

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 3月31日現在

機関番号：33903

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21510093

研究課題名（和文） エネルギーベースに準拠した道路交通振動予測手法の開発

研究課題名（英文） Development of the Energy-Based Road-Traffic Vibration Prediction Technique

研究代表者

成瀬 治興（NARUSE HARUOKI）

愛知工業大学・工学部・教授

研究者番号：20064941

研究成果の概要（和文）：本研究は、平坦道路を対象とするエネルギーベースに準拠した道路交通振動予測式（INCE/J RTV-MODEL2003）の適用道路構造種別の拡大を目的として、3mプロフィール計に代わる路面平坦性の計測方法として、車載型 IRI 評価システムの適用を検証し、利用可能であることを確認した。次いで、試験車両を用いた盛土・切土道路での実測調査により、平坦道路予測式を他の道路構造に適用するための基礎データを蓄積した。

研究成果の概要（英文）：This research aims to expand the application road structure of the energy based road-traffic vibration prediction equation(INCE/J RTV-MODEL2003) for a flat road. As the measurement method of the road surface evenness replaced with the 3-m profile meter, application of the in-vehicle model IRI assessment system was verified, and confirmed alternative use was possible. The data for applying flat road prediction model to other road structures was acquired by the measurement survey in the banking road and cutting ground road using an examination vehicle.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境技術・環境材料

キーワード：環境保全技術、道路交通振動、予測式、環境影響評価、数理モデル、道路構造、RTV-Model2003、等価振動レベル

1. 研究開始当初の背景

(1) 社会動向

振動規制法が制定された1976年(昭和51年)から今日までの振動苦情に係わる環境省資料によれば、1978年をピークに2000年頃まで、振動に係わる苦情は減少傾向にあった。これは、振動規制法制定による排出規制により、工場・事業場に起因する苦情件数が着実

に減少したことが寄与したものと思われる。しかし、ここ数年は全体にやや増加傾向がみられる。ここで、苦情発生時に観測された振動の、基準との適合状況をみると、工場・事業場に起因する振動は70%以上、建設作業と道路交通にいたっては90%以上が基準内となっている。このことは、排出規制としての振動規制法などによる規制基準への適合は、

振動発生源の近傍で生活する周辺住民からの苦情発生という観点からは、必ずしも十分条件ではない状況がつかえる。実際に振動を感じるのは、主に家屋内であるため、道路境界の地面上で規定されている規制基準を厳しくすることで苦情に対処するという指摘もできるが、道路境界から家屋内までの伝搬経路には、振動の発生源側では関与できない土地建物があり、家屋内で知覚される振動は、その影響を受けた結果であり建物によっては地盤と比べて著しく振動が増幅することもあるため、家屋増幅をどこまで勘案して規制基準を設定するかは難しい問題である。道路交通振動のこのような状況において、振動対策は法的要請によるものというよりは、道路近傍の住民からの苦情に対応して、局所的に実施されているものが多く、予測評価へのフィードバックを困難としている。

道路交通振動に係わる環境影響評価等の実務面では、いわゆる「土木研究所式」が唯一の予測方法として利用されている。しかしながら、この予測方法は、蓄積されたデータによる統計的かつ経験的な側面が強く、必ずしも物理的な整合性を求めている。環境影響評価法では、一定規模以上の事業は調査、予測及び評価をすることを法律で義務付けられており、学術的な根拠に基づいた方法で予測計算をすること、また不確実な場合においては、その理由を明らかにすることが求められている。

(2)研究の着想に至った経緯

研究代表者の成瀬は、研究分担者の内田、連携研究者の塩田、国松等と共に、平坦道路における道路交通振動の新しい予測式として、INCE/J RTV-MODEL2003(日本騒音制御工学会)を提案している。この予測式は、ISO2631-1:1985を基本とする周波数特性に基づき、地盤、路面条件等を考慮し、道路交通振動の予測量として等価振動レベル L_{Veq} を定義した上で、Bornitz の振動伝搬式を用いて伝搬計算を簡略化している。振動加速度レベルのユニットパターンを用い、エネルギーベースに準拠した考えを採用することで、車線ごとの寄与や複数道路の影響比較検討などを、「物理的なモデル」に基づいて予測評価することが可能である。現時点では平面道路にのみ対応しており、それ以外の道路構造への適用が望まれるところである。道路交通振動は、道路構造だけでなく、地域による地盤特性の違いも加味される必要があり、全てを実測に依存するには、膨大な調査が必要となる。そこで、数値解析によって道路構造の違いに伴う、振動伝搬性状の基礎的な検討を行い、代表的な道路構造における実測調査により、解析によって設定した予測式の妥当性を検証することを考案したものである。

2. 研究の目的

(1)要旨

現在、道路交通振動の規制基準は、道路境界における振動レベル 80%レンジ上端値 (L_{10})で評価されている。しかし L_{10} での評価は必ずしも道路交通振動による住民への影響実態を反映していないとの指摘¹⁾がある。環境影響評価において広く使用されている「土木研究所式」は、 L_{10} の予測式であり、 L_{10} の実測値を統計分析して式中のパラメータを決定している。そのため、「土木研究所式」を利用して道路交通振動による住民への影響を、他の物理指標で評価することはできない。振動予測式は、騒音予測式に比べて物理的な考察に基づく数理モデルをベースとする面からは遅れているという背景がある。一方、日本騒音制御工学会が提案する、道路交通振動予測計算方法 (INCE/J RTV-Model 2003)は、数理モデルに基づいたエネルギーベースに準拠しているため、道路交通振動の評価物理指標の変更に柔軟に対応できる予測式である。しかし、現状は平坦道路のみを対象としており、異なる道路構造への適用が求められている。本研究では、数値解析と実測調査によって、エネルギーベースに準拠した道路交通振動の予測式を、平坦道路以外の道路構造へ適用可能としようとするものである。

(2)目的

数値解析による道路構造種別毎の振動(波動)伝搬性状把握、振動加速度レベルのユニットパターンでの評価条件の検証。

実測による交通振動の伝搬性状と道路構造の関係調査、推定結果の整合性の比較検証、予測式に必要なパラメータの解明。

異なる道路構造(盛土・切土、掘割、高架)への平坦道路での予測式 (INCE/J RTV-MODEL2003)拡張のための関係式(係数、補正項)の検討。

エネルギーベースに準拠した道路交通振動の予測式を異なる道路構造に適用した場合の L_{Veq} から L_{10} への変換式の検討。

新たに提案する予測式を容易に利用できるような、標準プログラム作成検討。

(3)本研究の学術的な特色、独創的な点、予想される結果と意義

等価振動レベルを定義し、エネルギーベースに準拠することで、多数の道路が複合した場合や、車線によって路面平坦性、交通量、大型車混入率などが異なる場合の車線毎の寄与などを、物理的な整合性をもって予測評価できることを特色とする。一般道路に併走して自動車専用道路が建設された場合の、個々の道路の寄与や、複合影響の予測評価にも利用できる。さらに将来、道路交通振動の規制基準などの評価量を、時間率振動レベルである L_{10} から、別の物理量への変更を検討

する場合でも、エネルギーベースに準拠していることから、物理的な整合性を図った上で評価量の換算を可能とし、研究で蓄積したデータや成果を活用することができる。

3. 研究の方法

(1) 数値解析による検討

平坦道路と断面形状の異なる、盛土・切土、掘割道路を対象として、2次元FEM解析により、構造要因と振動伝搬性状の関係を解析的に検討する。車線(振動源)位置設定により盛土(切土)の幅、高さ(深さ)、のり角度などが、構造要因として有用か解析的に検証する。また、2次元解析結果を参考に、車線長さ方向の広がりを加味した道路構造及び高架構造物の3次元モデルを作成し、交通振動の地盤伝搬性状に及ぼす道路構造要因を解析的に検証する。

(2) 予測式への構造要因の適用検討

エネルギーベースに準拠した道路交通振動予測式の盛土・切土、掘割、高架道路への適用に際しては、利便性を考えると平坦道路を対象とする既存予測式の基本式構造をなるべく変更しない予測式構造が望まれる。そこで、平坦道路を対象とする既存の予測式に、道路構造種別に起因する物理的に妥当な関係式(係数、補正項)を適用することを仮定し、(1)及び(2)の数値解析で求めた振動伝搬性状から計算した振動加速度レベルの距離減衰性状を包括的に類推することのできる予測式に必要な関係式の構造を検討する。

(3) 振動伝搬式の検証

上記、(1)~(2)で検討した振動伝搬性状の解析と解析結果を基に構築した、エネルギーベースに準拠した道路交通振動予測式に付加する関係式(係数、補正項)の考え方について、地盤振動伝搬の理論面から物理的な整合性を検証する。

(4) 実測調査

道路交通振動予測式への構造要因の適用を検証するため、実際に各種道路構造での交通振動の距離減衰性状の測定および道路構造、路面平坦性などの道路条件、車輦速度、大型車混入率、地盤の物性等を調査する。測定した交通振動の加速度原波形データ等は、電子データとして専用ハードディスクで各研究者に配布する。

(5) 盛土・切土道路への適用検討

調査結果を受けて、(1)~(3)の解析的検討によって作成した盛土・切土道路に対応した関係式を付加した予測式の適用状況を確認し、必要であれば解析モデルの修正に戻って適用を図る。

(6) 掘割道路への適用検討

調査結果を受けて、(1)~(3)の解析的検討によって作成した掘割道路に対応した関係式を付加した予測式の適用状況を確認し、必要

であれば解析モデルの修正に戻って適用を図る。

(7) 高架道路への適用検討

調査結果を受けて、(1)~(3)の解析的検討によって作成した高架道路に対応した関係式を付加した予測式の適用状況を確認し、必要であれば解析モデルの修正に戻って適用を図る。ここまでの成果を日本騒音制御工学会研究発表会にて公表し、会員各位からの意見収集、情報交換を行い研究の完成を図る。

(8) 構築した道路交通振動予測式の検証

日本騒音制御工学会道路交通振動予測式作成分科会委員各位などが保有する既存の交通振動測定結果ならびに各研究機関保有のデータを借用し、道路構造別の予測精度を検証する。

(9) 道路交通振動予測式プログラムの開発

既に平坦道路を対象とする予測式(INCE/JRTV-MODEL2003)は、日本騒音制御工学会より基本式のプログラムを公表している。そこで、同プログラムを修正し、各種構造種別に対応した関係式を付加することで、ユーザーが同じ操作環境で利用できるプログラムとする。

4. 研究成果

本研究では、数値解析により各種道路構造での振動伝搬過程を再現し、予測式への構造要因の適用検討及び振動伝搬式の検証と実測調査結果の整合を図って、平坦道路を対象とする予測式を各種道路構造に適用するための拡張項の選定を目標とした。実際の検討では、必須データである路面平坦性を容易に入手するための手法検討、実測調査地点に起因する特異現象の検討などで成果を得た。予測手法の拡張等は、日本騒音制御工学会道路交通振動予測式作成分科会にて引き続き対応していく。

(1) 路面平坦性の推定方法の検討

想定する道路交通振動の予測式では、交通規制を伴う3mプロファイル計で求めた路面平坦性を用いている。しかし、交通量の多い幹線道路などでは、道路交通振動の影響予測のためだけに交通規制を掛けることは困難である。規制の必要が無く3mプロファイル計に準拠した平坦性の指標を得られる計測方法が求められた。各種路面平坦性計測評価方法を調査した結果、車載型加速度センサを用いた路面凹凸の簡易測定評価システムの適用について実機試験で検討した。このシステムは自動車左前輪のパネ上、パネ下に加速度センサを設置し、走行時の加速度信号をクォーターカーモデルの出力と仮定して路面凹凸を逆算するものである。主に高速道路などの比較的長い距離を対象としたIRI(国際ラフネス指数)の算定に利用されている。IRI算定の過程で、時速40~80kmで走行中に記

録したバネ上、バネ下の加速度波形データとGPSによる逐次位置情報を基に、路面凹凸を推定していることから、3mプロファイル計との比較検証試験を行った。

愛知工業大学の構内道路約400m区間を試験走路として、3mプロファイル計との比較検証を行った結果、加減速時および時速20km程度の低速走行時は、搭載するGPSの位置精度不足があり路面凹凸の同定精度は不十分となった。時速30~60kmでほぼ定常走行の条件では、3mプロファイル計と同様の路面凹凸を同定できることを確認した。予測式で用いる路面凹凸の標準偏差は、括弧内を簡易測定評価システムとして、 $\sigma = 3.58(3.5)$ 、 $3.84(3.49)$ 、予測式の路面平坦性の影響項($23.31\log(\sigma)$)でみると、0.2~1dB程度の差であり、3mプロファイル計と同等の結果が得られている。

試験車両の物理特性をクォーターカーモデルに反映させるため、試験車両毎に路面凹凸の既知な道路でのキャリブレーションを必要とするが、交通規制が不要であることから本手法を採用した。また路面凹凸の逐次データを比較的容易に入手できることから、高速道路のジョイントや路面補修の打継等、局所的な凹凸の影響評価への適用を今後の検討課題に追加するものとした。

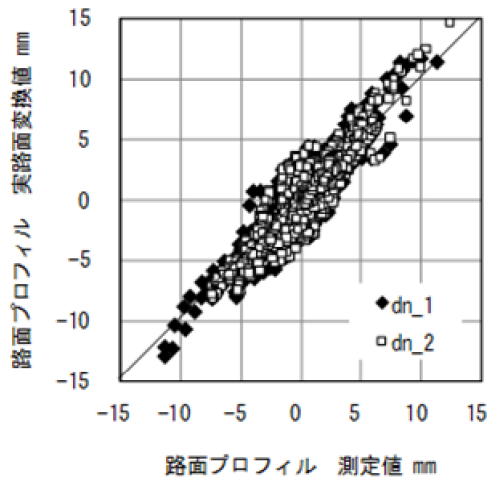


図1 3mプロファイル計の測定値と実路面変換値の比較結果

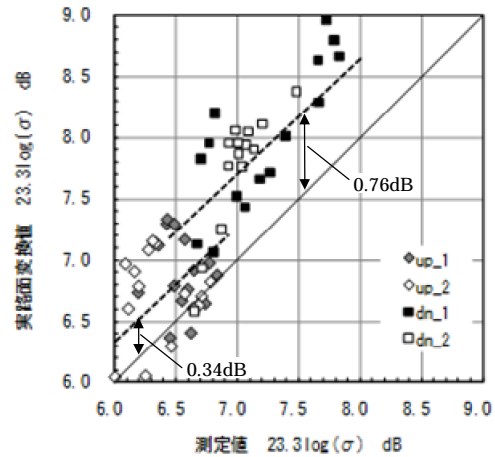
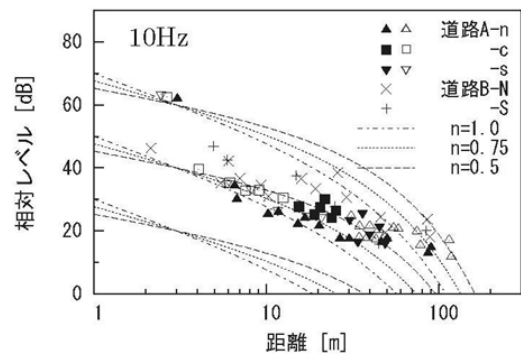


図2 3mプロファイル計の測定値と実路面変換値の予測式項目での比較結果

(2)実測調査

次に、基礎データの収集を目的として、切土道路、盛土道路での実測調査を実施した。調査は、愛知県下の2箇所(盛土:片側1車線の国道、切土:片側2車線+幅約20mの中央分離帯の国道)を対象として、鉄板を積載させた大型試験車と一般大型車の単独走行を主な対象として、ユニットパターン(1台の走行車両による振動加速度レベルの変動パターン)および距離減衰性状の計測を行った。また路面平坦性の計測評価は、前年度に導入した車載型加速度センサを用いた路面凹凸の簡易測定評価システムを用い、通過車両の速度及び台数はビデオ撮影結果から読み取った。距離減衰性状は、どの周波数帯域においても Boriniz の距離減衰曲線上に集まっているわけではなく、高低差が大きい場合は回折減衰の影響の無い路肩および回折減衰が小さくなると考えられる遠方についても Boriniz の距離減衰曲線上の比較的上方になる傾向が認められた。



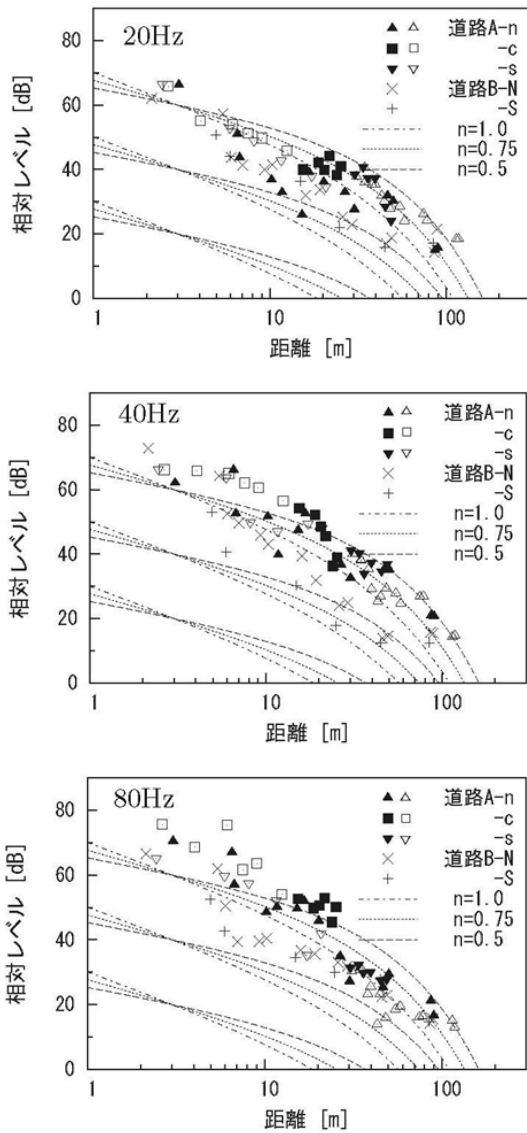


図3 実測調査での距離減衰性状

ユニットパターンに関しては、盛土では低周波数域の卓越が見られたが、周波数範囲を調整した時系列波形の評価により、ユニットパターン方式を盛土、切土道路に拡張できる可能性を確認した。その他の知見として、路面平坦性の評価に関して、計測路面を実路面に補正した場合の平坦性評価を標準偏差と国際ラフネス指数に着目し、その違いについて高速道路の路面データを対象として検討した。その結果、標準偏差 から算出した予測式(INCE/J RTV-MODEL2003)における路面平坦性の項 $23.3\log(\sigma)$ は、対象とした路面が有する卓越波長によりばらつくものの、実路面と計測路面のdB値比較では、概ね $\pm 2\text{dB}$ の範囲にあることが判明した。

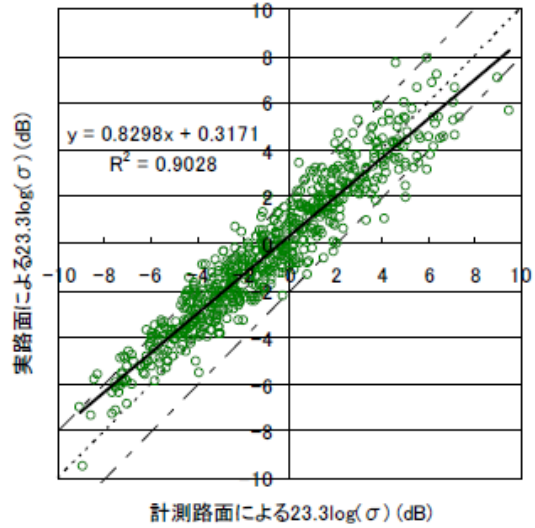
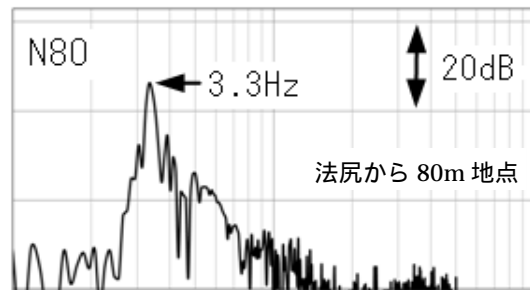
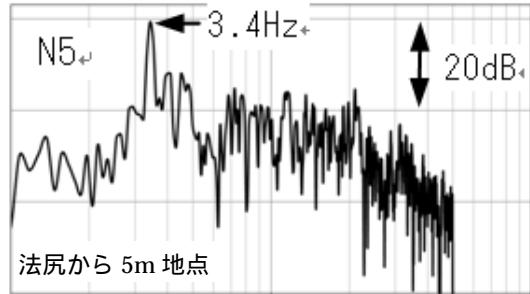


図4 計測路面と実路面における $23.3\log(\sigma)$

(3) 特異現象の検討

現地状況に起因する特異現象の把握と、その数値モデルへの反映に関わる検討として、盛土道路での実測調査時に得られた低周波数成分について検討した。その結果、道路交通振動予測計算方法 INCE/J RTV-Model 2003 では想定していない、大型車のサスペンション構造のリーフばねとエアばねの違いに起因する特徴的な振動性状が判明した。



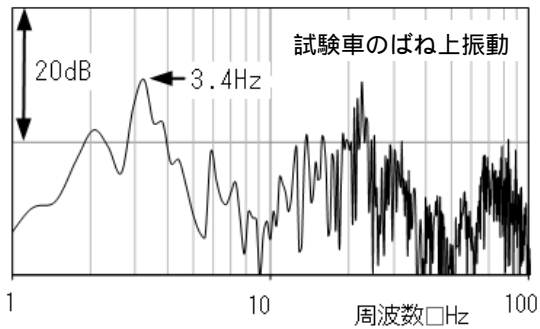


図5 現地状況に起因する特異現象の事例

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0件)

[学会発表](計6件)

佐野泰之、志村正幸、国松 直、内田季延、深田宰史、切土、盛土道路からの3成分地盤振動伝搬の実測事例、日本騒音制御工学会平成24(2012)年度春季研究発表会、平成24年4月24日、(独)産業技術総合研究所臨海副都心センター

内田季延、盛土・切土道路の交通振動予測式作成のための検討 その3 土道路での低周波数成分に関する考察、日本騒音制御工学会平成23(2011)年度秋季研究発表会、平成23年9月16日、芝浦工業大学

深田宰史、松本剛也、岡田裕行、樺山好幸、プロフィールメータによる計測路面と実路面との平坦性評価の違いについて、日本騒音制御工学会平成23(2011)年度春季研究発表会、平成23年4月27日、東工大蔵前会館

内田季延、佐野康之、横田明則、深田宰史、成瀬治興、盛土・切土道路の交通振動予測式作成のための検討 その2 試験車走行ユニットパターン実験結果からの考察、日本騒音制御工学会平成23(2011)年度春季研究発表会、平成23年4月27日、東工大蔵前会館

佐野康之、内田季延、深田宰史、横田明則、成瀬治興、盛土・切土道路の交通振動予測式作成のための検討 その1 試験車等を用いた現場実験方法と地盤振動伝搬加振実験の結果、日本騒音制御工学会平成23(2011)年度春季研究発表会、平成23年4月27日、東工大蔵前会館

内田季延、成瀬治興、深田宰史、佐野泰之、INCE/J RTV - MODEL2003における路面平坦性の計測手法および誤差要因の影響について、日本騒音制御工学会平成22(2010)年度春季研究発表会、平成22年9月29日、新潟大学

6. 研究組織

(1)研究代表者

成瀬 治興 (NARUSE HARUOKI)

愛知工業大学・工学部・教授

研究者番号：20064941

(2)研究分担者

内田 季延 (UCHIDA HIDENOBU)

飛鳥建設(株)技術研究所・研究員

研究者番号：20443640

松本 泰尚 (MATSUMOTO YASUNAO)

埼玉大学・理工学研究科環境科学・社会

基盤部門・准教授

研究者番号：90322023

深田 宰史 (FUKADA SAIJI)

金沢大学・自然科学研究科社会基盤工学

専攻・准教授

研究者番号：10313686

(3)連携研究者

塩田 正純 (SHIODA MASAZUMI)

工学院大学・建築学科・教授

研究者番号：10407158

北村 泰壽 (KITAMURA YASUTOSHI)

(財)建設工学研究所・研究員

研究者番号：20031099

国松 直 (KUNIMATSU SUNAO)

(独)産業技術総合研究所・地圏資源環境

研究部門・主任研究員

研究者番号：70356921

伊藤 和也 (ITOU KAZUYA)

(独)労働安全衛生総合研究所・産業安全

研究所建設安全研究グループ・主任研究員

研究者番号：80371095