

建物の立地条件が騒音レベルに与える影響の定量評価

斎藤 英俊* 小方 幸恵** 長倉 清**

Quantitative Estimation of the Influence of Surrounding Buildings on Wayside Railway-noise Level

Hidetoshi SAITO Yukie OGATA Kiyoshi NAGAKURA

At densely populated areas along railway-tracks, surrounding buildings affect the railway-noise propagation. Although the railway-noise level often decreases by the shielding effect of the buildings, it can increase by the sound reflection on the buildings depending on the condition of their locations. Therefore, in this study, the model experiment where parameters of building conditions are changed is conducted to evaluate the effects of reflection or shielding by the buildings. Consequently, quantitative estimation of the influence of surrounding buildings on wayside railway-noise level is revealed and a model to evaluate the effects of reflection or shielding by the buildings is proposed.

キーワード：新幹線鉄道騒音測定・評価マニュアル，騒音反射，騒音遮蔽，定量評価，沿線騒音

1. はじめに

鉄道沿線の住宅密集地域には、建物やその他の騒音伝搬の障害となるものが存在する。このような住宅密集地域の鉄道騒音の伝搬については、中小建物群による過剰減衰量を表す実験式¹⁾が提案されている。この実験式は建物密度と高架高さをパラメータとして騒音の過剰減衰量を表したものであり、騒音に対する建物群の影響を平均的に評価するには有効である。しかし、実際には、建物の立地条件により騒音測定値は反射の影響を強く受け、局所的に騒音レベルの増大をもたらす箇所が存在すると考えられる。これらの影響を定量的に評価する手法を開発することは、建物壁面からの騒音反射および建物による騒音遮蔽の影響を受けない測定点を選定することを可能とし、事業者の効率的な音源対策に資することができるものと期待される。そこで、本研究では、住宅密集地域における建物壁面等による反射や遮蔽の影響を定量的に評価する手法の提案を目的に、測定点から建物壁面までの距離や線路の見通し角、建物の壁面幅等の条件を変化させた縮尺模型実験²⁾を実施した。本稿では、模型実験の結果から得られた建物の立地条件が騒音レベルに与える影響、建物壁面による騒音反射・遮蔽の定量的な影響評価手法について述べ、その結果をもとに、騒音反射・遮蔽の影響を受けないための測定点の選定条件を提案する。

* 環境工学研究部 騒音解析研究室（現 西日本旅客鉄道株式会社）

** 環境工学研究部 騒音解析研究室

2. 模型実験の概要

図1に実験の基本条件を示す。縮尺1/25の高架構造および車両の模型を無響室内に設置し、無響室内の床面をアクリル板で覆い地面を再現した。以下、寸法は実物換算をした値で検討する。測定点は近接側の軌道中心から25m、地上高さは1.2mの点とし、軌道高さは7mの高架、防音壁高さはF.Lから2.2mとしている。実際の騒音測定現場でよく見られる状況に基づき、建物模型の立地条件を様々に変化させ、建物の影響による騒音の増加量を確認する。なお、車両模型の全長は無響室内の寸法の制約から100mとし、連結部が無い均一な長方形断面としている。この車両模型の下部に、車両模型の全長にわたり、圧縮空気による一様有限長線音源装置を設置する。後述する全ての実験条件において、車両模型（線音源装置）を近接側軌道中心に設置し、実験を行う。

線音源から発生した音を1/4インチマイクロホンを用いて測定する。マイクロホンの感度は音波の入射角度に

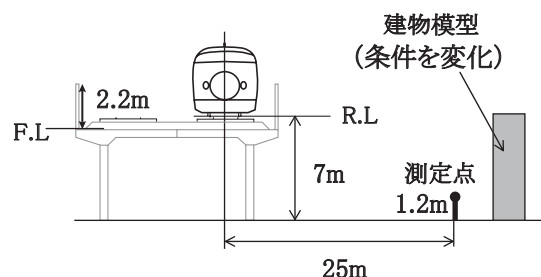


図1 実験の基本条件（実物換算）

特集：環境技術

よって異なり、マイクロホンには正面からの直達音だけでなく、側方および後方からの壁面反射音や地面反射音など様々な方向からの音波が入射する。そこで、本実験では水平方向の感度の等方性を重視し、図2に示す様にマイクロホンを鉛直上向きに設置する。建物模型は発泡スチロール製の直方体で模擬し、コンクリート製や木造の壁面からの騒音反射を模擬するため表面をアルミ板で覆う。実験条件の多くは図1の状態を基本とし、この状態で建物模型の立地条件を様々に変化させる。

測定されたデータに対して、FFTアナライザを用いて周波数分析を行う。さらに、音の伝搬過程において実物と模型との間で相似則が成り立つと仮定し、以下の手順により現地測定試験での騒音レベルに換算する。

- ① 模型実験の結果における1/3オクターブバンド中心周波数を縮尺(1/25)倍する。
- ② 近接軌道中心から25m地点における新幹線の現車試験での騒音レベルと模型実験での音圧レベルの差を1/3オクターブバンド中心周波数ごとに求める。
- ③ 実験条件ごとの1/3オクターブバンド音圧レベルに手順②で求めたレベル差を加え、現車対応の相対騒音レベルに換算する。
- ④ 補正後の1/3オクターブバンドレベルのパワー和を取り、換算値とする。

こうして求めた各実験条件の相対騒音レベルと、建物を配置しない場合の相対騒音レベルの差を騒音増加量 ΔL とし、これを比較することで、建物壁面からの騒音反射および建物による騒音遮蔽の影響を定量的に評価する。

なお、上記の手法を用いて、在来鉄道における現地測定試験結果とこの時の住宅位置・寸法およびマイクロホン設置位置を縮尺模型で模擬して実施した模型実験の結果³⁾を解析し、比較検討した。それにより、現地測定試験結果と模型実験結果は概ね一致し、模型寸法・配置に注意して模型実験を実施すれば、本実験手法により現地測定試験結果の再現は可能であるといえる。また、本実験で用いた手法は、在来線および新幹線の両方において適用可能であると考えられる。

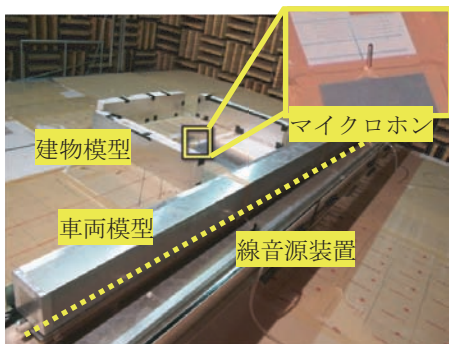
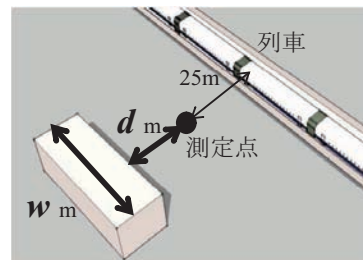


図2 実験状況

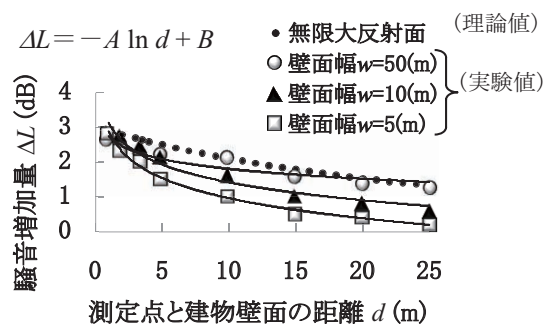
3. 各実験の条件と結果

3.1 測定点が建物の正面にある場合

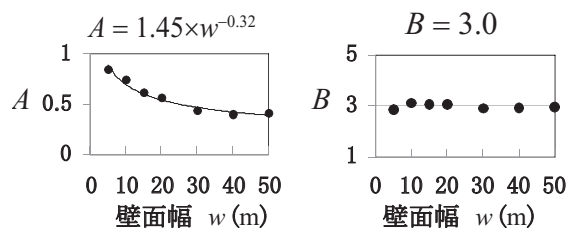
図3(a)に示すように、測定点が建物の正面に位置する場合について、建物の壁面幅 w や測定点と壁面の距離 d を変化させる。測定点の背後に建物が存在するような状況は、住宅密集地では珍しいことではなく、よく見られる状況である。実験は、一戸建て住宅を想定した高さ6mと中高層集合住宅を想定した高さ25mのそれぞれの場合について行う。図3(b)に高さ6mの建物の場合における騒音増加量 ΔL と測定点と建物壁面の距離 d の関係を示す。測定点と建物壁面の距離が最も小さい $d = 1m$ の場合、 ΔL は、いずれも3.0dB弱となり、 d が増加するにつれて減少している。また、 w が小さくなると ΔL も小さくなる。これは、測定点背後の建物壁面で反射する騒音の伝搬距離が長くなることおよび建物壁面幅が有限であることが原因であると考えられる。ここで、図3(b)に示した測定点背後に無限大反射面がある場合の騒音増加量の理論値⁴⁾が壁面幅50mの場合における実験値と概ね合致することから、実験結果は妥当であると考えられる。また、「新幹線鉄道騒音測定・評価マニュアル



(a) 概略図



(b) ΔL と d の関係(実験結果)



(c) A, B と w の関係

図3 測定点が建物の正面にある場合

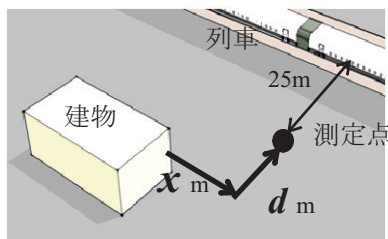
ル」⁵⁾に記載がある地面以外の反射物から3.5m離れた位置にマイクロホンを設置しても、 w によらず騒音レベルは2dB程度増加していることがわかる。次に、実験を行った全ての w ごとに近似曲線を描いた結果、 $\Delta L = -A \ln d + B$ ($1 \leq d \leq 25$)を得た。ここで、図3(c)の係数 A 、 B と w の関係から、回帰により係数 A 、 B の値を求めた。高さ25mの建物の場合についても同様に、騒音増加量を近似式で表すことができることを確認した。係数 A 、 B の検討結果を表1に示す。これより、測定点の背後に建物がある場合の騒音増加量は、測定点と建物壁面までの距離 d と建物の壁面幅 w を変数とした近似式により定量的に推定することが可能である。なお本実験式は、実験を実施したパラメータの範囲内でのみ適用が可能である。

表1 係数 A 、 B の検討結果

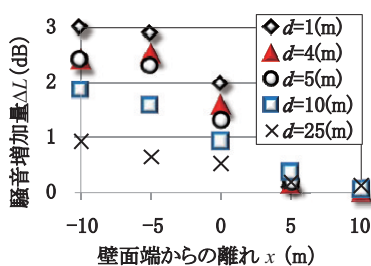
	A	B
建物高さ 6m	$1.45 \times w^{-0.32}$	3.0
建物高さ 25m	$1.59 \times w^{-0.36}$	3.0

3.2 測定点が建物の正面からずれている場合

図4(a)に示すように、測定点が建物の正面からずれている場合について、測定点から線路への垂線と建物壁面端までの距離 x および測定点と壁面の延長線上までの距離 d をそれぞれ変化させる。実験は、建物高さが6mと25mのそれぞれの場合について実施する。また、建物の幅は $(25+x)$ mとする図4(b)に高さ6mの場合における騒音増加量 ΔL と x の関係を示す。測定点から線路への垂線と建物壁面端までの距離が5m以上離れている($x \geq 5$)場合、騒音増加量 ΔL はいずれのケースでも0.5dB以下となっており、建物壁面からの反射の影響



(a) 概略図



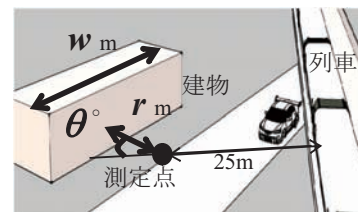
(b) ΔL と x の関係(実験結果)

図4 測定点が建物(高さ6m)の正面からずれている場合

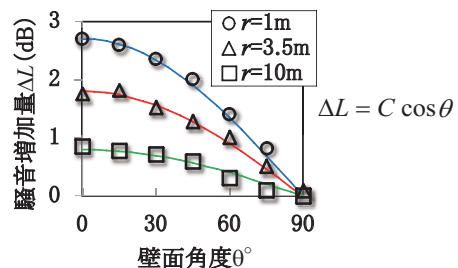
は小さくなることわかる。一方、測定点が建物の前面にかかる($x=0$)場合には、測定点から線路への垂線と建物壁面端までの距離が5m($x=5$)となる場合と比較すると ΔL が最大で2dB程度大きくなる。建物の高さが25mの場合についても、騒音増加量 ΔL と x の関係には、建物高さが6mの場合と同様の傾向があることを確認した。

3.3 線路に対して斜めに立地している建物の場合

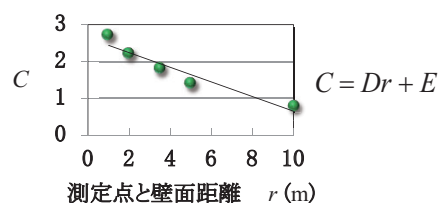
図5(a)に示すように、新幹線高架と斜めに交差する道路沿いに建物が立地している場合について、測定点から線路への垂線と測定点から壁面への垂線が交わる角度(以下、壁面角度という) θ ならびに測定点と壁面の距離 r 、壁面幅 w を変化させる。実験は、建物高さが6mと25mのそれぞれの場合について実施する。図5(b)に騒音増加量 ΔL と θ の関係(高さ6m、幅5mの建物の場合)を示す。 θ が小さい場合には、建物壁面からの騒音反射の影響が強くなるため ΔL は大きくなる。一方、 θ が大きい場合には、建物による騒音遮蔽の影響が強くなり、 ΔL は小さくなると考えられる。ここで、測定点と壁面の距離 r ごとに近似曲線を描いた結果、 $\Delta L = C \cos \theta$ を得た。次に図5(c)に示すように、係数 C と r の関係を w ごとに回帰により求めた。高さ25mの建物の場合についても同様に騒音増加量を近似式で表すことがで



(a) 概略図



(b) ΔL と θ の関係(実験結果)



(c) C と r の関係

図5 線路に対して斜めに立地している建物の場合(高さ6m、幅5mの建物)

特集：環境技術

きることを確認した。係数 C の検討結果を表 2 に示す。以上より、新幹線高架と斜めに交差する道路沿いに立地している建物壁面からの反射による騒音増加量は近似式により定量的に推定することが可能である。なお、本実験式は、実験を実施したパラメータの範囲内でのみ適用が可能である。

表 2 係数 C の検討結果

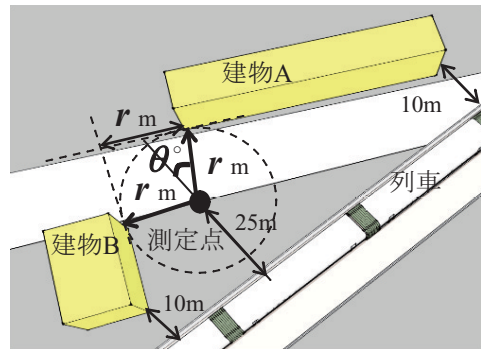
	高さ 6m の建物		高さ 25m の建物	
	D	E	D	E
$w=5m$	-0.19	2.63	-0.22	2.89
$w=10m$	-0.14	2.87	-0.16	3.13
$w=15m$	-0.13	3.02	-0.12	3.13
$w=20m$	-0.10	2.90	-0.09	2.96

3.4 測定点が2つの建物に囲まれている場合

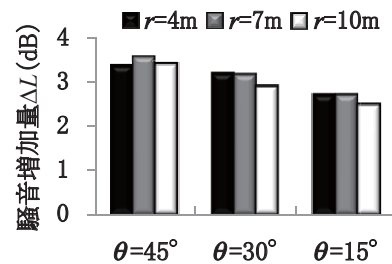
図 6 (a) に示すように、測定点が2つの直交する建物 A, B に囲まれている場合について、建物の壁面角度 θ を 45° , 30° , 15° に変化させ、それぞれの θ に対して道路幅員 r をそれぞれ 4m, 7m, 10m に変化させる。このような状況は、新幹線高架と斜めに交差する道路を挟んで2つの建物が直交して配置されている場合によく見られる。なお、2つの建物 A, B が測定点を中心とする半径 r の円の接線上に位置する場合を想定している。ここで、建物 A および B はそれぞれ高さ 6m とし、高架橋端部から 10m 離れた地点まで立地しているものとする。また、建物 A が建物 B の延長線上と重なるまで建物模型 A の壁面幅を延長し、反射の影響を大きくした場合についてもそれぞれ検討する。図 6 (b) に、建物 A の壁面幅を延長しない場合、図 6 (c) に建物 A の壁面幅を延長する場合の騒音増加量 ΔL と θ の関係を示す。図 6 (b) より、建物 A の壁面幅を延長しない場合の ΔL は 2.5~3.5dB となっている。一方、建物 A の壁面幅を延長し、反射の影響を大きくした場合には、図 6 (c) に示すように ΔL は 3.1~3.8dB となっていることが確認できる。以上より、道路を挟んで直交する2つの建物壁面に測定点が囲まれている場合の騒音増加量は、測定点と建物壁面までの距離が 10m 程度離れている場合においても、騒音反射の影響を強く受け、3dB 以上となる場合があることがわかる。

3.5 測定点が3つの建物に囲まれている場合

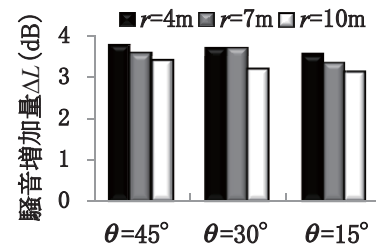
図 7 (a) に示すように、測定点が3つの建物に囲まれている場合について、壁面幅 w の建物を測定点の背後に d だけ離れた箇所に、壁面幅 25m の建物を測定点の左右方向にそれぞれ $w/2$ だけ離れた箇所に設置し、 w を 20m, 30m, 40m, 50m に変化させ、それぞれの w に対して、 d を 15m, 20m, 25m に変化させる。このような状況は、新幹線鉄道沿線に散在する公園や空き地によく見られ



(a) 概略図



(b) ΔL と θ の関係 (建物 A の壁面幅を延長しない場合)



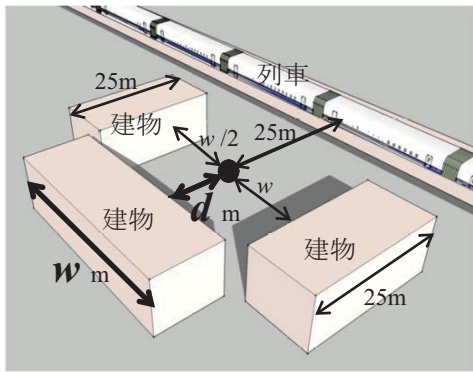
(c) ΔL と θ の関係 (建物 A の壁面幅を延長する場合)

図 6 測定点が2つの建物に囲まれている場合

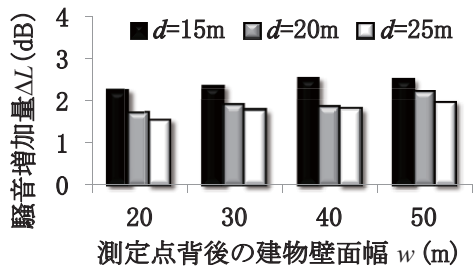
る。実験は建物高さが 6m の場合について実施する。図 7 (b) に、測定点が3つの建物壁面に囲まれている場合、図 7 (c) に測定点の両側に建物がない場合の騒音増加量 ΔL と w の関係 (第 3.1 節から結果を抜粋) を示す。図 7 (b) より測定点が3つの建物壁面に囲まれている場合の ΔL は d が 25m 程度離れていても 1.5~2.0dB となることがわかる。また、この場合の ΔL は、測定点の背後にのみ建物がある場合 (図 7 (c)) と比べて 0.4~0.9dB 大きくなり、左右に建物が存在することで反射の影響を一層強くうけることがわかる。

3.6 測定点からの線路見通し角

住宅密集地域では、建物壁面からの騒音反射の影響だけではなく、建物による騒音遮蔽の影響も存在する。そこで、測定点から線路方向への見通し角を変化させ、建物壁面による遮蔽の影響を確認する。図 8 (a) に示すように、測定点の両側に同じ寸法の建物 (高さ 6m, 側壁幅 10m) を高架と平行に測定点から等距離になるように設置する。実験は、測定点と近接軌道中心の距離が 25m と

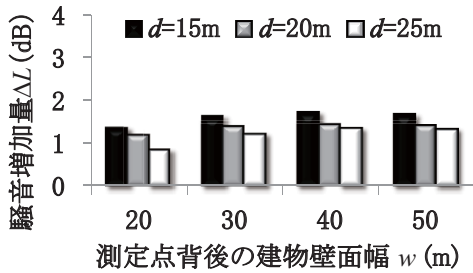


(a) 概略図



(b) ΔL と w の関係

(測定点が3つの建物に囲まれている場合)



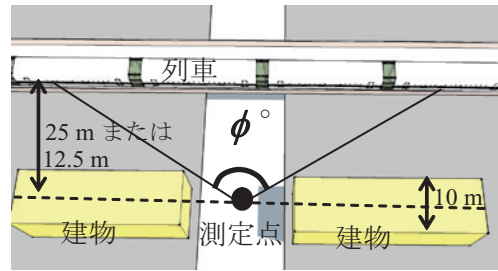
(c) ΔL と w の関係

(測定点の背後にのみ建物がある場合)

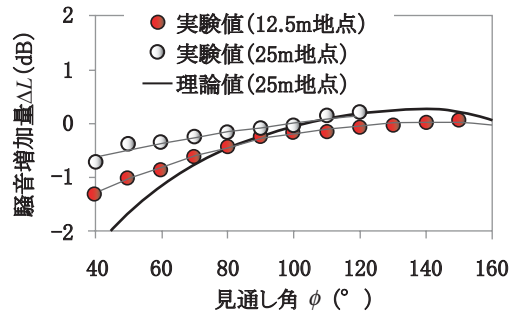
図7 測定点が3つの建物に囲まれている場合

12.5mの場合について、線路方向への見通し角 ϕ を $40^\circ \sim 150^\circ$ まで 10° ごとに変化させて行く。なお、建物が無い場合、本実験での車両長である100mの線路を測定点から見通すことのできる角度は、測定点距離が25mの場合で 126° 、測定点距離が12.5mの場合で 152° となる。図8(b)に、測定点から線路方向への見通し角を変化させた場合の実験結果(騒音増加量 ΔL と ϕ の関係)および長さ400mの車両が近接軌道側中心に設置されている場合に線路見通し角を変化させた場合の理論値(騒音増加量 ΔL と ϕ の関係)を示す。なお、理論値の計算は、 ϕ ごとに線路方向へ見通すことが可能な列車長(線音源長)を求め、この有限長線音源から距離減衰する直接音と測定点の両側に位置する建物側壁端からの反射音のエネルギーを合成して求めた。理論値および実験値のいずれの場合についても、見通し角が 120° 程度になると騒

音増加量はほぼ0となり、建物壁面による遮蔽および建物側壁からの反射の影響がほぼなくなることがわかる。



(a) 概略図



(b) ΔL と ϕ の関係

図8 線路見通し角の変化

4. 騒音測定実施の留意点

前章までに述べた模型実験の結果から、音源が同一の場合でも建物の立地条件によっては騒音が反射し、局所的に騒音レベルが増大することが明らかになった。適切な音源対策を実施するため、あるいはその効果を明確にするためには、建物壁面からの騒音反射および建物による騒音遮蔽の影響を除去し、騒音レベルの実態を適切に把握・評価することが必要となる。そこで、本章では、適切な騒音測定のために必要な測定点の選定ポイントについて提案する。

マイクロホンが建物の正面に位置する場合には、第3.1節の結果(図3(b))より、測定点と建物壁面の距離を離すことだけでは反射の影響を無視できる程度に小さくすることはできないものと考えられる。さらに、第3.2節の結果(図4(b))より、背後の建物壁面端から壁の無い方向にマイクロホンを離していくと反射の影響による騒音の増加量は小さくなることが確認された。これらのことから、マイクロホンが建物の前面に位置する場合には、マイクロホンを建物壁面の正面に設置することを避け、建物壁面端から壁の無い方向に少なくとも5m以上離れた位置に設置することが望ましい。一方、測定点が建物の前面にある場合でも建物壁面が線路に対して垂直となる場合(図9)には、第3.3節の結果(図5(b)、壁面角度 $\theta=90^\circ$ の結果)から、騒音増加量は0.5dB以下

特集：環境技術

となり、騒音測定値へ及ぼす影響は無視できる程度に小さいといえる。これは、建物壁面からの騒音反射と建物による騒音遮蔽の影響が相殺され、騒音増加量がほぼ無くなるものと考えられる。したがって、測定点の背後に建物が存在する場合でも、それが線路への垂線方向に設置されている建物壁面であれば、騒音測定値へ与える影響は小さく、適切な騒音測定を実施するための箇所として問題はないといえる。

測定点が複数の建物に囲まれている場合には、第3.4節、第3.5節の結果（図6（b）、（c）および図7（b））から、壁面幅、建物の壁面角度にかかわらず壁面反射の影響を強く受けることがわかる。したがって、測定点が複数の建物壁面に囲まれている位置での騒音測定は避けることが望ましい。また、第3.6節の結果（図8（b））から、線路見通し角が 120° 以上あれば建物壁面による遮蔽の影響はほぼ無くなることから、図10に示すように線路見通し角が 120° 以上ある箇所を測定点とすることが望ましい。

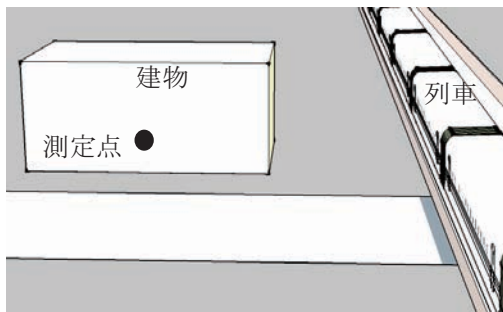


図9 建物壁面が線路に対して垂直となる場合

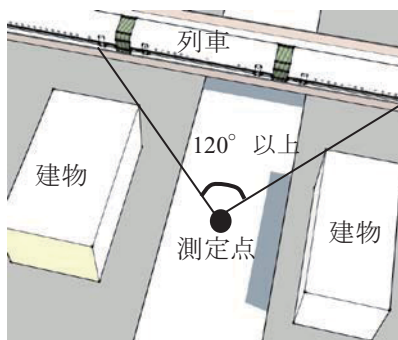


図10 120° 以上の線路見通し角が確保可能な場合

5. まとめ

実際の騒音測定現場に見られる状況を模擬し、建物の壁面幅や壁面までの距離等の立地条件を様々に変化させる模型実験を実施した。その結果、測定点の背後に建物がある場合では壁面から3.5m離れた地点における騒音増加量は2dBとなること、立地条件によっては騒音に対する影響を近似式で推定することが可能なこと、測定点が複数の建物に囲まれている場合には騒音反射の影響を強く受けることを確認した。このことは、環境省から公表された「新幹線鉄道騒音測定・評価マニュアル」の手法に従って測定を実施しても、騒音測定値は反射の影響を強く受ける場合があることを示している。さらに、これらの模型実験結果を踏まえ、騒音の反射・遮蔽の影響を小さくするための測定点の選定ポイントを提案した。

文献

- 1) 石井聖光, 子安勝, 長祐二, 木庭紀之: 在来線高架鉄道からの騒音予測手法案について, 騒音制御, Vol.4, No.2, 1980
- 2) 斎藤英俊, 小方幸恵, 長倉清: 鉄道沿線騒音に対する建物壁面等反射音の影響評価, 第17回鉄道技術連合シンポジウム J-RAIL2010, 2010
- 3) 田中慎一郎: 住宅密集地における在来鉄道の騒音分布に関する検討, 日本騒音制御工学会平成21年秋季研究発表会, 2009
- 4) 技報堂出版: 騒音・振動対策ハンドブック, pp198, 1985
- 5) 環境省: 新幹線鉄道騒音測定・評価マニュアル, 2010