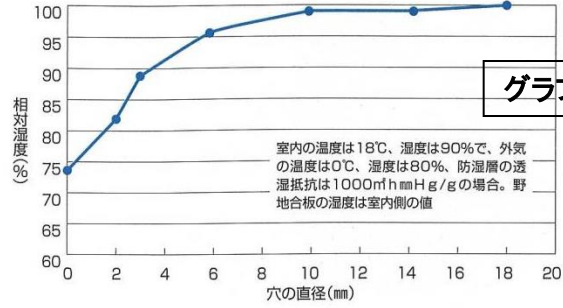
やまほん
本
 かわら版
 第四版

発行所：神清

瓦のことなら
株式会社 神清 かみせい
 まかせて安心!
 百四十年の信頼と実績



● 防湿欠損部の直径と野地合板の相対湿度



グラフ2

● 防湿欠損がある断熱材の絶対湿度分布

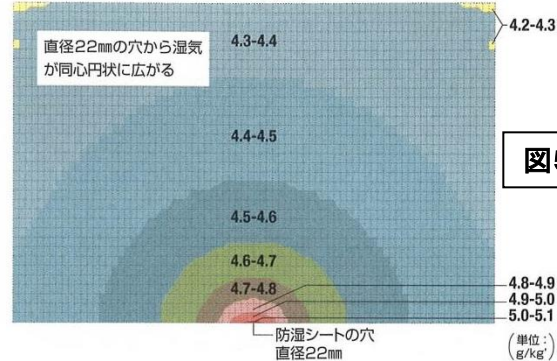


図5

表1

● 透湿抵抗が1000の防湿層に開いた穴の大きさに相当する透湿抵抗

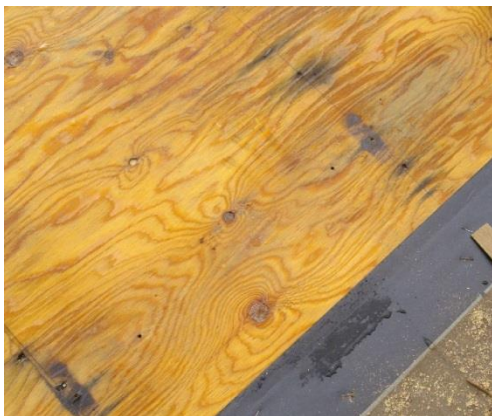
穴の直径 (mm)	穴の直径に相当する透湿抵抗 (mHg/g)
0	1000
2	400
6	133
10	50
18	25

● 透湿抵抗が80の防湿層に開いた穴の大きさに相当する透湿抵抗

穴の直径 (mm)	穴の直径に相当する透湿抵抗 (mHg/g)
0	80
4	50
8	25
16	17
32	10
36	5

(このページの資料：土屋高雄)

写真6



屋根材はセメント瓦。ルーフィングを剥がしてみると野地合板とルーフィングが濡れていた。



屋根材は化粧スレート。北面野地板がフカフカの状態だった。合板の接着が低下していた。



屋根材は化粧スレート。北面のスレートクギから結露水が天井断熱材にぼたぼた落ちていた状態。