

研究助成実施報告書

助成実施年度	2019 年度
研究課題（タイトル）	二段階横断方式における歩行者の心的負担を軽減する交通島の設計手法
研究者名※	鈴木 一史
所属組織※	群馬工業高等専門学校 環境都市工学科 准教授
研究種別	研究助成
研究分野	都市交通システム、エネルギー計画
助成金額	120 万円
発表論文等	VR による道路交通条件に応じた二段階横断施設の利用者評価 第 48 回土木学会関東支部技術研究発表会, 2 頁, 2021 年 3 月 1 日

※研究者名、所属組織は申請当時の名称となります。

() は、報告書提出時所属先。

大林財団2019年度研究助成実施報告書

所属機関名

群馬工業高等専門学校

申請者氏名

鈴木 一史

研究課題	二段階横断方式における歩行者の心的負担を軽減する交通島の設計手法
<p>本研究では、わが国で導入事例が少ない二段階横断方式における交通島について、その望ましい設計手法を歩行者の心的負担軽減の観点から検討した。具体的には Virtual Reality を用いて交通島を有する二段階横断方式を仮想空間内に再現し被験者に横断してもらうことで、交通島の構造条件（幅や形状、防護設備の有無等）が歩行者の横断挙動や交通島滞留時の心的負担に及ぼす影響要因を分析した。また、これら知見に基づき、大型車混入率や交通量等の道路交通条件に応じて、横断者の不安感を低減させる交通島の設計要件に関する知見を得るためのケーススタディを行った。その結果、二段階横断施設の設置対象となる道路の交通条件等に応じて、交通島の設計条件を変更した際の横断者の不安感が予測可能になるとともに、不安感を一定レベルに抑制するために必要な交通島の設計条件の検討に際して有用な知見を得ることができた。</p>	

1. 研究の目的

警察庁統計によれば、平成30年中の人対車両の全死亡事故件数1,186件のうち827件(69.7%)が横断中に発生している。また横断中でも、特に道路中央を通過した後の横断後半部で多くの事故が発生していることが指摘されている。その対策として二段階横断方式の導入が有効である。二段階横断方式とは、道路中央部に設けられた交通島を利用して、横断歩道を二段階で横断する方式である。従来までの横断方式（以下、標準横断方式）のように左右方向の車両を同時に確認する必要がなく、一方向のみの安全確認で済み、かつ一度に横断する距離も短くなることで安全性が高まるという特長がある。また、標準横断方式に比べて横断機会が増加することで横断待ち時間も短縮可能であり、安全面だけでなく円滑面でのメリットも大きい。しかしながら、二段階横断方式の導入事例はわが国では少なく、二段階横断方式の設計手法、とりわけ交通島の設計手法については、歩行者の不安感などの心的負担を軽減する構造が望まれるにも関わらず関連する知見に乏しく、設計に関するガイドラインも国内では整備されていないのが現状である。

そこで本研究では、わが国で導入事例が少ない二段階横断方式における交通島について、その望ましい設計手法を歩行者の心的負担軽減の観点から検討することを目的とする。具体的には **Virtual Reality**（以下、VR）を用いて、交通島を有する二段階横断方式を仮想空間内に再現し被験者に横断してもらうことで、交通島の構造条件（幅や形状、防護設備の有無等）が歩行者の横断挙動や交通島滞留時の心的負担に及ぼす影響を明らかにする。さらに、これら知見に基づき、大型車混入率や交通量等の道路交通条件に応じて、横断者の不安感を低減させる交通島の設計要件に関する知見を得るためのケーススタディを行う。

2. 研究の経過

2.1 研究方法

本研究で構築する VR 実験環境は、図 1 に示すように単路部の無信号横断歩道を仮想空間内に再現するものである。被験者は、教室程度の広さのスペース内で自由に移動が可能なバックパック型 VR 用 PC を背負い、頭部に装着したヘッドマウントディスプレイ (HMD) を通じて表示される仮想空間内の横断歩道を被験者が車両の合間を縫いながら様々な道路条件下で横断を試みる。VR 実験で考慮する要因としては、防護設備 (4 種)、交通島幅 (4 種)、ゼブラの有無 (2 種)、交通量 (4 種)、大型車混入率 (2 種)、車両速度 (4 種) とした。車両は横断歩道の上流 250m の地点より発生させ、一定の速度で横断歩道を通過するものとした。なお、横断距離を一定にするため道路幅は 9m で固定し、交通島幅に応じて路肩を縮小させる。実験計画法に基づき作成した 16 通りの実験パターンを表 1 に、VR 空間内での交通島における防護設備の設置イメージを図 2 に示す。

実験は、2020 年 12 月 4 日～2021 年 2 月 8 日にかけて実施し、被験者については、新型コロナウイルス感染症拡大の影響により、当初予定の高齢者および非高齢者 10 名ずつ計 20 名を変更し、群馬高専の学生 20 名 (19～21 歳、男女 10 名ずつ) とした。被験者への負担を軽減するため、全 16 パターンを 2 分割した 8 パターンを実験順序がランダムになるよう被験者に割り当てた。なお、被験者は各パターン 2～3 回ずつ横断歩道を往復するものとし、実験開始前には VR 環境や二段階横断方式に習熟してもらうために十分な歩行練習をした後に実験を開始している。

2.2 収集データおよび分析方法

被験者の横断時の不安感および不快感を評価するため、各パターンの横断実験終了後に被験者に対してアンケートを行った。アンケートでは、総合的な不安感および不快感に加え、安全確認のしやすさ、渡りやすさ等を 5 件法により尋ねた。同時に、横断時の待ち時間や左右の首振り回



図 1 VR による二段階横断実験のイメージ

表 1 本研究で考慮する要因・水準と実験パターン

No.	防護設備の種類	交通島幅 [m]	ゼブラの有無	交通量 [台/h]	大型車混入率 [%]	車両速度 [km/h]
1	C	1.0	なし	800	20	40
2	B	1.0	あり	400	0	30
3	S	1.0	あり	1000	20	50
4	G	1.0	なし	600	0	60
5	C	1.5	なし	400	0	50
6	B	1.5	あり	800	20	60
7	S	1.5	あり	600	0	40
8	G	1.5	なし	1000	20	30
9	C	2.0	あり	600	20	30
10	B	2.0	なし	1000	0	40
11	S	2.0	なし	400	20	60
12	G	2.0	あり	800	0	50
13	C	2.5	あり	1000	0	60
14	B	2.5	なし	600	20	50
15	S	2.5	なし	800	0	30
16	G	2.5	あり	400	20	40

C: コンクリートバリア, B: ボラード, S: 緑石, G: ガードパイプ×緑石

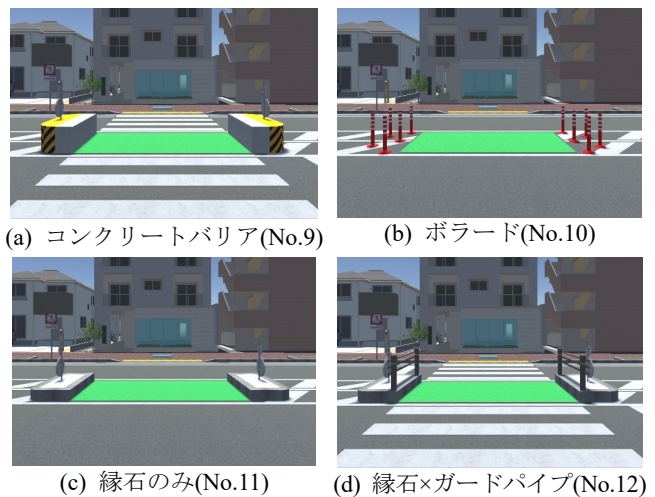


図 2 交通島における防護設備の設置イメージ

数についても計測を行った。また、アンケート等の主観的指標のみでは計測が困難な被験者の潜在的な心的ストレスについても把握するため、実験中の被験者には心拍計を装着してもらうことで心拍間隔データを取得した。本研究では、心拍間隔データから得られるストレス評価指標の一つである Lorenz Plot (LP)に着目し、実験時と安静時の LP 面積の比を被験者ごとに算出し、実験パターンごとに比較することで、心的ストレスに及ぼす影響要因の抽出を試みた。

2.3 実験データの統計的モデル分析

収集した実験データに基づく統計的モデル分析を通じて、交通島の構造条件（幅や形状、防護設備の有無等）が歩行者の横断挙動や心的負担に及ぼす影響について考察した。とりわけ歩行者の心的負担については、不安感等の主観的指標および心拍データ等の客観的指標に、交通島の構造条件や交通状況がどの程度、影響を及ぼすのかについても分析を試みた。

3. 研究の成果

3.1 不安感・不快感に関する被験者の回答状況

実験パターンごとの横断時の不安感・不快感に関するアンケート結果をそれぞれ図 3 および図 4 に示す。図 3 の不安感では、全体的に安心側の回答割合が高く、交通島幅が大きいほど不安感は低減する傾向にあり、逆に交通量が多いパターンでは不安感が増大する傾向にあることがわかる。一方で、図 4 の不快感では、交通島幅が狭いほど、また交通量が多く、横断待ち時間が長くなるほど不快感が増大する傾向にあることがわかる。

3.2 被験者の回答と各種指標間の相関分析

被験者の回答と各種指標間の相関分析を行った結果を表 2 に示す。これより、待ち時間は不快感と正の相関があり、待ち時間を少なくできれば不快感を低減できる可能性がある。渡りやすさは不安感よりも不快感と負の相関が強いことから、横断施設の工夫により渡りやすくすることで不快感をより低減できると考えられる。また、利用意向と守られ感の相関を見ると正の相関があることから、交通島滞留時に守られていると感じやすい横断施設を設置することで、利用意思が向上することがわかる。このことから、二段階横断施設を利用者に利用してもらうためには、守られていると感じることのできる防護設備を設置する必要があるとわかる。利用意向と渡りやすさを

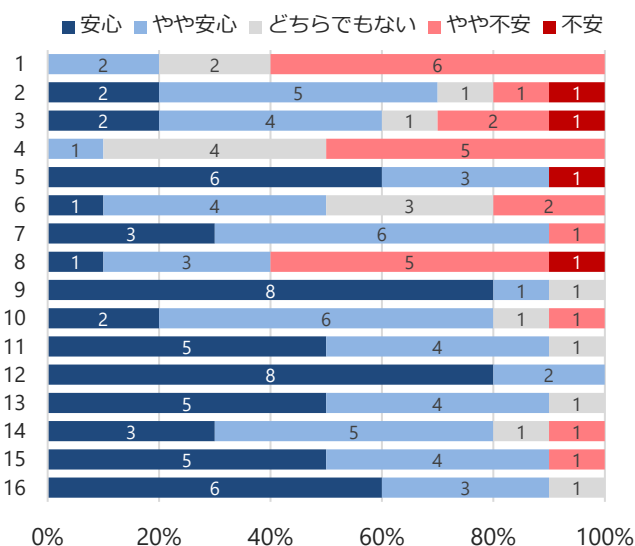


図 3 実験パターンごとの不安感の回答状況

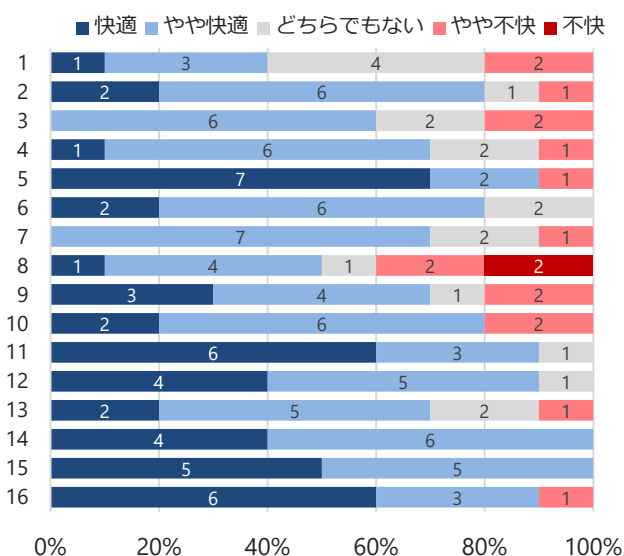


図 4 実験パターンごとの不快感の回答状況

見ると正の相関があることから、渡りやすい横断施設は利用意向を高めることがわかる。さらに、安全確認の行いやすさと渡りやすさを見ると正の相関があることから安全確認のしやすさを向上させることで渡りやすさも向上することがわかる。

3.3 横断時の不安感に関するモデル分析

3.1 の不安感に関するアンケート結果に基づき、横断時の不安感に及ぼす要因を順序ロジットモデルにより明らかにした。説明変数には実験で考慮した要因である交通島幅、ゼブラの有無、防護設備の種類、交通量、大型車混入率、車両走行速度を、目的変数には不安感の回答結果 5 段階に基づき推定した。推定結果を表 3 に示す。全体的なモデルの推定精度は必ずしも高くはなく、有意でない係数もみられるが、符号条件は概ね妥当な結果が得られた。推定結果より、交通量、大型車混入率が増加するほど、車両走行速度が高いほど、交通島幅が狭くなるほど不安感は増大する一方、ゼブラや防護設備が存在することで不安感は低減することがわかる。交通量の多い道路区間では不安感低減のために十分な交通島幅を確保することが望ましく、交通島幅が十分確保できない場合は、適切な防護設備を設置することで二段階横断施設利用者の不安感を抑制できることが示唆される。

3.4 横断時の心拍ストレスに及ぼす要因分析

被験者の横断時の心拍ストレスに及ぼす影響要因について分析するため、LP 面積比（横断時／安静時）を被験者ごとに標準化した上で、横断時の各種要因ごとに分散分析を行った。その結果、車両走行速度および大型車混入率の違いで有意差がみられた（表 4）。また、LP 面積比の標準化得点を目的変数に、横断時の各種要因を説明変数とした重回帰分析を行ったところ、表 5 の結果が得られた。決定係数は低いものの、大型車混入率および車両走行速度は負に有意であることから、大型車混

表 2 主観・客観指標の項目間の相関分析結果

	守られ感	車両速度	圧迫感	渡りやすさ	安全確認	待ち時間	利用意向	停止台数	不安感	不快感
守られ感	1.00									
車両速度	-0.06	1.00								
圧迫感	-0.51	0.08	1.00							
渡りやすさ	0.48	0.02	-0.41	1.00						
安全確認	0.54	-0.10	-0.30	0.59	1.00					
待ち時間	-0.07	-0.15	0.29	-0.37	-0.16	1.00				
利用意向	0.63	-0.01	-0.35	0.52	0.35	-0.25	1.00			
停止台数	-0.12	0.14	0.05	-0.09	0.05	-0.05	-0.22	1.00		
不安感	-0.68	0.16	0.63	-0.55	-0.53	0.18	-0.56	0.12	1.00	
不快感	-0.40	-0.03	0.55	-0.64	-0.39	0.58	-0.53	0.11	0.61	1.00

表 3 不安感評価モデルの推定結果

説明変数	係数	t 値
交通量[台/時]	0.00185	2.55*
大型車混入率[%]	0.0270	1.77
車両走行速度[km/h]	0.00501	0.370
交通島幅[m]	-1.72	-5.75***
ゼブラダミー	-0.977	-3.17**
コンクリートバリアダミー	-0.815	-1.89
縁石ダミー	-0.668	-1.59
縁石×ガードパイプダミー	-0.138	-0.328
閾値 (-2 -1)	-2.94	-2.83**
閾値 (-1 0)	-0.926	-0.913
閾値 (0 +1)	-0.134	-0.132
閾値 (+1 +2)	2.27	2.03*
ρ^2 値	0.0767	
サンプルサイズ	160	

*** p < 0.001; **p < 0.01, *p < 0.05

表 4 LP 面積比標準化得点の分散分析結果

車両走行速度	自由度	偏差平方和	平均平方和	F 値
速度[km/h]	1	7.33	7.33	7.95**
残差	69	63.7	0.923	

大型車混入率	自由度	偏差平方和	平均平方和	F 値
大型車混入率[%]	1	6.76	6.76	7.26**
残差	69	64.2	0.931	

*** p < 0.001; **p < 0.01, *p < 0.05

表 5 LP 面積比標準化得点の重回帰分析結果

説明変数	係数	t 値
切片	0.945	2.04*
大型車混入率[%]	-0.0299	-2.74**
車両走行速度[km/h]	-0.0278	-2.86**
自由度調整済み決定係数	0.169	
サンプルサイズ	80	

*** p < 0.001; **p < 0.01, *p < 0.05

入率および車両走行速度が高くなるほど LP 面積の標準化得点が低下、すなわち、横断時に緊張することで横断者のストレスが高まることわかる。

3.5 交通条件に応じた二段階横断施設の設計手法

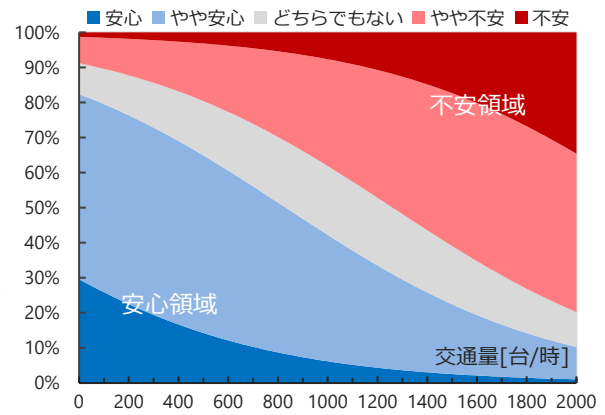
3.3 の不安感評価モデルを用いて交通量に応じた二段階横断施設の設計手法について検討した。

図 3 は、交通島幅 1.0m、ゼブラなし、車両走行速度 50km/h、大型車混入率 20%、防護施設が縁石のみのケースについて、交通量の応じた横断者の不安感レベルの構成比を推定した結果である。これにより、二段階横断施設の様々な設計条件下で、交通量に応じた横断者の不安感レベルを推定することが可能となる。この結果について、不安感レベルが「安心」「やや安心」をレベル A、「どちらでもない」をレベル B、「やや不安」「不安」をレベル C として集約化し、加えて交通島幅も変化させたときの不安感レベルを整理した結果が表 6 である。こ

れより、例えば往復交通量が 1,200 台/時 (=片側 600 台/時) の道路区間では、交通島幅を 2.0m 以上確保することで、レベル A を達成できることになる。以上のように、本研究を通じて二段階横断施設の設置対象となる道路の交通条件等に応じて、交通島の設計条件を変更した際の横断者の不安感が予測可能になるとともに、不安感を一定レベルに軽減するために必要な交通島の設計条件の検討に際して有用な知見を得ることができた。

研究成果発表

石井裕樹・鈴木一史：VR による道路交通条件に応じた二段階横断施設の利用者評価，第 48 回土木学会関東支部技術研究発表会，2 頁，2021 年 3 月 1 日発表済み。



※計算条件：交通島幅 1.0m、ゼブラなし、縁石のみ、走行速度 50km/h、大型車混入率 20%

図 5 交通量に応じた不安感レベルの構成比

表 6 交通量・交通島幅に応じた不安感レベル

交通量 [台/時]	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
1.0	A	C	C	C	C	C	C	C	C	C
1.5	A	A	A	A	A	C	C	C	C	C
2.0	A	A	A	A	A	A	A	A	C	C
2.5	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A

※計算条件：大型車混入率 20%、速度 50km/h、ゼブラなし、ガードパイプ×縁石

4. 今後の課題

本研究では、二段階横断施設における横断時の歩行者不安感等を道路交通条件や交通島構造の観点から VR による歩行者実験により評価した。その結果、交通島幅と交通量が不安感に影響を及ぼしており、防護設備の違いによって不安感に及ぼす影響も異なることを明らかにした。今回の分析結果は、実験パターン数に比して少ない被験者に基づく結果であるため、被験者を増やした実験を行うことが課題である。また、20 歳前後の男女 20 名の限られた被験者による実験結果に基づくものであり、被験者の属性に強い偏りがあることは否めない。今後は高齢者等も含めた被験者実験を行うことで、高齢者の歩行中事故に対する対策としての二段階横断の有効性についても検討していくことが課題として挙げられる。