

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

京都大学工学部 正員 小谷通泰
京都大学工学部 正員 天野光三

1. はじめに

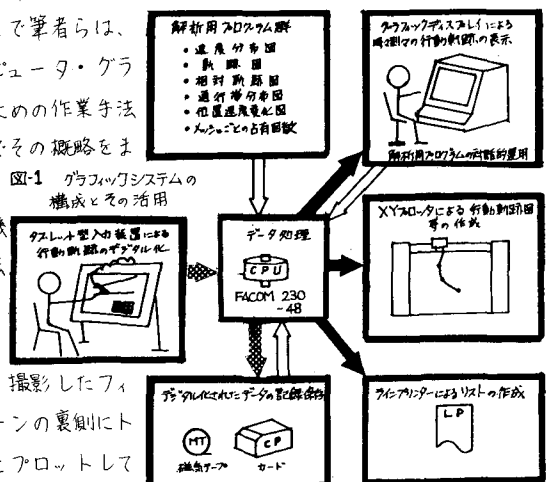
近年ヨーロッパ各国では、思いきった設計上・法制上の種々の工夫を行なうことにより、居住地域内の道路上において、車や歩行者・自転車を混合した状態のまま安全に通行させようとする事が行なわれている。オランダにおけるボンネルフ計画はその代表例として有名であり、世界的にも注目されている。このような混合交通を実現するためには、弱者である歩行者・自転車を自動車からどのようにして保護するかについて検討することが重要である。とりわけ車の走行速度をいかに低く抑えろかが大きな課題の一つといえる。これに対してヨーロッパ各国では、自動車交通に対する厳しい交通規則の適用とともに、物理的にも車の速度を制限する必要性を指摘している。そして、このための具体的な方法として、路上に一定間隔で障害物を配置したり、ハンパ(こぶ)を路上に設けるなどの工夫をしており、それらのための設計基準の作成も試みられている。わが国においても、比較的狭幅員である地区内道路では、歩行者や車が混在して通行しており、種々の交通規制や路側帯の設置を行なうことにより歩行者や自転車の保護が試みられているものの、必ずしも充分な状況とはいえない。筆者らは、従来から、このような地区内道路を対象に、混合した交通流動の実態観測などを行なっており、地区内道路における交通安全対策上の基礎資料の提供を試みてきたが、本報では、先に述べた道路上での車の速度抑制手法の一つである、路上障害物の設置をとりあげ、実験を行なうことによって障害物の配置パターンと車の走行特性との関連を考察したものである。まず2.では、従来から開発改良を加えてきている シネカメラを用いた交通流動の解析手法について述べ、3.では、路上障害物と車の走行特性に関する実験についてその概要および実験結果の解析作業 4.では、現在得られている実験結果の考察について述べる。

2. コンピュータ・グラフィックスを活用した交通流動の解析手法

シネカメラを用いたメモーション撮影による交通流動の観測結果を、マニュアルな作業だけで分析するには限界があり、分析範囲を拡大するためには、電算機による演算処理が可能となるように、観測結果をデジタル化することが有効である。そして、このデジタル変換されたデータはグラフィック・ディスプレイ装置やXYプロッター装置などのコンピュータグラフィック装置を活用すれば、観測された交通流動を再現図示することもでき、流動の特性を視覚的に検討することも可能である。そこで筆者らは、従来から、このような画像に記録されたデータをコンピュータ・グラフィックスを活用して、デジタル化処理し、解析するための作業手法の開発改良を進めてきたが、今回一応の完成をみたのでその概略をまとめて示しておく。なお、本研究で利用したコンピュータ・グラフィックシステムの構成(京都大学大型計算機センター、グラフィックシステム)とそれらの活用方法について図-1に示す。

2-1. 観測結果のデジタル化と解析の手順

本手法の中で、まず、データのデジタル化の手順は、撮影したフィルムを透過式スクリーンにコマずつ映写し、スクリーンの裏側にトレーシングペーパーをあて、これに各交通主体の位置をプロットして



行動軌跡図を作図する。次に作成した行動軌跡図から、タブレット型図形入力装置を用いて行動軌跡をX、Y座標値として拾う。その際、あわせて交通主体の属性（歩行者の場合は年齢・性別、車・自転車の場合は車種etc.）も入力しておく。最後に座標変換用メッシュを作成し、実際の道路上での軌跡になおす。得られたデータはすべて磁気テープに格納する。このように

してデジタル変換されたデータを用いれば、グラフィック・ディスプレイ装置（以後G・Dと略す）の画面上に道路区間の平面図を写し、その道路区間上での歩行者・自転車・車などの位置を時々刻々表示することによって、観測された交通流動を再現分析できる。図-2(a)(b)(c)は、変換したデータを用いて、G・D画面上に交通流動を再現した際の表示例を示している。この表示例では、車が歩行者を追い越し、かつ自転車とすれ違う状態を示している。また、同一の場面は、XYプロッターを用いれば、図-3に示すような行動軌跡図として図化出力することも可能である。なお、こうしたG・D画面上の表示は16mmカメラを用いたコマ連動撮影により記録でき、これによってリアルタイムで歩行者や車の混合した流動をアニメーション化して再現することが可能である。

この他、速度分布や通行帯分布の集計図化、相対軌跡図、位置速度変化図などの作図のための種々の解析用プログラムが準備されており、いずれもG・D装置の画面を通して、必要なプログラムを指定して起動させることができる。

2-2. 本解析手法の特徴

終りに本研究で開発した解析手法のもついくつかの特徴について述べる。

まず第一に従来からシネカメラによる交通流動の観測はしはしは行なわれてきているが、マニュアルな作業による分析には限界があり、観測結果には多くの有用な情報が含まれているにもかかわらず、その分析内容は限られたものであった。しかしながら、本手法の開発により観測結果がデジタル化され、計算機の利用が可能となり、詳細かつ多くの分析が行なえるようになった。

第二に高価な専用のフィルム解析装置を用いることなく、既存のコンピュータ・グラフィックス装置を活用して、比較的簡便にデータのデジタル化および解析が行なえる。デジタル化に際しての作業労力については、3-2において一例を後に述べているが、比較的妥当な労力といえる。

第三に、G・Dを活用すれば、交通流動のような時間的に変位するデータも、時々刻々表示して分析でき、特に本研究で対象とする歩行者や車の混合した流動の分析（例えば車と歩行者の追い越し、すれ違い現象など）には最適である。またG・Dの画面を見ながら、種々の分析用プログラムを対話的に運用することもでき、分析作業の効率が高められる。

3. 路上の障害物と車の走行特性に関する実験

ここでは、道路上に配置した障害物と車の走行特性の関連を調べるために行なった実験の概要、および観測結果の処理作業について述べる。本実験では、道路上に木製の障害物を仮設し、障害物の走行方向の配置間隔と幅員方向のすれ幅を変化させ、20通りの配置パターンを作り、各パターンごとに車を走行させ、それを8mmカメラにより撮影記録した。

3-1. 実験概要

〔日時・場所〕 10月14日(日)(天候 晴)に、京都大学教養部構内で行なった。実験場所の見取り図は図-4に示す。実験を行な

図-2 グラフィックディスプレイ上の表示例

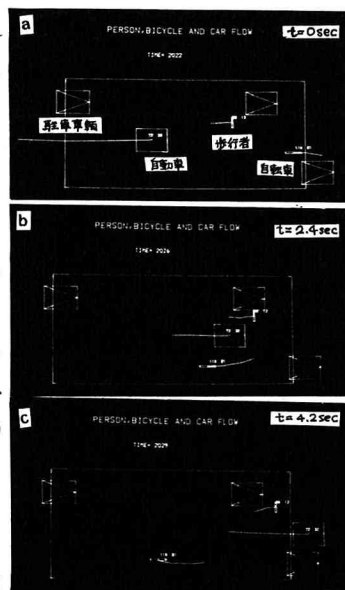


図-3 プロッターによる走行軌跡図

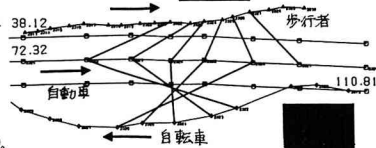
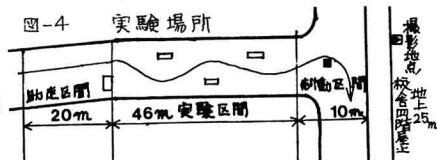


図-4 実験場所



た道路は幅員 6.2m で 観測区間は 46m であった。なお、観測区間の前方 20m を助走、後方 10m を制動のためにした。撮影は、実験道路を見下ろす 4 階建ての校舎の屋上に、8mm カメラを据えて撮影した。

〔実験で使った車〕 男子学生 5 人に対して、各人にそれぞれ 1 台ずつ車を割り当て、常に同一車を運転するようにした。使用した 5 台の車はいずれも 1400cc ～ 1600cc クラスの小型乗用車である。

〔障害物〕 障害物の形状は、走行特性へ影響を与えと考えられ、今後検討の余地はあるが、今回は縦 135cm、横 45cm、高さ 60cm の木製の直方体を障害物として使用した。なお障害物の高さについては、車の運転席よりの視界を確保することを考え、60cm とした。

〔障害物の配置パターン〕 障害物の配置パターンについては、図-5 に示すように、走行方向の配置間隔 (l とする)、ならびに幅員方向のすれ幅 (w とする) の組み合わせより考えた。今回は間隔 l については 2m おきに 4 水準、すれ幅 w については 50cm おきに 5 水準、従ってそれらの組み合わせ計 20 のパターンとした。

〔実験の順序・回数〕 くり返し走行することによる運転者の「慣れ」の効果を除去するために、配置パターンの実験順序を図-6 に示すように擬似ランダム化した。また、各配置パターンごとに、各車 2 回ずつ走行することとした。この結果、各パターンごとに 2 回 $\times$ 5 台 = 10 回、実験全体としては 10 回 $\times$ 20 パターン = 200 回走行することになる。

3-2. 実験結果のデジタル化処理

2.7 述べた画像データの解析手法を用いて、今回の実験結果のデジタル化処理を行なった。以下ではその作業内容について説明する。

(1) 軌跡図の作成とタフレット型図形入力装置による座標の読み取り

通常の 8mm カメラにより、1 秒間に 9 コマのスピードで車の走行軌跡を撮影記録し、軌跡図を作成する際には、車の位置を 3 コマおきに映写した画像から拾った。従って、0.33 秒おきの車の位置を記録することになる。今回の実験では、1 サンプルあたり観測区間内 (46m) に平均して 30 点をプロットしているのので、実験全体を合計すれば、30 点/サンプル $\times$ 10 サンプル/パターン $\times$ 20 パターン = 6000 点となる。これらのデータデジタル化に要した作業時間は、軌跡図作成のために延べ 30 時間・人、タフレット装置による座標読み取りのために延べ 3 時間・人を要した。

図-5 障害物の配置

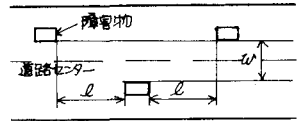


図-6 実験順序

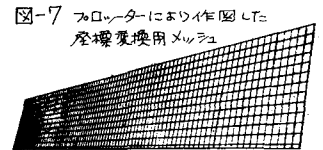
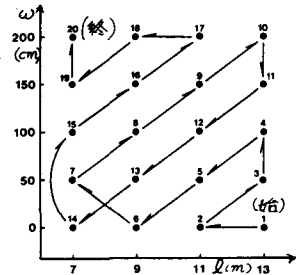


図-7 フロッターにより作図した走行軌跡図 (L=9m W=0cm)

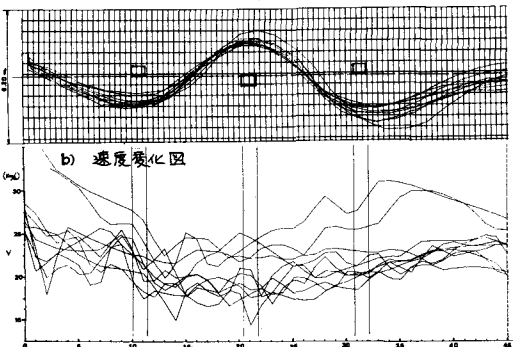
(2) 座標変換用メッシュの作成

写真撮影による平面の投影関係は式で示される。この式-1 によれば

$$x = \frac{a_1x + b_1y + c_1}{a_2x + b_2y + c_2} \quad y = \frac{a_1x + b_1y + c_1}{a_2x + b_2y + c_2} \quad \dots (式-1)$$

x, y ... 実際の道路上の座標 X, Y ... フルム画像上の座標
対応関係を決定するのに必要な未知数は 8 個であるが、互いに平面上にある 4 点 (いずれの 3 点も一直線上にない) の座標の対応関係が指定されると上式の形のものが 8 個得られ、それらを解けば未知数を求めることができる。今回の実験では、観測区間内に数十点の定点を設定してあらかじめ位置を測定しておき、これらの点を利用して式-1 に示された投影関係を定める。そしてその投

図-8 a) フロッターにより作図した走行軌跡図 (L=9m W=0cm)



影響係をもとにプロッターを用いてメッシュを作図し、実際と最も適合するメッシュ(図-7)を探し出した。

(3)プロッターによる軌跡図の作図

デジタル化されたデータを用いて、走行方向の間隔 $l=7m$ 、幅員方向のぶれ幅 $w=0cm$ の配置パターンについて、全サンプル(5台×2回計10サンプル)の走行軌跡を観測区間の平面図上に描いたものを図-8(a)に、観測区間内での各位置での速度を描いたものを図-8(b)にそれぞれ示す。

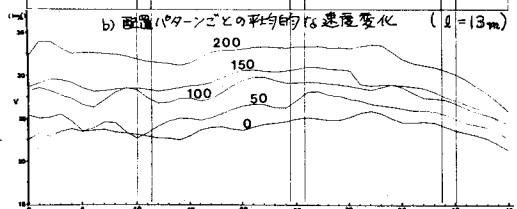
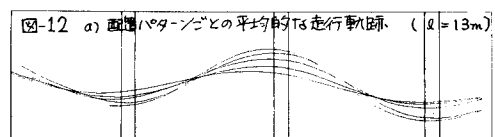
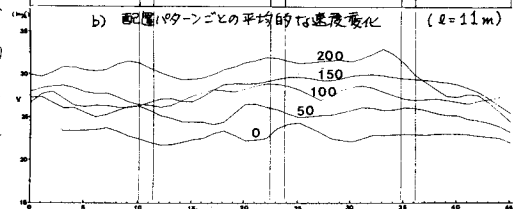
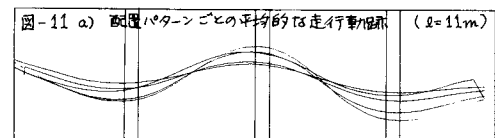
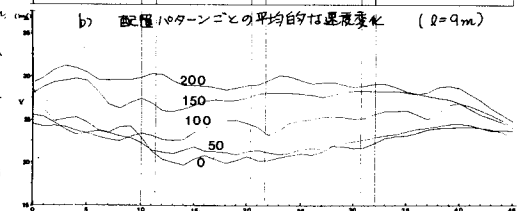
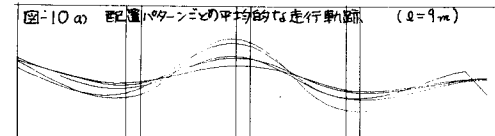
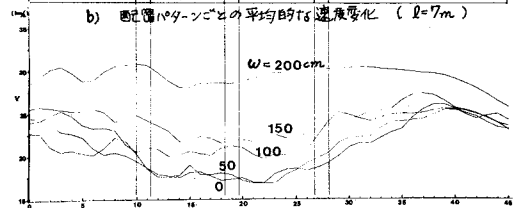
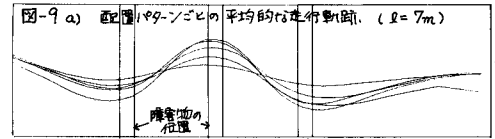
4. 実験結果の考察

ここでは、デジタル変換処理された観測データを用いて、障害物の配置パターンと、車の走行特性との関連について、特に、速度や軌跡の形状に着目して分析を行なう。

4-1. 配置パターンごとの走行軌跡と速度変化

図-9(a)は障害物の走行方向の間隔 l が $7m$ であるときに、幅員方向のぶれ幅 w が $0cm, 50cm, 100cm, 150cm, 200cm$ の各配置パターンについて、平均的なサンプルの走行軌跡(5×2回計10回の平均値)を観測区間の平面図上に描いたものである。一方、図-9(b)は、 $l=7m$ であるときに、 $w=0cm, 50cm, 100cm, 150cm, 200cm$ の各配置パターンについて、各地点でのサンプルの速度の平均値を横軸に走行方向の距離、縦軸に速度をとって図示したものである。また図-10から図-12までは、 $l=9m, 11m, 13m$ の各場合について同様な図をそれぞれ示したものである。走行軌跡を描いた図-9(a)によれば、 l が一定である場合、 w の増加に伴い軌跡のぶれは大きくなるが、軌跡の波形の山と谷の位置は w にかかわらず、ほぼ一定である。また軌跡のぶれがある程度以上大きくなると、道路幅員の影響をうけると考えられるが、今回の実験では幅員は $6.2m$ の場合のみであるので、その効果については明らかにできない。一方、速度変化を描いた図-9(b)によれば、 l を一定とした場合、 w の減少に伴い速度低下の傾向が読み取れ、障害物による速度抑制効果がわかる。また、 w の各値に対して、速度は障害物の配置による影響区間では全般に段階的に差があり、各配置パターンの効果を後に影響区間内の平均速度で捉えることとする。

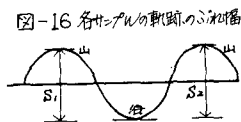
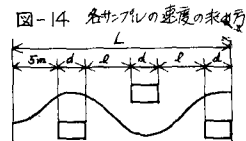
以上のことを考えあわせれば、 w を小さくすれば、速度低下の効果はあるものの、軌跡のぶれは大きくなり、それだけ道路幅員方向を車が大きく占有することになる。たとえば、道路沿道に歩行者の空間を確保しようとするなら、軌跡のぶれが大きくなればそれだけ歩行者の空間へ車が侵入することになる。そこで、4-2では、こうした各配置パターンの車の走行特性への影響を定量的に見るために平



平均速度 V と、軌跡の平均ふれ幅 S をとりあげて、配置パターン ℓ , W とこれら V , S との関係、および V と S の相互関係について分析する。

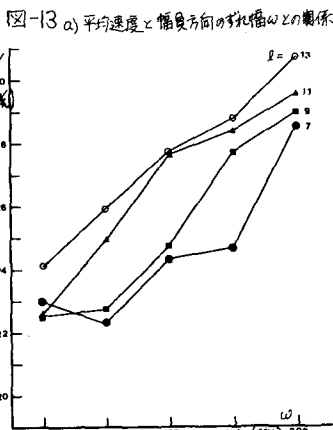
4-2. 配置パターンと平均速度、軌跡の平均ふれ幅との関係

ここでは、配置パターンの変化によって、パターンごとのサンプルの平均速度および軌跡のふれ幅がどのように変化するかについて述べる。まず、図-13(a)は、各配置パターンごとのサンプルの平均速度 V と障害物の幅員方向のふれ幅 W との関係を走行方向の間隔 ℓ ごとに図示したものである。また図-13(b)は V と ℓ との関係を、 W ごとに図示したものである。なお、この際各サン



プルの速度は、前述の図-9~12(b)から障害物の影響範囲を考え、図-14に示すような方法により算定した。つまり、1番目の障害物の手前5mから、一番最後の障害物を通過するまでの区間で、車が実際に走行した軌跡にそってはかった距離をその移動に要した時間で除して求めた。図-13によれば、 ℓ や W の増加に伴いおおよそ V が増加する傾向がみられる。これら20種の配置パターン間では、平均速度の最大値と最小値の間には、8.42km/hの差があり、 $W=0\text{m}$, $\ell=7\text{m}$, 9m , 11m , $W=50\text{m}$, $\ell=7\text{m}$, 9m などのパターンはかなり速度抑制の効果があると考えられる。また、 ℓ が一定のとき W の2mの変化に対し、平均速度は6.31~6.64km/h (平均6.61km/h)、また W が一定のとき、 ℓ の6mの変化に対し1.54~4.15km/h (平均2.98km/h) それぞれ変化しており ℓ に比べて W の速度抑制効果が大きいと考えられる。

次に図-15(a)は、各配置パターンごとのサンプルの軌跡の平均ふれ幅 S (軌跡のふれ幅は後述するように1サンプルにつき2ヶ所測定



たとき、路側の余裕幅が80cm程度になり、軌跡の形状への制約が大きいためと考えられる。また $W=150\text{cm}$ 、 200cm の場合には ℓ が増すにつれて走行経路に自由度が増すため、 ℓ は増す傾向にある。最後に図-16は、上述の方法で各配置パターンごとに算定した平均速度と軌跡の平均ぶれ幅の関係を、パターンごとに図示したものである。この図によれば、平均速度と軌跡の平均ぶれ幅が相反する関係にあることがわかる。また、この図によれば、目標とする速度およびぶれ幅を指定すれば、それらの条件を満たす配置パターンを選り出すことができる。たとえば、平均速度25km/h以下、ぶれ幅2m以下とすれば、20種のパターン群より、 $\ell=7\text{m}$ 、 $W=150\text{cm}$ または 100cm 、 $\ell=9\text{m}$ 、 $W=100\text{cm}$ の3つのパターンが選択できる。

4-3. まとめ

以上述べてきたように、障害物の配置パターンと車の速度や走行軌跡との概略の関係を把握することができたが、今回の実験は実験ケースも限られておりサンプル数も少なかつたため、一般的な結論を得るためには今後多くの実験の蓄積が必要と考える。また実験は、歩行者・自転車をまったく通行させず、車のみを単独で走行させているので車と歩行者・自転車との衝突の危険がないこと、また障害物も軽量な木製であることなど、いわば特殊な条件のもとで実施されたものであるため、全般的にかなり高い走行速度を記録しており、実験の実施方法にも問題が残されている。同様な試みを実際に供用されている道路において、もっと強固な常設物を設置して行なったならば、本実験の結果より、一層の速度低下の効果が期待でき通常の設計目標速度の15km/hの達成も困難ではない。今後、現実の設計へ適用可能なデータを得るためには、やはり現実の道路、もしくはそれに近い環境を創出して、そこでの同様な実験をつみ重ねていくことも必要ではないかと思われる。また、今回の分析では速度や軌跡のぶれ幅などの限られた分析にとどまっているが、引き続き、配置パターンのハンドル操作への影響、個人ごとの属性による走行特性の差異などについて分析を進めて行きたい。

5. おわりに

ヨーロッパ諸国においては、現今歩行者や車の安全な混合交通の可能性について検討が盛んに行なわれているのに比して、わが国においてはそのための基礎データは不足しているのが現状である。今後特にその蓄積が望まれる。本報では、過去に行なった地区内道路の実態調査に続き、障害物による車の速度抑制効果について、車の走行実験を行なった結果を述べたが、その効果については充分期待できるものであった。しかしながら、現実への適用のためには、先に述べたように同様な実験・調査の継続が必要であると考えられる。最後に、本研究を進めるにあたり、車を用いた走行実験の実施について、大阪産業大学榊原和彦助教授に有益な御助言を頂いた。また解析手法の開発にあたっては、当時学部学生 村上哲雄氏(現大阪市土木技術協会)、そして実験結果の解析に際しては学部学生山中英生氏の協力を得た。ここに謝意を表する次第である。

【参考文献】

- 1) オランダ王立ツリングラフ「オランダにおけるWOONERF計画」人と車別冊 1978年1月2日
- 2) 高岸・佐佐木「都市における歩行者・自転車の空間について」交通科学 Vol.8 1979年
- 3) 天野・小谷・村上「地区内道路における交通実態の調査とその解析について」第34回土木学会全国大会講演要録集 1979年10月
- 4) 天野・小谷「地区内道路における混合交通流動の実態解析について」第13回日本道路会議論文集 1979年10月
- 5) 奥山・早藤他「海上航行船舶挙動に関する研究」(第1報～第3報) 港湾技術研究所報告 1976年～1978年
- 6) 高岸節夫「すれ違い、追い越しからみた2方向2車線自転車道の通行帯幅に関する一実験的考察」交通工学 Vol.12 No.6 1977年