

舗装の乗り心地調査結果に基づいた 乗り心地の費用化に関する基礎的研究

遠藤 桂¹・姫野賢治²

¹ 正会員 中央大学大学院理工学研究科土木工学専攻 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)

² フェロー会員 工博 中央大学理工学部土木工学科 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)

本研究は、舗装マネジメントシステムのサブシステムに乗り心地を取り入れるため、乗り心地を費用化する方法について基礎的な研究を行った結果について報告するものである。実路において、路面プロファイル計測して IRI を求め、同舗装上で走行実験を行い、被験者に乗り心地や、走行した舗装を修繕する場合の負担可能費用などをアンケート調査することによりデータを得た。まだ基礎的段階ではあるが、乗り心地という主観的な情報を費用化することが可能であることなどがわかった。

Key Words: *Pavement Management System, Road User Cost, Ride Comfort, IRI, Surface Profile*

1. はじめに

国内の舗装の路面管理指標として用いられている平坦性は、3m プロフィロメータにて測定した路面の相対高さの標準偏差であるが、これは乗り心地に関連した指標と言われている。平坦性の開発段階においては、舗装の竣工時の管理指標として平坦性を提案し、その際に乗り心地との関係を簡単に検討している¹⁾²⁾。その後、平坦性は舗装の維持管理の指標としても用いられるようになったものの、旧建設省が開発した維持管理指数(MCI)においては、平坦性の寄与率が低い³⁾。

これらの指標が開発された当時と比較すると、参考文献を示すまでもなく自動車の性能が格段に向上し、振動が少なく、静かな運転が可能になったが、生活レベルの向上や利用者意識の変化などにより、近年の舗装は、交通の手段としての道路の表層部分としての役割だけでなく、より安全で快適な走行が期待されている。快適な乗り心地を確保することは舗装の維持管理における重要な要因の一つとなつてしかなるべきである。

乗り心地を舗装の維持修繕のトリガーとして扱うためには、乗り心地を定量化する必要がある。その上で、合理的な舗装の維持修繕を行うために舗装マネジメントシステムを採用し、乗り心地をそのサブシステムとして組み込むことが一つの有力な方策で

あろう。

国内でも、例えば、旧建設省が3ヶ年計画で舗装の管理水準に関する研究を行っている³⁾⁴⁾⁵⁾。その中では、道路管理者からみた維持管理水準の検討を行っている他に、道路利用者費用に関する検討、沿道住民に関する検討なども行い、特に車両走行費用の試算も行っているが、乗り心地に関しては十分な検討はされていない。Haas らによれば⁶⁾、これは「過去およびまさに現時点でも、大部分の場合、利用者費用はサービス性能の水準、舗装の破損、および改良の規模と時期によって変化しないという暗黙の仮定のもとで、単に、資本、維持管理、および技術的ないし行政的費用のみを考慮してきた」結果であろう。

また、海外では、近年、道路利用者費用として工事車線規制を実施した際の安全や走行速度の遅延などに関する研究が盛んに行われており、ライフサイクルコストの検討を行っている例があるが⁷⁾、乗り心地に関しては、PSR やライドナンバー(RN)のような、ラフネスを数値化した乗り心地指数を開発して運用している⁸⁾のが実状であり、乗り心地を加味したライフサイクルコストの検討を行うには至っていない。その他、歩行者系舗装の場合は、人間が直接路面に触れることから比較的官能的な評価がしやすいが⁹⁾、道路舗装の場合は、路面と人間の間に自動車というインターフェースが存在することが、問題をより複

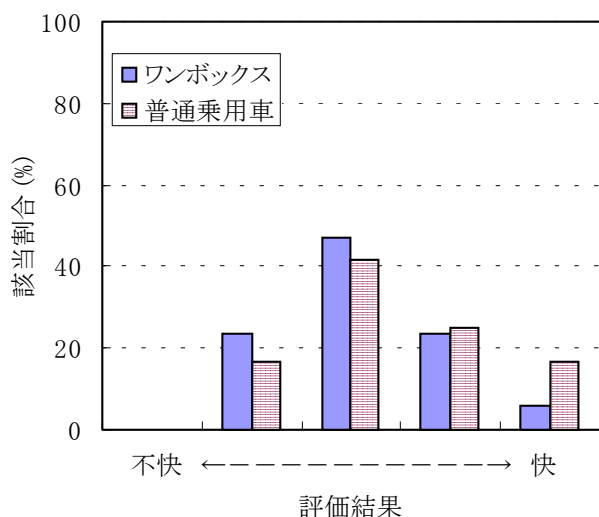


図-1 質問 1 に対する回答結果 (路線 A)

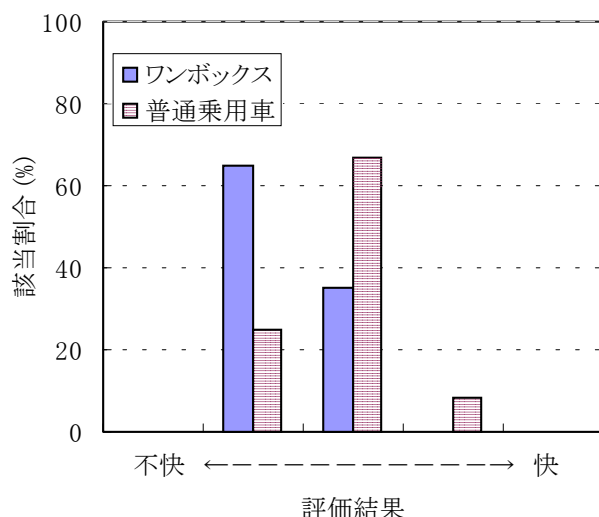


図-2 質問 1 に対する回答結果 (路線 B)

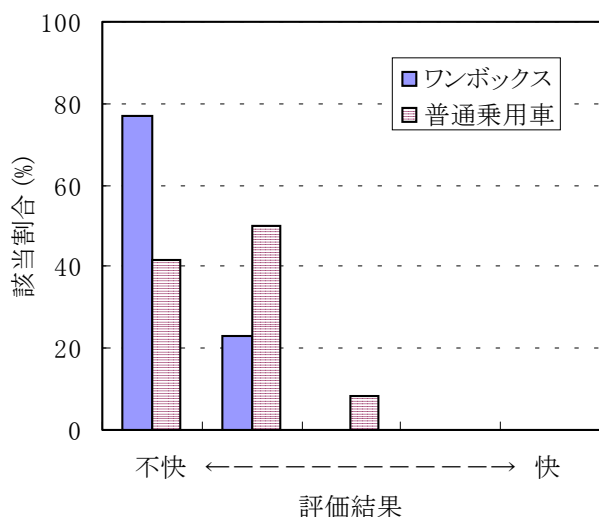


図-3 質問 1 に対する回答結果 (路線 C)



写真-1 縦横断形状測定装置の外観

表-1 調査対象区間舗装の IRI

路線名	IRI (mm/m)
路線A	5.24
路線B	5.61
路線C	8.45

ぶと被験者の疲れが乗り心地結果に影響する懸念があること、走行速度を一定に保てず加減速の必要が生じて評価結果に影響する可能性が高くなること、同様に、途中に信号があると調査途中で減速あるいは停止などが生じて調査結果に影響を与えることなどから、基本的な調査延長を信号間の約 100m とした。参考文献によれば¹⁰⁾、乗り心地調査において、100m~300m 程度では、調査結果に差異が生じないとの報告があり、およそ 100m という距離は妥当と考える。

また、同様の理由から比較的交通量が少な目になり、調査中の視覚情報が少なくなる夜間の測定とした。調査は数日に分けて行ったが、測定時刻も午後

雑にしている。

以上のような背景を元に、実路における車両走行時の被験者にアンケート調査することにより、乗り心地を定量化するための方法について基礎的な検討を行った結果について報告する。

2. 検討方法

乗り心地の費用化に関する検討を行うに当たり、実路にて乗り心地の調査および路面プロファイルの測定を行った。

調査は、東京都内にある一般道路 3 路線で行った。既往の研究結果を提示するまでもなく、実体験として乗り心地は乗車車両によって異なることから、これを確認するとともに、その差がどの程度なのか認識するため、普通乗用車とワンボックス車の 2 車種を使用した。いずれも法定速度である時速 40km で定速走行した。事前調査結果から調査が長時間に及

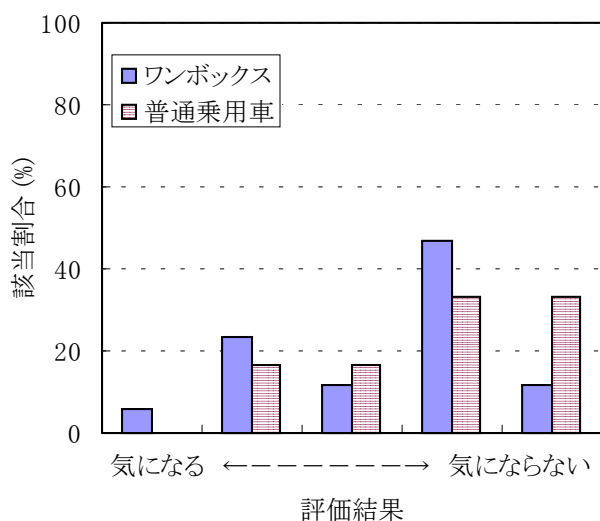


図-4 質問 2 に対する回答結果（路線 A）

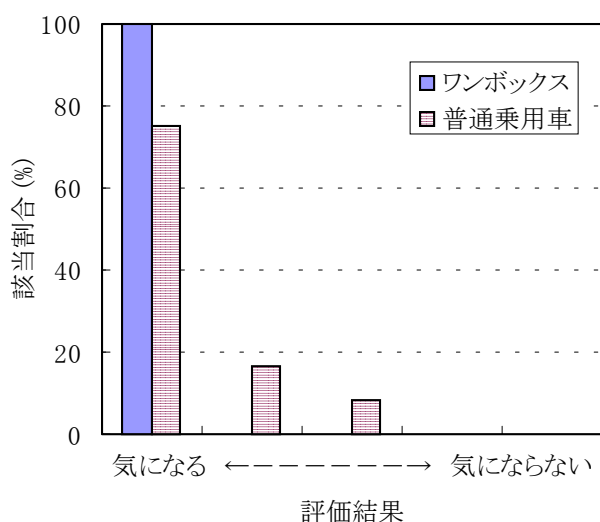


図-6 質問 2 に対する回答結果（路線 C）

9 時前後に統一した 1 回の調査あたり 2 人に使用車両の後部座席に乗ってもらい、走行中に感じる乗り心地を評価してもらった。

被験者数は、1 区間につき 10 人前後で、延べ 30 人であり、その内訳は 20 代の男子学生および社会人である。例えば既往の研究では 1 区間の被験者数が 18 人である¹¹⁾ように、1 区間の被験者数としては若干少なく、被験者の特性も狭い範囲であるが、本研究は、乗り心地の費用化の可能性を検討するための基礎研究という位置づけであり、この点に関しては今後の課題としたい。

(1) 調査対象道路の特徴

調査対象の道路は、目視観察結果および事前試走による結果から、修繕直後あるいは修繕後あまり時間が経過していないと考えられる、比較的乗り心地の良さそうな路線は避けた。なお、調査区間に選定した 3 路線の日交通量はおおよそ 18,700 台～21,600

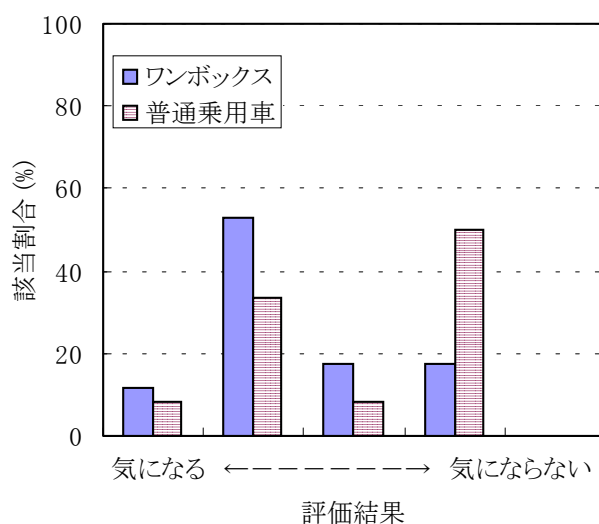


図-5 質問 2 に対する回答結果（路線 B）

台とほぼ同程度であった。以下、この 3 区間を仮に路線 A、路線 B、路線 C と呼ぶ。路線 C は、道路戦路上、意図的に一定間隔の凹凸（うねり）を設けた舗装であり、通常の路面評価に従えば、段差の激しい区間である。

(2) 路面プロファイルの調査

乗り心地調査を実施した舗装の路面プロファイルを縦横断形状測定装置にて測定した。使用したプロファイル測定機は、対象路線延長が短いことから、手押し式の機械を使用した（写真-1）。なお、使用測定機は 1cm 間隔で路面プロファイルを測定可能である。

(3) 乗り心地の調査

被験者に自動車に搭乗してもらい、調査対象道路を走行後、以下に示したようないくつかの質問に対する回答を指定用紙に記入してもらった。

質問 1: 走行中不快に感じたか

質問 2: 走行した路面の凹凸が気になったか

質問 3: 走行中の乗り心地はどうであったか

質問 4: 走行した舗装を修繕すべきだと思うか

いずれの質問に対しても 5 段階評価を行ってもらった。なお、乗り心地調査にあたっては、何を基準に最高、最低の評価を設定するのかといったような判断基準についての指示等は行っておらず、あくまでも被験者個人の評価基準に従ってもらった。また、これから調査する舗装に関する情報は与えなかった。

質問 1 と質問 3 は、実は同じ内容について表現を変えて質問しているが、質問の仕方による影響を検討するため、このように設定してみた。

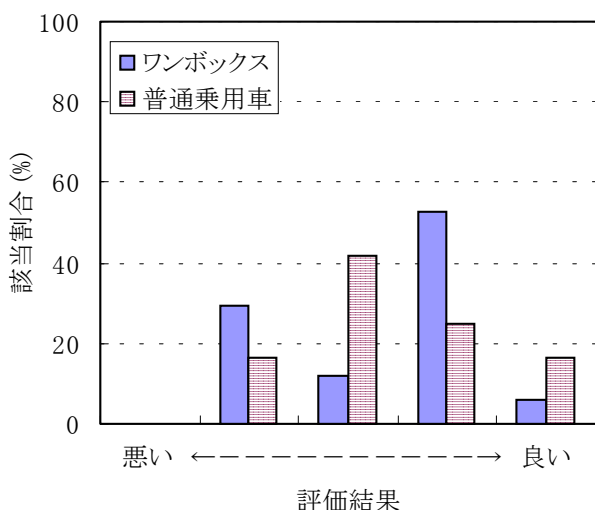


図-7 質問3に対する回答結果（路線A）

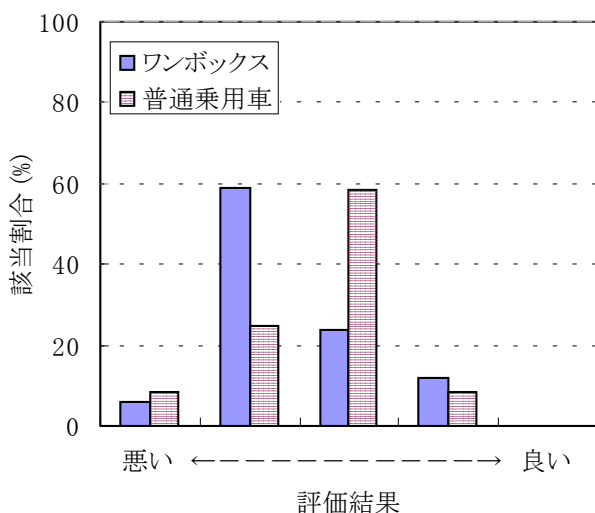


図-8 質問3に対する回答結果（路線B）

3. 調査結果

(1) 路面の IRI

乗り心地は、路面の縦断方向の平坦さのみに依存するものではないと考えられるが、車両走行方向の路面をあらわす指標の1つとして、測定した路面プロファイルから国際ラフネス指数(IRI)を算出し、これと乗り心地評価との関係を検討することとした。その結果を表-1に示す。

代表的な IRI の例⁸⁾によれば、「古い舗装」あるいは「損傷を受けた舗装」に該当する程度の IRI 値を示したような損傷を受けた舗装である。

(2) アンケート調査結果

a) 質問1に対する回答

路線A、路線B、そして路線Cの質問1に対する回答結果を図-1～3に示す。

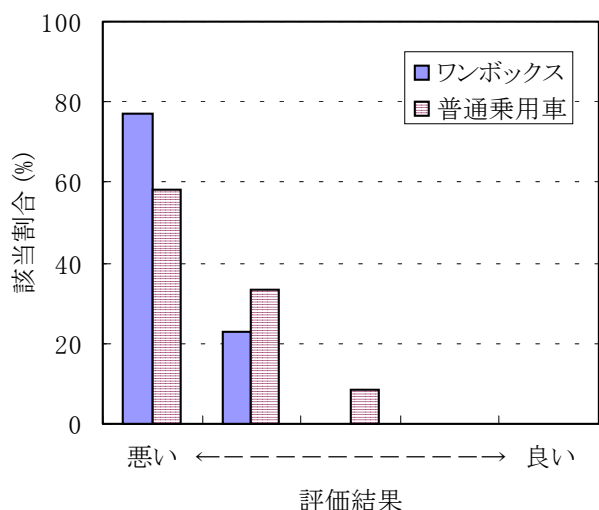


図-9 質問3に対する回答結果（路線C）

路線Aは、 $IRI=5.24\text{mm/m}$ と比較的 IRI 値が大きめであるにも関わらず、どちらかと言えば不快ではないという結果を得た。ワンボックスと普通乗用車では、ピークを示す評価が異なるが、おおよそ同様の結果となった。

IRI 値が路線Aとほぼ等しい路線Bであるが、評価は路線Aよりも不快であるという結果になった。これは、乗り心地は IRI と関係はあるが、これだけでは決まらないということを示している。

一方、 $IRI=8.45\text{mm/m}$ と IRI 値の大きい路線Cでは、不快であるという結果になった。

b) 質問2に対する回答

路線Aと路線Cの質問2に対する回答結果を図-4～6に示す。

路線AとBに関しては、段差が気になるかどうかの評価結果がばらついており、質問1に対する評価の理由が、必ずしも段差の有無ではないことを説明している。その一方で、路線Cに関しては、質問1の回答結果に類似しており、これは段差の有無が不快感の主因となったことを説明している。

アンケートでは、5段階評価の他に、なぜそう感じたのかを記述してもらったが、被験者全員が、段差が気になると回答した路線Cのワンボックスの場合、

- 凹凸を走行するときの振動が不快である
- 凹凸の頂点から下るときに気分が悪くなる
- 舗装の表面はなめらかであるが、全体に波打っている感じがした

といった意見があった。先に概説したとおり、路線Cには、意図的な一定周期の凹凸が存在しており、

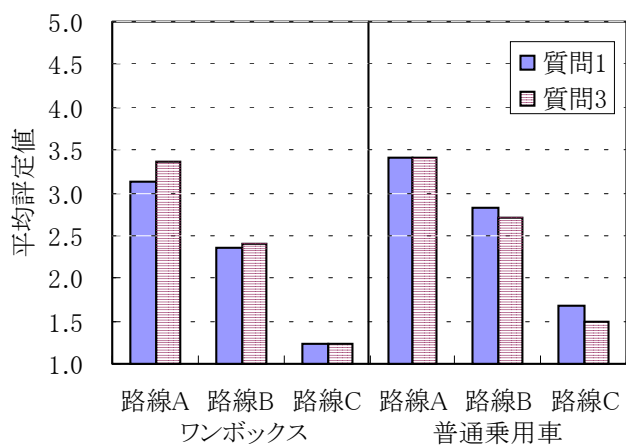


図-10 質問 1 と質問 3 の平均評定値の違い

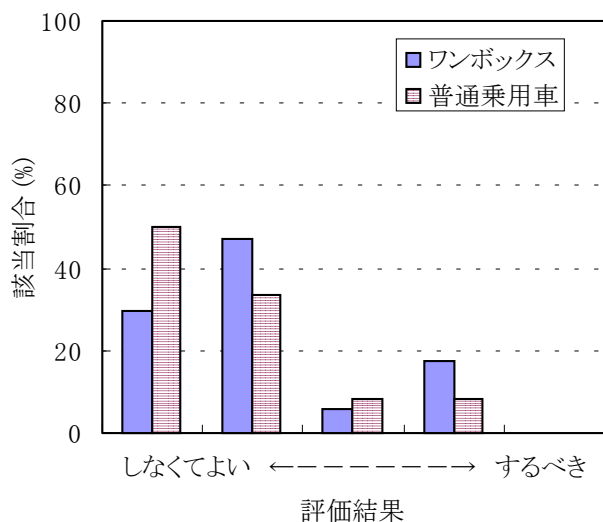


図-11 質問 4 に対する回答結果 (路線 A)

この数 m 間隔の比較的長い路面のうねりが、乗用車による走行を不快にしている原因となっていることがわかった。

c) 質問 3 に対する回答

質問 3 は、質問 1 と同質の質問であるが、不快であるかどうかという、ネガティブな質問である質問 1 に対して、乗り心地はどうかという、どちらかといえばポジティブな質問が質問 3 である。その結果を図-7～9 に示す。

5 段階評価結果、すなわち、質問 1 に対する結果に類似していたが、質問 1 の「不快」を 1、「快」を 5 としたとき、そして、質問 3 の「乗り心地が悪い」を 1、「乗り心地が良い」を 5 としたときの、それぞれの平均評定値を比較すると、図-10 のようになった。ワンボックスでは、例外なく質問 3 の評定値が大きく、逆に普通乗用車では例外なく質問 1 の評定値が大きくなった。

質問 3 でも、そう感じた理由を記述してもらったが、「不快である」、「揺れを感じる」といった質問 1

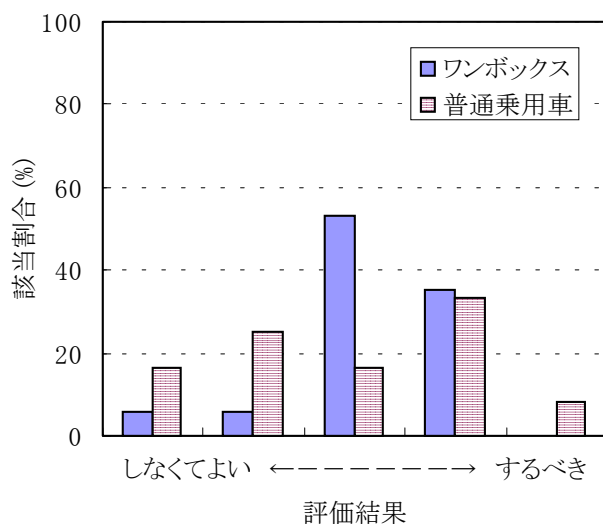


図-12 質問 4 に対する回答結果 (路線 B)

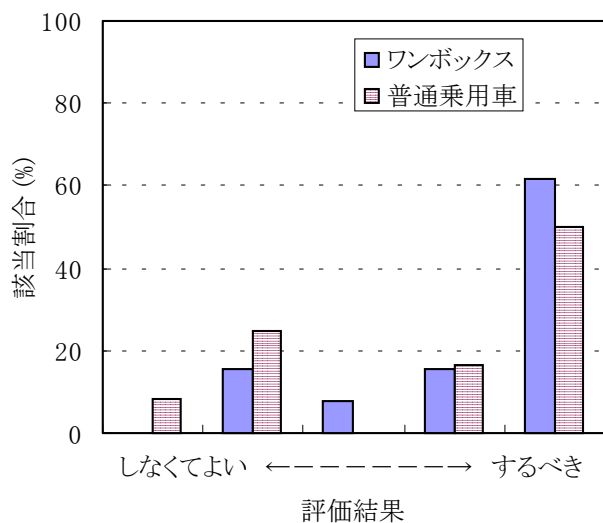


図-13 質問 4 に対する回答結果 (路線 C)

表-2 舗装の修繕費用に関する質問と前提条件

番号	内容
条件1	調査した区間を含む延長1km分の舗装を修繕する。
条件2	あなたはこの道路をよく利用する。
条件3	修繕費用としておおよそ3,000円/m ² かかる。
条件4	平日の日平均交通利用はおおよそ18,000台である。
質問A	あなたはこの道路を1度走行するたびにいくらなら負担できますか？
条件5	修繕対象面積が12,000m ² であり、修繕費用が合計で3,600万円かかる。
質問B	この金額を知ったとき、質問Aの回答はどう変わりますか？
条件6	上記総費用を仮に1年間に当該区間を走行する車両で負担すると仮定すると、路線Aでは4.6円、路線Bと路線Cでは5.3円となる。
質問C	この数字を知ったとき、質問A(または質問B)の回答はどのように変わりますか？

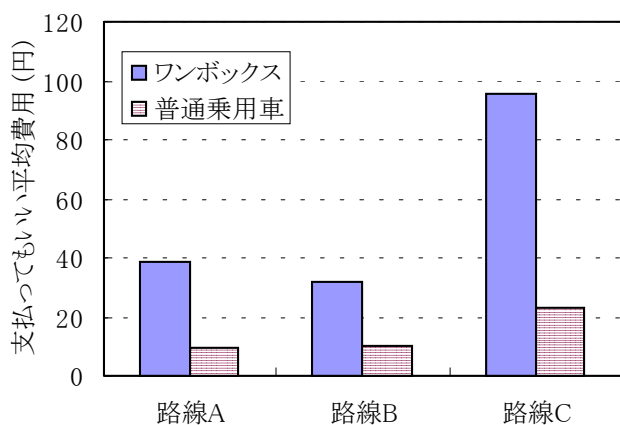


図-14 修繕費用に関する質問の回答（質問 A）

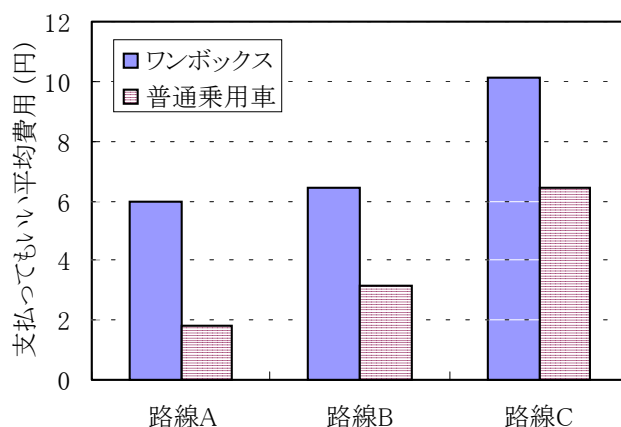


図-16 修繕費用に関する質問の回答（質問 C）

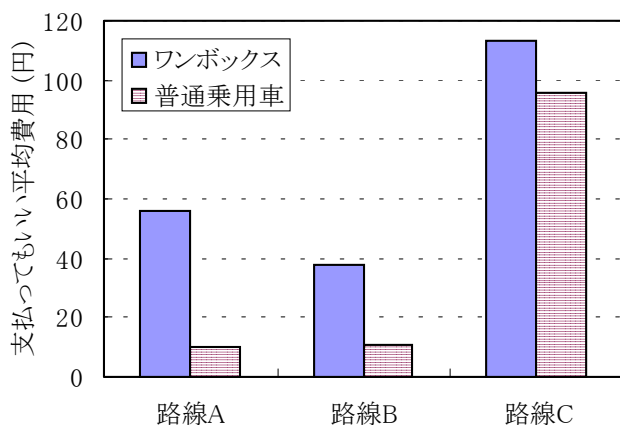


図-15 修繕費用に関する質問の回答（質問 B）

とあまり変わらない理由が目立った。「乗り心地が良い」ことを判断するのに特別な理由を見つけるのは比較的大変であるが、「不快であるかどうか」を説明するのには、不快さを感じた負の理由が最低一つあればよい。今回の調査では、ワンボックス車で、「不快感」が顕著に出たものと推測できる。すなわち、同じ内容の質問でも、その質問の仕方によって、評価全体に影響するものと判断できる。

d) 質問 4 に対する回答

質問 4 に対する回答結果を図-11～13 に示した。区間 IRI がほぼ同一であるが、乗り心地評価結果に違いが出た路線 A と路線 B に関しては、その評価結果どおり、路線 A は「修繕しなくとも良い」という傾向、そして路線 B はどちらかといえば「修繕するべき」という傾向が出た。

IRI がもっとも大きく、ワンボックスでは、被験者全員が、段差が気になると回答した路線 C は、ほぼ全員が「修繕するべき」という回答になるものと予想したが、確かに「修繕するべき」という意見が多数を占めたものの、それでも「しなくてよい」という意見もあるなど、乗り心地評価結果とは若干傾

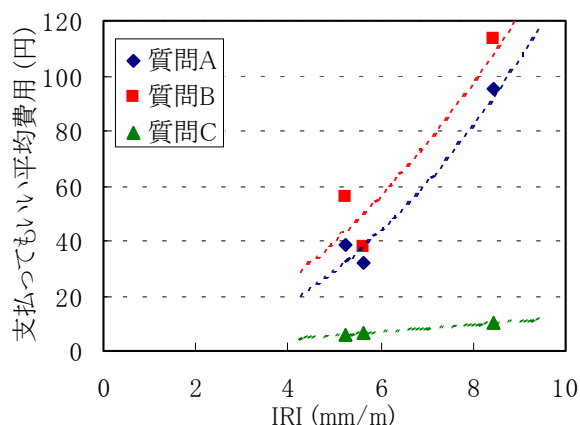


図-17 IRI と費用に関する回答結果の関係（ワンボックス）

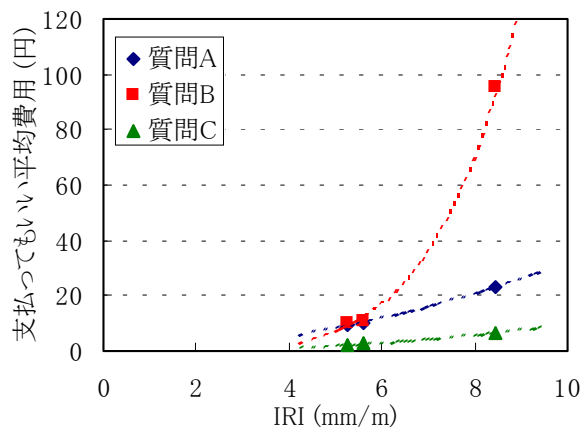


図-18 IRI と費用に関する回答結果の関係（普通乗用車）

向の異なる調査結果となった。

(3) 舗装を修繕する場合の費用に関する調査

これまでに検討した乗り心地に関するアンケートの際、調査対象区間の舗装を修繕するという前提で、いくらの費用負担が可能かどうかのアンケートも実施した。また、全調査が終了してから、さらに具体

的な質問をした。質問内容と前提条件を表-2に示す。

各質問に対する回答結果を図-14~16に示す。1m²あたりの修繕費用情報を与えた場合である質問Aでは、ワンボックスと普通乗用車で、支払ってもいいという費用の平均値に大きな差がみられた。特に乗り心地評価結果のよくなかった路線Cでは、その平均費用は他2路線と比較して2~3倍を示し、修繕してほしいという要望が現れている。

それに修繕面積情報と総費用(単価×面積)を示した場合、路線Cの普通乗用車の支払ってもいいという費用のみが格段に上昇した。被験者は、舗装の修繕費用についての詳しい知識を持たない人たちであり、質問の条件である面積に対して提示した金額が安いと感じたことが、その理由であると考えられる。

一方、すべての調査を終了したあとに条件6を追加すると、各路線に対する支払ってもいいという費用の傾向はそのまま、すべての金額がおおよそ1/10に低下した。路線Aと路線Bの普通乗用車の場合は、提示した車両1台あたりの金額より低い値となったが、3路線すべてのワンボックスおよび路線Cの普通乗用車は、提示した金額を上回った。路線Cに関しては、乗り心地調査結果のとおり結果と判断できるが、ワンボックスの場合は、普通乗用車よりも走行中の揺れが激しく感じられたため、乗り心地調査結果による差よりも大きく費用の差が出たものと推測される。

これを車両別にIRIとの関係で整理したものが図-17~18である。調査路線数が少ないものの、IRIが大きいくほど、修繕のために支払ってもいいという平均費用が増加する傾向にある。

以上検討した修繕費用に関する調査では、質問Aと質問Bのときには、「0円」という回答を寄せた被験者が全路線で約半数いたが、質問Cではその数が全被験者数の1/4以下に減少した。0円という回答数が大幅に減少したにも関わらず、回答した平均費用がもっとも少ないということは、比較的少額で具体的な数値を提示された結果、ほとんど情報がない場合に比べて、被験者が比較的正しい判断を下せた結果と考えられる。

今回調査した道路は一般道路であるから、実際の舗装の修繕費用は国民全体が負担している税金がその原資となっており、また、1年限りで消却するものでもないなど、質問の際に設定した条件とは全く異なるが、被験者、すなわち、道路利用者に情報を与えることによって、それなりの費用負担を理解してもらえる可能性があることがわかった。その費用もおおむねIRIで説明することができ、乗り心地を

費用化して、舗装マネジメントシステムのサブシステムとして機能させるための基本的検討が行えたものと考えられる。

ただし、以上の調査検討結果は、調査対称区間である約100mに相当する分の金額であり、修繕対象延長が延びて提示した修繕費用が増加した場合、評価結果にどのような影響を与えるのか確認する必要がある、それは今後の課題となる。

4. おわりに

以上、実路を用いた自動車の乗り心地調査結果および乗り心地を費用化し、舗装マネジメントシステムのサブシステムとして機能させるための基礎的検討結果について検討結果を報告した。乗り心地評価結果が使用車種や舗装の状態などによって異なることが確認できた他に、この研究で得た知見を簡単にとりまとめると、

- 1) 乗り心地評価のための質問の仕方によって、同一条件でもその評価結果が異なる場合がある
- 2) 乗り心地は段差などの衝撃的なものだけに影響されるわけではない
- 3) 実際に走行した道路に関して、修繕するならばいくら負担できるかという形式の質問で、乗り心地改善に対する費用化が可能である
- 4) その費用は、おおむねIRIで説明することができる
- 5) その費用は、質問の仕方、あるいは、質問の条件によって変化し、被験者の正しいコスト意識を引き出すための情報の与え方を考慮する必要がある

舗装マネジメントシステムでは、乗り心地を建設費用や車両走行費用といった他の費用と同じ土俵に乗せて議論するには、乗り心地を定量化し、何らかの形で費用化する方法を考案する必要がある。本研究は、そのための基礎的研究と位置づけており、被験者数、対象路線数などについて必ずしも十分ではないかもしれないデータに基づいた研究ではあるが、主観的な乗り心地を費用化するための一方法論を検討したものである。今後は、対象路線の数、種類を増やすとともに、評価のための代表となりうる車種などについてさらなる検討を加え、質問や条件の設定の仕方を適切に工夫し、より実状にあった乗り心地の費用化ができれば、乗り心地を直接加味した舗装の維持修繕が行われるものと期待している。

なお、本研究では、乗り心地を説明するための路

面情報として縦断方向の IRI を用いたが、これは、現在用いられている路面評価指標として最も適切な指標の 1 つであると考えたからであるものの、IRI を用いることは、筆者らの研究の最終的な目標ではない。

最後に、データ収集や道路使用許可取得などで奮闘してくれた中央大学道路研究室のみなさん、路面プロファイルの測定でご協力いただいた大和建工の方々には、心より感謝いたします。

参考文献

- 1) 河野：竣工時の舗装の平坦性検査について(I)，土木技術資料，9 巻 4 号，昭和 42 年 4 月
- 2) 河野：竣工時の舗装の平坦性検査について(II)，土木技術資料，9 巻 7 号，昭和 42 年 7 月
- 3) 建設省道路局国道第一課ら：舗装の管理水準と維持修繕工法に関する総合的研究，第 39 回建設省技術研究会報告，昭和 61 年 10 月
- 4) 建設省道路局国道第一課ら：舗装の管理水準と維持修繕工法に関する総合的研究，第 39 回建設省技術研究会報告，昭和 62 年 10 月
- 5) 建設省道路局国道第一課ら：舗装の管理水準と維持修繕工法に関する総合的研究，第 39 回建設省技術研究会報告，昭和 63 年 10 月
- 6) 北海道士木技術会舗装研究委員会：最新舗装マネジメント，2000 年 6 月
- 7) 例えば，K. T. Hall ら：Guidelines for Life-Cycle Cost Analysis of Pavement Rehabilitation Strategies, TRB 82nd Annual Meeting, 2003 年 1 月
- 8) Michael W. Sayers ら：The Little Book of Profiling, September 1998
- 9) 例えば，彌田ら：官能試験によるブロック系舗装の歩きやすさの評価について，第 2 回舗装工学講演会講演論文集，1997 年 12 月
- 10) (財) 高速道路調査会：平成 14 年度路面管理基準に関する調査検討報告書，平成 15 年 2 月
- 11) Michael W. Sayers ら：The International Road Roughness Experiment, Establishing Correlation and a Calibration Standard for Measurements, WORLD BANK TECHNICAL PAPER NUMBER 45, January 1986

A Basic Study of Estimating Road User Cost Based On Ride Comfort of Pavement

Katsura Endo and Kenji Himeno

This report discuss about the basic study how to measure the road user cost regarding ride comfort of passengers as one of the sub systems of pavement management systems. Surface profiles have been measured and then IRI has been calculated on the actual road. Also ride comfort of passengers and the equivalent user cost to rehabilitation have been evaluated via panel rating. It is just on the earlier stage of study, however, it is found that the subjective information such as ride comfort is able to estimate as the user cost.