

木造住宅における音圧レベルの空間分布

—上階で発生した音の下階での音圧レベルの分布—

塩田洋三^{*}・田中千秋^{*}・高橋 徹^{*}・山本充男^{**}・橋 秀樹^{***}

Yozo SHIOTA, Chiaki TANAKA, Akira TAKAHASHI,

Mitsuo YAMAMOTO, and Hideki TACHIBANA

A Study of the Contours of Sound Pressure Level in the
Receiving Room of Wood-frame House

1. 緒 言

在来工法をはじめとするわが国の木質系戸建住宅の上下階を隔てる構造体は、2階床(合板や畳)と1階の天井である。これらは、コンクリートの隔壁と比べ面密度が小さいため、低い周波数の音は透過しやすく、上階からのステレオ等の空気伝搬音も無視できないとされている。また、上階で子供がとびはねたり、走りまわったりしたときに発生する床衝撃音や木質系床それ自体が音を放射しやすい材料であるため、家具の移動、物体の落下等の衝撃源によっても下階の騒音レベルは高い値を示す。近年、戸建住宅においてもプライバシーの確保や居住性の質的向上が叫ばれ、床衝撃音を低減するための材料も開発されつつある。しかし、同一材料を用いても実験場所によって音圧レベルに大きな差がみられ、データ間に整合性がみられないのが現状である。その原因は、部屋の吸音力による補正がなされていないことや、衝撃点と受音点の取り方が一定していないためである。吸音力補正は、その部屋の残響時間を測定し、計算によって可能である。一方、受音点の取り方については、系統だった法則性がなく、ただ JIS 規格で、受音点は部屋の中で平面的に一様に分布した5点を選ぶことという規定があるのみである。しかし、6帖のように比較的狭い空間では、低い周波数で定在波が生じやすく、受音点の選定の仕方によってその部屋の平均音圧レベルに差が生ずる。従来、木造に限らずコンクリート造の集合住宅について3次元的な音圧分布の詳細な検討がおこなわれた例は少ない。そこで、本研究では、部屋内の空間の音圧レ

ベルの分布を調べ、受音点の選定の指針を提供することを目的とした。本実験について御助言を賜った、東京大学生産技術研究所の石井聖光教授および矢野博夫氏に感謝の意を表します。

2. 実 験

2.1 実験施設

実験には島根大学にある床衝撃音測定用の木造2階建(上,下6帖)住宅を用いた。この建物の立面図を Fig. 1 に示した。実験目的が1階で発生した音ではなく、2階から1階の天井を透過して伝搬してくる音の音圧分布の検討であるので、2階から1階への音の透過が容易のように、2階床は畳を除き、荒板(米松)の床下地のみとした。荒板は16mm厚でサネハギつぎとし、ビス止めされている。従って、床面は比較的均一で、音は均一に透過すると思われる。1階の天井は杉柎目つき板張り合板(3mm厚)を用い、野縁は2階の床梁から吊り下げられている。なお、天井裏には50mmのグラスウールが吸音のために敷かれている。

2.2 実験方法

2階を音源室とし、音源にはスピーカを用いた。スピーカは、2階床上75cmの高さで隅に向けて設置し、2階の空間に音が十分拡散するようにした。雑音発生器(B&K1405)を用いて、スピーカからピンクノイズを発生させた。ここで、上階からの騒音として床衝撃音を用いなかったのは、衝撃位置による音圧分布のかたよりを避けるためである。

受音点は1階の空間全面とした。すなわち、1階空間全体を Fig. 2 のようにメッシュに区切り、この各格子点の位置でマイクロホンによって受音し、この音を $\frac{1}{8}$ オ

* 木材加工学研究室

** 森林計画学研究室

*** 東京大学生産技術研究所

クターバンドで周波数分析し、各周波数毎に音圧レベルの空間分布を求めた。音圧レベルの分布曲線は、コンピュータを用いて各格子点間を短辺方向16等分、長辺方向32等分に分割し、比例配分によって計算させて求めた。ここで、分布図は、長辺方向に壁より50cm離れた内側を、短辺方向には壁より43cm離れた内側の分布を求めた。したがって、ほぼJIS規格の壁より50cm離すという規定の範囲内の分布である。

音圧レベルは記号(英文字)によって表し、相隣る記号間に1dBの差を持たせた。これは分布図を見易くするためである(Table. 1)。

3. 実験結果

3.1 床上1.4mの高さの平面における音圧分布

JIS規格には前述のように、マイクロホンの高さは1.2m~1.5mの範囲とすると記されている。そこで、本実験では、この範囲内の1.4mの高さの音圧レベルを求めた。全音域(OA)および50~500Hzの $\frac{1}{3}$ オクターブ帯域周波数の音圧レベルの分布図の中で特徴的なものをFig. 3~4に示した。またそのときの部屋全体

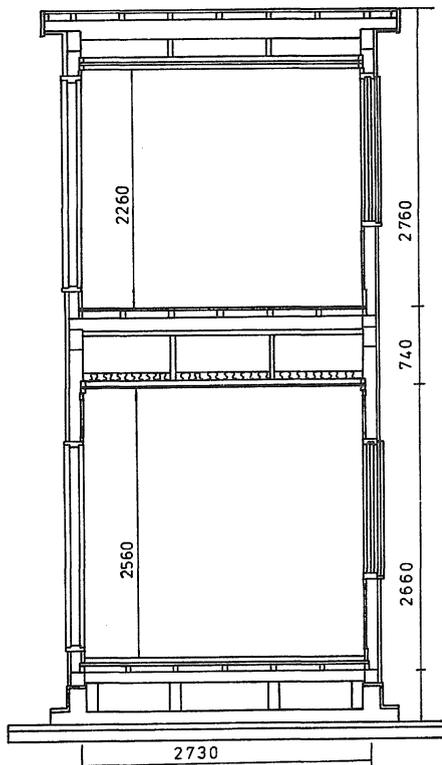


Fig. 1 Elevation of the wood-frame house

Table 1. Key to letter symbols used to represent areas of constant sound pressure level in plates

Symbol	Range of sound pressure level (dB)
H	34-35
I	36-37
J	38-39
K	40-41
L	42-43
M	44-45
N	46-47
O	48-49
P	50-51
Q	52-53
R	54-55
S	56-57
⋮	⋮
Z	70-71

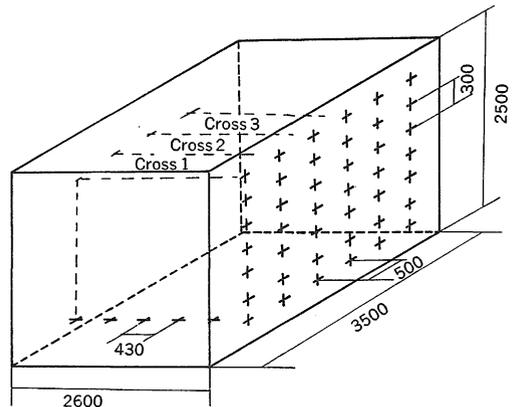


Fig. 2 Measuring point grid in the receiving room

の最高と最低の音圧レベル差をTable. 2に示した。

OAでは、部屋の中央部が低く、壁体に近づくにつれて音圧レベルは高くなっており、その等分布曲線は複雑な曲線を示すが、中央部とコーナーで約8dBの差を有する。また、長辺方向に平行な中心線に対し、ほぼ対称な分布を示している(Fig. 3)。

50Hzでは、短辺に平行な等音圧分布曲線を示す。それに対し、63Hzでは、部屋の中央部を中心とする同心円状の等分布曲線を示す。特に、中央部のレベルが非常に低く、壁体に近づくにつれてレベルは高くなっており、中央部とコーナーで約18dBの差を有する。80Hz

の等分布曲線は、部屋の中央部では長辺方向に平行な中心線に平行な分布を示すが、壁体の近傍では同心円状の分布曲線を示している。すなわち、単一な現象ではなく、複数の定在波が関与していると推測される。木造住宅の床衝撃音で比較的水平が高くなる周波数の125Hzでは、複雑な分布曲線を示すが、80Hzと比較して中央部とコーナーでレベル差は小さい。250Hzでは、本実験の周波数域50—500Hzの中では一番レベル差が小さく、平面的に均一な音圧レベルの分布を示している。また、250Hz以上の周波数での分布曲線も音圧レベル差は小さく、比較的均一な音場といえる。ここでは一例として500Hzの分布を示した。

以上の結果から、50—160Hzの比較的低い周波数の音圧レベルでは、中央部とコーナーでそのレベル差は大きく、したがって、受音点の選定には十分な注意が必要である。一方、それより高い周波数では、平面内で音圧分布は比較的均一であった。

3.2 断面の音圧分布

上階からの透過音であるため、天井近くに中心をもつ音圧分布曲線を一般的に示すようである。

まず、OAについてみると、Cross 1のように壁体に近い断面では、レベルは高いが音圧レベルの分布は比較的均一である。Cross 2から部屋の中央に断面が移る

につれて複雑な分布を示すが、Cross 3は140cm高さの平面のそれと比較的よく似た分布を示した (Fig. 5)

各周波数の比較的側面の影響の小さいCross 3の分布図をFig. 6に示した。63Hz, 80Hz, 125Hzともに中央部のレベルが低く、側壁に近づくにつれてレベルは高くなっている。また、63Hzと125Hzでよく似た音圧レベルの分布を示すが、63Hzのほうが縞紋様が細かく、125Hzと比べてレベル差が中央部と側壁近くで大きい。80Hzはセンターを中心とした同心円状の分布を示し、壁体に近づくにつれてレベルは大きくなっている。また、500Hzを除き全測定周波数域では左右対

Table. 2 Difference of sound pressure levels on the plan of a height of 1.4 meter in the first floor

Frequency	difference of level (dB)
0A	V-Z 8
50	O-X 16
63	M-V 18
80	L-W 22
125	N-S 10
250	M-N 3
500	J-N 8

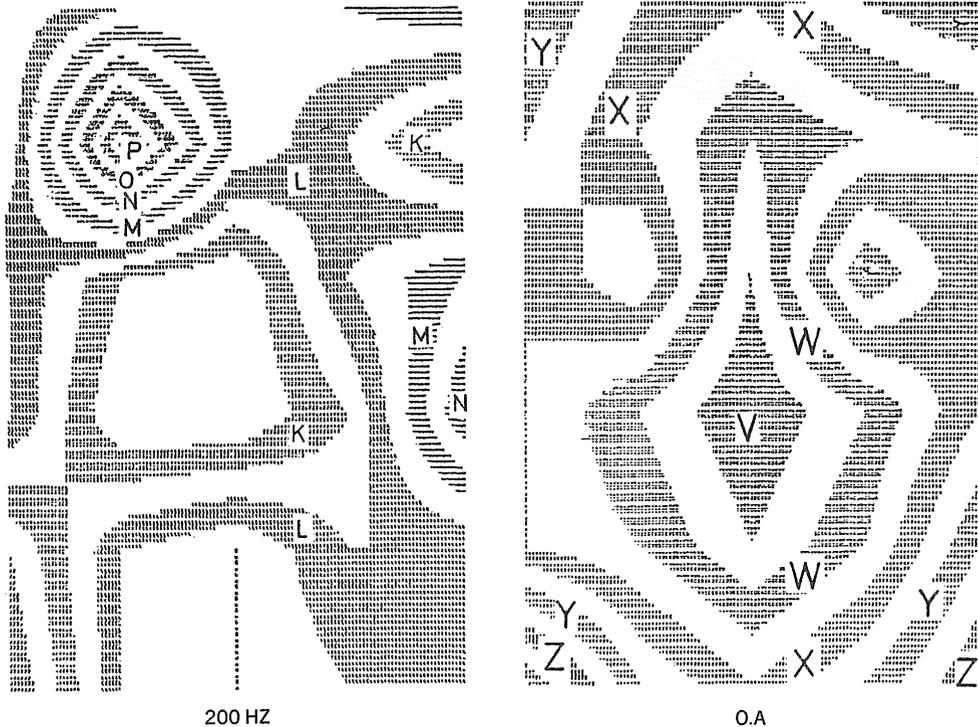
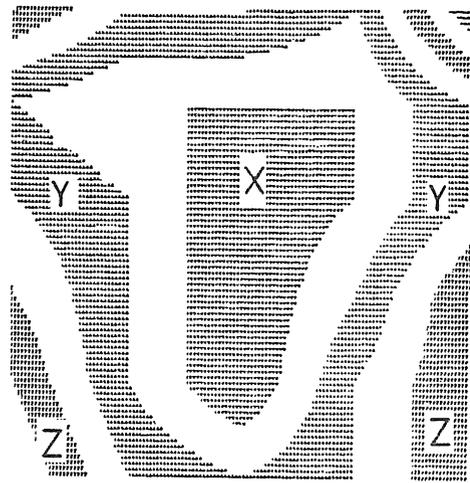
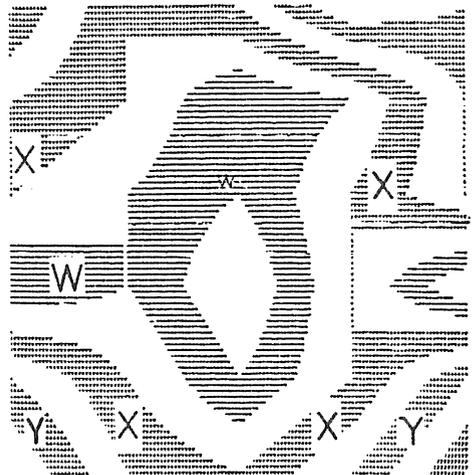


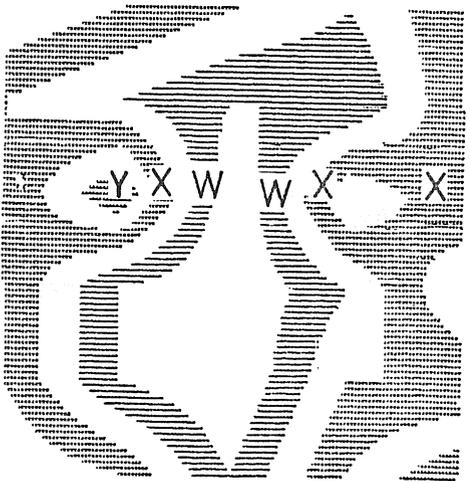
Fig. 4 Sound pressure contour plots on the plane at a height of 1.4m.



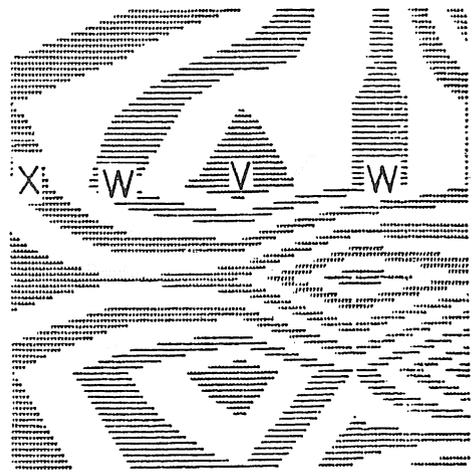
Cross 1



Cross 2

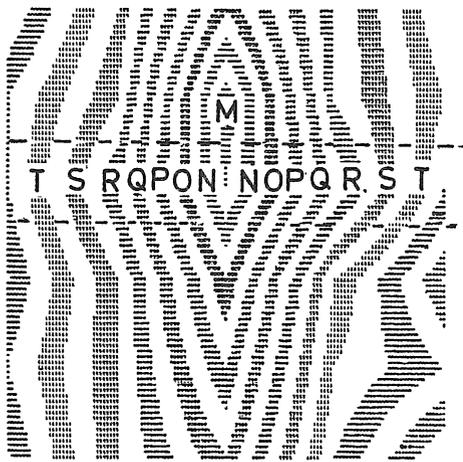


Cross 3

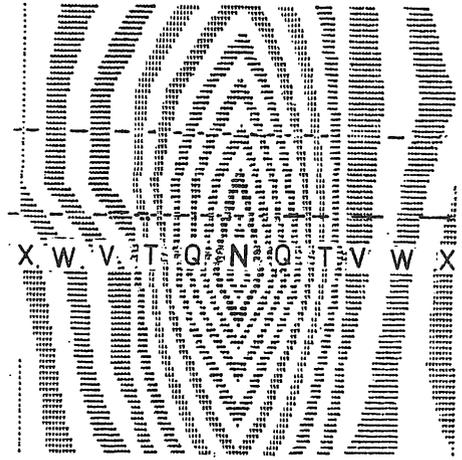


Cross 4

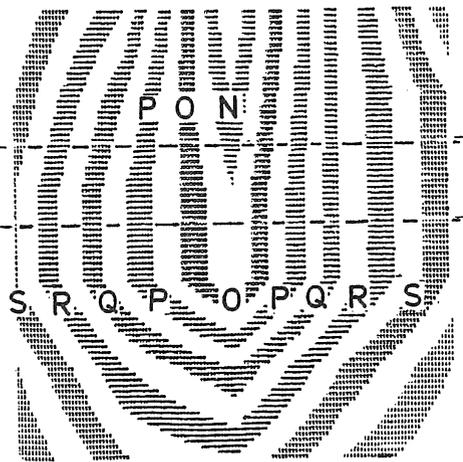
Fig. 5 Sound pressure contour plots on the cross plane (OA)



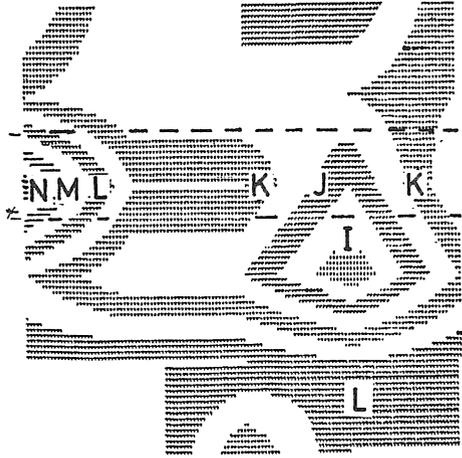
63 HZ



80 HZ



125 HZ



500 HZ

Fig. 6 Sound pressure contour plots on the cross third plane.

称の分布を示した。なお、参考までに、JIS 規格に規定されている 1.2~1.5m の高さを点線で示した。

3.3 部屋の固有振動数

部屋の音圧レベルの分布が各周波数によって異なる原因の1つとして、その部屋に定在波が生じるためであるとされている。この定在波の固有振動は周壁を剛壁とし、壁面上で壁に垂直方向の粒子速度を0と仮定し、部屋の寸法を長辺、短辺、高さをそれぞれ L_x, L_y, L_z としたとき次式で表される。

固有周波数

$$f_n = \frac{C}{2} \sqrt{\left(\frac{n_x}{L_x}\right)^2 + \left(\frac{n_y}{L_y}\right)^2 + \left(\frac{n_z}{L_z}\right)^2}$$

ここで、 n_x, n_y, n_z は 0, 1, 2, ……整数

C は音速

いま、音速 $C=340\text{m}$ とし、 n_x, n_y, n_z に 0~3 を代入し固有周波数を求め、前述の分布図と比較した。50Hz は (1, 0, 0) に対応し、80Hz は (1, 1, 0) と (1, 0, 1) に、125Hz は (2, 0, 1), (2, 1, 0) に、250Hz は (0, 3, 2), (2, 3, 2), (0, 2, 3), (1, 2, 3), (3, 3, 1) に対応し、高い周波数になるにつれて固有周波数のモード数は増加する。このため定在波の振動方向の無秩序さが増し、均一音場となる。

つぎに、分布図と固有周波数を比較すると、50Hz では (1, 0, 0) の短辺に平行な軸波が生じており、両者は一致する。しかし、63Hz では (0, 1, 0) の固有周波数が対応するはずであるが、このような長辺に平行な軸波は明確に表れず、むしろ同心円状で (1, 1, 0) 的なモードを示した。なお (1, 1, 0) は計算では 81Hz である。80Hz では 2つのモードが重なった状態を、125Hz では (2, 1, 0) 的なモードが表れており、いずれも両者に類似性が認められる。

3.4 部屋の伝送特性

前述のように、部屋の固有振動数の式は壁が剛体であるという仮定があった。しかし、木造住宅では、天井や床は勿論のこと壁も剛体でないのが普通であり、そのため厳密には式と合わない。そこで、実験によって部屋にどのような定在波が発生しているかを確認しておく必要がある。この確認のため、部屋の伝送特性を実測した。結果を Fig. 7 に示した。点線がスピーカー特性であり、黒丸が部屋の伝送特性である。この黒丸のピークに計算によって得た固有振動モードを合わせて示した。この図より、50Hz には定在波によるピークは存在するが 63Hz では計算上は (0, 1, 0) のモードがあるがピークは存在せず、定在波による音圧分布曲線ではないことが判る。80Hz や 125Hz にはそれぞれ明確な鋭いピークがみられ、固有振動数との対応もよい。それより高い周波数では固有振動数が増加して密に並ぶため、伝送特性の曲線は直線ではなく変動が激しく、モードが重なり合っているのがわかった。

4. 摘要

以上の結果から、50, 80, 125Hz については、それぞれ1次(軸波)、2次(接線波)の定在波を有することが分布図、計算式、伝送特性より明らかとなった。本実験では周壁が聚楽壁と比較的剛性の高い材料を用いているため平面的にも立面的にも対称性のある音圧レベルの分布を示した。しかし、天井と床は材料が異なるため非対称となっている。したがって、壁にふすまや、障子のように剛性の低い材料を用いれば当然非対称となるので測定時には注意を要する。

また測定点の選定に関しては均一に分布する5点となっているが、この場合、測定点として中央部を用いるかどうかが問題となる。本実験に関する限り、中央は音圧レベルが最低となり、平均音圧レベルという観点にたてば、中央部は特異点となる。とくに、受音点を5点でなく、3点の平均で簡易的に床衝撃音レベルを実測した場合、受音点の中に中央点を含めれば5点平均のそれより数デシベル低い床衝撃音レベルが得られることになり、床衝撃音の改善と誤解されやすい。

つぎに、断面についてみると、1.2~1.5m の高さの一般的な音圧レベルは上方が高く、床に近い下方が低くなっている。数 dB の差が生じている周波数もある。したがって、若干の高さによる誤差を有するが、平面的

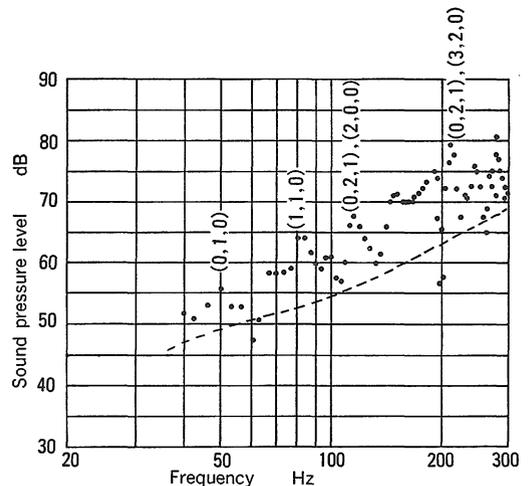


Fig. 7 Sound transmission curves for the source of sine generator in the receiving room. The source was in one corner and the microphone set up diagonally opposite

な音圧レベルの変動程顕著ではない。

一般的に、木造住宅の室内を中央のレベルが高く壁体に近づくにつれてレベルが低くなる自由音場的な音場と考えがちであるが、これらの分布図は、音が壁体によって反射し、干渉し合い、音圧レベルは壁体に近くなるほ

ど高くなる傾向を示した。

引用文献

1. 前川純一：建築音響，共立出版，東京，1968，p. 28.

Summary

The results obtained by different workers show the spread of measure in the sound pressure level about the same kind of materials. This fact may be attributed to the relative small size of the room which easily generated the standing wave.

This report intended to obtain the basic data for the rational selection of receiving position.

A loudspeaker was used to generate sound in the second floor as a transmitting room. Sound pressure levels were measured over a grid of measuring points in a receiving room (the first floor). On gride planes across the width of the room (each plane includes 36 points) the level were cubic spline interpolated between measuring points, a computer being used.

The wide range distribution of sound pressure level was observed at low frequency. The lowest sound pressure level was taken at the center of the room below 200 Hz. The sound pressure level was reletively uniform above 250 Hz. The distribution of sound pressure level from cross planes was not so fluctuated as that of the plane.