

道路ユーザーの視点に立った舗装性能評価法

藤原栄吾・寺田 剛・久保和幸

1. はじめに

平成13年に性能規定化された技術基準が制定されたことにより、道路管理者は必要な性能指標とその値を決定でき、性能が確認できるのであれば、新技術や実績のない技術を導入することが可能となった。一方、その性能指標と評価法は既存の舗装技術に基づいて道路管理者の視点で作成されており、道路ユーザー（道路利用者、沿道住民：以降、ユーザーと称す）が舗装に求める性能が必ずしも反映されていない。こうした要望を的確に反映する性能評価法を適用することで、これらに合致した舗装技術が選択可能となり、より高い舗装サービスをユーザーに提供できる。本研究は、ユーザーの視点に立った舗装性能評価法を提案するため、アンケート調査を実施してユーザーの要求性能を把握すると共に既往の研究からユーザー視点の性能指標を整理した。これを踏まえて複数の道路で被験者調査と舗装の性能に関する調査を実施してユーザーの視点に立った性能評価法を検討したので報告する。

2. ユーザーの要求性能調査

2.1 要求性能調査の概要

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。アンケート対象者を表-1に示す。アンケート調査では、舗装に対して不満を感じる事象とその原因と考えられる状況や場所について回答を依頼した。具体的には、普段よく利用している道路に対して不満や危険

表-1 ユーザーの要求性能アンケート対象者

アンケート対象者			配布人数	回収人数
道路利用者	業務利用者	トラック	中・小型(東京都近郊)	22
		トラック	大型	3
	タクシー	都内	100	82
		バス	路線バス(取手市内)	10
	バス	バス	高速バス(つくば東京間)	4
		バス	バス	20
自家用車利用者	東京都近郊	50	49	
	取手・つくば周辺	100	90	
沿道住民	東京都近郊	40	26	
	取手・つくば周辺	80	60	
合計			440	346

を感じる事象とそれらの原因と考えられる路面の状況や場所について、チェックリストから複数回答をお願いした。

2.2 要求性能調査結果

道路利用者が道路に不満や危険を感じる事象とその原因の割合を図-1に、沿道住民が不満や危険を感じる事象とその原因の割合を図-2に示す。図より、道路利用者は、振動、水たまり、乗り心地、沿道住民は、騒音、振動、水はねを不満や危険を感じる事象と回答する割合が高い。

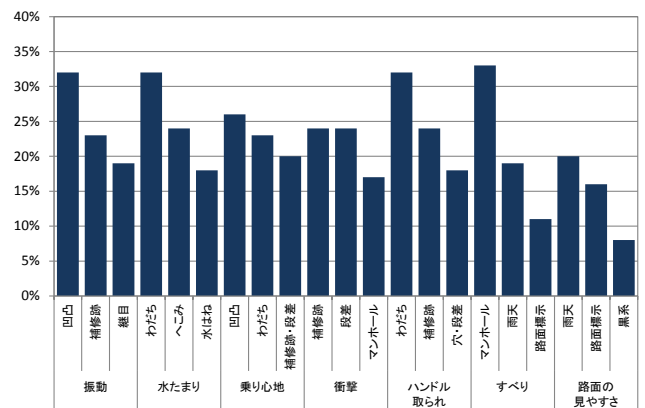


図-1 不満や危険を感じる事象と原因 (道路利用者)

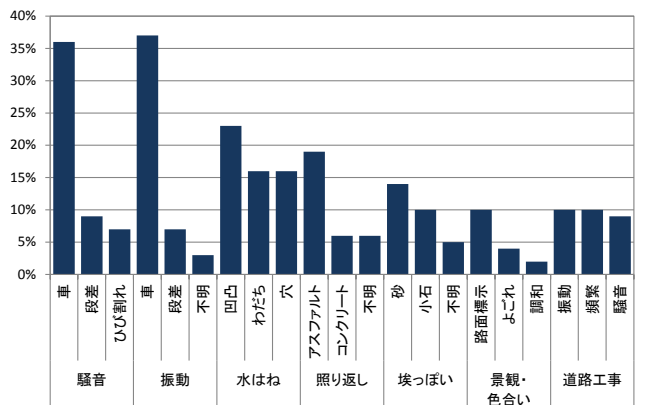


図-2 不満や危険を感じる事象と原因 (沿道住民)

2.3 ユーザーの要求性能

アンケート調査結果から、道路利用者が不満や危険を感じる事象の原因として、凹凸、わだち、補修跡、段差が多く選択されている。一方、沿道住民はこれらの原因として、特に騒音や振動では舗装の状態ではなく車両そのものを選択するケースが多い。

不満や危険を感じる各事象とその原因の関係か

ら、原因が同じものに関しては同じ事象に集約できるものが存在する。例えば図-1のハンドル取られは、振動、乗り心地、衝撃と原因が一致し、これらの事象として扱うことができる。また、同図の水たまりについては、沿道住民の不満に感じる事象である水はねと原因がほぼ一致し、同じ事象とみなすことができる。以上から、表-2に示す不満や危険を感じる事象をユーザーの要求性能とした。

表-2 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)
道路利用者	振動	凹凸、補修跡
	乗り心地	凹凸、わだち
	衝撃	段差、補修跡
沿道住民	騒音	車両(の走行)
	振動	車両(の走行)
	水はね	凹凸、わだち、穴

3. 性能評価法に関する既往の研究

ユーザーの要求性能と関係のある舗装評価法は、国内外で多く提案されている。以下に既往の研究等で提案された性能指標を道路利用者と沿道住民の要求性能別に示す。

3.1 道路利用者の要求性能に関する既往の研究

(1)路面の凹凸の評価

走行時の振動や乗り心地に影響する路面凹凸について、舗装の構造に関する技術基準の性能指標として平坦性が定義されている。平坦性は、道路中心線から平行に1m離れた地点で延長1.5mにつき1箇所以上の割合で選定された任意の地点において、前後1.5mの地点の高さの平均値と当該地点の高さの差(高低差)の平均値に対する標準偏差で求められ、一般的に平坦性 σ と表記される。また、世界銀行は、2軸4輪の車両の1輪を取り出した仮想車両(クォーターカー)が一定の速度で路面を走行したときの車体の上下方向の移動距離を走行距離で除して算出する国際ラフネス指数(IRI: International Roughness Index)を提案した。NEXCOでは所管の高速道路の路面の管理にIRIを採用している¹⁾。

(2)面的な路面性状の評価

σ やIRIは、1本の走行路面の形状から導出される。一方、4輪の乗用車は路面の任意の2本の線上を走行することから、路面を面的に評価すれば乗り心地をより詳細に説明できると考えられる。左右2本の走行路面を評価する手法として、ライドナンバ

(RN: Ride Number)等がある。RNは、左右2本の路面形状に対してそれぞれプロファイル指数と呼ばれる統計値を求め、これを統合して算出する乗り心地に関する評価指標である。

(3)局所的な路面変状の評価

従来の σ や乗り心地に関する指標は、区間全体で評価するものが多く、補修跡や段差等の局所的な路面の変状による影響(衝撃等)が反映されにくい。局所的な路面変状の評価法は、路面形状のデータから導くものと車両が受ける衝撃(加速度)を評価するものの2つに分類できる。前者は各地点でIRIを算出する「地点IRI」²⁾と10m基長で算出するIRI₁₀³⁾、後者は車両のバネ上振動加速度で評価する手法²⁾がある。

3.2 沿道住民の要求性能に関する既往の研究

(1)道路交通騒音

環境基準では、道路交通騒音を等価騒音レベルで評価することとしている。平成25年に日本道路協会から発刊された「舗装性能評価法」では、舗装路面騒音測定車等によるタイヤ/路面騒音の測定方法が明記されている。環境基準の騒音値は、ある地域で昼間または夜間の時間内に観測される騒音レベルのエネルギーの平均値である。一方、タイヤ/路面騒音は、ある区間を走行した際にタイヤと路面との間で発生した騒音レベルのエネルギーを走行時間で平均をとったものである。したがって、タイヤ/路面騒音で騒音に関する要求性能を評価する場合、交通量やタイヤ/路面騒音の発生場所からの距離を考慮する必要がある。

(2)道路交通振動

環境基準に定められている道路交通振動の評価法は、道路の敷地境界線において鉛直方向で測定した振動の80%レンジ上端値とされている。舗装を対象とした既往の研究では、FWD(Falling Weight Deflectometer)を起震機として用い、たわみ量から求めた路床の支持力の推定値と道路の路肩の振動レベルの関係を示したもの⁴⁾がある。

(3)路面の水はね

路面の水はねに関する既往の研究では、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したもの⁵⁾、深さの異なる水膜上を幾つかの車両を走行させ、水はねの飛散距離やピーク高さの予測式を示したもの⁶⁾がある。水はねの要求性能を「対象物まで水はねが到達しない性能」とした場合、

本性能は、わだち掘れ量と横断勾配から導かれる最大水深と車両の走行速度、タイヤ幅等から推定される水はねの飛散距離、ピーク高さで評価できる。

3.3 ユーザー視点の性能評価指標の必要性

既往の研究より、道路利用者の要求性能である振動、乗り心地、衝撃について、幾つかの性能指標が提案されているが、これらの指標で示される舗装の状態と道路利用者の感覚を比較分析した事例は極めて少ない。また、沿道住民の要求性能のうち、騒音はタイヤ/路面騒音、水はねは飛散距離とピーク高さで評価できる。一方、振動は舗装の支持力が影響しており、舗装構造に起因する振動と沿道住民の感覚の関係が明確にされていない。

そこで本研究では、ユーザー視点の性能評価指標を用いた舗装性能評価法を検討するため、道路利用者と沿道住民に対して被験者調査を実施することとした。具体的には、道路利用者に対しては、車両の振動、乗り心地、衝撃に関する調査、沿道住民に対しては道路の振動に関する調査を行った。

4. ユーザー視点の舗装性能評価法の検討

4.1 道路利用者の視点に立った性能評価法の検討

4.1.1 被験者調査と路面性状調査

路面の状態が異なる5路面(各200m)を選定し、乗用車が路面を走行した際に感じる(1)振動、(2)衝撃、(3)横揺れ、(4)乗り心地、(5)疲れの5段階評価を同乗した被験者に依頼した。(括弧の数字は設問番号)同時に、3.1で示した指標を取得するため路面性状調査を実施すると共に被験者調査に使用する乗用車の前輪軸上に加速度計を取り付け、バネ上振動加速度を測定した。なお、調査区間は国土技術政策総合研究所敷地内の道路と茨城県の県道、つくば市の市道から選定し、被験者調査は茨城県在住の20から50歳代の男女31名に協力をお願いした。

4.1.2 調査結果

被験者調査の結果から評価値の平均値を設問毎に算出し、路面性状調査で得た各指標との関係を求めた。図-3に5路面共通の走行速度40km/hにおける評価値とRNの関係を示す。また、評価値と相関の高い上位3指標と平たん性 σ の決定係数(R^2)を表-3に示す。表-3より、被験者の評価値と最も相関の高い指標はRN、次いでIRIである。また、乗用車のバネ上振動加速度の最大値も従来の指標である σ よりも相関が高いことが分かる。

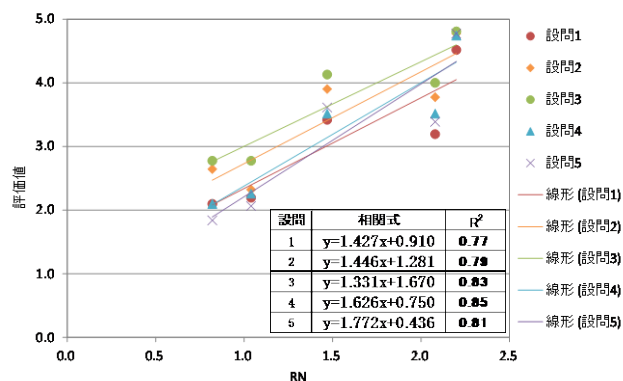


図-3 各路面のRNと被験者の評価値の関係

表-3 各指標と設問毎の評価値の決定係数(R^2)

設問	σ (mm)	IRI (mm/m)	バネ上 振動加速度 最大値(m/s ²)	RN
(1)	0.50	0.66	0.67	0.77
(2)	0.42	0.66	0.64	0.79
(3)	0.54	0.75	0.59	0.83
(4)	0.55	0.74	0.59	0.85
(5)	0.56	0.73	0.63	0.81

4.2 沿道住民の視点に立った性能評価法の検討

4.2.1 被験者調査と舗装のたわみ量・振動の調査

沿道に集会施設を有し、かつ振動が生じやすい路面においてFWDの重錘の高さを変えて落下させ、複数の大きさのたわみを発生させる。このときに発生する(1)振動の大きさ、(2)振動が2分に1回発生した場合の不快感、(3)同30分に1回発生した場合の不快感の5段階評価を重錘の落下条件を変更する度に施設内の被験者に依頼した。(括弧の数字は設問番号)同時に舗装のたわみ量と施設内の代表地点で振動レベルを測定した。なお、調査は茨城県内の市道に近接する集会施設にて行い、被験者調査は県内在住の20から60歳代の男女39名に協力をお願いした。調査に用いたFWD装置の模式図を図-4に示す。

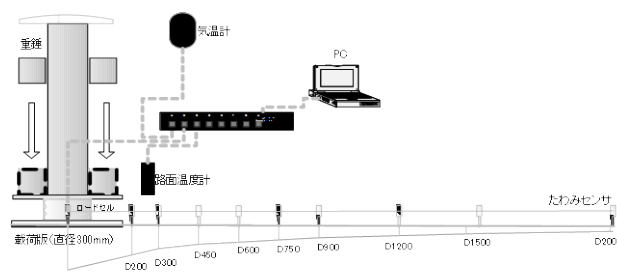


図-4 FWD装置の模式図

4.2.2 調査結果

道路利用者の被験者調査と同様に評価値の平均値を算出し、FWDの重錘落下時の施設内振動レベル、

各センサ位置のたわみ量の関係を分析した。載荷直下から1500mmの位置のたわみ量(D1500)と評価値、振動レベルピーク値の関係を図-5に示す。また、評価値と相関の高い代表的なセンサ位置のたわみ量と評価値の決定係数(R^2)を表-4に示す。

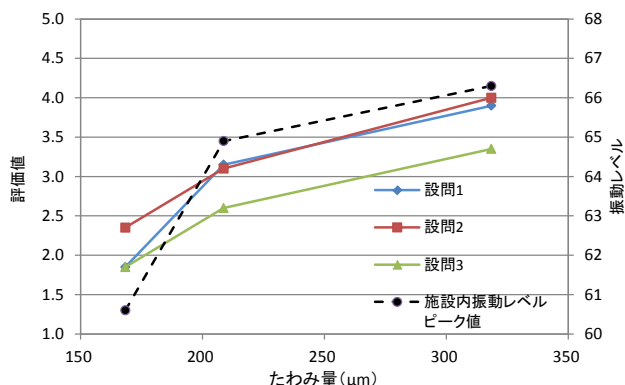


図-5 D1500と評価値、振動レベルの関係

表-4 各センサたわみ量と評価値の決定係数(R^2)

設問	D0	D200	D900	D1500
(1)	0.88	0.88	0.90	0.92
(2)	0.88	0.88	0.90	0.92
(3)	0.95	0.95	0.95	0.95

図-5より、たわみ量が大きくなるにつれて被験者の評価値と施設内の振動レベルが上昇しており、その傾向は、評価値と振動レベルでほぼ一致している。また、表-4より、いずれのセンサ位置のたわみ量も評価値との相関が非常に高く、特にD1500の決定係数が全設問で大きい。

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、衝撃、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、騒音、振動、水はねである。

(2)道路利用者の視点に立った舗装性能評価法

被験者調査で全ての設問の評価値と最も相関の高い指標はRNであり、道路利用者の要求性能を表す評価法としてRNを採用することが望ましい。また、バネ上振動加速度は σ よりも評価値と相関が高く、同指標を取得するために路面性状調査を必要としない利点から、簡便な路面評価法として適用できる。

(3)沿道住民の視点に立った舗装性能評価法

要求性能の騒音、水はねは既往の研究からタイヤ/路面騒音、水はね距離、ピーク高さで評価できる。振動については、表-4の結果からFWDのD1500を評価法に採用することが望ましい。

なお、RNやバネ上振動加速度は路面の健全度、たわみ量は舗装の構造的な健全度の評価指標と捉えることができる。たわみ量による振動の評価法は、軟弱地盤や重交通路線等で道路交通振動が大きな問題となっている区間の打ち換えや振動軽減舗装の性能規定工事への適用が考えられる。

謝辞

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) 東日本・中日本・西日本高速道路株式会社：設計要領 第一集 舗装編、p.134、2007.8
- 2) 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
- 3) 深田、松本、岡田、縦山：高速道路走行時の大型車ドライバーにより抽出された短波長の苦情路面に対する評価、土木学会論文集E1 (舗装工学)、Vol.68、No.3、pp.I_45~I_53、2012
- 4) 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
- 5) 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、第16巻、第8号、pp.28~31、1974
- 6) 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

藤原栄吾



(独)土木研究所つくば中央研究所道路技術研究グループ舗装チーム 主任研究員
Eigo FUJIWARA

寺田 剛



(独)土木研究所つくば中央研究所道路技術研究グループ舗装チーム 主任研究員
Masaru TERADA

久保和幸



(独)土木研究所つくば中央研究所道路技術研究グループ舗装チーム 上席研究員
Kazuyuki KUBO