

(技術資料)

低騒音制振アルミ屋根の開発と神戸ウィングスタジアムへの適用

木下伸一*・杉本明男*・田中俊光(工博)*・橋村 徹**・東元正洋***・岩井健治(工博)* **

*技術開発本部・機械研究所 **アルミ・鋼カンパニー・技術部 ***アルミ・鋼カンパニー・長府製造所・製造部
****アルミ・鋼カンパニー・アルミ押出・加工品営業部

Development and Application of a Low Noise Type Aluminum Roof for “ Kobe Wing Stadium ”

Shinichi Kinoshita・Akio Sugimoto・Dr. Toshimitsu Tanaka・Toru Hashimura・Masahiro Higashimoto・Dr. Kenji Iwai

Aluminum roof was planned to be built on the stadium of the large construction with big space because of aluminum's lightness and high corrosion resistance. However, due to worries concerning low acoustic transmission loss and too much noise when it rained, a low noise aluminum roof using a high damping resin and unique structure was researched and developed. This roof has been successfully installed at the newly completed Kobe Wing Stadium.

まえがき = 球技場などのように大空間を形成する構造物が多く建設されるようになり、その中でも開閉式の屋根が採用されることも多くなった。このように、大空間を形成する開閉式の屋根では、軽量性が重要となる。また、保守性を考慮すると耐食性の良い材料が求められる。それらを満足する金属材料の一つとして、アルミ材があげられる。

一方、球技場などが民家の近くに建設されると、歓声などの騒音が問題となることがある。また、降雨時には屋根をたたきつける雨音騒音が懸念される。これらの点を鑑み、軽量で耐食性が良好なアルミ材を用いて、遮音性が高く雨音にも配慮した屋根の開発を進めてきた。そして、2002年サッカー・ワールドカップが行われる神戸のウィングスタジアム(2001年竣工)に採用された。本稿では、その開発経緯について述べる。

1. 環境騒音予測と防音性能達成目標

大空間を形成する構造物の屋根として、従来から用いられている膜材は軽量であるが、遮音性能が低く、騒音問題が懸念された。そこで、まず環境騒音を予測することを試みた。開閉式の屋根を有するスタジアムを例にとり、開閉式の部分には膜構造の屋根を適用し、固定部分には重量物である野地板を敷詰めた上に、ルーフィングで防水を施し、金属板を葺いた構造とした。音源となる歓声のパワーを、スタジアム内に点音源として多数配置して、スタジアム内の吸音効果・距離減衰及び回折減衰、さらに屋根の透過損失などを考慮し、それぞれの音源が

表1 従来工法による環境騒音予測例

Table 1 Predicted environmental noise in the case of conventional roof

	Predicted noise level L_{Aeq} (dBA)	Environmental standard for noise * L_{Aeq} (dBA)	
		Day	Night
Site boundary	52	55	45

* Dwelling area

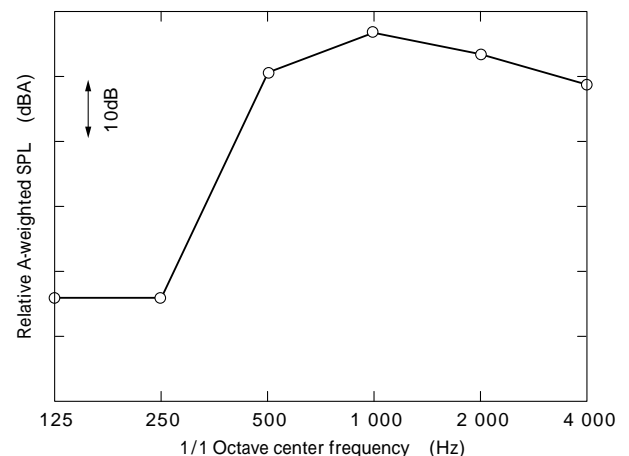


図1 スタジアム歓声の周波数特性

Fig. 1 Frequency characteristics of shout of joy in stadium

らの観測点への寄与を求めて、合計することにより騒音レベルを算出した。なお、歓声の音響パワーはスタジアムが満席状態の場合とし、周波数特性は図1に示す特性を用いた。スタジアム中心から約120m離れた敷地境界の騒音レベル算出結果を表1に示す。敷地境界上で夜間において環境基準値未達となった。そこで、より低騒音な環境を実現するために、防音性能の高いアルミ屋根の開発に着手した。

2. アルミ折板屋根の基本構造

スタジアムに適用を図る制振アルミ屋根は、図2に示すピッチ500mm、高さ166mmの折板構造とした¹⁾。アルミの板厚は1mmで、ロールフォーミングにより成形さ

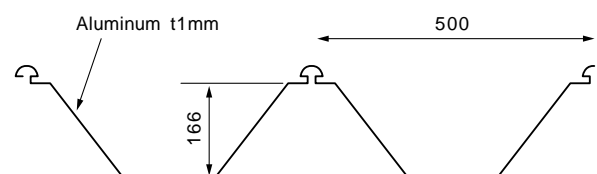


図2 アルミ折板屋根の基本構造断面

Fig. 2 Schematic section of aluminum roof-deck structure

れる。

3. 雨音騒音性能と遮音性能の評価

3.1 雨音試験装置の開発

雨音による環境騒音を評価するためには、雨滴がアルミ屋根に衝突したときに発する雨音騒音のパワーを測定する必要がある。自然の降雨では、降雨強度が一定でないために試験体間の相互比較や絶対パワーを測定するのが困難である。そこで、一定の降雨強度を保持して騒音量を評価出来る雨音試験装置²⁾³⁾を当社研究所内に建設した。図3及び写真1に示すような、上部に開口部を有するALC製の残響室を配し、開口部に屋根試験体を設置するものである。屋根試験体面から高さ5.5mのところを改良したシャワヘッド4個を設置した。このシャワヘッドが雨滴径と降雨強度に関わる重要な部分である。

一定の水量をポンプにより供給し、その水量と降雨面積から降雨強度を算出するものとした。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残響室内で計測し、パワーレベルを算出することにより屋根構造による雨音騒音量が評価できる。

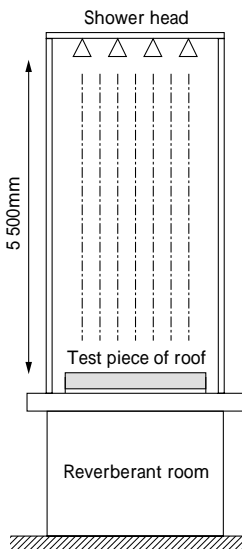


図3 雨音試験装置
Fig. 3 Test equipment for rainy noise



写真1 雨音試験装置
Photo 1 Test equipment for rainy noise

3.2 遮音性能の評価

遮音性能の評価は、当社所有の残響室を使用して、JIS

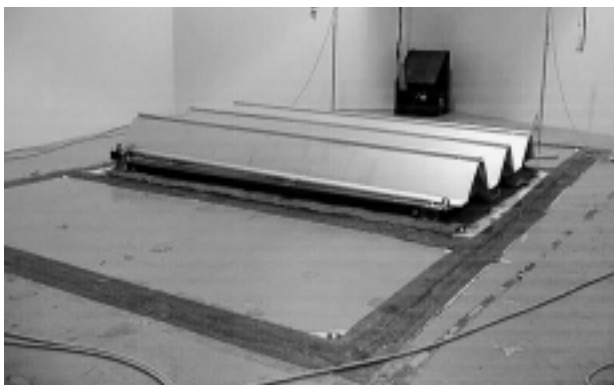


写真2 透過損失試験状況
Photo 2 Test specimen in reverberant room to measure acoustic transmission loss

A 1416 に定められた「実験室における音響透過損失測定方法」に準拠した。測定状況を写真2に示す。

4. 音響性能実験

4.1 試験体と構造条件

雨音性能及び遮音性能実験に使用する試験体は、図4に示すように幅1.6m、長さ2.3mである。実際には評価対象とならない不要な隙間は塞いで音漏れを防止した。また、試験構造条件は表2に示す6種類とし、素材の差異や制振材の有効性及び適切な貼付け面積を検討できるようにした。さらに、大きな遮音性を有する代表例として、グラスウールを充填した2重折板のインシュレーション工法もその一つとした。

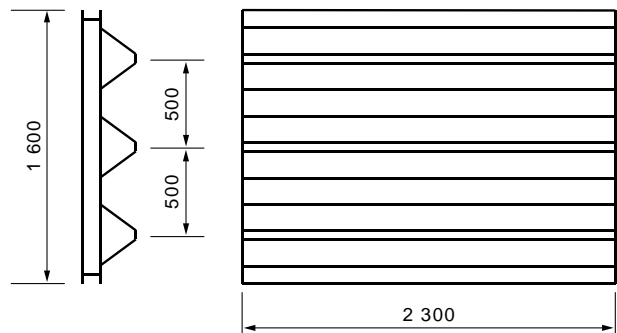


図4 屋根試験体の構造
Fig. 4 Test piece of roof structure

表2 屋根構造条件
Table 2 Roof structures

Case No.	Case name	Structure
1	Steel	Steel t0.6mm
2	Aluminum	Aluminum t1.0mm
3	Aluminum with resin (W80mm x 3)	Aluminum t1.0mm, Resin
4	Aluminum with resin (W500mm)	Aluminum t1.0mm, Resin
5	Aluminum with resin (W660mm)	Aluminum t1.0mm, Resin
6	Aluminum with resin and steel (W500mm)	Aluminum t1.0mm, Resin, Steel t: 0.6mm, Glass fiber

4.2 雨音性能

4.2.1 雨音騒音音響パワーの評価

降雨時に屋根から放射される雨音騒音音響パワーレベルは、基準音源を用いた置換法により算出した。音響放射パワーレベルが既知の基準音源を残響室内に設置し、そのときの残響箱内の平均音圧レベルと、降雨試験時の残響室内平均音圧レベルを用いて、式(1)から単位面積あたりの音響パワーレベルを求めた。

$$P_r = P_0 + (S_{r(\text{avg})} - S_{0(\text{avg})}) - 10 \text{Log} S_0 \dots\dots\dots (1)$$

P_r : 降雨時の屋根から放射される音響パワーレベル (dBA)

P_0 : 基準音源の音響パワーレベル (dBA)

$S_{r(\text{avg})}$: 降雨時の残響室内の平均音圧レベル (dBA)

$S_{0(\text{avg})}$: 基準音源発音時の残響室内の平均音圧レベル (dBA)

S_0 : 残響室に接する屋根有効面 (m²)

4.2.2 降雨量と雨音騒音の関係

雨音騒音は降雨強度 20mm/(h・m²) の場合を想定しているが、製作した降雨試験装置では 50mm/(h・m²) 以下の実現が困難であったため、降雨強度と雨音騒音の関係を調べた。図5に周波数ごとの測定結果を示す。測定した降雨強度範囲では、ほぼ線形関係にあることが分かった。この線形性が降雨強度 0 mm/(h・m²) でも成立つとすると、雨天でない状態でも雨音が発生することになる。よって、降雨強度 20mm/(h・m²) に対して線形性を適用することは、安全側の設計となるので外挿して求めた。

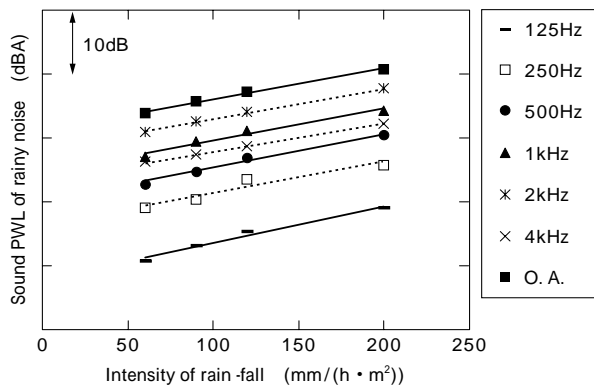


図5 降雨強度と雨音騒音の関係
Fig. 5 Relation of intensity between rain-fall and rainy noise

4.2.3 雨音騒音比較

各試験体において、単位面積あたりから放射される雨音騒音音響パワーレベルを計測した結果が図6である。

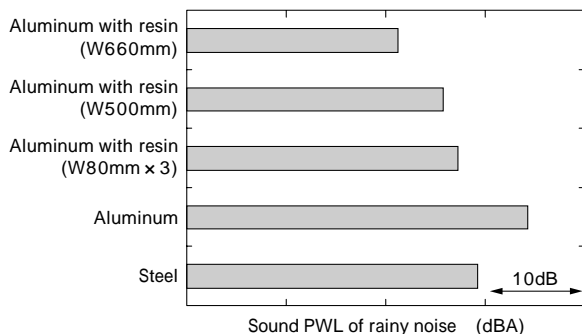


図6 雨音騒音の音響パワーレベル比較
Fig. 6 Sound power level of rainy noise

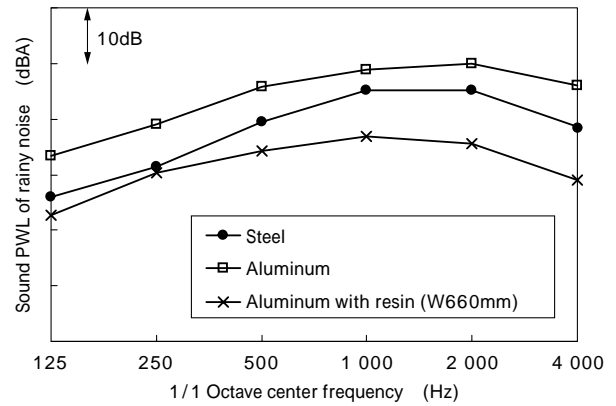


図7 雨音騒音の周波数特性
Fig. 7 Frequency characteristics of rainy noise

アルミ単体では鋼製と比較して 5dB 程度大きくなるが、制振アルミ屋根では鋼製よりも低騒音となり、ほぼ全面制振材を貼付けたものでは、鋼製よりも 8dB 静かな屋根となることが分かった。また、図7に示すように、制振アルミ屋根では耳障りな 1kHz 以上の騒音がより大きく低減していることが分かる。

4.2.4 制振面積と雨音騒音

制振面積と雨音騒音の関係をまとめると図8のようになり、制振面積を 1/3 程度とするだけでも大きな効果が得られるのが分かる。一方、全面を制振することでさらに大きな効果が得られていることから、制振されていない部分の寄与が影響していることも伺える。

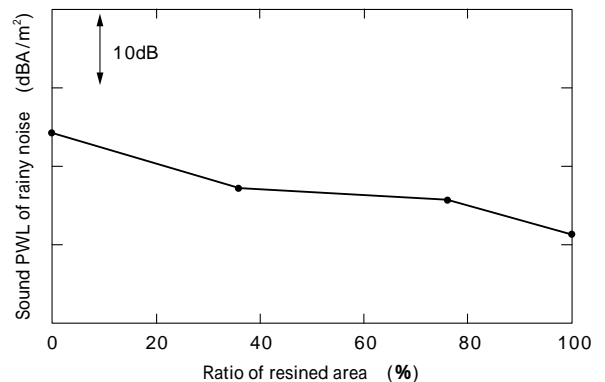


図8 制振材面積と雨音騒音の関係
Fig. 8 Relation between resined area and intensity of rainy noise

4.3 遮音性能

遮音性能は周波数ごとに計測されるが、スタジアム屋根への適用を考慮して、実質的な効果量を明らかにするために、騒音源の周波数特性による重み付けを行った平均透過損失を算出した。図1に示すスタジアム歓声の周波数特性を用いて、式(2)より算出する。

$$TL_w = SPL_{OA} - SPL'_{OA}$$

$$SPL'_{OA} = 10 \text{Log}_{10} \sum_i (10^{(SPL_i - TL_i)/10}) \dots\dots\dots (2)$$

TL_w : スタジアム歓声の周波数特性による重み付け平均透過損失 (dBA)

SPL'_{OA} : 透過損失後のスタジアム歓声のオーバーオール値 (dBA)

SPL_{OA} : スタジアム歓声のオーバーオール値 (dBA)

SPL_i : i 番目の周波数におけるスタジアム歓声の

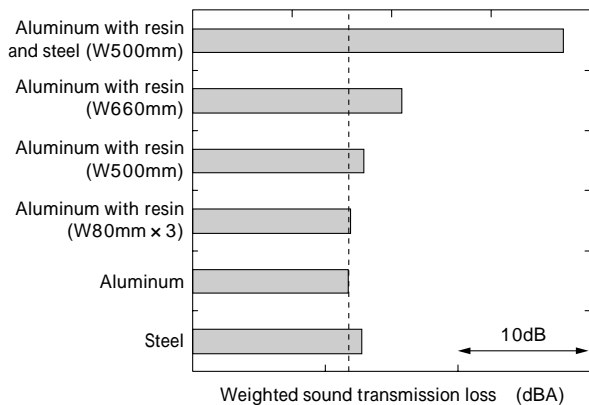


図9 重み付け平均透過損失の比較
Fig. 9 Transmission loss weighted by frequency characteristics of noise source

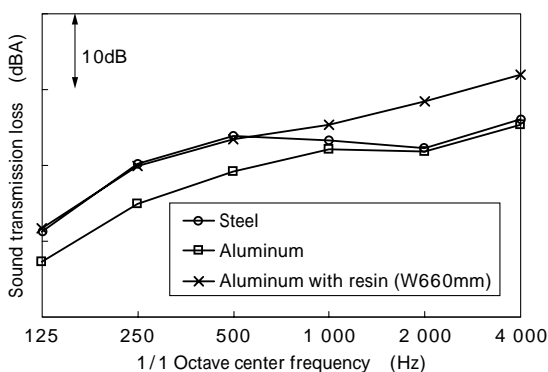


図10 透過損失の周波数特性
Fig.10 Frequency characteristics of acoustic transmission loss

スペクトル (dBA)

TL_i : i 番目の周波数における計測した透過損失 (dB)

各試験体における重み付けを行った平均透過損失の結果を図9に示す。図から明らかなように、2重屋根構造は非常に高い遮音性能を有しており、15dBA以上向上させることが可能である。さらに、3種類の試験体についての周波数特性を図10に示す。アルミ単体では鋼製よりも若干性能が悪くなるが、制振性を付与することにより同等以上となることが分かる。ほぼ全面に制振性を付与した場合 (Case No.5) には、鋼製と比較して3dBA程度向上する。

5. 神戸スタジアムへの適用

以上の実験結果を踏まえ、神戸ウィングスタジアム(写



写真3 神戸ウィングスタジアムに採用された制振アルミ屋根
Photo. 3 Aluminum roof with resin adopted for "Kobe Wing Stadium"

真3)に適用した場合の環境騒音を考慮して、屋根構造を決定した。当スタジアムは、観客席を覆う固定屋根とグラウンド部を覆う移動屋根で構成される。遮音性能が重要となる固定屋根には、制振アルミ折板インシュレーション工法 (Case No.6相当) を用い、移動屋根には制振アルミ折板 (Case No.4相当) のシングル工法とした。当制振アルミ屋根は、従来の膜材を用いた屋根よりも、膜材の質量を考慮した遮音性能との比較において、重み付け平均透過損失で10dB程度高い遮音性を有したものとなっており、より低騒音な環境を実現している。

むすび = アルミ材料の特性を生かした低騒音屋根構造の開発について紹介した。スタジアムなどにおける騒音問題の軽減に参考となれば幸いです。また、雨音試験装置の製作にあたり、ご助言を頂きました東洋大学建築学科の藤井弘義講師に感謝いたします。

参考文献

- 1) 藤本日出男ほか：金属屋根施工と管理 (1998) Vol.142, p.3.
- 2) 藤井弘義ほか：日本建築学会大学術講演梗概集 (1988) p.365.
- 3) 菅 広見ほか：日本建築学会大学術講演梗概要 (1992) p.171.