

高性能制振しゃ音床構造の開発 拘束型制振構造の応用

広沢 賢 車両事業本部 研究開発部

塗井 稔 車両事業本部 研究開発部

1. はじめに

当社では、従来より鉄道車両の車内静粛性向上のための取組みを実施し、これまで各種の低騒音要素を生みだしてきた。特に、床構造においては、ゴムチップを活用した床構造(以下弾性床とよぶ)をはじめ、新幹線車両の特殊制振材による浮き床構造や主変圧器上の制振床板、および予張力を付与した薄膜を封入した制振しゃ音床板などがある。

今回、さらなる車内低騒音化を目指した床構造として、弾性床に拘束型制振構造を応用した高性能制振しゃ音床構造を創案し(特許申請中)、供試体による各種音響試験を実施した。その結果、当社の従来構造に比べて優れた騒音低減効果を確認できたので、その経緯と結果を報告する。

2. 高性能制振しゃ音床構造の基本構想

2.1 拘束型制振構造の応用

弾性床は、一般に非拘束型制振構造とよばれるタイプの制振構造であり、台枠の上に施工された弾性体が、伸縮変形する振動エネルギーを熱エネルギーへと変換させることで振動低減効果を得ている。しかし、振動による台枠の変形量は微小なものであり、追従する弾性体のエネルギー変換量も限られたもので、とくに、台枠剛性が高いダブルスキン構造などの場合は、剛性に付与する減衰比が小さくなるため、振動騒音低減には限界がある。

そこで、今回、台枠上に施工された弾性体の上に拘束板を付加した拘束型制振構造(以下本床構造とよぶ)を採

用することを視点とし、それにより、いっそうの振動騒音低減効果を狙った。この場合、台枠と拘束板に挟まれた弾性体には、振動エネルギーによって大きなせん断変形が発生し、比較的薄い弾性体であっても高い制振効果が期待でき、高剛性台枠に対しても高い減衰比を与えることができる考えた。

2.2 しゃ音特性の向上

鉄道車両の車内騒音は振動によって発生する振動放射音のみでなく、車輪とレールから発する転動音などの透過音も騒音に寄与する要素である。そのため、床構造には優れたしゃ音特性も要求される。本床構造では、拘束板を施工することで、しゃ音効果も期待できる構造である。

3. 音響実験検証

本床構造の騒音低減効果を検証するために、加振実験としゃ音実験を行った。以下におのおの実験方法とその結果について述べる。

3.1 実験方法

3.1.1 加振実験[振動放射音特性の計測]

加振実験装置概略図を図1に示す。加振台上に搭載した供試体をピンクノイズにて振動させ、供試体の放射音を上部暗箱内のマイクで計測する。計測データはFFTにて1/3オクターブバンドごとに分析し、オーバーオール値(以下O.A.値)と周波数応答の音響特性を比較する。

3.1.2 しゃ音実験[しゃ音特性の計測]

しゃ音実験装置概略図を図2に示す。

Technical Report

音源室内のスピーカからピンクノイズを発生させ、供試体を透過させる。供試体上部の暗箱内部のマイクと音源室内のマイクで計測した音圧をFFTにて1/3オクターブバンドごとに分析して、その音圧差をとり、O.A.値と周波数応答の音響特性を比較する。

3.2 実験結果

1. 高剛性化と拘束型制振構造の効果比較

振動放射音を抑制するための方策として、高剛性化により構造減衰を向上させる考え方もある。ここでは、それら剛性を高めた場合と拘束型制振構造の場合の騒音抑制効果を比較する実験検証(加振実験)を実施した。拘束型制振構造として2mmのブチル系ゴムからなる制振材の上に鋼板3.2mmの拘束層で構成し、また、剛性を高めるために鋼板3.2mmと4.5mmを配した供試体を試作した。基本特性を確認するために、ここでは弾性体および床敷物のない構成とした。

1) 供試体の種類

台枠に相当する基板はダブルスキン535mm×465mm×80mmを使用し、その上に400mm×400mmの鋼板および制振材を配した供試体を使用した。供試体の種類を下記に示す。図3は、供試体Dを示す。

- A. アルミダブルスキンのみ
- B. アルミダブルスキン + 鋼板(t 3.2)
- C. アルミダブルスキン + 鋼板(t 4.5)
- D. アルミダブルスキン + 制振材(t 2.0) + 鋼板(t 3.2)

2) 実験結果

高剛性化の効果

図4、図5および図6から、鋼板3.2mmあるいは4.5mmを利用したアルミダブルスキンの高剛性化による騒音低減の効果は、質量増に比例して現れている。ただし、

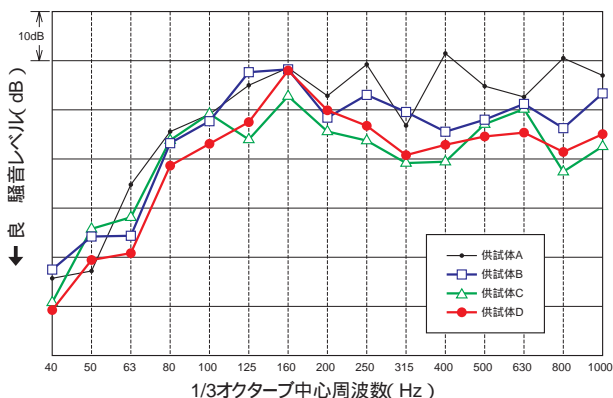


図5 拘束型制振構造の効果(周波数応答)

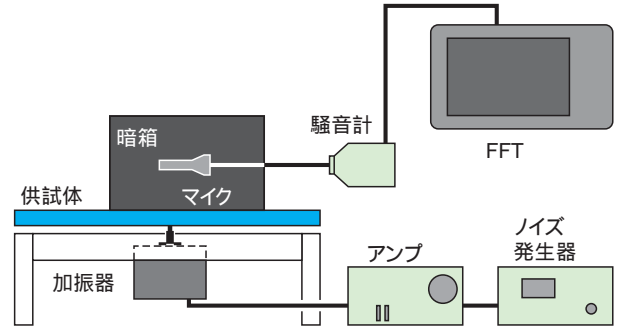


図1 加振実験装置構成

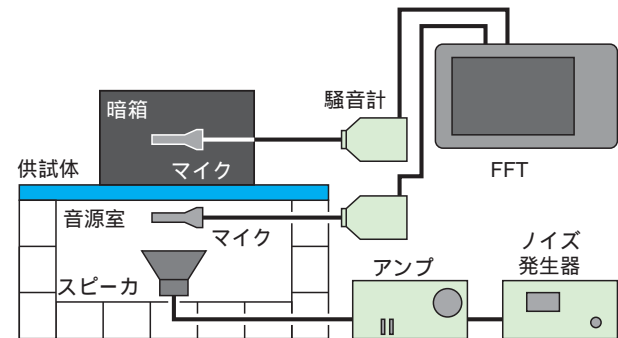


図2 シャ音実験装置構成

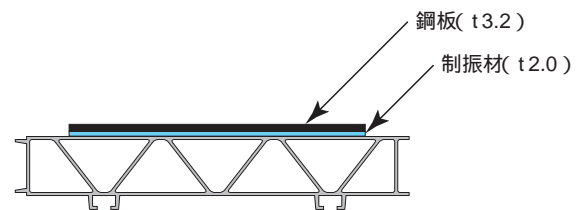


図3 供試体D

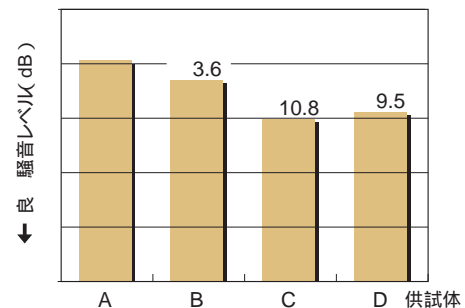


図4 拘束型制振構造の効果(O.A.値)

[グラフ上の数値は供試体Aに対する振動放射音の減少量を示す]

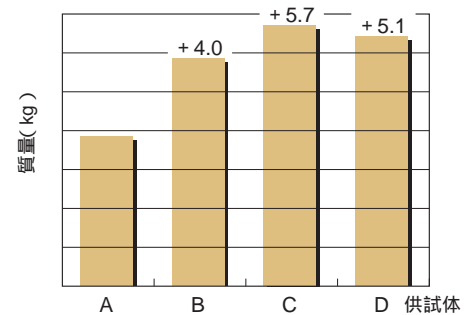


図6 質量比較

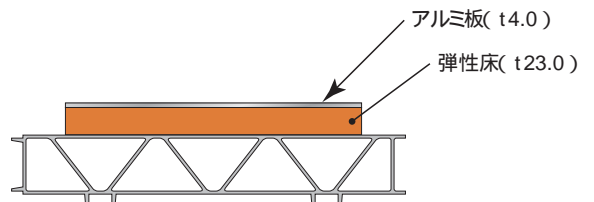


図7 供試体

質量増をよぎなくされることから、これ以上の効果を期待することには限界があると判断される。

拘束型制振構造の効果(制振材2mmの場合)

一方、供試体Dにおいては、質量増を抑えながら供試体Cの鋼板4.5mmに近い騒音低減効果があることがわかる。しかしながら、画期的に大きな効果が見られるまでにはおよばず、その理由としては、台枠にあたるダブルスキン構造が大きな剛性を持っているため、それに付与される減衰比が供試体Dにおいては、まだ十分でないためと考えられる。

これらより、拘束型制振構造を採用することとしながらも、さらなる減衰を付与する必要性を本基礎実験で見い出せた。

II. 弾性床への拘束型制振構造の応用

拘束型制振構造を採用することを基本的な考え方とし、さらなる減衰を付与するためには、前述の制振材2mmよりもっと弾性体の体積を大きくすることが有効と考え、その効果を確認するための各種供試体を試作して検証した。

1) 供試体の種類(アルミダブルスキンをベースとしその上の構成を示す)

弾性床(t27)【従来型弾性床】

弾性床(t23)+アルミ板(t4.5)【拘束型制振構造】

弾性床(t11.5)+アルミ板(t4.0)+弾性床(t11.5)

【拘束板内封型】

鋼板(t3.2)+弾性床(t23.8)【剛性強化型】

制振材(t2.0)+鋼板(t3.2)+弾性床(t21.8)【制振材利用拘束型】

硬質樹脂塗床【塗床による剛性強化型】

2) 実験結果

加振実験結果

図8、図9より、供試体 の本床構造が最も振動放射音を低減できる可能性がある。特に、非拘束型の供試体に対しては、全周波数域で優れた騒音低減効果を示した。

拘束板位置の影響(振動放射音について)

図10は、拘束板の位置がどのように騒音に影響するかを示す。供試体 と の比較より、弾性体の体積が大きい供試体 のほうが、より騒音低減効果を発揮していることがわかり、所期の意図どおりの結果となった。弾性床への拘束型制振構造の応用の効果(振動放射音について)

図11から、供試体 の剛性強化型は振動放射音の低

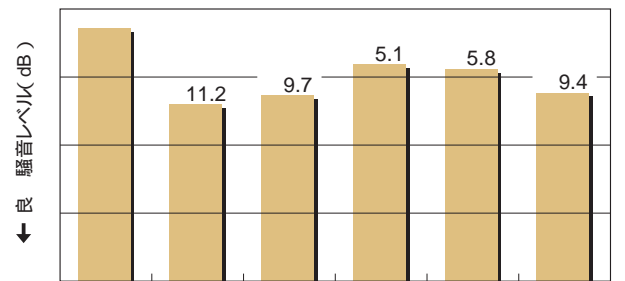


図8 各種床構造の振動放射音(O.A.値)

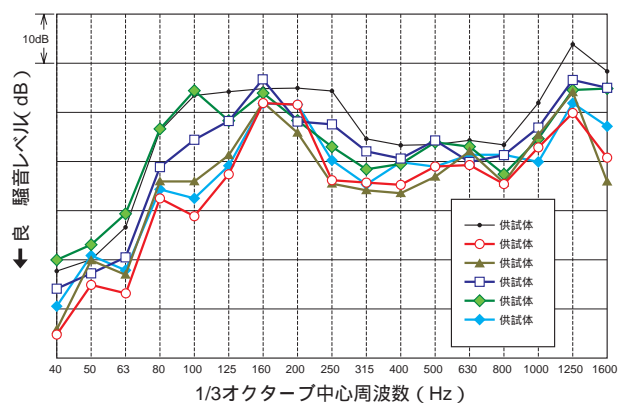


図9 各種床構造の振動放射音(周波数応答)

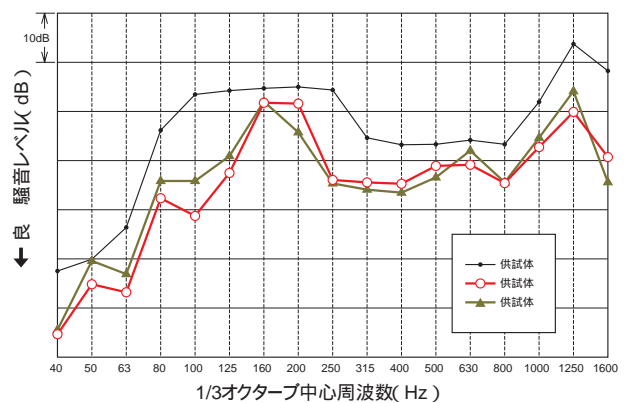


図10 拘束板位置の振動放射音への影響(周波数応答)

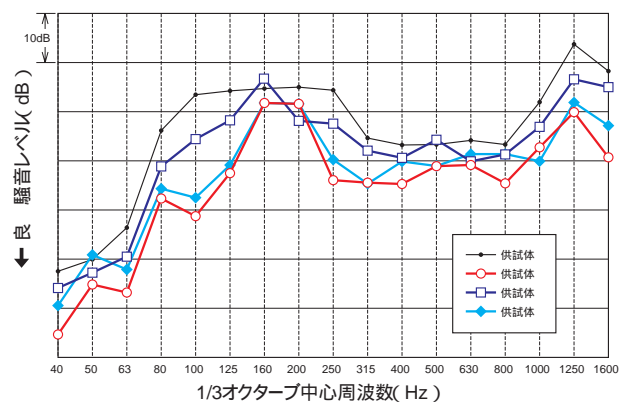


図11 剛性強化の振動放射音への影響(周波数応答)

Technical Report

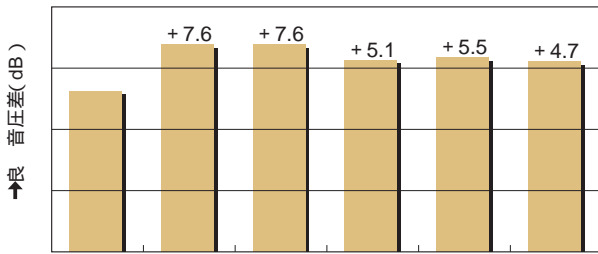


図12 各種床構造のしゃ音特性 (O.A.値) 供試体

減は十分ではないことがうかがえる。また、供試体の塗り床による剛性強化型は、剛性強化の程度に応じて供試体より効果はみられるものの、それでも拘束型の供試体の効果にはおよばない。

しゃ音実験結果

図12、図13よりしゃ音特性においても本床構造の供試体が最もよい特性を示した。車輪とレール間から発する転動音の周波数域である800Hz帯のしゃ音性能をみると、本床構造の供試体ではグラフの音圧差の落込みが緩和しており、拘束型制振構造がダブルスキン構造をふくめたトータルな構造において、コインシデンス効果の悪影響を緩和する作用をしていると考えられる。

拘束板位置の影響(しゃ音特性について)

図14から、弾性体の体積の大きい供試体の方が供試体よりしゃ音性能がよい結果となり、振動放射音の影響の結果と合わせて、拘束板の位置は、弾性体の上部に配置することがよいとの結論を得られた。弾性床への拘束型制振構造の応用の効果(しゃ音特性について)

図15とともに図16に示す質量比較を合わせてみると、剛性強化型の供試体は、質量増の割にはしゃ音特性が芳しくないことがうかがえる。また、もうひとつの剛性強化型の供試体は、本床構造の供試体と遜色ない特性を示している。したがって、一般に考えられる質量則によるしゃ音特性の評価だけでは判断できない現象が存在し、その一つとして、総合的な構造におけるコインシデンス効果の影響が考えられる。

III. 床敷物材料の影響

1) 供試体の種類(アルミダブルスキンをベースとし、その上の構成を示す)

床敷物の種類による影響をみるために、以下に示す供試体を使用した。

弾性床(t27)+塩化ビニル系床敷物

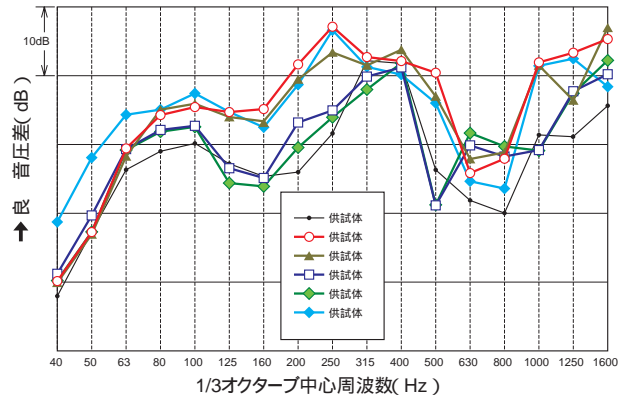


図13 各種床構造のしゃ音特性(周波数応答)

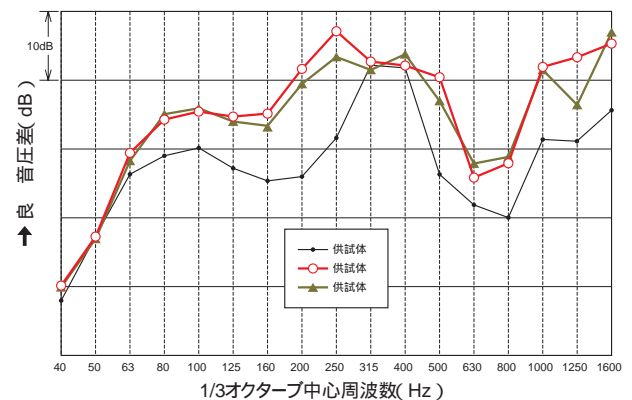


図14 拘束板位置のしゃ音特性への影響(周波数応答)

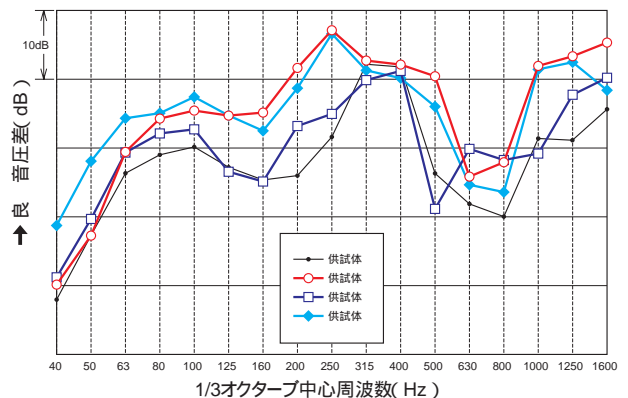


図15 剛性強化のしゃ音特性への影響(周波数応答)

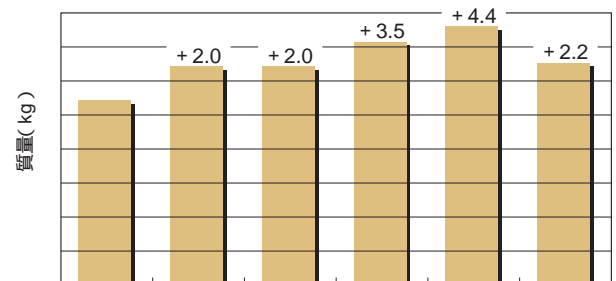


図16 質量比較

供試体

弾性床(t23)+アルミ板(t4.0)+塩化ビニル系床敷物

弾性床(t23)+アルミ板(t4.0)+ゴム系床敷物(図17)

2) 実験結果

加振実験結果

床敷物の違いにより、振動放射音は高周波域においてその差が出ている。供試体のゴム系床敷物の場合は、周波数特性に際立って飛びぬけた波形がなく、フラットな周波数分布となっており、体感上好ましい効果をもたらすことが分かった。(図18、19)

しゃ音実験結果

図20、図21から本床構造の供試体、およびにおいて、しゃ音特性におよぼす床敷物の影響は、あまり見られない。

これらより、本床構造への床敷物の選定としては、振動放射音の低減の度合いからゴム系床敷物がより優れている結果となった。

4. おわりに

今回創案した床構造について、騒音低減の理論の異なる各種床構造とともに音響実験を実施し、比較検証した。その結果、拘束型制振構造の本床構造は、優れた騒音低減効果を発揮することが確認できた。本床構造の開発を成し得た要因としては、原点に戻って考えるということ、これまで持ち合わせている知見をいかにうまく組立てるかということであったように感じる。今後とも、お客様に快適な車内空間を提供できる開発を目指して、ときに立止まって考え方を原点に戻し、かつ、組立てるための要素である知見習得の努力をしていきたい。

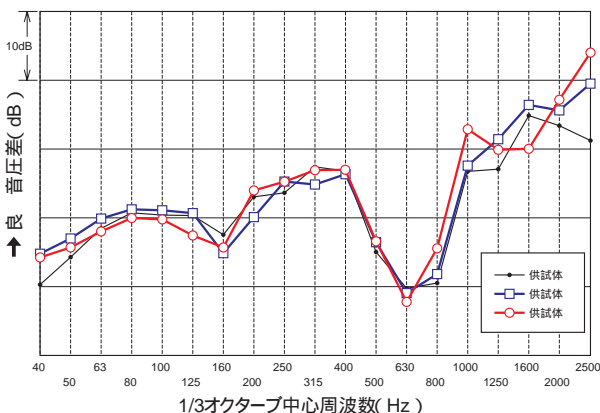


図21 床敷物材料のしゃ音特性への影響(周波数応答)

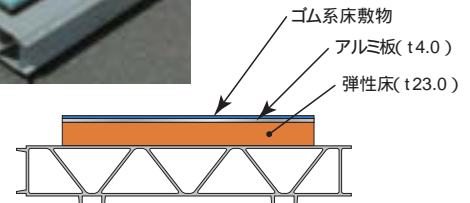


図17 供試体

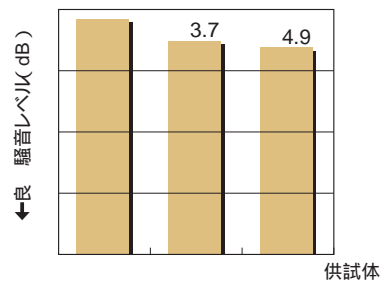


図18 床敷物材料の振動放射音への影響(O.A.値)

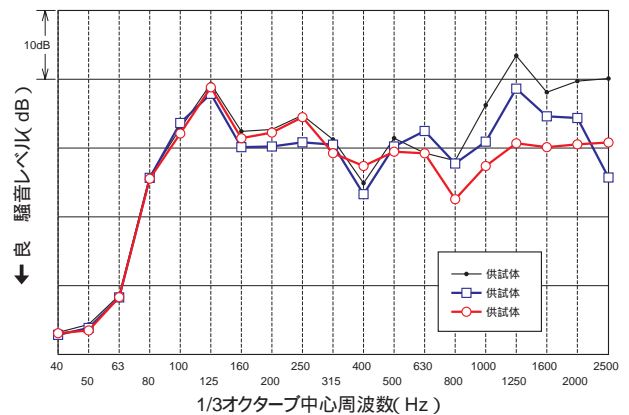


図19 床敷物材料の振動放射音への影響(周波数応答)

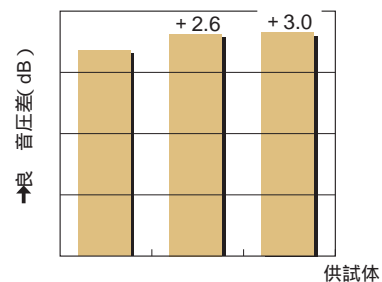


図20 床敷物材料のしゃ音特性への影響(O.A.値)

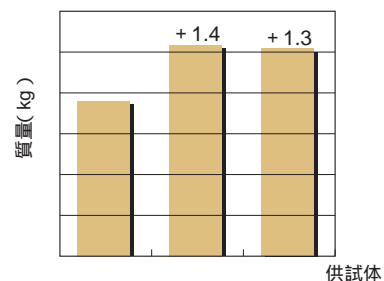


図22 質量比較