

歩車道の境界に設置されたボラード列が 歩行者にもたらす安心感に関する研究

A Study on the Sense of Safety Brought to Pedestrians by Bollard Arrays

○中村 恭久^{*1}, 吉岡 陽介^{*2}
Takahisa NAKAMURA^{*1}, Yohsuke YOSHIOKA^{*2}

*1 千葉大学大学院 融合理工学府 創成工学専攻 建築学コース 博士前期課程
Graduate Student, Graduate School of Science and Engineering, Chiba University

*2 千葉大学工学研究院 准教授 博士(工学)
Associate Professor, Graduate School of Engineering, Chiba University, Doctor of Engineering

キーワード：ボラード；歩行者；没入型仮想環境；視点高さ；
Keywords: Bollard; pedestrian; immersive virtual environment; eye height.

1. はじめに

本研究では没入型仮想環境を用いた2つの被験者実験により、ボラードの高さと間隔の関係が歩行者に与える安心感を検証する。この研究の目的は、実験結果の定量的な分析により、ボラードの寸法や配置計画の適正化に資する知見を得ることである。

ボラードとは自動車の進入を抑制するために設置されるポールのことである。寸法や設置基準についての検討が十分になされていないため、様々な形状のボラードが存在している¹⁾。また、一般的なボラードは自動車の衝突は想定されておらず、強度基準が定められていないものも多い²⁾。そのため、車両制御の観点のみからボラードの寸法を議論するのは十分とはいえない。ボラードの寸法を歩行者の行動特性から研究した例として、ボラード列が避難時の群衆流動に与える影響の研究³⁾や、ボラードによるひたたくり阻止効果の研究⁴⁾などが挙げられる。しかしボラードが歩行者にもたらす心理的影響を研究した事例はない。

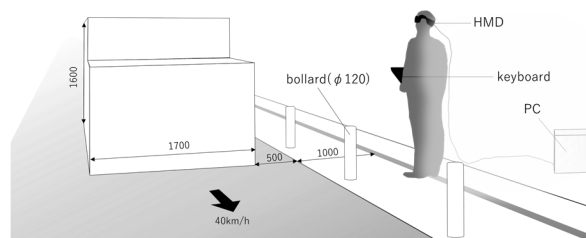


図1 実験空間の様子と寸法

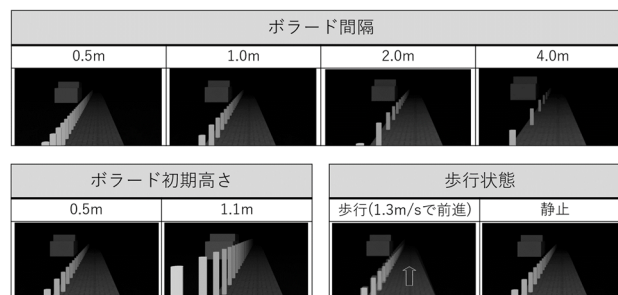


図2 実験条件

2. 実験 I

2.1. 実験概要

被験者は大学生 11 名（男性 8 名、女性 3 名）である。緊急事態宣言下であったため実験場所は各被験者の自宅である。被験者にヘッドマウントディスプレイ（以下 HMD、VIVE Pro Eye/HTC 社）を装着させ、仮想環境構築ソフトウェア（Vizard6.0/WorldViz 社）で作成した実験空間を体験させた（図 1）。空間内には、直線の歩道に沿って車道が続いており、歩車道を分離するようにボラードが並べられている。車道前方からは 40km/h で車が向かってくる。被験者には手元のキーボードを用いて、「安心できる高さ」にボラード高さを調節させた。被験者はこの操作を繰り返し、全 16 条件をランダムな順番で体験した。全条件終了後に google フォームを用いたアンケートを実施した。

2.2. 実験条件

「ボラード間隔」4 水準（0.5, 1.0, 2.0, 4.0m）、「ボラード初期高さ」2 水準（0.5, 1.1m）、「歩行状態」2 水準（歩行、静止）を掛け合わせた計 16 条件をランダムな順番で被験者に提示した（図 2）。「ボラード間隔」はフィールド調査での実測値を参考に設定した。0.5m の間隔は、極端に狭いボラード間隔がもたらす安心感についても検証するために設定した。「ボラード初期高さ」は、予備検討において被験者が安心感を覚えたボラードの平均高さ（0.8m）から、上下に 0.3m ずつ離れた値とした。「歩行状態」における歩行水準は、空間を 1.3m/s で直進する映像内で被験者に足踏みをさせることで再現した。静止水準では被験者は静止して空間を体験した。

3. 実験 I の結果と考察

「ボード間隔」「ボード初期高さ」「歩行状態」を要因として、調節後のボード高さについて多元配置分散分析を行ったところ、全要因で帰無仮説が棄却された ($p<0.05$, $p<0.05$, $p<0.01$)。そこで各要因について Bonferroni 法による多重比較検定を行った。

3.1. ボード間隔

ボード間隔が広がることで、調節後のボード高さが高くなる傾向があった (図 3)。間隔の広がりに伴う対向車への不安感増大を払拭するためであると推測できる。

一番広いボード間隔 4.0m と他の間隔の間では、多くの有意差が確認された。ボード間隔が 4.0m の場合はより高い値に調節しないと安心感が得られないことが示唆された。一方実験後のアンケートで、ボード間隔が広がると、ボードを高く調節しても安心感が得られないという回答も寄せられた。ボード間隔を 4.0m より広くすると、安心できる高さが定まらなくなる可能性がある。

一番狭いボード間隔 0.5m と他の間隔の間でも多くの有意差が確認された。本実験でのボード間隔とはボード間の中心間距離である。ボードの直径が 0.12m であるため、ボード間隔 0.5m でのボード間の隙間は 0.38m しかない。ボードが連続する一枚の壁のように認知されたことで安心感を得やすかったと考えられる。

3.2. 歩行状態

ボード間隔の各水準において、歩行状態の違いによるボード調節値に有意差はなかった (図 3)。ただし静止水準においてのみ、ボード間隔 1.0m と 2.0m の水準間で、調節後のボード高さの有意差が確認された ($p<0.05$)。被験者が静止していたことで、ボード間隔の変化を認識しやすかったためであると考えられる。反対に歩行水準では、前進する映像の速度を被験者自身が制御できなかった。そのため、1.0m と 2.0m のボード間隔の差異を認識することが難しく、調節値に有意差が生じなかったと考える。

3.3. ボード初期高さ

全てのボード間隔において、初期高さが 0.5m の条件より 1.1m の条件のほうが調節後のボード高さが高かった (いずれも $p<0.01$) (図 4)。これは実験手法の性質上生じた差であるが、ボード間隔が広がると調節後のボード高さが線形に増加する傾向はどちらの初期高さにも共通である。初期高さの違いによる調節値の差は、どのボード間隔においても約 5cm である。初期高さ 0.5m のときは、はじめの危険な状態と比較して安心できる高さに調節し、初期高さ 1.1m のときは、はじめの安心な状態と比較して安心感が低下する高さに調節する。したがって、5cm の差分は安心感の捉え方の違いによるものと考えられる。

3.4. アンケート結果による被験者の分類

実験後のアンケートでボードの高さを調節した際の根拠を複数回答で尋ねた (図 5)。また、図 6 と図 7 はそれ

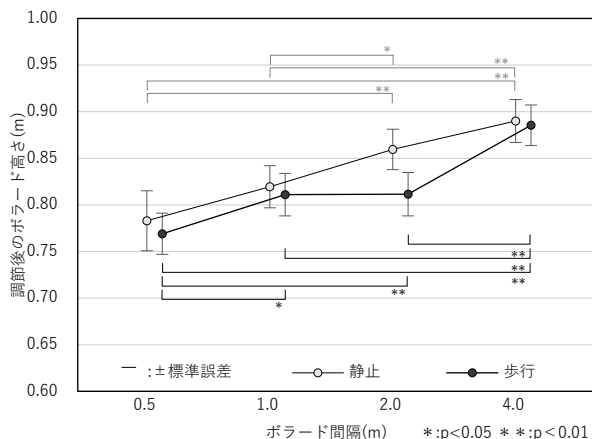


図 3 ボード間隔と調節後のボード高さ

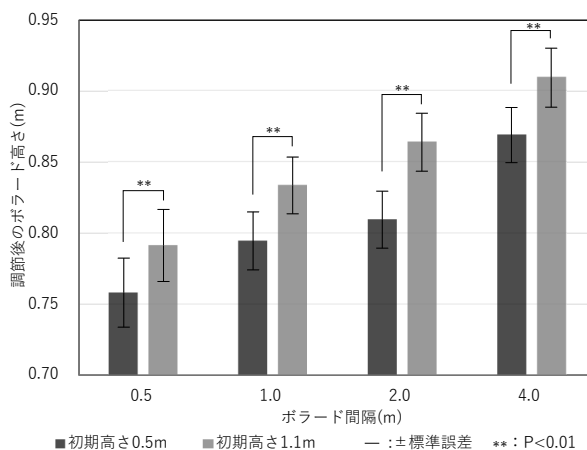


図 4 ボード初期高さと調節後のボード高さ

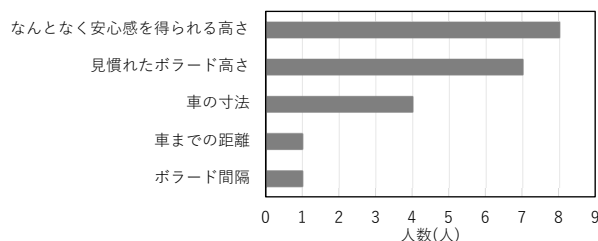


図 5 ボード高さ調節の根拠

ぞれ「なんとなく安心感を得られる高さ」「車の寸法」と答えた被験者のボード調節値をその他の被験者と比較したものである。図 6 と 7 より、直感的にボード高さを調節した被験者は、調節後のボード高さが比較的低くなっているのに対し、車の寸法に着目した被験者は調節後のボード高さが比較的高くなっていることが分かった。車の寸法とボード間隔を比較して、車が歩道内に侵入する状況を想定することで安心感が低下し、結果としてボードが高い値に調節されたと考えられる。

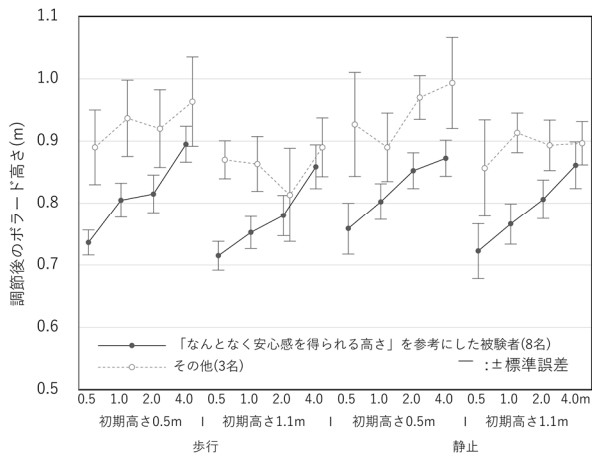


図6 「なんとなく安心感を得られる高さ」を根拠にした被験者とその他の被験者の調節後のボラード高さ

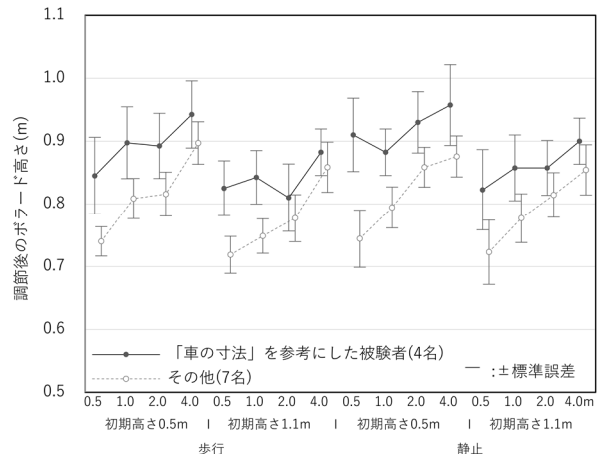


図7 「車の寸法」を根拠にした被験者とその他の被験者の調節後のボラード高さ

3.5. 被験者の身長と安心できるボラード高さ

11名の被験者の平均身長は約170cmであった。そこで、170cm未満の4名と170cm以上の7名の2群に分けて、調節後のボラード高さについてt検定を行った。その結果、170cm以上のグループの調節後のボラード高さは、170cm未満のグループに比べ約9cm高かった($p < 0.01$)。これは、被験者の身長(≒眼高)が調節後のボラード高さに影響を与えることを示唆している。しかし眼高の影響について言及するには被験者数が十分とは言えない。そこで仮想空間内の眼高を操作し、歩行者の視点高さとボラードがもたらす安心感の関係を検証する追加の実験を行った。

4. 実験II

4.1. 実験概要

被験者は大学生10名(男性5名、女性5名)である。実験は千葉大学工学部10号棟215教室で行った。被験者にHMDを装着させ、実験Iと同様の実験空間を体験させた(図1)。ただし実験IIでは、空間内の地面の高さを操作し、疑似的に特定の「視点高さ」を被験者に体験させた。

4.2. 実験条件

「ボラード間隔」4水準(0.5, 1.0, 2.0, 4.0m)、「ボラード初期高さ」2水準(0.5, 1.1m)に、新たに追加した「視点高さ」3水準(1.230, 1.480, 1.594m)を掛け合わせて計24条件を用意した。3つの視点高さはそれぞれ、9歳児、成人女性、成人男性の日本人平均眼高を想定している⁵⁾。実験Iの変数であった「歩行状態」は歩行水準に統一した。

5. 実験IIの結果と考察

「ボラード間隔」「ボラード初期高さ」「視点高さ」を要因として、調節後のボラード高さについて多元配置分散分析を行ったところ、「ボラード間隔」「視点高さ」による主効果が確認された。そこで特に「視点高さ」についてBonferroni法による多重比較検定を行い分析した。

5.1. 視点高さと調節後のボラード高さ

ボラード間隔ごとのボラード調節値の推移を視点高さ別に示す(図8)。どの視点高さにおいても、ボラード間隔が広がると調節後のボラード高さが高くなっている。また、特にボラード間隔が2.0mと4.0mの時は、視点高さが低くなると調節後のボラード高さも低くなった。

視点高さ1.230mの水準は、どのボラード間隔においても、他の視点高さよりも調節後のボラード高さが有意に低くなっていた。1.230mの視点高さは他の視点高さより25cm以上離れており、10名中7名の被験者が視点高さの操作に気が付いた。そのためボラードの調節値も明示的に変化したものと考えられる。一方で視点高さ1.480mと1.594mの2水準の違いを明確に区別できた者はいなかった。ただ、ボラード間隔が2.0mと4.0mのときは2つの視点高さ間で有意に調節値に差があることから、視点高さの違いが無意識的にボラードの高さ調節に影響を与えた可能性がある。

5.2. 視点高さに対する調節後のボラード高さ割合

実験後のヒアリングから、「視点が低いときはボラードが高くないと怖い」「視点が低いときはボラードが低くても安心できる」といった相反する回答が寄せられた。前者の回答は、図8の結果から確認することができない。そこで、被験者の視点高さに対する調節後のボラード高さ割合(調節後のボラード高さ/視点高さ)を条件ごとに求め、分散分析及びBonferroni法による多重比較検定を用いて分析した(図9)。視点高さ1.230mでの視点高さに対する調節高さの割合は、他の視点高さと比べて有意に高いことが分かった。このことは、視点高さが低くなると、被験者自身の寸法に対して高いボラード高さを望んでいることを表している。一方で、視点高さ1.480mと1.590mにおける視点高さに対する調節後のボラード高さ割合の推移を見ると、ボラード間隔が狭い0.5mと1.0mの水準では有意な差が確認されたが、ボラード間隔が広がると差が小さくなっている。この点については追加の検証が必要である。

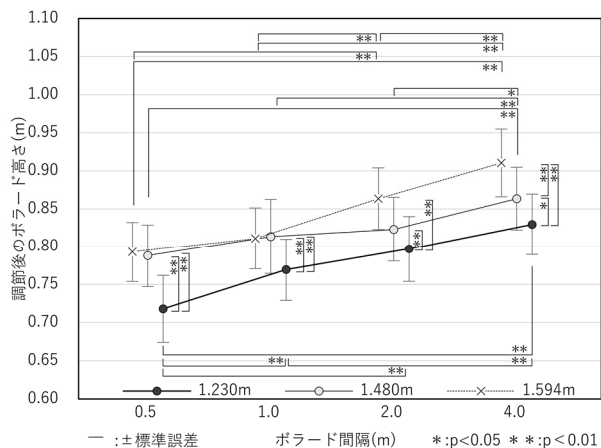


図8 視点高さ と調節後のボラード高さ

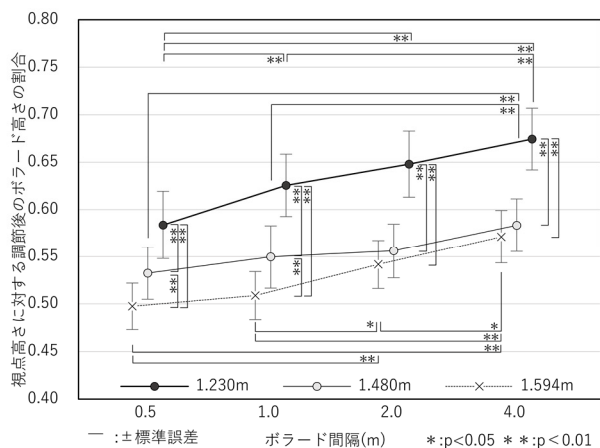


図9 視点高さに対する調節後のボラード高さ割合

6. まとめ

本研究では、車が走行する仮想環境内でボラード高さを調節させる被検者実験を行い、歩車道の境界に設置されたボラードが歩行者に与える安心感を測定した。2つの実験の定量的な分析を通して、ボラードの寸法と歩行者が感じる安心感との関係について以下の知見を得た。

- ボラードの間隔が広がると、ボラードの高さが低くないと安心できなくなることが分かった。ボラードの間隔が1.0mであれば、0.85m程度のボラード高さで安心感を得ることができたが、間隔が4.0mになると、安心できる高さが0.90m程度まで増加した。
- 身長（眼高）が低い歩行者は、絶対的なボラード高さが低くても安心できることが分かった。眼高が1.230m程度の歩行者（9歳児）は、眼高が1.594m程度の歩行者（成人男性）よりも5～10cm程度低いボラード高さでも安心することができる。
- しかし身長（眼高）に対するボラードの高さの割合をみると、身長（眼高）が低い歩行者ほど、身体寸法に対して高い割合のボラードを求める傾向にあることが分かった。これはすなわち、歩行者の身体寸法の増減と安心できるボラード高さの増減が単純な比例関係ではないことを示している。

以上より、車が対向走行する環境下で効果的に歩行者の安心感を生み出すためには、ボラードの間隔を狭くすることやボラードの高さを高くすることが有効であるといえる。今回の実験設定に限った数値ではあるが、ボラードの間隔が1.0m程度であれば高さを0.85m以上に、間隔が4.0m程度であれば、高さを0.9m以上にすることで、平均的な日本人の成人男性も安心できることが示された。

本研究の実験では、仮想空間内での歩行速度、車の速度や出現頻度等の周辺環境を統制して行った。現実空間ではこれらの要素が安心感に影響を与えることが予想される。

また、実験Ⅱで行った仮想空間内での眼高操作に関しては、空間の距離知覚に一定の影響を与えることが指摘されている⁶⁾。加えて当然のことながら、眼高の疑似的操作によって、その視点高さの人間の心理的感覚までを全て再現できるわけではない。実際に眼高が異なる被験者のデータを集めるなどの方法によって、より正確な議論ができるようになることを考える。今後そのような観点を考慮して実験を進めていくことで、ボラード配置計画に関するより汎用的な知見を獲得したい。

【参考文献】

- 1) Choi, S., Morita, Y.: The Product Characteristics and Design Problems of Bollards Settings - A Study on Public Product Design of Urban Environmental Installations (1), BULLETIN OF JSSD, Vol. 45, No. 6, pp. 55-64, 1999.
- 2) 安藤和彦: 車両の衝突を想定したボラード構造に関する検討, 土木技術資料, Vol. 8, No. 58, pp. 62 - 65, 2016.
- 3) Galea, E. R., Cooney, D., Sharp, G. G., Gwynne, S.: The Impact of Security Bollards on Evacuation Flow, Human Behaviour in Fire, Proceedings 6th Int Symp 2015, Interscience Communications Ltd, London, pp. 131-142, 2015.
- 4) Tanaka, Y., Hino, K., Yatogo, T.: The experiment about close prevention of a purse-snatching by bollard establishment -Ergonomic Experiments for prevention of purse-snatching (2), Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, pp. 263-264, 2015.9 (in Japanese) 田中賢, 樋野公宏, 八藤後猛: ボラード設置によるひったくりの接近阻止に関する実験研究, 人間工学実験によるひったくりの被害回避方策の研究2, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), 建築社会システム, pp. 263-264, 2015.9
- 5) 日本建築学会: 第3版コンパクト建築設計資料集成, 丸善出版, pp. 45, 2005.
- 6) Leyrer, M., Linkenauger, S. A., Bühlhoff, H. H., Mohler, B. J.: The importance of postural cues for determining eye height in immersive virtual reality, PLoS one, Vol. 10, No. 5, 2015.