

乾式断熱防水屋根工法「レヂノファミリールーフ®」

Dry Heat-Insulating-Roofing System “Resino Family Roof”

長岐 大三 NAGAKI Daizo JFE 鋼板 商品開発センター 加工商品開発室 課長
宮腰 昌平 MIYAKOSHI Shohei JFE 鋼板 建材部門 総括室 課長補
上蘭 五男 UEZONO Itsuo JFE 鋼板 建設建材部 プロジェクト営業室 特別囑託

要旨

JFE 鋼板は、床型枠用鋼製デッキプレート「ハイデッキ R100®」を下地に、断熱材、防水塩ビシート材などを組み合わせて、水密性の優れたシート防水システムである乾式断熱防水屋根工法「レヂノファミリールーフ®」を開発した。下地のデッキプレートは意匠性に優れ、さらに 4 m のロングスパンで 30 分屋根耐火の認定も取得した。また、デッキプレートの独特な形状が起因し、断熱性は約 10% 向上し、雨音騒音に対する性能も内部にロックウールを充填することにより、音圧レベルで最大約 9 dB の低減効果を得た。本報では、その概要と試験結果について報告する。

Abstract:

JFE Galvanizing & Coating developed dry heat-insulating-roofing system, “Resino Family Roof.” It consists of a steel deck plate, “Hi-Deck R100,” for concrete slab moulding as the backing and a heat insulating and a water-proof sheet. Steel deck plate of the backing is good at the design and is authorized for the fire-resistance of roof-30 minutes with the span of 4 m. The unique form of Hi-Deck R100 improves adiabatic performance by about 10%. When rock wool is filled inside of the deck plate, power sound level of rainy noise is decreased by maximum about 9 dB.

1. はじめに

JFE 鋼板は折板などの金属屋根製品を多数保有しており、グループ会社の JFE 日建板を中心に、主に工場、倉庫向けに金属屋根事業を展開している。金属屋根は軽量性、加工性に優れ、カラー鋼板開発以降の昭和 30 年代から折板を中心に全国的に急速に普及した¹⁾。しかし、建築物の用途、デザインの多様化とともに、建築物の屋根に対して高い防水性、断熱性などが要求されるようになり、近年金属屋根は対象建築物用途が比較的限定される傾向があった。

一方、1990 年後半頃から、技術進歩により耐候性・耐久性が飛躍的に向上した塩ビ系防水シート、オレフィン系防水シートを中心に、金属下地（折板、デッキプレート）の上に機械的固定断熱防水を施工し、表面の防水層は露出させる単層シート防水工法が開発された。また、2002 年の建築基準法改正にともなう性能規定化により、屋根耐火性能の技術的基準が明確化され金属下地単体で 30 分屋根耐火認定の取得が可能となった。

以上を背景とし、床型枠用鋼製デッキプレート「ハイデッキ®」を改良した「ハイデッキ R100®」を金属下地とし、多種多様な建築物に対応できる安価で高性能な乾式断熱防水工法「レヂノファミリールーフ」の開発を行った。本稿

では本工法の各種性能について紹介する。

2. 開発コンセプト

本工法の基本開発コンセプトは、安価で軽量、水密性に優れる金属下地乾式断熱シート防水工法において、さらに以下性能を実現することである。

- (1) 耐火性能の向上
- (2) 断熱性能の向上
- (3) 雨音騒音に対して有効な措置が可能
- (4) 下面（天井面）の意匠性の向上

上記を実現するべく、金属下地は Fig. 1 に示す形状のハイデッキ R100 とした。この形状は、(a) デッキプレートの構造強度を担うリブが屋根構面内部に位置し、火災時の火炎に直接接しない、(b) デッキプレート内部に連続した空気層を保持する、(c) 下面がフラットなパネル状となり、かつ接合用のファスナーが屋根構面内に隠れるという特徴を持ち、各性能に大きく寄与することが期待できる。

3. レヂノファミリールーフの概要

Fig. 2 に本工法の全体図を、Fig. 3 に断面図を示す。防水シートには、塩化ビニル樹脂を母材としポリエステルメッ

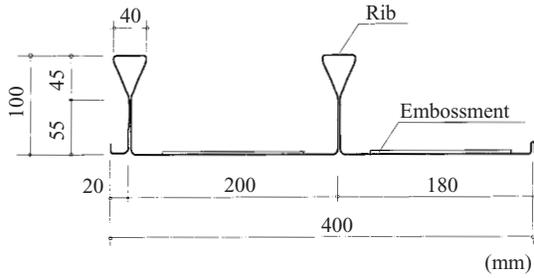


Fig. 1 Section of deck-plate "Hideck-R100"

Table 1 Standard of Hideck-R100

Thickness	JIS	Mechanical property			Surface coating
		YP (N/mm ²)	TS (N/mm ²)	EL (%)	
0.8 1.0	SDP1TG	≧205	≧270	≧18	Z12 Z27 AZ90 AZ120 AZ150
	SDP2G	≧235	≧400	≧17	

YP: Yield point, TS: Tensile strength, EL: Elongation

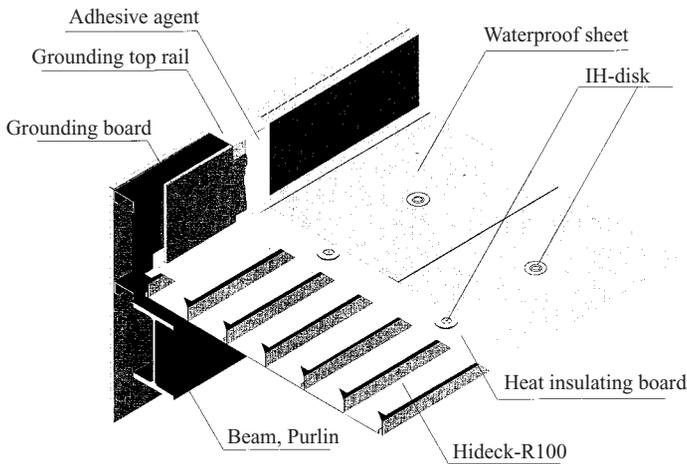


Fig. 2 System of Resino Family Roof

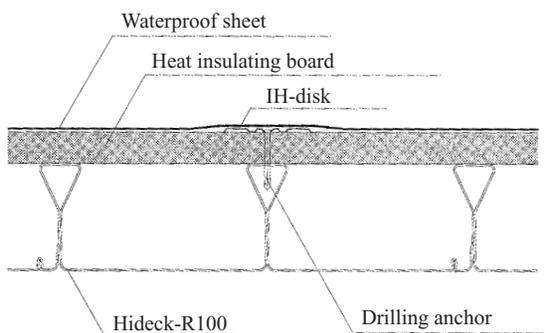


Fig. 3 Section of Resino Family Roof

シユ層で補強され耐久性の優れた厚さ 1.5 mm 以上の高分子系防水シートを採用している。断熱材は、イソシアヌレート系、ポリスチレン系、フェノール系の 3 種類から選択可能で、施工時の踏抜強度を考慮し、厚さ 30 mm 以上かつ補強面材付を標準仕様としている。シートと断熱材は IH 工法により下地のハイデッキ R100 と接合される。IH 工法とは、表面に接着剤を塗布したステンレス製の IH ディスクと防水シートとを誘導加熱を利用して接合する機械的固定方法のことである。従来の熱風・溶剤工法と比べ作業工程が減少し、作業時間が短縮されると同時に、接合部の品質の安定化が図れる。ハイデッキ R100 と小梁または母屋の接合は発射打込釘またはドリリングタッピンねじにて行

う。Table 1 にハイデッキ R100 の規格表を示す。

4. レジノファミリールーフの性能

4.1 耐火性能

レジノファミリールーフを構成する金属下地材として、ハイデッキ R100 は下記の条件において単体で屋根 30 min 耐火構造の国土交通大臣認定（認定番号：FP030RF-0084）を取得した。認定条件のうち主な条項を下記に示す。

- (1) 支持間隔（母屋芯相互）：4 000 mm 以下
- (2) ハイデッキ R-100 の素材鋼板板厚： $t = 0.8$ mm 以上

耐火性能評価は（財）建材試験センター中央試験所にて実施した。637.5 N/m² の荷重条件にて標準加熱曲線に準じた 30 min 加熱を行い、最大たわみ量が規定値以下かつ火炎の噴出および火炎の通る亀裂などの損傷がないことを確認した。鋼材温度測定位置の模式図および各部温度の平均データを Fig. 4 に示す。

従来の波板形状、折板形状による金属下地材の場合では鋼板のほぼ全面が直接加熱火炎に接するため鋼板温度の上昇とともに大幅に材料強度が低下するが²⁾、ハイデッキ R100 ではリブは直接火炎に接することがない。また、リブがラジエーターの役割を果たし鋼材温度の上昇を大幅に抑制するため材料強度を維持できる。そのため、既往のデッキプレートでは 3 000 mm 強程度が限界であった支持スパンは 4 000 mm まで拡大し、従来にないロングスパンによる認定取得が可能となった。試験開始から 30 min 経過時点において標準加熱温度（ハイデッキ R100 下面、炉内温度）は 841.8°C となる。この時、直接火炎に接する C 点（鋼板面）温度は 710°C 前後にまで達するが、B 点（リブの付根）においては 580°C 前後、また A 点（リブの頂点）においては 300°C 弱まで鋼材温度上昇が抑制されていることが分かる。B 点は C 点と同様に直接火炎に接しているが、リブ全体からの放熱にともない B 点からリブへ熱が流失し、鋼材温度上昇を抑制しているものと考えられる。

また、最大たわみ量曲線を Fig. 5 に示す。最大たわみ量（111.8 mm）は規定値（ $L^2/400d = 380$ mm）を大きく下まわり、従来にないロングスパンにおいても十分な耐火変形性能を有していることを確認した。

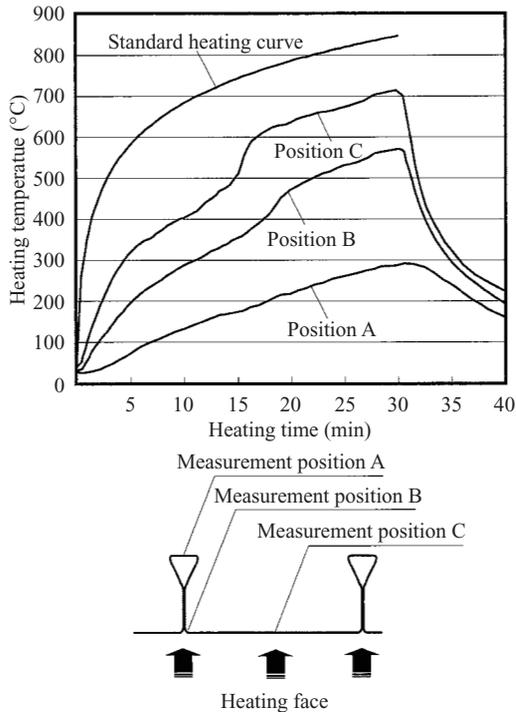


Fig. 4 Temperature measurement position and measuring curve

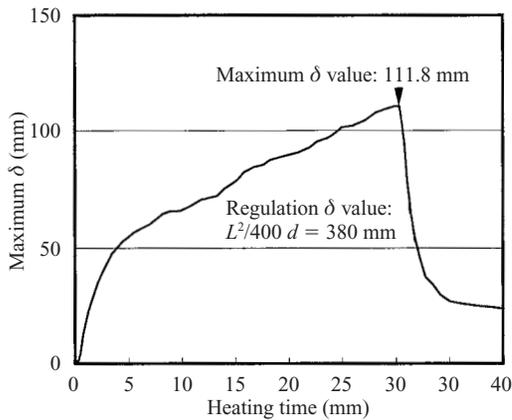


Fig. 5 Maximum δ curve

4.2 断熱・防露性能

4.2.1 断熱性能

レヂノファミリールーフの熱貫流率を Table 2 に示す。ハイデッキ R100 内部の中空層一般部とハイデッキ R100 による熱橋部とを評価し、実質貫流率 $K = 0.5841 \text{ W/m}^2\text{K}$ を得た。通常のデッキプレート下地では同様の計算によると $K = 0.6359 \text{ W/m}^2\text{K}$ となり、つまりレヂノファミリールーフはこの中空層の存在により他形状デッキプレート下地乾式シート防水工法と比較して約 10%断熱性能が向上している。

熱橋部を含む壁体の断熱性能の評価式は以下を採用した³⁾。

Table 2 Heat insulating ability of Resino Family Roof

Material	Resistance of heat transfer	
	K_1	K_2
Out side surface resistance ($\text{m}^2\text{K/W}$)	0.040 0	0.040 0
Water proof sheet ($t: 1.5$) ($\text{m}^2\text{K/W}$)	0.007 2	0.007 2
Heat insulating board ($t: 30$) ($\text{m}^2\text{K/W}$)	1.435 4	1.435 4
Hideck-R100 ($t: 0.8$) ($\text{m}^2\text{K/W}$)	-	0.001 9
Mid-air space ($\text{m}^2\text{K/W}$)	0.180 0	-
In side surface resistance ($\text{m}^2\text{K/W}$)	0.090 0	0.090 0
Σ ($\text{m}^2\text{K/W}$)	1.752 6	1.574 5
Heat transmission coefficient, K_n ($\text{W/m}^2\text{K}$)	0.570 6	0.635 1
Average K_n, K_A ($\text{W/m}^2\text{K}$)	0.571 1	
Heat bridge coefficient, $\beta_{0,2}$	1.023	
Total heat transmission coefficient, K ($\text{W/m}^2\text{K}$)	0.584 1	

$$K = \beta \times K_A$$

$$K_A = (S_1 K_1 + S_2 K_2 + S_3 K_3 \dots) / (S_1 + S_2 + S_3 \dots)$$

$$K_i = 1 / \Sigma r_j$$

$$\beta = \beta_{L,1} + (K_1 / K_{A,2}) (L_1 / L_2 - 1) (\beta_{L,1} - 1)$$

K : 実質熱貫流率 ($\text{W/m}^2\text{K}$)

β : 熱橋係数

K_A : 平均熱貫流率 ($\text{W/m}^2\text{K}$)

S_i : 第 i 番目の異種断面部分の面積 (m^2)

K_i : 第 i 番目の異種断面部分の熱貫流率 ($\text{W/m}^2\text{K}$)

r_j : 第 j 番目の壁層の熱抵抗 ($\text{m}^2\text{K/W}$)

4.2.2 防露性能

Fig. 6 に示すセルフドリルアンカー熱橋部の影響を三次元定常伝熱計算により検討した。ここでは、貫通アンカーの有無による室内表面温度の変化と、貫通アンカーの室内側表面温度の最低値が露点温度以上であることを確認した。

(1) シミュレーション方法

(a) 計算モデル

貫通ビス部分を中心に、XY方向とも $\pm 250 \text{ mm}$ の範囲についてモデル化した。アンカーおよびデッキ中空部は等価断面の矩形に置換し、デッキ中空部の水蒸気圧は室内と同じと仮定した。

(b) 外気条件

気象データは、茨城県 東茨城郡 茨城町に近接するアメダス観測地点 茨城県 水戸市 (最寒月日

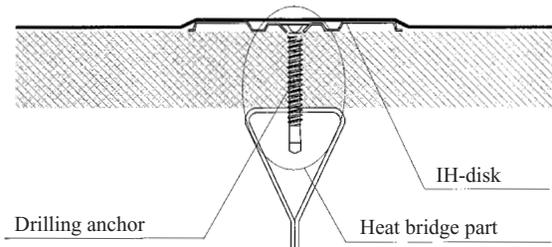


Fig. 6 Heat bridge of connection

最低気温平均値 -2.2°C を選択した。計算用外気温度は、対象が屋根であることを考慮して、放射冷却の影響を加え次式より求めた。

$$\begin{aligned} \text{SAT} &= -2.2 + 1/24 \times (-70 \times 0.9) \\ &= -4.825 \rightarrow -4.9^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

ただし、放射冷却 -70 W/m^2 、長波長放射率 0.9、表面熱伝達率 $24 \text{ W/m}^2\text{K}$ とした。

(c) 室内条件

室内温度を 18°C 、室内相対湿度を 75% と仮定した。

(d) 判定条件

設定室内条件での露点温度は 13.5°C となるため、本検討での判定条件は「アンカー室内側最低温度 $> 13.5^{\circ}\text{C}$ 」とした。

(2) 検討結果

Fig. 7 に外気側熱橋範囲、Fig. 8 に非熱橋部の温度分布、Fig. 9 にアンカー貫通部の温度分布を示す。アンカーが断熱材を貫通して室内側に達し、構造的には熱橋となっているものの、アンカー貫通部の室内側最低温度が 15.4°C であるのに対し、非貫通部の最高温度は 15.9°C であり、熱橋の影響による温度低下はほとんど認められない。すなわち、貫通するアンカーは、熱橋としての特別な配慮は不要であり、アンカー貫通部分も非貫通部と同等と評価しても実用上の問題はないと考えられる。

4.3 雨音騒音性能

4.3.1 試験方法

雨音による室内騒音を評価するには、雨滴が屋根面に衝突した際に発する雨音騒音のパワーを評価する必要がある。しかしながら、雨音騒音は、降雨量および風速等の環境条件により絶対パワーが異なり⁴⁾、評価が困難である。そこで、試験方法は以下と計画した⁵⁾。

- (1) 試験体相互の比較試験とした。
- (2) 比較的簡易で短時間・同一条件による測定が可能な小試験体試験（試験体寸法 $530 \text{ mm} \times 460 \text{ mm}$ ）で予備試験を行った。

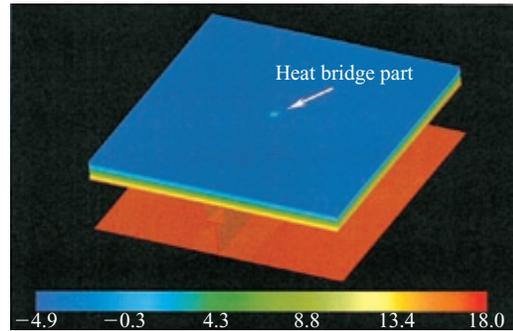


Fig. 7 Temperature distribution on the outside

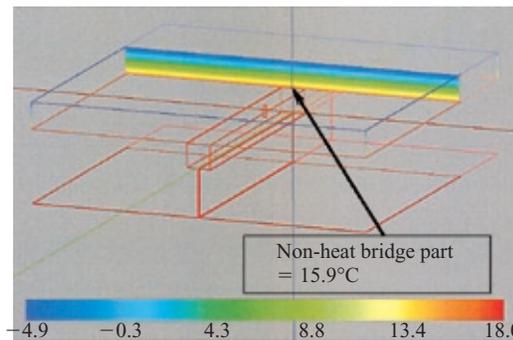


Fig. 8 Temperature distribution on non-heat bridge part

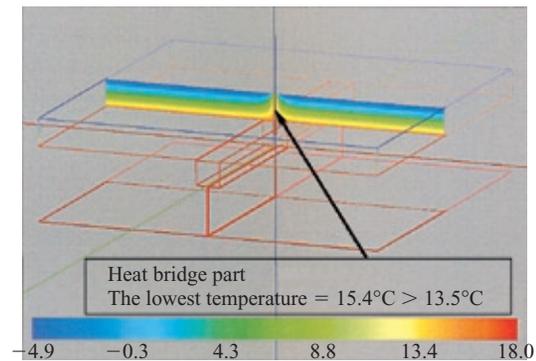


Fig. 9 Temperature distribution on heat bridge part

- (3) 大試料試験（試験体寸法 $1480 \text{ mm} \times 2083 \text{ mm}$ ）を行い試験体相互の比較を行った。
- (4) 各々の試験は人口降雨による試験装置で行い、参考として、一滴雨滴加振による測定も行った。

以上の方法により、一定の降雨強度のもとで屋根試験体から発せられる雨音騒音を騒音計を通して収録した。同時に音圧レベル、振動加速度レベル、室内残響時間を収録し、音響パワーレベルを算出した。なお、試験は東洋大学工学部建築学科藤井研究室の協力を得て行った。

4.3.2 試験装置

Fig. 10 に大試料試験装置を示す。人口降雨試験は、大試料、小試料とも高さ 5.5 m の位置より雨量換算 150 mm/h 相当として測定した。また、小試料試験は、試験体直下から 10 cm にマイクロフォン、試験体下面中央に振動ピックアップを取り付け、雨衝撃時の振動を DAT に

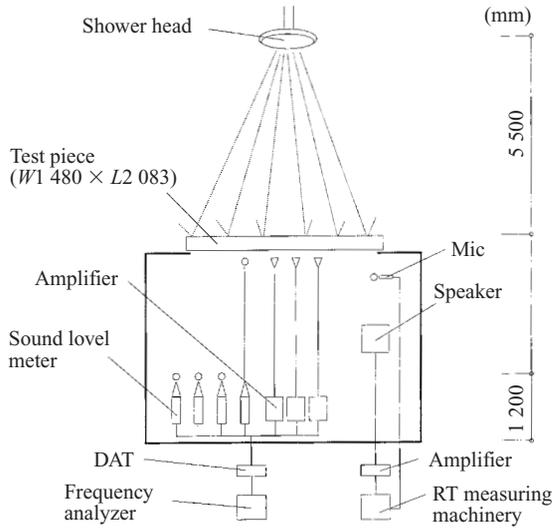


Fig. 10 Testing equipment for rainy noise

取り込み、FFTと計算機により音圧レベルおよび振動加速度レベルを算出した。また、大試料試験は音圧レベルを試験体直下10cmの1点と室内中央屋根面下1.7m点に5ヶ所マイクロフォンと騒音計を設置した。同時に、屋根下面中央と斜め1/4の2点に振動ピックアップを取り付け、小試料試験と同様に音圧レベルと振動加速度レベルを算出した。

4.3.3 試験体

試験体仕様をTable 3に示す。レヂノファミリールーフの標準仕様と耐雨音騒音仕様として中空部にロックウールを充填した仕様(1層および2層)で比較した。ロックウールは、質量則を増大させると同時に空気伝搬音を軽減させ、雨音騒音性能の向上が期待できる。また、大試料試験では比較用として従来の断熱二重折板も測定した。

4.3.4 試験結果

Fig. 11に小試料試験による音圧レベル比較を示す。どの試験体も一様に1kHz近辺でピークを迎えており、これは一般的な金属屋根の雨音騒音と同様の傾向である。ピーク時の1kHzで比較すると、標準仕様に比べRW×1層仕様、RW×2層仕様はそれぞれ3.9dB、8.7dBの騒音低減効果が得られた。

次に、大試料試験による音圧レベル比較、パワーレベル比較をFig. 12, 13に示す。試験体相互の相対的な比較値は少試料試験と非常に良く似た結果となった。また、小試料試験と同様に、どの試験体も一様に1kHz近辺でピークを迎えている。ただし、小試料試験と異なり、ピーク時の1kHzから低周波数域にかけて非常に緩やかな減衰曲線を描いている。これは逆に小試験体箱内寸法による影響と推測される。パワーレベルの結果から、聴覚的に影響するA特性において断熱二重折板と比較すると、レヂノファミリールーフの標準仕様、RW×1層仕様、RW×2層仕様はそれぞれ約3.5dB、7.5dB、12.5dBの低減効果が得られた。

Table 3 Test piece

Case number	Case name	Section of test piece (mm)
1	Standard	Water proof sheet (t: 1.5) Heat insulating board (t: 35) Hideck-R100 (t: 0.8)
2	RW × 1 layer	Water proof sheet (t: 1.5) Heat insulating board (t: 35) Rockwool (t: 50 × 1) Hideck-R100 (t: 0.8)
3	RW × 2 layer	Water proof sheet (t: 1.5) Heat insulating board (t: 35) Rockwool (t: 50 × 2) Hideck-R100 (t: 0.8)
4	Insulation roof	Roof deck (t: 0.8) Glass fiber (t: 100) Roof deck (t: 0.8) (Only for test 2 (big piece test))

これは、雨滴が衝突する屋根表層材が鋼板に比べ柔らかい防水シートに因る若干の高周波数域振動低減と、内部に充填したロックウールに因る相乗効果と推測される。なお、測定音圧レベルからパワーレベルの算出は実用的近似式として以下の式を採用した。

$$PWL = SPL - 10\log_{10}4S/A$$

$$A = 0.161V/RT$$

RT: 残響時間 (s)

V: 容積 (m³)

S: 屋根面放射面積 (m²)

A: 吸音力 (m²)

SPL: 音圧レベル (dB)

PWL: パワーレベル (dB)

また、環境騒音の一つの評価指標であるN曲線⁶⁾およびNC曲線⁷⁾による評価では、耳障りな高周波数域での音圧

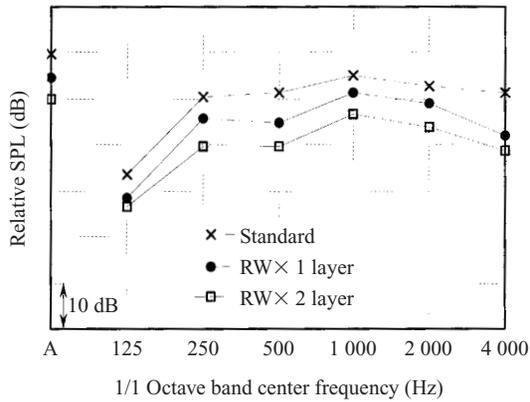


Fig. 11 Comparison of rainy noise-SPL (Small test piece)

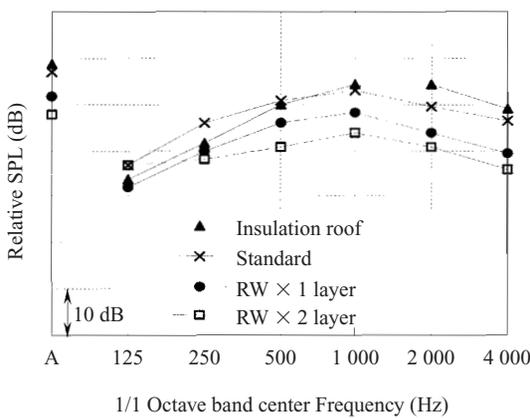


Fig. 12 Comparison of rainy noise-SPL (Big test piece)

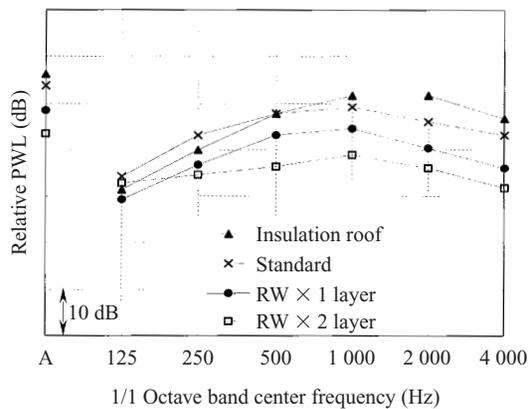


Fig. 13 Comparison of rainy noise-PWL (Big test piece)

レベルに対して厳しくなる。つまり、断熱二重折板とレヂノファミリールーフを比較すると、高周波数域での騒音低減効果が大きいレヂノファミリールーフがより高い評価を得ることが考えられる。

4.4 意匠性

レヂノファミリールーフは、パネル状のフラットな天井面を実現しており、接合用ファスナーを屋根構面内部に隠れる接合形式のため、非常に良好な外観を形成する。



Photo 1 Example of ceiling finish

Photo 1 に適用例を示す。

5. おわりに

レヂノファミリールーフの性能を以下にまとめる。

- (1) ハイデッキ R100 の独自形状に依拠する高い耐火性能により、従来にないロングスパンでの屋根 30 min 耐火構造認定を取得した（認定番号：FP030RF-0084）。
- (2) 内部の空気層の存在で断熱性能が約 10% 向上する。
- (3) 防水シート接合部のドリルアンカー熱橋部は防露上特に問題にならない程度である。
- (4) 雨音騒音に対して、従来の断熱二重折板に比べ A 特性にて約 2.5 dB 向上する。
- (5) 内部の中空層を利用しロックウールを 1 層、2 層と充填すると、雨音騒音に対し A 特性でそれぞれ約 4 dB, 9 dB 性能が向上し、屋根構面の厚さを変えることなく雨音騒音に対し有効な対策を講じることが可能である。
- (6) 金属下地にハイデッキ R100 を使用することで、フラットなパネル状の天井外観を実現した。

以上より、レヂノファミリールーフは、シート防水工法の特徴である高い水密性に加え、耐火、断熱、雨音騒音性能、意匠性に優れた高性能な断熱乾式防水屋根工法と言える。

昨今の地球温暖化における夏季冷房負荷の増大、さらに 2004 年の多数の大型台風襲来などを背景に、近年、断熱性能、室内騒音性能、構造安全性能、そして屋上緑化への適応性など、屋根に要求される諸性能が高まりつつある。今後もこのような性能向上案件に対しても積極的に開発・提案を行っていきたい。

雨音騒音測定試験に際し、設備の使用および実施についてご指導およびご協力をいただいた東洋大学工学部建築学科の藤井先生に謝意を表します。

参考文献

- 1) 日本屋根経済新聞社. 屋根の知識. 1994, p. 63.
- 2) たとえば長尾覚博ほか. 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2000, p. 75-76.
- 3) 建築環境・省エネルギー機構. 住宅の省エネルギー基準の解説. 2000, p. 71-86.
- 4) たとえば菅広見ほか. 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東北). 1991, p. 401-402.
- 5) 藤井弘義ほか. 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東). 1988, p. 365-366.
- 6) 日本建築学会. 遮音性能基準と設計指針. 2002, p. 2-8.
- 7) 日本音響材料協会. 騒音対策ハンドブック. 1974, p. 30-32.



長岐 大三



宮腰 昌平



上蘭 五男