

鉄道騒音の伝播過程における住宅群による減衰の影響

澤村 陽一* 北川 敏樹* 小方 幸恵*

Effect of Insertion Loss due to the Detached Houses on Railway Wayside Noise

Yoichi SAWAMURA Toshiki KITAGAWA Yukie OGATA

The effect of excess attenuation of railway noise due to detached houses is important in producing noise map. This effect is caused by reflecting or shielding noise by houses. The excess attenuation can be estimated by combining ASJ RTN-Model 2013, which is widely used in prediction on road traffic noise, with the noise prediction models of conventional and Shinkansen railways. Overall trends are well predicted in both the cases of conventional and Shinkansen railways. However, under prediction of up to 10 dB is found at some points in the case of Shinkansen railways. This could be because these points are so far away from the track that the model is not suitably applied at these points.

キーワード：新幹線，在来線，騒音予測，住宅群，超過減衰

1. はじめに

現在、新幹線沿線での騒音評価は当該区域の代表点(通常は25m点)で行われ、その評価指標には時間重み付け特性Sでの騒音レベルの最大値($L_{pA,Smax}$)が用いられている。一方、在来線騒音(新幹線に対する表現であり、在来線の騒音を指す)においては新設線および大規模改良線を対象とした評価に、12.5m点における等価騒音レベル($L_{Aeq,T}$)が用いられている。この等価騒音レベルは、時間変動する騒音レベルのエネルギーを時間平均したものを示す。また、日本の道路交通騒音や欧州の多くの国では鉄道騒音の評価指標として $L_{Aeq,T}$ が広く用いられている。これらから将来的に日本の鉄道騒音評価は $L_{Aeq,T}$ などの指標に移行する可能性がある。また、日本の道路交通騒音においては、一定の地域内に存在する全ての住居等のうちで騒音レベルが環境基準を超過する戸数及び超過する割合に基づいて評価する方法(面的評価)が採用されている。沿線に立地している全ての住宅位置で騒音レベルを測定することは困難であるため、この評価方法を鉄道沿線地域の騒音に適用する場合、民家の位置における騒音を予測することが必要になる。このためには、沿線にある建物の影響を考慮した騒音予測が必要である。これは、沿線に建物が立地している場合、鉄道騒音の伝播に対して、建物による遮へいや多重反射の影響が大きいためである。

そこで、本研究では、住宅密集地での騒音評価に向けて、住宅群における超過減衰の影響評価について検討を行う。なお、超過減衰とは、音源からの距離によって生じる減衰以外の要因による減衰のことを指す。住宅群を考

慮した鉄道騒音の超過減衰は、在来線における高架橋条件の場合について石井らによりモデル化されている¹⁾。しかし、在来線の平地条件の場合や、新幹線鉄道騒音に対応した住宅群における超過減衰モデルはない。そこで、住宅群の影響評価には道路交通騒音の予測モデル(ASJ RTN-Model 2013)²⁾の住宅群超過減衰モデルを用いた。また、鉄道騒音の音源モデル及び住宅群の影響を除いた伝播モデルには、在来線騒音の予測モデル³⁾および新幹線騒音予測法⁴⁾を用いた。本報告では、ASJ RTN-Modelの住宅群超過減衰モデルの概略を説明し、このモデルを在来線・新幹線の各騒音予測法に対して適用して、現地試験で得られた測定結果との比較を行う。

2. 住宅群背後における鉄道騒音予測手法

2.1 ASJ RTN-Model 2013の住宅群超過減衰モデル

ASJ RTN-Model 2013²⁾は道路交通騒音の予測モデル群である。本研究では、ASJ RTN-Modelの「戸建て建物群背後における騒音の線音源モデルによる計算法(盛土道路)」(以下、住宅群超過減衰モデル)を採用した。このモデルは模型試験の結果より構築され、戸建て住宅群背後における特定点での等価騒音レベルに対応した減衰補正量を求めるものである。減衰補正量の計算に必要なパラメータは、各予測点での道路(線路)からの離れ、予測点高さ h_p 、建物の平均高さ H 、音源高さ h_s 、見通し角 ϕ および建物率 γ などである。また、超過減衰モデルの適用範囲は道路(線路)から20~50mの範囲で、 $1.2 \leq h_p \leq 8.2$ 、 $4 \leq H \leq 10$ 、 $0.2 \leq h_s \leq 8.3$ (いずれも単位はm)の範囲にあることとなっている。

* 環境工学研究部 騒音解析研究室

特集：空気力学・騒音

2.2 鉄道騒音の予測

在来鉄道騒音の評価，新幹線騒音の音源モデル及び住宅群の影響を除いた伝播モデルには，文献^{3) 4)}に示されたモデルを採用した。これらにより住宅群の影響を受けていない場合の単発騒音暴露レベル $L_{0,AE}$ を求める。次に，住宅群超過減衰モデルを用いて，各予測点で住宅群の影響による騒音レベルの減衰補正量 ΔL_{bldgs} を求め， $L_{0,AE}$ に対して加算することで住宅群の影響を受けた単発騒音暴露レベル L_{AE} を求める。音源位置の代表点は防音壁の突端とした。2.1 節での予測に必要な見通し角 ϕ ・建物率 γ の算出には地図データ⁵⁾ を利用した。

予測値は基準点で得た単発騒音暴露レベルを 0dB とした時の相対単発騒音暴露レベルとした。

2.3 ASJ RTN-Model の適用可能性

住宅群超過減衰モデルは道路交通騒音の周波数スペクトルに対する減衰補正量を求めるものである。そこで，道路交通騒音と鉄道騒音の代表的な周波数スペクトルを比較した(図1)。同図において道路交通騒音の周波数スペクトルには ASJ RTN-Model のモデル式を，在来鉄道騒音の周波数スペクトルは文献⁶⁾に示された平地区域での測定結果を，新幹線騒音の周波数スペクトルに関しては文献⁷⁾で示された車両下部音と集電系音に対応する結果を用いた。

在来鉄道騒音，新幹線の車両下部音のスペクトルは道路交通騒音の結果とほぼ同様である。一方，新幹線における集電系音は道路交通騒音と比較して 630Hz 以下の周波数帯で大きくなっている。これは，新幹線騒音に対して，集電系音の寄与が大きい地点では建物による音の遮へい効果が住宅群超過減衰モデルの評価よりも小さくなる可能性があることを示すものである。したがって，住宅群超過減衰モデルによる予測評価を新幹線騒音に用いる際，予測値が過大評価となる可能性があることには留意が必要である。

また，住宅群超過減衰モデルは等価騒音レベルに対するモデルであるが，本研究では単発騒音暴露レベルに対して同モデルを適用している。等価騒音レベルは，時間変動する騒音レベルのエネルギーを時間平均したものである。一方，単発騒音暴露レベルは，一度に発生する騒音と等しいエネルギーを持つ継続時間 1 秒の定常音の騒音レベルに換算した値を示す。このため，単発騒音暴露レベルは，等価騒音レベルと同様にエネルギーベースの評価量であり，原理的に住宅群超過減衰モデルで求めた減衰補正量を適用可能である。

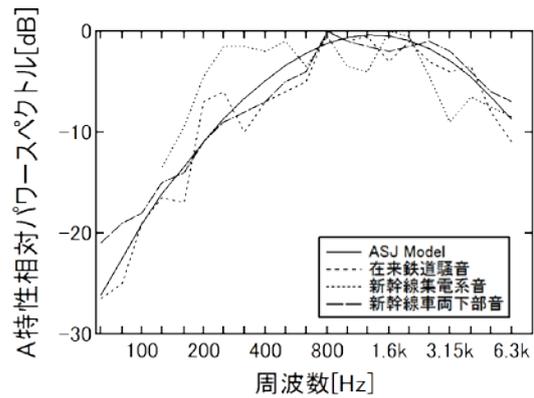


図1 道路交通騒音と鉄道騒音スペクトルの比較 (各スペクトルの最大値を 0dB とした)

3. 現地試験

3.1 現地試験(在来鉄道)

在来鉄道騒音の現地試験結果は田中らによる現地試験結果⁶⁾を利用した。測定区域は平地区域と高架橋区域の2箇所，測定点は平地区域 26 点，高架橋区間 28 点である。マイクロホンを地上高 1.2m，近接軌道中心からの離れは 5m ~ 80m の間に設置した。

3.2 現地試験(新幹線)

新幹線騒音における現地試験の実施概要を表1に示す。ここで，G.L. は地表面，R.L. はレールレベルを示す。現地試験を行った2箇所の住宅密集区域を，それぞれ区域A，区域Bと称する。区域Aは住宅が雑然と並ぶ一般的な住宅地，区域Bは住宅が整然と並ぶ新興住宅地である。区域A，Bともに高架橋区間である。マイクロホンを，地上高 1.2m，レールからの離れは 0m (高架橋直下) ~ 120m の間に設置した。測定箇所の概況を図2，図3に示す。測定に際して，現地を通過した新幹線の列車種別・通過速度・通過時刻を記録した。

表1 新幹線騒音における現地試験の条件

区域	区域 A	区域 B
有効測定列車数(上り)	11	5
有効測定列車数(下り)	10	5
列車速度	197 ~ 270km/h	152 ~ 238km/h
レール高さ (G.L. ~ R.L.)	11.02m	7.63m
防音壁高さ	R.L. + 1.5m	

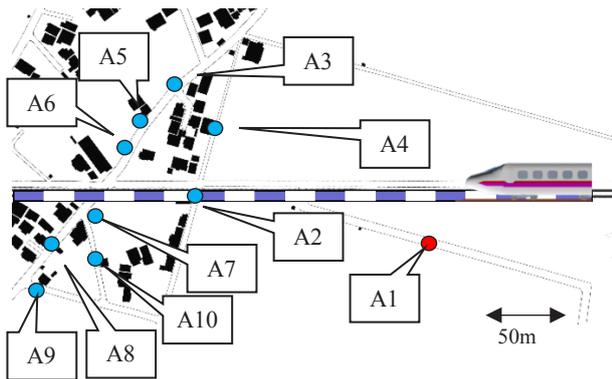


図2 試験区域 A および測定点の模式図⁵⁾
(新幹線・区域 A, A1 は基準測定点)

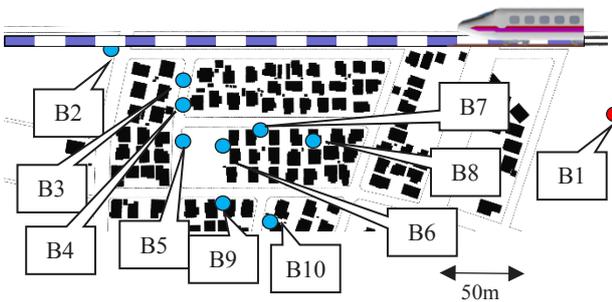


図3 試験区域 B および測定点の模式図⁵⁾
(新幹線・区域 B, B1 は基準測定点)

3.3 現地試験データの整理方法

測定においては、全ての騒音計を収録モードに設定した後、騒音計を各区域で 10 箇所程度の測定位置に設置した。測定後、収録された結果から、各新幹線の騒音レベル（周波数重み付け特性 A，時間重み付け特性 S）波形を再生し、式 (1) により単発騒音暴露レベル L_{AE} を算出した。

$$L_{AE} = 10 \log_{10} \left(\frac{\Delta_t}{T_0} \sum_k 10^{\frac{L_{A,S,k}}{10}} \right) \quad (1)$$

ここで、 $L_{A,S,k}$ は騒音計に収録された騒音レベルの k 番目のサンプル値、 T_0 は基準時間 (=1s)、 Δ_t (=10ms または 100ms) はサンプリング間隔である。エネルギー加算を行う範囲は、1 列車の騒音レベルの最大値 $L_{pA,Smax}$ から 10dB 低いレベルを上回る時間とした。

測定区域毎に、住宅群による影響が比較的小さいと考えられる測定点を基準測定点と定めた (A1, B1)。各測定点の試験データは、基準測定点での単発騒音暴露レベルを 0dB として相対単発騒音暴露レベルを求めた。

4. 住宅群の背後における鉄道騒音予測

4.1 在来鉄道騒音の場合

4.1.1 平地区域

騒音予測条件を表 2 に示す。

平均建物高さ H は、現地の概況から 3 階建の建物相

表 2 騒音予測の条件 (在来鉄道・平地区域)

列車長	200m・6M4T
列車速度	90km/h
主電動機ファン形式	外扇型
歯車比	6.06
軌道	バラスト軌道
予測点 (受音点) 高さ	1.2m

当 (高さ 8.5m) とした。また、列車は近接側軌道を走行する場合の騒音を予測した。図 4 に測定区域の概況を示す。現地試験での騒音レベルの測定点は、基準点 G1，比較点として $G_A \sim G_C$ 区域内の合計 25 点である。図 5 ～図 7 に $G_A \sim G_C$ 区域の単発騒音暴露レベルの予測分布をそれぞれ示す。枠内の数値は各測定点での予測誤差 (実測値 - 予測値) [dB] を示す。建物の背後や、建物密集地の背後で特に騒音レベルが低くなっていることがわかる。全体では、予測誤差が ± 3 dB 未満であった測定点が全 25 点中 22 点あり、概ね適切に予測ができていたと考えられる。予測値が過小評価されていた地点では、実測において測定点の直近の建物による反射音の影響が実測では大きかったことが考えられる (G_{A2}, G_{A8})。また、音源から完全に見通せなくなる路地の奥では予測結果が過大評価される傾向にある (G_{B1})。

以上より、今回対象とした在来鉄道の平地区域では住宅群超過減衰モデルを用いて住宅群背後の騒音レベルを概ね適切に評価できると考えられる。

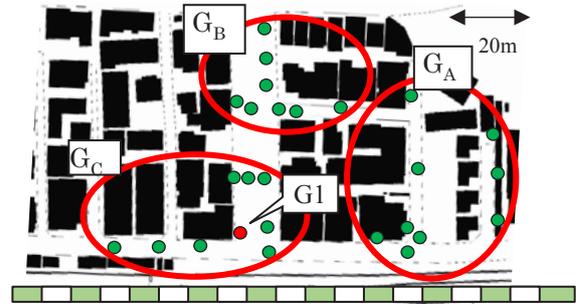


図4 予測区域及び測定点の模式図⁵⁾
(平地区域, G1 は基準測定点)

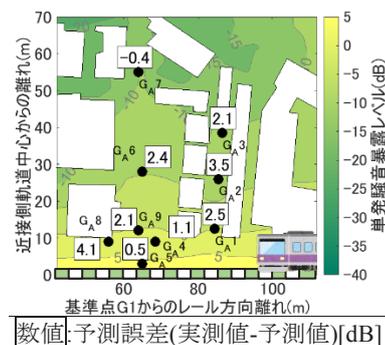


図5 単発騒音暴露レベルの予測分布と予測誤差
(在来鉄道・平地区域・区域 G_A)

特集：空気力学・騒音

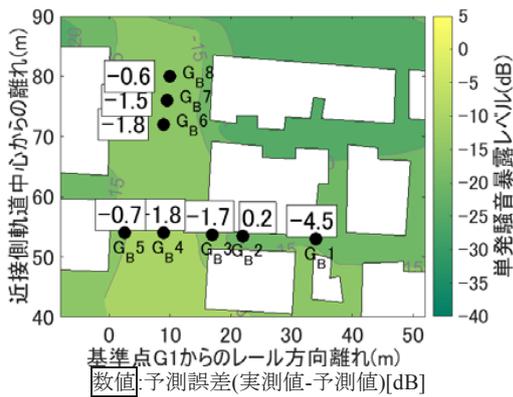


図6 単発騒音暴露レベルの予測分布と予測誤差
(在来鉄道・平地区域・区域 G_B)

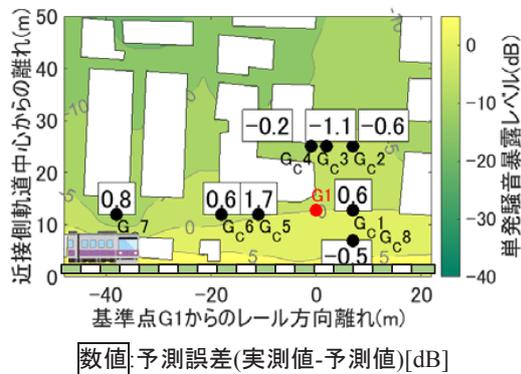


図7 単発騒音暴露レベルの予測分布と予測誤差
(在来鉄道・平地区域・区域 G_C, G1 は基準測定点)

4.1.2 高架橋区域

高架橋における騒音予測条件を表3に示す。その他の予測条件は平地区域に準ずる。図8に予測区域の概況および測定点を示す。現地試験での騒音レベルの測定点は、基準点 V1, 比較点は V_A ~ V_C 区域内の合計 27 点である。

予測結果の代表例として、図9～11に各区域の単発騒音暴露レベルの予測分布と予測誤差を示す。予測誤差が±3dB未滿の地点は全体の27点のうち、18点であった。平地条件と比較すると、予測結果と実測結果の差が3dB以上になる地点が多く存在した。特に、V_{B3}では約6dB過小評価されていた。これは、この区域における音源高さ h_s が本モデルの適用範囲よりも高い ($h_s=9.4, 2.2$ 節参照) ため、建物上部を通して測定点に伝播した音の影響があることが一因と考えられる。

以上から、在来鉄道高架橋区域では、住宅群超過減衰モデルを用いた騒音分布の予測はやや過小評価される傾向があり、平地と比較して精度が悪化するが、概ね適切に評価することができると考えられる。

表3 騒音予測の条件 (在来鉄道・高架橋区域)

レール高さ (R.L. ~ G.L.)	8.2m
防音壁高さ	R.L.+1.2m

4.1.3 在来鉄道騒音のまとめ

在来鉄道騒音の場合について、住宅群の背後における鉄道騒音の予測結果と現地試験結果を比較した。その結果、平地区域・高架橋区域ともに概ね適切に予測できることが分かった。ただし、高架橋区域の場合、平地区域と比較して騒音分布がやや過小評価される傾向がある。

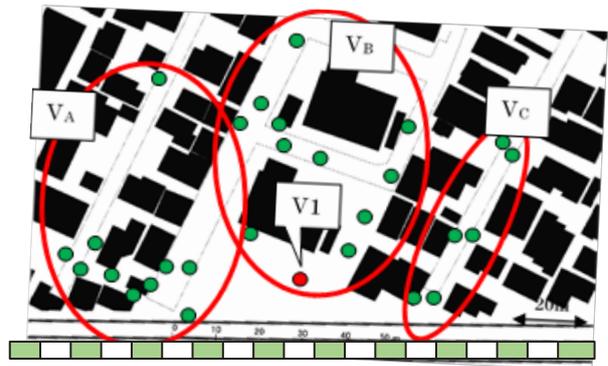


図8 予測区域及び測定点の概況⁵⁾
(高架橋区域, V1 は基準測定点)

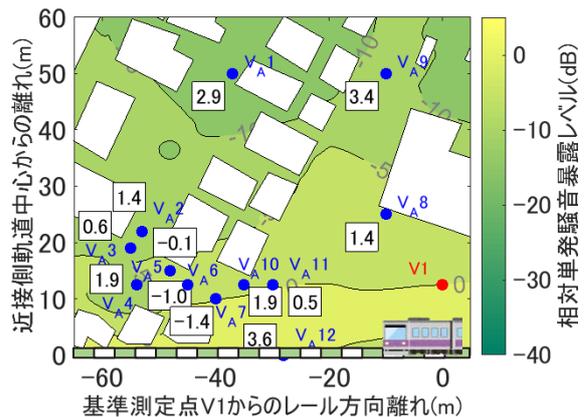


図9 単発騒音暴露レベルの予測分布と予測誤差
(在来鉄道・高架橋区域・区域 V_A, V1 は基準測定点)

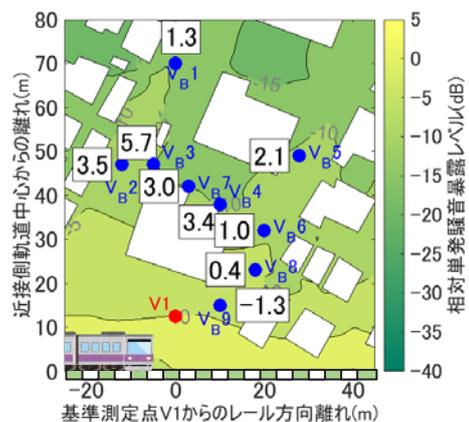


図10 単発騒音暴露レベルの予測分布と予測誤差
(在来鉄道・高架橋区域・区域 V_B, V1 は基準測定点)

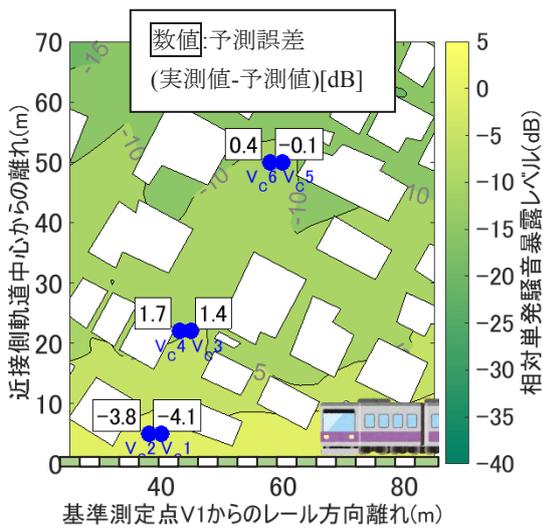


図 11 単発騒音暴露レベルの予測分布と予測誤差
(在来鉄道・高架橋区域・区域 V_C)

4.2 新幹線騒音の場合

区域 A, B の概況から平均建物高さ H は 2 階建ての住宅相当 (高さ 6.0m) とした。

4.2.1 区域 A

合計 21 本の列車に対して、単発騒音暴露レベルを予測し、現地試験での実測値との比較を行った。現地試験での測定点は、基準点 A1, 比較点 A3 ~ A10 の 8 点である。便宜上、線路を挟んで点 A3 ~ A6 のある側を区域 A-1, 残りの点がある側を区域 A-2 とする。図 12 に区域 A-1 の近接側軌道を通じた列車の単発騒音暴露レベルの予測分布と予測誤差を示す。同様に、図 13 に区域 A-2 の遠隔側軌道を通じた列車について示す。ここで、予測誤差は、各列車に対して算出した予測値と実測値の差の平均を示す。予測点 A9, A10 以外の 8 点中 6 点で予測誤差は 3dB 未満であった。図 14 に区域 A-1 の遠隔側軌道を通じた列車の単発騒音暴露レベルの予測分布と予測誤差を示す。同様に、図 15 に区域 A-2 の近接側軌道を通じた列車について示す。図 12,13 とほぼ同様の結果であった。したがって、住宅群超過減衰モデルを用いた騒音予測は概ね正しい評価を与えると考えられる。また、予測誤差が 3dB 以上の地点では全ての予測結果が過大評価されていた。この一因は、測定地点付近の地表面がアスファルトと土が混在し、地面反射音の効果が予測と異なること、予測で利用した地図データから得た建物の大きさと実際の建物の大きさが異なることなどが原因であると考えられる。

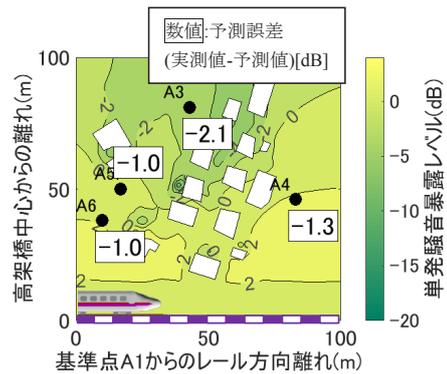


図 12 単発騒音暴露レベルの予測分布と予測誤差
(新幹線・近接側軌道・区域 A-1)

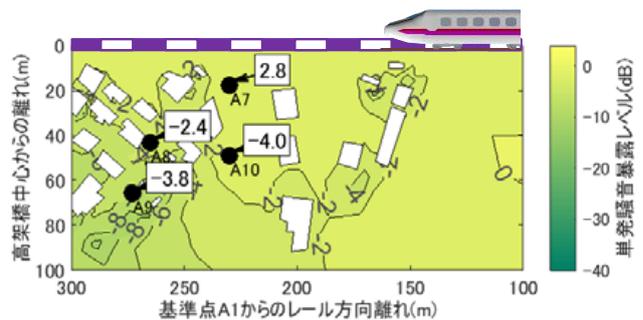


図 13 単発騒音暴露レベルの予測分布と予測誤差
(新幹線・遠隔側軌道・区域 A-2)

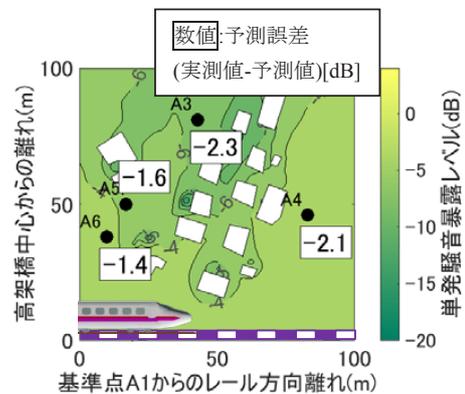


図 14 単発騒音暴露レベルの予測分布と予測誤差
(新幹線・遠隔側軌道・区域 A-1)

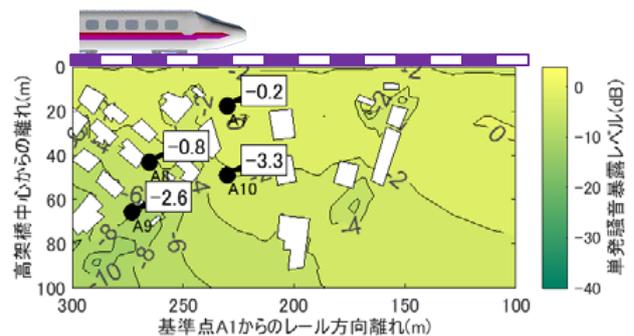


図 15 単発騒音暴露レベルの予測分布と予測誤差
(新幹線・近接側軌道・区域 A-2)

特集：空気力学・騒音

4.2.2 区域 B

遠隔側軌道・近接側軌道を通過したそれぞれ5本の列車について、単発騒音暴露レベルを予測し、現地試験での実測値との比較を行った。現地試験での測定点は、基準点 B1, 比較点 B2～B10 の9点である。図 16 に、測定点付近における遠隔側軌道を新幹線が走行した時の単発騒音暴露レベルの予測分布と予測誤差を示す。図 17 に同様に近接側軌道を走行時の予測分布と誤差を示す。建物の背後で騒音レベルが低い傾向を示す。遠隔側軌道の場合、B8, B9 以外で予測誤差は 3dB 未満であり、区域 A と同様に概ね騒音レベルを正しく評価することができている。この傾向は近接側軌道でも同様であった。ただし、遠隔側軌道では B8, B9 においてそれぞれ 5dB, 9dB 過小評価されていた。これは、B8, B9 ともに住宅群超過減衰モデルの適用範囲（レール離れが 20～50m）を超えていることや、塀による反射、特に B9 の場合は測定点付近で住宅の粗密が大きく異なることなどが考えられる。

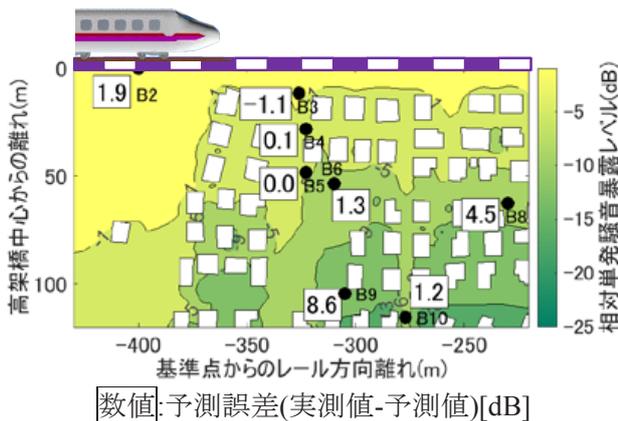


図 16 単発騒音暴露レベルの予測分布と予測誤差 (新幹線・遠隔側軌道・区域 B)

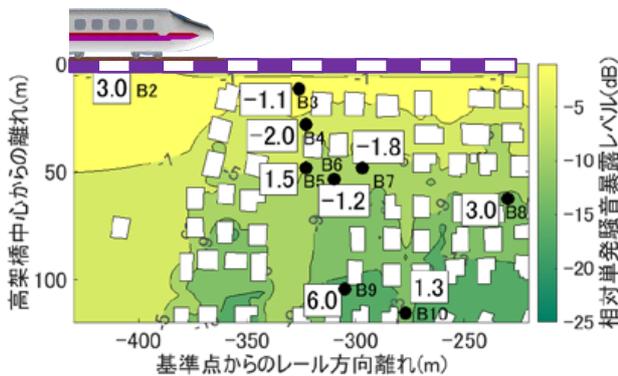


図 17 単発騒音暴露レベルの予測分布と予測誤差 (新幹線・近接側軌道・区域 B)

4.2.3 新幹線騒音のまとめ

新幹線騒音について、住宅群がある条件で騒音予測を実施し、現地試験結果と比較した。測定区域は、建物が雑然と並ぶ区域 A と建物が整然と並ぶ区域 B である。その結果、区域 A では 8 点中 6 点で、区域 B では 9 点中 7 点で予測誤差が 3dB 以内であり、概ね適切に予測ができた。ただし、住宅群超過減衰モデルの適用範囲外の子測点では予測誤差が大きくなる傾向にあることがわかった。

5. まとめ

鉄道騒音の伝播過程における住宅群の影響を調べるため、住宅群がある条件で鉄道騒音の予測を実施し、予測結果と現地試験結果を比較した。対象区域は、在来鉄道では平地・高架橋の 2 区域、新幹線では 2 箇所の高架橋区域とした。その結果、在来鉄道・新幹線ともに騒音レベルを概ね正しく予測できることがわかった。ただし、建物の直近では反射音の影響で過大評価される場合があること、建物上部からの音の影響が大きくなる場合があること分かった。また、住宅群超過減衰モデルの適用範囲外の子測点では予測誤差が大きくなる傾向にあることが分かった。

今後は、モデルの音源高さやレールからの離れなどの適用可能範囲を広げる方法を検討するとともに、予測誤差の原因を明確にするため、さらに現地試験や模型試験を実施する予定である。

文献

- 1) 石井聖光, 子安勝, 長裕二, 木庭啓紀: 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.20, pp.146-151, 1980
- 2) 日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会: 道路交通騒音の予測モデル ASJ RTN-Model 2013, 日本音響学会誌, 70(4), pp.172-230, 2014
- 3) 北川敏樹, 長倉清, 緒方正剛: 在来鉄道の騒音予測手法, 秋季日本音響学会講演論文集, 秋季 2, pp.735-736, 1999
- 4) 長倉清, 善田康雄: 新幹線沿線騒音予測法, 鉄道総研報告, Vol.14, No.9, pp.5-10, 2000
- 5) 国土地理院基盤地図情報を基に作成
- 6) 田中慎一郎, 小方幸恵, 長倉清: 住宅密集地における在来鉄道の騒音分布に関する検討, 社団法人日本騒音制御工学会秋季研究発表会講演論文集, pp.125-128, 2009
- 7) 長倉清: 新幹線騒音の予測法に関する研究, 東京大学博士論文, 報告番号 乙第 15302 号, 2002