

シケインの形態と速度抑制効果 に関する基礎的研究

A Study on Geometric Form and Size of Chicanes and
their Speed Control Effects

青木 英明 **

久保田 尚 ***

山田 晴利 ****

吉田 朗 *****

By Hideaki AOKI
Hisashi KUBOTA
Harutoshi YAMADA
Akira YOSHIDA

ABSTRACT :

Form and minimum size of chicanes through which large fire engines can pass without difficulties were determined and their speed control effects were studied, in this paper. First, swept paths of a typical fire engine were drawn using a two-wheel-vehicle model and the length, lateral offset, and width of chicanes were determined. Second, several sets of chicane forms and sizes were selected and their speed control effects were investigated experimentally. When vehicle passes above photo-sensors stuck on road surface, the sensor sends electric signal to timer. Thus, the time when vehicle passed above the sensor was detected and vehicle speed was calculated. Measurements were repeated ten times for each chicane. It was found that the lateral offset of chicanes has greater effects on vehicle speed and that if the road is wide enough (width=5.5m), chicanes have few effects on speed.

1. はじめに

近年、地区道路や居住区域内の道路において、歩車共存のための交通環境改善が進められている。こうした対策にあたって重要な課題は、通過交通を地区内の道路から排除することと、自動車の走行速度を減少させ、自動車と歩行者の共存を図ることの2点である。後者の目的のための手法には、ハンパ、狭窄、シケイン、ランブルストリップ等がある。シケインとは、「車の通行領域を《蛇行》もしくは、ジグザグ状に屈折させて自動車の走行速度を抑制する方法」であり、「設計にあたって、車の進入軸に

対する横方向の《ずれ》およびシケイン相互の間隔をを宜調節すれば、速度抑制の程度をコントロールすることも可能である」とされている¹⁾。しかし、これまでのところシケインの形状の違いが速度低減効果にどの程度寄与するか必ずしも明確にはなっていない。また、シケインを設置する場合には、大型消防車の走行が可能かどうか確かめる必要があるが、いままでは、それが走行可能となる線形条件がはっきりしていなかったため、現地で実際に車を走行させて確認する等の手続きを踏まなければならなかった。そこで、本研究では、(1)大型消防車の通行が可能なシケインの線形を明かにし、さらに(2)これらのシケインの速度低減効果を実験的に確かめることを目的とした。

既往の研究によれば²⁾、シケインの横方向のずれが速度低減効果に大きな影響を与える要素であることがわかっている。更に、西ドイツの生活道路設計

* キーワーズ:シケイン、速度抑制効果、線形、走行実験

** 正会員 工博 財団法人 計量計画研究所
(〒162 新宿区市谷本村町2番9号)

*** 正会員 工修 東京大学工学部都市工学科

**** 正会員 工修 建設省土木研究所新交通研究室

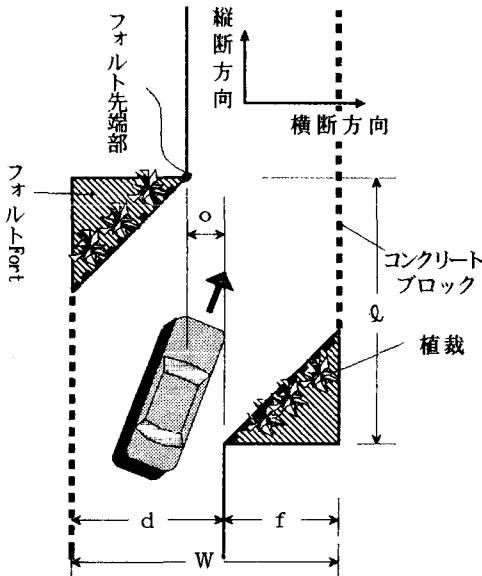
***** 工修 財団法人 計量計画研究所

基準³⁾では、シケインの横方向のずれ幅を、可能な限り車道幅員に等しくするように推奨している。本研究ではこれらの知見を参考にして、実験用のシケインの線形・形状を決め、走行速度に及ぼす影響を調べた。

以下、第2節では、大型消防車の走行軌跡を電算機によるシミュレーションで描き、大型消防車の通過を可能とさせる線形を決定した結果を述べる。また、第3節では、シケインの速度低減効果を求めるために実施した実験の概要とその結果とを報告する。

2. シケイン通過時の走行軌跡

一般的なシケインの形状は、図-1に示したようになっており、車道幅員 d 、シケインの縦方向のずれ l 、フォルトの幅 f 、およびシケインの横方向のずれ o の4つによって形状が決定されている。この図から



o : シケインの横断面方向のずれ
 l : シケインの縦断面方向のずれ
 d : 車道幅員
 f : フォルト幅
 W : シケイン総幅員
 ただし、 $o = f - d$ で図のように見通しのある場合は、 $o < 0$ となる
 (注) 歩道は図示していない

図-1 シケインの形状と各部の名称

d 、 W 、 f 、 o の間には、次のような関係式がなりたっていることがわかる：

$$\begin{aligned} o &= f - d, \\ W &= d + f. \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (1)$$

図-1に示した例では、 o の値は負で、道路の軸方

向の見通しがきく。 o の値が正になると、見通しがきかなくなるため自動車の速度抑制効果は高くなると予想できる。また、 l の値を小さくすれば、屈曲の程度が大きくなるので、やはり、速度抑制効果が高まる。しかし、 d 、 l 、 W 、 f 、および o の値の組み合わせによっては、車両の走行が困難になり、特に大型消防車の走行が不可能になる場合も起こりうる。したがって、シケインを設置するにあたっては、大型消防車の走行が可能となる形状・寸法が明かにされていないといけない。そこで本研究では、大型消防車の走行軌跡を簡単な二輪車モデルを用いて描き、大型消防車の走行が可能となる線形条件を求めた。

2. 1シミュレーションモデル^{4),5)}

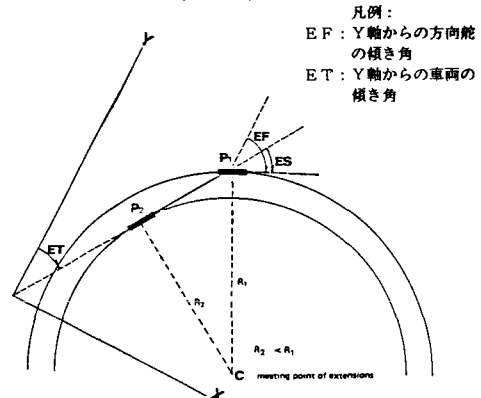
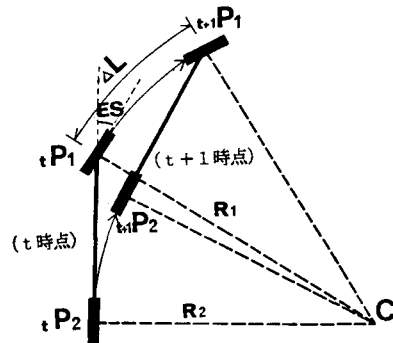


図-2 方向舵角を固定した場合の走行軌跡



シミュレーションモデルの基本的な考え方

1. t 時点における方向舵角 ES の値から、回転中心 C の位置及び半径 R_1 、 R_2 を決定する。
2. C 点を中心とする半径 R_1 の円周上に $t+1$ 時点 P_1 を決定する。(変位 ΔL は、充分小さくする。)
3. 同様に $t+1$ 時点 P_2 を半径 R_2 の円周上に決定する。
4. 次のステップに向けて新たな ES 値を設定する。

C : 回転中心
 ES : 方向舵角
 tP_1 : t 時点の前輪の位置
 R_1 : 前輪の回転半径
 tP_2 : t 時点の後輪の位置
 R_2 : 後輪の回転半径

図-3 シミュレーションモデル

シミュレーションモデルでは、四輪車を二輪車で表現した。二輪車モデルの車輪は、四輪車の前後の車軸それぞれの中点に位置している。シミュレーションの目的が走行軌跡を描くことにあるので、力学的平衡条件は考慮しない。従って、本モデルは、低速度で走行する「傾かない自転車」を表現していることになる。シミュレーションでは、走行速度を15 km/h一定とした⁴⁾。また、ハンドルの回転速度は、ハンドルを切り始めてから1秒で最大舵角に達するものと設定した。具体的な計算式は以下に述べるとおりである。

図-2に示すように、方向舵角一定という条件のもとでは、二輪車の前後輪の走行軌跡は同心円となり、その回転中心は前輪と後輪位置における法線の交点Cである。ここでは、この関係が、方向舵が連続的に変化する場合にも、微小区間において成立すると仮定する。したがって t 時点から $(t+1)$ 時点に至る微小区間（この間の回転移動量 ΔL は一定とする）において、方向舵角が $E S_t$ で一定ならば、この間の前後輪の運動は、点Cを中心とする回転運動となる（図-3）。

いま、 t 時点における前輪 P_1 の座標を ${}_t P_1$ 、 $(t+1)$ 時点における前輪の座標を ${}_{t+1} P_1$ とすれば、両者の関係は点Cのまわりの回転変換 R を用いて次式のように表わされる。

$${}_{t+1} P_1 = R [{}_t P_1] \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、回転変換 R を平行移動変換 F と座標軸の原点を中心とする回転変換 G の合成変換として表わせば、 $R = F^{-1} \circ G \circ F$ （ただし、記号 $\circ$ は写像の合成を表わす）であり、(2)式は次のように書き換えられる。

$$\begin{aligned} {}_{t+1} P_1 &= F^{-1} [G [F ({}_t P_1)]] \\ &= G_t \cdot {}_t P_1 + [G_t - I] \cdot F_t \quad \dots\dots (3) \end{aligned}$$

ここに、

G_t : 回転変換(原点中心)の変換行列(t 時点)、

F_t : 平行移動変換 F の変換行列(t 時点)、

I : 単位行列。

(3)式における変換行列 G_t および F_t は、以下のよう表現される。

$$G_t = \begin{bmatrix} \cos(\Delta L / {}_t R_1) & -\sin(\Delta L / {}_t R_1) \\ \sin(\Delta L / {}_t R_1) & \cos(\Delta L / {}_t R_1) \end{bmatrix} \quad \dots\dots (4)$$

$$F_t = \begin{bmatrix} -{}_t R_1 \cos(E S_t + E T_t) \\ {}_t R_1 \sin(E S_t + E T_t) \end{bmatrix} \quad \dots\dots (5)$$

$${}_t R_1 = A / \sin E S_t \quad \dots\dots\dots (6)$$

ここに、

ΔL : 微小変位、

A : 車両の軸距離、

${}_t R_1$: t 時点における前輪の回転半径、

$E S_t$: t 時点における方向舵角、

$E T_t$: t 時点における車両のY軸からの傾き角（図-2参照）。

後輪に対しても(3)式は成立する。ただし、 G_t は(4)式に等しく、 F_t は次式のようにになる。

$$F_t = \begin{bmatrix} -{}_t R_2 \cos E T_t \\ {}_t R_2 \sin E T_t \end{bmatrix} \quad \dots\dots (7)$$

$${}_t R_2 = A / \tan E S_t \quad \dots\dots\dots (8)$$

ここに、

${}_t R_2$: t 時点における後輪の回転半径、

$E S_t$: t 時点における方向舵角、

$E T_t$: t 時点における車両の傾き角。

また、時刻 $t=0$ において、Y軸と平行に走行していた車が旋回を始めたとすれば、 t 時点における車両の方向角 $E T_t$ は、次式のように表現できる。

$$E T_t = \sum_{i=0}^{t-1} \frac{\Delta L}{A} \sin E S_i \quad \dots\dots (9)$$

計算では、走行速度一定という仮定のもとに微小変位 ΔL を5 cmにとり、方向舵角 $E S$ を図-4に示すように外生的に与えて、軌跡を描いた。

2. 2 シミュレーションプロセス

シケインを通過する車両の走行軌跡を描くにあたって、以下のような4つの段階（Phase1～Phase4）を想定した。各段階は、方向舵角 $E S$ の時間的変化率によって区別されている。図-4には、各段階における $E S$ の値と、式(9)で与えられる $E T$ の値とを例示してある。

Phase 1: シケインに進入後、最大方向舵角（最小

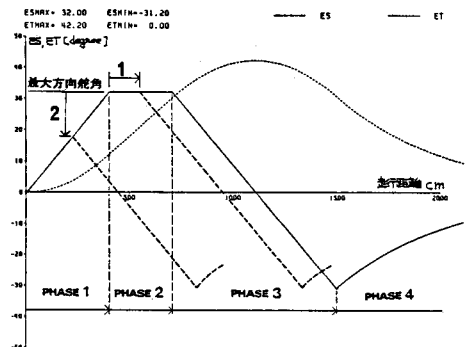


図-4 方向舵角 $E S$ と車両の傾き角 $E T$

- 回転半径)に達するまで走行する区間、
 Phase 2:ハンドルを最大方向舵角に固定した状態で走行する区間、
 Phase 3:ハンドルを切り返し始め、前輪が街路と平行になるまで走行する区間、
 Phase 4:ハンドルを戻し始め、車体が街路と平行になるまで走行する区間。

走行軌跡は、以下の手順に従って描いた。まず、シケインの横方向のずれ ϕ と車道幅員 W の値を与えておく。次に、上で述べたPhase 2の継続時間を0とした時の走行軌跡を描く。この軌跡は、最初に与えた ϕ と W の値から決まるシケインの形状を満たさないのが普通であり、走行軌跡が歩道部分にはみだしたり、車道部分に余裕が生じたりする。走行軌跡が歩道部分にはみだした場合には、最大方向舵角に達する前にハンドルを切り返し始めるようにし(図-4の2)、また、車道部分に余裕が生じた場合には、ハンドルを最大舵角に固定した状態で走行する時間を増やした(図-4の1)。

2.3 シミュレーション結果

車両としては、わが国で一般に使用している中で最も大型のはしご車を想定した(表-1に車両諸元を示す)。計算は幅員4ケース、ずれ幅7ケースの計28ケースについて行った。幅員 W の値としては、4.0m、4.5m、5.0m、および5.5mを選定した。ずれ幅 W の値としては、-2.0m

表-1 大型はしご車の車両諸元

主 要 諸 元 (単位 mm)			
全長	10,000	オーバーハング(前)	[2,250]
全幅	2,500	オーバーハング(後)	[2,600]
全高	3,500	軸 距 離	[5,150]
車両総重量	20t	トレッド	[2,000]
最小回転半径	[9,800]	リフト・乗員荷重	200kg

□ モデルに使用した値

『火災等の災害発生時における「はしご自動車」の円滑な消防活動を確保するための基準』

東京消防庁、昭和51年8月

から1.0mまで0.5m 刻みで選定した。

図5に走行軌跡の出力例を示す。図中の長方形は、自動車の4輪を頂点として描かれたもので、この上にオーバーハングを考慮した車体を重ねあわせた。この図を各ケースに対して作成し、それを基にして大型車の走行が可能となるシケインの縦方向のずれ ψ の値を求めた。

結果を図-6に示す。図中の実線は、車輪が縁石を踏まないという条件で大型はしご車が通過できる最小の寸法を示している。破線は、オーバーハングも考慮した場合の最小の寸法であり、オーバーハング部分が歩道に侵入せずに通過するのに必要な寸法を示している。この図によれば、シケインの縦方向のずれ ψ とシケインの横方向のずれ ϕ とは、ほぼ直

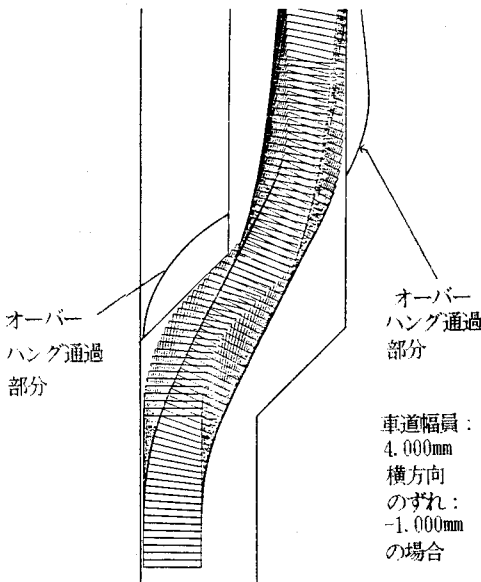


図-5 走行軌跡の出力図

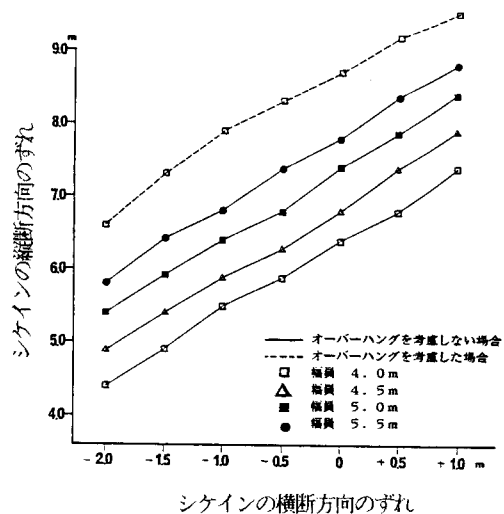


図-6 シケイン横方向のずれとシケイン縦方向のずれ(一方通行)の関係

線的な関係にあることがわかる。また、横方向のずれ ϕ が正の値をとる場合、すなわち道路の長手方向の見通しがきかない場合には、シケインの長さ Q も長くなるがわかる。

この結果を、シケインに対して唯一指針を与えている西ドイツのRAS-E³⁾と比較した。RAS-Eではどのような方法で値を算出したかが不明であるが、小型乗用車がシケインを通過することが可能な最小寸法が掲げられており、例えば「車道幅員=4.0(m)、シケインの横方向のずれ=0.0(m)のとき、シケインの縦方向のずれ=10.0(m)であり、大型貨物車はこれの50%増しである」としている。その値は、ここで求めた値より大きめである。これは、車両諸元や走行速度の違いに起因するものであると考える。

3. シケインの速度低減効果

実験では図-1にあるようにシケインの車道幅員 d の値として、一方通行を想定した4.0mと、対面通行を想定した5.5mを選択し、 f と Q の値を変化させたシケインを土木研究所内試験走路内に造

り、各ケースについて10名の被験者に小型乗用車を走行させ、走行速度を光センサーによって測定した。実験の方法と結果は以下に示すとおりである。

3.1 実験方法

シケインの車道幅員 d は、上述のように4.0と5.5mである。幅員4.0mという値は、コミュニティ道路の整備事業の補助を行っている建設省交通安全施設等整備事業の採択基準を参考にして定めたものである。また、幅員5.5mという値は、2車線道路の最小幅員を基にして選定した。

これに対して、シケインの横断方向のずれ ϕ の値は、直接運転者の行動に影響して車の走行速度を左右する値である。しかし、その効果は未知であるため、 ϕ の値を複数設定して結果の違いを見ることにした。即ち、RAS-Eで奨励する値の0(m)を中心に ± 0.5 (m)、 ± 1.0 (m)の5ケースを選定した。

ϕ と d の値が与えられると、式(1)から、 f 、 W の値が求まる。

Q の値は、 ϕ や d の値とは別に、前節の図-6にある大型はしご車の通過可能な最小シケイン寸法を考慮して決定した(表-2, 3)。その際に、オーバーハング部分が歩道領域に侵入しないという条件で求めた寸法を用いた。これは、試験走路内に模擬的なシケインを造る際に、高めの重量ブロックや植樹を用いており、車両オーバーハング部分が歩道や植栽部分に入らない事を前提としたためである。

駐車については、西ドイツやオランダのシケインで実施されている左右交互駐車を参考にして、フォルトの背後に駐車車両を置いた。駐車方式では、わが国の道路構造令にある駐車帯の諸元を参考に、フォルト幅 f が、 $f \geq 5.0$ のときには空間的に効率がよく、かつ駐車が容易な「直角駐車」を割り当て、 $5 > f \geq 4.5$ のとき「斜め駐車」を、 $4.5 > f \geq 2.25$ のときには「縦列駐車」をそれぞれ割り当てた。

ただし、実際に走行速度を測定してみると、幅員が5.5mの対面通行のシケインの場合には速度の

表-2 一方通行シケインと寸法 (単位:m)

場面	ϕ	f	駐車方式	Q	W	d
A1	-1.0	3.0	縦列駐車	7.9	7.0	4.0
A2	-0.5	3.5	縦列駐車	8.3	7.5	4.0
A3	0.0	4.0	縦列駐車	8.7	8.0	4.0
A4	+0.5	4.5	斜め駐車	9.2	8.5	4.0
A5	+1.0	5.0	斜め駐車	9.5	9.0	4.0

表-3 対面交通シケインと寸法 (単位:m)

場面	ϕ	f	駐車方式	Q	W	d
B1	-1.0	4.5	斜め駐車	10.4	10.0	5.5
B2	-0.5	5.0	直角駐車	10.6	10.5	5.5
B3	0.0	5.5	直角駐車	10.8	11.0	5.5
B4	+0.5	6.0	直角駐車	11.0	11.5	5.5
B5	+1.0	6.5	直角駐車	11.2	12.0	5.5

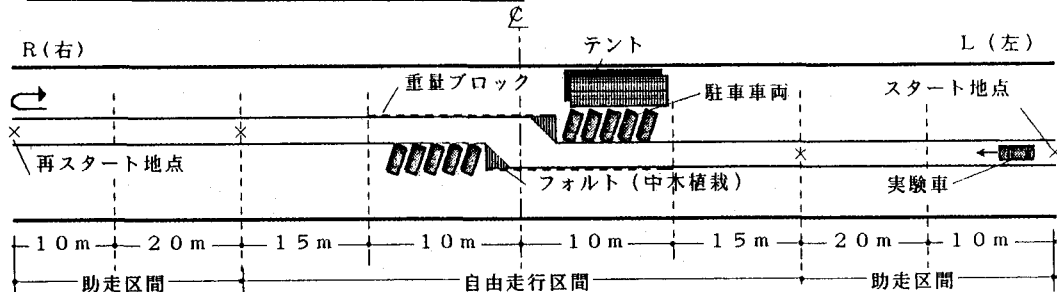
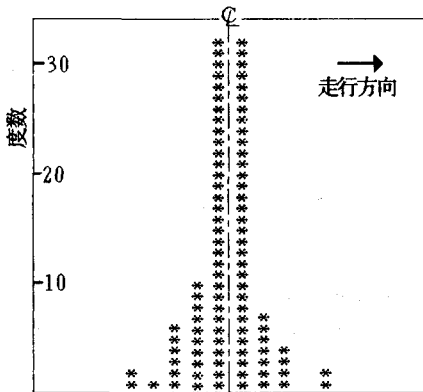


図-7 実験コース配置図

違いについて検討した。一方通行シケインの全ての場合において往路(L→R)より復路(R→L)のほうが若干速度が高めであった(約2 km/h)。理由としては、被験者の慣れによるものが考えられる。しかし、往復の速度プロフィールはおおむね一致している。各シケインごとに、地点別の平均速度を算出して、往路復路の速度値の相関を取ってみると、A1～A5では、 $r=0.8$ を超えていて、A2では、0.988となった。そこで、以下の分析では、走行方向を区別せずに取り扱った。

図-10には、一方通行の全てのシケインについて、各被験者の走行速度が最低になる地点がどこであるかを度数で示してある。これによると、シケインの中心を通過する直前または直後に最低速度が現れていることがわかる。分布図はほぼ左右対称であるが、傾向として、シケインの手前で減速している被験者の方が多い。

次に、各シケインごとに、測定地点の平均速度を計算して速度プロフィールを描き、走行速度の変化



①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱
速度計算位置 (図-9 参照)

図-10 最低速度の地点分布

を比較した(図-11)。この図から、シケインの形状・寸法と走行速度との関連を読み取ることができる。横方向のずれ ϕ の値が最も大きいA5のシケインで最低速度値が14.5 km/hと、最も低く、速度抑制効果が一番高い。一般に、コミュニティ道路の導入計画(案)⁶⁾では、自動車の走行速度を20 km/hにすることを目標としているので、速度20 km/h以下になる範囲を調べてみると、A5のタイプでシケイン中心より前方12.0m、後方10.0mの合計22.0mであり、A4のタイプで前方9.4m、後方6.6mの合計16.0m、A3のタイプで前方7.0m、後方6.0mの合計13.0m、A2のタイプで前方6.6m、後方6.4mの合計13.0m、A1のタイプでは速度が20 km/h以下にならなかった。

ここで、図-10を再検討する意味で図-11をながめると、横方向のずれ ϕ の値が最も小さいA1のタイプは、シケイン中心を過ぎたあたりで最低速度になっている。これに対して、 ϕ が最も大きいA5のタイプでは、シケイン中心の手前ですでに最低速度に達していることがわかる。このように、シケインのタイプで最低速度となる位置が異なっている。

速度低下の程度に注目してみると、いずれのタイプでもシケイン部分では走行速度が5～10 km/h低下していることがわかる。シケイン別に速度低下効果を見るために、シケイン通過前後の最低速度 V_{min} とシケイン通過後の最高速度 V_{max} とをプロフィールから読み取り、速度低下率 R を次式によって計算した。

$$R = (V_{max} - V_{min}) / V_{max}$$

V_{max} , V_{min} , および R の値を図-12に示してある。A2, A3およびA4の3つのシケインでは速度減少率に大きな差が見られない。A1では、速度の低下がほとんどないのに対し、A5では、40%を超える速度低下が生じている。この場合、シケイン横方向のずれが、1.0mと最も大きいことが顕著

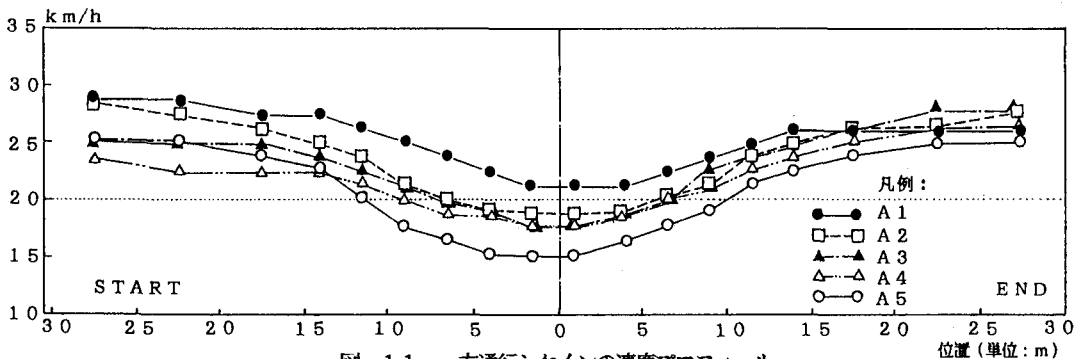


図-11 一方通行シケインの速度プロフィール

な速度低減につながっていると解釈できる。

これに対して、対面通行のシケインでは、対向車を想定した実験ケースを除いて、一方通行シケインの場合ほどの走行速度の低下はほとんど認められなかった。対面通行のシケインの場合の速度プロフィールを、B1、B5について対向車あり/なしのものを対比させて図-13に示した。シケインB1では、対向車に見立てた駐車車両のあり/なしで、シケイン通過時の速度プロフィールに著しい相違があることがわかる。特に、B1、B4では走行速度の低下が大

きい。しかし、屈曲の程度のきついB5では、走行速度に差は見られない。これは、B5の屈曲の程度がきつく、対向車両がない場合でも、速度低下の割合が大きいためと解釈できる。

4. まとめ

本研究では、歩車共存道路や、交通抑制型道路で、盛んに使用されるようになったシケインの最小寸法を、計算機によるシミュレーションによって描いた走行軌跡図をもとにして求め、さらに走行実験を実施して、シケインの速度抑制効果を確認した。その結果によれば、一方通行のシケインの速度抑制効果が顕著であり、とりわけ、シケインの横方向のずれ ϕ の値を -50 cm 以上とすると、シケインを中心とした長さ 13 m の範囲で走行速度が 20 km/h 以下に抑えられた。最高速度と最低速度とを比べると、シケイン横方向のずれ ϕ の値がゼロのとき、 27.5 km/h から 18.0 km/h へと 9.5 km/h も速度が低減している。これは、3節で引用したRAS-Eの主張を裏付けている。仮に ϕ を 1.0 m とすれば、速度低減効果はより高まるが、広い道路幅員が必要となり、さらに視界もさえぎられるので、安全性が低下する恐れもある。この意味では、 $\phi = 0.0\text{ m}$ が実用上、妥当であろうと考える。

対面通行シケインでは、対向車に見立てた車があると、大幅な速度低下が見られる場合があった。従って、このタイプのシケインの設計では対向車とすれ違う頻度が低い場合をどう扱うべきか、といった問題がまだ残されている。

最後に、走行実験に際して、光センサーを応用した速度測定装置を組み立て、自ら計測に協力していただいた(株)都市総合研究所の土橋正彦氏に我々担当者一同、心よりの感謝の意を表したい。

【参考文献】

- 1) 住宅・都市整備公団「団地内歩車共存道路の計画設計指針・同解説」、1986。
- 2) 小谷、天野「路上障害物を利用した自動車の速度抑制手法に関する一実験的考察」第2回土木計画学、1980。
- 3) 青木 英明 訳「西ドイツにおける生活道路設計基準」Richtlinien für die Anlage von Straßen - Erschließung (RAS-E)、大阪市土木技術協会、1984
- 4) Christie, A.W. and J. Chisholm: Goods vehicle manoeuvres, a computer simulation and its application to roundabout design, TRRL SR No. 662, pp. 13-14, 1981.
- 5) Green, P.B.: Simulation of vehicle manoeuvres, The Highway Engineer, 27 (7), p. 14ff., 1980.
- 6) 建設省、大阪市、名古屋市「地区内道路における歩車共存手法の導入に関する調査報告書」(財)国土開発技術研究センター、3, 1985。

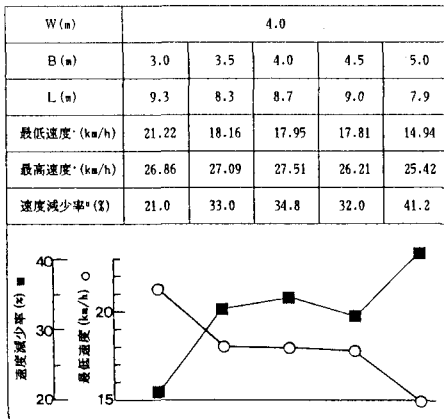


図-12 VmaxおよびVmin値と速度減少率

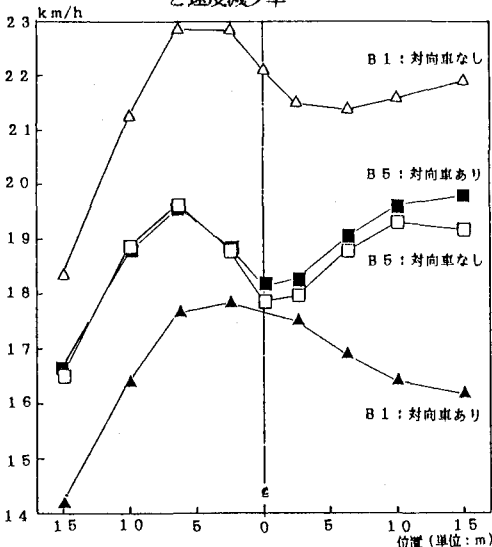


図-13 対面通行シケインにおける速度プロフィール