

低放射折板屋根の紹介

ー 工場・倉庫内での熱中症を防ぐ遮熱屋根材 ー

大和ハウス工業株式会社 総合技術研究所 本 間 瑞 基

1. は じ め に

猛暑日が年々増加する中、工場や倉庫(以下、工場等)では労働災害の観点から従業員の熱中症対策が課題になっている。2022年6月の熱中症による全国の救急搬送者数は、前年の約3.2倍となる15,969人と、調査開始以来で過去最多となった¹⁾。熱中症は屋外だけではなく屋内でも多く発生しており、特に工場等で作業する製造業では、熱中症の約半数の46%が屋内作業時に発症している²⁾。工場等は事務所と異なり、屋内を空調で一定温度に保つ建物は依然として少なく、熱中症のリスクが高いといえる。労働安全衛生法では、事業者は労働者を就業させる建設物その他の作業場について、健康で安全な労働環境を整備することを定めており、建設物を提供する建設会社が担う役割は大きい。このような背景から、熱中症対策を目的に、屋根からの放射を抑制する「低放射折板屋根」*を開発した。本稿では、工場等の温度環境の現状と、低放射折板屋根の特徴について測定結果を挙げて紹介する。

※裏貼りする低放射断熱材として、ニチアス(株)製スーパーフェルトン® II を使用している。

2. 工場等の建築的特徴と暑さの原因

熱中症対策を検討する上で、工場等の建築的特徴を把握する必要がある。以降、熱中症を発症するリスクが高い非空調の工場等について、建物の形状、外装・内装、換気の特徴について述べる。

2.1 建築的特徴について

2.1.1 形状

建物は、生産設備の設置や材料・荷物等の保管のための場所など、他の用途に比べ床面積が大きく、天井が高いことが多い。階数は、工場では1階が最も多く、倉庫では1階または2階が多くを占め、3階以上となる建物は少ない。このため低層で屋根面積が大きい建物が多く、屋根・外壁・窓の面積の合計である外皮面積のうち、屋根が占める割合が大きくなる。



図1 工場等の形状(当社栃木二宮工場)

2.1.2 外装・内装

屋根材には、鋼板を山谷の形状に折り曲げた折板屋根をほとんどの建物で使用している。外壁材は、意匠や耐火性能から、金属性化粧板、軽量気泡コンクリートパネル(ALCパネル)、金属断熱サンドイッチパネルなどが使用される。屋根・外壁の内装には、内装材や断熱材を設けることは少なく、屋根材や外壁材が現しとなることが多い。

そのため屋根材と外壁材の仕様が、室内の温熱環境に影響する。

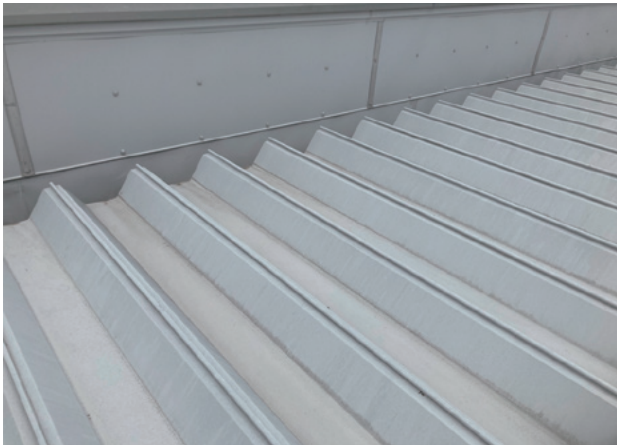


図2 折板屋根

2.1.3 換気

建物には、法令により所定の風量を有する換気設備が設置される。加えて、工場では生産設備から発生する熱や、汚染物質などを排出するための換気設備を別途設置することもある。他にも、外壁には大型自動車が入り可能な大型シャッターが設けられており、運用時には、常時開放された状態で使用されるなど、総じて換気が行われやすい建物が多い。



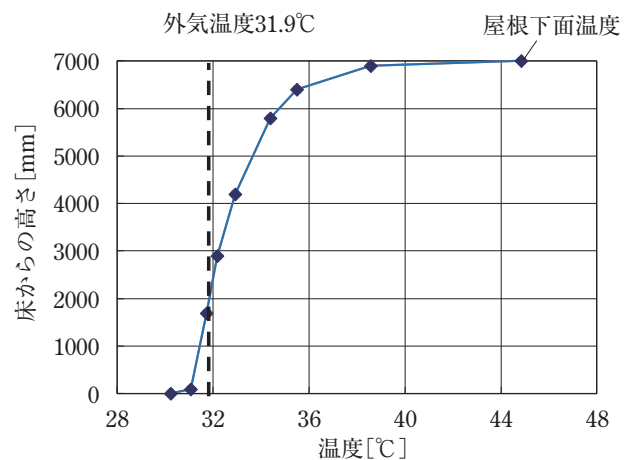
図3 大型シャッター

2.2 工場等の温度環境と暑さの原因

工場等の室内温度に影響を与える外的要素として、外気温度と日射がある。暑さが問題となる夏は、高い外気温度に加え、水平面の日射量が多い。特に工場等では屋根の面積が大きいので、多くの日射を受熱し室内に伝熱する。具体的には、日射で高温になった屋根から室内に対し、「対流熱伝達」と「放射」が作用する。

このうち「対流熱伝達」は、高温の屋根から空気への伝熱で、空気が昇温する。図4は、当社工場において、夏の晴天日に換気が十分に行われている環境で垂直方向の空気温度を測定した結果である。高所の温度は、屋根下面温度の影響により外気温度より高くなっているのに対し、低所の温度は外気温度に近く、屋根の影響をほとんど受けていないことがわかる。このような温度環境になる要因として、温度が高い空気は密度が小さくなり（軽くなり）、上部に滞留しやすいことや、シャッターや窓が開放されている建物では、温度差換気により低所から外気が流入し、高所から高温の空気が流出する現象が生じるためである。したがって、作業者がいる低所は空気の温度が高くなりにくい。

もうひとつの「放射」は、高温の物体からの電磁波の放出現象であり、空気を介さずとも直接物質の表面を昇温させる伝熱である。建物においては、高温になった屋根が下部にいる作業員や物に放射し、その表面を昇温させている。表1は同建物において、周囲の放射を加味した温度であるグローブ温度を測定した結果である。空気温度に対しグローブ温度が1.5℃高く、放射の影響を受けている。図5はこれら伝熱による温度環境を模式図で示したものであるが、暑さの原因は作業員がいる低所に限れば、屋根の放射の影響が大きいと考えられる。



〈測定概要〉

- ・所在地：大阪府堺市 ・建物：当社堺工場(当時)
- ・屋根材：波板スレート ・測定日時：2014/7/21 11:00～14:00
- ・平均外気温度：31.9[°C] ・平均全天面日射量：824[W/m²]

図4 夏季の工場内垂直温度 (11時～14時平均)

表1 グローブ温度 単位 [°C]

空気温度 FL + 1700mm	グローブ温度 FL + 1700mm	温度差
31.7	33.2	1.5

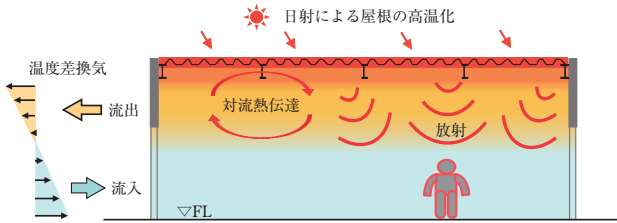


図5 建物内温度環境の模式図

3. 低放射折板屋根の概要

3.1 低放射折板屋根とは

上述の温度環境に着目し、屋根の放射を抑制する方法を検討した。低放射折板屋根は、工場等で使用される折板屋根の放射を抑制し、室内の暑さを軽減する屋根材である。ここで、微小面1(人間)が面2(折板屋根下面)に面するときの、放射伝熱量 E [W/m²K] は (1) 式で示される。

$$E = \phi_{12} \varepsilon_1 \varepsilon_2 \sigma (T_1^4 - T_2^4) \quad (1)$$

ここに、

ϕ_{12} : 微小面1からみた面2の形態係数 [-]

ε_1 : 微小面1の放射率 [-]

ε_2 : 面2の放射率 [-]

σ : ステファンボルツマン定数 [W/m²K]

T_1 : 微小面1の絶対温度 [K]

T_2 : 面2の絶対温度 [K]

(1) 式より、放射伝熱量 E は折板屋根下面の放射率 ε_2 を小さくすることで低減する。放射率は、物体の放射のしやすさを0～1で示した値で、建築で使用される主要な材料は、0.8～0.9の放射しやすいものがほとんどである。折板屋根の下面には、結露防止のために厚さ5mm程度の薄い断熱材(以降、裏貼材という)が接着されている。この裏貼材も同様に、放射率が0.9程度で大きいことから、放射率の小さな裏貼材(以下、低放射裏貼材)を検討した(図6)。

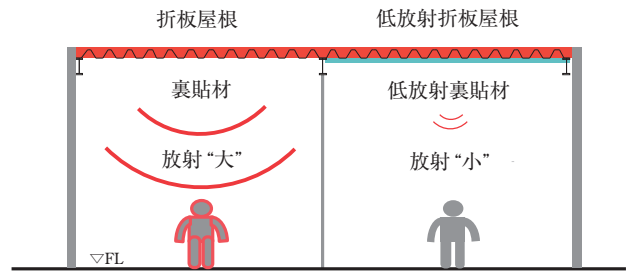


図6 低放射折板屋根による放射の低減

3.2 低放射裏貼材の構成と仕様

低放射裏貼材は、ニチアス(株)のガラス繊維系断熱材(商品名「スーパーフェルトン® II」)の表面に、放射率が小さいアルミ系遮熱シートを接着したものである(図7、図8)。アルミ(鏡面仕上げ)は、放射率が0.1程度で極めて値が小さい材料であり、これを断熱材に接着できるように加工したものを使用した。なおアルミ系遮熱シートの接着は、ニチアス(株)の工場で行っているため、工事現場での作業は発生しない。

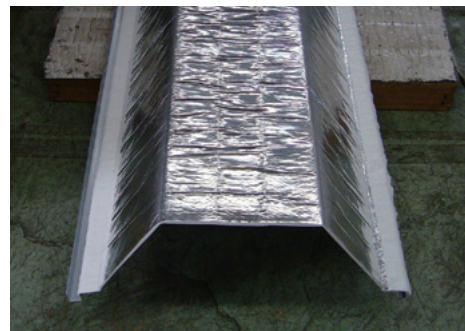


図7 低放射折板屋根(下面)

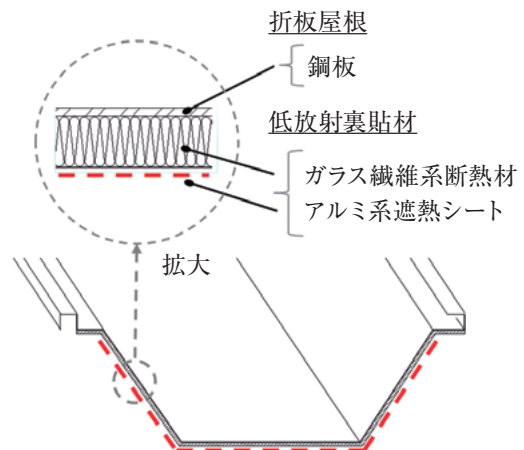


図8 低放射折板屋根の構成

3.3 製造・施工について

折板屋根の製造は、銅板を山谷の形状に成型する成型機に通して行う（図9）。銅板には、成型前にあらかじめ裏貼材を接着しておくため、成型機から排出される折板屋根には、裏貼材が貼られた状態になっている。低放射折板屋根の製造も同様であり、従来の裏貼材を低放射裏貼材に変更する違いだけで、特殊な製造工程は発生しない。また、施工においても従来の折板屋根と同様であり、特殊な施工は発生しない。

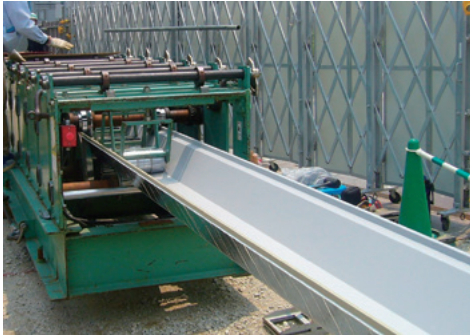


図9 成型状況

3.4 他の遮熱手法との違い

ここでは、折板屋根で行われている他の遮熱手法と、その違いについて述べる。ひとつが「断熱」で、高温になった折板屋根から室内への伝熱を断熱材で抑制する。一般的には、折板屋根を上下二重に施工し、その間にグラスウール断熱材を挟んだ二重折板断熱が使用されている。もうひとつは「日射反射」で、折板屋根の上面に日射反射率の高い塗装を行い、日射による高温化を抑制する。両手法は、いずれも折板屋根下面の温度上昇を抑制するのに対し、低放射折板屋根は同温度が高くなったときに、屋根の放射を低減する手法である。それぞれの手法には一長一短があり、ここで詳細に比較はしないが、費用に限れば、低放射折板屋根は従来の折板屋根から裏貼材の変更だけで済むため、新たな材料や工事が発生せず、比較的安価に実施できる手法であるといえる。

た。施工した建物は自動車整備工場で、建物内は整備工場と屋内駐車場が間仕切り壁を介して分かれている。整備工場には低放射折板屋根を、屋内駐車場には折板屋根が施工されている。建物概要を表2に、図10に写真、図11に平面図、図12に断面図を示す。

表2 建物概要

所在地	大阪府豊中市
用途	自動車整備工場
階数	1階
外装材仕様	〈整備工場〉 屋根：低放射折板屋根（裏貼材 低放射裏貼材 t=5mm） 外壁：金属化粧板 〈屋内駐車場〉 屋根：折板屋根（裏貼材 発泡プラスチック系断熱材 t=4mm） 外壁：金属化粧板



図10 屋内写真

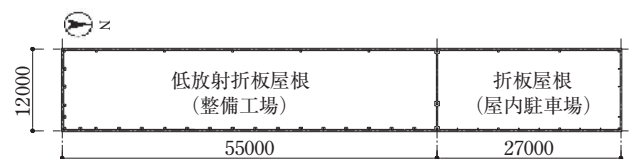


図11 平面図

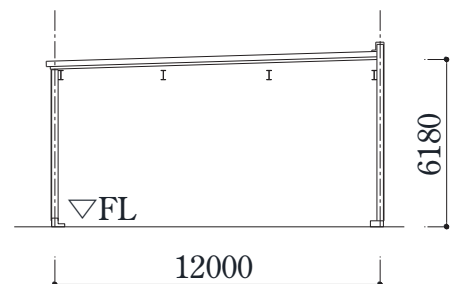


図12 断面図

4. 実 棟 検 証

4.1 建物概要

低放射折板屋根を建物に施工し効果を確認し

表3 測定結果

測定日時	外気温度* [℃]	全天 日射量* [W/m ²]	折板屋根 上面温度 [℃]	グローブ温度 [℃]			放射熱量 [W/m ²]		
				折板屋根	低放射 折板屋根	差	折板屋根	低放射 折板屋根	差
2018年8月28日 12:00 ~ 13:00	32.0	738	61.6	37.3	34.3	3.0	70	14	56

※データ元：気象庁

4.2 測定概要

測定は夏の晴天日に、それぞれの室で同時に実施した。主な測定内容は、グローブ温度と放射熱量で、両室ともに換気設備を運転した環境で実施した。

4.3 測定結果

表3に測定結果を示す。グローブ温度は、折板屋根に対し低放射折板屋根が3℃低い結果であった。放射熱量は、折板屋根に対し低放射折板屋根は80%低減していることを確認した。これらの結果から、屋根の放射を低減することで、グローブ温度の低減効果をもたらし、熱中症対策としての有効性を確認した。

5. おわりに

工場等の熱中症対策を目的に、屋根の放射を抑制する低放射折板屋根の開発に取り組んだ。実棟において温度測定を行い、熱中症対策としての有効性を確認した。当社では現在（2023年4月）、全国の屋根材加工会社の協力のもと36都府県に展開しており、さらなるエリアの拡大に向けて取り組んでいる。

最後に本開発にあたり、ニチアス（株）、日鉄鋼板（株）、日鉄物産（株）、屋根材加工会社に多大なご協力をいただいた。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 一般財団法人 日本気象協会の報道参考資料（2022年11月10日）。
- 2) 厚生労働省HP「職場でおこる熱中症」。

*「スーパーフェルトン」はニチアス(株)の登録商標です。

ニチアスの建材製品は、
人と環境の調和をめざし、
安心・安全・快適を
提供しています。

断熱材 ■ 耐火被覆材 ■ 煙突材 ■ 内装材 ■ 化粧板 ■ フリーアクセスフロア ■ その他

ニチアス

