

平成21年5月11日現在

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007 ～ 2008

課題番号：19360258

研究課題名（和文） 排水性舗装路面の健全度の音響的非破壊診断法の研究

研究課題名（英文） Study on acoustical diagnosis on soundness of porous drainage pavement surface

研究代表者

岩瀬 昭雄（IWASE TERUO）

新潟大学・自然科学系・教授

研究者番号：30114391

研究成果の概要：雨天時の道路交通安全性を目的に導入された舗装骨材間に空隙を設ける多孔質排水性舗装は、道路交通騒音の低減にも役立ち有効性が高いが、供用後の経時変化で目詰まりを生じかねず、その進行状態の把握と保守整備が必要である。本研究では現場透水試験法に代わり交通遮断を必要としない短時間かつ移動計測が可能な低騒音化の根拠である舗装面の吸音特性の変化に着目した音響的健全度診断法の提案とその妥当性の検証を行った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	7,200,000	2,160,000	9,360,000
2008年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
年度			
年度			
年度			
総計	11,900,000	3,570,000	15,470,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築環境・設備

キーワード：(1)排水性舗装 (2)粒子速度 (3)吸音率 (4)タイヤ路面騒音 (5)道路交通騒音
(6)非破壊検査 (7)可視化 (8)騒音伝搬

1. 研究開始当初の背景

排水性舗装の環境改善機能は全て舗装路面の空隙に依拠しており、空隙維持は極めて重要である。しかしながら、長年の車両通行は空隙目詰まりを生じさせ、その行き着く先は、単に多機能性が失われるばかりでなく、凹凸の激しい騒音増加をも生じさせる道路に変じてしまう。これらの機能効果を維持するためには空隙詰まり状況を監視して適切な時期に空隙回復清掃を行い、時には舗装打ち換えの必要もある。排水性舗装に関わる研究も機能効果の向上を探究する課題から機能維持や機能回復させる方法論や処置効果

の確認など監視モニタリング方法等、路面管理面の課題に重心を移しつつある。さらに重要なキーポイントは、交通規制を極力回避して社会的経済負担を軽減することで、これを前提の簡便かつ十分な診断精度を備えた監視体制の構築が切実に求められている。

2. 研究の目的

本研究の主な項目は以下の通りである。

(1)研究の概略 道路および沿道の環境対策として多機能の可能性を持っている排水性（透水性）舗装面を長い期間に渡って維持管理するため、その健全度を容易かつ定期的に

監視診断することを可能とする新技術の目処をつけて、新たな提案とすることを目標に据えて研究を進めることとした。

(2)研究の対象 多孔質排水性舗装は降雨時に路面雨水を浸透させて自動車運転の安全性確保のために考え出されたが、今日では、タイヤ騒音を中心に騒音発生を大きく抑制すると説明され、排水性舗装施工直後5, 6 dB程度と言われる。これは、交通量を約1/4程度に縮減することに匹敵するほどに効果が大きい。さらに、路面舗装内空隙部に流水を確保して路面からの蒸発を促し、その気化熱により都市内のヒートアイランド現象の緩和に期待を寄せるアイデアもある。

(3)具体的目標 本研究では、排水性舗装に特徴的に生じる共鳴現象(代表者は管楽器と同様の発音原理を実証した)や空隙内の音響伝搬が目詰まりで弱まる状態を音響・振動計測機器を用いて短時間非破壊観測し検知を可能とし、これにより実用的な監視システムの実現に技術的見通しをつけることを目標とした。

(4)研究での特色、独創性、予想される結果

排水性舗装の健全性診断法として、試験実施時には交通規制が必須で大変大がかりになりがちな従来の直接的排水機能検査法から今日での道路交通騒音分野で最大関心事となっている排水性舗装の騒音低減機能の原理に密接に関係する音響特性の計測法へ転換する、新たな評価指標を提案する。

3. 研究の方法

(1)本研究の計画にあたり、これまでの予備研究を踏まえた現時点での有力な音響計測法として、(A)舗装面の反射吸音特性、(B)舗装内空隙を伝わる音波の強度、(C)共鳴発音現象(圧縮空気吹付)を観測する3つの手法を有力な候補と考えた。

(2)音響的特徴を計測で検出して、それを際立たせる検知診断での判断根拠を得るためには、排水性舗装や空隙、空隙の目詰まりなどを対象に適切な音響モデルを想定したシミュレーションが欠かせないが、共同研究者の流体による騒音発生や、複雑な音場に関わるモデル化と数値解析の研究実績を活かす。さらにまた、実際の排水性舗装の騒音低減効果などに関わり、多くの計測経験を有する研究協力者(石川・オリエンタルコンサルタンツ・環境プロジェクトディレクタ)の実用面からの適切なアドバイスを受け、効果的であり深化した実施計画を立てることとした。

(3)排水性舗装の試験体の製作 本研究では、排水性舗装の切り出し試験体と疑似疑似目詰まり舗装試験体を対象として、音響的差異を詳しく計測する。

(4)音響共鳴現象の観測 排水性舗装面の試験体を対象に、試験体表面の音響反射・吸

音特性の観測実験を行う。この場合、粒子速度センサーによる計測方法を主体的に適用する。

(5)レーザー振動計による疑似粒子速度計測 粒子速度センサーの代替の可能性を探る。また、レーザー振動計を利用した吸音機構の解明など新たに有効な音響計測方法を見出す。

(6)舗装空隙内音響伝搬の観測 舗装内に音波を放射し、僅か離れた表面に漏れ出てくる音波の強度を観測することで、空隙の目詰まり狭隘化状態を直接知ることが可能になるものと多に期待している手法を適用する。

(7)実路面での試験計測の実施 優位性が高い候補を選別して、実際に排水性舗装が施工されている試験路や供用道路で試験を行う。

(8)監視モニタリング法のモデル化と装置試作 研究の最終目標として、低速走行しつつ実時間計測も可能なモニタリング試験計測装置のモデルを構想し、装置の試作を行う。

(9)実証試験 実際に排水性舗装が施工されて経過時間が様々な多くの路面を対象に、路面調査実験を行い、実用的試験手法、表示評価法を最終的な研究成果として提示する。

4. 研究成果

以上の1. 2. 3. で述べた研究の背景と研究目的ならびに研究方法に従って研究を実施した結果として得られた主な研究成果は、概略以下の通りである。

(1)排水性舗装面の音響特性の計測法の検討

従来の排水性舗装の健全度試験法は写真1のように、供用道路に設置した水タンクからの排水時間をストップウォッチで計測する方法で、多くの人と時間を掛け実施し、計測実施作業に伴う長時間交通遮断による社会的経済負担は無視し得ないことが最大の問題点である。

交通流を妨げない移動連続計測が可能なものを念頭に音響的診断法の実現性を考えた。



写真1 現場透水試験の実施例
(交通遮断は避けられない)

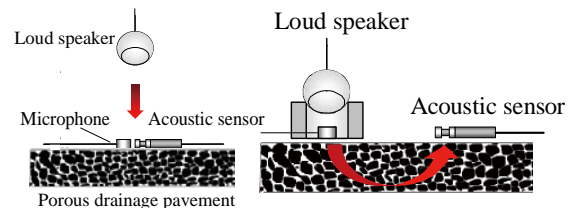


Fig.1 吸音特性に着目した計測法(左)と空隙内の音響伝搬に着目した計測法(右)

排水性舗装の音響特性の特徴は骨材間の空隙が根拠となる。そこで、Fig.1 に示す様な空隙の健全度を音響的に診断する二つの手法を提案することを念頭に検討した。

まず一つ目は、Fig.1 左側の舗装の低騒音効果をもたらす原因である 1kHz 付近に生じる高吸音特性の有無を調べる方法である。この場合、音響インピーダンスや音響アドミッタンスの計測が有効で、マイクロフォンと粒子速度センサーを併用する計測法が極めて有効であることが実験で改めて確認できた。

二つ目の方法は、Fig.1 右側の排水性舗装の空隙内に音波を進入させて、舗装内の連続空隙の中を伝わった音波を捉える方法である。伝搬波の強弱を観測することで舗装内の空隙の健全度や空隙の狭隘化など目詰まりを評価できる。この2つの原理に基づいた排水性舗装の空隙健全度の音響的診断が可能であろうと判断した。

(2)粒子速度センサーとマイクロフォンを用いた吸音特性の計測法の検討

舗装面の反射吸音特性を観測する場合、従来のいわゆる2マイクロフォン法が考えられるが、反射性が高く吸音率が低い場合の計測に難がある。

本研究では、Fig.2 に示す粒子速度センサーとマイクロフォンを併用する方法を適用する。これによれば、音響アドミッタンスとその逆数の音響インピーダンスおよび音響インピーダンス比も定義通り求まる。

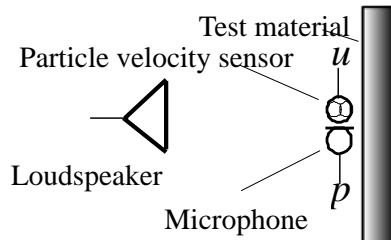


Fig.2 粒子速度センサーとマイクロフォンを併用する反射吸音特性の計測法

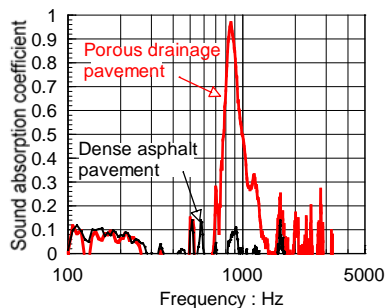


Fig.3 粒子速度センサーとマイクロフォンを併用して試験計測した排水性舗装面の吸音特性の分析例（従来型密粒アスファルト舗装面での殆ど吸音していない例も提示）

さらに、反射吸音特性の指標として最も良く知られている吸音率も得られる。

後者の方法を排水性舗装面の吸音率測定に適用した例を Fig.3 に示す。骨材間に空隙を有する健全な多孔質排水性舗装面の吸音特性には 1 kHz 付近で高い吸音特性を示すことが知られており、この特性が認められることで健全度が高く、吸音率が低下あるいは吸音特性が認められない場合に目詰まりが進行していると判断することとした。

本研究では、この粒子速度センサーとマイクロフォンを併用する反射吸音特性の計測法の有効性を十分確認するため、代表的な音響材料や境界条件を対象とした応用計測を試みた。以下に、計測結果の例を示す。

本研究において導入した粒子速度センサーを用いる方法では僅かな機器類により屋外での計測を可能としており、またこれにより得られた結果も音響伝搬特性の計算や可聴化も含めたシミュレーション計算にも適用して、それらの聴取試験の結果でも異音を回避しうる質の受聴信号が得られることが判った。

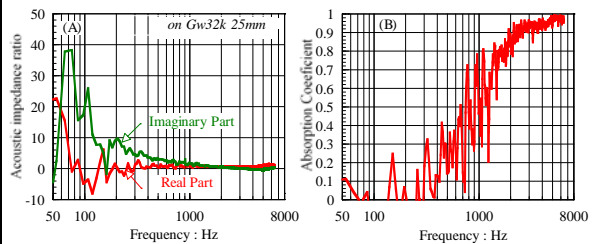


Fig.4 多孔質材料グラスウールの音響インピーダンス (左) と吸音率 (右) の一般居室における計測結果の例

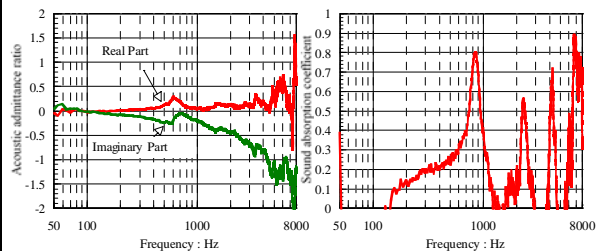


Fig.5 一般市街地道路で計測された排水性舗装面の音響インピーダンス (左) と吸音率 (右) の例

(3) 舗装面内空隙の音響伝搬法の検討

舗装面の反射吸音特性の観測による健全度診断法の実用可能性の一端が認められたが、二つ目の舗装内空隙を通じた音響伝搬を観測し、空隙の健全度を知るための手法の検討を併せ行った。概略は Fig.1 右側に示す通りであり、舗装表面の空隙開口に音波を放射し内部空隙を透過し舗装表面まで漏れ出て来る音波を捉え、その強弱で空隙の開閉状況

すなわち空隙目詰りの進行を判断しようとするものである。

Fig.6 は、写真2に示す様な簡単な計測装置で計測された空隙内音響伝搬音の観測例で、健全な排水性舗装内を伝搬する強い伝搬音と空隙が無い従来の密粒アスファルト舗装での音響伝搬の弱さとのコントラストからこの方法の実用性は高いと判断した。

さらに、Fig.5 に示した吸音特性を観測した道路舗装面を対象として、空隙内透過伝搬特性を観測した例で、舗装面への放射音波と空隙を經由して舗装表面上に再放射された音波の両者間の関連度の(パワー)コヒーレンシ分析した結果を Fig.7 に示す。この分析結果からも広い空隙、すなわち空隙の健全度が保たれている状況が明瞭に示された。



写真2 内部伝搬特性の観測実験風景

音源スピーカー(左側手前)と透過音用音響センサー(粒子速度センサーを用いた例、右側)

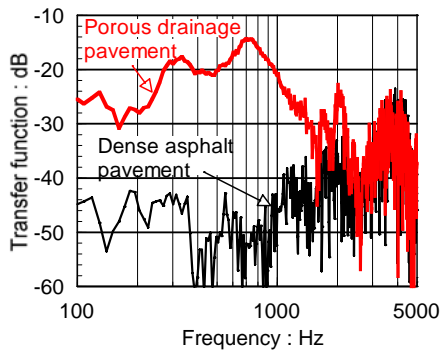


Fig.6 舗装内空隙伝搬音の観測例(従来型密粒アスファルト舗装との比較)

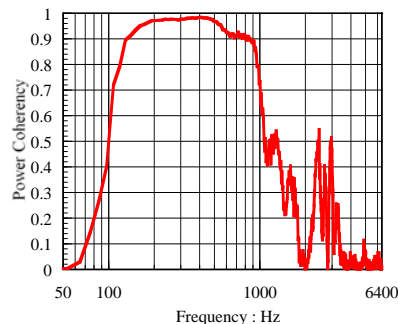


Fig.7 舗装内空隙伝搬音と放射音間のコヒーレンシ(関連度)分析結果による表示 (Fig.7 と同一の道路を対象、極めて高い関連度が示された)

(4)移動式反射吸音特性の観測装置の試作と試行実験

本研究の最終目標である排水性舗装面の健全度を音響的に診断することを目的に、吸音特性の計測システムを一体化して移動しながらの連続計測を行える試験計測装置を試作し、構成機器の配置具合や移動速度等についての試行・検討を行い、さらに改善した構成例を Fig.8 に示す。これが本研究期間内の最終型手押し連続移動計測装置である。

各種の舗装面が試験施行されている試走路で計測した密粒舗装や排水性舗装面での試験結果の例を Fig.9、Fig.10 に示す。

まず、Fig.9 は移動計測装置をそれぞれの舗装種ごとに停止して吸音特性を計測した結果を比較した例である。この結果を見ると、密粒舗装でも 1kHz 以上の周波数での部分的

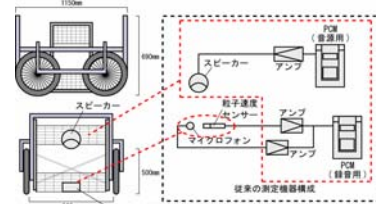


Fig.8 一体化移動可能とした音響計測装置



写真3 実験風景

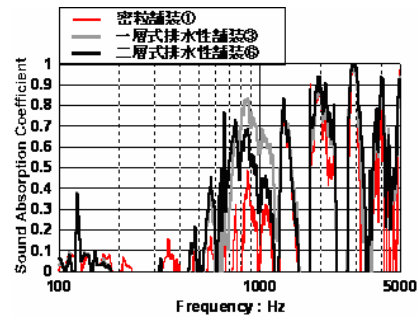


Fig.9 試走路における吸音率の計測結果

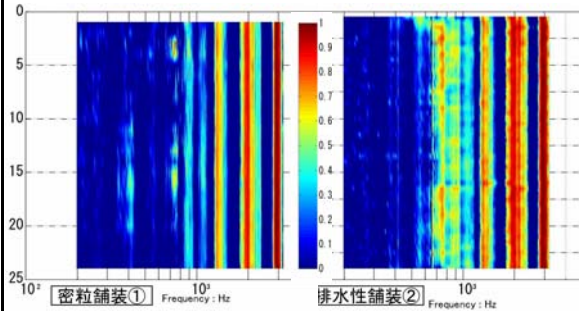


Fig.10 連続移動計測結果 (赤が高吸音、青が低吸音を示す)

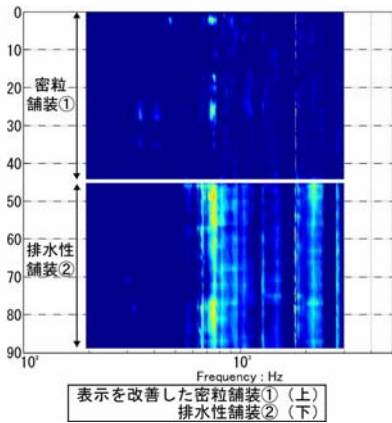


Fig.11 密粒舗装での偽吸音性の結果との差による再分析結果
密粒アスファルト舗装(上)と排水性舗装(下)の吸音率の連続計測結果の再表示例

に高い吸音性も認められるが、排水性舗装面での 1 kHz 付近の高吸音値が認められ、排水性舗装面の基本特性は捉えられている。

Fig. 10 は種々の排水性舗装が連続して試験施行されている路面で連続移動音響計測した場合の 2 次元表示結果である。この結果からも排水性舗装面では低周波数において吸音せず 1kHz 付近で比較的高い吸音特性が観測されるのに対し、密粒舗装では全般に渡り低い吸音特性に留まる観測結果が得られていることが判る。この様な観測結果の 2 次元表示から路面上のどの部分において空隙が健全か否かの把握が容易となる。

なお、密粒舗装においても 1kHz 以上の周波数で部分的に高い吸音性を示すと言う不具合は、機器の部分固有振動現象が生じてしまっている結果と思われるが、以下には現段階での改善策を検討した結果を示す。

すなわち、密粒舗装面のある地点での計測結果に対する差分で各観測結果を表示する再分析法を適用した。その例として、Fig. 11 に密粒アスファルト舗装とある区間の排水性舗装の場合を比較して再提示する。

この例では、健全な排水性舗装面の 1kHz 付近における吸音特性が明示され、さらに色模様も微妙に変化している結果が示されている。この様な差異が認められることから、連続移動音響計測から路面の吸音特性の概略を把握するという本研究の目標は概ね達成できたものと判断される。この方法で、まず路面の全体的なスクリーニングを行い、目詰まり進行が認められる場合(地点で)のより細かな診断手段として内部音響伝搬計測法を適用すれば良いと位置付けられる。

(5) 音響管試験法による排水性舗装の基本的吸音特性の解析

厚さ 50mm の円形疑似排水試験体を作成して、直径 10mm の音響管の底部に装着して各

試験体の野吸音特性を分析した。Fig. 12 に空隙率による吸音特性の違いについて分析した結果を比較して示す。これを見ると空隙率が 19%と 24%の 5%の差でも吸音特性の差が認められ、排水性舗装が目詰まりして空隙率が低下すると吸音特性もそれに応じて低下していくことなどのことが判った。

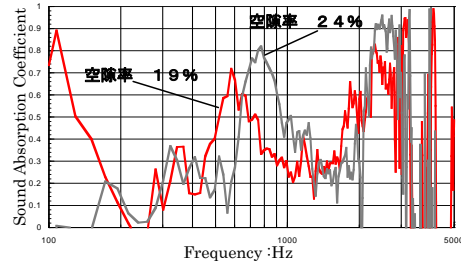


Fig.12 空隙率の違いによる吸音率の比較例

(6) その他の成果

以上の通り、本研究の目的に直接沿う各種材料や種々の境界条件を対象とした音響反射吸音特性の計測方法に加え、本研究での研究方法や成果のより広い関連範囲の分野へ適用・応用も考えた。たとえばすなわち、レーザー振動計を利用した、これまで取り組みが希薄であった吸音機構を対象として反射吸音現象の観察解明など新たに有効な音響計測方法の端緒を見出して、それらを対象とした試験も一部実施している。また、音響伝搬特性の計算や可聴化も含む音響シミュレーション計算についての検討も行った。

その他の研究成果については、すでに学会等で一部発表を行っているものもあるが、未発表分については、データ等の整備が行われた段階ごとに順次発表する予定である。

(7) まとめ

本研究の成果は以下の通りまとめられる。
①排水性舗装面あるいは空隙の健全度を示す音響的診断法を二つ提案した。すなわち、舗装面の 1kHz 中心とした高吸音特性の有無の確認計測、あるいは舗装内空隙を通過する 1kHz 以下の周波数における明瞭な音響伝搬特性の有無の検証で診断が可能となる。
②屋外で安定して吸音特性を観測できる手法として粒子速度センサーとマイクロフォンを併用する音響計測法の実用性の検討を行った。
③舗装骨材間の連続空隙を縫って伝搬する音波が音源放射部から少し離れた舗装表面外部へと再放射される現象を明瞭に捉えられることを確認した。
④舗装面の音響反射吸音特性を連続計測する装置の試作を行い、試験走路で各種舗装面を対象に試験計測を実施し、装置と計測分析結果の妥当性を確認した。
⑤排水性舗装面の吸音特性から自動車走行騒音の低減効果の推定を行った。

以上の通り、本研究で当初に挙げた交通遮断、重度の交通規制を伴わない排水性舗装の健全度診断法の提案を目標とする研究目的は概ね一定程度達成できたと考える。これに関する研究発表を国内外で実施してきたが、本研究の基本とする排水性舗装の健全度診断法に関する内容が、Editor側から薦められ、NCEJ(Noise Control Engineering Journal by INCE-USA)誌の近刊で、Paper“Acoustical diagnoses of porous drainage pavement”として公表される予定であり、国際的評価も得られたものとする。

(7) 今後の課題

本研究を実施して、上述のように一定の成果は得られた。なお残された課題として以下の様なものが挙げられる。

- ① 移動音響試験装置の一層の小型化
- ② 密粒アスファルト舗装面を対象とした場合でも 1kHz に生じるいわばゴーストのような偽高吸音特性の生じる原因の解明とその具体的解決方針の確立
- ③ 吸音特性計測による広範囲スクリーニング後の内部空隙透過音響伝搬特性観測による空隙目詰まり状態のより細かな定量化

謝辞

本研究の最終段階の試験装置の試験では、各種の排水性舗装面で実験が不可欠であり、試験走路での試験を実施したが、これは日本音響学会道路騒音予測検討委員会の作業の一貫と位置付け実施可能となったものであり、ここに関係各位に感謝の意を表す。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① Teruo IWASE, Yu MUROTUKA, Kenichi ISHIKAWA and Koichi YOSHIHISA, “Measurements of acoustic impedance and their data application to calculation and audible simulation of sound propagation, Acoustical Science and Technology”, 査読有, Vol. 29, p21-35(2008)
- ② Teruo Iwase, “Observation of acoustic particle velocity around neck of Helmholtz resonator”, Acoustical Science and Technology, 査読有, Vol. 29, p238-241(2008)

[学会発表] (計 10 件)

- ① 小林明幸 岩瀬昭雄 “排水性舗装の実用的音響診断の方法について”, 日本建築学会北陸支部大会研究報告, 2007年7月14日, 長野市(信州大学工学部)
- ② 上嶋貴之 岩瀬昭雄 “ヘルムホルツ共鳴器のネック部周辺の粒子速度の観測”, 日本建築学会大会(九州)学術講演会, 2007年8月30日, 福岡市(福岡大学七隈キャンパス)

③ 小林明幸 岩瀬昭雄 “実用化を目指した音響診断を用いた排水性舗装の健全度診断について”, 日本騒音制御工学会秋季研究発表会, 2007年9月13日, 東京(中央大学理工学部)

④ 岩瀬昭雄 “排水性舗装面の音響特性の計測と騒音低減効果の評価について”, 日本音響学会秋季研究発表会, 2008年9月12日, 福岡市(九州大学大橋キャンパス)

⑤ 岩瀬昭雄 “粒子速度センサーを用いた音響インピーダンス計測の最近の取り組み”, 2008年9月27日, 日本騒音制御工学会秋季研究発表会, 東京(東京大学生産技術研究所)

⑥ 小林明幸 石川賢一 岩瀬昭雄 “新しい排水性舗装試験体を用いた健全度音響診断法の検討—排水性舗装の種類についての検討と移動試験を想定した試験結果—”, 日本騒音制御工学会秋季研究発表会, 2008年9月27日, 東京(東京大学生産技術研究所)

⑦ Teruo IWASE, Koichi YOSHIHISA and Yasuaki OKADA, “Study on measurements of acoustic properties of turf and typical surfaces and on characteristics of sound propagation above turf field”, INTER-NOISE 2008, 2008年10月27日, 上海国際会議中心

⑧ Takuya Oshima and Masashi Imano, “A Full Finite Volume Time-Domain Approach towards General-purpose Code Development for Sound Propagation Prediction with Unstructured Mesh”, INTER-NOISE 2008, 2008年10月27日, 上海国際会議中心

⑨ 植田知孝, 石川賢一, 山本 稔, 長船寿一, 大蔵 崇山 山本貢平, 岩瀬昭雄 “排水性舗装上の自動車走行騒音パワーレベルとその経年変化の検討”, 日本音響学会騒音振動研究会, 2009年1月23日, 新潟市(新潟大学)

⑩ 植田知孝, 石川賢一, 山本 稔, 長船寿一, 大蔵 崇山 山本貢平, 岩瀬昭雄 “排水性舗装の経年変化を考慮した回折補正量の計算方法”, 日本音響学会騒音振動研究会, 2009年1月23日, 新潟市(新潟大学)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○ 出願状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

http://www.jstage.jst.go.jp/article/ast/29/1/29_21/article

http://www.jstage.jst.go.jp/article/ast/29/3/29_238/article

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩瀬 昭雄 (IWASE TERUO)

所属 新潟大学・自然科学系・教授

研究者番号 : 30114391

(2) 研究分担者

大嶋 拓也 (OSHIMA TAKUYA)

所属 新潟大学・自然科学系・助教

研究者番号 : 40332647