

1. はじめに

高速道路は最も高規格の道路であり、道路線形や構造面では安全性の高い道路といえる。しかし、交通量が増加し道路のもつ交通容量に近くなると潜在していた道路の弱点が顕在化し、交通のスムーズな流れを乱し事故誘発の大きな原因となる。今回研究対象としている名神高速道路吹田I.C.～京都南I.C.間(37km、図-1)はこのことが典型的に表れている区間といえる。この区間は名神高速道路の中でも事故の多発する区間となっているが、それは交通容量の低下をきたす隘路区間(トンネル)が存在しその交通容量低下の影響が最も敏感に生じるような大量の交通が流れているために、潜在的な危険性が事故に発展しているものと考えられる。ところで、実際に発生している事故の形態をみると追突事故の占める比率が高く、この追突事故をいかに減少させるかが吹田I.C.～京都南I.C.間の安全化を計る上での重要な課題といえる。

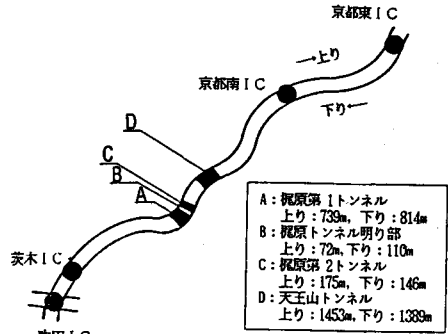


図-1 対象区間の道路構造

追突事故の問題を考える場合、つぎの2つに分けて考えていくことが重要である。

(1) 渋滞時の追突事故

(2) 非渋滞時の追突事故

(1)の場面は直接的原因はドライバー自身にあるものの、高速道路において大きな速度低下をしいられる危険な場合が突然出現すること自体に大きな原因があるといえ、基本的には隘路による渋滞をいかに解消するかということになる。しかし、現実的には交通量のコントロールあるいは情報の提示により安全化を計ることが必要であり、それらの安全対策の有効性が追求されなければならない。(2)の場合はその原因がドライバー自身に帰する場合が多く、安全化を計るためにはドライバーの追従特性や動的視覚環境下における前車の見え方などが追求されなければならない。このように同じ追突事故でも安全向上に有益な結果を得るためには追求すべき方向は異なってくる。本研究は、対象区間における事故の1つの特徴である渋滞時追突事故のなかでも渋滞時の後尾追突事故に注目し、事故の背景となる速度低下現象および事故を誘発しやすい交通量の存在を明らかにすることを目的としており、安全化のための手がかりを得ようとしたものである。

2. 従来の研究

事故は一般に道路・交通要因、自然環境要因、車両要因、および人的要因が相互にかみあって発生するものであるが、事故1件1件についてその発生原因を考えたとき、主原因はドライバー自身の認知、判断、操作の不適切さといった心的要因にあるといえる。しかし、統計的見方をすれば道路・交通要因、自然環境要因と事故発生との関連性を見いだすことができる。わが国の高速道路が供用されて以来今日まで、交通事故研究の中心は統計的分析にあるといえる。初期においては高速道路における事故の実態分析や事故率と幾何構造との関連分析が主になされてきた。その後多変量解析手法の発達によってあらゆる要因を同時に考慮した事故要因分析が可能となり、各要因の相互関連性や事故発生への影響度に関する分析が進められた。日本道路公団⁵⁾は東名、名神を対象に電子計算機を利用した統計解析システムを開発し、数量化理論、重回帰分析などを用いて事故と道路線形の関係分析を中心に速度、路面性状を考慮した総合的な事故解析をおこなっ

てきている。また、吉田⁶⁾らは中国、九州自動車道を対象に高速道路事故の致死率の高いことに注目し、死傷の有無に及ぼす自然環境、交通環境、道路構造、人・車系の各要因の影響の度合を数量化理論Ⅱ類により分析している。このような多変量解析手法による事故解析は事故影響要因を総合的にとらえることができるものの、重要な要因であるドライバーの視知覚的要因や交通流の状態要因を採り込むことができず、事故発生のメカニズムの追求が困難である。道路構造の改築といった根本的な安全対策は別として、現在の道路構造の下で効果的な事故防止を考えていく場合、ある形態の事故がなぜ発生するのかという事故発生のメカニズムが明らかにされなければならない。小島⁷⁾は車線変更によって引き起こされた事故を対象に、その発生過程を詳細に分析し事故発生を5つのタイプに分類するとともに、主原因が後方安全確認なしにあることを示している。また、車線変更挙動を実測し事故を誘発する引き金となる車線変更の存在を示している。交通量が多くなるとドライバーと道路との関係で発生する事故よりも車相互の関係で発生する事故（特に追突事故）が多くなる。従って、交通事故の解析も交通流の状態、車の挙動、ドライバー視知覚特性の3要因をからめて解析しなければならない。井上⁸⁾は阪神高速道路を対象に事故発生時の交通状態を円滑部と渋滞部とに分け、さらに渋滞部を内部と後尾部に分けて交通状態別事故率を算定し、交通流状態と事故発生危険度との関係について検討している。高速道路の事故は交通量の多寡によってその様相も異なってくる。従って、事故の原因を追求し安全対策を考える場合問題とする事故形態によっておのずとアプローチ方法も異なったものとなる。その意味では事故研究は事故形態別の事例研究を積み重ねていくものといえる。

3. 対象区間の事故の特徴

対象区間の交通量は供用当初の昭和38年に9000台/日であったものが年々増加し、現在では約70000台/日となり頭打ちの状態となっている。交通量の増大につれて事故の形態も異なり、供用当初は単独事故が相互事故を上回っていたものが昭和42年以降両者の件数は逆転し、昭和50～55年の合計でみると単独事故対相互事故の比率は35対65となっている。すなわち、車対道路の関係よりも車対車の関係の中で発生する事故が多数を占めている。高速道路における相互事故の主たるものは追突事故であるが、今回対象としている区間の事故の特徴は渋滞時追突事故の多いことであり相互事故の25%以上を占めている。以下、昭和50～55年の日本道路公団事故データを用いて、渋滞時追突事故に焦点をしばりその特徴を概観することにする。

まず、渋滞時追突事故の発生件数の経年変化を示したものが図-2である。この図には交通量の経年変化も示してある。全事故については昭和53年が若干増加しているものの全体の傾向としては減少傾向をたどっている。それに対して渋滞時追突事故は昭和53年まで増加を示し昭和54、55年と減少に転じている。これは昭和54年7月の日本坂トンネル事故および昭和55年7月からのトンネル内、前後の70Km/h規制が影響しているものと考えられる。渋滞時追突事故を細分してみると大部分を占める自然渋滞時追突事故は渋滞時追突事故全体とほぼ同じ傾向を示している。事故および故障渋滞時追突事故はここ2～3年漸減している。図-3は渋滞時追突事故の発生車線を示したものである。上下線とも経年的にさほどの変動はなく、昭和50～55年の合計でみると上下線とも渋滞時追突事故の8割が追越車線で発生している。図-4は自然渋滞時追突事故の発生時間帯を示したものである。同図には交通量の時間変動も並記されている。上り線では

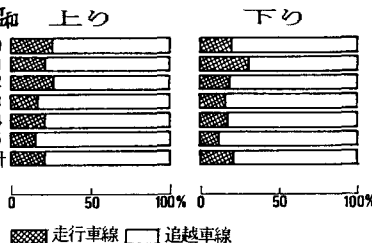


図-3 渋滞時追突事故の発生車線割合

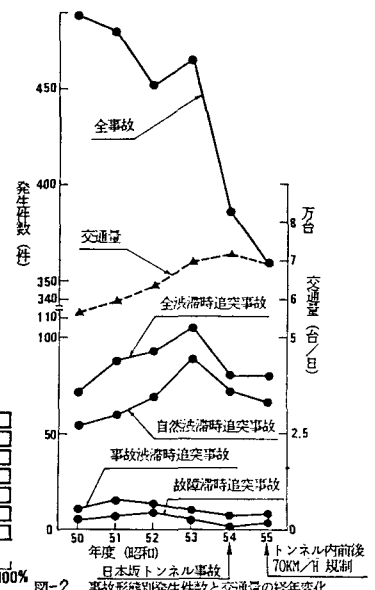


図-2 事故形態別発生件数と交通量の経年変化

10～11時に集中しておりこれは交通量のピーク時と一致している。また、11時～15時の間も発生が多い時間帯となっている。下り線では16～19時の間が発生が多い時間帯となっている。交通量の変動と対比してみると、渋滞時の追突事故は交通量が増加しピークに達し渋滞が生じ始めた頃に最も発生しやすく、その後交通量の減少とともに発生のしやすさは低下するものと推察される。図-5は自然渋滞時追突事故の発生地点を通常走行時追突事故と対比して示したものである。まず、上り線についてみると対象区間全体に均等に発生していなく特定の区間に集中している。その集中している区間は(1)最も集中発生が目立つ梶原トンネル(2)天王山トンネル(3)京都南I.C.手前488～489K.P.区間の3箇所である。下り線においても自然渋滞時追突事故の集中がみられ、その地点としては天王山トンネル入口部、

496K.P.付近および梶原トンネルを指摘できる。通常時追突事故はいずれの地点においても発生する可能性があるものの、その発生地点分布をみると自然渋滞時追突事故とよく似た分布を示している。このことより上記に挙げた危険区間は渋滞時、通常走行時いずれの走行状態においても追突事故の発生しやすい区間といえる。4. 渋滞後尾到着時の速度低下現象

渋滞後尾追突事故発生の1つの大きな誘因は高速走行してきた車が突然低速渋滞車列に遭遇し急激な速度低下をしいられることにある。ここではその現象を実測するとともに、速度低下と交通量との関係を解析する。

4-1. 実測結果

全体の車の流れに乗って走行車線を走るようにし、500m間隔のキロポストを通過する時刻を記録し、それをもとに対象区間の速度変化を求めた。また、渋滞後尾に接近していくときの急激な速度低下をスピードメータにより読み取るとともにタコグラフに記録した。図-6は渋滞の多発する上り線トンネル部付近を中

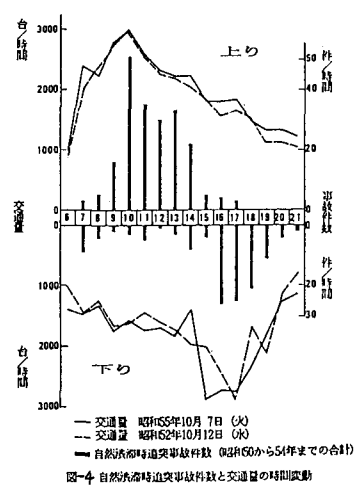


図-4 自然渋滞時追突事故件数と交通量の時間変動

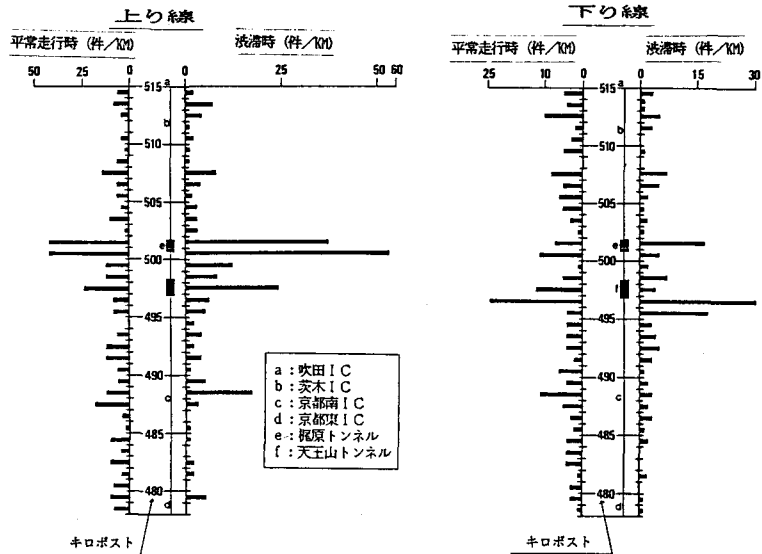


図-5 追突事故の発生地点分布 (昭和50から55年)

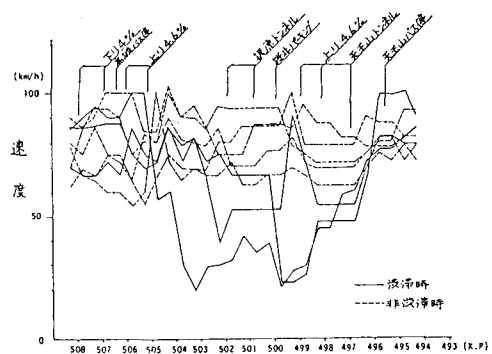


図-6 速度変化図 (名神上り線トンネル付近)
注) 速度は500m間隔で測定

心に500m区間速度の変化を示したものである。非渋滞時では速度に変動はみられるものの50Km/h以上の高速で走ることができ、追突事故を招くような大きな速度低下は生じていない。一方、渋滞時には急激な速度低下が生じている。図-7はこの渋滞時の速度低下をタコグラフにより記録したものである。80→20Km/h、70→20Km/h：100→20Km/hといった大きなそして急激な速度低下が生じている。このようにトンネル入口より上流に向かって渋滞が発生していると、その最後尾に到着してくる車は急激な速度低下をしいられ、ドライバーの一時の前方不注視で追突事故になりかねない危険性をはらんでいるといえる。

4-2. 渋滞後尾到着時の速度低下の解析

(1) 隘路の存在する道路の交通流現象

高速道路上に隘路（ここではトンネル）が存在する場合、その前後における交通流の様相は需要交通量の多寡によって大きく異なる。交通流を一次元の圧縮性流体とみなせば、一般に隘路区間と通常区間の交通状態は図-8のように上に凸の2本の交通量-交通密度曲線によって表される。そして、ある交通密度の波速はその密度における接線の傾きによって表わされ、走行する車の速度は原点Oより引いた弦の傾きによって表わされる。需要交通量が隘路の交通容量より小さい場合には、隘路において車の速度低下と交通密度の増加をきたすとともに、また、交通密度波の波速も低下する。しかし、隘路での車の速度と交通密度波の波速が一定ならば車は遅くなるものの衝撃波は生じない。一方、需要交通量が隘路の交通容量以上になると、隘路の入口前後での交通量は等しくなければならないことより交通密度は瞬時に増加し図-8の点Eになる。点Eにおける波速は車の流れと逆方向へ進み、点Cにおける密度波とぶつかり衝撃波が生じる。この衝撃波は上流へと伝播する。その結果、渋滞車列が発生し上流へ延伸していく。そして、この渋滞車列の後尾には速度OCを持つ自由高速走行状態にある車がつぎつぎと接近到着し、ドライバーは速度OEへの急激な速度低下をしいられることになる。

(2) 渋滞後尾到着時の速度低下量

高速道路において、交通状態を表す交通量、密度、速度の間にはグリーンシールドのモデルに従う関係があると仮定する。すなわち、密度と速度は直接関係にあるとする。したがって、図-8に示した交通量と密度の関係曲線は両方とも放物線となる。このことを式で表すとつぎのようになる。

(通常区間)

$$V_I = V_{fi} - \left(\frac{V_{fi}}{K_j} \right) K_I \quad (1)$$

$$Q_I = V_{fi} K_I - \left(\frac{V_{fi}}{K_j} \right) K_I^2 \quad (2)$$

V_I : 空間平均速度

V_{fi} : 平均自由速度

K_I : 密度

K_j : ジャム密度

Q_I : 交通量

(隘路区間)

$$V_{II} = V_{fi} - \left(\frac{V_{fi}}{K_j} \right) K_{II} \quad (3)$$

$$Q_{II} = V_{fi} K_{II} - \left(\frac{V_{fi}}{K_j} \right) K_{II}^2 \quad (4)$$

V_{II} : 空間平均速度

V_{fi} : 平均自由速度

K_{II} : 密度

Q_{II} : 交通量

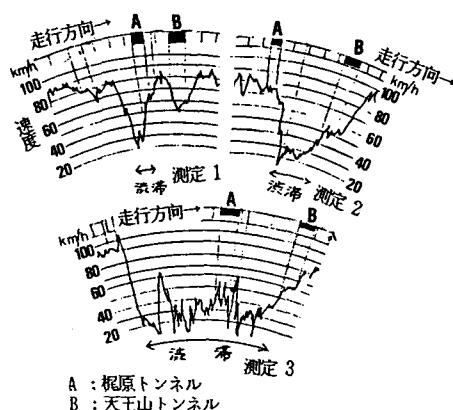


図-7 タコグラフによる速度記録

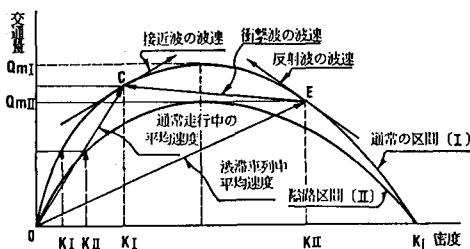


図-8 隘路区間を有する道路の交通量と密度の関係

以下、これらの式を用いて、上流よりの需要交通量が隘路の交通容量より小さい場合と大きい場合とに分けて速度低下量を求めることにする。

(a) 上流より流入してくる需要交通量 Q が隘路交通容量 $Q_{m\pi}$ より小さい場合

この場合、隘路において速度の低下、密度の増大はきたすものの渋滞は生じない。通常区間における速度と隘路区間における速度の差はつぎのようにして求められる。式 (2), (4) より交通量 Q のときの両区間における密度は

(通常区間) $K_I = \frac{V_{fI} - \sqrt{(V_{fI})^2 - 4(\frac{V_{fI}}{K_j})Q}}{2(\frac{V_{fI}}{K_j})} \quad (5)$		(隘路区間) $K_{II} = \frac{V_{fII} - \sqrt{(V_{fII})^2 - 4(\frac{V_{fII}}{K_j})Q}}{2(\frac{V_{fII}}{K_j})} \quad (6)$
---	--	--

となり、両区間における速度はつぎのように表わされる。

(通常区間) $V_I = \frac{1}{2} \left\{ V_{fI} + \sqrt{(V_{fI})^2 - 4(\frac{V_{fI}}{K_j})Q} \right\} \quad (7)$		(隘路区間) $V_{II} = \frac{1}{2} \left\{ V_{fII} + \sqrt{(V_{fII})^2 - 4(\frac{V_{fII}}{K_j})Q} \right\} \quad (8)$
--	--	--

したがって、通常区間における速度と隘路区間における速度の差 (ΔV) はつぎのように表わされる。

$$\Delta V = \frac{1}{2} (V_{fI} - V_{fII}) + \frac{1}{2} \left\{ \sqrt{(V_{fI})^2 - 4(\frac{V_{fI}}{K_j})Q} - \sqrt{(V_{fII})^2 - 4(\frac{V_{fII}}{K_j})Q} \right\} \quad (9)$$

(b) 上流より流入してくる需要交通量 Q が隘路交通容量 $Q_{m\pi}$ より大きい場合

隘路区間では交通容量分しか流れることができず、隘路の入口手前において密度が瞬時に増加し、上流に向かって渋滞車列が生じることになる。それでは、上流の通常区間と速度差はどの程度であろうか。以下、それを求めることにする。

通常区間と渋滞車列区間における密度はつぎようになる。

(通常区間) $K_I = \frac{V_{fI} - \sqrt{(V_{fI})^2 - 4(\frac{V_{fI}}{K_j})Q}}{2(\frac{V_{fI}}{K_j})} \quad (10)$		(渋滞車列区間) $K_{II} = \frac{V_{fI} + \sqrt{(V_{fI})^2 - 4(\frac{V_{fI}}{K_j})Q_{m\pi}}}{2(\frac{V_{fI}}{K_j})} \quad (11)$
--	--	--

両区間における速度は

(通常区間) $V_I = \frac{1}{2} \left\{ V_{fI} + \sqrt{(V_{fI})^2 - 4(\frac{V_{fI}}{K_j})Q} \right\} \quad (12)$		(渋滞車列区間) $V_{II} = \frac{1}{2} \left\{ V_{fI} - \sqrt{(V_{fI})^2 - 4(\frac{V_{fI}}{K_j})Q_{m\pi}} \right\} \quad (13)$
---	--	---

したがって、通常区間における速度と渋滞車列区間における速度の差はつぎようになる。

$$\Delta V = \frac{1}{2} \left\{ \sqrt{(V_{fI})^2 - 4(\frac{V_{fI}}{K_j})Q} + \sqrt{(V_{fI})^2 - 4(\frac{V_{fI}}{K_j})Q_{m\pi}} \right\} \quad (14)$$

これらの式を用いて、今回の対象区間について具体的に需要交通量 Q と速度差 ΔV との関係を求めることにする。まず、通常区間と最大の隘路である天王山トンネルの交通容量を算定しなければならない。ここでは道路構造令に基づいて算定した。その結果、通常区間の交通容量は $Q_{m\pi} = 2000$ 台/時/車線であり天王山トンネルの交通容量は $Q_{m\pi} = 1520$ 台/時/車線であった。従来の研究と比較すれば、通常区間においてはやや高めの値となっており、天王山トンネルにおいてはよく似た値となっている。 K_j については決まった値はなく、100台/Km, 150台/Kmなどの値が用いられているが、今回は90台/Kmに設定した。したがって、 $V_{fI} = 89$ km/h, $V_{fII} = 68$ km/h となる。これらの値を式 (7), (8), (9), (12), (13), (14) に代入し、需要交通量と速度および速度差との関係をグラフ化したものが図-9で

ある。これによると、需要交通量がトンネルの交通容量以下の場合には速度差はほとんど一定であるが、交通容量に達すると速度差は急激に大きくなり、さらに需要交通量が増大すると速度差は減少していく。すなわち、隘路の交通容量に等しい需要交通量のときに渋滞後尾到着時の速度差は最大になる。

5. 自然渋滞後尾追突事故と交通量の関連性

前節において、天王山トンネルの交通容量はほぼ3000台/時/2車線と算定され、それと等しい需要交通量が上流から流れてくるとき、渋滞後尾到着時の

速度差は最大となることが示された。したがって、約3000台/時/2車線の需要交通量が流れてくるときに追突の危険性は最大となることが予想される。このことを明らかにするために、ここでは自然渋滞後尾追突事故が発生したときにどの程度の交通量が流れていたかをみることにする。できるだけ自然渋滞後尾追突事故発生時の交通量を抽出するために、まず事故調査の内容を検討し、自然渋滞後尾追突事故と思われるものだけを抽出した。その抽出された事故の発生した時間帯の交通量を調べ、交通量からみて渋滞が発生したとみなせるかをチェックし、自然渋滞後尾追突事故発生時の交通量を厳選した。今回は、上り線の茨木I.C.～天王山トンネル入口の区間において発生した自然渋滞後尾追突事故だけをとり上げることにした。茨木I.C.～天王山トンネル入口の間を3区間に

区切り、それぞれの区間について、自然渋滞後尾追突事故の発生した時間帯の交通量を示したのが図-10である。天王山トンネル入口から梶原トンネル出口(498k.p.～500.6k.p.)までの渋滞が発生する初期の頃には、平均値として約2900台/時/2車線と3000台/時/2車線に近い交通量が流れてきたときに渋滞後尾

追突事故が発生しているさらに渋滞長が梶原トンネル内に達すると平均的に約2800台/時/2車線の交通量のときに発生している。渋滞がさらに501.6k.p.から511k.p.の区間にまで伸びると、後尾追突事故発生時の交通量は平均的に約2600台/時/2車線となっている。このように、渋滞の初期の頃と成長した後とは後尾追突事故の発生している交通量に若干の違いがみられるものの、全体として、おおむね3000台/時/2車線に近い交通量が流れるときに、自然渋滞後尾追突事故の発生する危険性は最も高くなると考えられる。このことより、自然渋滞後尾追突事故は、隘路の交通容量に近い交通量のとき発生しやすいのではないかと推察される。

図-11は昭和55年における2000台/時/2車線以上の交通量の生じた日数のヒストグラムである。3000台/時/2車線以上の交通量の流れる日が存在しており、したがって、渋滞も生じているはずである。しかしながら、図-10でみかぎり、3200台/時/2車線以上の交通量において自然渋滞後尾追突事故が発生したケースは極めて少ない。このことから、3000台/時/2車線すなわち、隘路の交通容量に近い交通量が流れているときに自然渋滞後尾での追突事故の危険性は最大になることが裏付けられ

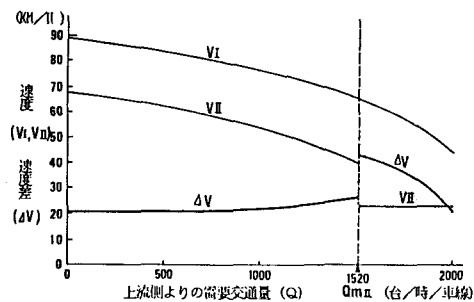


図-9 需要交通量と速度差の関係

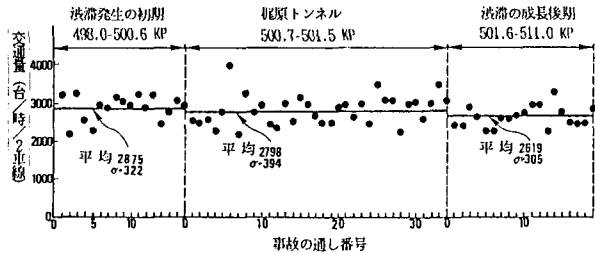


図-10 上り線498 KP-511 KP区間における自然渋滞後尾追突事故発生時の交通量

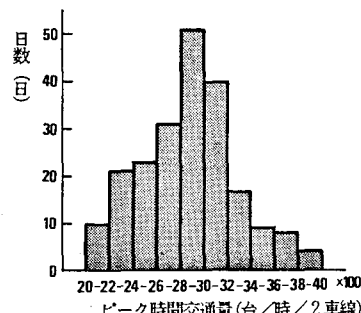


図-11 ピーク時間交通量が2000台以上発生する日の頻度分布(昭和55年)

ているといえよう。

6. おわりに

本研究は大量の需要交通量があり、トンネルが隘路となって自然渋滞が多発している高速道路区間を取り上げ、そこで発生している渋滞時追突事故に注目し、発生の1つの誘因である隘路区間あるいは渋滞車列後尾での速度差を交通量との関連で求めた。さらに、自然渋滞後尾追突事故発生時の交通量を調べ、速度差最大となる交通量との比較をおこなった。その結果、自然渋滞時の追突事故は隘路の交通容量に近い交通量が流れてくるときに発生しやすいことが明らかになった。

今回問題にした速度差は追突事故発生の1つの誘因であって、追突事故に発展するためには追従ドライバーの視知覚的要因が関係してくる。今後は、追従走行に潜む追突事故の危険性を解明するとともに、危険な流れの形成される背景を視覚面から検討していく考えである。

最後に、本研究を進めるにあたり、データの提供などの御協力をいただいた日本道路公団大阪管理局交通技術課の方々に謝意を表する。

参考文献

- 1) 横山勝信：名神高速道路の事故（上）（下），交通工学，VOL. 1，NO. 4，1966，1967
- 2) 高速道路調査会：首都高速道路の幾何構造と事故に関する研究，高速道路と自動車，VOL. XI，NO. 9，1968
- 3) 鍛冶晃三・巻上孝・前田依彦：高速道路の事故解析，交通工学，VOL. 8，NO. 4，1973
- 4) 吉田滋：都市高速道路の事故と問題点，高速道路と自動車，VOL. XVI，NO. 8，1973
- 5) 木倉正美・松本信吾：高速道路における事故解析（前編）（後編），高速道路と自動車，VOL. XXI，NO. 5
- 6) 吉田信夫・堤昌文：高速道路における交通事故の分析とその対策，交通工学，VOL. 15，NO. 6，1980
- 7) 小島幸雄：高速道路での車線変更挙動に起因する事故の分析，科学警察研究所報告・交通編，VOL. 19，NO. 1，1978
- 8) 井上矩之・若林拓・中谷充彦：都市高速道路の交通状態と事故発生に関する考察，土木学会関西支部年次学術講演概要，1982
- 9) 巻上孝・中西恒彦・久間木信夫・金世一：高速道路の単路部渋滞モデルについて，交通工学，VOL. 18，NO. 2，1983