

高速道路におけるサグ渋滞の顕在化要因分析

Analysis on Causes of Congestion on Motorway's Sag Bottlenecks

渡辺 亨*・山岸 将人**・平井 章一**・泉 正之***

By Toru WATANABE, Masato YAMAGISHI, Shouichi HIRAI, and Masayuki IZUMI

1. はじめに

高速道路本線上のサグ（縦断線形の凹部）では、交通量の多いとき、しばしば激しい渋滞が発生する。しかし、実際にはすべてのサグが渋滞するわけではなく、ある特定のサグがボトルネックとなっている。

そこで、渡辺ら¹⁾は、サグの渋滞顕在化要因について、サグ部の縦断線形を始めとした幾何構造等の観点から、ボトルネックとなるサグとならないサグの比較分析を行い、その結果を評価している。そして、本研究では新たに数量化Ⅱ類による分析手法を追加し、既往研究¹⁾をさらに発展させている。

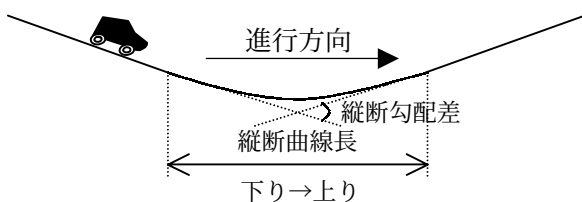


図-1 サグの概念図（下り→上り）

2. サグ渋滞と道路構造の関係

サグ渋滞の全体的な概要をまとめるため、ADTが概ね設計基準交通量以上でサグ渋滞の発生している8路線について車線数別（6・4車線）、地域別（都市近郊、それ以外）に区分し、渋滞発生状況について整理した（表-1）。H8～H10のJH渋滞調査（名神、東北道は改築前のH6～H8）より、対象

年のうち1年でも5回以上の渋滞が発生している箇所は、渋滞顕在化サグとしてすべて抽出した。

視認性の良いサグは渋滞を起こしにくく、悪いサグは起こしやすいことが指摘されている^{2)～3)}。これは、運転中の視認性を想定したものであるが、縦断曲線半径・縦断曲線長および平面線形といった幾何構造の線形要素も、視認性を始め勾配変化認知および運転挙動に影響を与えているものと考えられる。特に、縦断曲線半径の小さいサグは、視認性改善の要因となり得ることが既往の研究^{2)～3)}で報告されている。そこで、表-1の全サグを対象に形状別、縦断曲線半径別、縦断勾配差別、縦断曲線長別に分類し、渋滞の発生しているサグとの関係を整理した（図-2～5）。棒グラフは形状別・分類別のサグの箇所数を示し、折線グラフはサグの箇所数に対する渋滞顕在化サグの割合で定義する渋滞発生率を示す。

調査区間において464箇所（片側2車線が237箇所、片側3車線が227箇所）のサグが存在し、このうち12%（57箇所）において渋滞が発生している。形状別にみると、下り坂→上り坂、次いで上り坂→上り坂のサグの順番で渋滞発生率が高く、上り坂による影響は大きいものと考えられる。

縦断曲線半径7,500m未満では発生率は8%（12ヶ所中1ヶ所）であり、全階層中最も低いが、7,500～10,000mでは、発生率が27%（11ヶ所中3ヶ所）で全階層中最も高い。両階層ともサンプル数が少なく調査箇所の特性に左右されていることも考えられる。

キーワード：高速道路、サグ、交通容量、道路線形

* 正員、M.Sc、日本道路公団試験研究所交通環境研究部

〔TEL：042-791-1621, FAX：042-792-8650〕
〔E-mail：tooru.watanabe@jhnet.go.jp〕

** 日本道路公団試験研究所交通環境研究部

*** 正員、(株)道路計画常務取締役

表-1 調査区間概要

車線数	路線名	IC区間	H10(暦)年ADT (千台/日) の範囲	延長 (km)	サグボトルネック 箇所数 (上下計)	平休 区分
6	東名	東名川崎～大井松田	83～128	50	4	平休
	東北道	川口～鹿沼	57～94	61	15	休日
	関越道	大泉～藤岡	64～100	79	4	休日
4	東名	音羽蒲郡～春日井	73～93	58	9	平休
	名神	瀬田東～京都南	74～90	20	8	平休
	東北道	鹿沼～那須	33～46	61	2	休日
	中央道	高井戸～八王子	75～94	26	5	平休
		八王子～大月	52～56	46	10	休日

縦断勾配差の影響をみると、2～4%の縦断勾配差を有するサグは 16%の発生率であり全体平均の 12%を上回っている。また 6%以上の縦断勾配差の大きいものは、全体で 8 箇所と少ないが、大部分の 6 箇所で渋滞が顕在化している。

縦断曲線長についてみると、全体として長くなるほど渋滞発生率が大きくなっており、このことは縦断曲線長についても渋滞発生に関係しているものと考えられる。

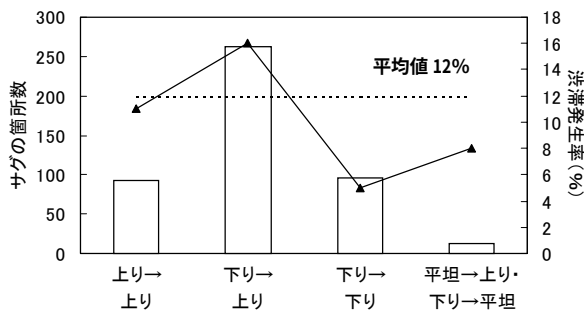


図-2 サグ形状

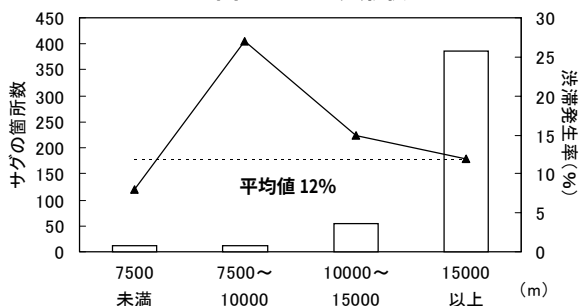


図-3 縦断曲線半径

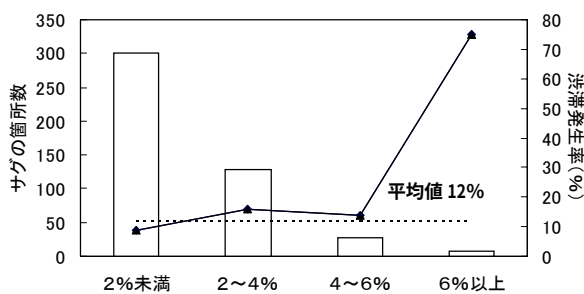


図-4 縦断勾配差

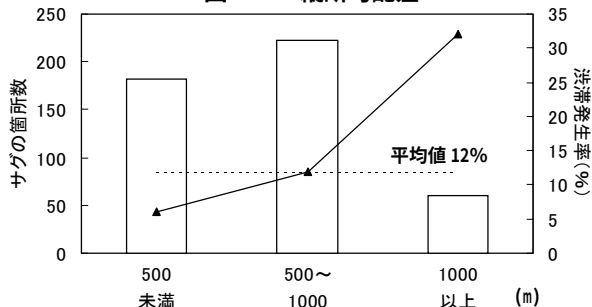


図-5 縦断曲線長

3. サグの認知度および認知位置と渋滞発生との関係

(1) サグの認知度および認知位置に関する調査方法

図-4の縦断勾配差と渋滞発生との関係を考慮し、追越車線を 100km/hr で走行し録画したVTRを被験者に見せ、ヒアリングにより調査した。対象サグは渋滞の有無に関わらず、走行中に録画した全てのサグを対象とした。そして、被験者は室内でVTRを見ながら各サグについて認知できたかどうかを評価し、サグと認知できた場合は、そのキロポストと理由を記入した。なお、被験者は男性7名、女性3名の計10名であり、認知度は式(1)で定義した。

$$\text{認知度 (\%)} = \frac{\text{サグと認知した被験者数}}{\text{VTR を判読した被験者の総数}} \times 100 \quad \dots \text{式 (1)}$$

(2) 分析結果

図-6の中央道八王子～大月で示すように、サグの認知度、縦断勾配差と渋滞発生の有無の関係をみると、縦断勾配差が大きくなるにつれ認知しやすくなる傾向がある。縦断勾配差の小さい2%弱の認知度の低いサグで渋滞が発生する場合がみられる。一方、縦断勾配差が大きくなるにつれ認知度は高くなる傾向にあるが、4%以上では認知度が50%以上であっても、渋滞が発生している場合が多い。3種類のサグ形状別では、下り坂→上り坂の認知度が高い。また、図-7からは、縦断勾配差が大きくなるほど認知位置は上流側に移動していることがわかる。

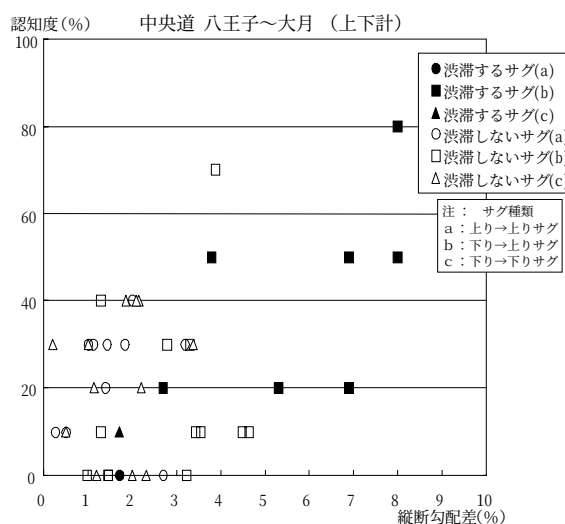
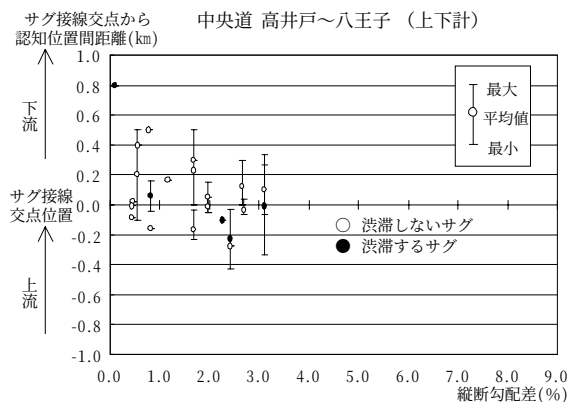


図-6 サグ認知度と縦断勾配差の関係

限られたサンプルを用いた分析結果ではあるが、以上を整理すると、縦断勾配差の小さいサグはサグと認知しにくいことが渋滞発生要因として挙げられる。それに対し、縦断勾配差が大きい場合には、サグであることを認知しても上り勾配あるいは勾配差

に見合うだけのアクセル操作ができていないことが渋滞発生の一因と考えられる。



図ー7 サグ接線交点から認知の位置間距離
(渋滞するサグとしないサグ)

4. 主要顕在化要因によるサグ渋滞の定性的分析

(1) 数量化Ⅱ類適用のための説明変数抽出

文献⁴⁾はサグ渋滞顕在化要因の分析のために、既往の研究^{2)・3)}を踏まえ、下記の1)～3)を含む6つの仮説をたてている。

- 1) 視認性の良いサグは渋滞を起こしにくく、悪いサグは起こしやすい。
- 2) サグ直前で速度が抑制されると、その直後に加速しようとするので渋滞は発生しにくい。
- 3) 速度低下量はサグ渋滞の説明要因になる。

ここで、外的基準(目的変数)として「渋滞する」か「渋滞しない」かのいずれかに基づき、上記の1)～3)の仮説を考慮し、影響要因となり得る説明変数として下記の9アイテムを抽出し、分析を行った。なお、下記の1)～4)は仮説1)に、5)は仮説2)に、6)～7)は仮説3)に、各々基づくものである。

- 1) サグの勾配変化認知位置(認知遅れ)
- 2) サグの縦断曲線半径
- 3) サグの平面線形
- 4) サグの縦断曲線長
- 5) サグ直前の平面線形
- 6) サグの上下流縦断勾配差
- 7) サグの下流平面線形
- 8) 単一IC間における複数のサグに対し、上流側から数えた順番
- 9) 連絡等施設と直下流のサグとの距離

(2) 分析結果

数量化Ⅱ類により、上記の、2) サグの縦断曲線

半径； カテゴリー(①7,500m 未満、②7,500～10,000m、③10,000～15,000m、④15,000m 以上)、4) サグの縦断曲線長； カテゴリー(①500m 未満、②500～1,000m、③1,000m 以上) および 6) サグの上下流縦断勾配差(①2%未満、②2～4%、③4～6%、④6%以上)の3つが主要顕在化要因として抽出された。次に、数量化Ⅱ類のカテゴリー分析の結果から、①縦断勾配差(6%以上)、②縦断曲線半径(15,000m 以上)、③縦断曲線長(1,000m 以上)の3つの評価指標に絞込まれ、その3つの組み合わせにより、渋滞するサグと渋滞しないサグを分類した。

なお、図ー3では縦断曲線半径 7,500～10,000mの渋滞発生率が高くなっており、カテゴリー分析結果とは必ずしも一致しておらず今後検討を要する。

ところで、3つの主要顕在化要因には、

縦断曲線長=縦断曲線半径×縦断勾配差…(2)
の関係式(2)が成り立っていることに留意した。今回、分析対象とした路線の縦断勾配(%)は、最大でも5%であり、上流側・下流側の縦断勾配(%)は勾配の角度(ラジアン)に近似することができる。

なお、分析対象区間は、2.の表ー1と同様とし、渋滞する(顕在化)サグも2.と同様に定義した。

渋滞するサグ、しないサグと主要顕在化要因の関係を表ー2に片側2車線(N=237)・3車線(N=227)別に示す。表ー2から渋滞するサグを抽出して整理し、主要顕在化要因別占有割合を図ー8に示す。

表ー2および図ー8から渋滞するサグ、しないサグに関し、以下のことが伺える。

- (1) サグ渋滞の3つの主要な顕在化要因の組み合わせとしては、縦断曲線半径(15,000m 以上)と縦断曲線長(1,000m 以上)の組み合わせのみであるが、これは式(2)からも容易に想定される。
- (2) 渋滞するサグは、渋滞しないサグとの比較で、車線数に関わらず、縦断曲線半径(15,000m 以上)かつ縦断曲線長(1,000m 以上)を満たす場合が、渋滞が発生しやすい。なお、縦断曲線長(1,000m 以上)の要因は、集合的に、縦断曲線半径(15,000m 以上)に含まれる。
- (3) 縦断勾配差(6%以上)の要因について、車線数別にみると、サンプル数は少ないが片側2車

線が片側3車線に比べ渋滞が発生しやすい。

(4) 渋滞するサグのうち、主要顕在化要因が全く該当しない箇所も片側2車線、および片側3車線で各々5ヶ所、1ヶ所存在する。

ところで、(1)は、縦断勾配差が小さい場合に縦断曲線半径を大きくとることで、しかも、縦断曲線長も長くなるためと考えられる。

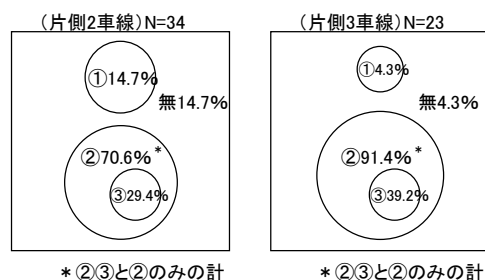
(2)～(3)については、縦断勾配差が要因であるサグは、主に片側2車線の縦断勾配差の大きい山地部サグに該当するものと考えられる。一方、縦断曲線半径および縦断曲線長が要因であるサグは、縦断曲線半径が大きかったり、縦断曲線長が長かったりで、サグの勾配変化認知が適切ではない^{2)・3)}ためと推察される。これは、主に比較的縦断勾配差の小さい平地部サグに該当するものと考えられる。

表-2 主要顕在化要因と渋滞するサグ、
渋滞しないサグの関係
(片側2車線) N=237

主要顕在化 要因の 組み合わせ	渋滞有② 3年間で1年でも 5回/年以上	渋滞無③ 左記以外	②+③ $\left[\frac{a\%}{a+b} \right]$
①②③	0	0	—
①②	0	0	—
②③	10 (29.4%)	14 (6.9%)	24 (42%)
①③	0	0	—
①のみ	5 (14.7%)	1 (0.5%)	6 (83%)
②のみ	14 (41.2%)	137 (67.5%)	151 (9%)
③のみ	0	0	—
適合皆無	5 (14.7%)	51 (25.1%)	56 (9%)
計	34 (100%)	203 (100%)	237 (14%)

(片側3車線) N=227

主要顕在化 要因の 組み合わせ	渋滞有② 3年間で1年でも 5回/年以上	渋滞無③ 左記以外	②+③ $\left[\frac{a\%}{a+b} \right]$
①②③	0	0	—
①②	0	0	—
②③	9 (39.2%)	27 (13.2%)	36 (25%)
①③	0	0	—
①のみ	1 (4.3%)	1 (0.5%)	2 (50%)
②のみ	12 (52.2%)	162 (79.4%)	174 (7%)
③のみ	0	0	—
適合皆無	1 (4.3%)	14 (6.9%)	15 (7%)
計	23 (100%)	204 (100%)	227 (10%)



5. まとめ

本研究では、500箇所に近い多量のサグのサンプルを取り扱い、高速道路でのサグ渋滞の特徴を整理することができた。全体的には、サグ部での縦断曲線の長いものおよび縦断勾配差の大きいものに渋滞が顕在化する傾向がみられた。一方、数量化Ⅱ類の分析からは、縦断線形の3要素である縦断曲線半径、縦断勾配差および縦断曲線長がサグの渋滞顕在化要因となり得ることが示された。これはサグ部での縦断線形要素と視認性との関係を伺せるものである。

一方、サグの認知度および縦断勾配差の大小に関わらず渋滞が発生している箇所もあり、必ずしも一律的な結果にはなっていない。このように、マクロ的なデータ解析だけでは、上記の原因を明らかにすることは難しく、個々のドライバーについてサグ部の運転挙動に着目した解析が望まれる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、東京都立大学片倉教授に、紙上を借りて深く感謝の意を表します。

<参考文献>

- 1) 渡辺亨他；高速道路におけるサグ渋滞の要因分析，第20回交通工学研究発表会論文報告集，pp.33～36，2000
- 2) 越正毅他；高速道路サグにおける渋滞とその対策，道路，pp.65～69，1995
- 3) 大口敬；高速道路サグにおける渋滞の発生と道路線形との関係，土木学計画学研究・論文集，No.524/IV-29，pp.69～78，1995
- 4) 交通ボトルネックの渋滞要因分析及び対策手法の検討，(社)交通工学研究会，2001
- 5) 小谷益男他；サグ部における運転者の速度制御に関する基礎的考察，土木計画学研究・講演集，No.22(2)，pp.971～974，1999
- 6) 小谷益男他；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研究，土木計画学研究・講演集，No.21(2)，pp.913～916，1998
- 7) サグ部の交通挙動と縦断線形の関連分析，日本道路公団試験研究所，1999