

道路ユーザーの視点に立った舗装性能評価法に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 25

担当チーム：道路技術研究グループ（舗装）

研究担当者：久保和幸、寺田 剛、藤原 栄吾

【要旨】

舗装の設計に新技術、新工法等を採用しやすくするため、塑性変形輪数、透水性、騒音値など統一的な評価法が作成されている。これらの評価法は、性能規定発注を支援するために既存の舗装技術を想定して作成されたものである。今後、道路財源の増額が期待できないことから、道路ユーザー（道路利用者や沿道住民）の要望をよりの確に反映させ、同等のコストで維持管理しながら舗装に対する道路ユーザーの満足度を向上させるような舗装性能評価法が必要である。そこで本研究では、まず道路ユーザーの要望を把握するためにアンケート調査を実施し、道路利用者と沿道住民が感じる不満や危険な事象とその原因から要求性能を明らかにした。次に、これらの要求性能の評価法を提案するため、道路利用者、沿道住民を対象とした被験者調査ならびに要求性能と関連のある路面性状、舗装のたわみ量、段差と振動の調査を実施した。これらの調査結果から、道路利用者と沿道住民の要求性能を評価する舗装性能評価法としてライドナンバと D1500 を提案した。

キーワード：道路ユーザー、要求性能、路面性状、乗り心地、振動

1. はじめに

舗装設計の自由度を高め、新技術、新工法等を採用しやすくするため、従前の仕様規定から性能規定化に移行され、塑性変形輪数、透水性、騒音値など統一的な評価法が作成されている。これらの評価法は、性能規定発注を支援するため既存の舗装技術を想定して作成されたものである。

今後、道路財源が伸びないなか、道路ユーザー（道路利用者と沿道住民：以降、ユーザーと称す）の視点に立ち、ユーザーの要望に合致するような舗装の維持管理を行うことにより従来と同等のコストで舗装への満足度を向上させるような舗装性能評価法が必要である。本研究では、ユーザーの視点に立った舗装性能の評価法を提案するため、道路利用者、沿道住民を対象とした被験者調査ならびに要求性能と関連のある路面性状、舗装のたわみ量、段差と振動の調査を実施し、これらの関係から望ましい性能評価法を検討した。

表-1 道路利用者へのアンケート内容

不満や危険を感じる事象	原因と考えられる状況やその場所
すべり	カーブ、停止時、マンホールや側溝等、坂道、雨・砂など、路面標示、補修跡
振動	凹凸、ひび割れ、補修跡、マンホールや側溝等、路面の継ぎ目、路面の穴
乗り心地	凹凸、ひび割れ、補修跡、マンホールや側溝等、路面の穴、わだち、段差
ハンドル取られ	カーブ、補修跡、路面の穴、わだち、段差
水たまり	凹凸、路面の穴、わだち、ライトの反射、水はね
路面の明るさ・見やすさ	黒系、白系、路面標示の劣化、よごれ、周辺との調和、交差点、トンネル内、雨天時
衝撃	橋の出入口、マンホールや側溝等、路面の穴、補修跡、段差
騒音	舗装全体、凹凸、ひび割れ、路面の継ぎ目
路面標示	かすれ、暗い、よごれ
道路工事	舗装工事、上下水道工事、ガス工事、電気工事
荷傷み	凹凸、ひび割れ、補修跡、カーブ、マンホールや側溝等、路面の継ぎ目、路面の穴、わだち

表-2 沿道住民へのアンケート内容

不満や危険を感じる事象	原因と考えられる状況やその場所
騒音	段差、ひび割れ、車の走行、大型車、渋滞、速度が速い
振動	段差、ひび割れ、車の走行、大型車
照り返し	アスファルト、コンクリート、ブロック
水はね	凹凸、路面の穴、わだち
埃っぽい	砂ぼこり、排気ガス、小石
景観・色合い	黒系、白系、路面標示の劣化、よごれ、周辺との調和
道路工事	うるさい、振動を感じる、頻繁な工事

2. ユーザーの要求性能の把握

2.1 調査方法

ユーザーの要求性能を把握するため、道路利用者と沿道住民に対してアンケート調査を実施した。本アンケート調査では、道路利用者と沿道住民に舗装に対して不満を感じる事象とその現と考えられる状況や場所について、それぞれ表-1、表-2の内容でアンケートを依頼した。

アンケート調査の対象者を表-3に示す。道路利用者のアンケートについては、旅客や貨物の運送等の業務利用もしくは自家用利用で要求性能が異なる可能性があることから、業務利用者も対象に加えた。配布は440名に行い、回答は346名（道路利用者260名、沿道住民88名）から得た（回収率79%）。アンケートの依頼・回収は、トラック、タクシーおよびバス運転者には各会社に依頼し、自家用車利用者および沿道住民には直接手渡しで配布回収した。なお、対象者には「普段よく利用している道路に対して不満や危険を感じる項目に該当する全ての項目と原因と考えられる状況やその場所について複数回答を依頼した。

表-3 アンケート対象者

アンケート対象			配布人数(人)	回収人数(人)
道路利用者	業務利用者	トラック	中・小型(東京都近郊)	22
			大型	3
	タクシー	都内	82	
	バス	路線バス(取手市内)	10	
		高速バス(つくば東京間)	4	
	自家用車利用者	東京都近郊	49	
	取手・つくば周辺	90		
沿道住民	東京都近郊	40		
	取手・つくば周辺	60		
合計			440	346

2.2 アンケート調査結果

2.2.1 道路利用者へのアンケート調査結果

図-1は、車両別に各事象に対して不満や危険を感じると回答された割合を示したものである。図の縦軸は回答数を回答者数で除した割合を表している。図より、旅客を扱うタクシーやバスのドライバーは全ての事象で不満と感じる割合が高く、特にすべり、振動、乗り心地、ハンドル取られ、衝撃に対して不満を感じている。車両別では、トラックは振動、タクシーは道路工事、バスは乗り心地、自家用車は水たまりに対して最も不満を感じていることが分かる。

不満や危険を感じる各事象について、原因と考えられる状況やその場所で選択された上位3項目を図-2に示す。図より、すべりではマンホール、振動では凹凸、乗り心地では凹凸やわだち、ハンドル取られと水たまりではわだち、衝撃では補修跡や段差が最も多く選択されている。また、その他の不満の多い事象として、路面標示のかすれは区画線が視認できないことによる不安、道路工事は工事による渋滞で通行時間が増大することに対する不満であると思われる。

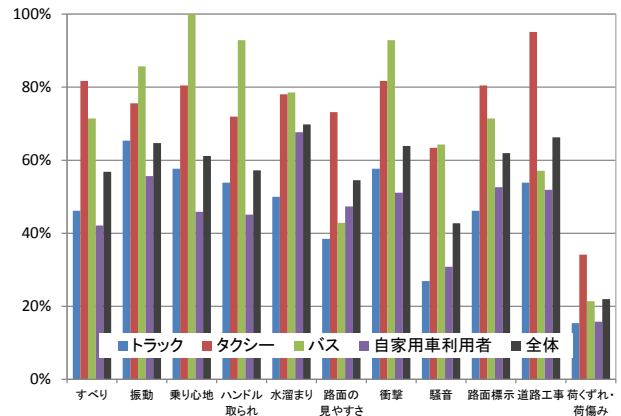


図-1 不満や危険を感じる事象（道路利用者）

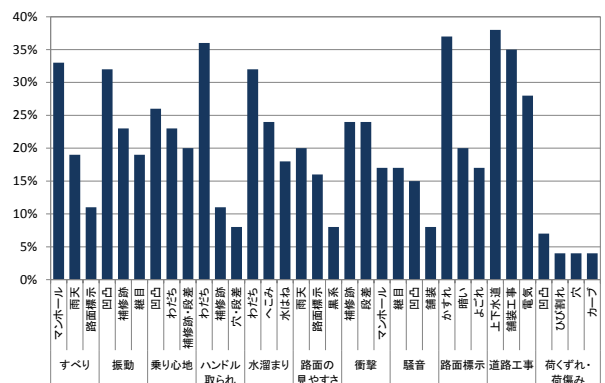


図-2 不満や危険を感じる事象の原因（道路利用者）

2.2.2 沿道住民へのアンケート調査結果

次に沿道住民を対象に行ったアンケート調査において、不満や危険を感じると回答された割合と各事象の関係を図-3に示す。同図より、最も不満や危険を感じる事象と回答されているのは水はねで、次いで騒音、振動の順となっている。また、各事象の原因と考えられる状況やその場所として、図-4より、水はねでは凹凸、騒音と振動では走行する車両を選択している回答者が多い。

道路交通騒音や道路交通振動を引き起こす直接の原因は道路を走行する車両であるが、騒音や振動の大きさは車両だけでなく舗装の状態に依存する。例えば、道路交通騒音は車両の走行速度が大きいほどタイヤ/路面騒音が支配的となる。また、道路交通振動は、段差量や走行速度が大きいほどより大きな揺れを感じる。さらに、騒音は路面のテクスチャ、振動は路床の支持力にも依存する。沿道住民へのアンケート調査結果から、沿道住民は不満や危険を感じる事象の原因に大きな関心はなく、漠然として対象物である車両をその原因として挙げていると推察される。

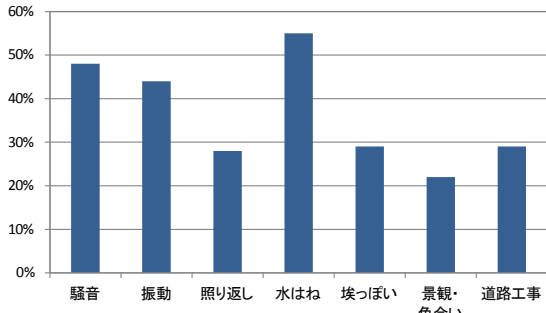


図-3 不満や危険を感じる事象 (沿道住民)

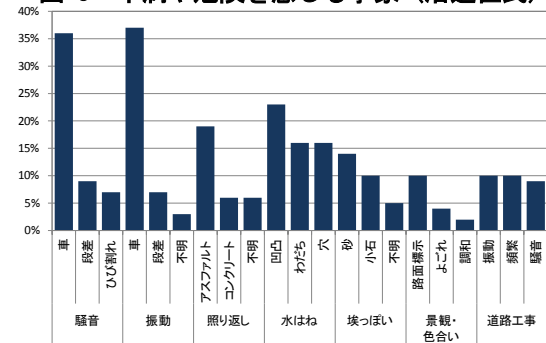


図-4 不満や危険を感じる事象の原因 (沿道住民)

2.3 ユーザーの要求性能

ユーザーの要求性能に関するアンケート調査の結果から得た知見を以下に示す。

(1) 道路利用者が不満や危険を感じる事象と原因

- ・旅客を扱う業務 (タクシー、バス) のドライバーが道路に対して不満や危険を感じる割合は、他のドライバーと比較して総じて高い。
- ・最も不満を感じる事象は車種によって異なり、トラックは振動、タクシーは道路工事、バスは乗り心地、自家用車は水たまりである。
- ・不満や危険の原因として、凹凸、わだち、段差等、乗り心地に関する項目が多く回答されている。

(2) 沿道住民が不満や危険を感じる事象と原因

- ・沿道住民が道路に対して最も不満や危険を感じる事象は水はねで、次いで騒音、振動である。
- ・不満や危険の原因として、騒音や振動では漠然として車両を挙げている回答が多い。

以上から、ユーザーの要求性能表-4にまとめる。

表-4 ユーザーの要求性能

利用形態	不満や危険を感じる事象	原因と考えられる状況や場所 (上位)	道路ユーザーの要求性能
道路利用者	振動	凹凸	振動が小さい
	乗り心地	凹凸、わだち	乗り心地がよい
	段差等衝撃	段差、補修跡	衝撃が小さい
	水たまり	わだち	水はねしない
沿道住民	振動	車両の走行	振動が小さい
	騒音	車両の走行	騒音が小さい
	水はね	凹凸、わだち、穴	水はねしない

3. 道路利用者の視点に立った舗装性能評価法の検討

2.2.1の調査結果から、道路利用者は振動、乗り心地、段差等衝撃ならびに水たまりに対して不満や危険を感じている。水たまりは沿道住民の要求性能である水はねとして扱うこととし、振動、乗り心地、段差等衝撃に関する性能評価法について、既存の研究を整理するとともに、路面性状調査と被験者調査を実施し、道路利用者 (被験者) の視点に立った舗装性能評価法を検討した。

3.1 道路利用者の要求性能評価法に関する既往の研究

3.1.1 路面テクスチャ

路面のテクスチャは波長により分類されており、特定の波長の振幅が乗り心地に影響することが知られている。PIARC (Permanent International Association of Road Congress) におけるテクスチャの定義と影響する供用性は次のとおりである。

(1) マイクロテクスチャ

水平方向で0.5mm未満の波長を有する路面の変位。ピーク間の振幅は、通常0.001~0.5mmの範囲で変動する。(影響される供用性: すべり摩擦抵抗)

(2) マクロテクスチャ

水平方向で0.5~50mmの波長を有する路面の変位。ピーク間の振幅は、通常0.01~20mmの範囲で変動する。(影響される供用性: すべり摩擦抵抗、車内外騒音)

(3) メガテクスチャ

水平方向で50~500mmの波長を有する路面の変位。ピーク間の振幅は、通常0.1~50mmの範囲で変動する。(影響される供用性: 車内外騒音)

(4) ラフネス

500mm以上の波長を有する路面の変位。(影響される供用性: 車内騒音、乗り心地)

PIARCではラフネスを乗り心地に影響するテクスチャとしているが、メガテクスチャの一部から乗り心地に影響すると指摘するもの^{1), 2), 3)}もある。一方、振動に影響を与えるテクスチャについては、PIARCでは明確な定義が存在しない。路面の振動と路面テクスチャを調査した事例^{4), 5)}によると、卓越した周波数が確認されたテクスチャの範囲は波長500~5000mmのラフネスであり、局所的な段差や波長の短い路面凹凸を大型車が通過したときに振動が発生するとされる。

3.1.2 面的な路面の変状

平たん性の指標 σ やIRIは、1本の縦断プロファイルから算出される。一方、乗用車は任意の2つの縦断プロファイル上を走行していることから、路面を平面的に評価すれば道路利用者が感じる乗り心地をより詳

細に説明できると考えられる。面的に路面を評価する手法として、左右両輪の走行位置のプロファイルから評価する方法、3次元データを用い、シミュレーションにより車両の挙動等を評価する方法がある。前者は、車輪走行位置の縦断プロファイル、横断勾配（左右車輪の標高差による）を測定し、乗り心地や車軸の傾き、ねじれを評価するものである。代表的なものとして、左右2つの縦断プロファイルから供用性を評価するライドナンバ(RN)、車両の前軸が横断方向になす角度と後軸が同方向になす角度の差で評価するRR(Rolling Roughness)⁶⁾がある。後者は、ドライビングシミュレータを用いて車両の挙動を評価する方法⁷⁾、シミュレータに乗車した被験者による乗り心地や走行安心感のアンケート調査で評価する方法⁸⁾がある。

3.1.3 局所的な路面の変状

一般的な平坦性の評価法は、ある区間全体の平均値を求めるものが多く、段差等の局所的な路面の変状が反映されにくい。局所的な路面変状の評価法は、縦断プロファイルから評価するものと車両が受ける衝撃（加速度）を評価するものの2つに分類される。

縦断プロファイルから評価するものとして、個々の地点の振動を抑制すれば結果的に全体の乗り心地を向上させることが可能であるとの考えから、25cm 間隔でIRIの評価を行う「地点IRI」⁹⁾、段差等の局所的な凹凸を評価するために10m 間隔でIRIの評価を行う「区間IRI」¹⁰⁾が提案されている。

車両が受ける衝撃の評価法として、車両のバネ上の振動加速度を計測する手法⁹⁾¹⁰⁾がある。加速度による局所的な路面の変状の評価方法では、概ね0.5G程度、動的重量による評価では静止重量の2.2倍程度（試験に用いた車両荷台部分の場合）を目標値としている。

3.2 道路利用者の視点に立った舗装の性能評価法に関する調査

表-4に示した道路利用者の要求性能は、ユーザーが分かりやすいというメリットがあるが、定性的な指標であり舗装の状態を直接表現したものではない。道路利用者の視点に立った舗装の性能評価に反映させるためには要求性能を定量的な指標で表現する必要がある。そこで、ユーザーの要求性能と最も関係のある定量的な指標により性能評価法を提案するため、既往の研究成果をふまえて以下の調査を実施した。

3.2.1 調査方法

(1) 路面性状調査

茨城県内の市・県道ならびに国土技術政策総合研究所の構内道路から調査箇所（各200mの区間）を選定

し、表-5の項目で路面性状調査を実施した。縦断プロファイルの測定位置は、振動加速度ならびに後述の被験者調査に用いる車両の走行軌跡と一致する2測線とした。なお、調査箇所は、調査に伴う交通規制に起因する交通への影響や安全性に配慮して、見通しが良く、かつ比較的に交通量の少ない路線を選定した。路面性状調査箇所の特徴を表-6に示す。

表-5 路面性状調査項目

項目	使用機器	摘要
縦断プロファイル	MRP	左右輪跡部 (2測線)
横断プロファイル	MRP	約50m間隔 (4断面)
振動加速度	加速度計	乗用車取り付け (前輪軸)
路面の振動レベル	振動計	約50m間隔 (路肩部)

表-6 路面性状調査箇所

区分	路面の状態	
No.1	構内道路	一部で段差があるが良好
No.2	構内道路	路面の凹凸が僅かに見られる
No.3	構内道路	わだち掘れや段差が一部で見られる
No.4	市道	わだち掘れや段差が顕著に見られる
No.5	県道	舗設後それほど時間が経っていない

(2) 道路利用者による被験者調査

路面性状調査と同じ箇所 で被験者調査を実施した。被験者調査は、振動加速度の計測に使用した乗用車に同乗した被験者に1回の走行毎にアンケートに回答してもらい、これを各区間で3回（3速度）、計15回行った。被験者調査の概要を以下に示す。

調査箇所：路面性状調査箇所と同じ（5路面）
調査時期：路面性状調査とほぼ同時期
車 両：路面性状調査で使用した乗用車と同じ
走行速度：3速度(制限速度を考慮し、10km/h ずつ変化)
被験者数：31人（20～50代）
基本情報：年齢、性別、免許の有無、乗車位置、体調
評価基準：5段階評価
（アンケート内容）
設問1：走行中に「振動」や上下の揺れを感じたか？ （かなり感じた～ほとんど感じない）
設問2：走行中に段差通過時のような「衝撃」を感じたか？ （かなり感じた～ほとんど感じない）
設問3：走行中に「横揺れ」、「傾き」を感じたか？ （かなり感じた～ほとんど感じない）
設問4：乗り心地はどうか？ （悪い～良い）
設問5：この状態が長時間（1時間以上）続くとどうか？ （疲れる～問題なし）
設問6：この舗装は補修した（直した）方が良いか？ （早急に補修～補修した方が良い～補修の必要なし）

3.2.2 調査結果

(1) 路面性状調査結果

1) $\sigma(1.5, 0.25)$

縦断プロファイルのデータから $\sigma(1.5, 0.25)$ を舗装調査・試験法便覧に示されている方法に準じて算出した結果を図-5 に示す。なお、 $(1.5, 0.25)$ は路面プロファイルのデータ間隔 (m) を表している。また、図の OWP、IWP は Outer Wheel Path、Inner Wheel Path の略で、それぞれ外側輪跡部と内側輪跡部を表す。図-5 より、全ての調査箇所 IWP よりも OWP で σ の値が大きい。また、各調査箇所をみると No.1 と No.5 で σ の値が小さく、No.4 で大きい。No.4 では $\sigma 0.25$ 、 $\sigma 1.5$ の差が他の区間と比較して大きい。これは、 $\sigma(0.25)$ が 50cm 台車に搭載した MRP、 $\sigma(1.5)$ は 3m 台車に搭載した MRP で計測した路面プロファイルから求めており、3m 台車が路面凹凸の影響を 50cm 台車よりも大きく受けていることが原因と考えられる。

2) わだち掘れ量

測定した横断プロファイルのデータから、わだち掘れ量を算出した結果を図-6 に示す。図より、No.3 の一部断面の路肩側ならびに No.4 において他の区間よりわだち掘れ量が多いことが分かる。

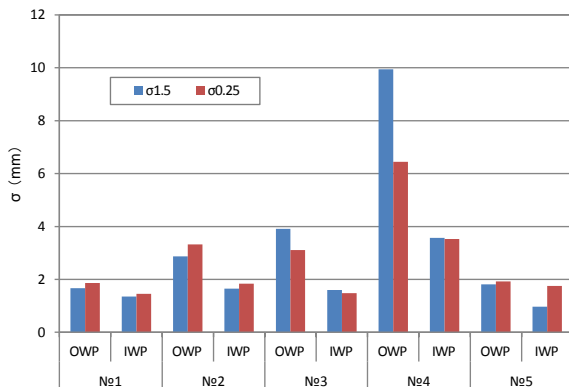


図-5 各調査箇所の $\sigma(1.5, 0.25)$

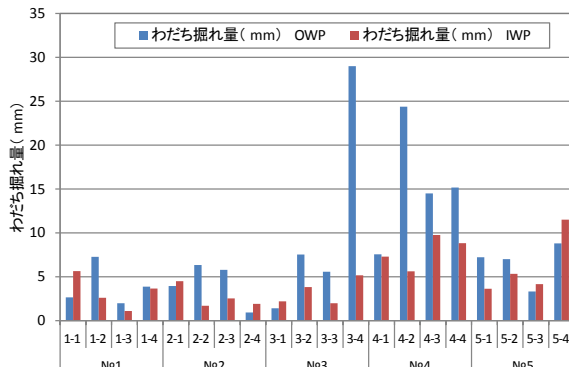


図-6 各調査箇所のわだち掘れ量

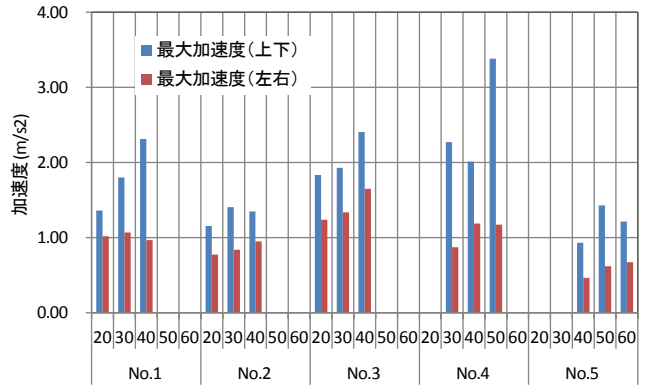


図-7 各調査箇所の最大加速度

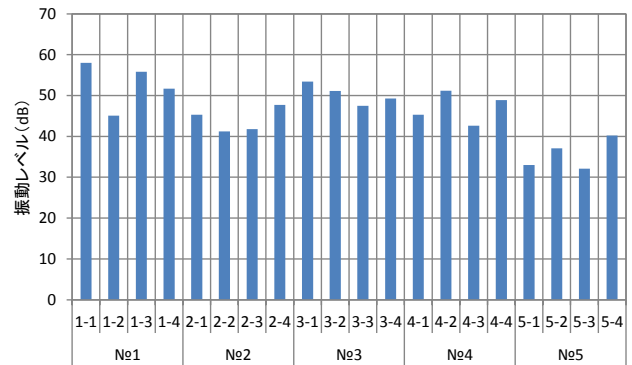


図-8 時速 40km 走行時の振動レベルピーク値

3) 最大加速度

被験者調査に使用する車両の前輪軸のバネ上に加速度計を取り付け、上下、左右方向の加速度を計測した。各調査箇所の最大加速度を図-7 に示す。図の横軸の数値は走行速度である。図より、最大加速度には走行速度依存性があり、左右加速度よりも上下加速度の方が大きく、 σ やわだち掘れ量と同様に No.4 が最も大きいことが分かる。

4) 路面の振動レベルピーク値

路面の振動レベルの計測は、横断プロファイル計測位置の路肩に振動計を設置し、加速度測定と併せて実施した。全調査箇所共通の時速 40km で走行したときの結果を図-8 に示す。図より、路面の振動レベルは σ やわだち掘れ量とは異なり No.5 を除き大きな差は無い。路面の振動の大きさは、路面の凹凸だけでなく地盤の支持力も影響していると考えられる。

5) 国際ラフネス指数 (IRI)

各調査箇所の IRI は、50cm 台車に搭載した MRP で計測した縦断プロファイルのデータを用い、同解析のフリーソフト ProVAL にて算出した。結果を図-9 に示す。図より、(1)の $\sigma(1.5, 0.25)$ と同様、IWP よりも OWP で IRI の値が大きく、No.4 で最大となっている。

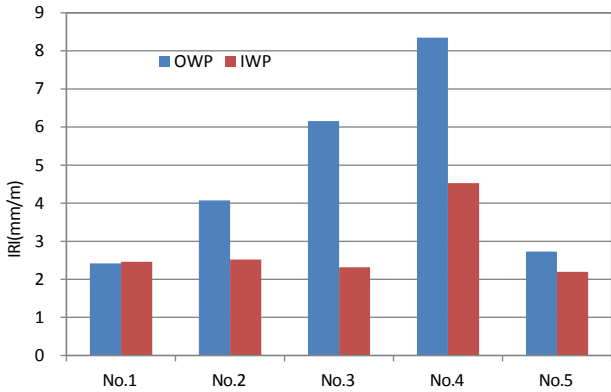


図-9 各調査箇所の IRI

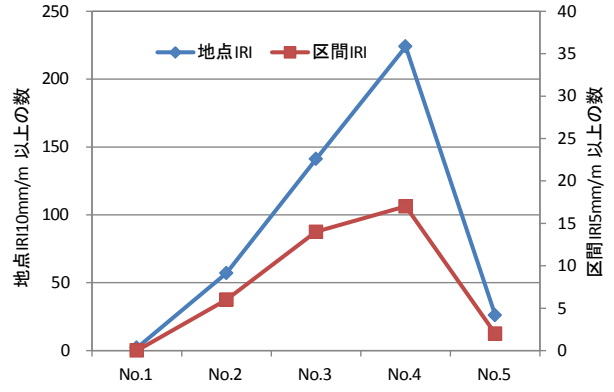


図-10 各調査箇所の地点 IRI と区間 IRI

次に、「地点 IRI」と「区間 IRI」を OWP の縦断プロファイルデータを用いて算出した。「地点 IRI」は、文献と同様に 25cm 間隔の縦断プロファイルから地点の IRI を求め、これが 10mm/m 以上となる数をカウントした。「区間 IRI」は、10m 間隔で IRI を求め、これが 5mm/m 以上となる数をカウントした。結果を図-10 に示す。どちらも α 、IRI と同様、No.4 で最も値が大きく、他の区間についても大小関係が同じである。

6) 路面テクスチャとパワースペクトル密度 (PSD)

縦断プロファイルのデータを用い、IRI と同様に ProVAL で各区間のパワースペクトル密度 (PSD) を求めた。結果を図-11a, 11b に示す。図中の A~H の補助線は IS08608 による路面性状の評価区分を示したもので、A ランクに近づくほど良好な路面であるとされる。各区間の OWP の PSD の分布に着目すると、No.1 および No.5 ではほとんどの周波数帯域で A から B ランクの評価であることが分かる。また、No.2、No.3 では周波数 0.4~0.2cycle/m (波長 2.5~5m) で C ランク相当、No.3 では 3~1 cycle/m (波長 0.3~1m) においても C ランクとなっており、これらの周波数帯域の波が顕著である。さらに No.4 では 0.4~0.2cycle/m (波長 2.5~5m) で D ランク相当となっている。また、図-11b より、IWP においても同様な傾向が見られている。

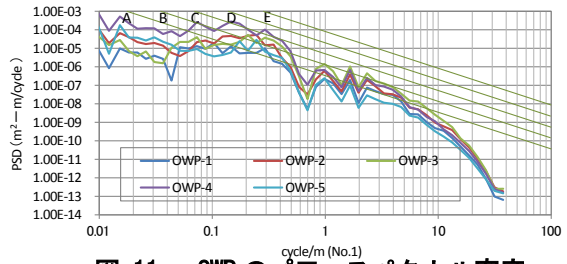


図-11a OWP のパワースペクトル密度

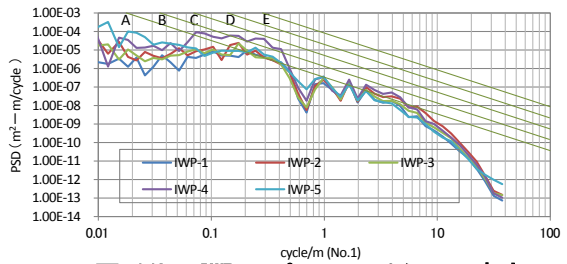


図-11b IWP のパワースペクトル密度

以上より、本調査箇所の路面テクスチャは 3~0.2cycle/m (波長 0.3m~5m) の範囲に特徴を有しており、後述の被験者調査結果から同範囲の波長を有する路面凹凸が乗り心地に影響している可能性がある。

7) ライドナンバ (RN)

IRI、PSD と同様に ProVAL で RN を算出した。なお、ライドナンバの算出にあたっては、OWP、IWP2 つの縦断プロファイルデータを用いた。各区間の RN を図-12 に示す。RN の値は 0 (考えられる最大ラフネス) から 5 (完璧に滑らか) の範囲の値をとり、実験データな

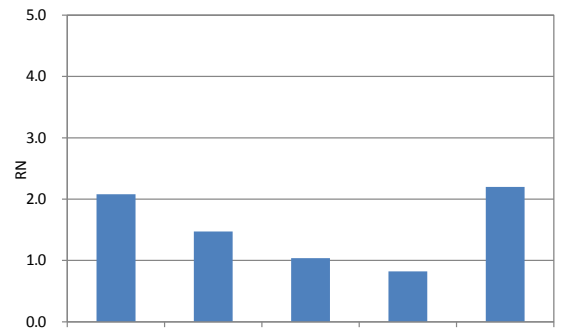


図-12 各調査箇所の RN

どによればデータの有効範囲は 1 から 4.5 程度までとされる¹¹⁾。図より、最も RN の値が小さいのは No.4、最も大きいのは No.5 である。

(2) 道路利用者による被験者調査結果

各調査箇所の被験者調査結果を図-13a から図-13e に示す。図中の横軸の数字は被験者調査時の走行速度を表している。また、アンケートの 5 段階の評価基準から、最も評価が低いものを評価値 1、最も評価が高

いものを評価値 5 と数値化した。縦軸は各評価値の回答数を全体の被験者数で除した割合である。図より、No.3 と No.4 で全体的に評価が低く、走行速度が大きいほど一層低下が目立つ。また、**図-14** は各調査箇所共通の时速 40km における設問と評価値の関係を示したものである。図より、No.5 で全体的に高い評価が得ていることが分かる。

次に、調査箇所と各設問の評価値の関係を詳細に分析するため、各評価値とその割合から平均評価値を算出した。これを**図-15** に示す。同図より、各調査箇所の平均評価値は設問 1、4、5 でほぼ一致している。設問 1 は振動と上下の揺れ、設問 4 は乗り心地、設問 5 は疲れの度合いであり、振動や上下の揺れが全体的な乗り心地の判定に大きく影響していると考えられる。設問 6 の評価値も同様の傾向を示している。

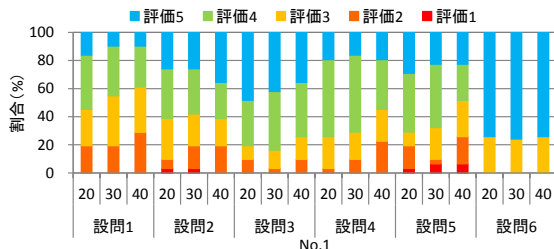


図-13a No. 1 の走行速度と評価値の関係

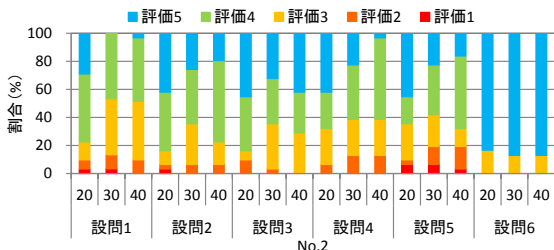


図-13b No. 2 の走行速度と評価値の関係

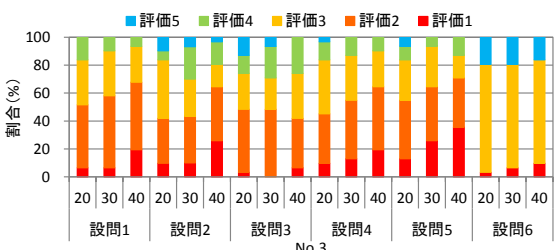


図-13c No. 3 の走行速度と評価値の関係

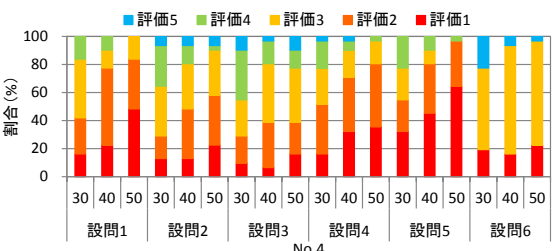


図-13d No. 4 の走行速度と評価値の関係

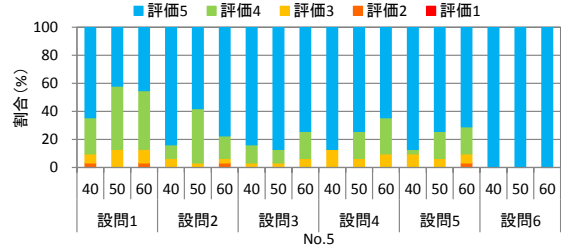


図-13e No. 5 の走行速度と評価値の関係

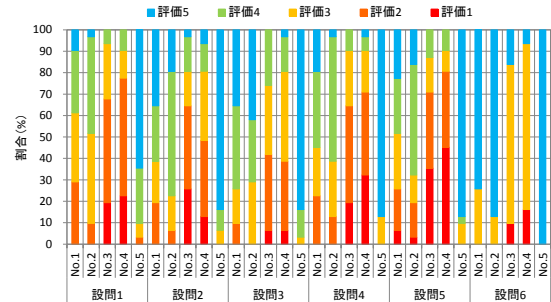


図-14 調査箇所と評価値の関係 (时速 40km 走行時)

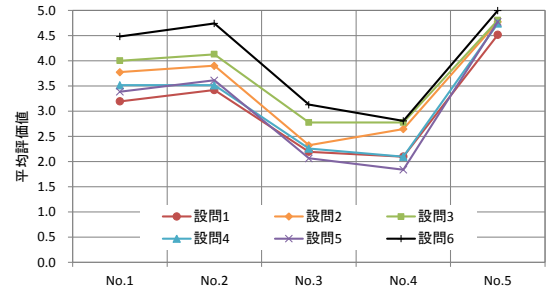


図-15 各調査箇所の設問別平均評価値

図-15 の平均評価値は道路利用者の要求性能を数値化したものといえる。そこで、路面性状調査結果と平均評価値の関係から最も道路利用者の要求性能に近い指標を検討した。平均評価値と相関の高いものをそれぞれ**図-16** から **図-21** に示す。

$\sigma(1.5)$ と平均評価値の関係 (**図-16**) より、 $\sigma(1.5)$ は他の指標と比較して決定係数 R^2 は小さい。また、振動レベルの平均値と平均評価値の関係 (**図-17**) より、振動レベルは他の指標と比較して設問 4 と 5 の R^2 は小さい。 R^2 が大きい設問は設問 1 と 2 であり、振動や段差との相関が高い。区間全体の IRI (OWP) と平均評価値との関係 (**図-18**) では、 σ や振動レベルと比較すると全設問で R^2 の値は大きい設問 2 では小さい。さらに、上下・左右加速度の最大値と平均評価値の関係 (**図-19** および **図-20**) では、 σ や IRI の R^2 の値が設問 4, 5 よりも 1 から 3 で小さいのに対し、上下加速度は設問 1、左右加速度は設問 1 から 3 の方で同値が大きい。最後に RN と平均評価値の関係 (**図-21**) より、RN は他の指標と比較して全ての設問で R^2 の値が最も大きく、特に設問 3 で R^2 が最大となっている。

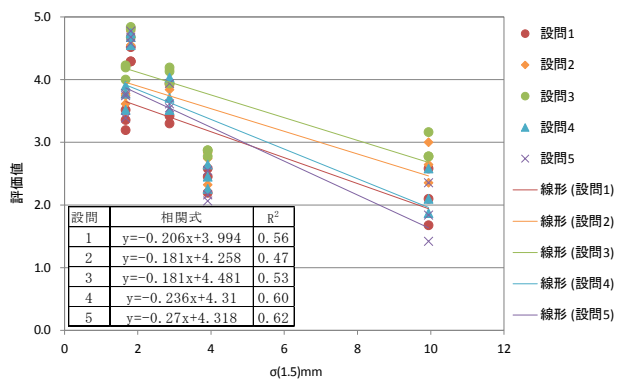


図-16 $\sigma(1.5)$ と平均評価値の関係

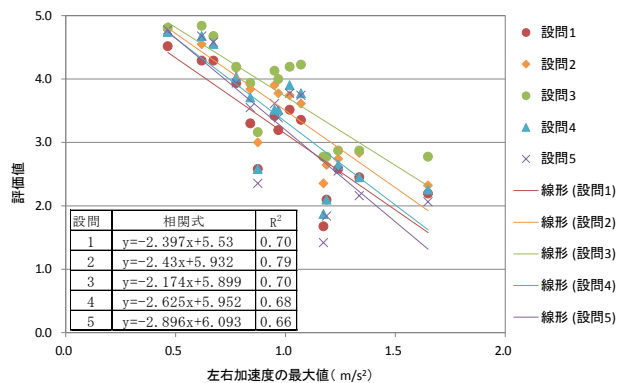


図-20 左右加速度の最大値と平均評価値の関係

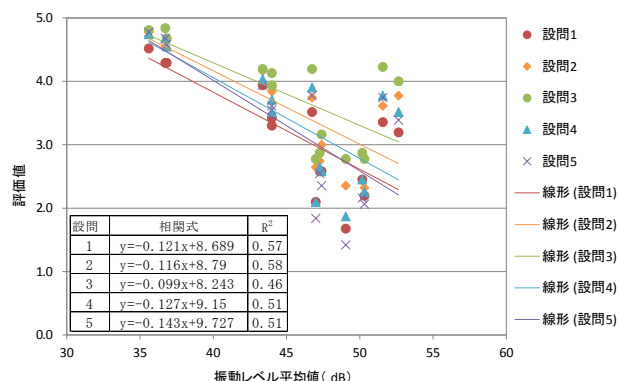


図-17 振動レベル平均値と平均評価値の関係

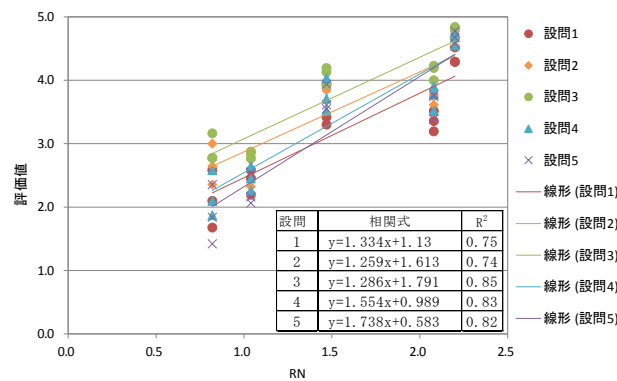


図-21 ライドナンバと平均評価値の関係

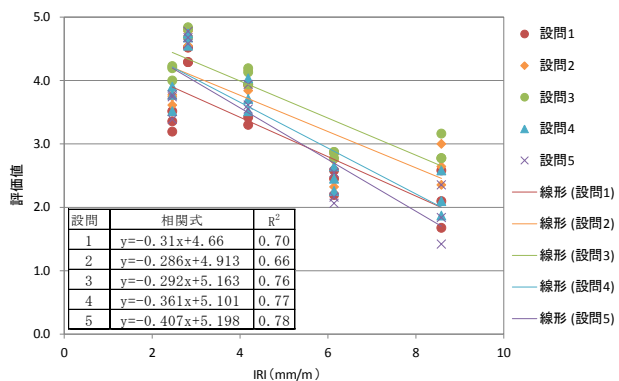


図-18 区間全体の IRI (OWP) と平均評価値の関係

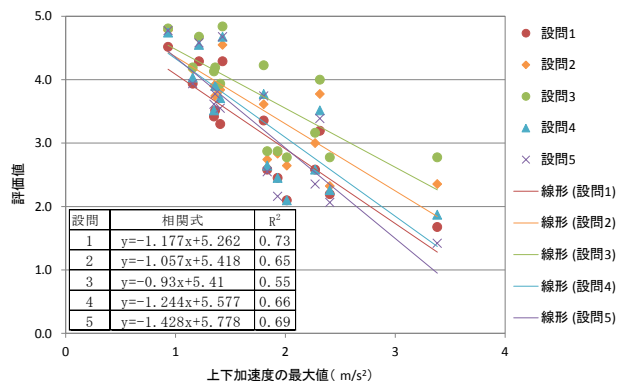


図-19 上下加速度の最大値と平均評価値の関係

4. 沿道住民の視点に立った舗装性能評価法の検討

2.2.2の調査結果から、沿道住民が道路に対して不満や危険を感じる事象は、振動、騒音、水はねである。そこで、3.と同様、まず既往の研究を整理した。これをふまえて要求性能に関する路面調査と被験者調査を実施し、沿道住民(被験者)の視点に立った舗装性能評価法を検討した。

4.1 沿道住民の要求性能評価法に関する既往の研究

4.1.1 道路交通振動

振動規制法(昭和51年法律第64号)に定められている評価方法は、道路の敷地境界線において鉛直方向(Z方向)で測定した振動の80%レンジ上端値(L₁₀)によるものとされている。一方、振動の測定場所を室内の居住位置とし、評価値を振動最大値(振動レベルのピーク値)とした方が住民の感覚と相関が高いという報告¹²⁾もある。舗装を対象とした研究では、FWD(Falling Weight Deflectometer)を起震機として用い、推定CBRと路肩の振動レベルの関係を示したもの¹³⁾、路面に人工段差を設置して段差量・走行速度と振動レベルの関係を分析したもの¹⁴⁾がある。

4.1.2 道路交通騒音

騒音の評価方法として、環境基本法(平成5年法律

第91号)や騒音規制法(昭和43年法律第98号)では等価騒音レベル(L_{Aeq})により評価を行うこととしている。測定位置は環境基本法では建物から1~2mの騒音の影響を受けやすい面、騒音規制法では敷地境界としている。

道路交通騒音は、自動車が走行する際に発生する駆動系騒音やタイヤと路面から発生するタイヤ/路面騒音等が複合されたものであり、自動車技術革新の結果、道路交通振動に占めるタイヤ/路面騒音の割合は相対的に高くなっている¹⁵⁾。こうした背景からタイヤ/路面騒音に関する研究は非常に多くの機関で実施されており、タイヤ/路面騒音と環境騒音との関係を示したものも存在する¹⁶⁾。また、舗装性能評価法¹⁵⁾では、必要に応じて定める性能指標として騒音値が示されており、基準値の考え方、評価法ならびに舗装路面騒音測定車や測定用普通乗用車によるタイヤ/路面騒音の測定方法が明記されている。本手法で得た路面の騒音値により、沿道住民の道路交通騒音に関する要求性能を評価できる。

4.1.3 路面の水はね

路面の水はねに関する研究では、わだち掘れ量と最大水深(水膜厚)の関係を横断勾配毎に算定を試みたもの¹⁷⁾¹⁸⁾、深さの異なる水膜上を幾つかの車両で走行し、水はねの飛散距離やピーク高さを計測したもの¹⁹⁾²⁰⁾がある。以下に既往の研究で示されている水はね予測式²⁰⁾の例を示す。

$$Z = -1.36 - 0.0035a + 0.0094b + 0.016c + 0.047d \quad (1)$$

$$H = -1.43 + 0.011b + 0.015c + 0.084d \quad (2)$$

Z: 水はね飛散距離(m)

H: 水はねのピーク高さ(m)

a: タイヤの動荷重半径(mm)

b: タイヤ幅(mm)

c: 水膜厚さ(mm)

d: 走行速度(km/h)

例えば、動荷重半径300mm、タイヤ幅150mmのタイヤを装着した乗用車が水膜10mmの路面を時速40kmで走行した場合、水はねの飛散距離は約3.8m、ピーク高さは1.1mとなる。このように、水はねの要求性能は式(1)、(2)で得たZとHの推定値で評価することが可能である。

4.2 道路利用者の視点に立った舗装の性能評価法に関する調査

4.2.1 調査方法

表-4の沿道住民の要求性能のうち、既往の研究から騒音はタイヤ/路面騒音、水はねはわだち掘れ量と横

断勾配により性能を評価できる。一方、振動は、舗装の支持力、路面の段差、走行速度、車両の重量が関係しており、沿道住民の感覚と舗装の状態(路面の段差、舗装の支持力)の関係を同時に分析した事例は存在しない。そこで、舗装に起因する道路交通振動に関する要求性能を分析し、沿道住民の視点に立った性能評価法を提案するため、以下の調査を行った。

(1) たわみ量、段差と振動に関する調査

たわみ量、段差と振動レベルの調査箇所は、後述の被験者調査の施設が沿道に存在する、調査による交通への影響が小さい、FWDや試験車両以外の振動が無視できる道路とし、条件を満たす茨城県内の市道と施設(集会場)を選定した。調査方法は、上記の道路でFWDによる舗装のたわみ量と路肩の道路境界および施設内の代表的な位置の振動レベルを測定し、さらに同じ路面の輪跡部に人工段差を設置し、試験車両(車両搭載型クレーン4t)が段差を走行する際の振動を測定した。調査条件を表-7に、測定位置を図-22に示す

表-7 たわみ量、段差量と振動レベルの調査条件

調査項目	評価指標	条件
舗装のたわみ量	D1500	荷重条件: (25, 36, 49, 73kN)
たわみ量測定時の 道路交通振動	振動レベル ピーク値	
人工段差走行時の 道路交通振動	振動レベル ピーク値	走行速度: (10, 20, 30km/h) 段差量: (6, 12, 24mm)

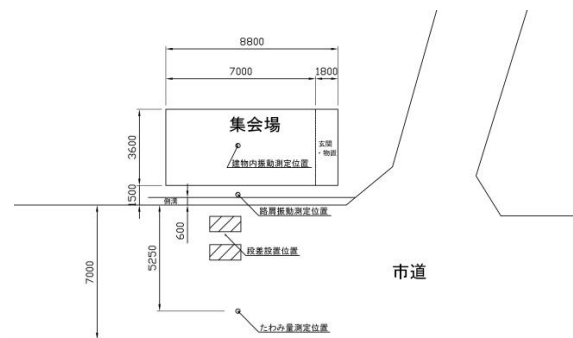


図-22 たわみ量と振動の測定位置

(2) 沿道住民による被験者調査

舗装に起因する道路交通振動に対する沿道住民の要求性能を定量的な指標で示すため、被験者調査を実施した。被験者調査は、4.2の調査の各荷重条件でFWDの重鎮を同一箇所にて3回落下させた後、被験者に施設内に座った状態で評価を依頼した。なお、施設の収容人数の関係から調査は2つのグループに分けて実施することとした。被験者調査の概要は次のとおりである。

試験装置：FWD（振動発生装置）
 载荷条件：3条件（表-1の73kNを除く）
 载荷回数：各条件3回（30秒間隔）
 被験者数：39人（20～60代）
 基本情報：年齢、性別、居住環境、調査時座席位置、体調
 評価基準：アンケートによる5段階評価
 （アンケート内容）
 設問1：この振動の大きさをどのように感じたか？
 （とても小さい～とても大きい）
 設問2：この振動が毎分2回（日中4時間以上）続くかどうか？
 （全く不快ではない～非常に不快である）
 設問3：この振動が毎時2回（日中4時間以上）続くかどうか？
 （全く不快ではない～非常に不快である）
 設問4 振動を何回感じたか？
 （回数）

4.2.2 調査結果

(1) たわみ量、段差と振動に関する調査結果

既往の研究において、住民の感覚は振動レベルピーク値と相関が高く、また、载荷直下から1.5m離れた位置のたわみ量 D1500 から求めた推定 CBR と路肩の振動レベルピーク値の相関が高いことが示されている。本研究においても振動レベルピーク値と D1500 を評価指標の候補とした。図-23 に D1500 と振動レベルピーク値の関係を示す。なお、図には参考のために载荷条件も示している。図より、D1500 と振動レベルピーク値には相関がみられる。また、距離減衰により施設内の振動レベルは道路境界のよりも小さいことが分かる。また、道路境界では振動値のバラツキが大きい。

人工段差を設置して試験車両を走行させた際の走行速度と振動レベルの関係を図-24a, b に示す。たわみ量測定時と同様、道路境界の振動レベルピーク値のバラツキが大きい。速度と振動レベルの関係では、段差が大きいくほど速度勾配が小さくなり、低速走行でも大きな振動が生じている。また、走行速度が大きくなると段差量による振動レベルの差が小さくなっている。したがって、道路交通振動は低速走行時には段差の大きさ、高速走行時は速度に依存すると考えられる。

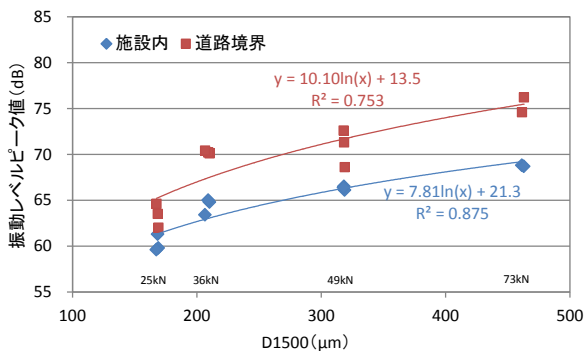


図-23 D1500 と振動レベルピーク値の関係

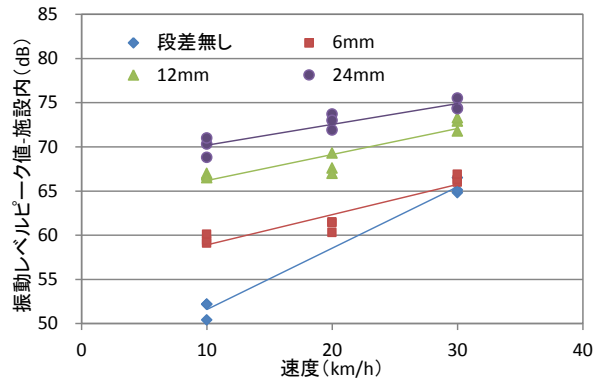


図-24a 速度と振動レベルピーク値の関係（道路境界）

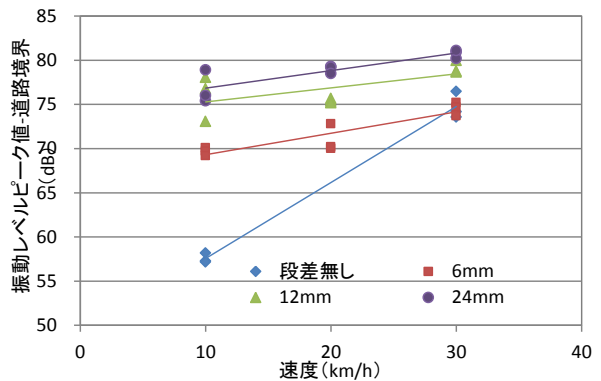


図-24b 速度と振動レベルピーク値の関係（施設内）

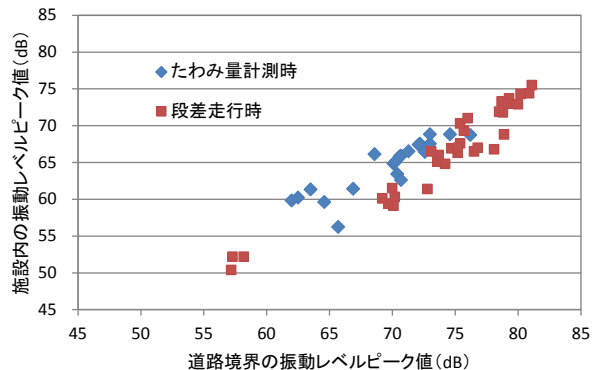
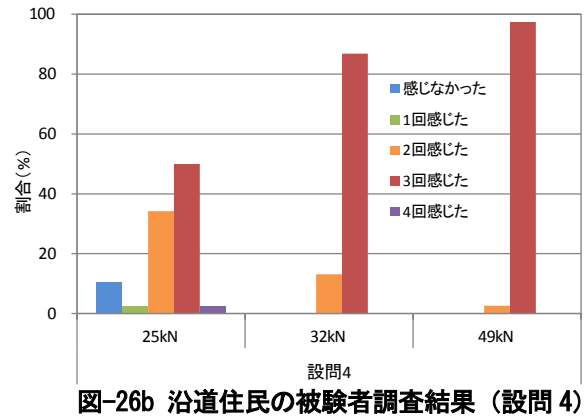
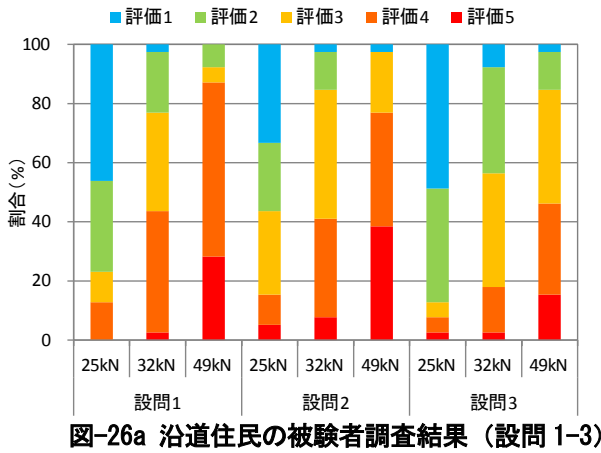


図-25 たわみ量測定時と段差走行時の振動レベル

次に、たわみ測定時と人工段差走行時の振動レベルピーク値の分布を図-25 に示す。たわみ量測定時の振動レベルピーク値は道路境界、施設内共に試験車両走行時の振動レベルピーク値の範囲内にあり、道路交通振動を再現していると考えられる。但し、FWD の重鎮落下位置は人工段差設置位置よりも道路境界から遠いため、道路境界と施設内の振動レベルの差は人工段差走行時よりも小さくなる傾向が見られる。

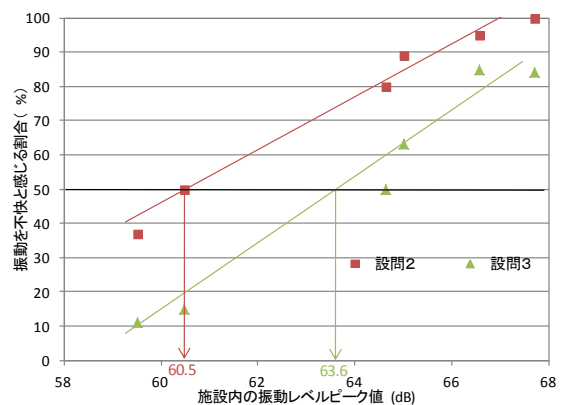
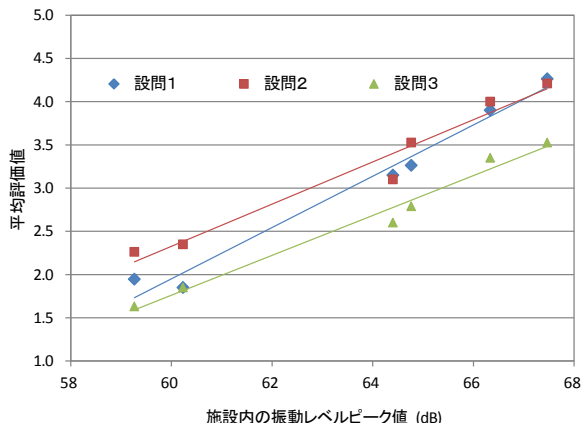
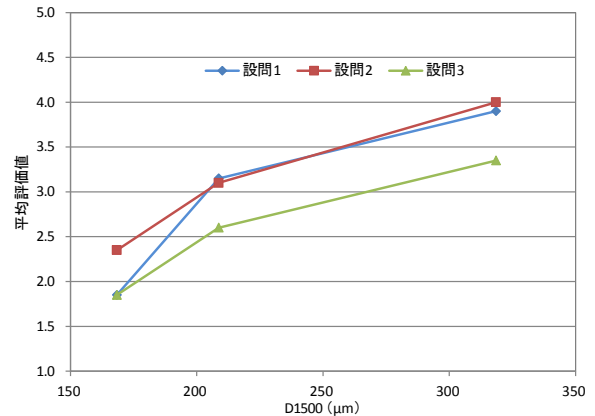
(2) 沿道住民による被験者調査結果

被験者調査の回答結果を図-26a, b に示す。図の横軸はFWDの载荷条件、縦軸は各評価値の割合を示している。なお、評価値は道路利用者による被験者調査と



同様に、評価値 1 から評価値 5 で数値化している。設問 1 の評価値の割合から、载荷条件が大きいほど各設問で振動を大きいと感じる (評価値が大きくなる) 割合が高い。一方、設問 1 で振動を大きいと感じていない被験者でも設問 2 の間隔で振動が発生した場合は不快と感じる割合は高く、逆に振動が大きいと感じても設問 3 のように振動の発生間隔が長い場合、同割合は小さい。また、設問 4 において、载荷条件 25kN では振動を 3 回以外と回答した被験者が約半数存在するが、载荷条件 36kN では 8 割以上が振動を感じた回数を正確に回答している。

次に、载荷条件が被験者の評価にどの程度影響を与えているか明確にするため、各評価値とその割合から平均評価値を算出した。図-27 は、各载荷条件の平均評価値と D1500 の平均値との関係を示したものである。同図から、D1500 が 150 から 200 μm の間に平均評価値が顕著に上昇しており、この間で振動を大きいあるいは不快と感じる被験者の割合が高い。また、設問 2,3 のグラフより、たわみ量の増加による平均評価値の変動の大きさはほぼ同じであることが判明した。施設内の振動レベルピーク値と平均評価値の関係を図-28 に示す。図より、平均評価値と振動レベルの間には非常に強い相関関係がみられる。また、図-29 に設問 2,3 において被験者が振動を不快(評価値 3 以上)に感じると回答した割合と振動レベルの関係を示す。同図から、設問 2 で半数以上の被験者が不快と感じる値は 60.5dB、設問 3 は 63.6dB という結果を得た。図-29 は沿道住民の道路交通振動に関する要求性能を表している。振動レベルのピーク値のみで舗装の状態を判断することは難しいが、図-23 と図-29 の関係から、D1500 を要求性能の評価指標として利用できる。この場合、D1500 の測定位置と施設までの距離を考慮する必要がある。



5. まとめ

本研究結果をまとめると、以下のとおりである。

(1) ユーザーの要求性能に関する調査

- ・道路利用者が舗装に対して特に不満や危険を感じる事象は、振動、乗り心地、段差等の振動、水たまりであり旅客を扱うバス、タクシードライバーが総じて不満を感じる割合が高い。
- ・沿道住民が舗装に対して特に不満や危険を感じる事象は、振動、騒音、水はねであり、水はねに不満を感じる割合が高い
- ・アンケート調査結果から、ユーザーの要求性能は、道路利用者は振動が小さい、乗り心地がよい、衝撃が小さい、道路利用者は、振動が小さい、騒音が小さい、水はねしないとした。

(2) 道路利用者の視点に立った舗装性能評価法

- ・本研究で実施した調査の結果、乗り心地や疲れと振動・上下の揺れの評価値がほぼ一致しており、上下の揺れが全体的な評価に最も寄与している。
- ・ σ と IRI は乗り心地や疲れといった全体的な評価、振動レベルや加速度は上下の揺れ、衝撃や横揺れ等個別の評価との相関が高い。

- ・本調査箇所において、乗り心地、上下の揺れ、衝撃や横揺れの全ての評価と最も相関の高い指標はライドナンバ (RN) であり、道路利用者の要求性能を表す評価法として RN が最も望ましいと考えられる。

(3) 沿道住民の視点に立った舗装性能評価法

- ・既往の研究より、騒音はタイヤ/路面騒音、水はねは、水膜厚 (わだち掘れ量と横断勾配から算定) と通行車両の特性から推定する水はね高さ・距離が沿道住民の視点に立った性能評価法に適用できる。
- ・たわみ量・段差と振動に関する調査の結果、D1500 と路肩および施設内の振動レベルピーク値の間に相関が見られる。
- ・試験車両で人工段差を走行した結果、時速 10km 以下では段差の大きさ、時速 30km 以上では走行速度が道路交通振動に影響している。なお、段差は道路利用者視点の性能評価法で評価できる。
- ・道路交通振動の要求性能を表す評価法として、段差が無視できる場合は FWD で測定する D1500 が望ましい。この場合、たわみ量の測定位置から施設までの距離、交通量を考慮する必要がある。

以上から、道路ユーザーの視点に立った舗装性能評価法としてライドナンバと FWD で測定する D1500 を新たに提案する。

6. おわりに

舗装の性能指標をユーザーの要求と直接的な関係のある乗り心地や快適性とすれば、舗装に関する専門的な知識を持たない一般人にも舗装の状態の理解が得られやすい。その反面、こうした指標は舗装の耐荷力や細かい路面形状の変化を反映していないため、舗装の状態の将来予測に適用することは難しい。一方、路面のひび割れや路面凹凸、あるいはたわみ量を性能指標とした場合、これらの指標は舗装の損傷の程度、道路管理者の技術的な判断 (補修が必要かどうか) と将来予測に有用な情報を提供できるが、これらの指標による性能の判定に専門的な知識が必要となるため、ユーザーの理解が得られにくい。本研究では、ユーザーの要望と最も関連のある指標を採用することにより、こうした問題を解決し、ユーザーの要望をよりの確に維持管理に反映させることを目的として実施した。その結果、道路利用者の要求性能ではライドナンバ、沿道住民の要求性能では D1500 を道路ユーザーの視点に立った舗装性能評価法として提案した。最後に、本研究にあたり、アンケート調査や被験者調査にご協力いただいた方々に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 中島, 川村, 富山: 波状路面の実態と形成メカニズム, 土木学会第 63 回年次学術講演会 5-123, 2008. 9.
- 2) 加納ほか: Tyre/Road Noise Reference Book の紹介, アスファルト No. 220, pp. 45-57, 2006. 10.
- 3) 川村, 後藤: Wavelet 関数を用いた路面特性の把握方法について, 土木学会北海道支部 論文報告集 第 52 号 (B), pp. 520-523, 1996.
- 4) 山脇, 因泥, 姫野: 路面プロファイルと交通振動に起因する輪荷重の関係, 第 28 回日本道路会議 32006, 2009. 10.
- 5) 郭, 阿部, 姫野: 路面プロファイルに着目した道路交通振動の評価法に関する検討, 第 12 回北陸道路舗装会議技術報文集 A-10, 2012. 6
- 6) 國枝, 阿部: 路面の凹凸が運転者の操舵へ与える影響に関する基礎的研究, 土木学会舗装工学論文集 第 8 巻, pp. 13-24, 2003.
- 7) 緒方, 郭, 姫野: 路面形状が車両挙動に及ぼす影響に関する一検討, 土木学会第 63 回年次学術講演会, pp. 241-242, 2008.
- 8) 石田・岳本・川村・白川: ドライビングシミュレータによる舗装路面の乗り心地と走行安心感の評価, 北海道開発土木研究所月報 No. 630, 2005.

- 9) 白川, 川村, 富山: 車の地点乗り心地を考慮した道路利用者のための平坦性管理方法, 土木学会舗装工学論文集 第10巻, pp. 83-89, 2005.
- 10) 深田, 縦山, 岡田: 大型車ドライバーをモニターとした高速道路の路面評価, 土木学会第66回年次学術講演会, pp. 789-790, 2011.
- 11) 土木学会 舗装工学委員会路面性状小委員会訳: 舗装工学ライブラリー1 路面のプロファイリング入門—安全で快適な路面をめざして—, 丸善, 2003.
- 12) 徳永, 前川, 西村, 日野: 道路交通振動の実態に即した評価のあり方に関する考察, 土木学会論文集 No. 615/VII-10, pp. 25-32, 1999. 2.
- 13) 桶谷, 石原, 谷口: FWDによる振動調査事例について, 第12回北陸道路舗装会議技術報文集, 2012.
- 14) 中村, 鹿島: 道路交通振動に関する研究—人工段差による実験結果—, 横浜市公害研究所報第13号, pp. 177-188, 1989.
- 15) 公益社団法人日本道路協会: 舗装性能評価法—必須および主要な性能指標編—(平成25年度版), 2013. 4.
- 16) 独立行政法人土木研究所他: タイヤ/路面騒音測定方法の開発共同研究報告書, 共同研究報告書 第317号, 2005. 3.
- 17) 南雲, 永康: 路面のわだち掘れと段差の影響(その2), 土木技術資料 Vol. 16 No. 8, pp. 28-31, 1974. 8.
- 18) 小越, 高橋, 水沢: 路面水飛散防止に関する試験調査, 第2回北陸道路舗装会議, A-11, pp. 89-94, 1982.
- 19) 南雲, 永康: 路面のわだち掘れと段差の影響(その1), 土木技術資料 Vol. 16 No. 7, pp. 19-22, 1974. 7.
- 20) 熊谷, 寺口, 加来: 舗装路面の水はね現象の挙動分析, 土木学会北海道支部論文報告, pp. 597-602, 1990.

A STUDY ON PAVEMENT QUALITY ASSESSMENT METHOD A ROAD USER

Budged : Grants for operating expenses
General account

Research Period : FY2011-2013

Research Team : Road Technology Research
Group (Pavement)

Author : KUBO Kazuyuki
TERADA Masaru
FUJIWARA Eigo

Abstract : In order for reservation of source of revenue to manage a road efficiently in being difficult, the quality assessment method of pavement in consideration of a wish of road user is required.

We carried out a road surface investigation and questionnaire survey to choose the pavement quality assessment method for road users and analyzed some existing road surface evaluation index and the relations of the questionnaire result. As a result, we found that there is a clear correlation between “RN” and road user’s ride comfort. In addition, we understood that the road traffic vibration that route inhabitants felt was associated with D1500.

Key words : road user, demand performance, condition of road surface, riding comfort, vibration,