

自歩道交差点部の断面形状を考慮した 自転車走行への影響評価

藤田 素弘¹・嶋村 峻²・前田 翔哉³・大崎拓哉³

¹正会員 名古屋工業大学大学院教授 工学研究科（〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町）

E-mail: fujita.motohiro@nitech.ac.jp

²非会員 三谷商事株式会社（〒910-8510 福井県福井市豊島1丁目3-1）

E-mail: syshima@mitani-corp.co.jp

³学生会員 名古屋工業大学大学院 工学研究科（〒466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町）

E-mail: 27413515@stn.nitech.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、段差での快適性や振動レベル、速度のデータを入手した。以上より、特に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分かった。また、段差における歩道側高さ、車道側高さ、境界部の角度、高低差、長さを測定した。以上より、走行実験データと断面形状データを照合することで、歩道側150～200cm地点高さを下げることにより、快適性が向上することが分かった。さらに、歩道側200cm地点高さを変数とする衝突を考慮することで、衝突の際の人体評価値となるHICを計算した。以上より、HICを減少させることで快適性が向上することも分かった。また快適性とHICの重回帰モデルにより、歩道側200cm地点高さを7.3cm未満とすることが望ましいことが分かった。

Key Words : bicycle,cross-sectional,uneven shape,cycle and walk path

1. はじめに

昨今における自転車利用の増加に伴い、国土交通省は、全国98箇所の地区を「自転車通行環境整備モデル地区」として指定している。しかし名古屋市内で整備されている自転車道は、多くが歩道内に設置されているため、依然として歩道に混入する事例が見受けられる。その原因として様々な問題点が挙げられるが、これまでの研究で、交差点部の段差（車道と歩道の境界部）における快適性と振動レベルの相関が明らかとなっており¹⁾、さらに段差は、速度を減少させる重要な役割がある。よって本研究の目的は、交差点部の段差における快適性や振動レベル、速度のデータを調査し、また同時に段差の断面形状を測定することで、快適かつ速度減少を兼ね備えた自転車走行用段差を検討することである。

2. 走行実験の概要

走行実験対象地区として、愛知県名古屋市鶴舞地区のうち17交差点を含む区間を選定した。対象地区及び各段

差を図- 1に示す。そのうちJ-1, J-2, K-1, K-2が自転車道となっている。走行ルートの設定に関しては、地区内のうち図- 1に示す矢印のルートを選定した。また図- 2に示すように、各交差点において交差点前と交差点後の2箇所の段差が存在している。

次に、走行実験の概要を表- 1に示す。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)走行として走ってもらい、具体的な走行速度を数値で指示していない。また自転車のハンドル付近において、図- 3に示すような調査機材を設置した。評価記録器は被験者による評価値データ、加速度計MVP-SDは振動加速度データ、Contour GPSは交差点の段差における速度データを取得するために用いた。ここで振動加速度データに関しては、はじめに高速フーリエ変換によって、時間に対する振動加速度波形を、周波数に対する振動加速度波形に変換する。更に、周波数に応じた振動感覚補正を施し、基準振動を0(dB)として表現することで、振動レベル (dB) として分析に用いた。また振動レベル (dB) は、X軸（左右方向）、Y軸（進行方向）、Z軸（鉛直方向）の3方向の振動レベルを取得した。



図-1 走行実験対象地区



図-2 交差点部の段差

表-1 走行実験概要

実施日	2012年12月
対象人数	20代の男女計16名
自転車	シティサイクル 26inch タイヤの空気圧3bar
走行回数及び速度	1回目: 通常走行 2回目: 低速走行 3回目: 高速走行
段差における評価値	1: 不快 2: やや不快 3: 普通 4: やや快適 5: 快適 ・段差直後に押しボタンで評価 ・訂正可能
信号機等による停止	同様の速度で進行できるまでの距離をとって待機



図-3 調査機材

3. 走行実験データの分析

Z軸方向における評価値と振動レベルのプロットを図-4に示す。以上より、すべての速度別において、評価値と振動レベルには負の相関があることが分かる。また速度域が高くなるにつれて振動レベルが増加することで、評価値は下がることも分かる。またX軸振動、Y軸振動に関しても同様のことが確認できた。

更に、評価値を目的変数とし、各方向別の振動レベルを説明変数とした重回帰分析を行う。この重回帰分析による結果を表-2に示す。以上より、Z軸振動のみが有意となった。よって、X軸振動、Y軸振動、Z軸振動の中においても、特にZ軸振動を減少させることで、評価値は向上することが分かった。この理由としては、Z軸振動が、X軸振動やY軸振動と比較して値が大きいこと、また決定係数 R^2 の値が大きいことが挙げられる。

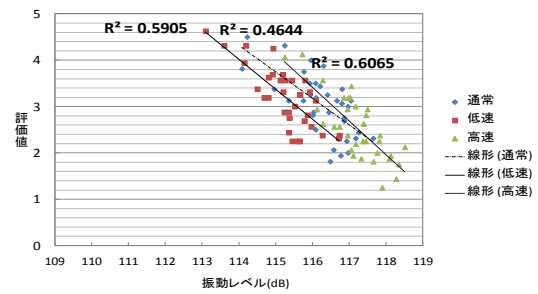


図-4 Z軸方向における評価値と振動レベル

表-2 評価値に関する重回帰分析の結果

評価値モデル (N=102)		
説明変数	パラメータ	t値
切片	59.56	11.67
Z軸振動	-0.49	-11.10
調整済みR2乗	0.55	

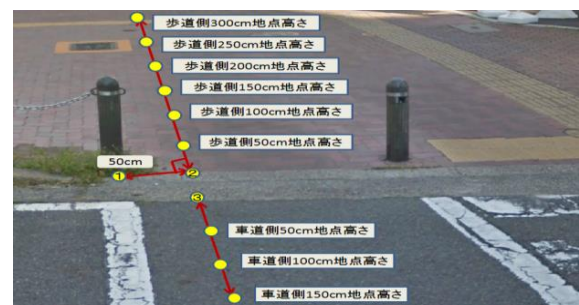


図-5 歩道及び車道



図-6 交差点の境界部

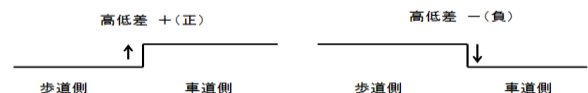


図-7 高低差の符号

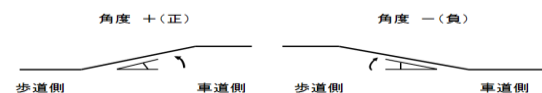


図-8 角度の符号

4. 断面形状測定の概要と集計

交差点部の段差における測定箇所を図-5、図-6に示す。測定方法としては、歩道側及び車道側における高さをトータルステーション、境界部における角度を角度計、境界部における高低差や長さをノギスによって測定した。また高低差及び角度の符号を図-7、図-8に示す。以上より、各断面形状データを表-3に示す。

表-3 各断面形状データの平均値及び標準偏差

	平均値	標準偏差
歩道側50cm地点高さ(cm)	2.729	1.855
歩道側100cm地点高さ(cm)	5.479	3.021
歩道側150cm地点高さ(cm)	8.297	4.226
歩道側200cm地点高さ(cm)	10.609	5.523
歩道側250cm地点高さ(cm)	12.224	6.239
歩道側300cm地点高さ(cm)	13.026	6.703
車道側50cm地点高さ(cm)	1.662	1.152
車道側100cm地点高さ(cm)	2.325	1.979
車道側150cm地点高さ(cm)	3.365	2.416
角度①(°)	-4.250	3.906
角度②(°)	-5.332	4.790
角度③(°)	2.915	1.792
角度④(°)	4.512	3.274
高低差①(cm)	0.482	0.604
高低差②(cm)	-0.324	0.473
高低差③(cm)	0.479	0.698
長さ①(cm)	19.591	12.533
長さ②(cm)	48.747	2.889

表-4 全段差の重回帰分析

説明変数	全段差					
	目的変数：評価値		目的変数：Z軸振動		目的変数：速度	
	パラメータ	t値	パラメータ	t値	パラメータ	t値
切片	3.71	18.82	116.93	498.46	4.39	0.89
歩道側200cm地点高さ	-0.04	-2.76				
角度①	0.07	3.30				
高低差①			0.37	2.43		
長さ①			-0.04	-4.41		
長さ②					0.26	2.58
信号機ダミー					-1.84	-2.86
N	34		30		34	
調整済みR2乗	0.39		0.46		0.23	

表-5 交差点前の段差に関する重回帰分析

説明変数	交差点前					
	目的変数：評価値		目的変数：Z軸振動		目的変数：速度	
	パラメータ	t値	パラメータ	t値	パラメータ	t値
切片	4.01	11.34	115.32	327.73	3.00	0.48
歩道側150cm地点高さ	-0.08	-2.29				
角度①	0.10	2.13				
角度②			-0.11	-2.57		
高低差③			0.97	3.61		
長さ②					0.29	2.24
信号機ダミー					-3.01	-3.50
N	17		12		17	
調整済みR2乗	0.38		0.52		0.44	

表-6 交差点後の段差に関する重回帰分析

説明変数	交差点後					
	目的変数：評価値		目的変数：Z軸振動		目的変数：速度	
	パラメータ	t値	パラメータ	t値	パラメータ	t値
切片	3.33	16.01	116.17	690.96	18.59	28.69
歩道側200cm地点高さ	-0.04	-2.41			-0.14	-2.61
車道側100cm地点高さ	0.12	2.47				
角度①	0.06	2.92				
高低差①			0.34	1.98		
N	17		12		17	
調整済みR2乗	0.60		0.21		0.27	

5. 自転車走行と断面形状の関係

全段差における評価値、Z軸振動、速度に関する重回帰分析を表-4、交差点前の段差に関する重回帰分析を表-5、交差点後の段差に関する重回帰分析を表-6、またそれぞれの変数の相関係数を表-7に示す。ここで信号機ダミーとは、信号機のある段差を1、信号機の無い段差を0としたダミー変数である。以上より、全段差で

表-7 相関係数

	全段差			交差点前			交差点後		
	評価値	Z軸振動	速度	評価値	Z軸振動	速度	評価値	Z軸振動	速度
歩道側150cm地点高さ				-0.53	0.51	0.10			
歩道側200cm地点高さ	-0.48	0.36	-0.16				-0.57	0.24	-0.56
車道側100cm地点高さ							0.37	-0.49	-0.28
角度①	0.54	-0.26	0.33	0.50	-0.38	0.35	0.61	-0.18	0.41
角度②				0.00	0.06	0.24			
高低差①	-0.17	0.36	0.10				-0.05	0.32	-0.05
高低差③				-0.48	0.51	-0.06			
長さ①	0.50	-0.38	0.11						
長さ②	0.32	0.14	0.30	0.21	0.17	0.28			

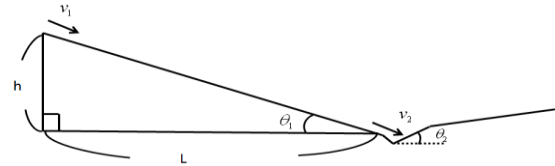


図-9 全体図

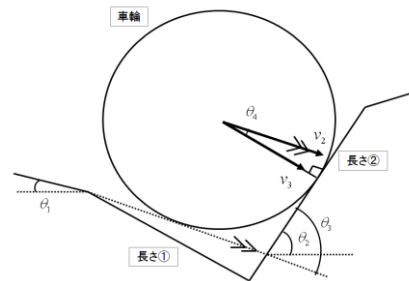


図-10 衝突時

は高低差①、交差点前では歩道側150cm地点高さ、交差点後では車道側100cm地点高さが、快適性向上と速度減少の可能性がある。その理由として、評価値やZ軸振動の重回帰分析で有意になったこと、また相関係数における評価値と速度の符号が異なることから、評価値向上と速度減少を同時に担うことができるためである。そして、全ての評価値に関する重回帰分析において、歩道側150～200cm地点高さが有意となった。よって歩道側200cm地点高さを下げることで、快適性が向上すると言える。

6. 衝突時の人体指標HICの導入

「歩道側200cm地点高さ」を直接的な変数とする衝突を分析することで、交差点前を対象とした具体的な歩道側200cm地点高さを逆算する。本研究の衝突とは、歩道側200cm地点高さを走行している自転車が、長さ②にぶつかる事と定義する。衝突による指標としては、自動車の衝突実験として用いられるHIC（頭部傷害値）を使用した。HICの計算式や図を式1、式2、式3、式4、式5、図-9、図-10に示す。^{2),3)}

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + mgh - C_{rr}mgL - \frac{1}{2}\rho C_d A(v_1 + v_w)^2 = \frac{1}{2}mv_2^2 \quad (1)$$

m:総重量(kg)=83.4

v₁:歩道側200cm地点高さの速度(m/s)=4.617

g:重力加速度(m/s²)=9.8

h:歩道側200cm地点における高さ(m)

C_{rr}:転がり抵抗係数=0.007

L:走行距離(m)=2

ρ:空気の密度(kg/m³)=1.226

C_d:シーディー値=0.9

A:前方投影面積(m²)=0.67

v_w:向かい風の速度(m/s)=0

v₂:衝突前の速度(m/s)

$$\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{h}{L}\right) \quad \theta_2 = \text{角度③}$$

$$\theta_3 = \theta_1 + \theta_2 \quad \theta_4 = 90 - \theta_3 \quad (2)$$

$$v_3 = v_2 \cos \theta_4 \quad (3)$$

v₃:接地面に対する垂直方向の速度(m/s)

v₂:進行方向の速度(m/s)

θ₄:v₂とv₃の角度差(°)

$$G = \frac{9.8 \times v_3}{t} \quad (4)$$

G:衝撃値(m/s²)

v₃:接地面に対する垂直方向の速度(m/s)

t:衝突の所要時間(s)=0.04

$$HIC = \left\{ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} G dt \right\}^{2.5} (t_2 - t_1)_{\max} \quad (5)$$

HIC:頭部傷害値

t₁, t₂:積分開始・終了時間(t₂-t₁≤15msec)

t₁=0.04, t₂=0.055

G:加速度(G)

以上より、HICを含めた評価値に関する重回帰分析や、表- 4、表- 5、表- 6で示した評価値に関する重回帰分析を、まとめて表- 8に示す。ここでHICのモデルを交差点前のみとした理由は、HIC指標が歩道側から車道側に入る場合の衝突のみを想定しているためである。表- 8より、HICを含めたモデルの精度が最も良いこと、また高低差、長さ、自転車道ダミーといった新しい変数が有意となっていることが分かる。さらにHICの算出において、歩道側200cm地点高さや角度③が用いられていることから、歩道側200cm地点高さを下げることで、また角度③を小さくすることで、快適性が向上するとも言える。

次に、表- 9に示す重回帰モデル及び変数の設定と、式1～式5により逆算した歩道側200cm地点高さを表- 10に示す。以上より、歩道側200cm地点高さを7.3cm未満とすることで、自転車走行が快適となることが分かった。

表- 8 HICを含めた評価値に関する重回帰分析

説明変数	目的変数：評価値 (1:不快, 2:やや不快, 3:普通, 4:やや快適, 5:快適)							
	全段差 (HICなし)		交差点前 (HICなし)		交差点後 (HICなし)		交差点前 (HICあり)	
	パラメータ	t値	パラメータ	t値	パラメータ	t値	パラメータ	t値
切片	3.71	18.82	4.01	11.34	3.33	16.01	-1.42	-0.76
HIC							-10.68	-3.03
歩道側150cm地点高さ			-0.08	-2.29				
歩道側200cm地点高さ	-0.04	-2.76			-0.04	-2.41		
歩道側100cm地点高さ					0.12	2.47		
角度①	0.07	3.30	0.10	2.13	0.06	2.92		
高低差③							-0.32	-2.22
長さ①							-0.08	-2.98
長さ②							0.12	2.91
自転車道ダミー (○自転車道, △自転車道以外)							3.32	3.68
N	34		17		17		17	
調整済みR2乗	0.39		0.38		0.60		0.63	

表- 9 歩道側 200cm 地点高さの逆算条件

重回帰モデル	評価値 = -10.68 (HIC) -0.32 (高低差③) -0.08 (長さ①) +0.12 (長さ②) +3.32 (自転車道ダミー) -1.42
変数の設定	評価値=3 (快適性：普通) 高低差③=0cm (HICの算出条件より高低差がないとする) 長さ①=15.57cm (交差点前の自転車道以外の平均値) 長さ②=48.71cm (交差点前の自転車道以外の平均値) 自転車道ダミー=0 (自転車道以外を対象)

表- 10 重回帰モデルによる歩道側 200cm 地点高さ

評価値	HIC	歩道側200cm地点高さ (cm)
3	0.0169	7.3

7. まとめ

本研究では、自歩道交差点部の段差における快適性や振動レベル、速度のデータを入手し分析し、さらにこれらの段差における断面形状を測定することで、快適性、振動レベル、速度を目的変数とした重回帰モデルを作成した。以上より、歩道側150～200cm地点高さを下げることで、段差での快適性が向上することが分かった。さらに、歩道側200cm地点高さを変数とする衝突を考慮することで、衝突の際の人体指標となるHICを計算した。以上より、歩道側200cm地点高さを7.3cm未満とすることで、段差での走行が快適となることが分かった。

参考文献

- 1) 嶋村峻, 藤田素弘: 自歩道交差点部の断面形状を考慮した自転車走行性への影響分析: 名古屋工業大学大学院 工学研究科 博士前期課程 創成シミュレーション工学専攻
- 2) Stop Signs and Bicycles :
<http://socrates.berkeley.edu/~fajans/Teaching/CalcsWeb.htm>
- 3) 衝突試験機の開発と評価/平成25年度環境・安全のための評価調査事業 :
<http://www.jbpi.or.jp/po2arpo8s-504/>

(?)