

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*

Development of Bicycle Hump for cycling speed reduction and separation from pedestrians*

山中 英生**・滑川 達***・大下 剛****

By Hideo YAMANAKA**・Susumu NAMERIKAWA***・Tsuyoshi OSHITA****

1. はじめに

我が国の自歩道では自転車、車椅子、歩行者が混在し、錯綜や接触事故などの問題が指摘されている。とくに、交通バリアフリー法以降、歩道等において、老人や車椅子にも配慮した良好な通行環境の確保に関心が高まっており、その中で、自転車交通の処理や制御は重要な課題となってきた。各交通主体の快適性や安全性の向上のため、空間的な分離や拡充の施策が進められてきているが、走行空間を物理的に分離することが難しい多くの自歩道では、混在する交通の整序化を図ることが重要であり、自転車の通行位置の誘導や徐行を促す施策の開発が望まれる。

本研究は、交通主体の路面振動に対する選好特性に着目し、自転車が忌避性をもつ舗装路面を開発することで、歩行者、車椅子などの空間から自転車の通行を誘導したり、自転車速度を抑制する方法の開発を目的としている。

このため、ゴム製の小型ハンプを作成し、高齢者を含む健常者による自転車走行時、歩行時と身障者車椅子走行時の体感評価実験、および通過速度を変化させた時の振動特性を計測し、最適な形状、間隔を求めた。

2. ハンプ型デバイスの検討

乗り物の振動や、自転車、車椅子の振動に対する研究などの既存研究では、振動周波数によって人の感度は異なる事が知られている。例えば、全身振動に関する評価法を示しているISO-2631-1(1997)¹⁾では、鉛直方向の振動に対しては5~10 Hzの振動周波数でピークを持ち、その両側(低周波、高周波)ではなだらかに低下する振動数加重特性を示している。5 Hzは人体の内臓の共鳴

*キーワード: 歩行者・自転車交通計画、道路計画

**正会員 工博 徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部 教授(徳島県徳島市南常三島町2丁目1番地

TEL088-656-7350, FAX088-656-7579

E-mail yamanaka@ce.tokushima-u.ac.jp)

***正生員 工博 同上 助教授

****学生員 徳島大学大学院建設創造システム工学コース

振動数とされ、この付近の振動数では不快となることが予測できる。また、車椅子²⁾、自転車³⁾の体感と周波数別振動との関係を分析した研究では、3.15 Hz, 5 Hzの周波数帯との関連が強いことが指摘され、筆者らの研究⁴⁾では2~6 Hzの振動と関連が強いことが示されている。

そこで、自転車ではこの不快な周波数の振動となり、低速の車椅子では不快に感じない周波数となる小型ハンプを作成した。自転車の走行速度を時速11km~18kmとすると、2~6 Hzの波長は0.5m~2.5mとなる。タイヤ接地面がこの波長のサインカーブを形成するように、上記の振動を擬似的に発生させる路面パターンを想定する。ただし、底辺長が1m以上のハンプは施工性から見て問題があると考えられる。そこで、図1のような台形ハンプを間隔をあけて設置することで近似することとした。

学生による体感実験を実施した既存研究⁵⁾の結果をもとにして、本研究では表1に示す高さ1cm, 0.8cm, 底面長が50cmのハンプ形状3種類を対象とした。高さ1cm~0.8cmは歩道段差に多い2cmと、視覚障害者誘導用タイルの突起5mmの中間値となっている。各ハンプの勾配は1/25, 1/20, 1/15となっており、自動車用の台形ハンプで用いられる値と同等か、もしくは緩い勾配を採用している。写真1にハンプの外形を示す。

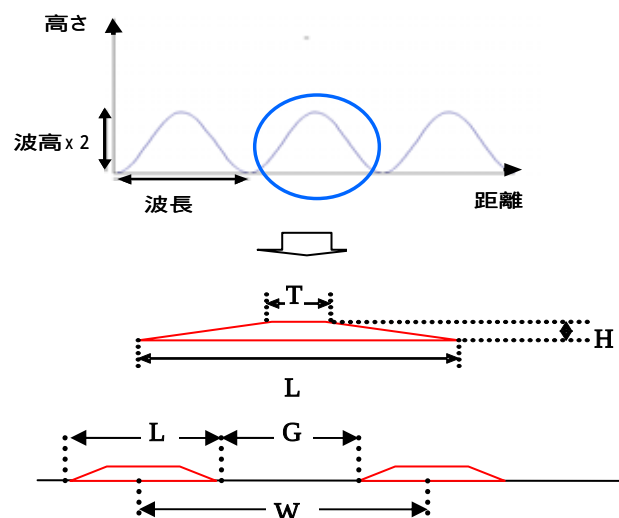


図1 想定した自転車用ハンプ

3. 体感評価と振動計測実験

(1) 健常者による体感評価実験

平坦な大学内道路約15メートルの区間にゴム製のハンプを間隔をあけて設置し、被験者に自転車、徒歩で片方向走行させて体感評価を行った。ハンプの形状と設置条件の組み合わせを表1に示す。

被験者は大学生5名、高齢者5名の10名である。高齢者は自転車に乗車可能な人材を徳島市シルバー人材センターに派遣依頼した健常者である。自転車は高速（やや急いで走行）、中速（通常で速度で）の2種類で指示した。徒歩は通常の歩行速度を指示した。区間を走行する毎に、体感評価として、振動の感覚、細振動、衝撃、うねりの感覚、不快さ、通行しやすさ、について1（強）～5（無）の数直線上（目盛りは0.25刻みで32件）で選択させ、持続受忍性は4つの選択肢から選ばせた。また走行状況をビデオカメラで撮影し、実験区間の速度を計測した。写真2に実験状況を示す。

(2) 身障者車椅子による体感評価実験

大学内道路にハンプを設置して、日常車椅子を利用している身障者10名で走行時の体感評価を計測する実験を行った。障害種別は1種1級9名、1種2級1名である。被験者の時間制約からハンプ形状の異なるH1、4、7の3種類を対象とし、間隔は100cmのみとした。被験者は男5名女5名の10名で、普段の使用状況での走行とし、1名が自走、他の9名は介助付きでの走行となった。体感評価については健常者実験と同じ評価質問を用いた。通常で速度で走行するよう指示し、ビデオカメラにより速度を計測した。写真2に走行状況を示す。

(3) 振動計測実験

体感評価実験と同様に大学内道路にハンプを間隔において設置し、自転車と車椅子での走行時の振動計測を行った。ハンプの形状と設置条件は健常者体感評価実験で行った表1と同様である。

JIS B7760に基づく全身振動評価を行うため、車椅子の座席部、自転車のサドルと臀部の間にRION 振動ピックアップPV-62を設置し、振動レベル計VM-54を用いて計測した。使用した実験器具を写真3に示す。走行速度は健常者及び身障者車椅子実験で計測した通過速度をもとに表2のケースとした。なお、走行速度を一定とするため、自転車及び車椅子に速度センサーを付けて走行したが、分析にはビデオで計測した実速度を用いた。被験者は学生2名(20代男性)で車椅子、自転車、それぞれについて全ケース同じ被験者で走行した。振動評価には水平方向(前後左右)Wd、鉛直方向Wkとしている。3軸の方向倍率はすべて1とした。



写真1 ハンプ外形



自転車走行



車椅子走行

写真2 実験走行の概要



振動レベル計 VM-54



速度計

写真3 実験器具

表1 ハンプ形状と設置条件

NO	ハンプ形状				配置間隔	
	H(cm)	L(cm)	T(cm)	勾配	G(cm)	W(cm)
H1	0.8	50	10	1/25	100	150
H2					150	200
H3					225	275
H4	1	50	10	1/20	100	150
H5					150	200
H6					225	275
H7	1	50	20	1/15	100	150
H8					150	200
H9					225	275

表2 振動計測時の速度設定

自転車	7km/h	10km/h	15km/h	20km/h
車椅子	3km/h	5km/h	7km/h	10km/h

は水平方向(前後左右)Wd、鉛直方向 Wk としている。3軸の方向倍率はすべて1とした。

4. 体感評価の分析

体感評価の分析に用いた質問項目と選択肢，評点を表3に示す．

(1) 歩行時の体感評価

歩行者の通行しやすさについての評価結果を図2に示す．多少の不快を感じているケースが見られるが，大半は普通，またはそれ以上の評価となっている．図3の「歩行時にデバイスにつまずいたか？」の質問についても，気になるケースは見られなかった．高さが低く適当なすりつけ形状をもつハンプは歩行者には特に問題が無いと考えられる．

(2) 車椅子通行時の体感評価

図4は車椅子（身障者）の不快さに関する評価結果を示している．H1では不快と感じた人は0であるが，多少不快を感じる人が2人いる．他のハンプは不快を感じたとする人が1人いる．図5は自転車（高速走行時）の不快さに関する評価結果である．H7～H9のハンプ形状では他の設置方式に比べ不快を感じる人が多い．

図6は振動が持続することへの受忍性に対しての評価結果を示している．選択肢の「長くても耐えられる」と「長くなると耐えられない」の中間と答えた2名は「長くなると耐えられない」に追加している．H4，H7では「長くなると耐えられない」の指摘があるが，H1では見られない．

次に，車椅子についての評価点を縦軸にとり，速度による影響を調べた結果を図7に示す．このように，どのハンプにおいても通過速度が上がると評価が下がるのが分かる．近似回帰曲線からもこの傾向は有意であり，体感評価は速度に関係することがわかる．

ただし，すべての評価項目においてH4（■），H7（▲）の設置パターンより，H1（○）の設置パターンの方の評価点が良くなっており，特に通行しやすさの評価においてその傾向が顕著に見られる．

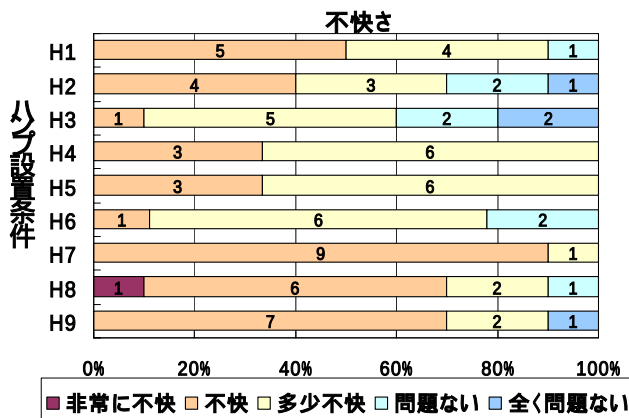


図5 自転車の高速走行時の不快さに対する評価

表3 体感評価の質問項目と選択肢

項目	質問方法	選択肢
振動体感	通行時に振動を感じましたか？	5=全く感じない 3=多少感じた 1=非常に強く感じた
細振動	上下にゆずられるような振動を感じましたか？	
衝撃	ガツンまたはコツンとくる衝撃は感じましたか？	
うねり	ゆっくりと上下にゆれるうねりは感じましたか？	
不快さ	全体として振動の不快さはどうでしたか？	5=全く不快に感じない 3=多少不快に感じた 1=非常に不快に感じた
通行しやすさ	通行しやすさはどうでしたか？	5=非常に通行しやすい 3=普通 1=非常に通行しにくい
持続受忍性	このような舗装の路面が続いたとしたらどう思いますか？	今回の長さで耐えられない 長くなると耐えられない 長くても耐えられる 長くても問題なく通行できる

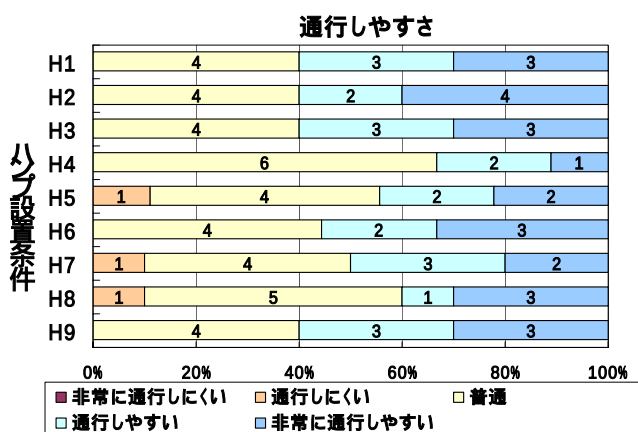


図2 歩行者の通行しやすさの評価

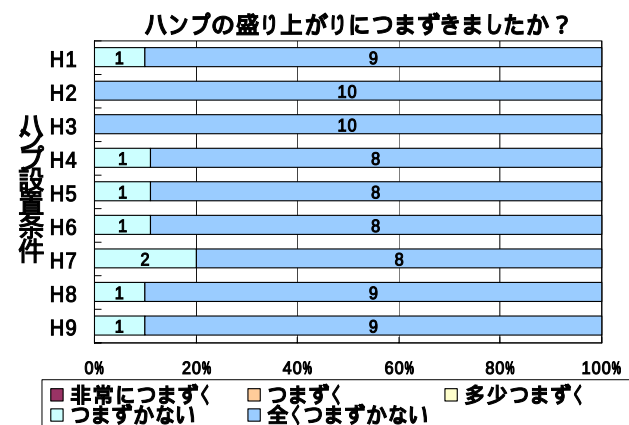


図3 ハンプの歩行に対する支障度の評価

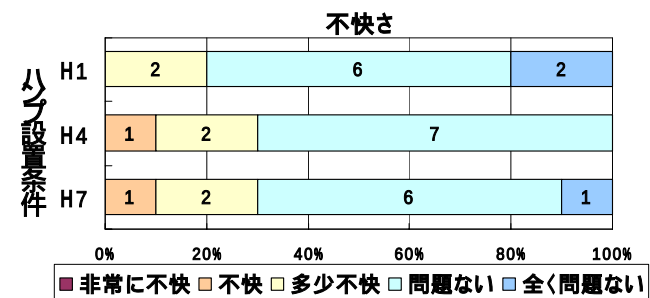


図4 身障者車椅子の不快さに対する評価

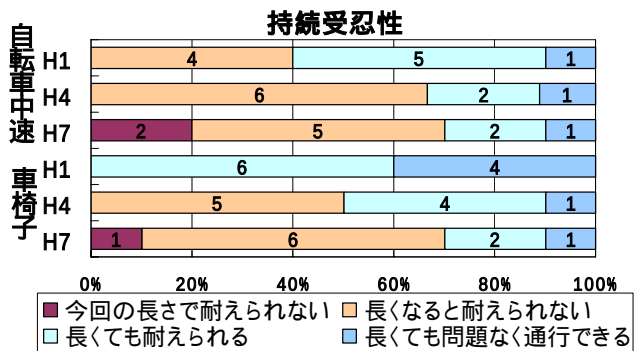


図6 持続受忍性の体感評価結果

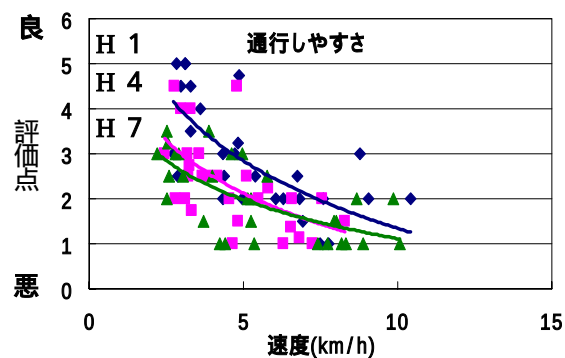
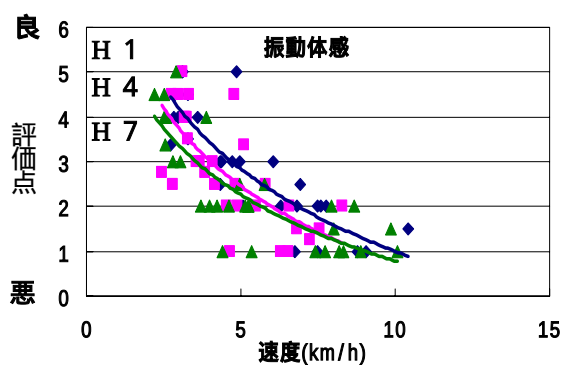
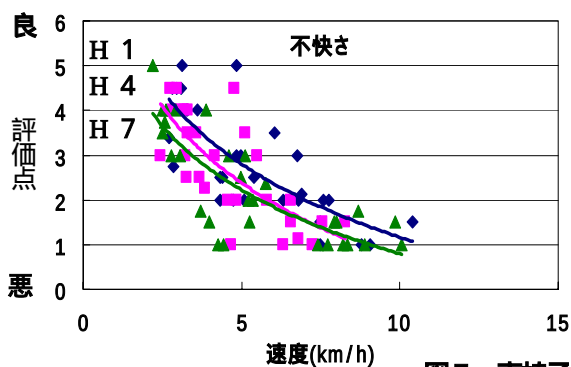


図7 車椅子の速度と体感評価値の関係

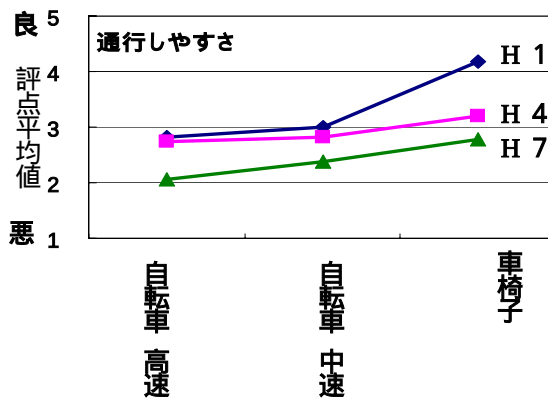
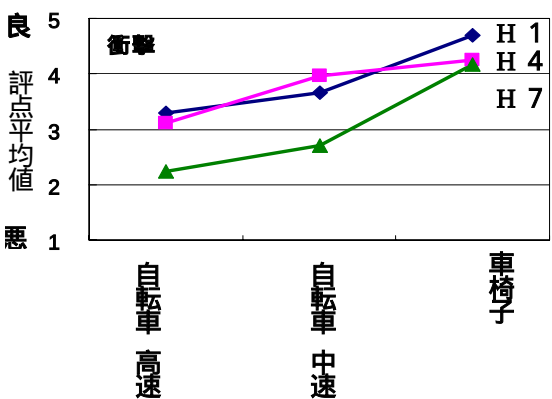
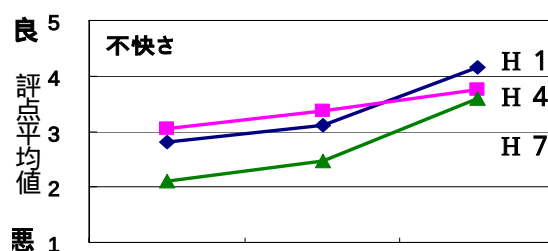
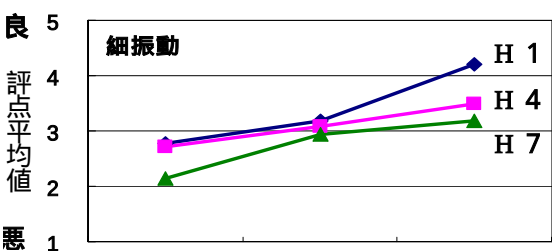
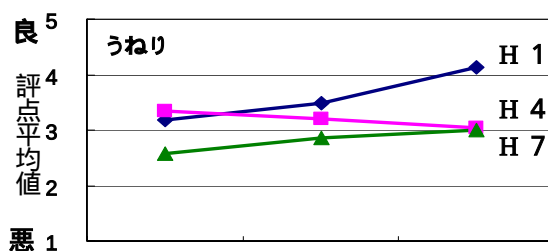
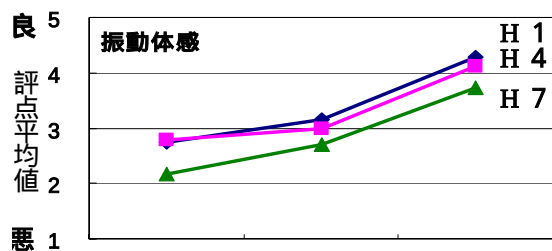


図8 振動に対する体感評価結果と通行しやすさ

(3)自転車と車椅子通行時の体感評価の差

図8はハンプ別に主体別体感の違いを比較するため、振動を感じるか？(振動体感)、上下にゆすられるような振動を感じるか？(細振動)、ガツンとくる振動を感じるか？(衝撃)、うねりを感じるか？(うねり)、通行時に不快を感じるか？(不快さ)、の各体感項目について、1(非常に感じる)から5(全く感じない)の評点を10人の平均をとり、自転車と車椅子による差をハンプ種類別に示している。速度の高い自転車には不快で、低速度には不快さが改善し、さらに車椅子は自転車より不快さが低くなるデバイスが理想的と考え、折れ線グラフが右上がりとなるデバイスが望ましい。図8の一部で自転車より車椅子の評点が低くなっているH4のうねりの評価を除くと、全てのデバイスのグラフは右上がりの良好な傾向が見られる。ハンプH1、H4に比べ、ハンプ勾配が大きいハンプH7はすべての交通主体で評点が悪くなっている。ハンプH1とH4の体感評価の差は全般に小さいが、高さの低いH1の方が細振動、衝撃、うねり、不快さ、通行しやすさでは、車椅子の評評価点が良くなる傾向にある。

特に衝撃、不快さでは、ハンプH1が自転車では評価点が低い車椅子では評価点が大きくなり、ハンプH4に比べ右上がりのグラフになっている。通行しやすさにおいてもハンプH1とH4の自転車高速、自転車中速の評評価点はかわらないが、ハンプH1の方が車椅子の評評価値が良くなる右上がりのグラフになっている。こうした傾向により、ハンプH4よりH1の方がより右上がりの理想状態に近いデバイスとなっていると言える。

上記の結果は、被験者が10名と少ないサンプルからの結果であるが、想定していた特性にほぼ合致した体感評価が得られたと言える。

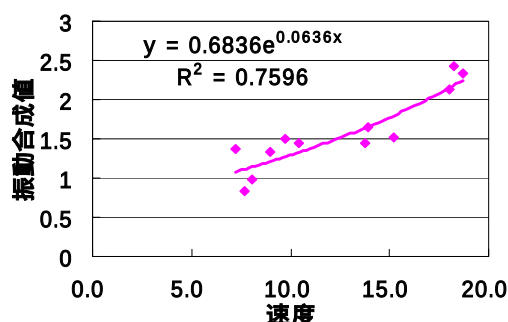


図9 H1 走行時の自転車の速度と振動合成値の関係

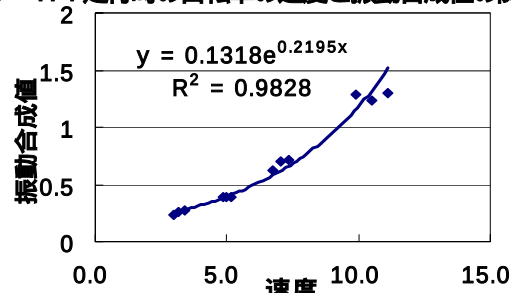


図10 H1 走行時の車椅子の速度と振動合成値の関係

5. 振動計測の分析結果

次に振動レベル計 VM-54 の計測結果を利用して、速度による影響を考慮したハンプの評価を行った。

JIS-B7760 では、振動合成値は振動の不快さ、快適性を示す指標と示しているが、振動加速度は走行速度に大きく影響される。一方、体感実験では正確な速度を維持できないため、速度にバラツキが見られ、そのことが体感評価に影響を与えていると考えられる。

そこで、計測した振動加速度から振動合成値を算出し、振動計測実験時の通過速度を用いて速度と振動合成値の関係をハンプ設置パターンごとに求めた。

一例として図9にH1を自転車で走行した時の振動合成値と速度の関係、図10にH1を車椅子で走行した時の振動合成値と速度の関係を示す。自転車、車椅子で走行した時の通過速度と振動合成値の関係は、いずれの設置方式でも良好な相関を示しており、回帰式の決定係数は自転車で0.75以上、車椅子で0.9以上と高い値で説明可能であった。

そこで回帰式を用いて、体感評価実験時の通過速度から振動合成値を推計して、自転車、車椅子の不快さの体感評価値との関係を整理した。この結果を図11、図12に示す。自転車、車椅子とも振動合成値が大きいと不快、やや不快の割合が増えている。

図13は不快と感じる人(不快、やや不快)の割合を非説明変数とし、振動合成値を説明変数として対数回帰した結果である。モデルによると、自転車より車椅子の方が振動に敏感に反応し、振動合成値が小さい値でも不快になりやすいことが分かる。

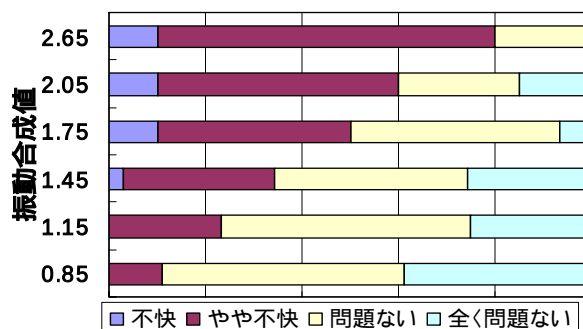


図11 自転車の不快さと振動合成値の関係

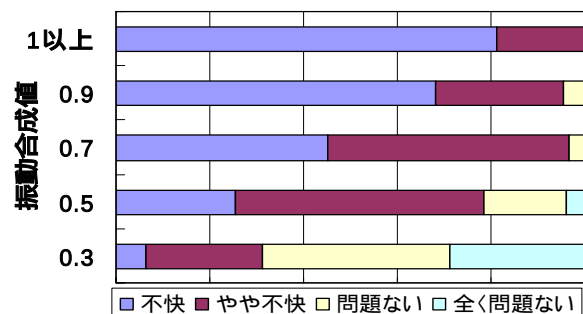


図12 車椅子の不快さと振動合成値の関係

図13の関係式から、走行時の振動合成値が分かれば、不快を感じる人の割合を推定することが出来る。そこで、9種類のハンプで自転車、車椅子の速度を車椅子 3 km/h、自転車 7 km/h、10 km/h、15 km/h、20 km/h とした場合について、振動合成値の測定結果から、各ハンプの不快と感じる人の割合を推計した結果を図14に示す。車椅子の速度を 3 km/h と固定し、自転車の速度を変化させた時の不快度をプロットしている。図上では左上に行くほど自転車には不快で車椅子には不快ではないハンプと言えます。H3やH6が左上にあり良好な結果と言える。H5では、他のハンプに比べ、縦に長い形状になっている。これは、自転車の速度が速いと不快と感じる人の割合が多く、速度を落とすと不快と感じる人の割合が

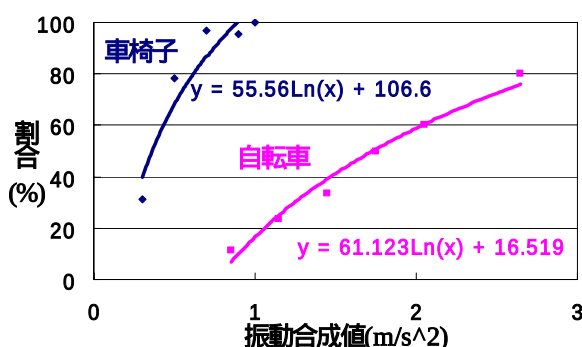


図13 振動合成値と不快と感じる人の割合の関係

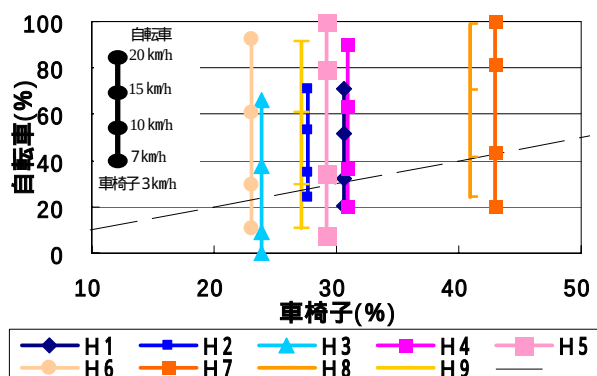


図14 ハンプ設置条件と自転車、車椅子の不快度

少なくなることを示している。このようなハンプは自転車の速度抑制効果を期待できると考えられる。ただし、車椅子の乗り心地を改善する必要があることには留意すべきであろう。

6. おわりに

今回の分析からは、高さ 0.8cm 下底 50cm のハンプが車椅子には受け入れられやすいと考えられ、振動計測(図14)では高さ 1cm 下底 50cm 上底 10cm のハンプを 225cm 間隔とするH6、高さ 0.8cm のハンプを 225cm 間隔とするH3が自転車には不快で車椅子には不快でない設置方式であり、通行区分誘導効果が期待できる。

坂道のような場所で自転車の速度抑制のみを目的とするならば、ハンプH5(高さ 1cm を 150cm 間隔)の設置方式も使用できると考えられる。

今後、ハンプ形状の製作方法の検討と、雨天時や夜間の安全性、実際に通行区分誘導効果、自転車速度抑制効果についての確認について分析が必要と考えている。

参考文献

- 1) JIS-7760-2: 全身振動 測定方法及び評価に関する基本的要求
- 2) 寺島, 角, 他: 路面平滑度に対する車椅子利用者の振動評価, 九州大学工学集報, Vol. 72, No. 3, 1999
- 3) 技研ニュース: 人は振動をどのように感じるか, 自転車産業振興協会技術研究所, 1999. 7
- 4) 酒井 茂樹, 山中 英生, 桑原 ももこ, 兼本 広和: 自歩道の路面性状に対する主体別体感評価の相違に関する分析, 土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集, Vol. 11, pp. 248-249, 2005年
- 5) 滑川 達, 山中 英生, 南部 匡史: 自転車の速度抑制と通行区分誘導を目的とした舗装方法の開発, 交通工学研究発表会論文報告集, Vol. 25, pp. 229-232, 2

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*

山中 英生**・滑川 達***・大下 剛****

本論文では、交通主体の路面振動に対する選好特性に着目し、自転車が忌避性をもつ舗装路面を開発することで、歩行者、車椅子などの空間から自転車の通行誘導、速度抑制する方法の開発を目的としている。そのためゴム製ハンプを作成し、高齢者を含む健康者による自転車走行時、歩行時と身障者車椅子走行時の体感値実験、および通過速度を変化させた時の振動特性を計測し、最適な形状、間隔を求めた。

Development of Bicycle Hump for cycling speed reduction and separation from pedestrians*

By Hideo YAMANAKA**・Susumu NAMERIKAWA***・Tsuyoshi OSHITA****

In this Paper, aiming at developing the road surface devices which have effect on speed reduction and behavior to be separated from pedestrians, by using bicycles' and wheel-chairs' characteristics for the road surface vibration. Small size rubber humps are investigated from the viewpoints of sense of users, that is pedestrians, cyclists and wheel-chair users. By analyzing vibration characteristic of various kinds of humps with different their intervals, The author found appropriate shape and interval of humps for the purpose of cycling speed reduction and separation from pedestrians.