# しずかエース®の降雨騒音に対する減音効果の実測と予測

Measurement and Prediction of Rainfall Noise Reduction Effects of Shizuka-Ace®

池田宏\*吉田孝\*2 三村一男\*2 Hiroshi Ikeda Takashi Yoshida Kazuo Mimura

概 要 降雨時に発生する金属屋根面からの雨音騒音を,朝暘武道館(山形県鶴岡市)において現 地測定した。実測対象場所は,しずかエースを貼合した制振屋根仕様の大武道場と,制振処理を施さ ない従来屋根仕様の遠的射場の二箇所で,降雨量や周波数にも依存するが,同じ降雨量で両者を比較 すると,制振タイプが非制振タイプよりも約3 dB程度の騒音低減効果が確認できた。更に,降雨量 の増加による騒音レベル上昇は顕著で,おおむね降雨量が倍増すれば,騒音レベルは5 dB程度上昇 することが分かった。これら結果より,降雨時の大空間における室内音響を,面音源からの伝搬計算 を用いて予測し,実測値と比較検討した。

## 1. はじめに

降雨時の雨滴衝撃により発生する金属屋根特有の雨音は,瓦 やスレート葺きなどの屋根の雨音に比べて非常に大きく,屋根 所有者や近隣に対する騒音として問題視されることもあり,こ の降雨騒音を低減させることが金属屋根の課題であった。

そこで当社は,金属屋根の軽量性,加工性,及び施工性等の 特徴を損なうことなく,降雨騒音を低減させる金属屋根用制振 断熱材しずかエース®を開発した。このしずかエースは,制振 樹脂とアルミ箔,及び架橋ポリエチレン発泡体の3層からなり, 金属屋根の裏側に制振樹脂の持つ粘着力で直接貼合して使用す る。すなわち,しずかエースの制振断熱機能は,制振樹脂層を 屋根金属板とアルミ箔とで挟み込んだ拘束型のサンドイッチ構 造をとることにより,雨滴の衝撃力で生じる振動を内部減衰さ せる制振機能に加え,屋内側の結露防止を目的とした発泡体の 断熱機能を兼ね備えた複合機能を有する。

一方,これまで水滴加振による実験室レベルの基礎実験や, 人工降雨設備による小型模型実験などで,しずかエースの降雨 騒音低減効果を評価し,金属屋根への適用性をPRしてきたが, 実際の建物における自然降雨での降雨騒音の実態は,数例を除 いてほとんど調査できていないのが実状であった。

ところが今回,このしずかエースが山形県鶴岡市内の朝暘武 道館の大型屋根に採用され,鶴岡市役所の御協力のもと自然降 雨による室内の降雨騒音を実測する機会が得られた。

そこで,各降雨量での騒音低減効果を把握するため,しずか エースを全面施工した武道館大武道場(写真1)と,従来の金 属屋根にて施工した制振処理を施さない別棟の遠的射場(写真 2)にて,降雨時の室内での音圧レベルを同時計測し,両者の 室内音場を比較検討したので報告する。

- \* 環境 エネルギー研究所 高分子材料技術センター
- \*2 産業機材事業部 発泡製品部 製造部 技術サービスG



写真1 朝暘武道館全景(大武道場側) View of Chouyo martial arts gymnasium (main building)



写真2 朝暘武道館全景(遠的射場側) View of Chouyo martial arts gymnasium (Japanese archery building)





図1 朝暘武道館断面図 Outline of the cross-section of Chouyo martial arts gymnasium



図2 朝暘武道館平面図(1階) Outline of the plane of Chouyo martial arts gymnasium (1st floor)



図3 測定対象屋根の断面構成図 Schematics of the construction of the roof structures

# 2. 実測内容

# 2.1 実測対象屋根

降雨時に金属屋根面から発生する室内側での降雨騒音を,朝 場武道館において現地測定した。武道館全体の略断面図と1階 部分の平面図をそれぞれ図1,図2に示す。

今回の実測対象場所は,しずかエースを全面施工して制振処 理した武道館全体のうち,特に大武道場部分の屋根(以下,制 振タイプという)と,従来の金属屋根を施工した制振処理のな



図4 拘束型制振材(しずかエース)の構成図 Schematic illustration of constrained damping materials (Shizuka-Ace)



図5 しずかエースの制振特性 Experimental results of loss factors for beam plates of damping material and steel roof

い遠的射場の屋根(以下,非制振タイプという)の二箇所であ

り,各々の実測対象とした空間は以下のようなサイズである。

・武道館大武道場: 42.7 W×35.0 L×21.9 H(32,730 m<sup>2</sup>)

・別棟遠的射場:20.0 W×17.0 L×6.0 H(2,040 m<sup>2</sup>)

なお,測定時は都合上,武道館の大武道場と剣道場とを可動 間仕切壁にて完全に区分けして実測した。

また,両者の屋根断面構成図は図3に示すように,屋根材に 係わる仕様は,しずかエースが挿入されている以外は同じであ るが,遠的射場のみ空気層を挟んで天井材が施工されている。

ここで,当社の金属屋根用制振断熱材であるしずかエースの 具体的な構成は,架橋発泡ポリエチレン断熱材(4 mmt,0.10 kg/m<sup>2</sup>)と,アルミ拘束材(0.15 mmt,0.43 kg/m<sup>2</sup>)及びセパ レータとの中間層に制振性アクリル系樹脂粘着剤(0.135 mmt, 0.15 kg/m<sup>2</sup>)を貼合したものであり,その断面構成を図4に示 す。

更に,しずかエースの制振性能を表す指標として,損失係数の周波数依存性を図5に示す。ここでは,鋼板0.4 mmtに上記 制振性アクリル系樹脂/アルミ拘束材のみを貼合した短冊状ビ ーム(300 × 30 mm)と,これらを貼合しない同サイズの短冊 状鋼板を試験体とし,中央加振法により損失係数の周波数依存 性を室温(25)にて評価した。



図6 測定箇所と測定システム Schematics of the measurement position and set-up for the measurement



写真3 大武道場測定場所 Measured points in the main building



写真4 遠的射場測定場所 Measured points in the Japanese archery building

## 2.2 実測方法

測定ポイントは図6に示すように,実測対象となる制振タイ プ屋根裏面に屋根面より0.3 m離した位置(大武道場屋根裏直 下)と,その鉛直延長線上に屋根面より5.0 m(大武道場中間 点),及び20.0 m(大武道場立位)の位置に騒音計を計3台,



図7 降雨騒音測定結果(降雨量:15.7 mm/h) Results of typical one-third-octave band frequency spectra <A-weighted sound pressure level> (Precipitation: 15.7 mm/h)

同様に非制振タイプの屋根裏面より0.3 m(別棟遠的射場屋根 裏直下)離した天井裏に騒音計を1台設置して,同時比較でき るようにした。

なお,騒音計はすべて同一機種(リオン製NL-05)を用い, 測定ポイント4点とも降雨騒音を同時にデータレコーダー(ソ ニー製PC208Ax)に収録するとともに,降雨量を雨量計にて モニターしながら実測した。得られた録音データを周波数分析 器(リオン製SA-30)にて,1/3オクタープバンド周波数ごと の音圧レベル,あるいはA特性聴感補正音圧レベル(以下,騒 音レベルという)を分析した。実測場所の状況を写真3,4に 示す。

また,両室内の音響的性質を把握するため,各室内に置いた スピーカからホワイトノイズを発生させ,ノイズオフしたとき の室内残響特性からオールパス(A.P.値)での残響時間を概算 した。

# 3. 実測結果

## 3.1 周波数特性

雨量計にて計測した雨水量を1時間当たりの降雨量に換算し た降雨量が,4.9 mm/h,7.7 mm/h,10.4 mm/h,15.7 mm/h, 17.1 mm/hに達した時間帯において,制振タイプ,及び非制振 タイプの各測定点にて観測された降雨音を周波数分析し,1/3 オクタープバンド中心周波数ごとの騒音レベルで評価した。こ こでは,特に降雨量が15.7 mm/hという豪雨に匹敵する時点 での騒音レベルを図7に示す。これより,制振タイプと非制振 タイプを比較すると,800 Hz以外の特に中高周波数帯域にお いて明らかな差異が認められる。これは,図5の損失係数の周 波数依存性データに整合する。また,この実測値をいわゆる NC曲線<sup>10</sup>に載せると図8のようになり,制振タイプの中間点と 立位付近は,NC-50以下の音場であることから,豪雨時におい ても通常の会話にはあまり支障がないものと判断できる。

#### 3.2 降雨量依存性

上記した各降雨量での制振タイプと非制振タイプにおける騒 音レベルのA.P.値を縦軸に,降雨量を横軸にプロットし,その 近似曲線,及び近似式を図9に示した。 3.3 残響時間

武道館大武道場内,及び遠的射場内での各測定点における残 響時間を表1に示す。残響時間はオールパス(A.P.値)での残 響特性から算出したもので,計3回測定した結果を算術平均し たものである。

#### 4. 室内音響の予測

# 4.1 室内音響理論

対象とする室内が完全な拡散音場と仮定すれば,雨滴により 発生する降雨音の室内におけるエネルギー密度は,観測点の場



図8 降雨騒音のNC曲線との比較(降雨量: 15.7 mm/h) Determination of Noise Criterion at each position (Precipitation: 15.7 mm/h)



図9 降雨量と騒音レベルとの関係 Relation between fitting curve and overall A-weighted sound pressure level at each position as a function of precipitation 所によらず室内すべて同一であるが,実際には音源である屋根 に近い点が遠い点よりも大きい。このように,室内では音源か らの直接音と,直接音が周壁にて反射してくる拡散音が合成さ れた音場が形成されるため,場所により音圧分布が異なる。ま た,雨滴加振により屋根全体から一様に降雨音が放射されてい る場合,この屋根面を雨滴による点音源が無数に分布する面音 源として考えることができる。

ここで図10に示すように,一般に長方形の面音源(a×b) から,その垂線距離rにある観測点における音圧レベルは,

 $L_{\rm r} = L_{\rm w} - 8 + 10 \log_{10} U$ 

ここで,

*L*<sub>r</sub>:観測点での音圧レベル ( dB )

 $L_{w}$ : 音源の単位面積当たりのパワーレベル (dB)

U:矩形状面音源からの距離減衰を与える実用的近似式

$$U = \frac{\pi}{2} \ln \frac{\left(A + 1 + A^2\right)\left(B + 1 + B^2\right)}{A + B + 1 + A^2 + B^2 + kAB}$$
$$A = a/r, B = b/r$$
$$k = 0.727$$

で与えられ<sup>2)-3)</sup>,面音源から予測地点までの距離rが分かれ ば任意の場所の予測が可能となる。

ここで,上式にある音源の単位面積当たりのパワーレベル *L*wは,拡散音場内の各受音点での音圧レベル実測値と,残響 時間から算出した室内吸音力とから,面音源全体の音響パワー レベルを求め,面音源の面積よりこれを単位面積当たりに変換 して求められる。



図10 面音源からの伝搬計算 Calculation model for evaluation of sound propagation from a finite large plane radiating source

測定場所		残響時間( s )	平均吸音率	室定数	室容積(m³)	室表面積(m <sup>2</sup> )
大武道場	立位	2.98	0.274	2410	32730	6392
	中間点	2.51	0.325	3079		
	屋根裏直下	2.39	0.341	3314		
遠的射場	屋根裏直下	1.83	0.158	211	2040	1124
医山利场	屋似表且下	1.05	0.136	211	2040	1124

表1 残響時間測定結果 Results of reverberation time at each measurement point

65



図11 相対音圧レベルの予測値と実測値の比較 Comparison between predicted and measured relative sound pressure level as a function of precipitation

#### 4.2 予測値と実測値の比較

前項から求められた各受音点における音圧レベルの予測値 と,測定結果から得られた実測値の両方を,まずA特性の聴感 補正にて騒音レベルに変換し,更に降雨量が15.7 mm/hのと きの遠的射場における実測値を基準値(0 dB)になるよう, 各々レベル値を規格化し,降雨量を横軸として相対音圧レベル で各受音点毎に比較した(図11参照)。

これより,規格化した遠的射場での予測値と実測値がほぼ-致(これは,観測点が1点のみであることに由来する)し,ま た大武道場での屋根裏直下,中間点,立位での予測値は,約3 ~4dB徐々にレベル低下する傾向にある。

#### 5. 考察

今回,自然降雨による実測を行った結果,図9に示すように 同じ降雨量で比較すると,制振タイプが非制振タイプよりも約 3 dB程度の騒音低減効果が確認できた。無論,天井材の有無 や吸音力によって若干の効果量は変化することも考えられる が,屋根裏面より0.3 mの近接距離にて計測していることから, しずかエースにより制振処理した効果はあると判断できる。

また,当然のことながら降雨量が増加すれば,制振タイプ, 非制振タイプに係わらず騒音レベルA.P.値がほぼ比例して上昇 し,その近似式から今回の実測範囲内では,降雨量が倍増すれ ば,騒音レベルは5 dB程度上昇することが見込まれる。さら には,比例係数を比べると,非制振タイプのほうが制振タイプ よりも若干大きく,降雨量に対する騒音レベルの増加率はより 大きい。

ところで,降雨量15.7 mm/hにおける音圧レベルをNC曲線 にて評価すると,遠的射場の屋根裏ではNC-55にまで達するが, 制振処理した大武道場の屋根裏ではNC-52と3dB異なり,制 振処理することで音響パワーは半減することとなる。また,大 武道場の屋根裏直下,中間点,及び立位は各々2dB程度の違 いが見られ,仮に大武道場の屋根を制振処理しなかった場合を 想定すると,中間点と立位はNC-50以上になっていたと予想さ れるが,制振処理を行ったことでNC-50以下が保たれると予想 できる。

したがって,降雨量にもよるが,十分な降雨量においても, 中間点や立位では会話に支障を与えないレベルの音場であると 判断できる。

一方,図10に示した予測値は,相対音圧レベルで比較する と傾向は良い一致を示し,また各予測点での予測値と実測値と の差は4 dB程度以内の範囲に収まるが,予測値は距離による 減衰効果を大きく見積もっていることが分かり,屋根全体の音 響パワーレベルの導出と室内の拡散性,残響特性も含めて今後 検討する必要があると考えられる。

#### 6. まとめ

以上,自然降雨実測により実際に制振材料を貼合した制振タ イプは非制振タイプよりも,約3 dB 程度の降雨騒音低減効果 が認められた。

また,降雨量が増加すれば,騒音レベルA.P.値がほぼ比例して上昇し,おおむね降雨量が倍増すれば,騒音レベルは5 dB 程度上昇することが見込まれる。

相対音圧レベルで予測値と実測値を比較すると,降雨量に対 する傾向は良い一致を示し,また各予測点での予測値と実測値 との差は4dB程度以内の範囲に収まることが分かった。

## 7. 今後の課題

制振材料のコストダウンを念頭に材料開発を系統的に行うた め,降雨騒音と損失係数など基本的な相関関係を把握すること が必要である。また,建築物の設計段階で音響設計を行う場合, 今回用いた予測式では距離による減衰効果を大きく見積もる傾 向がある。降雨騒音の予測を更に精度良く行うためには,室内 音響特性をより考慮した予測式を導入し,比較検討することが 今後の課題である。

## 謝辞

今回の降雨騒音実測に大変な御助力,御協力を頂きました, 鶴岡市役所建設部の皆様,並びに朝暘武道館関係者の皆様には, 心より感謝すると同時に,厚く御礼申し上げます。また,実測 時には藤井鉄工所殿に御協力頂いたことに感謝致します。

#### 参考文献

- 1) Leo L. Beranek: Noise and vibration control, Institute of noise control engineering(1988)
- 2) 実務的騒音対策指針(第二版)日本建築学会(技報堂出版)
- 3) 制振材料利用技術資料(社)鋼材倶楽部