

自歩道の再配分による自転車道の利用促進を目指した交差点部段差の快適性評価モデルの構築

大崎 拓哉¹・藤田 素弘²・嶋田 喜昭³

¹正会員 玉野総合コンサルタント株式会社 (〒461-0005 愛知県名古屋市中区東桜二丁目 17-14)
E-mail: osaki-tk@tamano.co.jp

²正会員 名古屋工業大学大学院教授 (〒466-8555 愛知県名古屋市中区昭和区御器所)
E-mail: fujita.motohiro@nitech.ac.jp

³正会員 大同大学教授 (〒457-8532 愛知県名古屋市中区白水町 40)
E-mail: shimada@daido-it.ac.jp

本研究では、自歩道交差点部の段差（車道と歩道の境界部）における自転車の走行実験を行うことで、段差での快適性意識や振動レベル、速度データを調査し、快適性評価値を求めるモデルを作成した。それにより、特に進行方向と鉛直方向の振動レベルを減少させることで、快適性が向上することが把握された。また、交差点における歩道側高さや角度、境界部角度や段差、境界部長さ、車道側高さや角度の縦断面構造を測量し、振動レベルが上昇する過程を基に断面構造データから合成変数を作成した。そして、走行実験データと断面構造データを照合することで、走行速度、歩道側 250-200cm 高さや歩道側 150-100cm 角度、境界部角度、境界部段差を小さくすることにより、振動レベルが減少することが判明した。得られた知見を活用することで、自転車道など本来の自転車通行場所へ誘導できる可能性を示すことができた。

Key Words: bicycle, vertical cross-sectional, uneven shape, bicycle and pedestrian walkway.

1. はじめに

昨今では、健康志向や環境への配慮、さらにはレジャー目的での自転車利用者が増加している。さらに、平成19年には「安全で快適な自転車利用環境創出ガイドライン」が策定（平成28年改訂）され、自転車道、自転車専用通行帯、車道混在の車道走行を基本とした整備形態が示されるなど、社会全体で自転車利用に関する在り方が見直されている。しかし、ガイドライン策定から10年が経過した現在においても、多くの道路では自転車が歩道を走行しており、自転車対歩行者交通事故件数も依然としてガイドライン策定前と同程度の横ばいで推移している。このような背景もあり、近年、自転車通行空間に関する多くの研究がされている。自転車の走行快適性という観点では、鈴木ら¹の研究にて、トリップ長が長い利用者を中心に、段差走行時における自転車利用者の主観評価が悪化するという指摘があり、また、それ以外の多くの研究でも、走行快適性と段差走行の関係性について言及されている。しかし、段差の具体的な形状と走行時の不快感に関する研究は事例がなく、具体的な交差点部段差の構造と走行時の走行快適性については不明瞭の

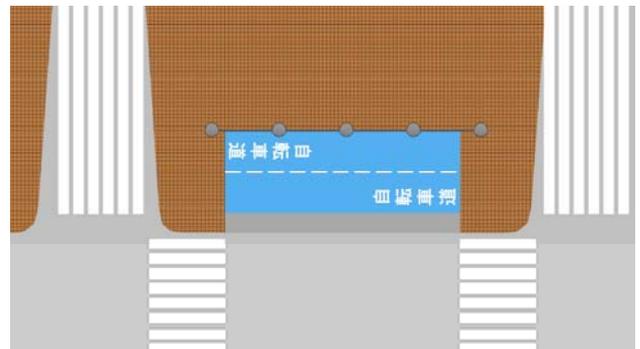


図-1 名古屋市鶴舞地区の自転車道等

ままである。

一方、自転車通行環境整備モデル地区に指定されてる名古屋市鶴舞地区においては、幅員員の自転車歩行者道（以下、自歩道）を改良し、図-1に示すような自転車通行空間（カラー舗装等で明示した自転車通行部や柵等で歩道と分離した自転車道などがあり、以降自転車道等と呼ぶ）が設置されてきた。しかしながら、比較的早く整備された従前の自歩道を改良した自転車道等は、歩道の幅員を縮小して整備しているにもかかわらず、自転車が歩道を走行している箇所も散見された。その結果、狭く

なった歩道に歩行者と自転車が混在することになり、整備前よりも危険な状態になっている場合があるとの指摘もある。この理由として、整備された自転車道等は、交差点手前では自歩道のままになっている箇所も多く、交差点部での段差が大きく、また、迂曲した部分も多いため、自転車の走行快適性が損なわれ、自転車が自転車道等を走行せず、歩道を走行してしまうということが考えられる。

そこで、本研究では交差点部段差で受ける振動とその不快感に着目し、将来的に既存の広幅員の自歩道を自転車道へ整備・改良する場合に、自転車利用者が適切な通行空間を利用するよう促すことを目的としている。具体的には、自歩道や歩道側の交差点部段差で受ける振動による忌避性を持たせることで、自転車利用者に対して自転車道等の整備区間へと誘導することができる整備手法について検討するものである。

なお、本研究では、段差構造の快適性について走行実験と分析を行って求めるが、その分析のなかで走行速度も考慮して安全性についての配慮も検討するものである。

2. 既往研究と本研究の構成

自転車通行空間の評価手法に関する既往研究として金ら²⁾は、様々な交通モードが存在する道路空間において、自転車通行空間の評価を行うための定性的な評価として **Bicycle Compatibility Checklist** を作成し、縁石・段差や道路構造といった評価項目も含め、総合的な自転車通行空間の評価を行っている。また、渋谷ら³⁾は自転車通行空間の代表的な評価手法である **BBC・ストレス計測・満足度** 評価を比較し、各評価手法の位置づけを明確することを目的とし、走行実験を実施することで、三つの評価手法の比較検討、適用方法に関して考察を行っており、満足度評価の中では、段差・縁石の項目で評価が低くなっているという指摘もある。また、鈴木ら⁴⁾は自転車利用者の視点から、自転車歩行者道を有する幹線街路の歩道部及び車道路肩部を対象として、歩行者や車両との関係性を考慮した幹線街路の **QOS** 評価指標を構築している。単路部歩道走行時の主観評価モデルでは、インターロッキング舗装ダミーの変数が有意となっており、これらの原因として、舗装の継ぎ目の段差を通過することで大きな振動が生じると考察している。しかし、上述したこれらの研究は自転車通行空間の多様な要因を総合的に評価しており、道路構造や、段差・縁石などの評価項目に関しては、定性的な評価に留まり具体的な数値設定までには至っていない。

また、自転車走行時の振動とその快適性に関する研究として、山中ら⁵⁾は、車椅子と自転車による体感振動の

違いに着目し、健常者の自転車走行時と障害者の車椅子利用時の速度や振動による忌避性の観点から、自転車のみが不快な周波数の振動となるようなハンプの形状について検討をしている。また、同著者による他の研究⁶⁾では、実際の道路において、**IRI** 指標を用いた自転車・車いす通行時の振動と体感評価との関連性について分析を行っている。振動と忌避性・体感評価の分析では本研究と類似なアプローチと言えるが、実際の自転車道・自歩道交差点部の縦断面構造と振動の関係を分析することに主眼を置いた本研究の分析内容とは異なる。

そして、自転車の通行位置・経路選択に関する意識の研究として、鈴木ら⁷⁾は、アンケート結果に基づく統計解析を通じて、道路構造や交差点制御、交通状況、街路周辺環境などの外部要因が、自転車利用者の経路選択に与える影響度を利用者属性ごとに明らかにしている。また、横関ら⁸⁾は、ビデオデータを基にして、通行位置、進行方向や個人属性、道路特性、交通量等を調査し、進行方向や通行位置を選択する要因を分析しており、通行位置の選択については、交通量や段差、障害物の有無などが自転車利用者にとっての危機感や走りやすさの要因となっていると指摘している。しかし、これらの研究でも、道路構造や段差・縁石などの評価項目に関しては、定性的な評価に留まり具体的な数値設定までには至っていない。

以上の認識に基づき、本研究では、実際の自転車道等や自歩道交差点部を対象に走行実験を行うことで、客観的な評価である自転車走行時に段差から受ける振動と、主観的な評価である不快感（快適性評価値）について調査を行う。また、実験対象の交差点部の縦断面構造について測量調査を行うことで、振動レベルと縦断面構造との関係を表現するモデルを構築し、自転車を適切な通行空間へと誘導することができる自転車通行空間の整備手法について検討することを目的とする。なお、本実験での自転車道交差点部については、車道とのすり付け処理はされているものの、厳密には交差点手前で自歩道に切り替えられた自歩道交差点部であり、横断箇所は「自転車横断帯」の規制がなされている。

3. 走行実験の概要

交差点部の段差を通過する際に発生する振動とそれに対する走行被験者の快適性評価値の関係性を調べるために、2016年の12月、名古屋工業大学の男子学生24名を対象に走行実験を行った。本調査では複数の調査ルートの段差を評価しながら被験者自身が一定のスピードで走行することもあり、調査対象の地区を普段の活動圏とし、日常的に自転車を利用する頻度の高い学生を中心に実験

を行っているが、年齢や性別に偏りが生じているため、多様な年代・性別の被験者で調査サンプルを入手することは今後の課題である。調査地区には、国土交通省が平成20年度に指定した「自転車通行環境整備モデル地区」のうち、名古屋市内の鶴舞地区を含むエリアを調査対象とした。走行実験の対象地区および各段差を図-2に示す。名古屋市の鶴舞駅を周辺にA～Cの3コース、計96箇所の縁石部が設置されている。走行ルートは、各ルートそれぞれ右回り、左回りの計6ルートとなる。また、図-3に示すように、各交差点部において交差点前と交差点後の2箇所の段差があり、振動レベルと快適性評価値については、それぞれの段差ごとに評価を行った。なお、通行位置については、自転車道等が整備されている場合は自転車道等を通り、自歩道として整備されている場合は、車道側を通りするように指示を出している。

次に、走行実験の概要を表-1に示す。走行速度に関しては、車載ビデオカメラ (ContourGPS) によって計測された速度データを使用した。ここで、走行速度に関しては、被験者が日常走行している速度を通常走行とし、それよりも低い(又は高い)場合を低速(又は高速)走行として3回走ってもらったが、具体的な走行速度を数値で指示していない。これは具体的な数値目標を提示することによる個人差の発現や主観評価への影響を抑制するためである。また、振動レベルとは、三軸加速度計(MVP-SD)によって得られた振動加速度波形データを、フーリエ変換により時系列から周波数系列データに変換したうえで、JISに規定されている周波数に応じた振動感覚補正⁹⁾を施し、対数尺度化した振動データを振動レベルとして用いた。振動レベルは方向別に、X軸(左右)方向、Y軸(進行)方向、Z軸(鉛直)方向に分類できる。加速度計によって得られる振動方向を図-4に示す。図中の各軸は、ハンドル中央部に取り付けた加速度計に対し、鉛直方向、進行方向、左右方向を記録している。また、快適性評価値に関しては、被験者が1箇所の交差点を走行するごとに、アンケート用紙を用いて走行中の縁石部で発生した振動を、5段階(5:快適、4:やや快適、3:普通、2:やや不快、1:不快)で評価してもらった。

4. 走行実験データの分析

走行実験によって記録した快適性評価値は被験者が段差を通過したときの快適性の知覚を記録したもので、被験者個人によって意識の差が出てくる。そこで、快適性評価値(主観評価)を物理量の振動レベル(客観評価)との関係性をみることで客観的な意味づけを考える。各軸・合成軸ごとにおける快適性評価値と振動レベルの相



図-2 走行実験の各コースと段差



図-3 交差点前と交差点後の段差

表-1 走行実験の概要

実施日	2016年12月
対象人数	名古屋工業大学の男子学生:24名
自転車	車種:シティサイクル タイヤ:26inch(タイヤの空気圧:3bar)
走行回数	計3回
走行速度	Contour GPS (60fpsカメラ) 低速走行・中速走行・高速走行
三軸加速度	加速度計MVP-SD (1msec) 段差通過時の最大加速度から前後に512msecずつ取り、FFT (N=1,025) サンプリング周波数:1khz
快適性評価値	1:不快 2:やや不快 3:普通 4:やや快適 5:快適 ※各段差走行後に回答
走行ルート	Bコース走行後、比較対象のAコース、Cコースを走行

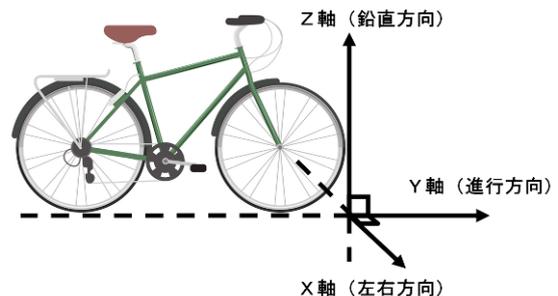


図-4 三軸加速度の振動方向の定義

関係数を表-2に示す。なお、合成軸の算出式を式(1)(2)に示す。表-2より、快適性評価値は単軸方向の場合は、Y軸との相関がもっとも高いことが分かる。また、合成軸の場合は、交差点前・交差点後ともに三軸合成が最も相関が高くなっている。以上のことを踏まえ、三軸合成方向振動レベルが最も快適性に影響を与えるといえるが、ZY軸合成振動レベルも三軸合成振動レベルと同様に高く、本研究では、段差通過時に発生する路面との衝突に影響を与えるZ軸（鉛直方向）とY軸（進行方向）に着目することとし、Z軸とY軸を合成した軸、ZY軸合成振動レベルを用いて以降の分析を行うものとする。また、快適性評価値の5段階評価の内、5～4を「快適」、3～1を「不快」と分類した際の振動レベルの等分散性の検定とt検定を行った結果を表-3に示す。以上より、交差点前後に関わらず、快適と感じる振動レベルには差があることが判明した。次に、快適性評価値を目的変数としてZY軸合成振動レベルと速度を説明変数とした重回帰モデルを表-4に示す。交差点前モデルでは、ZY軸合成振動レベルを小さくし、速度が大きくなることで快適性評価値の値が大きくなり、交差点後モデルでも、振動レベルを小さくすることで快適性評価値の値が大きくなること分かる。ここで、交差点前モデルのみ、速度が有意になった理由として、歩道から車道に入る際の形状や、単路部の距離によって、被験者毎に速度の差が出やすいことが挙げられる。一方、交差点後の場合は、信号による一時停止や歩行者との錯綜を回避するために交差点内を徐行して走行しているため、速度に差が出ていないと考えられる。また、交差点前モデルの速度がプラスの要因として、上述した歩行者との錯綜を回避するための徐行、信号待ちによる一時停止などによる心理的ストレス、低速走行時の運転のしづらさが解消されたことなどにより、一定の速度を維持することで自転車の走行性が向上していることが考えられる。

$$L_{ZY} = \sqrt{L_Z^2 + L_Y^2} \tag{1}$$

$$L_{ZYX} = \sqrt{L_Z^2 + L_Y^2 + L_X^2} \tag{2}$$

L_Z : Z軸方向振動レベル
 L_Y : Y軸方向振動レベル
 L_X : X軸方向振動レベル

5. 縦断面構造調査と分析

(1) 縦断面構造の測量調査

ZY軸合成振動レベルに影響を与える断面構造を特定するために縦断面構造の測量を行う。各交差点部の測量箇所を図-5、図-6に示す。ここで、歩道側高さとは、歩

表-2 振動方向別の相関係数

	交差点前	交差点後
X軸方向振動レベル	-0.6982	-0.7287
Y軸方向振動レベル	-0.8986	-0.8709
Z軸方向振動レベル	-0.8785	-0.8666
ZY軸合成振動レベル	-0.8907	-0.8733
三軸合成振動レベル	-0.9022	-0.8760

太字：相関係数0.8以上

表-3 「快適」「不快」の振動レベルの差の検定

	等分散性の検定 (両側F検定)		分散が等しくない仮定した場合のt検定 (Welchの分散分析)					
	F値	p値	p値 (Prob> t)	p値 (Prob>t)	p値 (Prob<t)	t値	自由度	
交差点前	3.39	<.0001	<.0001	<.0001		1	12.46	58.03
交差点後	2.59	0.0012	<.0001	<.0001		1	13.02	58.24

表-4 快適性評価値の重回帰モデル

目的変数	快適性評価値			
	交差点前		交差点後	
説明変数	βパラメータ	t値	βパラメータ	t値
切片	11.334	22.81**	11.918	22.91**
ZY軸合成振動レベル	-0.0873	-18.71**	-0.0888	-17.20**
速度	0.0408	2.31	-	-
F値		175.1		295.89
調整済みR ² 値		0.79		0.76
N		95		96

** : 1%有意

* : 5%有意

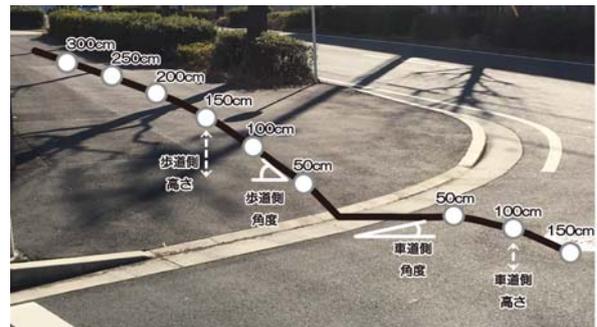


図-5 歩道側・車道側の測量箇所



図-6 境界部の測量箇所

道縁石の境界部を0cm地点とし、車道側高さとは、車道-路肩の境界部を0cmとし、そこからの高さ（比高）を測定している。また、歩道側角度および車道側角度とは、50cmごとの高さ（比高）と長さを用いて、三角比より50cm間隔で角度を求めることで、歩道側角度および車道側角度としている。測量機器にはトータルステーション（SKKIA

-SET600s)を用いた。また、段差及び角度の符号条件を図-7に示す。

(2) 縦断面構造の分析

次に、測量を行った計96箇所の段差の縦断面構造データの平均値、標準偏差、最大値および最小値を表-5に示す。これより、歩道側高さは境界部から離れるにつれて高くなり、尚且つばらつきも大きくなるのが分かる。一方、歩道側角度は境界部から離れるにつれて小さくなり、ばらつきも小さくなる。これは、歩道の形状として交差点の境界部へとつながるように緩やかに勾配しているが、単路毎に歩道側高さに違いがあるため、擦り付けの角度に差が生じていると考えられる。一方、車道側高さや車道側角度は歩道側と比べて、平均値もばらつきも小さいことが分かる。以上より、歩道では交差点ごとに高さや角度に特徴があるが車道では交差点の縦断面構造に変化が少なく、平坦な構造であると考えられる。次に、自転車道等と自歩道を比較すると歩道側高さは自転車道等の方が小さく、車道側高さは自歩道の方が小さい。また、縁石長さや縁石・路肩角度、各段差でも自歩道と自転車道等で違いが見られる。これは、調査対象の自転車道等が段差や角度を小さくするために縁石を延長しているからであると考えられる。

そこで、自歩道と自転車道等で特徴的な違いがみられた歩道側高さと縁石角度を用いて基本的な統計解析を行う。自歩道と自転車道等における歩道側 50cm 高さの度数分布を図-8.9 に、歩道側 300cm 高さの度数分布を図-10,11 に示す。以上より、自歩道では歩道側 50cm 高さが 3.5cm 付近の構造が多く、自転車道等は 2.5cm 以下の構造が多くなっている。また、歩道側 300cm 高さは、自歩道が 14.5cm 付近の構造が多いのに対して、自転車道等は 6.0cm 付近の構造が多くなっている。次に、自歩道と自転車道等における縁石角度の度数分布を図-12,13 に示す。縁石角度では、自歩道において、2.0° と 7.5° の構造が多くみられるのに対して、自転車道等では、4.0° の構造が多くみられる。これは、自歩道では、視覚障害者の安全な通行を考慮して縁石の高さを歩道から 2cm¹⁰ 設けた上で、路肩へとつながるように縁石をすりつけている場合と、点字ブロックを設置し、視覚障害者への識別性を確保した上で、歩道と縁石の段差をなくし、縁石から路肩へすりつけている場合の 2 種類があるからであると考えられる。以上のことを踏まえ、歩道側 50cm 高さ、歩道側 300cm 高さ、縁石角度について自歩道と自転車道等で等分散性の検定と t 検定を行った結果を表-6 に示す。以上より、歩道側 50cm 高さ、歩道側 300cm 高さ、縁石角度では自歩道と自転車道等では構造に差があることが判明した。

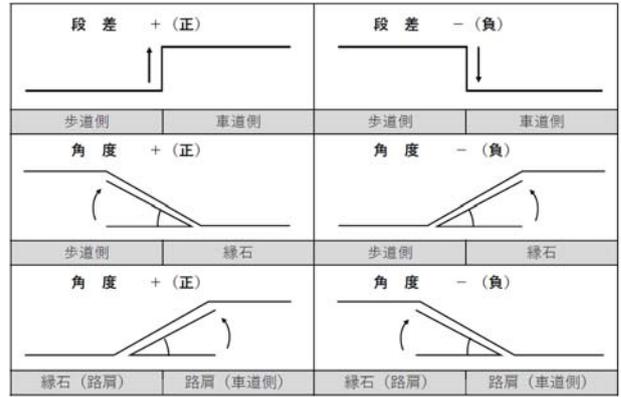


図-7 境界部の符号表記

表-5 自歩道と自転車道等の断面構造の集計

	自歩道				自転車道			
	平均値	標準偏差	最大値	最小値	平均値	標準偏差	最大値	最小値
歩道側0cm高さ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
歩道側50cm高さ	2.9	1.9	10.3	-0.5	1.7	1.3	4.7	-0.4
歩道側100cm高さ	5.6	3.4	16.5	-0.9	3.1	2.9	11.5	-1.5
歩道側150cm高さ	8.2	4.4	21.2	-0.3	4.3	4.2	15.8	-1.8
歩道側200cm高さ	10.4	5.4	22.5	-0.9	5.1	4.9	16.6	-1.4
歩道側250cm高さ	11.9	6.0	26.1	-1.4	5.6	5.5	18.6	-2.2
歩道側300cm高さ	13.0	6.5	31.3	-0.7	6.1	6.0	18.7	-2.3
車道側0cm高さ	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
車道側50cm高さ	1.1	1.3	4.6	-2.8	1.4	1.3	4.6	-0.8
車道側100cm高さ	2.1	2.1	7.3	-3.6	2.5	1.6	6.9	-0.5
車道側150cm高さ	2.8	2.7	9.9	-4.4	3.1	2.0	6.8	-0.8
歩道側0cm角度	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
歩道側50cm角度	3.4	2.3	12.7	-0.6	2.0	1.5	5.5	-0.5
歩道側100cm角度	3.2	2.0	9.7	-0.5	1.8	1.7	6.7	-0.9
歩道側150cm角度	3.2	1.7	8.3	-0.1	1.7	1.6	6.1	-0.7
歩道側200cm角度	3.0	1.5	6.5	-0.3	1.5	1.4	4.8	-0.4
歩道側250cm角度	2.7	1.4	6.0	-0.3	1.3	1.3	4.3	-0.5
歩道側300cm角度	2.5	1.3	6.0	-0.1	1.2	1.2	3.6	-0.4
車道側0cm角度	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
車道側50cm角度	1.3	1.5	5.5	-3.2	1.7	1.5	5.3	-0.9
車道側100cm角度	1.2	1.2	4.3	-2.1	1.5	0.9	3.9	-0.3
車道側150cm角度	1.1	1.1	3.8	-2.0	1.3	1.0	4.6	-0.3
縁石角度	6.0	4.2	13.7	-2.4	3.8	0.7	5.2	2.8
縁石長さ	18.0	2.8	32.6	11.2	55.1	5.3	65.0	45.8
路肩角度	2.0	1.5	7.0	-2.4	1.7	1.1	3.7	0.3
路肩長さ	51.2	4.2	61.4	42.2	49.4	5.4	60.7	41.2
段差(歩道-縁石)	0.4	0.6	2.0	-0.6	0.1	0.5	1.2	-0.6
段差(縁石-路肩)	-0.4	0.7	1.5	-2.9	-0.2	0.3	0.4	-0.9
段差(路肩-車道)	21.5	5.4	36.2	-0.2	20.0	3.0	25.9	11.8
段差(路肩-車道)	0.6	0.8	3.1	-0.6	0.5	0.6	2.4	-0.3

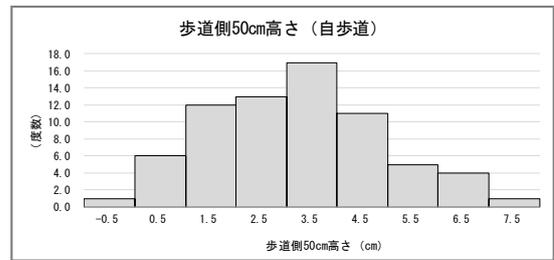


図-8 歩道側 50cm 高さの度数分布 (自歩道)

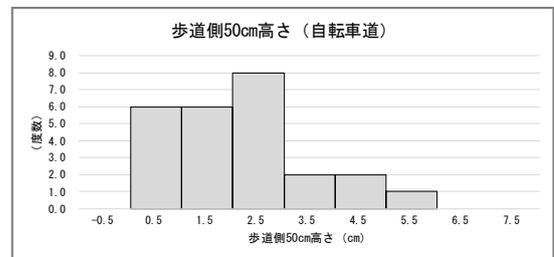


図-9 歩道側 50cm 高さの度数分布 (自転車道等)

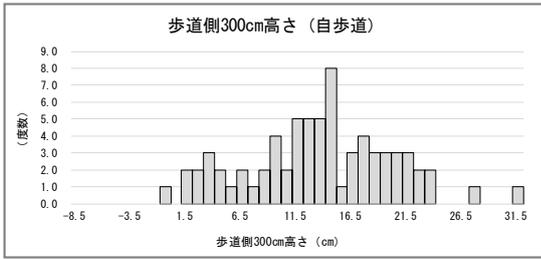


図-10 歩道側 300cm 高さの度数分布 (自歩道)

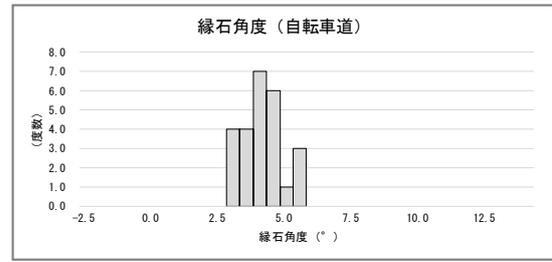


図-13 縁石角度の度数分布 (自転車道等)

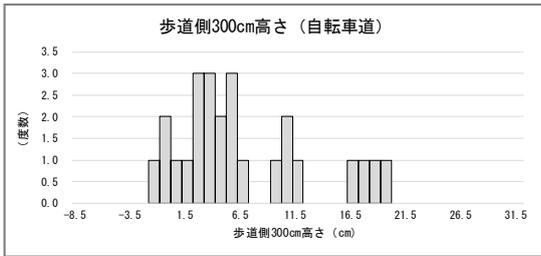


図-11 歩道側 300cm 高さの度数分布 (自転車道等)

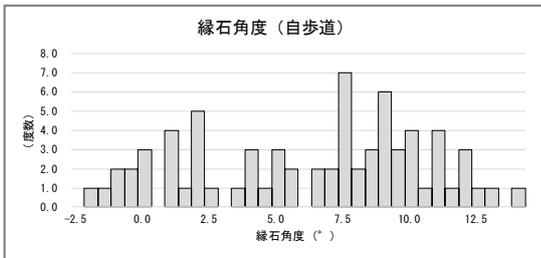


図-12 縁石角度の度数分布 (自歩道)

表-6 「自歩道」「自転車道等」の縦断面構造の差の検定

	等分散性の検定 (両側F検定)		分散が等しくないと仮定した場合の t 検定 (Welchの分散分析)			t値	自由度
	F値	p値	p値 (Prob> t)	p値 (Prob>t)	p値 (Prob<t)		
歩道側50cm高さ	2.00	0.06	0.002	0.001	0.999	3.24	59.55
歩道側300cm高さ	1.16	0.70	<0.0001	<0.0001	1.000	4.79	45.05
縁石角度	36.79	<0.0001	<0.0001	<0.0001	1.000	4.17	79.84

表-7 縦断面構造を考慮した ZY 軸合成振動レベルの重回帰モデル (基本モデル)

目的変数	ZY軸合成振動レベル			
	交差点前		交差点後	
説明変数	パラメータ	t値	パラメータ	t値
切片	76.176	29.52**	88.936	84.32**
速度	0.754	3.88**	-	-
歩道側300cm角度	0.919	2.54*	-	-
段差 (路肩-車道)	1.557	2.54*	-	-
自転車道ダミー	15.025	13.39**	15.481	12.60**
F値	72.86		158.74	
調整済みR ² 値	0.75		0.63	
N	96		95	

** : 1%有意 * : 5%有意

6. 振動レベルと断面構造の関係

(1) 基本モデル

前章までの走行実験と、縦断面測量のデータを用いて、ZY 軸合成振動レベルと交差点構造との関係を分析する。交差点前・交差点後におけるZY 軸合成振動レベルを目的変数とし、縦断面構造を説明変数とした重回帰分析結果を表-7に示す。交差点前のモデルでは、振動レベルに影響を与える交差点構造として、「速度」「歩道側300cm角度」「段差(路肩-車道)」「自転車道ダミー」が有意となり、調整済みR²値は0.75である。一方、交差点後では、「自転車道ダミー」のみが有意となり、調整済みR²値は0.63である。以上のことから、速度が速く、歩道側300cmの角度が大きい歩道を走行することで、自転車が加速し、段差や境界部の角度に衝突することで振動レベルが上昇することが考えられる。しかしながら、モデルの精度自体は高いものの、交差点前・交差点後とも自転車道ダミーによる寄与が大きく、本研究で趣旨を置く具体的な交差点部段差の把握までには至っておらず、交差点後モデルでは自転車道ダミー以外の変数を組み込むことができず速度も有意な変数にならなかったため、

交差点部全体の構造と振動レベルとの関係は十分明確になったとは言えない。そこで、次節では基本モデルの結果を踏まえ、振動レベルが上昇する仮定を基に、各変数同士を合成した合成変数を算出することで、自転車道ダミーを代用する合成変数を構築することとする。

(2) 合成変数モデル

まず、交差点前の基本モデルにおいて、「歩道側 300 cm角度」が有意であることから、交差点進入前の歩道側の形状が振動レベルに影響を与えていると考えられる。また、段差(路肩-車道)が有意であることから、交差点部の段差に衝突することが振動レベルに影響を与えていると考えられる。また、自転車道ダミーが有意となっており、前章の自歩道と自転車道等の縦断面構造データの分析結果を踏まえると、自転車道等は自歩道よりも、歩道側の高さが低く、縁石・路肩の角度が小さく、段差の高さも小さくなっている。すなわち、歩道側の高さや角度が高いことで、自転車の速度が上昇し、より大きな推進力を維持した状態で、段差や角度の大きい交差点部に衝突することで、振動レベルが上昇すると仮定できる。また、交差点後モデルにおいては、具体的な変数が有意

になっていないものの、「自転車道ダミー」が有意な変数となっていることから交差点前モデル同様に交差点進入までの推進力や衝突時の角度・段差が影響を与えていると考えられる。以上の振動レベルが上昇する仮定を基に、表-8に示すように、交差点前では「歩道側面積 250-200 cm」 「歩道変化率 150-100 cm」 「境界部縦横比」を、交差点後では「対向歩道側 50 cm 角度」 「境界部縦横比」を合成変数として算出した。

ここで、交差点前の合成変数の内、歩道側面積 250-200 cm とは、歩道側 250 cm 高さ歩道側 200 cm 高さによって形成される歩道側の面積を算出しており、歩道側面積 250-200 cm の値が高い場合は歩道側 250-200 cm 高さが高く、かつ 2 地点間の高低差が少ない構造である。また、歩道変化率 150-100 cm とは、歩道側 150 cm 高さ歩道側 100 cm 高さの間で高低差がどの程度変化するかを比率として算出している。そして、境界部縦横比とは、図-14 に示すように、縁石-路肩間における段差や角度の鉛直成分と水平成分を算出し、段差や角度の鉛直成分が占める割合を算出している。次に、交差点後の合成変数の「対向歩道側 50 cm 角度」とは交差点後を通過する前の交差点前側における歩道側 50 cm 角度である。

以上より、これらの合成変数を考慮した交差点前・交差点後の縦断面構造と ZY 軸合成振動レベルの重回帰モデルを表-9、10 の合成変数モデルに示す。交差点前では、表中の合成変数モデルより、振動レベルの上昇に影響を与える交差点構造として、速度、歩道側面積 250-200 cm、歩道変化率 150-100 cm、境界部縦横比が有意な変数となった。また、全体の結果からみても、調整済み R² 値が 0.60 と、基本モデルと比較するとやや精度が下がるものの、交差点部全体の構造と振動レベルとの関係性を考慮した上で、良好な精度のモデルを作成することができた。また、交差点後でも、振動レベルの上昇に影響を与える交差点構造として、速度、対向歩道側 50 cm 角度、境界部縦横比が有意な変数となった。また、全体の結果からみても、基本モデルでは変数として取り入れることの出来なかった速度や境界部の構造に関する変数が有意となり、調整済み R² 値が 0.41 と、基本モデルと比較するとやや精度が下がるものの、交差点部全体の構造と振動レベルとの関係性を考慮した上で、比較的良好的な精度のモデルを作成することができた。また、表-11、表-12 に合成変数モデルにおける各変数同士の相関を示す。各変数同士の相関から見ても、多重共線性は発生しておらず、複数の変数を合成したことにより、各変数を独立した変数として評価できるようになった。

以上より、振動レベルが上昇する原因として、交差点前では歩道側 250-200 cm 高さが高く、歩道側 150-100 cm にかけて高さが変化する歩道を速度が高い状態で走行し、高さのある段差や鉛直成分の大きい境界部に衝突するこ

表-8 合成変数の一覧

合成変数	算出式
歩道側面積 250-200cm	$S_{250-200} = (h_{250} + h_{200}) \times L_{250-200} / 2$ $S_{250-200}$: 歩道側 250-200cm 面積 $h_{250,200}$: 歩道側 250(200)cm 高さ $L_{250-200}$: 歩道側 250-200cm 間の水平成分
歩道変化率 150-100cm	$AH_{150-100} = a\beta(h_{150}/h_{100})$ a, β : ダミー変数(歩道側 150, 100cm < 0 のとき 0) $h_{150,100}$: 歩道側 250(200)cm 高さ
対向歩道側 50cm 角度	交差点前の歩道側 50cm 角度
境界部縦横比	$V = V_1 + V_2$ V : 境界部縦横比 V_1 : 縁石縦横比 V_2 : 路肩縦横比 $V_1 = (h_a + h_b + h_\gamma) / (h_a + h_b + h_\gamma + l)$ $V_2 = (h_b + h_c + h_\sigma) / (h_b + h_c + h_\sigma + l)$ h : 鉛直成分(絶対値) l : 水平成分(絶対値) a : 歩道-縁石段差, b : 縁石-路肩段差, c : 路肩-車道段差 γ : 縁石, σ : 路肩

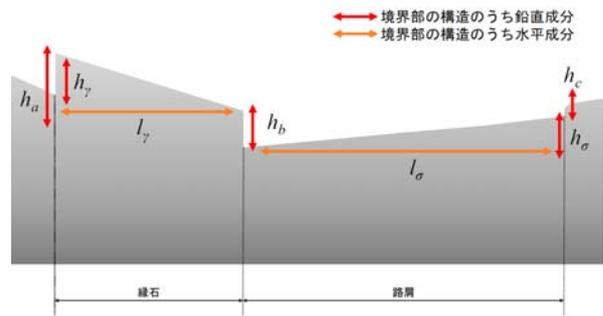


図-14 境界部縦横比

表-9 縦断面構造と振動レベルの重回帰モデル (交差点前)

目的変数	ZY軸合成振動レベル			
	基本モデル		合成変数モデル	
説明変数	ハ'ラメータ	t値	ハ'ラメータ	t値
切片	76.176	29.52**	63.323	15.71**
速度	0.754	3.88**	1.026	3.64**
歩道側300cm角度	0.919	2.54*	-	-
段差(路肩-車道)	1.557	2.54*	-	-
自転車道ダミー	15.025	13.39**	-	-
歩道側面積250-200cm	-	-	0.00787	3.92**
歩道変化率150-100cm	-	-	2.907	3.97**
境界部縦横比	-	-	82.894	7.38**
F値	72.86		36.28	
調整済みR ² 値	0.75		0.60	
N	96		95	

** : 1%有意

* : 5%有意

表-10 縦断面構造と振動レベルの重回帰モデル (交差点後)

目的変数	ZY軸合成振動レベル			
	基本モデル		合成変数モデル	
説明変数	ハ'ラメータ	t値	ハ'ラメータ	t値
切片	88.936	84.32**	72.161	15.36**
自転車道ダミー	15.481	12.60**	-	-
速度	-	-	0.790	2.35*
境界部縦横比	-	-	80.629	6.38**
対向歩道側300cm角度	-	-	1.215	3.85**
F値	158.74		22.76	
調整済みR ² 値	0.63		0.41	
N	95		95	

** : 1%有意

* : 5%有意

とで振動レベルが上昇すると考えられる。また、交差点

後では、対向側の歩道側 50 cm 角度が大きく、速度が高い状態で高さのある段差や鉛直成分の大きい境界部に衝突することで振動レベルが上昇すると考えられる。

7. 縦断面構造を考慮した快適性評価値モデル

4 章の走行実験で得られた快適性評価値モデルに、前章の ZY 軸合成振動レベルの合成変数モデルを代入することで得られた、縦断面構造を考慮した快適性評価値モデルを表-13 に示す。ここで、4 章の快適性評価値モデルでは速度がプラスの要因として作用していたが、ZY 軸合成振動レベルを踏まえることで速度がマイナスの要因として作用している。つまり、自転車走行時の速度とは走行時の快適性にも、振動を発生させる要因にも影響を与えているが、振動を発生させる要因としての作用が大きく、総合的な視点で捉えると、速度が上昇することで快適性評価値が減少すると考えられる。

ここで、本研究によって得られた縦断面構造を考慮した快適性評価値モデルの精度を検証するために、縦断面構造の測量結果と走行実験の結果を用いて、縦断面構造を考慮した快適性評価値モデルでの快適性評価値の逆算を試みた。走行実験で得られた各交差点部での実際の快適性評価値（実測値）と逆算によって求められた快適性評価値（推計値）のうち、交差点前をプロットしたものを図-15、交差点後をプロットしたものを図-16 に示す。交差点前の R² 値は 0.55、交差点後の R² 値は 0.41 と、比較的高い相関がある結果となった。しかし、推計値と実測値を比較すると、回帰式の係数が交差点前・交差点後ともに 1.0 以下であることが分かる。したがって、縦断面構造を考慮した快適性評価値モデルは実際の評価よりも快適性評価値を過小に評価していることを示しており、推計モデルの結果を実測値に近づけていくことは今後の課題である。

8. まとめ

本研究では、自歩道を改良した自転車道等の交差点部段差における自転車の走行実験を行い、被験者の快適性評価値と各軸の振動レベルの関連性を分析した。また、交差点部の縦断面測量を行い、振動レベルとの関係性を分析することで、縦断面構造を考慮した快適性評価値モデルを作成した。以下に、本研究で得られた知見を示す。

第一に、快適性評価値と各軸の振動レベルに相関性を確認できた。特に、単軸では進行方向（Y 軸）、鉛直方向（Z 軸）での相関が高く、各軸を合成した合成振動レベルでは ZY 軸合成振動レベルと三軸合成振動レベルで

表-11 合成変数モデルにおける各変数同士の相関 (交差点前)

	速度	歩道側面積 _{250-200cm}	歩道変化率 _{150-100cm}	境界部縦横比
速度		0.0058	-0.0746	0.0100
歩道側面積 _{250-200cm}	0.0058		-0.0019	-0.3399
歩道変化率 _{150-100cm}	-0.0746	-0.0019		-0.1341
境界部縦横比	0.0100	-0.3399	-0.1341	

表-12 合成変数モデルにおける各変数同士の相関 (交差点後)

	速度	境界部縦横比	対向歩道側50cm角度
速度		-0.137	0.1033
境界部縦横比	-0.137		-0.0853
対向歩道側50cm角度	0.103	-0.0853	

表-13 縦断面構造を考慮した快適性評価値モデル

目的変数	快適性評価値	
	交差点前	交差点後
説明変数	パラメータ	パラメータ
切片	5.806	5.510
速度	-0.0488	-0.0702
歩道側面積 _{250-200cm}	-0.000687	
歩道変化率 _{150-100cm}	-0.254	
境界部縦横比	-7.237	-7.160
対向歩道側50cm角度		-0.108

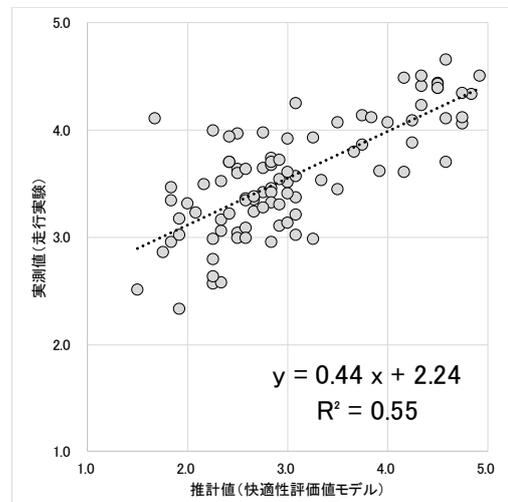


図-15 走行実験の快適性評価値とモデルの逆算による快適性評価値の分布 (交差点前)

快適性評価値との高い相関が確認できた。

第二に、鉛直方向（Z 軸）と進行方向（Y 軸）を合成した ZY 軸合成振動レベルを目的変数とし、交差点の縦断面構造を基に作成した重回帰モデルを作成した。縦断面構造の変数を採用した基本モデルの結果を踏まえ、振動レベルが上昇する仮定を示した合成変数を作成し分析を行った結果、振動レベルに影響を与える交差点構造として、交差点前では、歩道側面積_{250-200cm}、歩道変化率_{150-100cm}、境界部縦横比、速度が関係していることを明らか

にし、交差点後では、速度、境界部縦横比、対向歩道側 50cm 角度が関係していることを明らかにした。

第三に、走行実験で得られた快適性評価値モデルと合成変数を採用した合成変数モデルを用いて、縦断面構造を考慮した快適性評価値を算出した。

今後の課題として、交差点前の合成変数モデルと比較して、交差点後モデルの精度がやや低い点、縦断面構造を考慮した快適性評価値モデルの推計値が実際の走行実験で得られた実測値よりも過小評価となっている点を踏まえ、引き続き合成変数の検討・改良を行い、モデルの精度向上に努める必要がある。また、本研究は、交差点部段差ごとに受ける振動レベルによって自転車を適切な通行空間へと誘導することを目的とし、今回は自転車道等の快適性を確保するための分析を行った。今後は、交差点部段差ごとの快適性評価値によって、自転車利用者がどの通行空間を選択するかを意識調査を行うことで、自転車を適切な通行空間へと誘導することができる整備手法について研究を進めていく必要がある。

参考文献

- 1) 鈴木弘司, 今井克寿, 藤田素弘: 心拍変動を用いた自転車利用者の幹線街路評価に関する研究, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.69, No.5 (土木計画学研究・論文集第 30 卷), I_857-I_867, 2013
- 2) 金利昭, 五上尚美: Bicycle Compatibility Checklist の作成と自転車道走行事例の評価, 土木計画学研究・講演集, Vol.37, No.143, 2008
- 3) 渋谷大地, 金利昭: 自転車走行空間に係わる三つの評価手法の適用性に関する研究-BBC・満足度評価・ストレス計測手法の比較-, 土木計画学・講演集, Vol.45, 2012
- 4) 鈴木弘司, 今井克寿, 藤田素弘: 自転車利用者の主観評価と客観評価に着目した幹線道路 QOS 評価手法に関する研究, 土木学会論文集, Vol.70, No.5, 2014

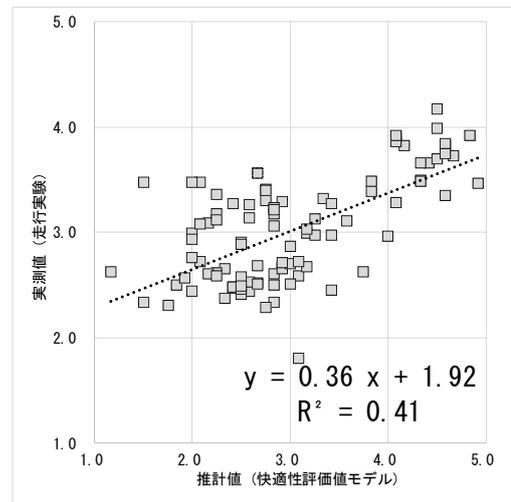


図-16 走行実験の快適性評価値とモデルの逆算による快適性評価値の分布 (交差点後)

- 5) 山中英生, 滑川達, 大下剛: 速度抑制と通行区分誘導を目的とした自転車用ハンプの開発, 土木計画学・論文集, Vol.24, No.24, 2007
- 6) 山中英生, 滑川達: IRI 指標を用いた自歩道における路面プロファイルの評価指標に関する研究, 土木計画学研究・論文集, No.23, no.4, 2006.9
- 7) 鈴木弘司, 堀将誌: 利用者属性に着目した自転車の経路選択意識に関する基礎的研究, 交通工学論文集, 第 1 巻, 第 2 号 (特集号 A), pp.a_142-A_148, 2015.2
- 8) 横関俊也, 森健二, 矢野伸裕, 萩田賢司, 牧下寛: 観測調査からみた自転車利用者の通行位置・進行方向の選択傾向に関する分析, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.71, No.5 (土木計画学研究・論文集第 32 巻), I_577-I_588, 2015.
- 9) 日本規格協会, 「JIS ハンドブック 37-2 (労働安全・衛生)」, pp.288-296
- 10) 大成出版社: 道路の移動円滑化ガイドライン, p44, 2003

(2019. 2. 10 受付)

Comfort Level Analysis on Uneven Shapes of Intersection to Promote Utilization of the Bicycle Track Improved on Wide Pedestrian Walk Way

Takuya OOSAKI, Motohiro FUJITA, Yoshiaki SHIMADA

In this study, we conducted a test of bicycle run to survey the comfort levels, speeds, and vibration levels on intersectional uneven shape at between pedestrian walkway and street. According to the result of the analysis, it was found that the larger the vibration levels of vertical and horizontal directions decrease, the more comfort levels improve. Moreover we surveyed height and angle on vertical cross-section of uneven shape on pedestrian walkway and street. And, we developed the regression models to explain the relationship between vibration levels and the variables for vertical cross-section of uneven shape including synthetic variables. In conclusion, it can be revealed that comfort levels improve by reducing uneven height and angles between pedestrian walkway and street within the several values estimated by the models.