横断歩道兼用型自動車速度抑制ハンプの最適設計*

小島 健^{*1}, 熊倉 進^{*2}, 前森 健一^{*2}Optimum Design for a Combined Speed Control Hump
and Pedestrian CrossingTakeshi KOJIMA, Susumu KUMAKURA and Ken-ichi MAEMORI^{*3}^{*3} Kanagawa University, Dept. of Mechanical Engineering,
3-27-1 Rokkakubashi, Kanagawa-ku, Yokohama-shi, Kanagawa, 221-8686 Japan

In this paper, we propose an optimum design method for a combined speed hump and pedestrian crossing. This speed hump, with a flat at the top, has circular sections with easement curves at the ends. The height of the speed hump equals that of the sidewalks, and the length of the speed hump and the width of the pedestrian crossing are design variables of the optimum design. The objective of the design is to minimize the maximum acceleration experienced by the driver of a vehicle passing over the speed hump at its design speed. This design is subject to constraints on maximum accelerations at speeds over the design speed so that the driver may be alert to his/her speed. As a result of the optimum design, the optimum cross-sectional profile of the speed hump is obtained. It is cleared that the optimum speed hump is effective in reducing speed of vehicles, and has robust on its dimensions.

Key Words: Automobile, Transportation Engineering, Optimum Design, Speed Hump, Pedestrian Crossing, Transient Response, Barrier-Free

1. 緒 言

道路上における歩行者と自動車の共存を実現する手段として、自動車の過大な走行速度を抑制するために路面の一部を緩やかに盛り上げたハンプが注目されている⁽¹⁾⁽²⁾。最近では、交通安全施設等整備事業七箇年計画により、ハンプはおもに住宅地などのコミュニティ・ゾーン内に設置が進んでいる⁽³⁾。

一方、高齢者、障害者等の交通弱者にとっては、横断歩道と同一平面であることがバリアフリーの観点から望ましい。そこで、前述のハンプを横断歩道として利用することが注目されている⁽²⁾⁽⁴⁾。しかし、このような横断歩道と兼用されるハンプについて、自動車の速度抑制を考慮して最適設計された例は見あたらないようである。

そこで、本報告では横断歩道兼用ハンプについて、自動車の過大な速度を抑制する目的で最適設計を行う。最適設計では、自動車がハンプを一定速度で通過

する場合を想定し、ハンプの理想特性⁽⁵⁾を目標として最適ハンプ寸法を求める。さらに、各種自動車に対する速度抑制効果について最適ハンプと在来円弧ハンプ⁽⁵⁾を比較し、最適ハンプの有効性を検討する。また、最適ハンプについて、そのロバスト性および車いすの移動環境としての適性などについても検討する。

2. ハンプと横断歩道

歩道が車道よりも高い場合、歩道の一部に横断歩道に至る斜面部が設けられている[図1(a)]。歩道を直進中の車いす利用者は、歩道の幅が狭い場合または歩道が混雑している場合、この斜面部を通ることを余儀なくされることがある。その際車いすは、横向きの力を受けるため直進走行しにくく、また意図せず車道に押し出されることがあり危険である。この斜面部は歩行が困難な障害者、老人等にとっても障害になることが考えられる。図1(b)は、歩道の斜面部をなくすため、横断歩道の高さを歩道の高さと同じにしたものであり、前述の問題の解決を図っている。

一方、自動車の走行速度を抑制する目的で車道の一部を緩やかに盛り上げたものがハンプであり、これと前述の横断歩道を組合せたものが図1(b)である。ハンプは自動車がこれを通過する際の変位入力により、

* 原稿受付 2000年10月20日。

^{*1} 正員、雇用・能力開発機構福島職業能力開発促進センター(☎960-8054 福島市三河北町7-14)(元：神奈川大学大学院)。^{*2} 正員、神奈川大学工学部(☎241-8686 横浜市神奈川区六角橋3-27-1)。

E-mail: maemok01@kanagawa-u.ac.jp

自動車に過渡振動を生じさせる。ハンプの特性(図2)としては、走行速度 $\dot{Z}$ がハンプ設計速度 $\dot{Z}_J$ 以下では、運転者に不快感はなく、 $\dot{Z}$ が $\dot{Z}_J$ を超えたとき、その超過に応じて不快感は増し運転者は速度超過の警告を受けるが、いずれの場合も自動車などに危険は無いというものが理想であるといわれている⁽⁵⁾⁽⁶⁾。本報告では、この理想の特性を目標として最適ハンプ形状を探索するが、不快度の代わりにこれと比例関係が認められる乗員最大加速度を用いる⁽⁶⁾。

3. 系のモデル化

3.1 横断歩道兼用ハンプ 図3に本研究で取上げる横断歩道兼用ハンプの断面形状を示す。ハンプ上面部すなわち横断歩道面から車道面に至る傾斜部には二つの円弧 R_1 , R_2 を滑らかにつないだ形状を用いている。また、これらの円弧は横断歩道面および車道面にそれぞれ滑らかに繋がっている。なお、 Y_1 は全長、 Y_2 はハンプ内側の円弧と車道面との交点間の距離、 Y_3 はハンプ上部の平坦部の長さ(横断歩道の幅)、 Y_4 はハンプ上部平坦部の車道面からの高さ(歩道面の高さと同一)である。

ハンプの右端からの変位を Z とするとき、この横

Fig. 1 Schematic diagram of sidewalks, roadway and pedestrian crossing

Fig. 2 Ideal characteristics of hump for design speed $\dot{Z}_J$

- 0 : Comfortable
- 2 : Slightly uncomfortable
- 4 : Uncomfortable
- 6 : Very uncomfortable

断歩道兼用ハンプの高さ $X_h(Z)$ は次のようになる。

$$X_h(Z) = \begin{cases} 0 & (Z \leq 0) \\ R_2 - \sqrt{R_2^2 - Z^2} & (0 \leq Z \leq P_1) \\ \sqrt{R_1^2 - (P_2 - Z)^2} - R_1 + Y_4 & (P_1 \leq Z \leq P_2) \\ Y_4 & (P_2 \leq Z \leq P_3) \\ \sqrt{R_1^2 - (Z - P_3)^2} - R_1 + Y_4 & (P_3 \leq Z \leq P_4) \\ R_2 - \sqrt{R_2^2 - (Y_1 - Z)^2} & (P_4 \leq Z \leq Y_1) \\ 0 & (Y_1 \leq Z) \end{cases} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただし

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= (Y_2 - Y_3)^2 / (8 Y_4) + Y_4 / 2 \\ R_2 &= (Y_1 - Y_2)(Y_1 + Y_2 - 2 Y_3) / (8 Y_4) \\ P_1 &= P_2 R_1 / (R_1 + R_2), \quad P_2 = (Y_1 - Y_3) / 2 \\ P_3 &= (Y_1 + Y_3) / 2, \quad P_4 = Y_1 - P_1 \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (2)$$

3.2 自動車 図4にハンプを通過する自動車の力学モデルを示す。自動車はハンプに対して垂直に進入することを想定しているので、路面からの入力に車体に関し左右対称となる。そこでハンプを通過する自動車の力学モデルは車体の片側だけを扱い二次元とする。この力学モデルは、前部および後部ばね下質量の上下運動、ばね上質量の上下運動とピッチング、自動車乗員の上下運動の4質量5自由度とする。なお、サスペンション変位については、縮み側はバンパラバ K_{sfb} および K_{srb} 、伸び側はリバウンドストッパ K_{sfr} および K_{srr} でそれぞれ制限されている。

力学モデルの記号、添字は以下のとおりである。なお、記号(I は除く)の大文字は無次元量、小文字は有次元量を表す。

記号

C : 減衰係数

F : ダンパ減衰力

I : ピッチング時の重心回りの慣性モーメント

K : ばね定数

L_f, L_r : ばね上質量重心から前車軸および後車軸まで

Fig. 3 Cross-sectional profile of hump

の距離

L_o : ばね上質量重心から乗員重心までの距離

L_w : ホイールベース

M : 質量

X : 上下方向変位

$\ddot{X}$: 上下方向加速度

Z : ばね上質量重心の前方変位

$\dot{Z}$: 自動車のハンプ通過速度

θ : ピッチング時の重心回りの回転角

添字

b : ばね上質量

f, r : 前部および後部ばね下質量

o : 乗員

sf, sr : 前部および後部サスペンション

tf, tr : 前部および後部タイヤ

この力学モデルが横断歩道兼用ハンプ(図3)を通過するとき、前部および後部タイヤ接地点変位 X_{tf} , X_{tr} は、タイヤが路面に接地している場合

$$\left. \begin{aligned} X_{tf} &= X_b(Z) \\ X_{tr} &= X_b(Z - L_w) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

となる。ただし、タイヤが路面から離れている場合、平坦路上での自動車静止時における前部および後部タイヤのたわみを L_{tf} , L_{tr} とすると

$$\left. \begin{aligned} X_{tf} &= X_f - L_{tf} \\ X_{tr} &= X_r - L_{tr} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

と表される。

4. 最適化問題

自動車が設計速度 $\dot{Z}_j$ の横断歩道兼用ハンプ(図3)を一定速度 $\dot{Z}_j$ で通過する場合、ハンプの特性を $\dot{Z}$ と乗員最大加速度 $|\ddot{X}_o|_{\max}$ の関係として図5のように表す。この図を用いて横断歩道兼用ハンプの最適化問題を述べる。ただし、最適化に際してはハンプ通過速度 $\dot{Z}$ を離散化し、 $\dot{Z}_j (j=1, 2, \dots, J, J+1, J+2)$ で表す。

4.1 目的関数 自動車はハンプ設計速度 $\dot{Z}_j$ 以

Fig. 4 Dynamic model of vehicles passing over hump

下の速度でハンプを通過することを原則とする。この場合、乗員が受ける衝撃はできる限り小さいことが望ましいので、 $\dot{Z}_j$ で横断歩道兼用ハンプを通過したときの乗員最大加速度 $|\ddot{X}_{o,j}|_{\max}$ を目的関数として設定し、これの最小化を図る。

4.2 設計変数 設計変数は、ハンプの高さ Y_4 を除くハンプ寸法 $\mathbf{Y} = (Y_1, Y_2, Y_3)^T$ とする。ハンプ高さについては歩道の高さと一致させるため定数とする。最適化においては、ハンプの理想特性を目標として最適寸法 $\mathbf{Y}$ を探索する。

4.3 制約条件 自動車がハンプ設計速度 $\dot{Z}_j$ を超える速度でハンプを通過する場合には、乗員は速度超過の警告を受ける必要がある。したがって、 $\dot{Z}_j$ を超える任意の速度 $\dot{Z}_{j+1}$ および $\dot{Z}_{j+2}$ における乗員最大加速度 $|\ddot{X}_{o,j+1}|_{\max}$, $|\ddot{X}_{o,j+2}|_{\max}$ を下限 $|\ddot{X}_o|_L$ によって制約する。しかし、いずれの速度においても乗員、自動車などに危険がないように $|\ddot{X}_{o,j}|_{\max} (j=1, 2, \dots, J, J+1, J+2)$ を上限 $|\ddot{X}_o|_U$ で制約する。これらの制約条件を定式化すると

$$\left. \begin{aligned} |\ddot{X}_o|_L - |\ddot{X}_{o,j+1}|_{\max} &\leq 0 \\ |\ddot{X}_o|_L - |\ddot{X}_{o,j+2}|_{\max} &\leq 0 \\ |\ddot{X}_{o,j}|_{\max} - |\ddot{X}_o|_U &\leq 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

($j=1, 2, \dots, J, J+1, J+2$)

となる。

設計変数に対する制約としては、ハンプ全長 Y_1 に上限 $Y_{1,U}$ を設ける。また、ハンプの上面平坦部には横断歩道を設ける幅が必要とされるので、 Y_3 を下限 $Y_{3,L}$ で制約する。さらに、形状が幾何学的に制約されるものを含めこれらの制約条件を定式化すると

$$\left. \begin{aligned} Y_1 - Y_{1,U} &\leq 0 \\ Y_{3,L} - Y_3 &\leq 0 \\ Y_3 + 2Y_4 - Y_2 &\leq 0 \\ Y_1 - Y_2 &\leq 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

Fig. 5 Relationship between maximum acceleration of driver and speed of vehicle passing over hump ($j=1, 2, \dots, J, J+1, J+2$)

となる。以上の制約条件式(5), (6)をまとめて

$$g_i(\mathbf{Y}) \leq 0 \quad (i=1, 2, \dots, I) \dots\dots\dots (7)$$

と表す。ただし, I は制約条件の個数である。

4・4 最適化手法 制約条件 $g_i(\mathbf{Y}) \leq 0 (i=1, 2, \dots, I)$ を有し, 目的関数 $|\ddot{X}_{o,J}|_{\max}$ を最小化する前述の最適化問題を, 制約条件のない P_K を最小化する問題に SUMT 変換⁽⁷⁾すると次のようになる。

$$P_K = |\ddot{X}_{o,J}|_{\max} + r_K \sum_{i=1}^I [(g_i(\mathbf{Y}))^2 H(-g_i(\mathbf{Y}))] \\ (K=1, 2, \dots) \dots\dots\dots (8)$$

ここに r_K は $r_{K+1} > r_K$ を満足する正数, H はヘビサイドの単位階段関数である。

なお, 最適解探索では, Powell の共役方向法⁽⁸⁾ と二次補間法を組合せたものを用いた。また, 乗員最大加速度は, 運動方程式を Runge-Kutta-Gill 法を用いて解き, 得られた乗員加速度応答から求めた。

5. 設 計 例

本研究で用いる諸量を, ハンプ設計速度 $\dot{z}_J = 8.333$ m/s (=30 km/h), 基準自動車のホイールベース $l_{w,st} = 2.52$ m, 車体片側の質量 $m_{a,st} = 600$ kg ($=m_b + m_f + m_r$) の三つの値によって以下の式のように無次元化した。

$$\left. \begin{aligned} X &= x/l_{w,st}, \quad \dot{X} = \dot{x}/\dot{z}_J, \quad \ddot{X} = (\ddot{x}/\dot{z}_J^2) \\ \theta_b &= \theta_b, \quad \dot{\theta}_b = (\dot{\theta}_b/\dot{z}_J), \quad \ddot{\theta}_b = (\ddot{\theta}_b/\dot{z}_J^2) \\ F &= fl_{w,st}/(m_{a,st}\dot{z}_J^2), \quad Z = z/l_{w,st}, \quad \dot{Z} = \dot{z}/\dot{z}_J \\ Y &= y/l_{w,st}, \quad T = (\dot{z}_J/l_{w,st})t, \quad M = m/m_{a,st} \\ L &= l/l_{w,st}, \quad I_b = I/(m_{a,st}l_{w,st}^2) \\ C &= cl_{w,st}/(m_{a,st}\dot{z}_J), \quad K = kl_{w,st}^2/(m_{a,st}\dot{z}_J^2) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (9)$$

なお, 次元量および乗員最大加速度を重力加速度 $g (=9.80665 \text{ m/s}^2)$ で除した値も参考として以降に示す。

表1において $L_w = 1$ の諸元をもつ基準自動車が横断歩道兼用型ハンプを通過する場合を想定し, ハンプ設計速度 $\dot{Z}_J = 1 (=30 \text{ km/h})$, 設計速度を超える速度 $\dot{Z}_{J+1} = 1.5$, $\dot{Z}_{J+2} = 2$ の3点を用いて最適化を行った。制約条件に関する数値は, $|\ddot{X}_o|_v = 0.48 (1.34g)$, $|\ddot{X}_o|_L = 0.15 (0.41g)$, $Y_{1,v} = 5.952 (=15 \text{ m})$, $Y_{3,L} = 1.786 (=4.5 \text{ m})$ である。また, ハンプの高さは, 一般的な歩道の高さを考慮し $Y_4 = 0.05952 (=0.15 \text{ m})$ とする。

5・1 最適化の結果 得られた横断歩道兼用ハンプの最適な寸法は, $\mathbf{Y}_{opt1} = (5.952, 1.905, 1.786)^T$ である。図6はこの最適ハンプと在来円弧ハンプ(長さ3.66 m, 高さ0.1 m)を $L_w = 1$ の自動車乗り越す場合について, $\dot{Z}$ を0.5から0.1ごとにシミュレーショ

ン計算し, それぞれの速度における乗員最大加速度を表したものである。ただし在来円弧ハンプの場合はその設計速度は20 km/hである。ところで, 本報告ではハンプの設計速度を無次元化したときの理想特性は一致するという見解に立っている。そこで設計速度の異なる二つのハンプ特性を比較するため, それぞれの設計速度で無次元化した。

乗員最大加速度 $|\ddot{x}_o|_{\max}$ については, それぞれ g で除している。

最適ハンプ通過時の乗員最大加速度は, 在来円弧ハンプ通過時に比べ, ハンプ設計速度 $\dot{Z}_J = 1$ では33%減少し, $\dot{Z}_{J+1} = 1.5$ では逆に25.8%増加している。このことは, 最適横断歩道兼用ハンプの方が在来円弧ハ

Table 1 Specifications of dynamic model for automobiles

L_w	M_o	M_b	M_f	M_r	I_b	C_o
0.85	0.1	0.45	0.035	0.045	0.1	0.37
1	0.1	0.85	0.075	0.075	0.25	0.37
1.15	0.1	1.25	0.1	0.1	0.4	0.37

L_w	K_o	K_{sf}	K_{sr}	K_{sfr}	K_{gb}	K_{srr}
0.85	3.1	1.8	2	44	9.8×10^4	44
1	3.1	2.4	2.7	44	9.8×10^4	44
1.15	1.6	2.9	2.7	29	9.8×10^4	29

L_w	K_{srb}	K_{gf}	K_{tr}	L_f	L_r	L_o
0.85	9.8×10^4	22	22	0.35	0.35	0.08
1	9.8×10^4	27	27	0.5	0.5	0.1
1.15	9.8×10^4	27	27	0.55	0.55	0

Fig. 6 Relationship between maximum acceleration of driver and speed of vehicle passing over hump

ンプよりも速度抑制効果が期待できることを示している。このように最適ハンプの特性は、在来円弧ハンプよりもハンプの理想特性に近づいており、 $L_w=1$ の自動車に対しては良好な結果が得られたものと考えられる。

この最適横断歩道兼用ハンプのロバスト性を検討する。道路上にハンプを設置する場合、設計寸法に対し最大約3 cmの誤差がでることを想定する。そこで、ハンプの高さを除く寸法 Y_1 , Y_2 , Y_3 をそれぞれ±3 cm増減し、すべての組合せに対して、自動車のハンプ通過シミュレーション計算を行った。その結果、乗員最大加速度は $\dot{Z}_l=1$ において最大2.94%, $\dot{Z}_{l+1}=1.5$ において最大0.16%変位した。このことから、本最適横断歩道兼用ハンプはロバスト性があると思われる。

次に、諸元が異なる3種類の自動車(表1)について、シミュレーション計算結果を比較した[図7(a)]。ハンプ設計速度 $\dot{Z}_l=1$ における乗員最大加速度は、3種類の自動車のいずれにおいても、最適ハンプの方が在来円弧ハンプよりも軽減されている。このことから、各自動車がハンプ設計速度で通過する傾向は最適ハンプの方が高いと考えられる。また各通過速度における乗員最大加速度の自動車間の差は、最適ハンプの方が在来円弧ハンプよりも小さい。このことから、最適ハンプの方が、各自動車が同じ速度でハンプを通過する傾向は高いと考えられる。車種間で通行速度の相違が少ないことは、より円滑な自動車通行をハンプ設置道路において実現するために必要である。

ところで、 $L_w=0.85$ の自動車では、 $\dot{Z}=1.6$ 以降の通過速度において、横断歩道兼用ハンプの場合の乗員最大加速度は在来円弧ハンプの場合を超え、また $\dot{Z}=2$ において上限を超えていることがわかる。そこで以降制約条件を変えて最適化を行い、これらの問題を検討する。

5.2 制約条件を変えた場合の最適化 制約条件の一部を変更し、その他の問題設定については前述の最適化と同一の場合について、ハンプの最適化を行った。すなわち制約条件については、 $|\dot{X}_o|_v=0.48(1.34\text{ g})$ と $Y_{1,v}=5.952(=15\text{ m})$ はその性質上変更せず、 $Y_{3,L}$ は1.786(=4.5 m)と1.984(=5 m)の二とおり、 $|\dot{X}_o|_L$ は0.15(0.41 g), 0.23(0.64 g), 0.31(0.88 g)の三とおりとした。得られた五とおりの結果を図7(b)～(f)に、最適ハンプ寸法を表2に示す。

横断歩道の幅を広げてハンプを最適化した場合[図7(b)]だけが、 $L_w=0.85$ の自動車の乗員最大加速度は $\dot{Z}=2$ において在来円弧ハンプを下回ってほぼ上限

の値をとり、前述の問題は解決されている。また、同最適ハンプの場合だけが、3種類の自動車の $\dot{Z}=1$ における乗員最大加速度は在来円弧ハンプの場合よりも低い値をとっている。その一方で、同最適ハンプでは、[図7(a)]の最適ハンプと比べた場合、乗員最大加速度の自動車間の差は $\dot{Z}=2$ では狭まったものの $\dot{Z}=1$ では広がっている。

図7(c)～(f)に示す最適ハンプは、目的関数すなわち $\dot{Z}=1$ における $L_w=1$ の自動車の乗員最大加速度が在来ハンプとほぼ同等である。しかし、 $L_w=0.85$ の場合の乗員最大加速度は、 $\dot{Z}=1.5$ 付近以降において在来ハンプを超え、 $\dot{Z}=2$ の手前から上限を超えている。このようにこれら4種類のハンプは、図7(a)の最適ハンプに生じた問題を解決していない。このことは $\dot{Z}=1.5$ と $\dot{Z}=2$ における乗員最大加速度への下限値の設定が高すぎたことと、 $L_w=1$ の自動車の乗越しの場合についてだけ最適化を行ったためであると考えられる。後者については、3種類の自動車がハンプを乗り越す場合を想定し最適化する方法が考えられるがここでは扱わない。

6種類の最適化の結果、 Y_3 の値は常に下限をとった(表2)。このことから、 Y_3 を設計変数から除いてハンプの最適化を行うことができると考えられる。また Y_2 の値はすべて $Y_3+0.119$ であった。したがって、 Y_3 の値を予め指定し、 Y_2 の値を事前に求めておけば、 Y_1 のみ設計変数として最適化できることがわかる。なお、前述のことから、円弧半径 R_2 (図3)の値は、六とおりすべて同一であり、緩和曲線の半径 R_1 の値が乗員最大加速度に影響を与えることがわかる。

5.3 横断歩道としての検討 横断歩道兼用ハンプの横断歩道面を通行中の車いす利用者が、斜面部を経て意図せず車道面に押し出された場合の横断歩道へ

Table 2 Constraints and dimensions of optimum humps

	$ \dot{X}_o _L$	$Y_{3,L}$	Y_1	Y_2	Y_3	Fig. 7
Y_{opt1}	0.15	1.786	5.952	1.905	1.786	(a)
Y_{opt2}	0.15	1.984	5.952	2.103	1.984	(b)
Y_{opt3}	0.23	1.786	4.987	1.905	1.786	(c)
Y_{opt4}	0.23	1.984	4.368	2.103	1.984	(d)
Y_{opt5}	0.31	1.786	4.165	1.905	1.786	(e)
Y_{opt6}	0.31	1.984	4.111	2.103	1.984	(f)

Fig. 7 Relationship between maximum acceleration of drivers and speed of vehicles passing over hump

の復帰について検討する。本ハンプ斜面部の接線最大傾斜角は、ハンプ端部から P_1 , P_4 の位置で与えられる (図 3)。この角度は、 Y_{opt1} [表 2, 図 7(a)] のハンプでは $3^\circ 27'$, Y_{opt2} [表 2, 図 7(b)] のハンプでは $3^\circ 44'$ であり、車いすの移動環境として斜面に許容される値、約 $4^\circ 50'$ (9) 以内である。したがって、両最適ハンプにおいて車いす利用者は車道から横断歩道へ復帰できるものと考えられる。

6. 結 言

本報告では、基準とする自動車が通過する場合を想定して横断歩道兼用ハンプの最適設計を行った。さらにホイールベースの異なる 3 種類の自動車が同ハンプと在来円弧ハンプを通過する場合についてシミュレーション計算を行った。得られた結果を述べると次のようになる。

- (1) 在来円弧ハンプに比べて、速度抑制効果に優

れた最適ハンプが得られた。

(2) 横断歩道兼用ハンプの最適寸法について検討し、最適ハンプはロバスト性があることを確認した。

(3) 各通過速度における乗員最大加速度の自動車間の差は、最適ハンプの方が在来円弧ハンプよりも少なくなった。

(4) 本最適ハンプの横断歩道面から車道面に至る斜面部の最大傾斜角は、車いすの移動環境として許容される値に収まった。

本報告の一部は文部省科学研究費補助金[(c)-10650151]の援助を受けた研究であることを付記し、謝意を表す。

文 献

(1) 辻達夫・彌田和夫・高島伸哉・福西博, ハンプ形状によ

る自動車走行速度の抑制効果に関する分析, 交通科学, 27-1/2(1998), 33-42.

- (2) 土木学会編, 地区交通計画, (1992), 107, 109, 国民科学社.
- (3) 総務庁編, 交通安全白書(平成11年版), (1999), 85, 103, 大蔵省印刷局.
- (4) 天野光三・藤埴忠司・小谷通泰・山中英生, 歩車共存道路の計画・手法, (1986), 78, 都市文化社.
- (5) Watts, G. R., *Road Humps for the Control of Vehicle Speed*, TRRL Rep., LR-597(1973), Transport and Road Research Laboratory.
- (6) 青木英明・久保田尚・新谷洋二, ハンプの研究(その1), 交通工学, 19-2(1984), 10-18.
- (7) 田中尚・中村雄治, 建築構造物の自動設計と最適設計, (1973), 94-97, 培風館.
- (8) Kowalik J. and Osborne M. R. (山本善之・小山健夫訳), 非線形最適化問題, (1975), 58, 培風館.
- (9) 大川嗣雄・伊藤利之・田中理・飯島浩, 車いす, (1987), 86, 医学書院.