

関門トンネルの交通流特性に関する一考察

田村 洋一*・樗木 武**・加藤 剛***
古池真砂也****

On the Traffic Flow Characteristics in Kanmon-Tunnel

Youichi TAMURA*, Takeshi CHISHAKI**, Takeshi KATOH***
and Masaya KOIKE****

Abstract

This paper describes some traffic flow characteristics in Kanmon-tunnel. Kanmon-tunnel is an undersea two-lane road tunnel and 3461.4 m long. Traffic data used in this study were obtained by analyzing pictures recorded through 5 watching TV-cameras selected from 26 cameras installed in the tunnel.

Mean headways of sub-compact and compact cars, about 5.0 and 4.0 seconds respectively, were nearly constant until the sag of tunnel and decreased a little after the sag. On the other hand, mean headways of midium-sized and large-sized cars were almostly constant, both about 7 seconds, up to the sag, and it increased to 9 seconds in the up-grade section after the sag. Platoon grew according to progress of traffic flow and mean platoon size changed from 5.5 to 7.5 veh./platoon. The rate of midium-sized and large-sized cars occupied in leaders of platoon increased with distance from tunnel entrance, and the rate of sub-compact and compact cars in leaders decreased. So, the headway distribution changed by location though traffic volume did not change. It became clear that midium and large-sized cars had a great effect on tunnel traffic flow.

1. はじめに

関門トンネルは、国内最長の海底道路トンネルであり、昭和48年の関門橋開通までは九州と本州とを直接結ぶ重要な幹線道路であった。関門橋の開通後は、広域幹線交通路としての地位はやや低下したものの、今なお重要な路線であることに変わりはない。また、天候条件の悪化や交通事故の発生などにより関門橋が閉鎖された場合、そのバイパスの機能を果たすことになり、関門トンネルに大量の迂回交通が集中することが

予想される。

ところで、交通量がトンネルの容量を超えれば、トンネル内に渋滞が発生し、多くのドライバーと乗客が長時間に渡り劣悪な環境下に置かれることになる。また、トンネル内で交通事故が発生すれば、多くの車がトンネル内に閉じ込められ、極めて危険な状況が生じることになる。したがって、このような長大トンネルでは、渋滞発生の子測ならびに流入制御などを中心とした、渋滞発生後の合理的な対策を立案しておくことが重要な課題になるが、そのためには、トンネル内交通流の特性を正確に把握しておく必要があることはいうまでもない。

上述の観点から、本研究は、関門トンネル内の交通流特性について分析し考察を行なったものである。具体的には、トンネル内に設置されている複数の監視用TVカメラから映像を取り出して記録し、これよりトン

*建設工学科

**九州大学工学部土木工学科

***大学院建設工学専攻(現 北九州市役所)

****大学院建設工学専攻(現 広島市役所)

ネル内の車頭時間分布、速度分布、車群分布、車種別の車群先頭車割合などの場所的な特性と変化を分析して得られた知見について報告する。^{1),2),3)}

2. 交通流観測

関門トンネルには、26台のTVカメラが設置されており、常時交通流の監視が行なわれている。これらのうち、Fig. 1に示す5箇所の監視カメラの映像を、昭和63年7月26日(火)の夕方から27日(水)の夕方まで約24時間VTRに連続記録した。図中の番号は監視カメラ番号であり、No. 1は下関側出口、No. 7は下関側坂道区間のほぼ中央部、No.15とNo.16はトンネル中央部のサグを挟む位置にあり、No.21は門司側坂道区間のほぼ中央に位置している。なお、監視カメラが下り(門司方向)車線側の側壁に登り方向の交通流と対面するように設置されているため、VTR画面から下り方向の交通流を計測することは困難であり、登り方向(下関方向)の交通流のみを解析の対象にした。

本研究では、こうして得られた観測記録のうち、27日午前7時から10時までの交通流について、車種判別を行ないながら、各車の観測地点での到着時刻を読み取り、これを基本データとして車頭時間、速度、車群台数などを算出し、以下の各節に示す分析を行なった。また、このときVTR画像からの到着時間の計測は、各地点の観測画面に合わせてテレビ前面のガラス上に2本の検査線を引き(Fig. 2参照)、各検査線への車の到着時刻を画像中にダビングしたデジタル・タイマーの値を読み取ることにより行った。各地点での検査線間隔(D)はTable 1に示すとおりである。また、観測データの総数および車種構成はTable 2のとおりであり、各地点とも2260台からなる同一の車で構成される交通流を解析対象にしている。

3. 解析結果

3.1 時間距離図

Fig. 2に観測時間帯のうち7時20分~40分の20分間

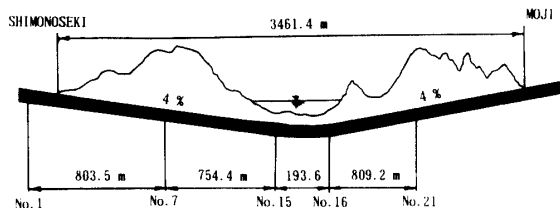


Fig. 1 Observation Points

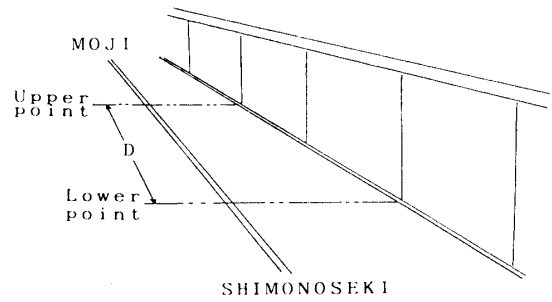


Fig. 2 Observation lines on VTR picture

Table 1 Length of observed section

TV-camera number	Length of observed section D(m)
No. 1	34.6
No. 7	34.8
No.15	33.3
No.16	39.5
No.21	20.0

Table 2 Number of observed vehicles

Types of vehicles	Observed number (%)
sub-compact car	637 (28.2)
compact car	1182 (52.3)
midium-sized car	163 (7.2)
large-sized car	278 (12.3)
Total	2260 (100.0)

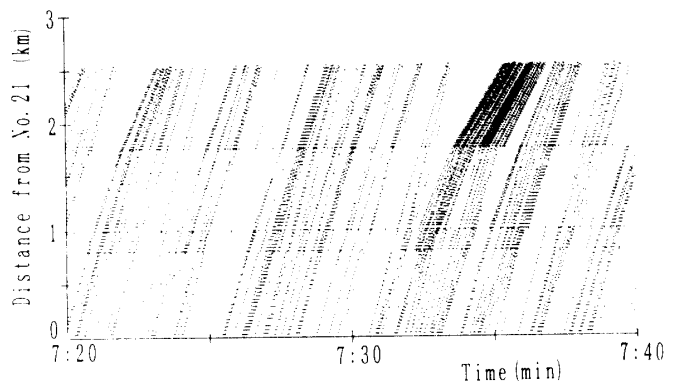


Fig. 3 Time-distance diagram

を取り出したときの時間距離図を示す。

これより、交通流が進行するにつれて、サグ部を通過したあたりから速度低下を生じる車が発生し、この後方に車群が形成される様子が見てとれる。また、登坂部中間地点のNo. 7を過ぎると低速車の速度はさらに大きく低下し、トンネルの出口に近づくにしたがって車群が成長するだけでなく、車群速度に応じて車群間隔が長くなったり、短くなったりする変化が生じることが読み取れる。

3.2 車頭時間分布

各観測地点における車頭時間分布を Fig. 4 に示す。交通量は、図に示すようにいずれの地点においても12.3台/分(738台/時)前後ではほぼ等しい値を取っており、平均車頭時間もほぼ一定(4.9秒)である。一方、車頭時間分布の形はトンネル出口に近づくにつれて、左方向への偏りと尖りとはが顕著になる傾向を示している。平均車頭時間が等しいにもかかわらず車頭時間分布にこのように顕著な変化が生じるのは、交通流がトンネル内を進行するにつれて高速車が先行する低速車に追いつき車群が成長すると同時に、車群内車両の接近、すなわち、車群内車頭時間の圧縮が生じること、また、その一方で車群先頭車と先行車群の最後尾に位置する追従車との車頭時間が拡大することなどに起因すると考えられる。

次に、各地点における車種別の平均車頭時間を示せば Fig. 5 のとおりである。図より全ての地点において最も平均車頭時間が小さいのは普通車で、トンネル流入後の下り区間の中間部での平均車頭時間は約4秒であるが、トンネル内を進行するにつれ徐々に減少し、出口部では約3.5秒となる。また、サグ部を過ぎたところからやや減少率が大きくなる。軽自動車の平均車頭時間は普通車のそれよりほぼ1秒程度大きな値を取りながら同じような変化パターンを示す。一方、中型車と大型車の平均車頭時間との間に大きな差はなく、サグ部まではおおむね7秒で一定とみなしうる。しかし、中・大型車の平均車頭時間は、サグ部を過ぎ上り区間に入ると普通車や軽自動車とは逆に増加し始め、出口部では9秒と初期値より2秒も大きくなる。

これらのことから、普通車、軽自動車はトンネル内を進行するにつれて先行する低速車に追いつき追従車になるものが多く、逆に中・大型車は車群先頭車になりやすいことがわかる。また、このような傾向は、サグ部を過ぎた上り区間で顕著である。

以上のことは、前節で考察した時間距離図に現れた傾向とも一致し、軽自動車および普通車の車頭時間が

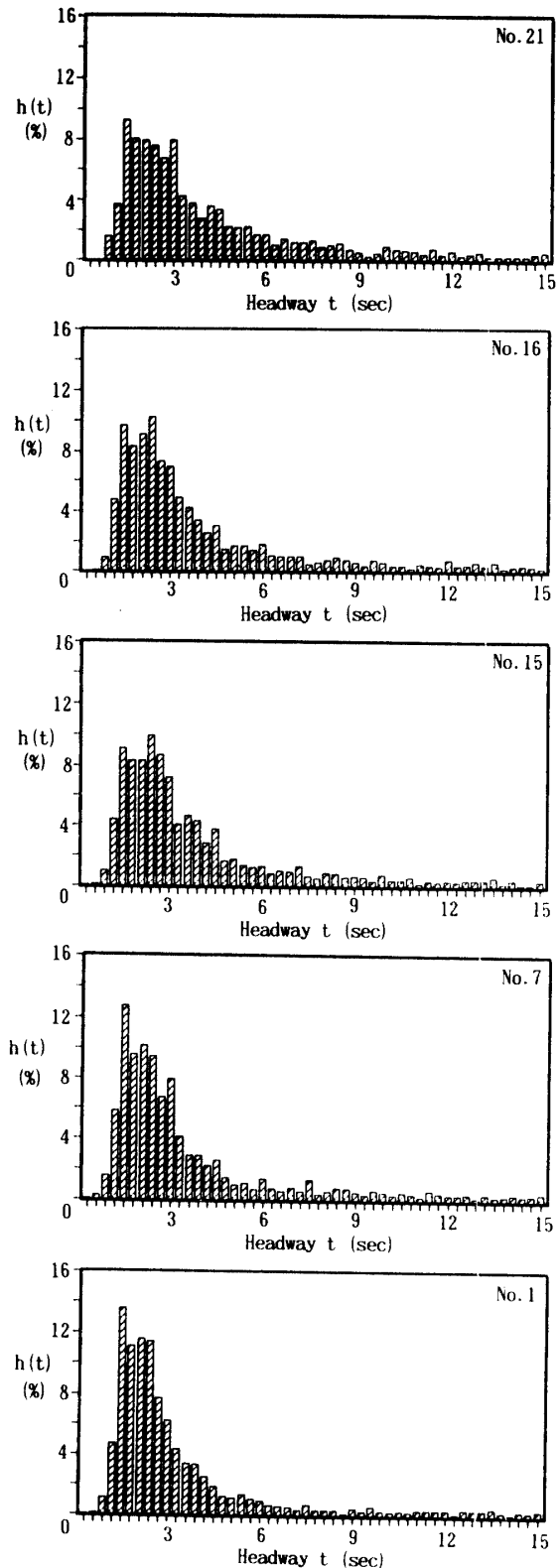


Fig. 4 Headway distribution at each point

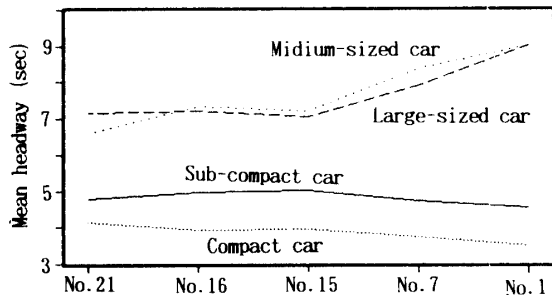


Fig. 5 Mean time headway by types of vehicles

短縮化し、中・大型車の車頭時間が長くなることによって交通量に変化がないにもかかわらず、車頭時間分布の形状に大きな変化が生じているといえる。したがって、トンネル内交通流の車頭時間分布特性は、各地点での車群形成状態と関係づけて論じられなくてはならず、トンネル内での車群の形成過程が明確に把握されなくてはならないことは明らかである。

3.3 速度分布

トンネル内の各地点における平均速度を Fig. 6 に示す。図より全ての車に対するの集計結果をみれば、平均速度はトンネル流入後の下り区間においては、サグ直前まで約57km/h から約60km/h へとわずかに増加するが、サグ部では46km/h まで約14km/h の大きな速度低下を生じている。そして、サグを過ぎると平均速度は一旦回復に向かい、登坂区間の中央部ではサグ直前の速度近くまで上昇するが、それ以後、再び低下し、トンネル出口部では約49km/h となる。この平均速度の変動パターンは、車種に関係なくほぼ同一である。また、サグ手前までは車種による平均速度の相違はほぼゼロとみなせるが、トンネル後半の登坂部においては普通車・軽自動車と中・大型車との間に1~2 km/h の速度差が生じている。

普通車・軽自動車と中・大型車との間にほとんど速度差が生じていないのは、トンネル前半の下り坂区間では各車がほぼ自由速度に近い速度で走行していることによる考えられ、一方、トンネル後半の登坂部においては軽自動車・普通車の多くが車群追従車として速度低下を生じているためであると推察される。

そこで、この点についてさらに詳しく検討するために、車を車群先頭車（自由車）と追従車とに分類した上でそれぞれの平均速度を求めたところ、Fig. 7 に示す結果を得た。なお、この分析においては、車群先頭車と追従車を判別するために4.5秒の限界車頭時間を設

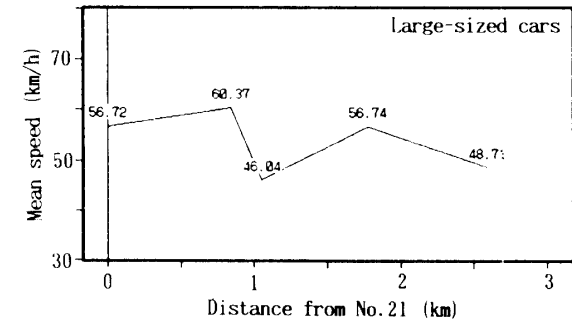
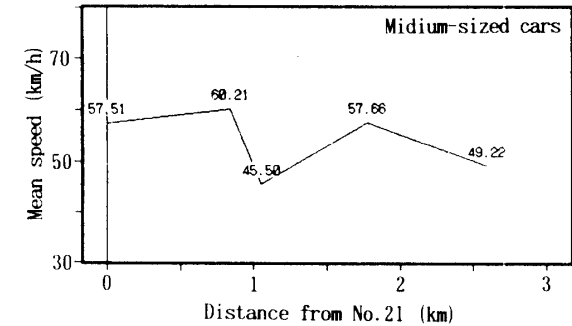
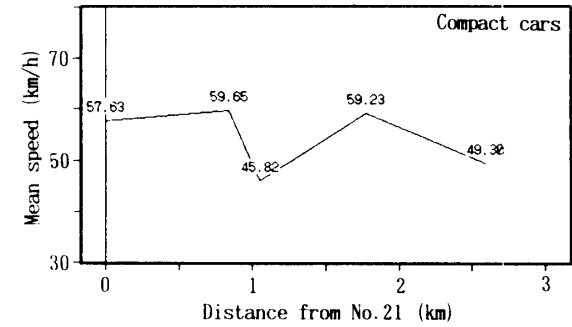
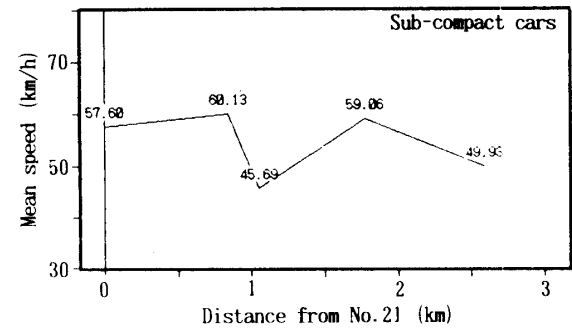
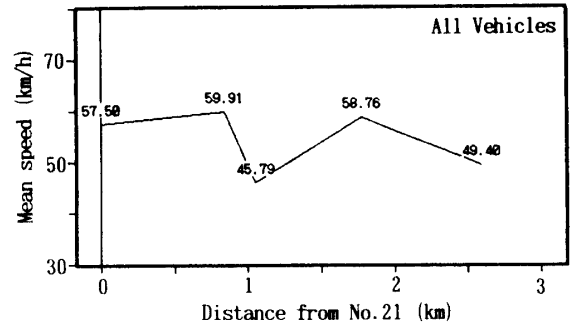


Fig. 6 Mean speed

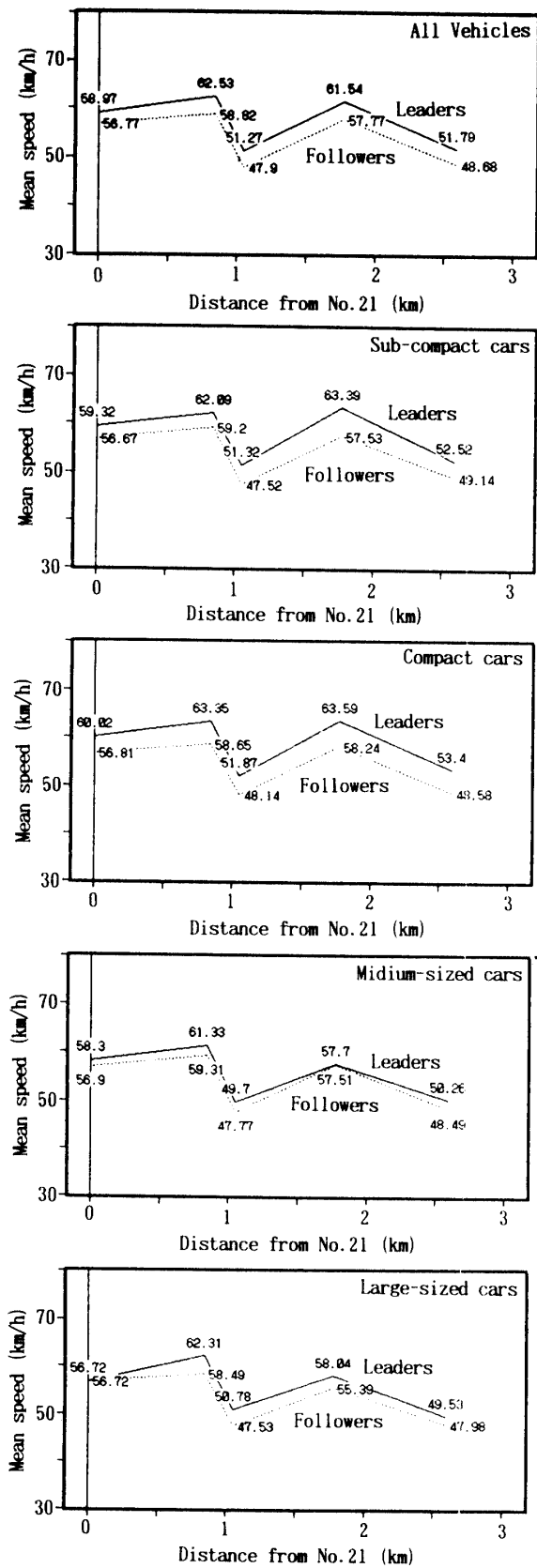


Fig. 7 Mean speeds of leaders and followers

定し、これ以上の車頭時間を持つ車を車群先頭車、これ以下の車を追従車として分類を行った。

図より、中型車・大型車の車群先頭車と追従車との平均速度の差が1~2 km/hとごく小さいのに対し、軽自動車と普通車では3~5 km/hであり、その差が大きいことがわかる。また、追従車の速度についてみれば、車種による差異はほとんど認められない。一方、自由車についてみれば、登坂区間中央部での軽自動車と普通車の自由車の速度は63km/h程度であり、これを軽自動車・普通車の自由速度と考えるのは無理のない仮定であろう。これに対して、同地点での中・大型車の自由車の速度は約58km/hであり、この地点で軽自動車と普通車が中・大型車を先頭に形成される車群に吸収されたときの速度低下量は、5 km/h程度と推定される。また、トンネル出口部においても同様な考察から軽自動車・普通車が強いられる速度低下は、おおむね5 km/hであるといえる。しかし、普通車の場合にはその性能から考えて、希望速度は登坂部中央部での速度に近いものと考えられ、トンネル出口部における速度低下はこの値を上回ると考えられる。

3.4 車群分布

各地点における平均車群台数を Fig. 8 に示す。図より、平均車群台数は、トンネル出口に向かうにつれほぼ直線的に増加することがわかる。

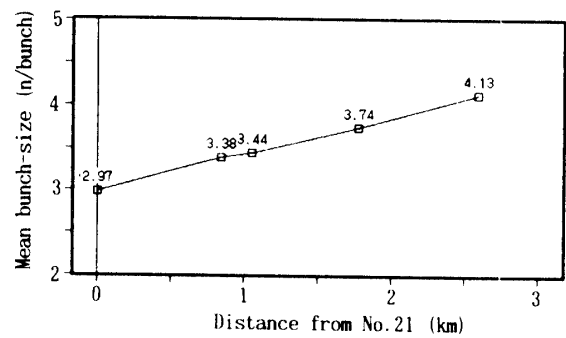


Fig. 8 Mean bunch-size

また、各地点における車群台数分布は、Fig. 9 に示すとおりである。これからも交通流がトンネル内を進行するにつれて単独車が減少し、車群が成長していることがわかる。すなわち、サグ部までは10台以下の比較的小規模な車群が発生し、これを過ぎると10台以上の車で構成される車群の出現率が高くなり、出口部では、車群台数16台と大きな車群の発生頻度が高くなっていることが目立つ。

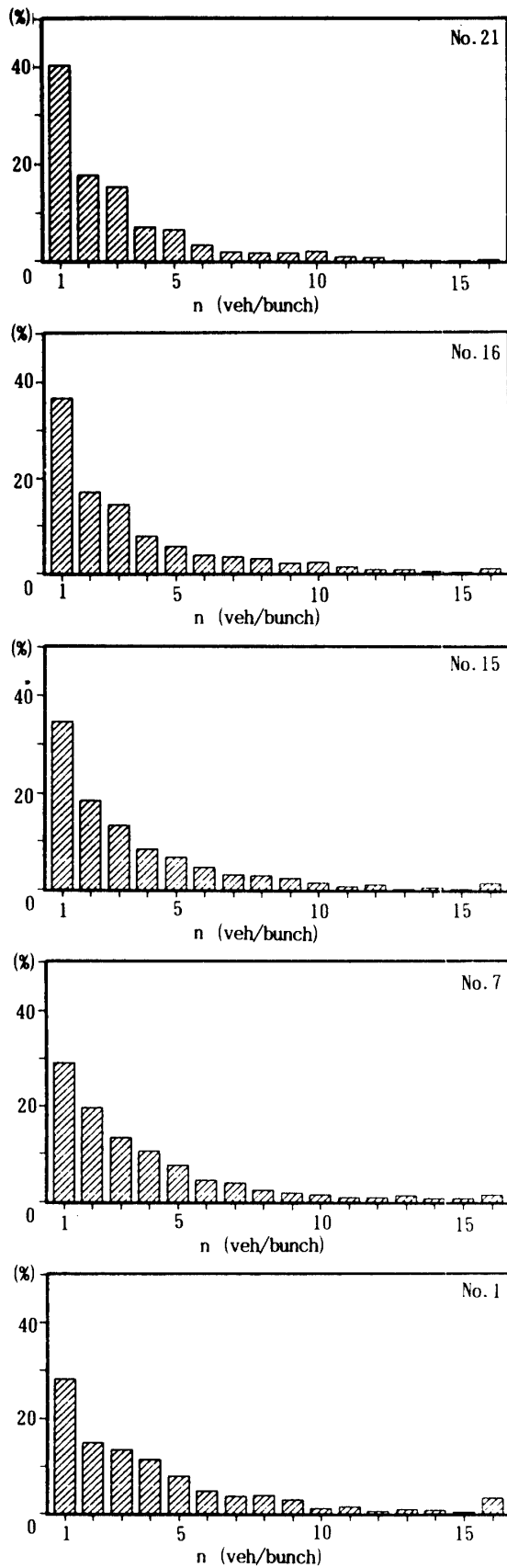


Fig. 9 Bunch-size distribution

次に、各地点で発生した車群について車群先頭車の車種構成割合を見れば、Fig. 10に示すとおりであり、各地点とも最も車群先頭車になり易いのは大型車であり、ついで中型車、軽自動車、普通車の順になっている。すなわち、地点によって多少変動はあるものの、大型車と中型車を合わせれば70%前後の車群がこれらの車を先頭車とするものであり、軽自動車に起因する車群は20%前後、普通車によるものは10%強である。また、これらの構成割合は、大型車・中型車ではトンネル出口に近付くにつれ増加し、逆に、軽自動車・普通車では減少している。したがって、これらのことから車群の形成・成長は主として中・大型車により左右され、これらの車の混入率が低くても、交通流に大きな影響を与えることがわかる。

さらに、各車種ごとに車群の先頭車になる割合に関して考察してみよう。すなわち、軽自動車、普通車、中型車、大型車の各車種ごとに、その車種の何パーセントが車群先頭車になっているかについて、各地点ごとに割合を算出した。その結果を示せば Fig. 11のとおりである。

まず、全車種について集計した結果を見れば、車群先頭車すなわち自由車の割合は交通流の進行に従いほぼ直線的に低下しており、トンネル出口に近づくにつれて車群が成長し、自由車が減少していることがわかる。これは交通流の進行に伴って小さな車群が大きな車群に追いつくことにより吸収されるため車群数が減少することによるものである。また、こうした車群の結合により、さらに大きな車群が形成されることはいうまでもない。

各車種ごとに上と同様な考察を行えば、まず、軽自動車については、軽自動車中の車群先頭車になるものの割合は、入り口直後の下り坂中間部の33.8%からトンネル出口の22.6%までほぼ直線的に低下している。

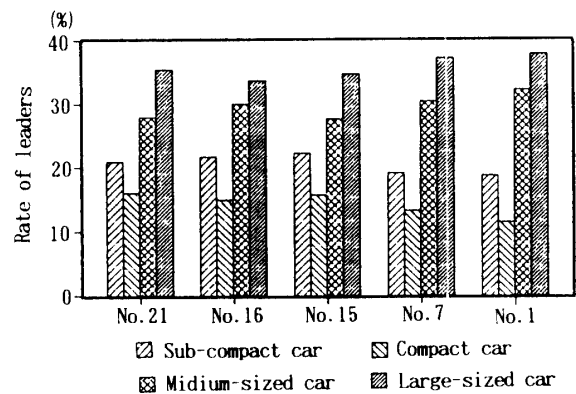


Fig. 10 Rate of leaders

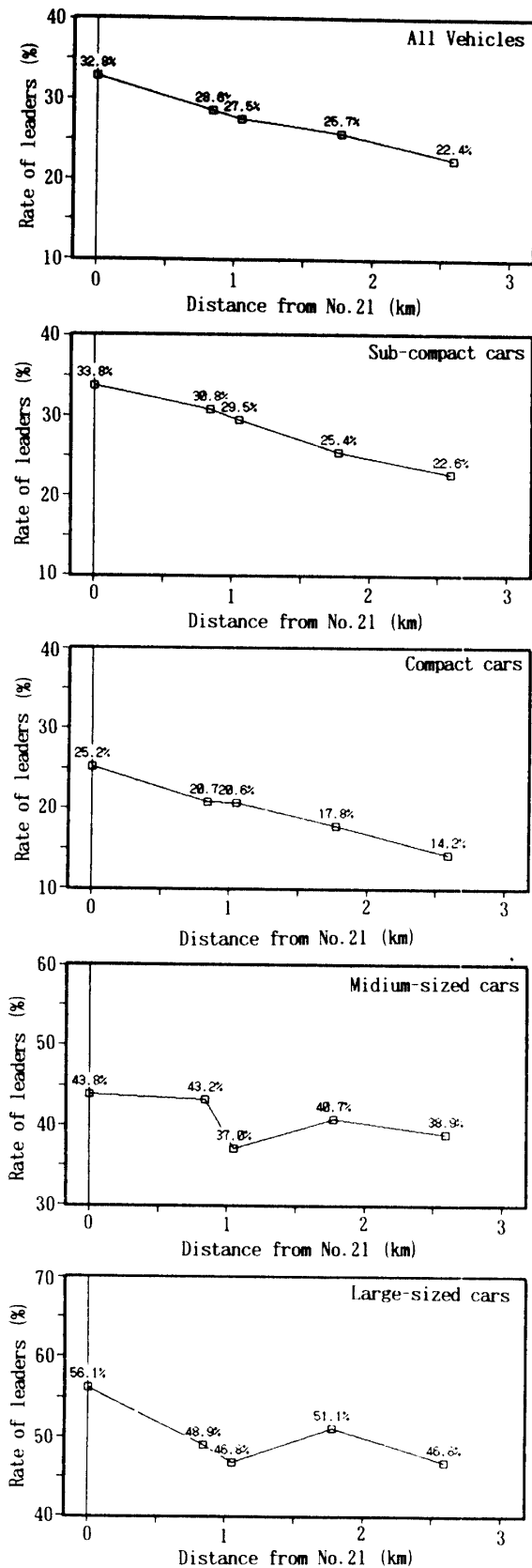


Fig. 11 Rate of leaders by types of vehicles

また、普通車のうち車群先頭車となるのは、下り坂中間部では25.2%であるが、出口部での14.2%まで、軽自動車の場合と同様にほぼ直線的な減少傾向を示す。一方、登坂部で速度低下を生じ易い中型車は、下り坂中間部の43.8%から出口部の38.9%へ、また、中型車以上に登坂部での速度低下が大きい大型車は、56.1%から46.8%といずれも減少傾向を示すものの、いずれも軽自動車、普通車の自由車率を大きく上回っていることがわかる。すなわち、中型車および大型車のうち車群先頭車になるものの割合は、トンネル出口部で中型車は普通車の2.6倍、大型車は3.3倍であり、中・大型車が車群先頭車になり易く、車群の形成、成長に大きな影響を及ぼしていることがわかる。

4. おわりに

本研究では、関門トンネルの交通流特性について、トンネル内に設置されたVTR監視カメラを通じて多点同時観測を行うことによって得られたデータの分析を行った。その結果、トンネル内での車頭時間分布、速度分布、車群分布の変化を把握することができた。また、トンネル内での車群形成に対する車種別の寄与率も知られ、とくに中型車と大型車の影響が大きいことが明らかになった。一方、今回の研究は、データの定性的な分析にとどまっており、各交通変量分布を精度よく表現するモデルの構築とモデルパラメータと交通変量間関係を明らかにすること、また、車群の形成過程を表現するモデルの構築などが課題として残されており、今後これらの点を中心に研究を進めてゆきたい。

なお、本研究を遂行するにあたり、関門トンネルでの交通流観測において、日本道路公団下関管理事務所ならびに福岡道路エンジニア(株)下関道路事務所の皆様に、一方ならぬ御協力をいただいた。また、九州大学院生塩見成一氏には調査の実施に、また、山口大学卒業生杉山稔明氏にはデータ解析作業に多くの補助をいただいた。これらの方々に、心より感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 加藤剛：長大トンネル内の交通流特性に関する研究, 山口大学工学部建設工学科卒業論文, 1989
- 2) 田村洋一・樗木武・加藤剛：関門トンネルの交通流特性について, 第41回土木学会中国四国支部研究発表会講演概要集, pp.416-417, 1989
- 3) 辰巳浩：長大トンネルの交通流特性に関する研究, 九州

大学工学部土木工学科卒業論文, 1989

(平成2年4月14日受理)