

鉄骨下地（リップ溝形鋼にふき材を留め付け）における 「かん合形立平ぶき」の圧力箱試験 その3

一般社団法人 日本金属屋根協会 技術委員会

1. はじめに

前報¹⁾に引き続き、各層の間の空気圧（以下、層間圧）の測定結果および考察について詳報する。

平板ぶき構法における圧力箱試験の試験体は現実の平板ぶき屋根構造の構成を模倣し、「ふき材」、「下ぶき材」および「野地板」の3つの層によって構成される。これらの各層はそれぞれ完全な気密性が確保されているわけでは

なく、各層にはある程度の漏気があり、その漏気性はそれぞれの素材や構法によっても異なるため、それぞれの層間圧も変動する。

3つの層の構成と層間圧の測定に関しその概念図を図1に示す。層間圧1および2はそれぞれビニルパイプを經由し外部に導かれ、圧力計に接続される。

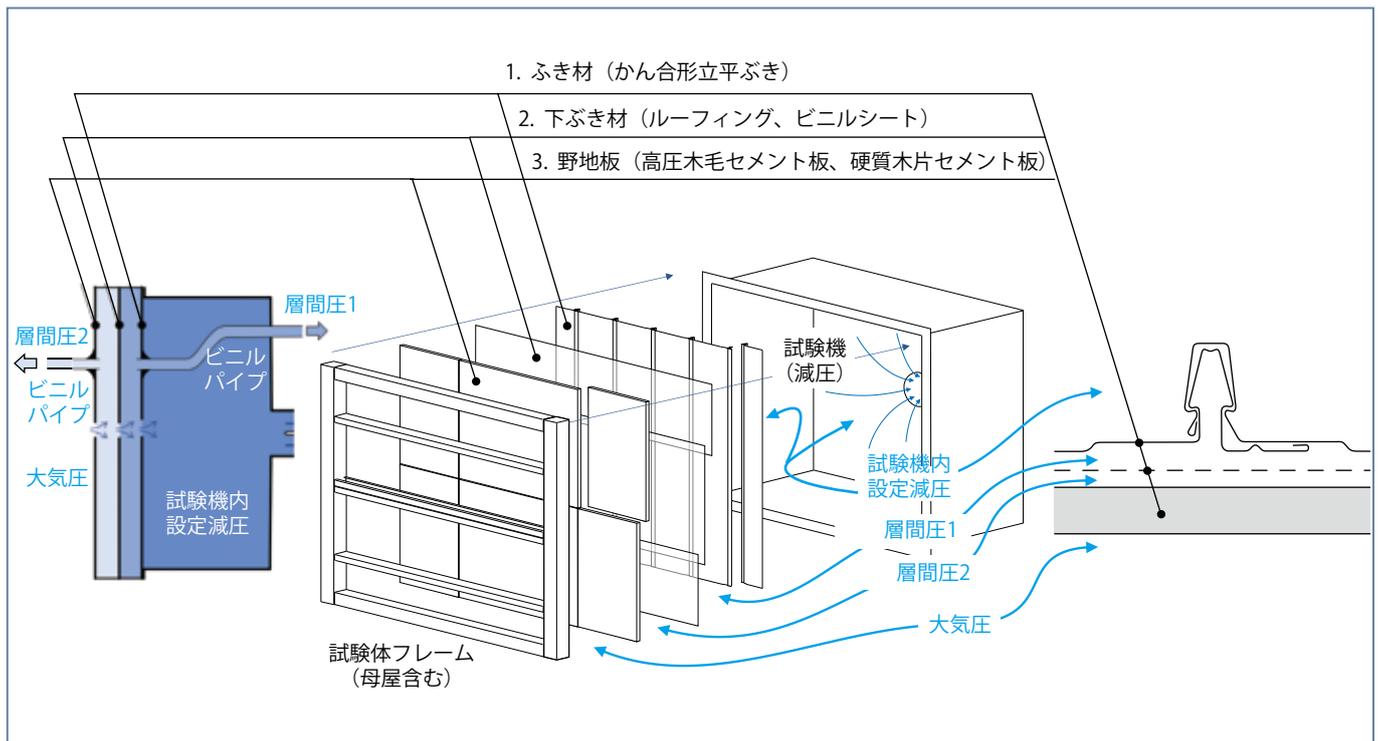


図1 3つの層の構成と層間圧の測定

2. 層間圧の測定結果

各試験体のパラメータと層間圧など各部位の実測結果を表1に示す。ここでは最大荷重時における実測結果を示している。

また設定圧と各部位の実測圧のグラフを図2に示す。横軸を設定圧、縦軸を実測圧とし、青は圧力箱内、赤が層間圧1、そして緑は層間圧2を示している。

ここで今回の実測圧力計の最小計量値は ≈ 12.5 [Pa]程度であるため、1の位の数値には基本的に意味はない。また圧力箱機器の運転設定圧と圧力箱内の実測値とではわずかな差異がある。変動する流体の圧力測定なのでこの程度の測定誤差は含んでいるものと考えられる。

表1 各試験体のパラメータと層間圧など各部位の実測結果

試験体 No.		試験体のパラメータ						試験結果			
		ふき材		下ふき材	野地板		2021年度 試験体の 比較趣旨	最大荷重時			
		板厚 [mm]	ホット メルト 接着剤		通気孔	機器運転 設定圧 [Pa]		実測圧			
		圧力箱内圧 [Pa]	層間圧 1 [Pa]	層間圧 2 [Pa]							
2021年度 鉄骨下地 (ふき材は C形鋼に 留め付け)	s1	かん 合形 立平 ぶき	0.40	なし	ビニルシート (気密用)	90φ	標準	-9,000	-8,975	-2,550	-12
	s2				硬質木片セメント板 t=18 [mm]	なし	s2 - s4 通気孔の有無	-8,500	-8,488	-212	-88
	s3				高圧木毛セメント板 t=25 [mm]	なし	s2 - s3 野地板差異	-8,000	-7,975	-438	-50
	s4				硬質木片セメント板 t=18 [mm]	90φ	s1 - s4 下ふき材差異	-8,500	-8,475	-75	0

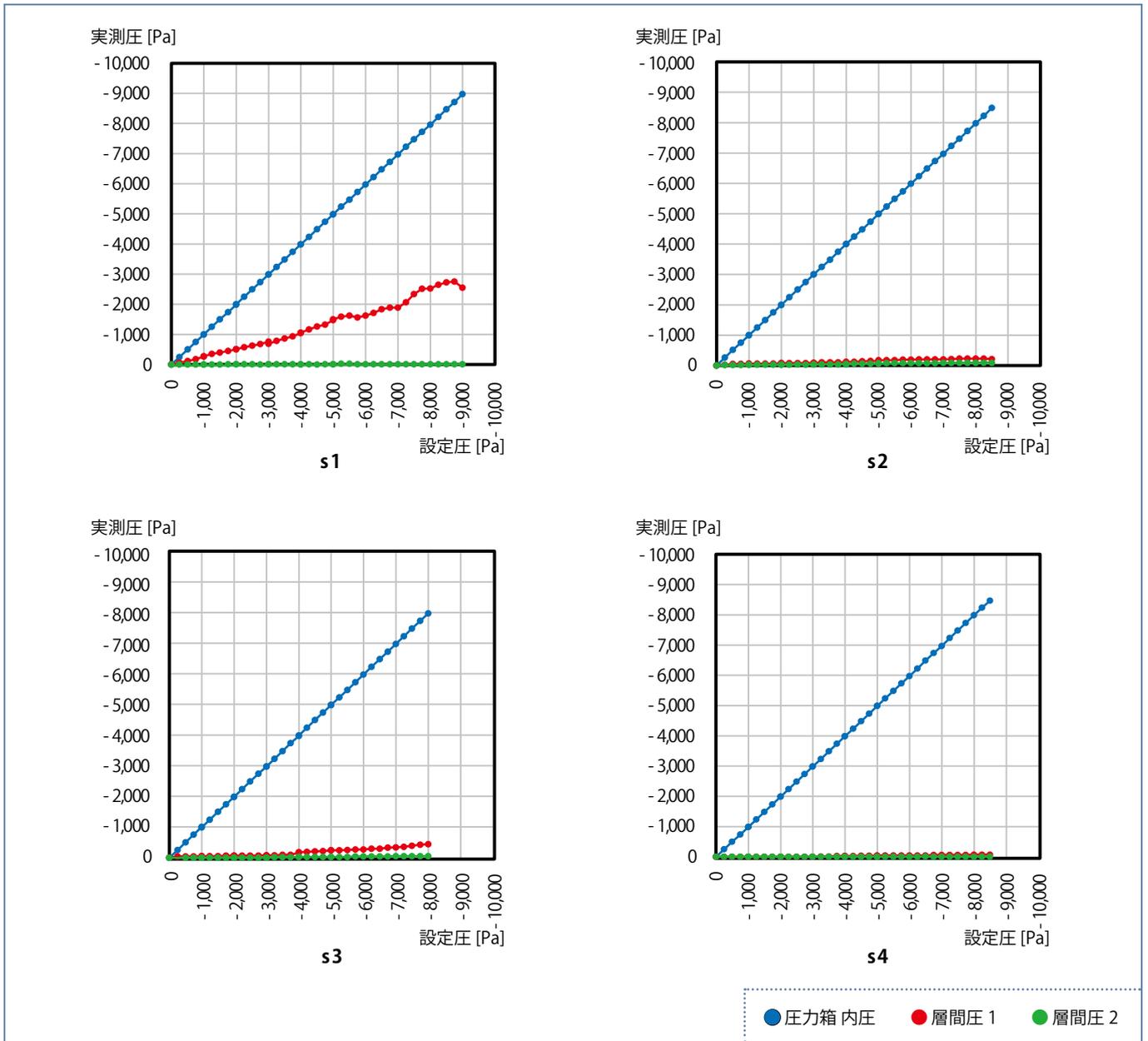


図2 設定圧と各部位の実測圧

3. 各層の負担圧と差圧に関する考察

基本的に、各層の負担圧はその層を挟む両側の空間の圧力差（以下、「差圧」）である。ただし、下ぶき材（ルーフィングおよびビニルシート）についてはそれ自身の剛性がほぼ“0”であるため、テント状に突っ張るような張力がかからない限り、差圧を負担することができない。

特にビニルシートにおいてはあえて張力がかからないように意図的な“たるみ”をあらかじめ十分に設けてある。つまり下ぶき材は受けた圧力そのままにふき材（かん合形立平ぶき）にもたれかかり、圧をそのままふき材に伝え、結果的に下ぶき材の負担圧もふき材が負担しているものと考えられる。各層の負担圧と差圧の概念図を図3に示す。

今回の試験結果においては、野地板の負担圧が「大気圧（ここでは基準値“0”）- 層間圧 2」であり、ふき材の負担圧は「圧力箱内圧 - 層間圧 2」となる。野地板およびふき材の負担圧をそれぞれ表2に示す。

試験体 s1 および s4 は野地板通気孔（90φ）ありなので、野地板の負担圧は基本的にほぼ“0 [Pa]”である。試験体 s1 は野地板負担圧が“-12 [Pa]”となっはいるが、実測圧力計の最小計量値が≒ 12.5 [Pa] であるため、測定機器システムが最小値を拾った測定誤差と考えられる。

一方、試験体 s2 および s3 においては野地板通気孔がないため、野地板にもある程度の負担圧が発生するものと予想していたにもかかわらず、野地板の負担圧は極めて小さく、ふき材の負担圧と比べると≒ 1/100 程度以下に過ぎない。

今回の試験においては野地板の通気孔の有無にかかわらず、機器設定圧のほとんどをふき材（かん合形立平ぶき）が負担していることが確認された。

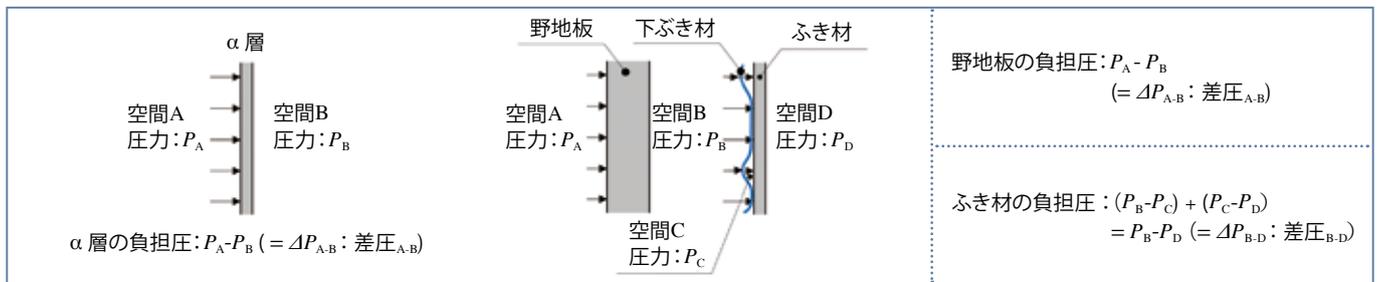


図3 各層の負担圧と差圧の概念

表2 最大荷重時の野地板およびふき材の負担圧と有効開口面積比率

試験体 No.	試験体のパラメータ				最大荷重時					
	下ぶき材	野地板		2021年度試験体の比較趣旨	設定圧 [Pa]	負担圧		ふき材を“1”とした時の有効開口面積比率		
		通気孔				野地板 [Pa]	ふき材 [Pa]	野地板	下ぶき材	ふき材
s1	ビニルシート (気密用)	硬質木片セメント板 t=18 [mm]	90φ	標準	-9,000	-12	-8,988	∞	1.6	1
s2			なし	s2 - s4 通気孔の有無	-8,500	-88	-8,412	9.7	8.1	1
s3	アスファルトルーフィング 940	高圧木毛セメント板 t=25 [mm]	なし	s2 - s3 野地板差異	-8,000	-50	-7,950	12.3	4.4	1
s4		硬質木片セメント板 t=18 [mm]	90φ	s1 - s4 下ぶき材差異	-8,500	0	-8,500	∞	10.6	1

4. 各層の漏気と有効開口面積に関する考察

建築環境工学において時間当たりの換気量： Q [m^3/s] は、一般的に [1] 式で与えられることが広く知られている²⁾。換気量の一般式と概念を図4に示す。この [1] 式の右辺の αA 項は有効開口面積とされ、通常の一般的な窓においては $\alpha=0.60 \sim 0.70$ 程度の値が与えられる。窓の実面積： A [m^2] に対し、有効開口面積： αA [m^2] は6～7割低減する。また、平方根の項は開口部を通過する空気の色度を表しており、これは図5に示すベルヌーイの定理の展開によって [2] 式として導かれる。

この [1] 式を今回の実験に当てはめる時に考慮すべきは、圧力差の桁の差異である。まず図5の [2] 式の導出において、 ρ ：流体密度（空気の場合は、約 1.2 [kg/m^3]) は圧力の変動にかかわらず一定値と置いている。

建築環境工学における日常的な風で発生する室内外圧力

差はせいぜい 100 [Pa] から大きくても $1,000$ [Pa] 程度までと考えられるが、これは標準大気圧 ($1,013.25$ [hPa]) $\approx 100,000$ [Pa] に比べて極めて小さな値であるため、圧力変動による ρ ：流体密度の変化は十分無視できるものである。

一方、今回の実験では圧力差が約 $10,000$ [Pa] 弱に達し、これは標準大気圧の $\approx 1/10$ であるため、 ρ ：流体密度も約1割程度は変動するものと考えられる。

つまり [1] 式を今回の実験にそのまま適用しようとした場合、 ρ ：流体密度の変動分、約1割程度は誤差が出るものと考えられるが、ここではこの誤差を含み置いた上で以下の論を進めるものとする。

今回の実験モデルと式の展開を図6に示す。定常状態（各部の測定圧が安定した状態）において各材の変形状態

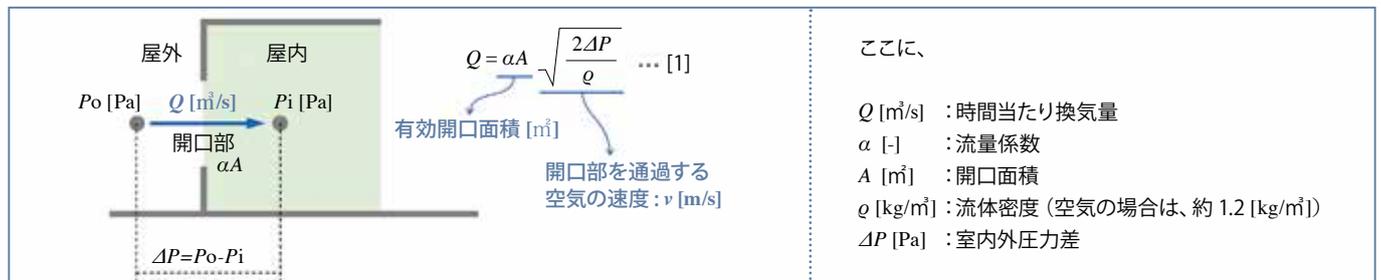


図4 建築環境工学における換気量の一般式と概念

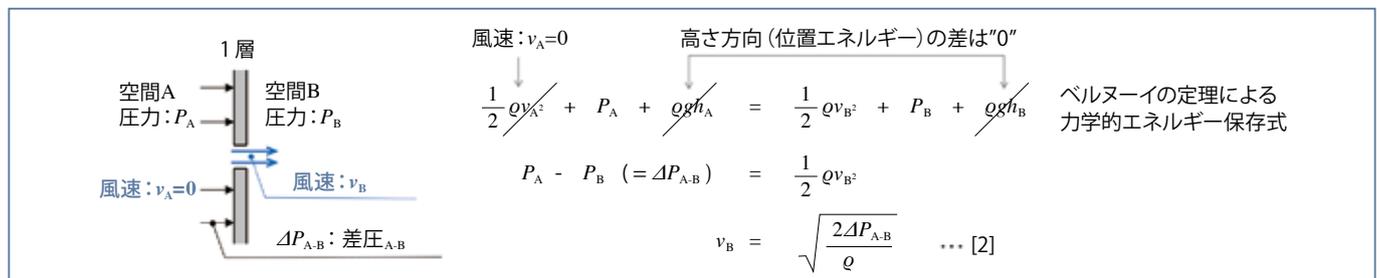


図5 ベルヌーイの定理から導かれる開口を通過する空気の色度の式

と層間空間の体積が安定している時、各層の時間当たりの通気量： $Q_{I \sim III}$ [m³/s] が全て等しくなるため、[3] 式が成り立つ。この式は、各層それぞれの有効開口面積の比率が各層それぞれの差圧の平方根の逆数の比率に等しいこと、つまり [4] 式が成り立つことを示している。ふき材（かん合形立平ぶき）の有効開口面積を "1" とした場合の各層の有効開口面積比率を [4] 式から算出し、表 2 に示す。試験体 s1 は野地板負担圧が "-12 [Pa]" を示していたが、野地板通気孔（90 φ）ありの試験体なので、野地板負担圧を "0 [Pa]" として算出した。野地板負担圧を "0 [Pa]" とした場合、計算上の有効開口面積比率は "∞" となる。

ふき材（かん合形立平ぶき）の有効開口面積を "1" とした場合、ビニルシートの同面積比率が "1.6"、アスファルトルーフィングが "4.4 ~ 10.6"、野地板（通気口なし）が "9.7 ~ 12.3" となった。ビニルシートはビス穴が開くため完全気密は保たれてはいないにせよ、ふき材よりも有効開口面積が大きい。ビス穴部分のビニルシートの破れが载荷の過程において漸増している可能性がある。また野地板（通気口なし）の有効開口面積は、ふき材の≒ 10 倍以上程度もある。ふき材（かん合形立平ぶき）は極めて気密性が高いことがわかる。

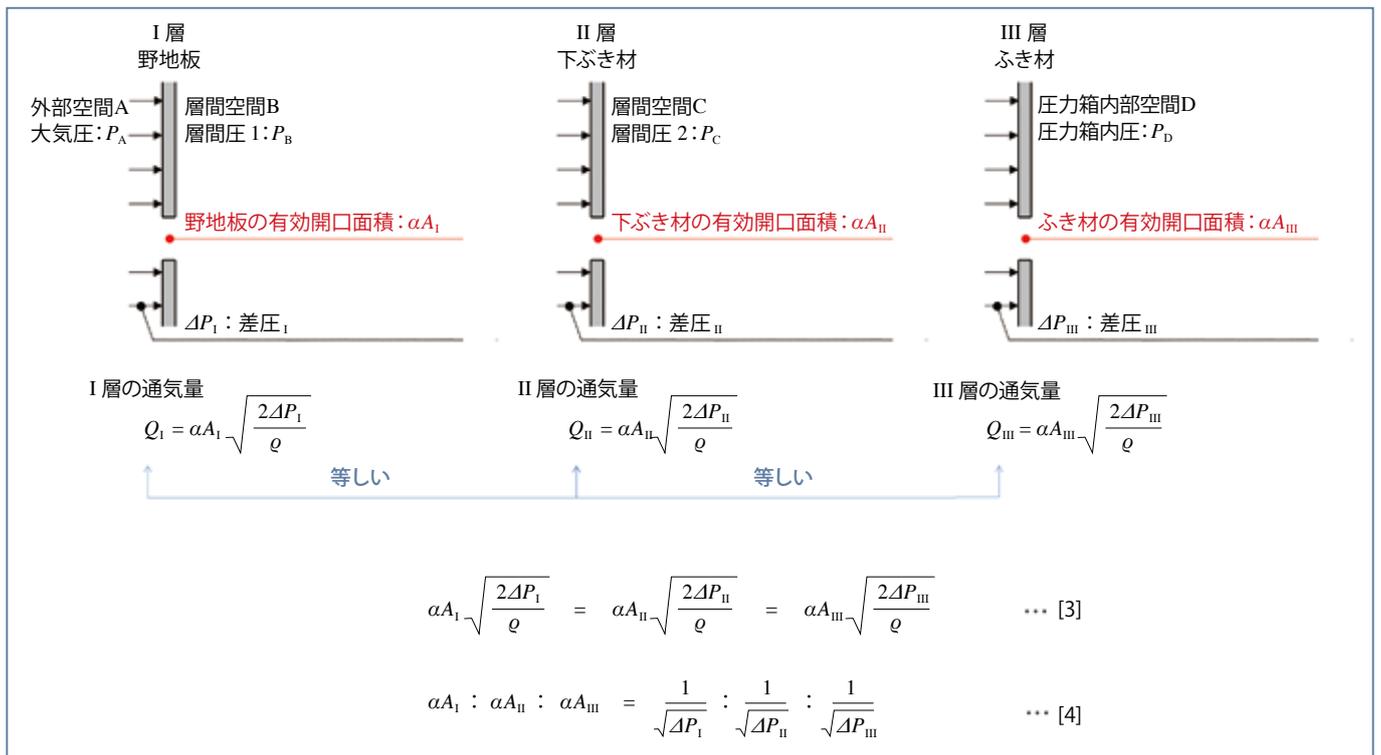


図 6 実験モデルと式の展開



写真1 試験体の製作、野地板の開孔とビニールシート



写真2 試験中圧力箱外部



写真3 試験後の確認

6. まとめ

今回の試験において、ふき材（かん合形立平ぶき）は野地板通気口の有無にかかわらず、機器設定圧のほとんどを負担していることを確認した。

また、ふき材（かん合形立平ぶき）の有効開口面積を“1”とした場合、ビニールシートの同面積比率が“1.6”、アスファルトルーフィングが“4.4～10.6”、野地板（通気口なし）が“9.7～12.3”となった。

ただし、この有効開口面積比率の算出においては約1割程度の誤差が見込まれ、この誤差の発生要因を本稿に示した。

【参考文献】

- 1) 一般社団法人 日本金属屋根協会・技術委員会「鉄骨下地（リップ溝形鋼にふき材を留め付け）における「かん合形立平ぶき」の圧力箱試験 その2-圧力箱試験における層間圧の挙動の概要について-」一般社団法人 日本金属屋根協会 機関紙「施工と管理 2022年5月 No.680」
- 2) 名古屋大学大学院環境学研究科 建築科学研究グループ
「<https://lee-lab.net/blog-contents-003/>」