

建築物の耐火性能と関連する結露現象に関する研究

Study on Dew Condensation related to Fire-resistance Performance of Buildings

榎藤 尚 Takashi Gondo

1. はじめに

近年、オフィスビルにおいて意匠的な要望から全面ガラスカーテンウォールが採用される事例が増加している。その一方で、室内の快適性向上・健康配慮のためあるいは『建築物における衛生的環境の確保に関する法律』（通称：ビル衛生管理法）における最低湿度（40%）維持のために冬季の室内湿度を高く維持したいとの要望が強い。こうした背景からガラスカーテンウォールにおいて結露上の弱点となるスパンドレル部（Fig.1）での結露が散見されている。この結露は室内の暖房加湿空気のスパンドレル部への侵入と耐火ボード（ケイ酸カルシウム板）からの放湿が原因と推測されるが、スパンドレル部構成部材の隙間特性・吸放湿特性や高さによる内外差圧などが複雑に影響するため、対策は確立されていなかった。本論文ではスパンドレル部のガラス面に発生する結露への対策を確立することを目的として、スパンドレル部構成部材の特性を把握し、モックアップ実験による検討、シミュレーション手法の提案とシミュレーションを用いた検討により、対策案を提示する。

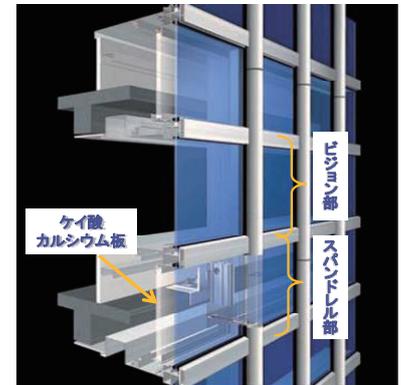


Fig. 1 スパンドレル部
(Part of Spandrel)

2. カーテンウォールスパンドレル部構成要素の特性把握

スパンドレル部の結露現象に影響する材料・部材の湿気特性や隙間特性を測定し、ケイ酸カルシウム板 20 mmの湿気貫流抵抗値やその表面塗装の湿気抵抗値を把握した。また、ケイ酸カルシウム板の平衡含水率や放湿過程・吸放湿過程の重量変化などの吸放湿に関する基本的特性を求めた。さらに、スパンドレル部のモックアップを構築し、スパンドレル部構成部材について、ケイ酸カルシウム板とサッシの間にガスケットを用いた場合の隙間特性や外気換気用に用いる 10φ 開口などの相当開口面積を求めた。

3. 実験によるスパンドレル部の結露原因の把握と対策の検討

スパンドレル部で発生する結露の原因を明らかにし、種々の対策の効果を検証することを目的として結露実験を行った。まず、日射無し条件下で結露実験を行い、室内側の隙間などが結露に及ぼす影響を把握した。室内相対湿度が 45%ではケイ酸カルシウム板周囲の隙間が大きいほど結露量は多くなり、結露防止には室内側の隙間を気密化する必要があることを示した（Fig.2）。また、ケイ酸カルシウム板室内側の断熱、室内側への通気孔の設置はいずれも結露量の増加につながることを確認した。

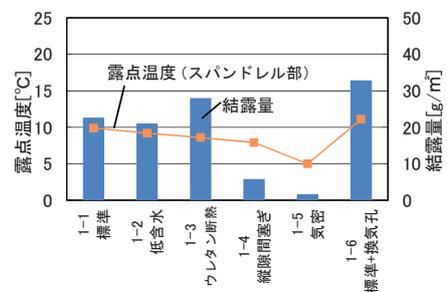


Fig. 2 室内側隙間が結露に及ぼす影響
(Influence of Inside Interstices on Dew Condensation)

次に、模擬日射が有る場合の結露実験を行い、室内側を気密とした条件下で外気側隙間およびケイ酸カルシウム板の仕様が結露に及ぼす影響を把握した。外気側に換気孔を設けると中空層との換気が促進され結露量が少なくなるが、サッシ上下へ 10φ 開口を各 4 個設置しても、結露が解消するには至らないことを示した（Fig.3）。また、ケイ酸カルシウム板の種類がガラス面結露に及ぼす影響は大きく、工場出荷時の初期含水率が低いゾノライト系ケイ酸カルシウム板や、表面に金属板を設けたものは中空層への放湿が少なくなり結露しにくくなることを明らかにした。

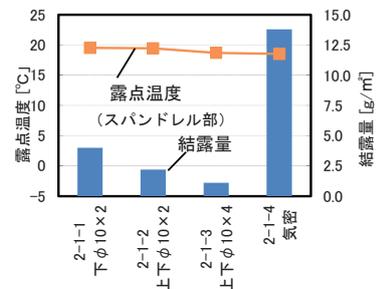


Fig. 3 外気側隙間が結露に及ぼす影響
(Influence of Outside Interstices on Dew Condensation)

博士（工学） 京都大学 2016年3月
Dr. Eng., Kyoto University, Mar. 2016

4. スパンドレル部結露評価のシミュレーション手法の提案と精度検証

ガラスカーテンウォールスパンドレル部の結露対策について検討するための熱・湿気・空気移動の基礎式および数値計算手法を示した。また、吸放湿性能把握実験や結露実験を対象として、精度を検証した。

5. シミュレーションによるスパンドレル結露対策の検討

開発した結露評価シミュレーションプログラムを用いてスパンドレル部 (Fig.4) を対象としたケーススタディーを行い、結露対策について検討を行った。

まず、建物の運用時の結露について検討した。高層建築の場合、建物壁面の内外差圧は高さで異なるため、上・中・下層階における結露対策について検討を行い、以下の結果を得た。

- ・結露排水弁がある場合はスパンドレル部に対する外気・室内空気の流入出に高さによる差があり、低層階では外気が流入し、高層階では室内空気が流入する。そのため、基準階と比べると低層階の結露量は減少し、中層階・高層階では増加する (Fig.5)。
- ・6 mm×60 mmの換気孔を上下に各4個設けると、高層階においても外気換気量が多く、結露をほぼ解消できる。
- ・ガラスをペアガラスとすることも大きな効果がある。

次に、施工中にスパンドレル部にて発生する結露に関して、検討を行い、以下の結果を得た。

- ・標準的な仕様 (室内側隙間「ガスケット」、外気側隙間「10φ結露排水弁2個」、ケイ酸カルシウム板の塗装色「白」) では、季節・方位によらず施工中にガラス面で結露が発生する。
- ・ガラス面に保水する期間は1ヵ月程度と一時的な結露であるため、様子を見ることも対応となりうる (Fig.6)。
- ・結露量は冬季の南が最も多く、他の方位および中間期・夏季は少ない (Fig.7)。
- ・外気側に6 mm×60 mmの換気孔を上下に各4個設けると結露は解消する。
- ・ケイ酸カルシウム板裏面にウレタンを施工した場合や塗装色をグレーにした場合は結露量が多くなる。

6. まとめ

本研究では、ガラスカーテンウォールのスパンドレル部にて発生する結露に対して、まずスパンドレルを構成する材料の湿気物性値と隙間特性を把握し、実験により結露の発生性状を明らかにするとともに、対策の方向性について検討を行った。次に、スパンドレル部の結露を評価するシミュレーションプログラムを作成し、実験結果を用いてその精度を検証した。そのプログラムを用いて、運用段階の結露および施工中の結露に対して検討を行い、結露対策としてケイ酸カルシウム板の表面にアルミ板を用いて室内側隙間をシールすること、外気側に換気孔を設けること、が有効であることなどを示した。

キーワード: 結露, シミュレーション, ガラスカーテンウォール, スパンドレル, ケイ酸カルシウム板, 吸放湿
 Keywords : dew condensation, simulation, glass curtain wall, spandrel, calcium silicate board, absorption and desorption

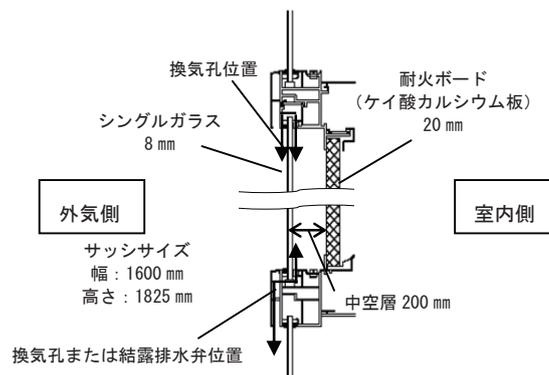


Fig. 4 検討対象スパンドレル部 (Part of Spandrel for Examination Object)



Fig. 5 運用時の各方位高さ毎の結露量 (Dew Condensation in Operation Related to Orientation and Floor Height)

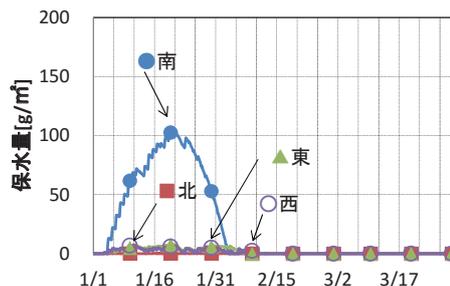


Fig. 6 施工中の各方位の結露 (Dew Condensation Under Construction Related to Orientation)

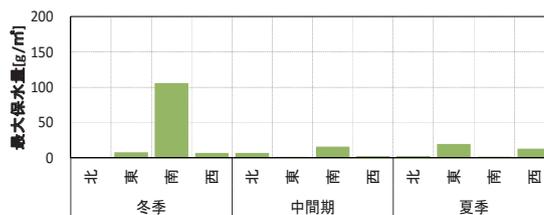


Fig. 7 施工中の季節別・方位別結露量 (Dew Condensation Under Construction Related to Season and Orientation)