

# 歩行者の道路横断開始行動への 歩車道境界道路構造物の影響評価

長谷川 悠<sup>1</sup>・阿知波 雄大<sup>2</sup>・鈴木 彰一<sup>3</sup>・大口 敬<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 東京大学生産技術研究所 (〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1)  
E-mail:yuhase@iis.u-tokyo.ac.jp

<sup>2</sup>学生会員 東京大学工学系研究科社会基盤学専攻 (〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1)  
E-mail:achiha@iis.u-tokyo.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 准教授 東京大学生産技術研究所 (〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1)  
E-mail:suzuki41@iis.u-tokyo.ac.jp

<sup>4</sup>正会員 教授 東京大学生産技術研究所 (〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1)  
E-mail:takog@iis.u-tokyo.ac.jp

道路には、車両の通行帯としての機能、歩行者や自転車の通行帯としての機能、沿道施設への出入機能、滞留機能といった交通機能があるが、時にそれらの機能間にトレードオフが発生する。本研究では、必要な沿道出入機能を確保しながら、歩行者の横断行動をマネジメントするのに適切な手法の提案を目的とし、歩車道境界の道路構造物が歩行者の横断開始行動にどのような影響を及ぼすのかを分析した。結果、横断防止柵や植栽のように横断行動を物理的に完全に阻害しなくとも、段差やスロープといった歩車道境界の構造によって、歩行者の横断開始行動に影響を及ぼすことが可能であることが示唆された。これを基に、沿道出入機能を確保しながら歩行者の横断行動をマネジメントする手法の提案や、道路空間の設計思想への提言を行った。

**Key Words** : road crossing, pedestrian, road structure, walkability

## 1. はじめに

### (1) 道路の機能分類と横断歩行者の適切な管理

最も身近なインフラの一つである道路には、様々な機能がある。主要な交通機能としては、車両の通行帯としての機能、歩行者や自転車の通行帯としての機能、沿道施設への出入機能、滞留機能が挙げられる。

鳥海ら<sup>1)</sup>は機能階層型道路ネットワーク計画<sup>2)</sup>の考え方を歩行者ネットワークにまで拡張し、道路の機能階層を

整理した。この整理では、沿道出入機能を完全に制限・歩車を完全に分離し、自動車の高速移動のために供されるAu(自動車専用道など)から、沿道出入を最低限に制限し歩行者を優先するFuまで6段階の階層に分類している。この中で、DuやEuといった比較的低速域の分類では、歩車が空間を共有し横断施設以外でも平面交差するため、その交錯を適切にマネジメントする必要性が指摘されている(表-1)。

表-1 道路の機能階層別に求められる横断行動のマネジメントの類型

機能階層	自動車の速度	沿道出入機能	歩車の優先	横断行動のマネジメント
Au	高速	完全に制限	自動車優先	別線で完全に分離
Bu	↑↓	↑↓	↑↓	高さ方向・立体交差による歩車道の分離
Cu				横断施設による平面交差にて空間を共有
Du				横断施設以外でも交錯する歩車を適切にマネジメントする必要有り
Eu				
Fu	低速	最低限に制限	歩行者優先	自由に横断(車両を制限)

(2) 歩行者の横断に影響を及ぼす要素

先行研究によれば、横断行動に影響を及ぼす要素は大きく3つに分類される。①横断者の年齢・性別・障害の有無・認知判断特性といった、横断者の特性<sup>34)</sup>、②自動車交通量や速度といった、他の交通主体の影響<sup>36)</sup>、③道路構造や天候といった環境要因<sup>36)</sup>である。

歩車交錯の主要な原因には歩行者の道路横断行動が挙げられる。この横断行動のマネジメント施策としては、①横断者の特性に対しては教育などが挙げられ、②他の交通主体に対しては規制や歩車間通信によるリスク可視化などが挙げられる。しかし、こうした施策の効果が発現するには、関係主体への一定程度の浸透が必要であり、時間を要する。一方、③の環境要因の一部である道路構造物によるマネジメントは、設置したその時から効果を発揮するものであり、本研究ではこの道路構造物に着目することとする。

道路構造物を用いた横断行動のマネジメント施策としては横断防止柵や植栽の設置が主流であるが、これらを設置するには必要な沿道の出入機能を制限しないことが必須となる。例えば、横断防止柵を設置したい箇所の背後に車両の出入口部があれば、当然ながらその柵は設置できない。また、横断需要のある道路において、離散的に横断防止柵を設置すると、結局横断防止柵が途切れた箇所からの横断が発生する。このような状況を鑑みると、DuやEuといった沿道出入機能のある程度重視し、かつ歩行者の横断需要がある程度存在する機能階層の道路では、横断防止柵や植栽のみを使用して適切な横断行動のマネジメントをすることには限界があると言える。

(3) リサーチクエスト：歩車道境界構造物を利用した歩行者横断行動のマネジメント

以上の背景に基づき、道路の各利用者の安全・安心を確保しながらどのように道路を設計すればよいのか、または必要な沿道出入機能を確保しながら歩行者の横断行動をマネジメントするのに適切な手法は何かといった課題への示唆を与えることを目的とし、本研究のリサーチクエストを「歩車道境界の道路構造物は、歩行者の横断開始行動にどのような影響を及ぼすのか」と設定する。

2. 歩行者の横断開始行動モデルの提案

(1) 静的状況のみの考慮

歩車道境界の道路構造物の歩行者の横断開始行動への影響を分析するために、被説明変数を横断開始確率、説明変数のひとつを道路構造物の種類とした横断開始行動モデルを提案する。ここでは道路構造物間の相対的な影響の差を可視化することを目的とし、静的な状況を考慮

する一方で、交通量や瞬間の交通状態といった動的な要因を考慮しないこととする。

(2) 歩行者の行動モデル：social force modelの応用

歩行者の行動モデルとしては、歩行者間もしくは歩行者と障害物の間に、物理的な力の理論を応用したsocial force (SF)と呼ばれる仮想の力を想定して歩行者の行動を説明するsocial force model (SFM)が提案されている。Johanssonら<sup>8)</sup>は、観測データを用いて歩行者行動のSFMを詳述した。このモデルでは、歩行者iの時刻tにおける加速度は式(1)で表される。

$$\frac{d\vec{v}_i(t)}{dt} = \frac{v_i^0 \vec{e}_i - \vec{v}_i}{\tau_i} + \sum_{j(\neq i)} \vec{f}_{ij}(t) + \sum_l \vec{f}_{il}(t) + \vec{\xi}_i(t) \quad (1)$$

ここで、 $\vec{v}_i$ は歩行者iの速度、 $\tau_i$ は緩和時間を表す定数、 $v_i^0$ と $\vec{e}_i$ はそれぞれ歩行者iの希望速度と進みたい方向、 $\vec{f}_{ij}(t)$ と $\vec{f}_{il}(t)$ はそれぞれ歩行者iが他の歩行者j、障害物から受ける心理的な仮想上の反力(SF)、 $\vec{\xi}_i(t)$ は変動項を表す。

今回の提案モデルでは、SFMの基本的な思想である「歩行者の周辺の各要素は、歩行者に対して互いに独立な影響(SF)を有し、その重ね合わせによって歩行者の行動が決定される」という考え方を踏襲し、目的地からの仮想的な「引力」と、歩車道境界構造物から歩行者が感じる「斥力」の重ね合わせとして、横断歩行者の横断開始の決定行動を表現する。

ここで、図-1のように歩車道境界を構造物が切り替わる箇所に分けた「セグメント」という概念を定義する。このように定義したセグメントのもと、各セグメントから横断行動が開始される確率を式(2)で表現する。

$$P_{iOD} = \frac{1}{n} \left( \frac{\alpha}{l_{iD}^2} + l_i d_T \right) \quad (2)$$

ここで、 $P_{iOD}$ は、出発地Oから目的地Dへの横断行動におけるセグメントiから横断を開始する確率を示す。ただし、横断防止柵や植栽のあるセグメントのように、横断行動が完全に物理的に阻害されているセグメントはiとしてカウントしない。

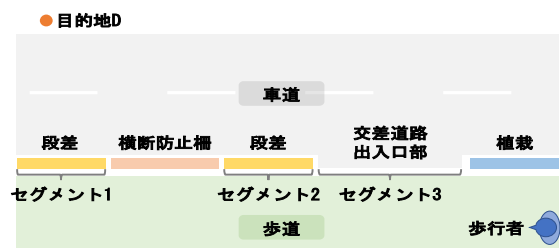


図-1セグメントの考え方

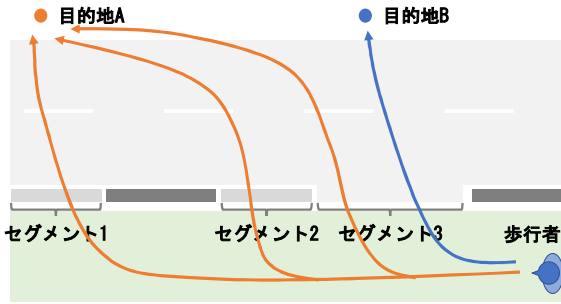


図-2 横断を開始する可能性のあるセグメントの数の考え方

$P_{iOD}$  は、出発地Oから目的地Dへの横断行動の観測数を  $n_{OD}$ 、そのうちセグメントiから横断を開始した横断行動の観測数を  $n_{iOD}$  とすると、式(3)のように定義される。

$$P_{iOD} = \frac{n_{iOD}}{n_{OD}} \quad (3)$$

また、式(2)において、nは横断を開始する可能性のあるセグメントの数を示す。図-2に示すように、遠回りをしない前提の場合、目的地Aにたどり着くために横断を開始する可能性のあるセグメントの数は、セグメント1~3の3通り、目的地Bにたどり着くために横断を開始する可能性のあるセグメントの数はセグメント3の1通りで

ある。

$\alpha$ は定数項、 $l_{iD}$ は横断開始セグメントiの中心と目的地Dとの距離、 $l_i$ はセグメントiの長さ、 $d_T$ はセグメントの種類T別の心理的障壁の小ささ（渡りやすさ）を表す。

この式では、第1項の  $\frac{\alpha}{l_{iD}^2}$  で、歩行者が目的地から仮想的に感じる「引力」を、第2項の  $d_T$  で道路構造T別の心理的障壁の度合いを表現している。

ただし、各項には下記の影響を補正するための係数が乗じられている。仮にランダムに横断行動が開始される場合、セグメントの長さとそのセグメントの選択確率は比例する。この影響を補正するために、 $d_T$ にセグメントiの長さ $l_i$ が乗じられている。また、セグメント数が多ければ1セグメントあたりの選択確率は小さくなる。この影響を補正するために、右辺全体に  $\frac{1}{n}$  が乗じられている。

### 3. 名古屋市守山区におけるケーススタディ

#### (1) 観測場所の選定と観測手法

上記で提案したモデルにおける構造物の種類Tごとの心理的障壁の度合い  $d_T$  を求めるために、実際の横断行

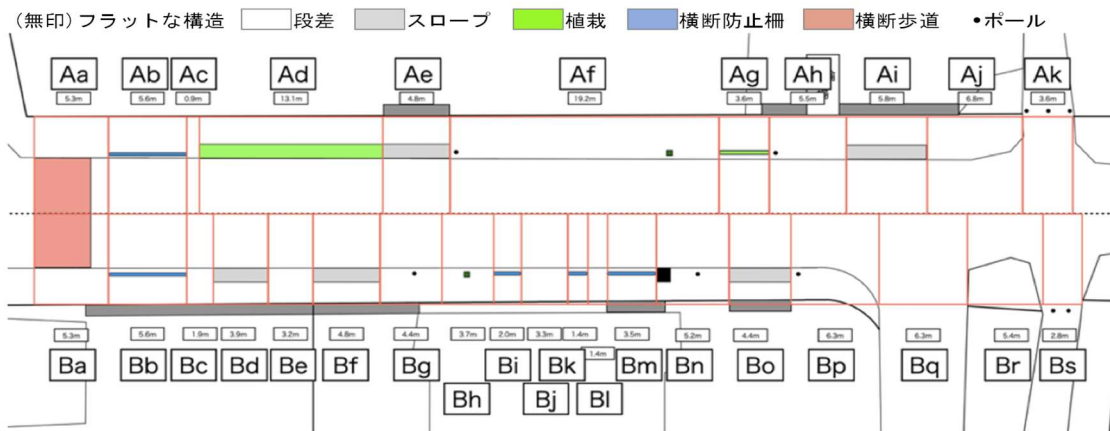


図-3 観測対象道路の概要・セグメント定義

表-2 観測対象道路の各セグメントの概要

セグメント	歩車道境界構造	セグメントの種類	後背地の土地利用	セグメント	歩車道境界構造	セグメントの種類	後背地の土地利用	セグメント	歩車道境界構造	セグメントの種類	後背地の土地利用
Aa	横断歩道	フラット	道路	Ba	横断歩道	フラット	道路	Bl	段差	段差	
Ab	横断防止柵	-		Bb	横断防止柵	-		Bm	横断防止柵	-	
Ac	段差	段差		Bc	段差	段差		Bn	段差	段差	
Ad	植栽	-		Bd	車両出入口部	スロープ	駐車場	Bo	車両出入口部	スロープ	
Ae	車両出入口部	スロープ	駐車場	Be	段差	段差		Bp	段差	段差	
Af	バス停	段差		Bf	車両出入口部	スロープ	駐車場	Bq	直交道路	フラット	
Ag	植栽	-		Bg	段差	段差		Br	段差	段差	
Ah	段差	段差	スーパー	Bh	バス停	段差		Bs	直交道路	フラット	
Ai	車両出入口部	スロープ	スーパー	Bi	横断防止柵	-					
Aj	段差	フラット		Bj	段差	段差					
Ak	直交道路	フラット	道路	Bk	横断防止柵	-					

動を観測する。観測対象箇所の条件としては、(a)複数のセグメントからの歩行者横断が発生すること、(b)観測対象エリア内に複数の種類の歩車道境界道路構造物が存在すること、(c)対象エリアを容易に観測できること、が挙げられる。交通事故統計情報<sup>9)</sup>や現地調査により上記3条件を精査し、名古屋市守山区四軒家にある清水屋藤が丘店の前の道路を観測場所に選定した。選定された道路の概要を図-3と表-2に示す。

(2) データ

観測は2021年11月から2022年1月にかけて断続的に実施した。225の横断歩行者を観測し、各横断歩行者のこの対象道路における出発地Oと目的地Dのセグメント、横断開始セグメントと横断終了セグメントを記録した。

OD別に集計した観測数が少ない場合、確率計算の誤差が大きくなるため有効データとしない。今回は観測数が5に満たないODを除いた。また、横断を開始する可能性のあるセグメントの数nが少ないものは、そもそも歩行者が横断開始セグメントを選択する行動が成り立たないため除外する。今回はn<3のデータを除いた。

このようなデータクリーニングを実施した結果、表-3に示す7ODの93の横断行動が分析対象のデータとなった。また、横断を開始する可能性のあるセグメントの種類Tは表-4のように定義した。

表-3 分析対象データの概要

出発地O	目的地D	横断を開始する可能性のあるセグメント数n	観測数
Ah	Bs	4	22
Ai	Bs	3	10
Bh	Ah	5	13
Bq	Af	4	22
Bs	Af	6	5
Bs	Ah	4	8
Bs	Ai	3	13
合計			93

表-4 セグメントの種類T

T	定義
flat-p	直交道路部であり、道路横断開始の際に段差やスロープが無いものうち、自動車の通行が無いセグメント
flat-v	直交道路部であり、道路横断開始の際に段差やスロープが無いものうち、自動車の通行が有るセグメント
slope	主に車両出入口部を後背にもつ歩車道境界で、道路部と歩道部がスロープで接続されているセグメント
step	歩車道境界に段差が存在するセグメント

(3) 提案モデルへの適用

式(2)で提案したモデルに上記のデータを適用し、 $d_T$ を求める。まず、尤度関数Lを式(4)のように定義する。

$$L = \sum_{i,O,D} (P_{iOD} - \widehat{P}_{iOD})^2 \quad (4)$$

ここで、 $P_{iOD}$ は実際に観測された選択確率、 $\widehat{P}_{iOD}$ はモデルにより推定された選択確率である。ただし、 $\widehat{P}_{iOD}$ は、式(5)を満たすように補正をしている。

$$\sum_i \widehat{P}_{iOD} = 1 \quad (5)$$

尤度関数Lを最小化するような $d_T$ を求めた結果を表-5に示す。また、観測された選択確率 $P_{iOD}$ と推定された選択確率 $\widehat{P}_{iOD}$ の比較の結果を図-4に示す。図-4において、T=flat-vであるセグメントBqのみを×印で表現した。×を除いた場合の $R^2$ 値は0.74となっており、非常に簡単なモデルながら歩行者の横断開始行動の傾向を良く表現できていることがわかる。

表-5 パラメタ推定結果

T	d
flat-p	0.68 ***
flat-v	0.03
slope	0.29 **
step	0.05

t-value \*\*\* >2, \*\*>1,

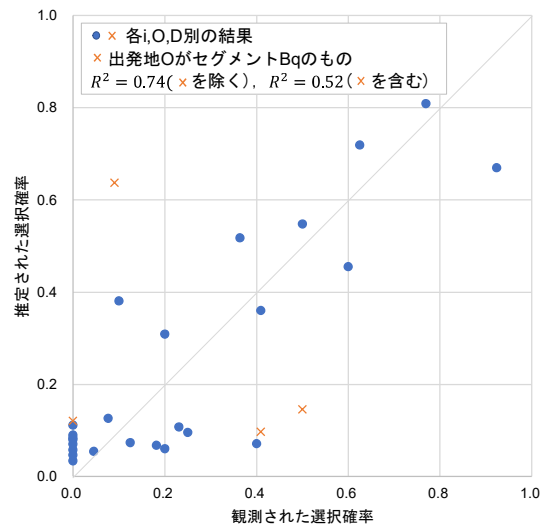


図-4 観測値と推定値の比較

## 4. 考察

### (1) 歩車道境界道路構造物の影響

図4から、セグメントタイプT=flat-vにあたるセグメントBqでは、それ以外の箇所と比べて提案モデルによる説明力が弱く、提案モデルでは考慮していない要素による行動決定がなされていると考察することができる。ひとつの説明として、安全確保行動が挙げられる。T=flat-vの箇所では、右左折する車両または背後から主道路に侵入する車両が存在する可能性があるため、歩行者が横断タイミングを待たためにその場に安全に滞留することができない。したがって、この箇所でのみ、横断開始の判断の前に、安全確保のために他セグメントへ移動するという行動が起きていると推察される。

一方、その他のセグメントタイプでは、今回の提案モデルが良く当てはまるため、歩行者が各セグメントのうちどのセグメントから横断を開始するかという選択行動がなされていると考えることができる。表5の結果から、段差のあるT=stepの箇所では横断開始行動が起これにくく、その次に横断開始行動が起これやすいのはスロープのあるT=slopeの箇所、最も横断開始行動が起これやすいのはT=flat-pの箇所であり、それぞれのセグメント種類間で横断開始行動の起これやすさに差があることがわかる。特にT=stepにおいては、ある程度の横断を防止する効果が有ると言える。したがって、横断防止柵や植栽のように物理的に完全に横断を遮断しなくとも、段差のような構造によって、歩行者の横断行動がある程度抑制可能であることがわかる。更には、歩行者の横断開始行動の起これやすさは0/1で表現されるものではなく、歩車道境界の道路構造物によって横断開始行動の起これやすさの確率という「程度」で表現することができるといえる。

### (2) 歩行者の横断行動マネジメントの可能性

前節で述べたように、フラットな構造、スロープ、段差といった、横断防止柵や植栽のように完全に物理的に横断を阻害するような構造ではなくとも、歩行者の横断開始行動に影響を及ぼせることがわかった。

これを応用する事で、様々な制約がある中での歩行者の横断行動のマネジメントの新たな施策を提案することができる。例えば、沿道への出入機能の確保が重要な場面や、予算または景観上の理由などによって、横断防止柵や植栽の設置が難しい場合においても、段差の設置などによって横断行動をある程度抑制することが可能になる。また、歩行者はセグメント間の横断開始行動のしやすさの相对比较をしているという本研究の結果から、横断防止柵を一切設置せず、段差・スロープ・フラットな構造を使い分けることによる横断行動のマネジメントを

提案することもできる。これは、従来の横断防止柵や植栽を利用した歩行者横断行動のマネジメントの手法に、段差を利用したマネジメントという新たな選択肢を追加することに他ならない。

また、本研究は、道路空間設計の根本的な考え方にも示唆を与えている。現在の歩車道境界の設計は、自動車交通や後背地の利用者が優先される思想になっている。例えば、歩道の切り下げは、土地利用者によって設置位置が申請され、道路管理者はこれを承認するのが通例になっている。しかし、本研究の結果からは、このような横断歩行者の観点から抜けている歩車道境界のデザインによって、歩行者の横断が至るところで発生し、歩車の交錯点が増えていることが示唆される。切り下げ位置の承認にも一定の基準を設け、横断防止柵・段差・スロープ・フラットな構造の設置場所を道路全体としてデザインしていくことが、歩行者を含め多様な道路利用者にとって望ましい道路空間構築には必要になるだろう。

## 5. おわりに

本研究では、道路の各利用者の安全・安心を確保しながらどのように道路を設計すればよいのか、または必要な沿道出入機能を確認しながら歩行者の横断行動をマネジメントするのに適切な手法は何かといった課題への示唆を与えることを目的とし、歩車道境界の道路構造物が歩行者の横断開始行動に及ぼす影響を分析した。その結果、安全に歩道に滞留できる状況においては、フラットな構造、次いでスロープのある構造でより横断が起これやすいことがわかった。また、横断防止柵や植栽などの完全に横断開始を阻害する構造ではなくとも、段差のような構造によって横断開始行動がある程度抑制されることもわかった。この結果を応用することで、横断防止柵や植栽などが設置できないまたは望ましくない箇所における歩行者横断行動のマネジメントができる可能性が示唆された。更には、歩行者の横断行動を念頭においた道路空間設計の重要性にも示唆を与えている。

ただし、今回の研究ではいくつか限界がある。まず、観測対象箇所と観測データが限られているため、様々な観測地点において多数のデータを取得し、今回の分析結果の汎用性を検証する必要がある。また、交通量や瞬間の交通状況といった動的な交通状況がモデルに組み込まれていないため、こうした事象についてもさらなる考慮が望まれる。

今回の結果は、物理的な横断開始阻害の他に、心理的な横断開始阻害の要素があることを示唆している。今回は観測対象範囲に存在しないため分析できなかったが、他の歩車道境界構造物や、歩車道境界の色などのマーキングによる効果等が横断開始行動に及ぼす影響についても検討する価値が有るだろう。

## 参考文献

- 1) 鳥海梓, 大口敬: 多様な道路利用主体を考慮した街路ネットワークの機能階層化に関わる論点整理, 第 62 回土木計画学研究発表会・講演集, 2020
- 2) 交通工学研究会: 機能階層型道路ネットワーク計画のためのガイドライン(案), <http://www.jste.or.jp/Activity/h27-29.pdf>, 2018
- 3) 高山純一, 中山晶一郎, 福田次郎: 高齢者の横断歩道外における横断行動の実態およびその意識に関する調査分析」, 土木計画学研究・論文集, 21, 647-655, 2004
- 4) 東正訓, 治部哲也, 山口直範: 高齢歩行者の乱横断に関連する諸要因の分析: 質問紙調査による検討」交通科学, 47(1), 10-17, 2016
- 5) 堤成可, 佐藤桂, Raksincharoensak, P., 毛利宏: ヒヤリハットデータ分析による歩行者の道路横断推定にむ
- けた歩行者行動分析, 自動車技術会大会学術講演会講演予稿集, NO.S133, 2015
- 6) 榎本拓真, 中村文彦, 岡村敏之: 商業集積地内街路における歩行者の挙動特性に関する基礎的研究, 土木計画学研究・論文集, 26(2), 347-354, 2009
- 7) 井料美帆: 歩行者の横断機会を安全に確保する横断施設のあり方」, IATSS Review (国際交通安全学会誌), 44(3), 197-204, 2020
- 8) Johansson, A., Helbing, D., & Shukla, P. K.: Specification of the social force pedestrian model by evolutionary adjustment to video tracking data. *Advances in complex systems*, 10(supp02), 271-288, 2007
- 9) 警察庁: 交通事故統計情報のオープンデータ: 2020年(令和2年): 本票\_01-12月, 2020

(2022. 3. 6 受付)

EVALUATION OF THE EFFECT OF ROAD STRUCTURES AT THE BOUNDARY  
BETWEEN SIDEWALKS AND ROADWAYS ON PEDESTRIAN INITIATION OF ROAD  
CROSSING BEHAVIOR

Yu HASEGAWA, Yudai ACHIHA, Shoichi SUZUKI, and Takashi OGUCHI

Roads have traffic functions, such as serving as a traffic zone for vehicles, pedestrians, and bicycles, access to and from roadside facilities, and dwellings. However, sometimes there is a tradeoff between these functions. The purpose of this study is to propose an appropriate method for managing pedestrian crossing behavior while ensuring the necessary roadside entry/exit functions, and to analyze how road structures at the boundary of pedestrian/vehicle paths affect pedestrian crossing initiation behavior. As a result, it was found that pedestrian crossing initiation behavior can be influenced by structures at the boundary of the roadway, such as steps and ramps, even if they are not structures that physically inhibit crossing behavior completely, such as crossing barriers and plants. Based on this, we propose a method for managing pedestrian crossing behavior in areas where fences cannot be installed to ensure roadside accessibility.