

# 高速道路サグ区間における速度変化と運転者の速度制御特性分析

## Speed Changing Features and Drivers' Speed Control Characteristics at Sag Sections on a Motorway

古市朋輝\*1), 山本修司\*1), 岩崎征人\*2), 小谷益男\*3), 児島正之\*3)

by Tomoki FURUICHI, Syuji YAMAMOTO, Masato IWASAKI, Masuo KOTANI, Masayuki KOJIMA

### 1. はじめに

高速道路のサグ区間が交通容量上の隘路になっていることは良く知られた事実である。渋滞の起こるサグ区間の容量は単路部の70~80%程度になるといわれている。これまでの研究により、上り勾配部での速度低下が渋滞発生のきっかけの一つとなることが知られている。しかし、渋滞の起こらないサグが存在することなどから、渋滞の発生の可否はサグ部の幾何構造に依存すると指摘されている。

本研究を行う前提として、サグ区間での渋滞発生の原因の一つは車群先頭車の速度制御エラーにあると仮定した。本報文は、このような仮説の下でサグ区間における車両の速度変化に着目し、渋滞が頻繁するサグと稀にしか発生しないサグでの速度の空間的な変化について解析を行い、また同時にサグ区間の上り勾配部における運転者の速度低下特性または、制御の遅れと幾何構造の関係について解析を行うことを目的とする。

### 2. 実験および分析方法

本研究では、中央自動車道の八王子IC-大月IC間の約45kmを利用し、計測装置をつけた車両を用いて走行実験を行った。この区間は山間部に位置しており、多くの上り、下りの縦断勾配がある。この区間にはサグを原因とみなせる主要な渋滞発生地点が6箇所あり、週末や長い連休の間には大きな交通渋滞が発生している。この区間のAADTは50,000~70,000台程度となっているが、時間交通量の変動は最大300台/時程度である。

キーワード: 交通量, 交通容量, 交通管理

- \*1) : 学生会員, 武蔵工業大学大学院, 土木工学専攻  
電話 03-3703-3111, Fax 03-5707-1156
- \*2) : 正会員, 工博, 武蔵工業大学工学部土木工学科  
電話 03-3703-3111, Fax 03-5707-1156
- \*3) : 正会員, 千代田コンサルタント, 千代田区飯田橋3-3-7  
電話 03-5214-1041, Fax 03-5214-1053

実験は97年, 98年, 99年と3回にわたって実施した。被験者の人数は1997年, 98年が12名, 99年には29名で、被験者には実験区間を往復してもらった。走行実験の間、被験者には走行コースを指示するだけで、通常の運転を行わせた。

実験を通して集められたデータは、それぞれが独立であり、比較可能なデータとして分析した。計測項目は車両の速度、走行距離、アクセル踏み量が記録された。また同時に、車内に設置されたビデオカメラにより走行中の道路環境も録画した。高速道路の詳細な線形図は日本道路公団第三管理局から提供を受けた。この線形図を用い、実験で取得した距離データと精査した。

走行実験から得られたデータを、対象区間内に存在する主要なサグである上下線計20箇所について3kmの区間を分析範囲とし、それぞれについて単独走行時(車間距離80m以上)のみを有効データとして解析を行った。

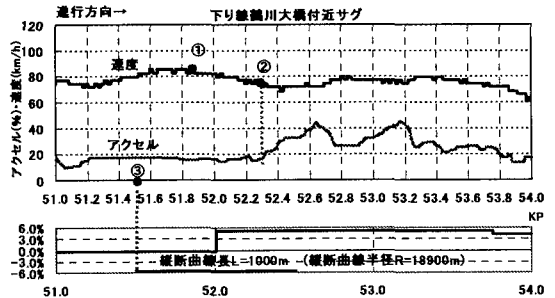


図-1 得られた測定結果の一例

有効データから読み取った項目は以下の通りである。

- ①減速始点: 時刻( $t_1$ ), キロポスト  $KP(kp_1)$ , 速度( $v_1$ )
- ②アクセル踏み込み点: 時刻( $t_2$ ), キロポスト  $KP(kp_2)$ , 速度( $v_2$ )
- ③緩和曲線の始点: キロポスト  $KP(kp_3)$

読み取り項目から以下の項目を算出し、この情報を用いて解析を行った。

$$\text{速度制御遅れ距離 (km)} \quad L = |kp_2 - kp_3|$$

減速度 (m/sec<sup>2</sup>)       $a = (v_1 - v_2) / (t_2 - t_1)$

これらの項目を解析に用いる際、各年度の実験結果を同一に扱ってよいかを確認するため、t 検定を行い平均値に差がないことを確認した。

また、サグ区間の速度変化特性を解析するには得られた速度データから対象区間のサグ底部での速度平均値を算出し、その値で速度を除することで速度の基準化を行った。

### 3. 分析結果および考察

#### (1) サグ区間における速度の変化特性

中央高速道路で似通った道路構造(表-1)を持ちながら、中野橋下り線のサグでは、毎年 50 回を超える渋滞が発生しているのに対し、下り線の相模湖 BS 付近にあるサグではほとんど渋滞が発生していない。

この2つのサグにおける自由走行時の速度分布を示したものが、図-2 である。図-2 はサグ底部の速度を基準とし、基準速度を1とした時の速度変化割合の平均値を 50m 間隔で示したものである。

まず、中野橋のサグでは、緩和曲線区間開始の前から速度低下が始まる。この速度低下は、上り勾配区間に入ってから 900m 程度続いている。そして、この速度低下の特徴としては、速度低下開始から終始、ほぼ一定の割合で速度が低下している。逆に相模湖 BS 付近のサグでは、緩和曲線区間の後で速度低下が始まり、上り勾配区間においても緩和曲線区間内で速度低下が終わり、その後はほぼ等速度となっている。

2 つの速度低下の状況を比較してみると、渋滞のあまり発生していない相模湖 BS の方が、急激な速度低下をみせており、絶対的な低下量も大きくなっている。これは、一般的に考えると不思議な結果である。しかし、速度低下による損失を速度低下の発生している地点までの面積と考えると、最終的には中野橋のサグの方が大きくなる(表-1)。

このことから、より長区間にわたる速度低下が渋滞発生の一因となり得ると考えられる。

表-1 比較地点の幾何構造

サグ名称	渋滞発生の有無	縦断勾配 (%)	サグ底部の平面曲線半径(m)	緩和曲線半径R(m)	緩和曲線長 L(m)	速度損失面積 A
中野橋	有	6.9	1000	11800	800	0.057
相模湖 BS 付近	無	8.0	1000	10000	800	0.029

このように速度低下が長引く原因は、緩やかな速度低下に起因していると考えられる。速度低下の割合が少なければ、運転者の速度低下に対する感が鈍り、速度回復への移行に時間がかかると推測される。

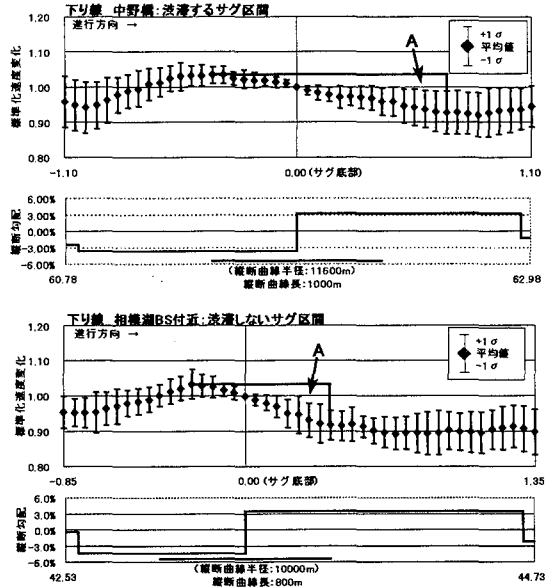


図-2 サグ部での空間的速度変化

#### (2) 速度回復を意識したアクセル操作までの距離

速度変化特性から推測された結果より、速度回復行動であるアクセル操作を行っている位置を調べた。

なお、サグ区間において速度低下が始まる地点が緩和曲線の始まる前後であったことから、この緩和曲線始点から速度回復行動までの距離を算出した。

これを速度制御遅れ距離とし、運転者の割合との関係で示したものが図-3 である。

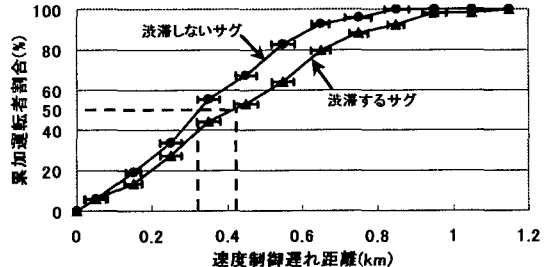


図-3 運転者の速度制御位置割合(累加)

図-3 を見ると、渋滞の頻発するサグの方が、アクセル操作が遅くなる傾向が示されている。50%タイルにおける差は、100m 程度である。

### (3) 要因解析

サグ部での渋滞要因としては、道路構造が考えられ、幾何構造が運転者の行動を妨げる要因となっていると考えられる。しかし、ある1つの道路構造に起因しているわけではなく、ある種の道路構造の組み合わせによって容量低下を引き起こし、渋滞となる。

そこで道路構造(本研究では縦断曲線長  $L$  と縦断曲線半径  $R$  を用いる)と速度変化特性から考察された速度低下の割合を示すものとして、減速度という指標を導入する。また、前章で用いた速度制御遅れ距離についても道路構造との関係を分析した。

図-4,5 の減速度および速度制御遅れ距離の値は、同一の縦断曲線長および縦断曲線半径での平均値を示している。図-4 には、渋滞が頻発するサグとそうでないサグでの結果をそれぞれ示した。

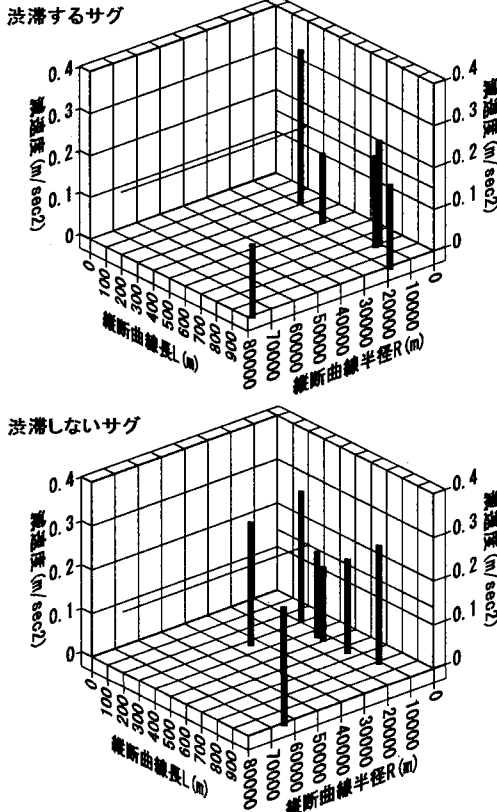


図-4 道路構造と減速度

道路構造と減速度との関係について考察を行う。この図-4 の  $R$  が 10,000m 付近の地点に着目すると、 $R$  を一定とするならば、 $L$  の長さが増加するほど減速度が大きくなると推測される。これは、 $R$  が同一ならば  $L$  が長くなる

につれ縦断勾配が大きくなるため、納得できることである。しかし、図-4 を見ると  $L$  が小さい 300m 付近にあるにもかかわらず、減速度が大きくなっている。この結果に対して2つの考えが想定される。第1にこの地点の平面曲線を見てみると、急なカーブとなっており、そのため減速度が大きくなった可能性。第2にこの図の関係が単純増加でなく、ある  $L$  の長さで極値を持った関係となることが考えられる。

最後に、この関係を渋滞の有無別に比較したところ、現状では大きな傾向の相違は見られない。

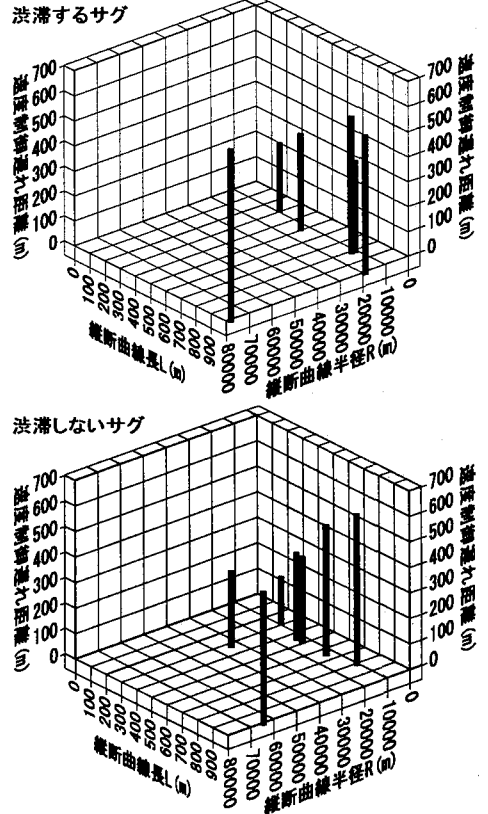


図-5 道路構造と速度制御までの距離

次に、道路構造と速度制御遅れ距離との関係を見てみる(図-5)。先ほどと同様に  $R$  が 10,000m 付近について考えると、 $R$  が同値ならば、 $L$  の増加に伴い遅れは大きくなる傾向がある。またこれを渋滞の有無別に対比すると、渋滞の発生しない地点の方が、増加率が大きくなっている。

一方、 $L$  を固定し  $R$  を変化させた場合を考えてみる。 $R$  の減少に伴い、速度制御遅れ距離は短くなると考えられる。この理由として  $L$  と  $R$  による縦断勾配の変化を考

えてみると、L が一定のとき R の減少によって縦断勾配は累乗増加する。縦断勾配が増大すれば、運転者はサグの存在を判断しやすくなることから、アクセル操作は早くなる。このことから、R の減少に対する速度制御遅れ距離の変化は、単純低下ではなく累乗低下するのではないかと予測される。

以上の結果は、ある縦断勾配での L,R の組合せによる速度低下の割合とその長さを推測する参考になると考えられる。しかし、図からも明らかなように実際の道路構造の照査では、組み合わせが限定されるため、全体像を判断することは難しい。

#### (4) 考察

この研究の結果は、実際の交通条件や高速道路の線形、渋滞発生の有無(多少)が既知であるという条件の下で行われている。そのため、交通需要がボトルネックの交通容量よりも少なく、問題が顕著化していない地点については、判断できないという問題がある。

サグ設計の段階において、縦断や平面線形の組み合わせなどを考慮しているにもかかわらず、高速道路が供用されるとサグ区間が容量上のボトルネックとなってしまう。現在の道路の幾何構造や景観設計は、「静的設計」であり、認知工学または人間工学的考慮といった「動的設計」についてはほとんどされていない。

現在高速道路上で問題となっているサグ区間や各区間の接合点、S字カーブ区間などのボトルネックに対し、道路構造変更による対策を講じることで交通渋滞を低減させるための努力がなされている。しかし、その対策には、巨額な予算を必要とする。さらに、現在の高速道路の設計方法に依存すると、改良されたボトルネックで交通渋滞をなくすことが出来るのかについて事前に判断ができない可能性がある。

そこで、あるサグ区間がボトルネックとなるのか否かを事前に判別する手段として、多自由度のドライビングシミュレータの使用による人間工学的な視点からの動的な設計を提案する。

本研究で得られた空間的な速度変化の特徴や運転者の速度制御特性は、ドライビングシミュレータ実験から得られる結果の検証に役立ち、逆にドライビングシミュレータは、実際の道路では用いられていない様々な幾何構造の組み合わせでの運転者の挙動について情報を与えてくれると期待される。

#### 4. おわりに

本報告では、類似した道路構造を持つにもかかわらず、渋滞の可否が異なる 2 つのサグ区間における空間的速度変化を対比させ、速度低下の特徴を概観し、考えられる渋滞要因を考察した。そして、対象区間のサグにおけるそれらの要因と道路構造との関係を示した。

以下に得られた知見を示す。

1. 渋滞するサグ区間における運転者の空間的な速度変化の結果によると、サグ底部の下流側における上り勾配区間での速度低下は、他のサグ区間より長くなる。
2. サグ部における運転者の速度回復行動は、渋滞するサグ区間では、他に比べ遅くなる傾向がある。
3. 道路構造(縦断曲線長、縦断曲線半径)と減速度の関係は、縦断曲線半径が一定のとき、縦断曲線長の増加に伴い、減速度が増加する傾向が見られる。しかし、縦断曲線長が小さい地点でも減速度が大きくなっている地点が存在する。この原因としては平面線形の影響か、または極値を持つ放物線関係であると考えられるべきか断定できない。
4. 道路構造と速度制御遅れ距離との関係は、縦断曲線半径が一定ならば、縦断曲線長の増加に伴い速度制御が遅くなる傾向があり、逆に縦断曲線長を一定とするならば、縦断曲線半径と速度制御までの距離の関係は累乗関係であると予測される。

3, 4 の道路構造との結果については、現存する構造形式の結果しか得られないため、不確定な推測にとどまっている。このような欠点を補完するためには、動的なドライビングシミュレータによる人間の行動特性分析が必要である。

#### 謝辞

本研究で用いたデータの一部は、財) 高速道路調査会の研究補助により実験を行ったものであり、高速道路調査会及び日本道路公団の関係各位に感謝を表します。

#### 参考文献

- 1) 小谷 益男, 岩崎 征人, 児島 正之, 古市 朋輝: 高速道路のサグ部における運転者の認知特性に関する基礎的研究, 土木計画学・講演集, No.21(2), pp.913-916, 1998.11
- 2) 小谷 益男, 古市 朋輝, 児島 正之, 岩崎 征人: サグ部における運転者の速度制御に関する基礎的考察, 土木計画学・講演集, No.22(2), pp.971-974, 1999.11