

© 1989 ISIJ

技術報告

# 折版 D88 形状に制振鋼板を適用した場合 の騒音低減効果

長井弘行\*・塩田俊明\*・西川 宙\*<sup>2</sup>・杉山茂好\*<sup>2</sup>

## Noise Reduction Effect of Damping Steel Sheets for Building Roofs, V-Deck D88

Hiroyuki NAGAI, Toshiaki SHIOTA, Hiroshi NISHIKAWA and Shigeyoshi SUGIYAMA

### Synopsis :

The noise reduction effect of the damping steel sheets has been studied by a single ball impact test and an artificial shower test for building roofs. The shape of test specimens were flat sheet and V-Deck D88. This study has resulted in the following 4 points.

(1) The noise reduction effect of damping steel sheet was very large (about 6 dB) in the case of V-Deck D88, and that was not so large (about 2 dB) in the case of flat sheet.

(2) The noise reduction effect of damping steel sheets, as same as the logarithmic decrement, increases as the frequency hightens.

(3) The difference of the noise reduction effect between flat sheet and V-Deck D88 can be explained by the frequency dependency of sound pressure level, i.e. in the case of V-Deck D88, sound pressure level is large at the higher frequency region where the noise reduction effect is large, but in the case of flat sheet it is not so large at this region.

(4) The effect of nozzle diameter in the artificial shower test is not so large on the noise reduction effect of damping steel sheets.

Key words : composite material ; damping steel sheet ; noise ; sound pressuer ; building ; roof ; V-Deck ; logarithmic decrement ; single ball impact test ; artificial shower test ; 1/3 octave analysis.

## 1. 緒 言

複合拘束型制振鋼板（以後、制振鋼板と略す）は、従来の鋼板とほぼ同様に使用できる優れた制振材料であるために、近年、自動車、家電、建材用途にその使用量は増加しつつある。特に、建材屋根は、雨滴の直接打撃によって騒音を発生するので制振鋼板の使用による大きな騒音低減効果が得られることが期待できる<sup>1)</sup>。

制振鋼板の制振性は、通常、短冊形試験片によって得られた損失係数によって評価されている。一方、我々は、先に、平板パネルでの加振テストにより、損失係数と共振周波数での騒音低減効果との相関を確認した<sup>2)</sup>が、実形状での制振鋼板を使用した場合の損失係数と騒音低減効果との比較報告例は少ない<sup>3)</sup>。

そこで、今回、建材屋根形状（折版 D88）について

一点打撃試験および人工降雨試験を実施し、一点打撃試験で得られた対数減衰率と騒音低減効果との関係、および人工降雨試験での騒音低減効果について報告する。

## 2. 実 験

### 2.1 供試材

供試材は、0.27 mm 厚みのカラー鋼板を母材とし、中間層樹脂の厚みは 75 μm とし、全厚み 0.615 mm のカラー制振鋼板（以後 PDSS : Prepainted Damping Steel Sheet と略す）とした。比較材は、0.6 mm 厚みの一般カラー鋼板（以後 PGSS : Prepainted Galvanized Steel Sheet と略す）、あるいは、それに結露防止用の 4 mm 発泡ポリエチレンフォーム（以後 PEF : Poly-ethylene Foam と略す）を裏貼した物を用いた。

昭和 63 年 11 月本会講演大会にて発表 昭和 63 年 12 月 8 日受付 (Received Dec. 8, 1988)

\* 住友金属工業(株)鉄鋼技術研究所 (Iron & Steel Research Laboratory, Sumitomo Metal Industries, Ltd., 1-3 Nishinagasuondori Amagasaki 660)

\*<sup>2</sup> イゲタ鋼板(株)開発部 (Research and Development Department, Igeta Steel Sheet Co., Ltd.)

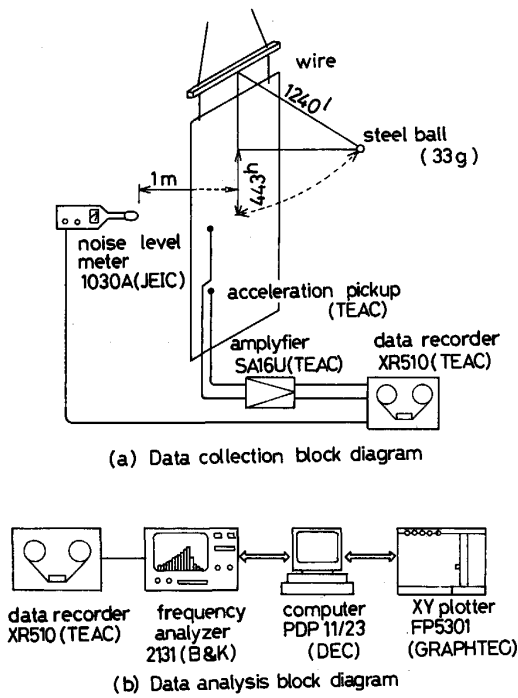


Fig. 1. The schema of the single ball impact test.

2.2 実験

実験は、一点打撃試験を平板形状と折版 D 88 形状について、人工降雨試験を D 88 形状について行った。

2.2.1 一点打撃試験

Fig. 1 に一点打撃試験の概要を示す。一点打撃試験では、振動減衰効果、およびこれと密接な関係にある物体衝突時の発生音エネルギーの測定を行った。衝撃は、ピアノ線に吊した重量 33 g の鋼球にて表側より行った。与えた運動エネルギーは約 0.143 J である。実験は、23°C の残響音室内で行い、供試体の大きさ、打撃点および、振動減衰特性を測定するための加速度ピックアップの位置関係を Fig. 2 に示す。得られた加速度の減衰特性の最小自乗近似曲線から対数減衰率を計算した。計算手順は、以下のとおりである。

デジタル周波数分析器により分析した 1/3 オクターブバンドの各帯域の振動加速度レベル (時定数 1/32 s) をサンプリング間隔 11 ms で 240 個コンピューターに取り込み計算した。200~315 Hz の 3 周波数帯域に関しては、この時定数 (1/32 s) では取り込んだ時系列データの凹凸が激しすぎる (激しく波うちながら減衰する) ため、移動平均による平滑化を行った (他の周波数帯域については平滑化は施していない)。

最小自乗近似の計算範囲の始点は“最大値 -5 dB”のポイント、終点は“最大値 -35 dB”と“最小値 +7 dB”のうち大きい方とした。

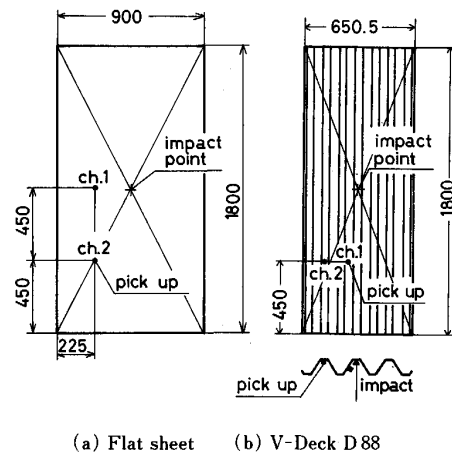


Fig. 2. The shapes of the test specimens and the locations of pick ups at the single ball impact test.

近似曲線の傾き A から対数減衰率を次式により求めた。

$$\Delta = \frac{-A}{af} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、-A : 減衰度 (dB/s)

a : 20 log e = 8.68

f : 周波数 (Hz)

である。

一方、発生音レベルは、裏側 1 m の距離にて收音し、デジタル周波数分析器により分析した 1/3 オクターブバンド音圧レベル (時定数 1/16 s) をサンプリング間隔 44 ms で 150 個コンピューターに取り込み、これを積分 (加算) することにより求めた。ここで、発生音レベルとして求めたものは、JIS Z8731 に定める単発騒音暴露レベル、ならびに、これを 1/3 オクターブバンドレベルに関して計算した値である。JIS Z8731 では、単発騒音暴露レベル  $L_{AE}$  は、“単発的に発生する騒音の 1 回の発生ごとの A 特性で重み付けられたエネルギーと等しいエネルギーを持つ継続時間 1 s の定常音の騒音レベル”と定義され、一定時間間隔  $\Delta t$  ごとにサンプリングされた騒音レベルからこれを求める場合には次式を用いている。

$$L_{AE} = 10 \log \left\{ \frac{\Delta t}{T_0} \sum_{i=1}^n (10 L_{Ai}/10) \right\} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 $L_{Ai}$  : 騒音レベルの測定値 (dB (A))

n : 測定値の総数

$T_0$  : 基準化時間 (1 s)

である。

上式で  $L_{Ai}$  (A 特性をかけたオーバーオールレベル) の代わりに各 1/3 オクターブバンド音圧レベルを用い、各周波数帯域についての単発 1/3 オクターブバ

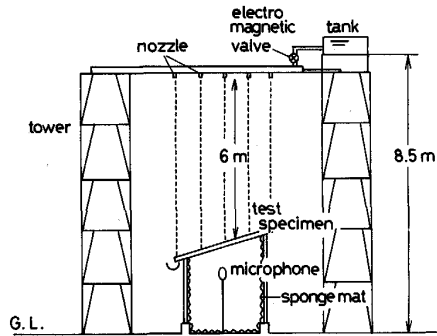


Fig. 3. The schema of the artificial shower test.

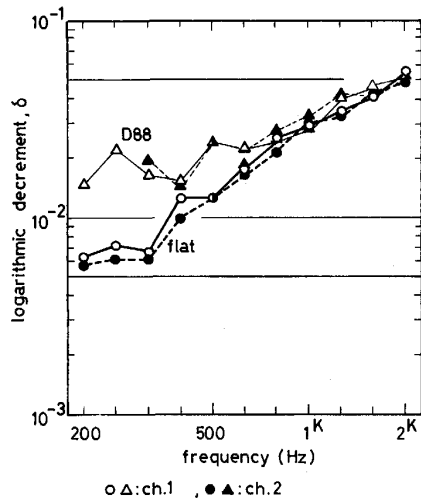


Fig. 4. Comparisons of the logarithmic decrements at different locations on the flat sheet and the V-Deck D88 of PDSS at the single ball impact test.

ンド暴露レベルとも言うべきものを求めた。さらに、単発 1/3 オクターブバンド暴露レベルを積算することにより、単発音圧暴露レベルとも言うべきものを求めた。

#### 2.2.2 人工降雨試験

Fig. 3 に人工降雨試験の概要を示す。降水装置および騒音計測方法は、社団法人日本音響材料協会の“亜鉛鉄板屋根防音研究委員会の実験報告書”(昭43年7月)を参考にした。散水ノズルの間隔は、50 cm とし、合計 35 個のノズルを設置し、その直径は、2 mm と 5 mm の 2 水準として雨滴径の影響を調査した。それぞれの散水量は、 $3 \text{ m}^3/\text{h}$ 、 $7.2 \text{ m}^3/\text{h}$  であり、総散水量を受水面積で割った換算降水量は、 $324 \text{ mm}/\text{h}$ 、 $768 \text{ mm}/\text{h}$  である。

この実験装置の特徴は、平均落下高 6 m という高所より散水した点と簡易建屋の壁・床に厚さ 50 mm のスポンジゴムマット(東洋ゴム製、プロファイル加工品)を敷設した点である。

平均落下高は、前述の日本音響材料協会の報告書に

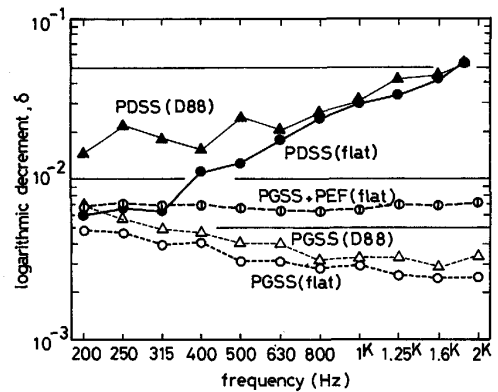


Fig. 5. The logarithmic decrements at the single ball impact test.

5.5 m が推奨されていることと、別途数値計算によって 5 mm の球形水滴を仮定した場合、6 m の降下距離で終末平衡速度のほぼ 80% に達することを確認して設定した。ここで、終末平衡速度は、球形水滴の運動方程式において、浮力と空気抵抗の和が重力加速度と平衡になる時の速度で、5 mm の直径で  $1112 \text{ cm}/\text{s}$  になる。ただし、空気中の球の抵抗係数は、0.44 (Newton の法則) であるとした。一方、ルンゲ・クッタ法により、水滴の速度を計算すると、6 m の降下距離で、2 mm の場合で約  $710 \text{ cm}/\text{s}$ 、5 mm の場合で約  $870 \text{ mm}/\text{s}$  となった。また、スポンジゴムマットを敷設したのは、鉄骨・壁・床での複雑な残響音による測定結果の乱れを防ぐためである。

### 3. 結 果

#### 3.1 一点打撃試験

##### 3.1.1 対数減衰率

ピックアップ取付け位置が対数減衰率に及ぼす影響を調査するため、Fig. 4 に PDSS の対数減衰率、 $\delta$  の周波数依存性を各ピックアップ位置について示す。平板、D88 形状共に高周波数ほど対数減衰率が大きくなる傾向は一致しており、ピックアップ取付け位置による加速度レベルには差があったものの、対数減衰率については差は小さかった。また、D88 形状のピックアップ 2 (平坦部分) については、低周波数域 (200 Hz, 250 Hz) で平滑化処理を施しても波打ちが大きく、PDSS, PGSS ともにデータとならなかった。

ピックアップの取付け位置による対数減衰率の差は他の供試体でも小さかった (約 25% 以内) ので、Fig. 5 に各供試体の 2 個のピックアップで得られた値の幾何平均をその対数減衰率として、周波数依存性を示す (ただし、D88 形状の 200 Hz, 250 Hz は、PDSS, PGSS ともに

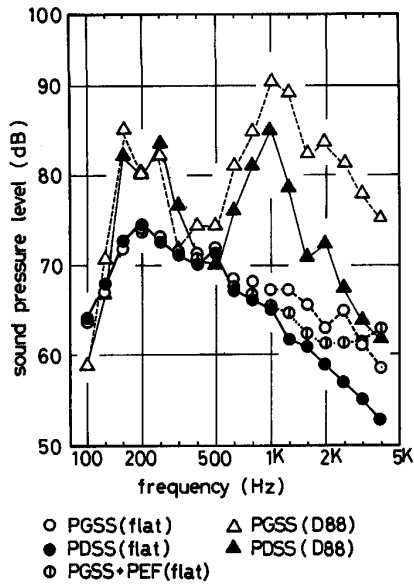


Fig. 6. Frequency analysis on the single ball impact test.

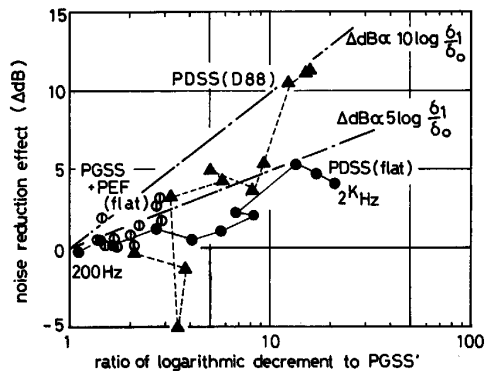


Fig. 7. Relationships between noise reduction effect and the ratio of logarithmic decrement of PDSS and PGSS+PEF to PGSS's.

ピックアップ1で得られた値を代表値とした)。

PGSS 対数減衰率は、平板形状よりも D 88 形状の方が 1.2~1.4 程度大きな値を示すものの、いずれにしても 0.0024~0.0070 といった小さな値を示す。また、その周波数依存性は、高周波数ほど若干小さくなる傾向が認められる。

一方、PDSS の対数減衰率は、高周波数ほど大きくなるのが特徴であり、特に 2000 Hz では、PGSS の 15~20 倍に及ぶ。形状の比較では、PGSS と同様に D 88 形状の方が若干大きな値を示す。ただし、500 Hz 以下の低周波数では、D 88 形状が平板形状よりも 2~3 倍大きな値を示すが、この理由については不明である。

PGSS+PEF については周波数によらず 0.007 ほぼ一定の値を示し、高周波数領域では PGSS よりも若

Table 1. Results of single ball impact test.

Test specimens		Sound level	
Shape	Material	dB(F)	dB(A)
Flat	PGSS <sup>1)</sup>	81.8	77.6
	PGSS+PEF <sup>2)</sup>	81.3	76.5
	PDSS <sup>3)</sup>	81.2	75.4
V-Deck D88	PGSS	95.8	95.4
	PDSS	90.9	88.4

1) Prepainted Galvanized Steel Sheet

2) Poly-ethylene Foam

3) Prepainted Damping Steel Sheet

干大きな値を示すが、PDSS よりはかなり低い値を示した。

### 3.1.2 衝撃音

一点打撃試験の発生音レベルを Table 1 にまとめる。平板形状では PGSS, PGSS + PEF, PDSS の順に騒音レベルは小さくなり、対数減衰率の傾向と一致するが、その差はおおの 1 dB 程度と小さく、さらに、音圧レベルで比較した場合には材料差はほとんど認められない。一方、D 88 形状の場合には、PDSS の騒音低減効果 (dB の算術差) は、7 dB と非常に大きく、音圧低減効果で比較しても 5 dB と大きな値を示す。形状による騒音 (音圧) 低減効果の差を説明するために、Fig. 6 に単発 1/3 オクターブ暴露レベルの周波数依存性を示す。平板形状の PGSS では、200 Hz 付近にピークを持つなだらかな曲線であるのに対し、D 88 形状の場合には、200 Hz 前後と 1 kHz の二つの鋭いピークを持っていることが特徴的である。一方、いずれの形状でも PDSS (PGSS + PEF) の騒音低減効果は高周波数ほど大きく、対数減衰率の傾向と一致する。従って、D 88 形状の場合には、騒音低減効果の大きい高周波数成分が主成分であるのに対して、平板形状の場合には、騒音低減効果の小さい低周波数成分の比重が大きいため騒音低減効果に差が生じたものと考えられる。また、騒音レベルで比較した方が騒音低減効果が大きいのは騒音レベルが人間の聴覚補正 (A 特性補正) を施しているために、より高周波数域の音圧を強調しているためである。

PDSS の騒音低減効果が高周波数ほど大きいことは、PDSS の対数減衰率が高周波数ほど大きいことと傾向が一致するが、同じ周波数で比較してもオーバーオール値と同じく平板形状よりも D 88 形状のほうが PDSS の騒音低減効果大きい。Fig. 7 に各周波数域での騒音低減効果と PDSS (PGSS + PEF) の PGSS に対する対数減衰率の比との関係を示す。材料間の共振周波数が若干異なるので単純には比較できないが、D 88 形

状および平板形状について騒音低減効果は対数減衰率の 5~10 乗, および 5 乗に比例する. 音圧レベル,  $SPL$  は, 発生音のエネルギー,  $P$ , と

$$SPL = 10 \log (P/P_0) \dots\dots\dots (3)$$

の関係にあるので, 発生音のエネルギーと対数減衰率の関係は, D 88 形状の場合で 0.5~1 乗, 平板形状の場合で 0.5 乗に比例していることになり, 形状によって発生音のエネルギーと対数減衰率の関係に差のあることが認められた. Fig. 6 でもわかるように D 88 形状の音圧レベルはほとんどすべての周波数域で平板形状を上回っているが, 単に D 88 形状の方が騒音レベルが大きいため音圧低減効果が大きいのではなく, おおのこの形状における振動モードの差によって効果に差が生じたものと考えている.

我々は, 先に平板パネル形状で, 共振周波数においては騒音低減効果が損失係数のほぼ 20 乗に比例することを確認した<sup>2)</sup>が, 今回の結果では, 5~10 乗に比例するという結果が得られた. 対数減衰率,  $\delta$ , は, 損失係数,  $\eta$ , が非常に小さい場合 ( $\eta \ll 1$ ),  $\delta = \pi\eta$  の関係にある. 従って, 騒音低減効果と対数減衰率との関係は, 損失係数とはほぼ同じである. これは, 一点打撃試験のようなランダム加振に近い状態では, 損失係数の騒音低減効果に及ぼす影響が単一周波数での共振状態よりも小さいことを示している. これは, ランダム加振の場合さまざまな振動モードが重畳するために複雑な音場が形成されることと関連していると推定している.

今回の実験結果で, D 88 形状で得られた 1 000 Hz 付近の音圧ピークは, D 88 形状の山ピッチ (200×1 800 mm) が騒音発生源と考えると, D 88 形状の高周波数域での音圧低減効果が大きいのも, 騒音発生源の形状が線に近く, 振動モードの重畳の程度が小さいためであると考えられる. このことについては, おおのこの形状での振動モードの解析等によって今後検討すべき課題と考えている.

また, D 88 形状の場合, PDSS の対数減衰率が 200 Hz 付近でも PGSS のそれと比較して 2 倍以上であるのに対し, 騒音低減効果は 200 Hz 付近ではほとんどない. 一方, 平板形状での低周波数領域での対数減衰率の差は小さく, D 88 形状の PDSS の低周波数領域での対数減衰率が異常に大きいと思われる. この理由についてはよくわからない.

辻井ら<sup>3)</sup>の検討によると騒音低減効果は損失係数の 13 乗に比例するという結果が, 開口部 500×500 mm のホッパー形状で得られているが, 損失係数の周波数依存性と騒音の周波数分布について触れられていないので今

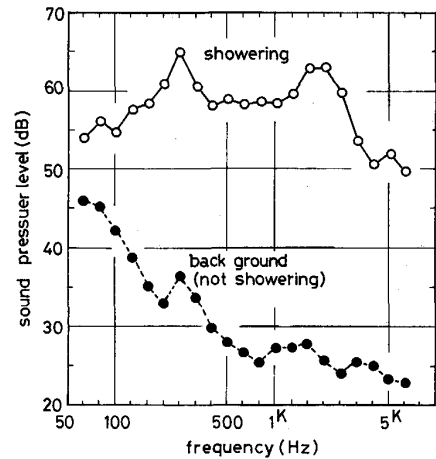


Fig. 8. Frequency analysis on the artificial shower test for the case of PDSS and the back ground noise (nozzle diameter = 2 mm).

Table 2. Results of artificial shower test.

Test specimens	Nozzle diameter (mm)	Sound level	
		dB(F)	dB(A)
PGSS	2	76.7	76.6
	5	88.8	88.4
PGSS+PEF	2	74.9	74.5
	5	87.1	86.5
PDSS	2	72.5	70.6
	5	84.6	82.0

回の結果との関係は不明である.

### 3.2 人工降雨試験

#### 3.2.1 暗騒音

人工降雨試験は, 特に JIS で規定されたような試験室では行っていないので, 暗騒音レベルが重要である.

Fig. 8 に今回の試験で最も音圧レベルの低かった PDSS 製折版 D 88 での 1/3 オクターブ分析結果を降雨時と暗騒音レベルについて示す. いずれの周波数域でも人工降雨による音圧レベルと暗騒音レベルとの間には 6 dB 以上の差があり, 良好な状態で騒音の計測ができたことを示している.

#### 3.2.2 騒音低減効果

Table 2 に人工降雨試験の結果を示す. PDSS の騒音低減効果は, 6~6.4 dB と大きな値を示し, ノズル径によらずほぼ同じであったが, 一点打撃試験との比較では若干小さな騒音低減効果であった. 音圧レベルで比較しても, 4.2 dB の音圧低減効果であり, やはりノズル径によらず, また, 一点打撃試験よりも 1 dB 程度効果が小さかった.

PEF 貼付の効果は, 音圧レベルで 1.7~1.8 dB, 騒

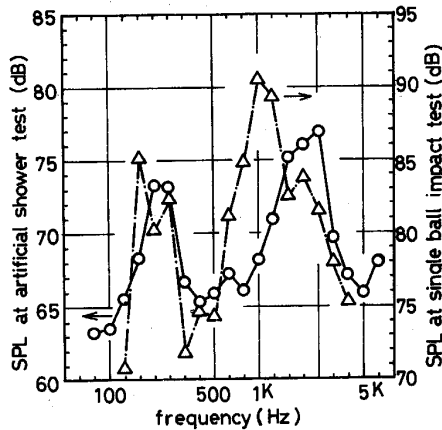


Fig. 9. Comparison of the sound pressure level between the at single ball impact test and at the artificial shower test for the case of PGSS's V-Deck D88.

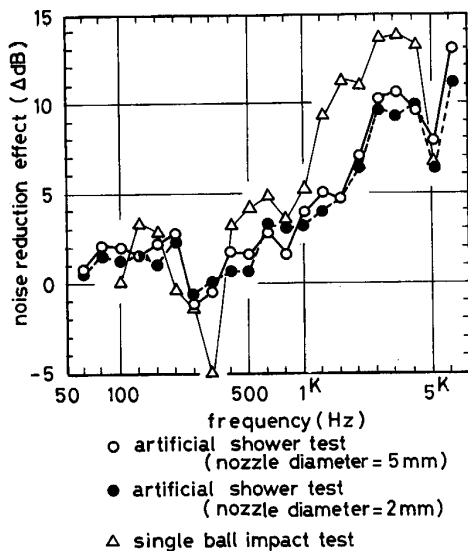


Fig. 10. Relationship between noise reduction effect of PDSS and frequency at the artificial shower test for the case of V-Deck D88 shape.

音レベルでも 1.9~2.1 であり、やはり、ノズル径の影響は認められず、さらに、PDSS と比較して約 3 分の 1 の効果しか示さなかった。

### 3.2.3 一点打撃試験との比較

Fig. 9 に一点打撃試験と人工降雨試験時の音圧レベルの 1/3 オクターブ分析結果を PGSS について示す。音圧レベルのピークが 2 個存在することは一致しているがおおのこの位置が異なり人工降雨試験時の方が高周波数側に移動している。特に高周波数側のピークは一点打撃試験時は 1000 Hz であったのが人工降雨試験時には 2500 Hz と 2.5 倍になっている。これは、人工

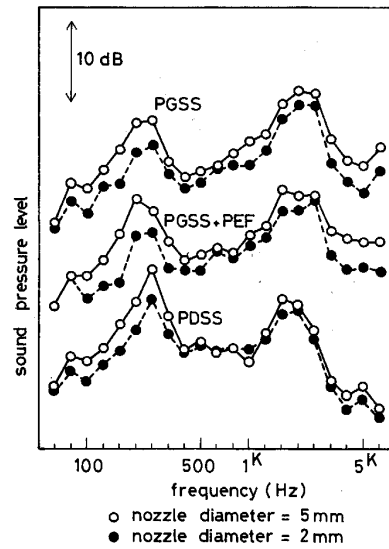


Fig. 11. Comparisons of sound pressure levels for different nozzle diameter at the artificial shower test.

降雨試験時には二本の根太(間隔 2000 mm)に固定されているので供試体の剛性が大きくなっているためであると推定している。また、おおのこのピーク値は一点打撃試験時の方が 12~13 dB 大きな値を示した。

人工降雨試験時の方が音圧ピークが高周波数域に存在することと PDSS の騒音低減効果が高周波数ほど大きいことを考え合わせると人工降雨試験時の方が騒音低減効果が大きいと予想されるが実際には一点打撃試験時の方が騒音低減効果が大きかった。

Fig. 10 に騒音低減効果の周波数依存性を示す。両試験時共に高周波数ほど騒音低減効果は大きいですが、一点打撃試験時の方が、より大きな騒音低減効果を示した。また、人工降雨試験時の騒音低減効果については、周波数域によるノズル径の影響は認められなかった。

### 3.2.4 ノズル径の影響

前節でも述べたようにノズル径による騒音低減効果には差がなかった。Fig. 11 に音圧レベルに及ぼす雨滴径の影響をおおのこの試験時の 1/3 オクターブ分析結果の形で示す。ノズル径 2 mm の結果は 10 dB 上乘せして示している。ノズル径によらず、いずれの供試体についても音圧の周波数依存性はほぼ同一であり、騒音低減効果に差のないことを示している。このことは、騒音実験において供試体の形状、拘束条件、与える振動エネルギーの質が同じであれば与えるエネルギーの大きさはさほど影響しないことを示している。

さて、人工降雨試験においてノズルを出た直後より雨滴がノズル径と同径の球形になると仮定すれば、供試体

に衝突するときの雨滴の運動エネルギーの和は、ノズル径 2 mm と 5 mm の場合でおのおの  $7.56 \times 10^{-2}$ ,  $2.08 \times 10^{-1}$  (W/m<sup>2</sup>) となる。一方、得られた音圧レベルより計算される音のエネルギーは、PGSS の場合でおのおの  $4.57 \times 10^{-5}$ ,  $6.76 \times 10^{-4}$  (W/m<sup>2</sup>) である。供試屋根はマイクロフォンとの間隔 (500 mm) と比較して十分に広く、壁、床で騒音は完全に吸収されると仮定すれば音の距離減衰は考慮する必要が無く、空気による吸音減衰 (10 dB/100 m 以下) も無視できるので、ノズル径が 5 mm の場合で雨滴によって与えられたエネルギーのせいぜい 0.3% が音のエネルギーとして室内に放射されているにすぎないことが分かる。また、ノズル径が 2 mm の場合には 0.06% が室内音のエネルギーになっており、両者の効率にはかなりの差が認められた。雨滴の衝突エネルギーのうち非常に小さい部分しか音のエネルギーに変換されていないのは、屋根上の水膜にほとんどの衝突エネルギーが吸収されているためであると考えられる。

#### 4. 結 言

制振鋼板を屋根へ適用した場合の騒音低減効果を評価するため一点打撃試験と人工降雨試験を折版 D 88 形状について実施した。その結果以下の 6 点が明らかになった。

(1) 一点打撃試験の結果、平板形状では騒音ピークが

200 Hz 付近に存在するが、制振鋼板の騒音低減効果は、さほど大きくない。

(2) D 88 形状では、上記周波数以外に高周波数の騒音ピークが存在し、両方の試験で大きな騒音低減効果が得られた。

(3) 制振鋼板の騒音低減効果は高周波数であるほど大きく、D 88 形状は、高周波数減の騒音成分が多いので騒音低減効果が大きかったものと考えられる。

(4) 高周波数であるほど騒音低減効果の大きいことは、一点打撃試験で得られた対数減衰率の周波数依存性と一致し、騒音低減効果の対数減衰率依存性はおおよそ 5~10 乗であった。

(5) ポリエチレン発泡体を裏貼することによっても騒音低減効果は得られるが制振鋼板と比較して約 3 分の 1 の効果しか示さなかった。

(6) 人工降雨試験時のノズル径によって発生音レベルの差はあったが、騒音低減効果の差は認められなかった。

以上の結果より、建材屋根に制振鋼板を適用した場合、大いに騒音低減効果が期待できることが判明した。

#### 文 献

- 1) 千葉範夫, 二宮 淳, 岡本康男, 中村昭二, 黒羽正行: 建材技術 (1987) 428, p. 117
- 2) 長井弘行, 塩田俊明, 西原 実, 田所義雄, 東川芳晃: 鉄と鋼, 72 (1986), p. 1575
- 3) 辻井康裕, 榎野俊文, 麻谷光男: 自転車技術情報, 2 (1979), p. 55