

木造共同住宅の防音構造用鋼材設計手法の開発

戸羽 篤也, 飯田 憲一, 廣田 誠一*

The Design Technique of a Steel Plate Which Used for Sound-Insulation in a Wooden Apartment House

Atsuya TOBA, Ken'ichi IIDA, Tomohito HIROTA*

抄 録

木造共同住宅で求められる防音性を低コストで実現するため、天井に鋼材を配置した防音構造に着目し、目標とする低い周波数域の防音効果を得る鋼材の設計手法を開発した。防音効果周波数は、防音構造を構成する鋼材の見掛け弾性と天井板の面密度を変化させたときの系の固有振動数で見積もり、試験施工によってその遮音性を評価した。

キーワード：レジリエント・チャンネル、木造共同住宅、低コスト防音工法

Abstract

In order to research a low cost construction method of sound-insulation in a wooden apartment house, we focused to the soundproof structure that put a steel plate on the ceiling, and we developed the design technique of steel plate acquiring the sound isolation effect at low frequency range. We estimated the sound isolation effect frequency with the characteristic frequency of the structure when changing the outward elasticity of steel plate and the area density of a ceiling board which constitute soundproof construction, and we carried out insulation evaluation by the trial construction.

KEY-WORDS : Resilient Channel, Wooden Apartment House, Low Cost Soundproof Construction

1. はじめに

木造共同住宅の住居者を対象に調査したアンケートによると、居住環境で最も不満を感じるのは隣接住居から伝わる音に関するものが多いとの報告がある^{1,2)}。このため、共同住宅の建築では、階の上下および隣接の住居間の遮音性に配慮した工法が採用される。一般的に、遮音性を高めるには建築構造物のインピーダンスを大きくするのが効果的とされ、床や壁の厚さ、重量、剛性等を増大させることで遮音性を高める方法が採用されるが、その分だけ費用がかかるので施工費が高くなる。

本研究は、本道の資源活用も視野に入れ、良質な木造共同住宅を建築するための低コストで遮音性の高い工法の開発を

目的とする。本報は、階の上下における生活音の防音対策の一つとして、下階の天井に鋼材と天井板を組み合わせる施工する防音構造を対象に鋼材部材の設計手法を開発し、その防音効果の検証試験を行ったので報告する。

2. 研究の目的

共同住宅の音に関する不満として、壁を通じて隣接戸から伝わる音と、床および天井を通じて階上から階下へ伝わる音が考えられる。このうち、木造共同住宅ではその構造上、階上から階下に伝わる生活音の防音対策が困難とされ、これを対象とした有効な防音工法が開発が求められる。

階の上下で伝わる防音法の基本的な考え方は、上階の床構

* 道総研北方建築総合研究所

* Hokkaido Northern Regional Building Research Institute

事業名：重点研究

課題名：良質な木造共同住宅のためのローコスト高性能遮音工法の開発（平成23～25年度）

造を工夫して音源を遮るか、下階の天井の構造を工夫して音の伝達を低減させるか、あるいはその両者による複合的な防音構造を採るかのいずれかであるが、本報は、天井の構造を工夫して遮音性を高める工法の開発を対象とする。

図1に階上の床から階下の天井に至る部位の一般的な構造を模式図で示す。階上の床を梁の上に配置された「根太」と呼ばれる支持材で支え、階下の天井を小梁材に取り付けることで、構造上は階上の床から階下の天井への音の伝達は絶縁される。しかし、床板と天井板に挟まれた空間にある空気が音の振動を伝えるので、これを低減させるためにこの空間に防音材を充填したり、構造部材の重量や剛性を増大させたりする対策が採られる。

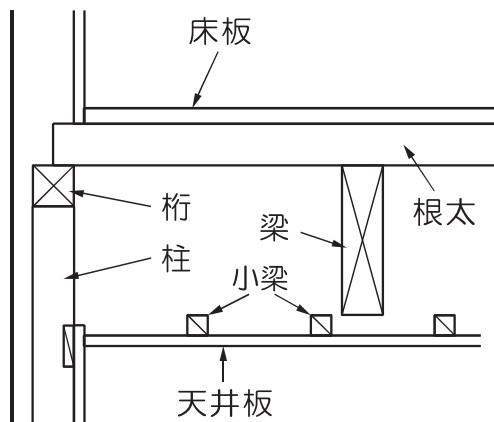


図1 木造建築の床および天井の構造



図2 天井に施工する遮音構造用鋼板
(レジリエント・チャンネル)

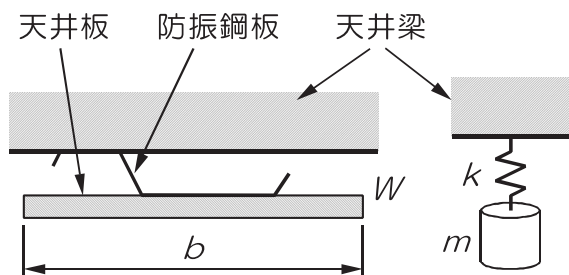


図3 防振鋼板を用いる防音構造の振動モデル

このほか、階上から階下へ伝わる生活音を低減させる工法として、二重にした天井板を鋼板で接続し、その弾性を利用して目標とする音域の振動を吸収する方法が知られている。図2は、この工法で用いられる遮音構造用鋼板（以下「防振鋼板」という）の外観写真である。この防振構造では、防振鋼板の剛性や天井板の面密度を変化させることで防音構造系の固有振動数を設計することが出来る。

共同住宅の防音対象となる生活音として、小物を床に落とした時に生じるような高い周波数域の成分を多く含む音や、人が歩く時の足音のような中・低周波数域の成分を主とする音など、様々に対策が求められる。

本研究では、階上の床板と階下の天井板の支持構造の工夫と防振鋼板を用いて、特に階の上下で伝わる生活音のうち防音対策が難しいとされる低周波数の音域の遮音性を研究対象とした。具体的には31.5Hzの音域で-5 dBの遮音効果を得ることを目標とした。

3. 防振構造の力学

防振鋼板を用いる防音構造において、吸収する音の周波数は、この構造固有の振動数の影響を受ける。この防音構造は、図3に示すように防振鋼板とこれに吊り下げる天井板からなる弾性-質量系モデルで固有振動を考えることができる。

1本の防振鋼板が受け持つ天井板の幅 b [m] に対して長さ L [m] の防振鋼板が支える天井板の重量 W [N] は、天井板の面密度（単位面積当たりの質量）を ρ [kg/m²] とすると、

$$W = \rho g b L \quad (1)$$

となる。この重量が荷重として加えられたことによって天井板が δ [m] だけ変位したとき、防振鋼板の鉛直方向における単位長さ当たりの見掛けの弾性係数（以下「防振ばね定数」という） k [N/m] と、このばねに吊り下げられた天井板に相当する質量 m [kg] は、

$$k = \frac{W}{\delta L} = \frac{\rho g b}{\delta} \quad (2)$$

$$m = \frac{W}{gL} = \rho b \quad (3)$$

で得られる。防振鋼板に負荷をかけない状態から天井板を吊り下げて釣り合った状態にしたときの天井板の変位を δ とし、加振等により天井板が釣り合い位置から変位 e [m] だけ変位したとき、以下の力の釣り合い式が成り立つ。

$$m \frac{d^2 e}{dt^2} = mg - k(\delta + e) \quad (4)$$

このときの天井板の振動について振幅 a [m]、振動数 f [Hz]

または 1/s] とし、この振動を角速度 ω [rad/s] の正弦波で近似できるとき、天井板の変位は以下の式で表現できる。

$$e = a \sin \omega t$$

ただし、 $\omega = 2\pi f$ (5)

(4)式天井板の加速度を示す変位 e の 2 階微分は、

$$\frac{d^2 e}{dt^2} = -a\omega^2 \sin \omega t \quad (6)$$

となるので、(5)式と(6)式を(4)式に代入して、

$$-ma\omega^2 \sin \omega t = mg - k(\delta + a \sin \omega t)$$

$$a(k - m\omega^2) \sin \omega t = mg - k\delta \quad (7)$$

(2)式に(3)式を代入すると、(7)式の右辺は 0 になるので、

$$\omega^2 = \frac{k}{m}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (8)$$

(2)式、(3)式および(5)式の関係から、防振鋼板と天井板からなる防振構造の固有振動数は、

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \text{あるいは} \quad f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{\delta}} \quad (9)$$

として、防振鋼板の防振ばね定数あるいは天井板を吊り下げたときの変形変位から算出することができる。

4. 実験方法

4.1 防振鋼板の静解析

市販されている防振鋼板（商品名；SR-Bar）は、図 4 に示す断面形状をもつ。施工は、上側の幅 17mm の面（以下「根太固定面」という）を天井の支持梁材（以下「天井根太」という）に固定し、下側の幅 34mm の面（以下「天井板取付面」という）に天井板（石膏ボード）をタップネジで固定する。

前章で示した防振鋼板の防振ばね定数を得るため、天井板取付面に荷重を加えた時の防振鋼板の変形による天井板変位について数値計算による静解析を行った。

静解析は、3 次元 CAD システムで 3D 形状データを作成し、同システム付属の有限要素法による線形応力-歪解析機能を利用した。計算条件は、天井根太を剛体と仮定し、荷重は防振鋼板が支える天井板の面積相当の重量を天井板取付面に一様な分布荷重として与えた。具体的には、一般の天井板に用いられる石膏ボードの比重（概ね 1 cm² 当たり 1 g）から天

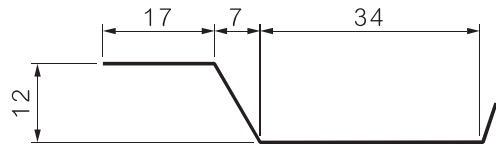
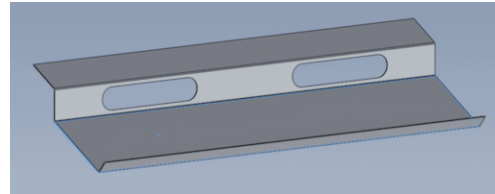
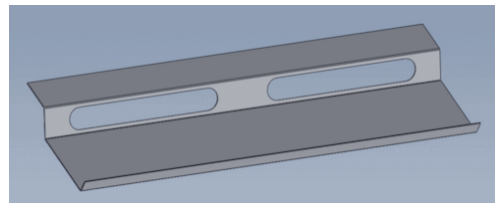


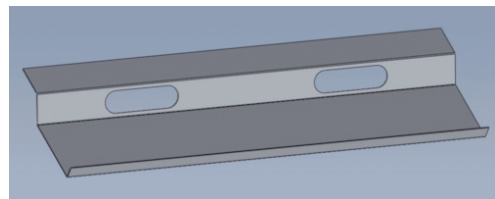
図 4 現行防振鋼板の断面形状



a) 現行品 0.5 (1/2)



b) 0.25 (1/4)



c) 0.75 (3/4)

図 5 防振鋼板の有効材料率

井板の面密度を 10kg/m² とし、通常、防振鋼板は 455mm 間隔で設置されることが多いので 1 本の防振鋼板が受け持つ天井板の幅（図 3 の b で示す長さ）を 455mm とした。天井板取付面には、この長さに相当する天井板の重量が一樣に加わると仮定すると、天井板 1 枚につき約 1.3kN/m² の面荷重が作用することになる。実際の施工では天井板を数枚重ねることも考えられるので、数値解析では境界条件として 3.0kPa の面圧を設定した。

防振鋼板の形状は現行製品の断面形状を基本とし、板厚を 0.4mm、0.5mm、0.6mm の 3 水準に、折り曲げ部の角 R を 0.5mm、1mm、2mm、3mm の 4 水準に変化させて形状モデルを定義した。現行の防振鋼板には、根太固定面と天井板取付面との接続部（以下「接続面」という）に窓が開けられているが、これは防振鋼板の剛性を調整するためのものと考えられる。そこで、静解析のモデルにも長さの異なる窓を配置し、それらの防振ばね定数への影響を調べた。現行品の窓は、100mm ごとに幅 50mm の窓が開けられているが、静解析では 100mm ごとに幅 25mm、50mm、75mm の窓を開けたものと窓を設けないものの 4 水準に変化させた。ここで、接続面に窓を開けることによる材料比率を、窓のないものは 1.0、窓の幅が 25mm、50mm、75mm のものに

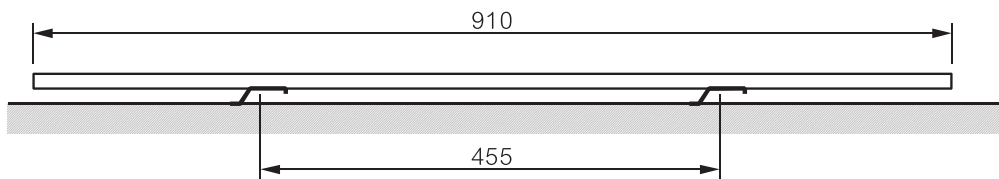


図6 防振構造系の固有振動数の計測実験方法

ついてそれぞれ0.75, 0.5, 0.25となるので、これらを図5に示すように「有効材料率」と定義する。

天井板の変形変位は、数値計算の結果から最も変形量が大きくなる天井板取付面の先端付近の変位を、最も応力の加わる部位を選んで主応力値を読み取り、天井板重量による荷重に対する鋼材の降伏許容応力との関係を確認した。また、これらの関係から、防振鋼板の断面形状因子の防振ばね定数への影響について検討した。

4.2 遮音構造の特性計測試験

前項の防振鋼板の特性解析の結果から、目標とする周波数音域の振動を吸収するための防振鋼板の断面形状の設計、および防振構造系の固有振動数の設計手法を確立するため、防振鋼板と天井板で構成する防振構造系の固有振動数を数値解析結果から推定した。

計算モデルは、図6に示すように、高剛性定盤の上に455 mmの間隔で防振鋼板を固定し、これに天井板に見立てた板を取り付ける条件とし、天井板に荷重を加えた時の天井板の変位から防振ばね定数を求めて防振構造系の固有振動数を推定した。現行の防振鋼板の形状による固有振動数解析の結果を参考に、防振の目標とする固有振動数が得られそうな防振鋼板の断面形状をいくつか考案し、同様の解析計算により防振構造系の固有振動数を推定した。これらの解析結果から、低周波数音域での防振効果が期待できる断面形状の一つ選定して防振鋼板を試作し、これを用いて防振構造系を組み立てて加振実験を行なった。試験に供した防振鋼板は長さ600 mmのものを2本用意し、これらを解析計算と同じモデルになるように455 mmの間隔で木製定盤に固定した後、その上部に天井板に見立てた木製板供試材を防振鋼板にタップねじで固定した。試験に供した天井板は、石膏ボードの面密度に合わせて1枚当たり10 kg/m²となるように板厚を選び、その寸法を910 mm×600 mmとした。加振後の天井板の変位は、非接触式変位センサの出力信号をデジタルストレージオシロスコープに取り込み、振動波形1周期当たりの時間を計測して、固有振動数に換算した。

4.3 防音性能の計測

試作した防振鋼板と天井板を試験施工し、音の伝播特性を計測して、その遮音性能を評価した。試験施工では455 mm間隔に配置した天井根太に試作した防振鋼板を固定し、これ

に天井板をタップねじで取り付けました。振動の計測は、天井根太と天井板それぞれに加速度センサを取り付け、インパクトハンマーで加振したときの天井根太と天井板の振動波形を取り込んでこれらを比較して遮音性能を評価した。

5. 実験結果と考察

5.1 防振鋼板の静解析

現行品に準じた解析モデルによる防振鋼板の弾性特性の解析結果の表示例を図7に示す。図7-a)は、防振鋼板の形状定義の表示であり、これに拘束力等の境界条件を設定する。図7-b)の根太固定面の矢印表示は、この面が3軸方向に拘束されていることを示す。天井板取付面の矢印表示は、この矢印の方向に面荷重が加えられることを示しており、この面に一様な大きさの圧力が加えられている状態を示す。図7-c)と図7-d)は数値解析結果を示すコンター図(数値分布を色分けして表示した図)である。図7-c)は負荷による変位の分布を、図7-d)は応力の分布を示している。図7-c)の赤色で示される天井板取付面の先端部分(モノクロ印刷では同図上方の色の濃い部位)で変位が最も大きくなる。一方、図7-d)から接続面の根太固定面側付け根部分に最も大きな応力が生じている。これらの部位から変位、応力を読み取り、板厚、有効材料率、折り曲げ角Rとの関係を分析した。

荷重を加えたときの防振鋼板の変位および応力に対する板厚の違いによる影響を図8に、有効材料率の違いによる影響を図9に、折り曲げ部角Rの違いによる影響を図10に、それぞれ解析結果の一例を示す。

板厚が薄くなるにともない、また有効材料率が小さくなるにともない、同じ荷重条件下で変位、応力いずれも大きくなる傾向が認められる。いずれも、板厚あるいは有効な板幅の減少によって防振鋼板の断面係数が小さくなり、結果的に防

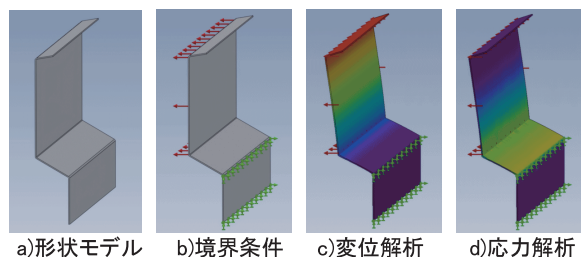


図7 静弾性解析結果の一例

振鋼板の剛性低下にともなって、負荷に対する変形が増大したためである。

材料の断面係数は、曲げ荷重に対する抵抗力の指標となるもので、この防振鋼板に関しては荷重の方向に対して同方向となる板厚の2乗と垂直方向となる板幅に比例する。曲げ荷重に対して変位および応力は断面係数に反比例するので、板厚が20%増えると変位は0.69倍になり、逆に板厚が20%減ると変位は1.56倍になる。図8の板厚0.5mmの変位および応力に対して板厚0.4mmと板厚0.6mmの変位および応力の変化を見ると、概ねこの割合で増減している。

また、同じ曲げ荷重に対して材料の幅が半分になると変位は2倍に、逆に材料の幅が2倍になると変位は半分になる。図9の有効材料率0.5のときの変位および応力に対して、有効材料率が0.25と1.0の変位および応力を比較すると概ねこの割合で増減している。

図10の曲げ加工部位の角Rの影響については、今回の解析で与えた境界条件の範囲では、防振鋼板の変形に対する大きな影響は認められなかった。

一方、天井板の吊り下げ荷重に対する耐性については、板厚0.4mm、有効材料率0.25のとき天井板取付面に3.0kPaの荷重に対して最大応力が250MPaを超えるが、それ以外は200MPa以下である。一般的な鋼板の最大応力は400MPa程度であるが、材料の弾性限度等など安全性を考慮した許容応力は200MPa以下とされるので、想定している使用条件の範囲では材料強度からみた耐荷荷性を満たしていると考えられる。

5.2 遮音構造の防振特性

防振鋼板と天井板による防振構造系の固有振動数の数値解析とその検証試験を行った。図11は、防振鋼板と天井板からなる防振構造系固有振動数の数値解析モデル表示例である。計算条件は4.2項の図6で示した構成とし、2本の防振鋼板を455mmの間隔をおいて設置し、その下に天井板に見立てた幅910mmの板材を接続するモデルとした。防振鋼板の長さ天井板の奥行きは200mmとした。数値計算の境界条件は、防振鋼板の根太固定面を3軸方向に固定し、荷重は、天井板の下方全面に天井板の面比重に当たる0.1kPaの分布荷重として与えた。

現行の防振鋼板を用いた数値解析により荷重を加えたときの天井板の変位から防振構造系の固有振動数を求めた結果を図12に示す。天井板の厚さが増えるにともない防振構造系の固有振動数が高くなり、その増大傾向はほぼ直線的な傾向が得られた。防振構造系の固有振動数は、3章の(9)式で、荷重に対する天井板の変位の平方根に反比例することを示した。また、前項で天井板の変位は、板厚の断面係数に反比例し、断面係数は板厚の2乗に比例することを示した。これらの関係を整理すると、防振構造系の固有振動数は、有効材料比が同じ鋼材であれば板厚に比例することが導かれる。

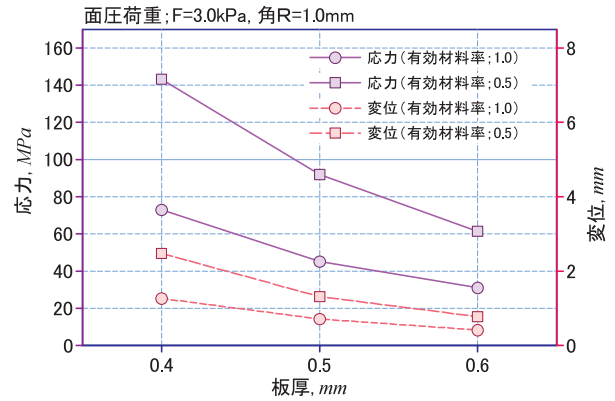


図8 弾性特性に及ぼす板厚の影響

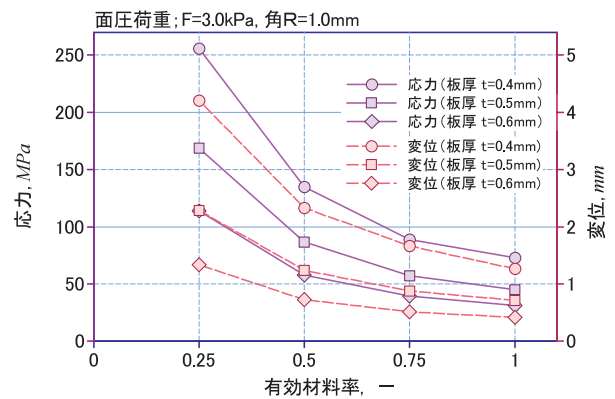


図9 弾性特性に及ぼす有効材料率の影響

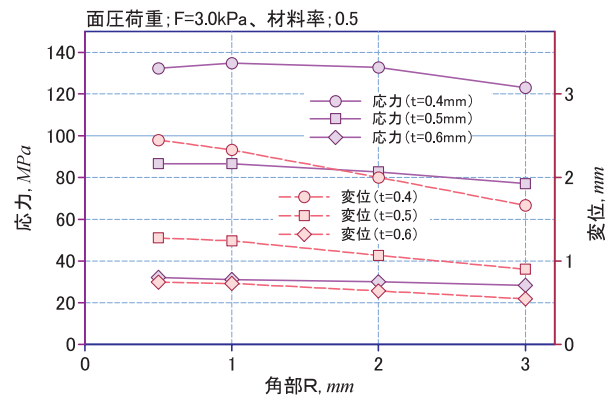


図10 弾性特性に及ぼす折り曲げ部角Rの影響

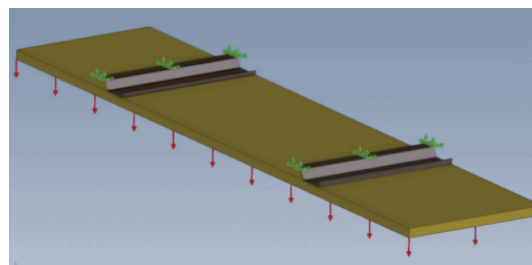


図11 防振構造系の固有振動数解析の表示例

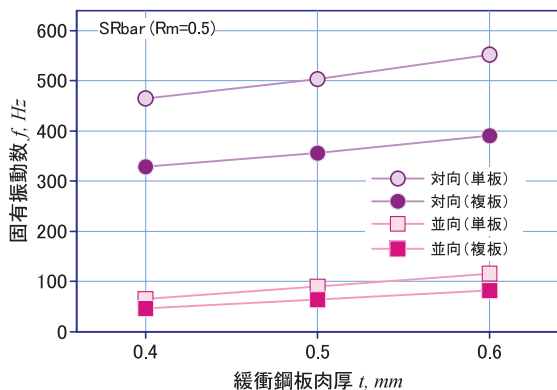


図12 遮音構造系の固有振動数見積もり

図12に示した結果を検証すると、2本の防振鋼材の向きを同じ向きとした「並向」条件のときは、この関係が成り立っているように見えるが、防振鋼材の向きを向き合わせにした「対向」条件のときは、板厚と固有振動数の増減は比例関係になっていない。

防振鋼板の天井板取付面に荷重が加わると、主に防振鋼板の接続面に曲げ荷重が作用して曲げ応力に応じた変位を示すが、この現象を大きな視野で見ると、根太固定面と接続面のなす角度の変化により、両面境界の折り曲げ線を中心に回転しているように見える。天井板の変位は、数値計算モデルの性質上、この回転による変形の鉛直方向成分を計測したことになる。2本の防振鋼板が並向のときは、個々の防振鋼板の変形による鉛直方向および水平方向の成分変位は同じなので、鉛直方向成分変位をそのまま全体の天井板変位としても差支えない。しかし、これらを対向とした場合、2本の防振鋼板の鉛直成分変位は同じだが、水平方向成分はお互いに逆向きとなるため、この計算モデルのように2本の防振鋼板を1枚の天井板に接続した条件では、防振鋼板の水平方向成分変位に対して天井板による拘束力が生じることになる。この拘束力によって防振鋼板が変形しにくくなり、見掛け上は防振鋼板の剛性が高くなるので、同じ荷重を与えたときの天井板の鉛直方向の変位が小さくなる分だけ、防振構造系の固有振動数は高くなる傾向を示す。図12の対向条件による解析結果で高い固有振動数となったのは、この理由によるものと考えられる。さらに、(9)式は、天井板の面密度の平方根に反比例することを示しているが、同図で天井板を単板としたときと複板（2枚）としたときとで固有振動数が概ね1：0.7の比率になっていることから裏付けられる。

しかしながら、現行の断面形状をもつ防振鋼板で目標とする振動吸収周波数を得ることは困難であると推定される。そこで、防振構造系の低周波数域での固有振動数をより低くするために、現行品よりも剛性が低くなるような防振鋼板の形状をいくつか考案した。具体的には、図13に示すように天井板取付面に至る角Rを半径6mm、9mmにしたもの、接続

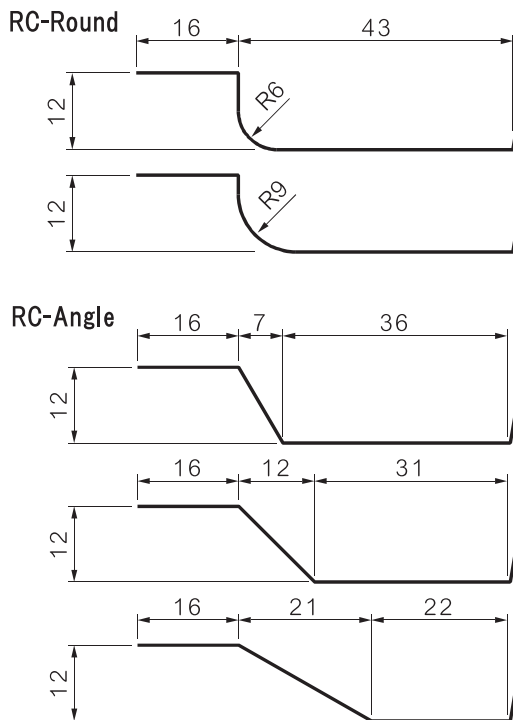


図13 解析に用いた防振鋼板の断面形状

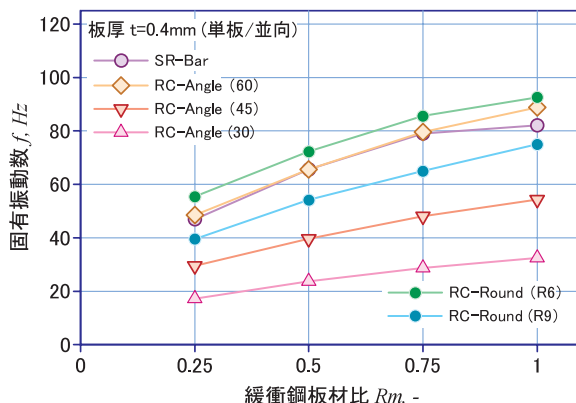


図14 各種鋼板による遮音構造系の固有振動数見積もり

面の角度（現行品は60°）を概ね45°、30°とした断面形状を考案し、数値解析によりこれらの防振鋼板を用いて天井板を設置したときの防振構造系の固有振動数を見積もった。

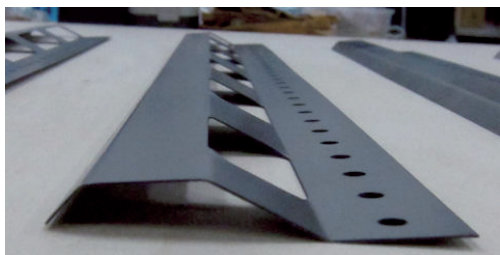
図14に、板厚0.4mmの防振鋼板を並向施工し、面密度10kg/m²の天井板を1枚取り付けた条件で、各断面形状について計算した防振構造系の固有振動数の見積もり値を示す。現行のSRバーに対して同等以上の見掛け剛性を示したのは連結部の角度を現行とほぼ等しい60°としたものと角Rを6mmとしたものであった。それ以外の角Rを9mmとしたもの、連結部の角度を45°、30°としたものを使用することにより、現行品より低い周波数域で防振効果が得られることがわかった。

これらの解析結果を参考に、図13で根太固定面と接続面とのなす角度が30°の断面形状を選定して長さ600mmの防振鋼

板を製作した。試作した防振鋼板の外観を図15に示す。図15-aの断面形状写真で、右側(孔をあけた面)が根太固定面、左側が天井板取付面である。また、図15-bに示すように、接続面に窓孔を設けないものと窓孔の形状を変えて穴あけしたものを用意した。有効材料率は図の左から0.25, 0.5, 0.75, 1.0となる。加振実験は、製作した防振鋼板を455mm間隔に並向に設置し(図16-a)、この上に910×600mmの天井板(面密度8.5kg/m²)を1枚、あるいは2枚取り付けて上から加振したときの天井板の振動変位を非接触式変位計で計測し(図16-b)、デジタル・オシロスコープに取り込んだ振動波形から天井板の振動周期を読み取った(図16-c)。

実験により計測された系の固有振動数を図17に示す。防振鋼板接続面の有効材料率が增大し、剛性が高くなるにもない計測される固有振動数が高くなる傾向が確認された。また、天井板が1枚のときと比較して、天井板を2枚にしたときの系の固有振動数が約0.7倍となった。(9)式で、系の固有振動数は鋼板の剛性の平方根に比例し、天井板の面密度の平方根に反比例することを示したが、計測結果は概ねこの傾向が確認された。図の破線で示した曲線は、天井板の面密度を10kg/m²とした条件で計算した固有振動数の推定値である。これに比べて計測値が若干低めの結果となったが、概ね目標に近い防振周波数を示しており、防振鋼板の剛性と天井板の面密度により所要の吸振周波数を得るための設計手法の有効性が確認された。

また、実験の結果から有効材料率が1でも30Hz程度の固有振動数が得られた。有効材料率が1の防振鋼板は窓孔の加



a) 断面形状



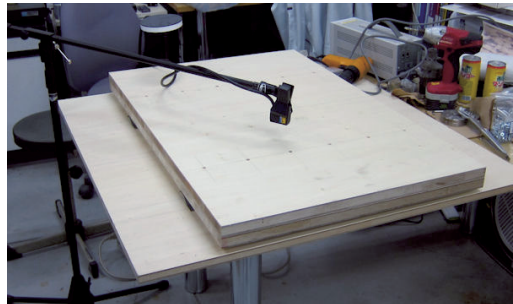
b) 窓孔形状の異なる防振鋼板

図15 試作した防振鋼板の外観

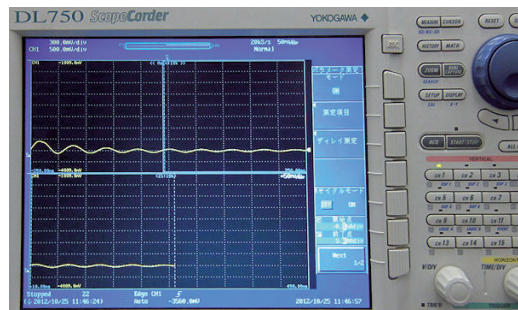
工を要せず、曲げ加工だけで製作できる鋼板でも目標とする音域の遮音性に効果のある構造を構築できる可能性を示している。これにより、施工コストの低減にもつながるので有利である。



a) 防振鋼板の設置



b) 天井板相当の板と変位計の設置



c) 振動波形から周期読み取り

図16 固有振動数計測試験の様子

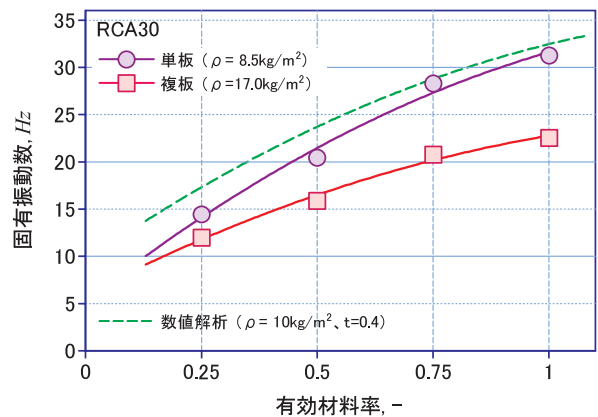


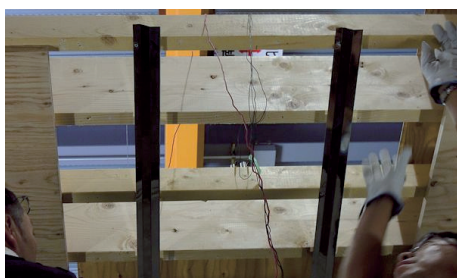
図17 試作した防振鋼板による遮音構造系の固有振動数

5.3 防振性能の計測

前項までの検討結果に基づき、根太固定面と接続面とのなす角度を30°、有効材料率1（穿孔加工なし）、板厚0.4mmの仕様による防振鋼板を製作し、これを使用した試験施工によって遮音性能の検証試験を行った。

図18の写真は検証試験の様子を示す。高さの異なる2系列の梁構造が系ごとに455mm間隔で施工され、背の高い方が床板を支える床根太、背の低い方が天井板を支える天井根太である。試験は、天井根太に製作した防振鋼板を根太と垂直に2本固定し（図18-a）、これに910×910mmの天井板を取り付けた（図18-b）。根太と天井板それぞれに加速度センサを取り付け（図18-c）、インパクトハンマーで根太を加振したときの根太と天井板の振動を計測し、その波形を比較することで遮音性の評価を行った。

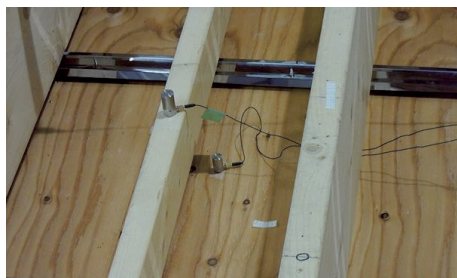
図19に計測結果の一例を示す。図の横軸は周波数（単位；Hz）をとり、縦軸は音圧レベル（単位；dB）をとったものである。図19-aは、天井根太に直接天井板を取り付けて試験したときの天井根太と天井板の振動波形の比較である。高周波域で振動周波数によって振幅の違いが生じているが、今回の研究の目的とする低周波数では振動分析波形が一致している。これに対して、図19-bに示す防振鋼板を用いた場合



a) 試作した防振鋼板の取り付け



b) 天井板の取り付け



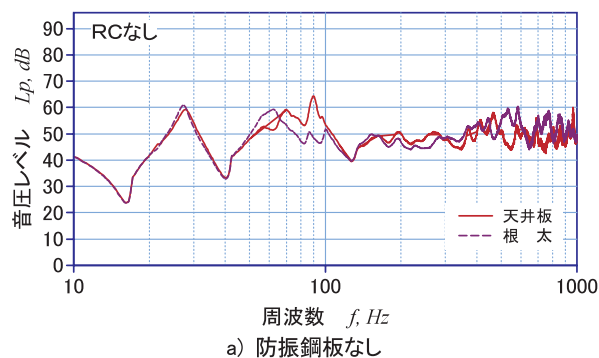
c) 加速度センサの取り付け

図18 試験施工による遮音性能試験の様子

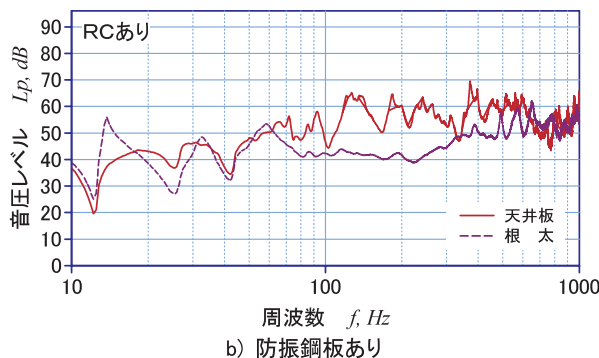
は、二つの振動分析波形に差が認められたが、防振鋼板による明確な遮音効果は認められなかった。この原因を究明するため、床・天井の建築構造や木材の弾性特性などを分析した結果、天井根太の剛性が十分でなく、加振により低周波数域で天井根太そのものが大きく振動するため、防振鋼板の弾性による防振効果が発揮されなかったのではないかと結論に至った。

そこで、天井根太の高さを変えて剛性を高めた条件で根太に直接天井板を取り付けた条件で加振試験を行い、天井根太の剛性による振動分析波形の違いを比較した。図20に、結果を示す。同図で「2×6根太」は図19-bの根太の振動分析波形と同じものである。一方、「高剛性根太」は天井根太の高さを増して補強した条件の振動分析波形であり、2×6根太とは異なる特性を示している。

図21に、天井根太を高剛性のものに代えた条件の遮音性試験結果の振動分析波形を示す。図21-aは、天井根太に直接



a) 防振鋼板なし



b) 防振鋼板あり

図19 振動解析による遮音性評価の例

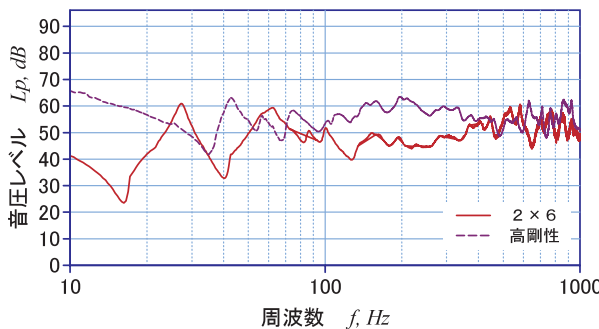


図20 天井根太の剛性による振動解析結果の比較

天井板を取り付けて試験したときの天井根太と天井板の振動波形の比較である。先に示した低剛性根太による試験結果と同様に、低周波数では振動分析波形が一致している。これに対して、図21-bの防振鋼板を用いた場合は、根太と天井板の振動分析波形に大きな差が認められ、約22Hzの周波数域で防振鋼板による遮音効果が得られた。これにより、防振鋼

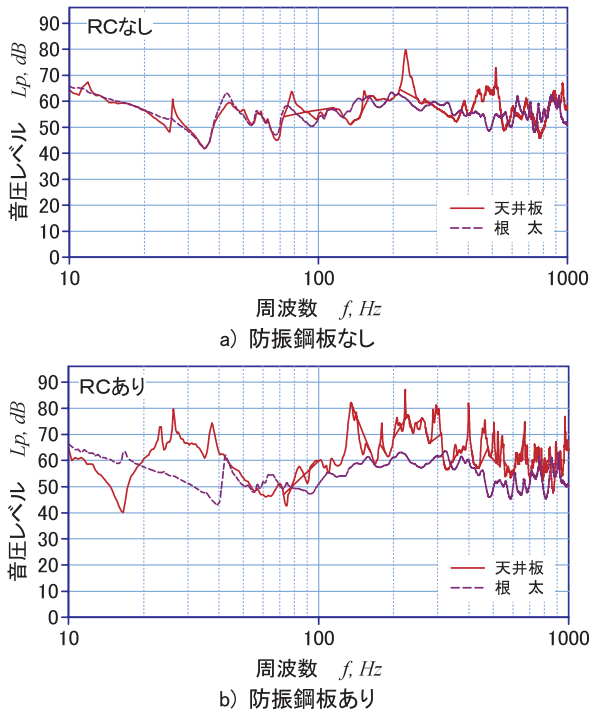


図21 振動解析による遮音性評価の例（高剛性根太）

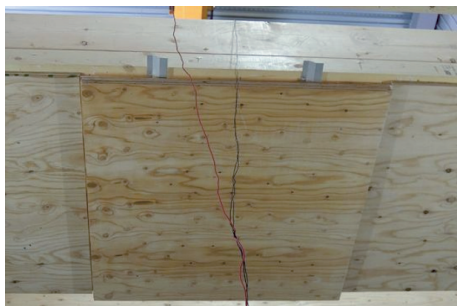


図22 天井板の枚数を増やして防振効果を検証

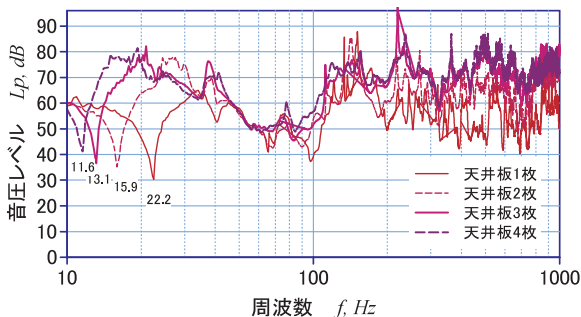


図23 防振性能に及ぼす天井板の枚数（面密度）の影響

板を使用して天井構造の遮音性効果を得るためには、天井根太の剛性を高くする必要があることが分かった。

さらに、天井板の面密度の遮音性への影響について調べるため、図22に示すように天井板の枚数を変えて試験を行い、図23の振動分析波形に示す結果を得た。天井板の面密度を増大させるに連れて防振ピーク周波数が低くなる傾向が認められ、天井板が1枚のときの振動抑制周波数のピークが22.2Hzであったのに対して、重量を4倍にしたときのそれが11.6Hzと、およそ半分になっている。この結果は、(9)式で示した固有振動数が質量の平方根に反比例するという関係式と一致しており、遮音構造系の防振鋼板の見掛けのバネ定数が決まれば、天井板の重量の調整することで目標とする遮音周波数域に対する遮音構造を設計できることが明らかになった。

6. まとめ

木造共同住宅の低コスト遮音工法の開発に関連して、防振鋼板の弾性と天井板の重量を利用した遮音構造に着目し、低い周波数域の遮音性に効果を得るための防振鋼板の設計手法を明らかにした。

防振鋼板に荷重が加えられたときの応力-歪状態を静解析により分析し、防振鋼板の強度の検証と弾性特性の把握を行った。分析の結果、強度は十分に確保されるが、現行の防振鋼板では本研究で目標とする周波数域で遮音効果が得られにくいことを明らかにした。

目標とする低周波数域での遮音性の獲得を目標に、防振鋼板の見掛けの剛性を小さくするための断面形状や窓孔等の異なる防振鋼板を考案し、その弾性特性解析を行った結果、低周波数域の遮音性に効果が期待できる断面形状を見出した。

これをもとに防振鋼板を試作し、試験施工による遮音性能試験を行った結果、防振鋼板による遮音構造を有効にするためには、これを支持する天井根太の剛性を高くする必要があることが分かった。また、目標とする周波数域に対して、防振鋼板の仕様が決めれば、天井板の面あたりの重量を変化させることで調整が可能であることを明らかにした。これらにより、防振鋼板を用いる防音構造の設計手法を開発した。

引用文献

- 1) 廣田誠一, 平光厚雄, 秋津裕志, 朝倉靖弘, 戸羽篤也, 飯田憲一, 田中 学; 「木造公営住宅における床衝撃音遮断性能向上に向けた基礎実験」, 日本音響学会 建築音響研究委員会 4月度研究会 (2013.4)
- 2) 廣田誠一, 平光厚雄, 秋津裕志, 朝倉靖弘, 戸羽篤也, 飯田憲一, 田中 学; 「木造共同住宅における床衝撃音遮断性能向上に向けた基礎実験」, 日本建築学会 第86回北海道支部研究発表会 (2013.6)