

平成 21 年 5 月 25 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19560600
 研究課題名（和文）都市部を通過する幹線道路周辺における騒音の予測手法および保全対策に関する研究
 研究課題名（英文）Study on a prediction method and improvement plans for road traffic noise in city street canyons
 研究代表者
 岡田 恭明（OKADA YASUAKI）
 名城大学・理工学部建築学科・准教授
 研究者番号：20367741

研究成果の概要：都市部の幹線道路の両側には中高層ビルが建ち並び、それに加えて高架道路が併設されている場合も見受けられる。このような沿道での音環境は、建物壁面や高架裏面からの反射音の影響によって悪化することは良く知られている。そこで、本研究では高架・平面道路併設部を対象に建物壁面と高架裏面からの反射音による騒音の増加量を計算するモデルについて検討を行った。その結果、道路周辺の騒音レベルは、建物や高架道路からの反射音の影響により 8dB 程度増加すること、またその計算結果は室内模型実験と比較して妥当な値であることを明らかにした。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：建築環境工学，社会音響学

科研費の分科・細目：建築学・建築環境・設備

キーワード：都市環境，環境影響評価，環境政策，環境保全対策，道路交通騒音，予測手法，音響模型実験

1. 研究開始当初の背景

現在、我が国における都市開発事業に際して行われる環境アセスメントでは、それらによって引き起こされる周辺環境への影響を事前に予測および評価されている。その中で用いられている騒音等の予測評価方法は、これまでの研究成果に基づいて構築されたものであり、ひとまず満足できるものである。また、ここ数年の国際的な動向として欧州諸国では、環境管理計画および環境保全政策の

一環として、道路交通や建設作業から発生する騒音の予測結果がどの程度正確なものであるのか（以下、不確かさと称す。）について調査研究が行われており、その成果は実際の環境アセスメントにも反映されている。

我が国の環境アセスメントで用いられている道路交通騒音の予測方法に関しても、当然ながら不確かさが含まれており、残された課題は少なくない。その一つとして、建物が密集した都市部を通過する幹線道路周辺を

対象にした予測方法の構築が挙げられている。

一般に都市部の幹線道路両側には、図1に示すように中高層ビルが建ち並び、さらにその上部に高架道路が併設されている場合が多く見受けられる。このような場所における沿道での騒音は、自動車から直接伝わってくる音の他に、建物前面や高架裏面の間で生じる多重反射音の影響によって増大する。現在の予測方法では、これら反射音による影響が考慮されておらず、道路周辺の音環境を過小評価していることが懸念される。すなわち、都市部における居住環境をより快適な空間とするためには、沿道建物および高架裏面による反射の影響（不確かさ）を考慮した予測方法の構築が必要不可欠であり、その改善対策についても積極的に検討すべきであると考えられる。

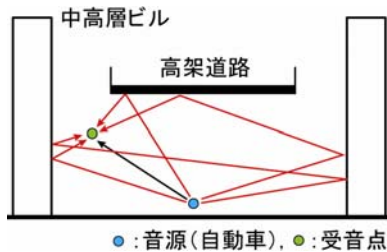


図1 都市における高架・平面道路併設部周辺での騒音伝搬（←：直達音，←：反射音）

2. 研究の目的

都市部の道路環境は、上述のとおり建物壁面や高架道路の裏面から伝搬してくる反射音の影響を受ける。しかしながら、それらを考慮した予測方法は確立されておらず、現状の環境影響評価では不十分である。そこで本研究では、都市部を通過する幹線道路と高架道路が併設されている場所（以下、高架・平面道路併設部と称す。）を対象に、沿道建物の配置条件と、それらからの反射音によるレベルの増加量を予測する計算方法を提案することを目的とした。また、それは種々の場面で適用できる実用的な計算モデルにすることを前提にした。

さらに、高架・平面道路併設部を想定した縮尺音響模型実験を実施し、計算モデルの妥当性を検討することに重点を置き、環境保全対策法に関しても検討を加えることとした。

3. 研究の方法

(1) 理論計算モデル

実用的な計算モデルとするためには、比較的设置が容易なパラメータを用いることが必要である。そこで、高架・平面道路併設部の断面（道路幅、高架裏面の高さ）と沿道建物の平均的な高さを基本的な入力パラメー

タとし、建物壁面および高架裏面で囲まれた空間は拡散音場が形成されていると仮定して、建物壁面と高架裏面の平均的な吸音率を計算式に導入した。

(2) 縮尺音響模型実験

都市部を通過する幹線道路を想定した模型実験では、標準的な4車線道路の上部に高架道路が併設されているものとし、それぞれの道路の長さが150m程度になるように設定した。製作した模型は、半無響室内に設定可能な大きさで、かつ実験精度（スパーク放電パルスとマイクロホンの指向特性、空気吸収による音の減衰の影響等）を勘案し、縮尺は1/40とした。詳細な実験方法については後述するが、自動車を模擬した無指向性音源としてスパーク放電パルスを用いて、走行騒音のスペクトル特性を補正することにより、一台の自動車通過時に発生する騒音のレベルを推定した。受音点は建物前面の低層階（1,2階）にあると仮定して配置した。

建物壁面および高架裏面については、種々の形状が考えられるが、ここでは理論計算モデルの妥当性の検討を主な目的としているため水平な面とし、それらの表面をアクリル塗装仕上げすることによりほぼ完全反射面にした。また、実際の建物は、道路両側に不規則に建ち並んでいるため、実験では建物壁面を計16パターンの条件で配置することにした。

以上の音響模型実験の結果と理論計算モデルによる計算結果とを比較することによりモデルの妥当性とその改良点を検討すると共に、騒音低減対策方法について考察した。

4. 研究成果

(1) 理論計算モデルの構築

幹線道路に連担する建物および高架道路の実用的なモデル化については、図2に示すような矩形のダクトを想定した。

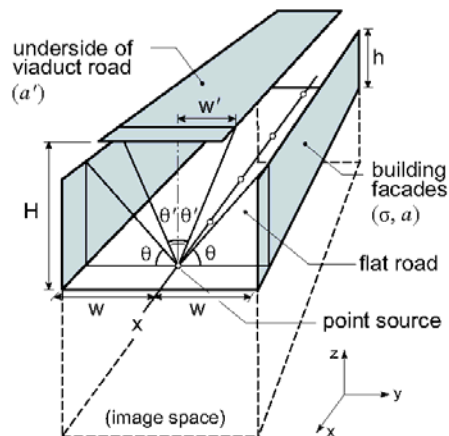


図2 高架・平面道路併設部のモデル化

高架・平面道路併設部における空間表面は、路面（完全反射面）、建物前面および高架裏面であり、その内部は拡散音場であると仮定した。道路中央の x 軸上に配置した点音源数を μ とし、それらの音響出力を P とすれば、受音点に到達する反射音の音響エネルギー密度は

$$E_r = \frac{16}{\pi \bar{a} \ell} \frac{\mu P}{c} [\theta(1-\sigma)(1-a) + \theta'(1-a')] \\ \bar{a} = 1 - \frac{h(1-\sigma)(1-a) + w'(1-a')}{w+H} \\ \ell = 4(w+H)$$

で与えられる。ただし ℓ および \bar{a} は、断面周長およびその内表面の平均吸音率、 w および H は、それぞれ平面道路の片側幅および高架裏面までの高さである（図 2 参照）。 \bar{a} は建物前面と高架裏面の平均吸音率 a 、 a' および沿道建物の間隙率 σ （評価区間の道路長さ l に対する建物群の間隙 g の割合）から算出されるパラメータである。

$$\sigma = \sum_{i=1}^n g_i / l$$

一方、受音点 (y, z) における自動車からの直達音の音響エネルギー密度は

$$E_d(y, z) = \frac{\mu P}{2c\sqrt{y^2 + z^2}}$$

である。したがって建物前面および高架裏面からの反射による騒音レベルの増加量は、直達音と反射音の合成値と直達音との比をレベル表示することにより

$$\Delta L(y, z) = 10 \log_{10} [E(y, z) / E_d(y, z)] \\ = 10 \log_{10} \left[1 + \frac{8\sqrt{y^2 + z^2}}{\pi(w+H)\bar{a}} (\gamma\theta + \gamma'\theta') \right] \\ \gamma = (1-\sigma)(1-a), \quad \gamma' = (1-a')$$

と見積もられる。これにより建物前面と高架裏面の平均吸音率、建物の間隙率（建物の配置条件）が与えられれば、受音点でのレベルの増加量が容易に算出できる。

(2) レベル増加量の計算結果の一例

受音点が建物前面にあると仮定した場合のレベルの増加量の計算例を図 3 に示す。これは、高架道路の片側幅 w' を平面道路のそれ w との比 w'/w で整理した結果である。図(a)は計算で想定した道路断面で、受音点(●)は地上付近とし、高架道路の高さ H は w と同じであると設定した。また建物前面および高架裏面は反射性 ($a, a'=0.02$)、沿道建物の間隙率 σ を $0.0 \sim 0.8$ の範囲で変化させた。

この結果から建物前面での騒音レベルは、高架道路の幅が広く、沿道建物が密に連担する場合ほど増加することがわかる。例えば、高架道路の幅が平面道路のそれに対して $0.5 \sim 0.7$ 倍 (w'/w) で、間隙率 σ が $0.2 \sim 0.6$ の場合には、反射によるレベルの増加量は $5 \sim 9$ dB 程度になると推測できる。

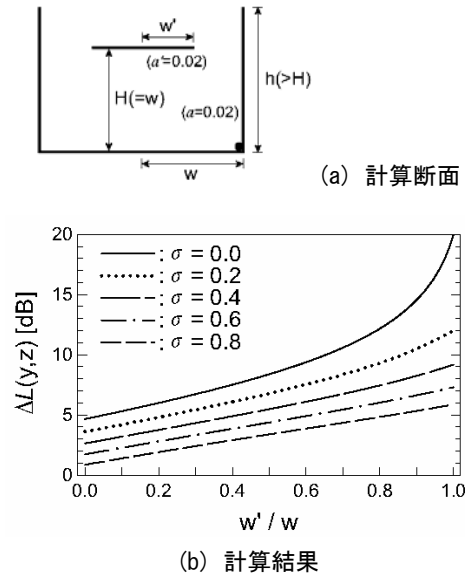


図 3 高架・平面道路併設部における騒音レベルの増加量(高架道路幅との関係)

また図 4 は、高架道路の幅 w'/w を 0.6 と想定し、建物高さ h/w に対するレベルの増加量を計算した結果である。計算に用いた道路断面は図(a)に示すとおりであり、建物前面および高架裏面は反射性 ($a, a'=0.02$) とした。建物前面におけるレベルの増加量は、建物の高さと共に増大するが、沿道建物の間隙率 σ が 0.6 よりも大きくなる（建物が疎らに建ち並んでいる）と 5 dB 以下になることがわかる。

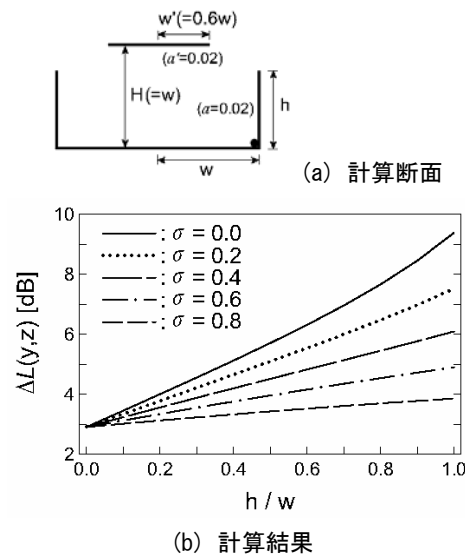


図 4 高架・平面道路併設部における騒音レベルの増加量(沿道建物高さとの関係)

以上のことから、道路両側に連担する建物前面および高架裏面からの反射による騒音レベルの増加は、沿道建物と高架道路の配置条件に依存し、その程度は都市部の音環境を評価する上で無視できないことが示唆された。

(3) 縮尺音響模型実験に基づく検討

都市部の幹線道路を想定した音響模型断面を図5に示す。模型は片側2車線の標準的な道路(道路幅28.2m)の上部に高さ8mの高架道路が併設され、その両側に高さ30mの建物が連担しているものとし、縮尺は1/40とした。建物前面と高架裏面および路面に相当する模型表面は、音響的にほぼ完全反射面とするためアクリル塗装仕上げとした。音源にはスパーク放電パルスを用いて、道路中央の高さ1.5cm(実物換算0.6m)の点に設置した。測定用のマイクロホンの高さは、建物の低層階を想定して3.75cmと11.25cm(実物換算1.5m、4.5m)とし、建物前面から2.5cm(実物換算1m)離れた直線上に計21点配置した。

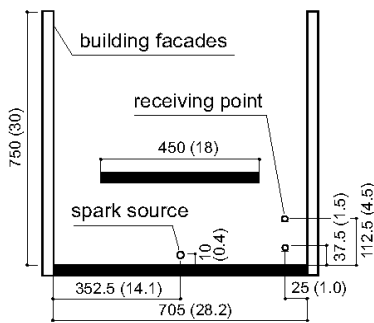


図5 高架・平面道路併設部を想定した縮尺音響模型実験断面(単位[mm], ()内は実物寸法[m])

実験は音源後方60cmの点に設置した基準音圧用のマイクロホンと各測定点のマイクロホンの出力を、FFT(サンプリング周波数256kHz, 平均化回数32回, 解析点数4,096点)により、1/3オクターブバンド相対音圧レベルを求めるものである。

また、道路交通(線音源)からの音圧レベルを求めるため、自動車走行騒音のA特性相対音圧レベルのスペクトルとスパーク放電パルスのそれとの差を求め補正した。さらに全測定点における周波数10kHzから40kHz(実物換算250Hzから1kHz)までのデータをエネルギー合成した相対音圧暴露レベルを算出した。

建物の配置方法としては、種々の条件が考えられるが、ここでは図6および表1に示すようなスパーク音源(o)に最も近い測定点の背後に建物壁面が常にあると仮定した場合(CASE1)とそうでない場合(CASE2)および実際の都市部の幹線道路を想定してある程度ランダムに建物壁面を配置(CASE3)する3つ

のケースについて分類し、それぞれについて間隙率 σ を0.1~0.6の範囲で変化させ、計46パターンの実験を繰り返し行った。

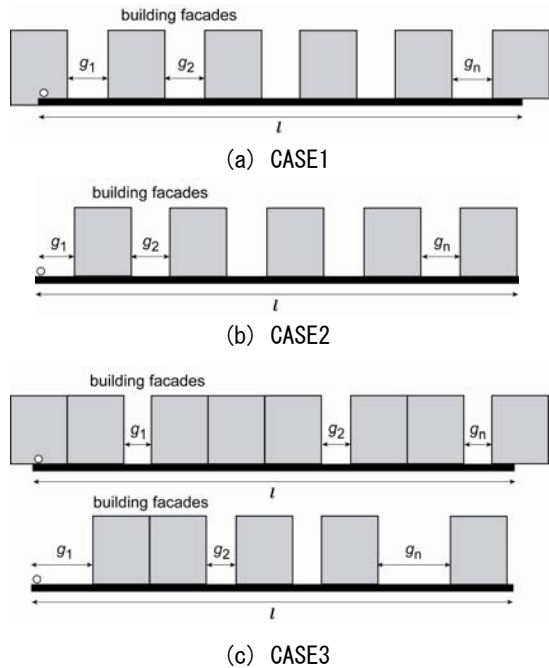


図6 沿道建物壁面の配置例(o:スパーク放電)

表1 実験条件ごとの建物配置条件

	建物配置, 実験パターン
CASE1	12パターン 間隙率 $\sigma=0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6$ 受音点高さ $z=1.5, 4.5\text{m}$
CASE2	12パターン 間隙率 $\sigma=0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6$ 受音点高さ $z=1.5, 4.5\text{m}$
CASE3	22パターン 間隙率 $\sigma=0.1, 0.2, 0.3, 0.4$ 受音点高さ $z=1.5, 4.5\text{m}$

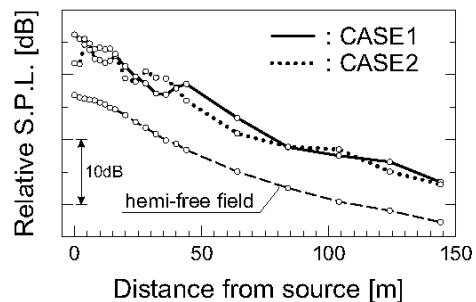


図7 音源からの距離に対する相対音圧レベルの変化(CASE1/CASE2, 間隙率:0.3, ---:半自由空間での測定値)

図7は、音源位置から受音点までの距離に対する相対音圧レベルの測定結果でCASE1およびCASE2における間隙率 σ が0.3の場合で

ある。図中の破線(---)は、沿道建物および高架道路が無い半自由空間での実験結果である。高架・平面道路併設部における音圧レベルは、半自由空間のそれに比べて5dB以上高く、その傾向は受音点背後での建物配置に依存することがわかる。

次に、実験で得られた相対音圧暴露レベルと半自由空間でのそれとを比較し、高架・平面道路併設部での反射の影響によるレベルの増加量(一台の自動車が通過した時のレベル増加に相当する)を算出した。図8は、その一例で間隙率 σ を0.1, 0.2および0.4とした場合の実験結果の平均値である。この結果から、単発騒音暴露レベルの増加量は、沿道建物の間隙率が小さく、受音点が高い場合に大きくなる傾向がみられる。例えば、建物が比較的密に建ち並んでいるような間隙率 σ が0.2の場合、高さ1.5mの点におけるレベルの増加量は概ね8dB程度であった。

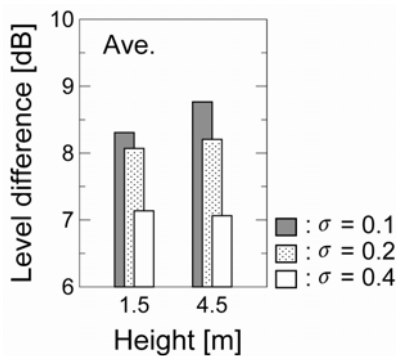


図8 建物壁面および高架裏面からの反射による音圧暴露レベルの増加量(測定結果の平均値, 建物壁面の間隙率:0.1, 0.2, 0.4)

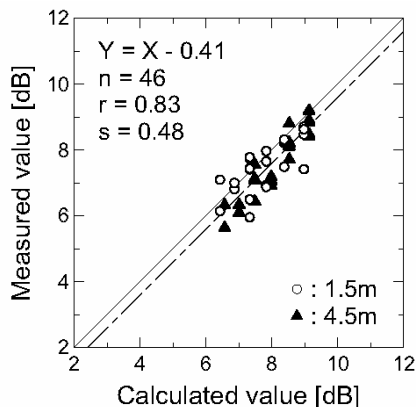


図9 計算モデルによる計算値と測定値との比較 (n: データ数, r: 相関係数, s: 標準誤差)

(4) 計算モデルの妥当性に関する検討

建物前面や高架裏面からの反射音の影響によるレベルの増加量は、前述した計算式から求めることができる。この計算モデルを用いて模型実験で想定した道路構造でのレベ

ルの増加量を算出し、実験結果との対応について検討を行った。図9は、建物の配置条件CASE1~3で得られたすべての測定値(46データ)と計算値とを比較した結果である。この結果より、両者の対応は概ね良好であること、また計算値でみられる建物の間隙率 σ とレベル増加量との相対的な関係は、実験結果と類似しており、提案した計算モデルの有用性が確認できた。

(5) 保全対策に関する検討

先に述べたように、高架・平面道路併設部では、建物等からの反射音の影響によって沿道の音環境は悪化する。そこで、騒音の低減対策方法について検討を行った。

騒音対策方法としては、高架道路の裏面を吸音処理することがまず考えられ、その効果は模型実験からも確認できた。ここでは、裏面吸音処理による騒音低減効果を定性的にみるために、計算モデルを用いて対策時の騒音レベルの増加量を算出する。吸音材の平均吸音率 a' は、材質および音の周波数によって異なるがここでは0.8と設定した。図10は吸音対策の有無時(平均吸音率 $a' = 0.02$)のレベル差を計算した結果である。なお計算断面は図3の(a)と同様である。この結果から高架道路幅が0.6の場合には3dB程度の効果があり、建物が密に建ち並んでいる場所(間隙率 $\sigma = 0.2$)でのレベル増加は約5dBまで抑制できることが期待される。

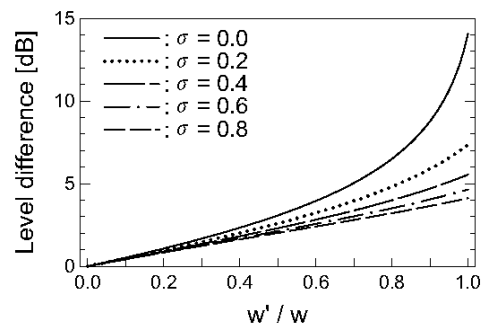


図10 高架裏面吸音処理による騒音低減効果(建物壁面の平均吸音率:0.02)

次に高架裏面吸音($a' = 0.8$)以外に、建物前面を吸音処理した場合の騒音低減効果について考察する。ここでは騒音低減効果を沿道建物表面の吸音率 a を0.1, 0.2, 0.4および0.6と仮定した場合のレベルの増加と無対策時(コンクリート等の反射性壁面: $a = 0.02$)のそれとの差で算定した。

図10は、間隙率 σ に対する騒音低減効果を計算した結果の例で、沿道建物の高さが道路幅の2倍($h/w = 2$)とした場合である。例えば建物表面の吸音率 a を0.4程度にすると反射によるレベル上昇は、無対策時に比べて間

隙率 σ が0.2の場合には約1.8dB、 σ が0.4では約1.2dB低下することがわかる。すなわち、このような建物前面への吸音処理は、建物が連担している場所での騒音問題に対して有効な対策方法の一つであると考えられる。

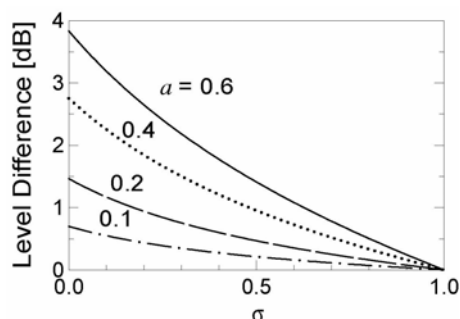


図11 建物壁面吸音処理による騒音低減効果(高架裏面の平均吸音率:0.8)

上述した騒音低減対策例の計算条件は、道路両側に建ち並ぶ建物壁面を均一に吸音処理した場合を想定しているが、実用の際には建物壁面を吸音処理した面積と吸音できない部分(ガラス等)との面積比率から平均吸音率を設定して計算する必要がある。

(6)今後の展望

高架道路が併設されている幹線道路周辺における騒音伝搬に関する研究として、道路両側に建ち並ぶ建物壁面や高架裏面からの反射音による騒音レベルの増加量を推定する計算方法の提案を行った。今回は、従来から検討してきた計算モデルの一部を模型実験の結果に基づいて修正したと共に、高架・平面道路併設部を想定した縮尺音響模型実験を種々の条件で実施した。その結果、沿道建物前面近傍におけるレベルの増加は、高架道路の幅と共に増大し、建物が連担しているような場合には8dB程度になることが推測された。さらに提案した計算モデルによる結果と実験結果は概ね一致しており本モデルの妥当性が確認された。

今後、2年間にわたる研究成果を踏まえて以下の点に着目した実験等を継続的に実施する予定である。

① 幹線道路を拡幅した場合

今回の実験では4車線の幹線道路を想定したが、6車線に拡幅した場合の計算モデルの妥当性についても検討する。

② 騒音対策方法

建物壁面を全面にわたって吸音処理することは実質的に不可能である。そこで例えば壁面のうちベランダ下面等を部分的に吸音処理した時の騒音低減効果に着目した模型実験を行う。

③ 計算モデルの提案

本研究では、高架道路と建物壁面で閉ざされている空間を拡散音場として理想化して検討を進めたが、その他の計算方法として鏡面反射を仮定したイメージ法も考えられる。この考え方に基づく計算方法が、模型実験からでも妥当なものであるのかを検討する。

④ 実測による検証

提案した計算モデルの妥当性は、模型実験によりひとまず確認したが、実際の道路沿道での実測結果との比較・検証も必要である。そこで、試験車両を用いた高架・平面道路併設部での騒音測定を実施する予定である。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計6件)

- ① 伊藤卓磨, 堀江幸弘, 岡田恭明, 吉久光一, “中高層ビルが連担する幹線道路周辺の騒音予測(高架・平面道路併設部に着目した検討)”, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.323-324, 2008年9月19日, 広島大学
- ② 岡田恭明, 吉久光一, 久野和宏, “中高層建築物が連担する幹線道路周辺の騒音伝搬(高架・平面道路併設部に着目した検討)”, 日本音響学会講演論文集, pp.1045-1046, 2008年3月17日, 千葉工大
- ③ Yasuaki Okada, Koichi Yoshihisa, Teruo Iwase and Kazuhiro Kuno, “A noise prediction model in city street canyons by using a diffusion equation”, Proceedings of the 36th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, pp.1-8 (CD-ROM), 2007年8月29日, Istanbul Convention and Exhibition Centre (Abstract 査読有)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡田 恭明 (OKADA YASUAKI)
名城大学・理工学部建築学科・准教授
研究者番号: 20367741