

勾配変化に起因する渋滞対策としての 速度回復誘導灯の検討過程と効果の整理

阪神高速道路(株)計画部調査課 石原 雅晃
阪神高速道路(株)計画部調査課 兒玉 崇
阪神高速道路(株)神戸管理部保全管理課 増本 裕幸

要 旨

都市高速においては、土地や構造の制約上、構造改変を伴う対策により渋滞の発生抑制を図ることは容易ではない。そのため、阪神高速では、走行車両の走行特性を変化させることにより渋滞緩和を実現する対策を検討してきた。その一つとして、いわゆるサグ部のような縦断勾配変化区間における無意識な速度低下が原因と考えられる箇所に対し、無意識に速度上昇を促す点滅灯（以下、速度回復誘導灯）の設置が挙げられる。他高速道路会社では一様な点灯速度で運用している例が多いが、阪神高速では運用方法の調整を重ねた結果、設置区間内の速度状況の変化に応じた点灯速度設定での運用が効果上昇につながることを確認した。本稿は、渋滞緩和効果の発現をより期待できる点灯パターンを探求する検討の過程とその効果を取りまとめたものである。

キーワード:速度回復誘導灯, 縦断勾配変化, 渋滞先頭位置, 動的点灯速度, 捌け交通量

はじめに

交通集中に起因する渋滞の改善は、交通サービスの提供に関して、お客さま満足の向上を目指すうえで最も重要な課題の一つである。渋滞は、道路の各断面の交通容量（通過し得る交通量の最大値）に対して、それを超える需要交通量がその断面を通過しようとすることによって発生する。そのため、特異事象を除く交通集中渋滞は、①交通容量の不足、②断面における需要交通量過多のいずれかによって発生する。渋滞を発生させないためには、①の対策として道路拡幅等による交通容量の増大が必要であるが、制約条件が多い都市高速では容易ではない。②は新規路線の建設による、需要交通の分散により対処できるが、こちらも一

朝一夕に実現できるものではない。

以上から、構造改変を伴わない、渋滞の緩和に着目した対策が比較的早急に対応可能な渋滞対策として注目されている。阪神高速ではこれまで、車線運用の変更や、案内看板等の設置により、既設道路の安全を担保したうえで速度の低下を抑制させるような対策をとってきた。これらのうち、本稿では、大きな効果と展開性の広さが期待される速度回復誘導灯に着目した（写真-1）。



写真-1 3号神戸線における速度回復誘導灯

速度回復誘導灯（一般名称は走光型視線誘導システムだが、阪神高速では速度回復誘導灯と称する、以下、MLGS: Moving Light Guidance System）は、道路の側面に沿って灯具を設置し、車両進行方向に沿って一定速度で点灯が進んで見えるように運用するもので、このような灯具の設置により、車両挙動の変化を確認した事例が報告されている¹⁾。具体的には、点灯が進む速度を車両の走行速度より少し早い速度で運用することにより、いわゆるサグ部のような無意識的に走行速度が低下する箇所において、車両が点灯に無意識的に追従し、走行速度が向上することで、渋滞の緩和に寄与できると期待している。MLGS は阪神高速道路以外でも導入されており、渋滞緩和効果が確認されている。^{2), 3), 4)}

阪神高速では、平成 27 年 6 月より、3 号神戸線上路り深江～芦屋間において MLGS の運用を開始した。この区間には、サグ部が存在すること、加えて本区間は、阪神高速道路で比較的交通量が多い路線でもあることから、渋滞が多発する地点として対策が特に求められる区間であった（図-1）。

それが、MLGS の設置により、設置前と比べ大幅に渋滞が削減されることとなった。ただし、設置当初から十分な効果が発現していたわけではなく、点灯パターンを試行・分析しながら変更することにより、効果の増大を実現した。

本稿では、深江サグ部において MLGS の効果を増大させるに至った検討過程について取りまとめる。加えて、成果として得られた MLGS の特性を

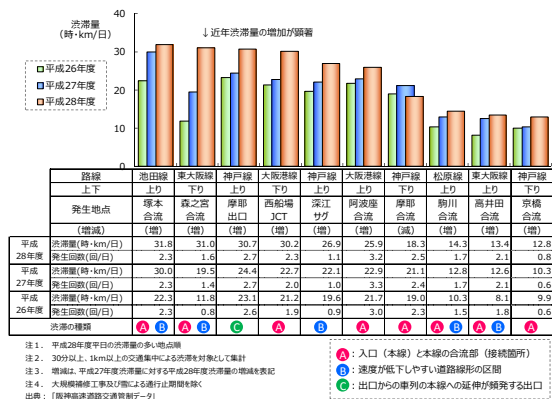


図-1 地点別渋滞量（平成26年度～平成28年度・平日）

活かした水平展開事例も併せて紹介する。

1. 適用個所の交通状況の把握

3 号神戸線上路り深江付近は、約 4 万 4 千台/日（平成 29 年度平日平均）の車両が通過し、恒常的に渋滞が発生する箇所である。当該路線では、図-2 に示すように、複数のボトルネックが連なることにより渋滞が長大化しており、深江サグ部はそれらボトルネックの最下流に位置する。その結果、夕方のピーク時間帯には、深江サグ部で発生した渋滞が、約 2km 上流の別のボトルネックである魚崎合流渋滞等も取り込み延伸し、神戸線上路り全体の旅行時間を増大させる大きな要因となっている。特に、深江サグ部付近の断面交通量が比較的大きくなる休日や繁忙期には、深江サグ部を先頭とした交通集中渋滞は、阪神高速道路の中で最大なものとなることが多い。

なお、深江サグ部は 0.6% の下り勾配から 2.5% の上り勾配に変化する縦断勾配変化（サグ部）があるものの、合流部や平面線形変化等、サグ部以外の構造的特徴による渋滞への影響が小さいと予想された。そのため、MLGS の効果をより精緻に確認できると期待されたことから、阪神高速道路において初めて対策実施する個所として選定された。

2. MLGS のシステム概要

図-3 のように、深江サグ部の縦断勾配変化地点を含む 20.5kp～19.5kp の約 1km の区間におい

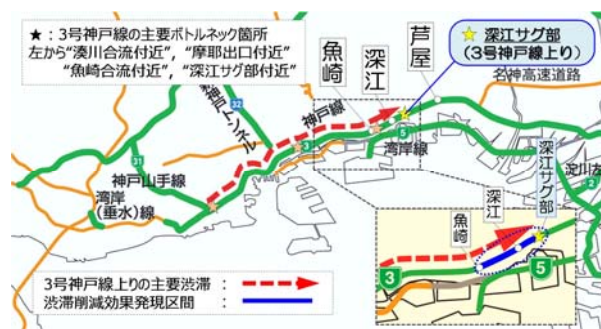


図-2 3 号神戸線上路り 主要渋滞概要図

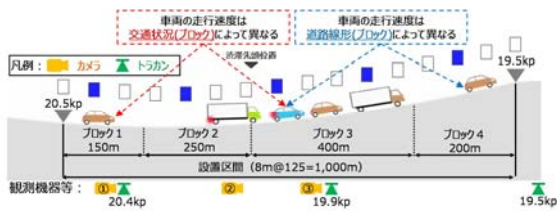


図-3 深江へのMLGS設置イメージ

て走行車線側の高欄上に MLGS を設置した。設置間隔は、制限速度である 60km/h において、適正な車間時間を 2 秒とした場合の車間距離約 33.3m と 1 灯 3 消で運用した場合の点灯間隔が概ね一致するように 8m (点灯間隔：32m) とした (図-4)。また、設置高さは事前に視認性確認を行い、大型車・普通車ともに視認性の良い位置として路面から約 1.4m 程度の高さに設置している。設置灯具については、設置区間が透光板区間であることから、光漏れに配慮しコンパクトな形状としている。

他道路の設置事例では、車両走行速度より 10～20km/h 程度高い点灯速度での運用が効果的であることが報告されている⁵⁾。しかし、実際の車両の走行速度は、道路線形や周囲の環境、さらに渋滞時等の交通状況の違いによって異なると考えられる。そのため、区間・時間毎の交通状況に適した運用とすることで、一様な点灯速度の運用よりも大きな効果の発現が期待できる。具体的には、上り坂での速度低下抑制による渋滞発生抑制と、渋滞中の速度回復による渋滞の早期解消・延伸抑制を目的とする。以上から、よりきめ細やかな誘導を実装することを目標に、以下の3つの機能に着目してMLGSを開発した。

1) 車両の走行速度は区間によって異なること

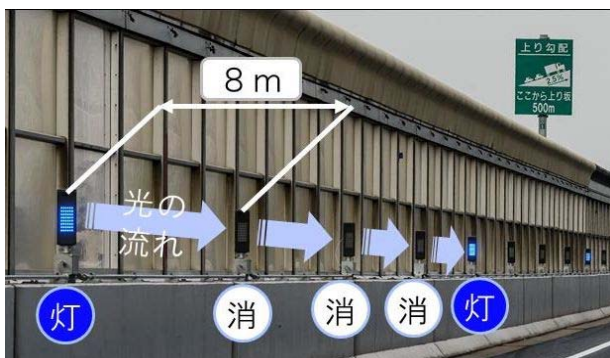


図-4 MLGSの運用イメージ

を考慮し、区間毎 (下り勾配部：ブロック1及び2, 上り勾配部：ブロック3及び4) にそれぞれ異なる点灯条件 (車両の走行速度等) 及び点灯パターンを設定可能とする

- 2) 点灯条件に用いられる車両の走行速度は、路側に設置された3台のカメラ (下り勾配部：カメラ①及び②, 上り勾配部：カメラ③) によって個別に観測した走行速度 (画像処理によって1分間毎に平均値を算出) のうち、ブロック毎に任意のカメラの観測値を設定可能とする
- 3) 点灯パターンは点灯速度に加え、点灯色や形状 (矩形, 矢印), 点灯間隔 (1灯2消, 1灯3消, 1灯4消) を変更可能とする

これらの設定を、遠隔で操作できるようなシステムを構築した (図-5)。このシステムの操作により、点灯速度や点灯パターンの制御設定を容易に行うことができ、さらに、カメラでの撮影映像や、分析に用いる観測速度履歴、点灯速度履歴も抽出可能となった。

3. 効果の高い点灯パターンの検討方法

3-1 点灯パターン検討手順

点灯パターンを自由に設定できる仕様にしたことにより、点灯パターンの組み合わせは多種多用に存在する。その中でより効果的な点灯パターン

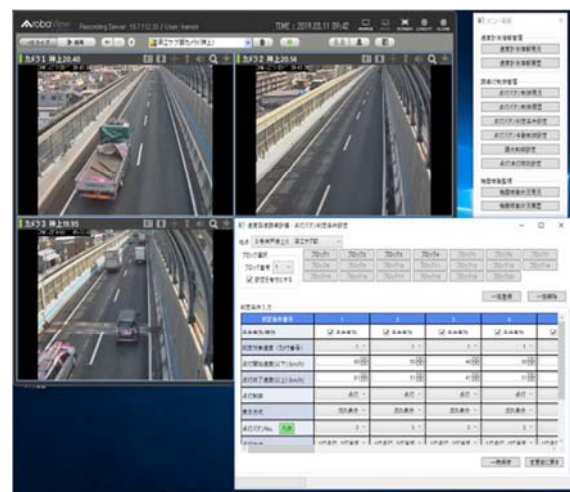


図-5 MLGSシステム操作画面

を検討するに当たり、以下の3つのステップで、各パターンの比較を行う手順を採用した。

【ステップ1：効果発現傾向の把握】

まず、MLGSの効果について確認する。他道路の設置事例同様に、MLGSを設置した区間において一律の点灯速度で運用を行い、無点灯時と比較した。その結果からMLGSの特性を見出し、以後のパターン検討における課題を整理した。

【ステップ2：効果の高い点灯パターンの検証】

ステップ1で判明した特性に着目し、MLGSの機能や点灯速度が区間毎に異なる点灯パターンを比較し、より効果が高くなる設定を検討した。

【ステップ3：有効なパターンでの効果測定】

最も効果発現が期待できる点灯パターンと無点灯との比較を行い、MLGSの渋滞低減効果としての評価を行った。

各点灯パターンについて比較を行うにあたり、データの信頼性向上には期間を長めにとる方が望ましいが、交通需要等の季節変動の影響を受けるため、隔週でパターンを変更することで季節変動の影響を平準化し、パターン毎に集計した結果の比較によって評価することにした。また、上下流で事故等の特異な渋滞が発生している日は、特異日として除外した。なお、深江サグ部を先頭とする渋滞は平日の15時頃に発生することが多いため、平日13:00~21:00を集計期間とする。

3-2 点灯パターン評価指標

点灯パターンを比較するに当たり、定量的な指標により評価する必要がある。渋滞の緩和を図っていることから、渋滞の程度を表す渋滞量や渋滞継続時間により比較することは可能であるが、パターンごとの運用期間が異なるため、需要の差異による影響を受けやすい。そこで、渋滞の緩和とは、渋滞中に交通流が円滑になっている状態と考え、渋滞中の捌け交通量で評価することとした。

4. 深江サグ部での点灯パターン検証過程

4-1 ステップ1の効果検証

MLGSは20km/h~120km/hまでの速度パターンを生む点消灯が可能な仕様としている。これを用い、ステップ1では、観測速度が40km/h以上の場合と40km/h未満の場合の2段階で判定して点灯速度を決定するパターンAと、60km/h以上、60km/h未満40km/h以上、40km/h未満の3段階で判定するパターンBの2パターンを設定し、各々について、無点灯時を比較した。なお、頻繁な点灯速度の変更がドライバーに混乱を与えるリスクを危惧し、全ブロックを同一速度としている。

結果、両点灯パターンともに、渋滞発生中にMLGS設置範囲で、速度が一部回復している状態を見受けられた。一方で、両点灯パターンでは全区間についてカメラ③の観測速度をもとに点灯速度を制御しており、上流に位置するカメラ①、②の観測速度と比較すると、速度差が非常に大きい状況や、逆転して点灯速度の方が低くなっている状況も散見され、点灯速度との速度差が大き過ぎてもその効果が十分発現されない可能性が懸念された⁶⁾。また、上流側の車両は、下流側の車両より早くは走行できないため、捌け交通量の増加を目指す上では、下流側の速度が上流側の速度より上昇していることが必要と考えた。

以上から、実勢速度と点灯速度との過大な差を低減するために、「車両の走行速度環境の変化に応じて、きめ細やかに点灯パターンを変化させる」こと、また、交通をより捌けやすくするために、「下流側の点灯速度を上流側より高めに設定する」ことを念頭に点灯パターンの見直しを行った。

4-2 ステップ2の効果検証

ステップ1で得られた知見を元に、きめ細やかな点灯パターンとして、①点灯パターン判定速度の細分化、②ブロックごとに速度判定カメラの設定、また、③下流ブロックの速度上昇を促すため、渋滞先頭位置より下流になると思われるブロックの点灯速度を下流に向けて判定速度の上限より段

階的に高く設定、の各改善を行った⁷⁾。

それぞれのカメラの観測速度に合わせて、各ブロックにおいてどのような速度で点灯することが望ましいかについて検証を行った。試行した点灯パターンについて、表-1にまとめる。

平成28年3月14日から5月6日までの約2か月間において、パターンの中でも効果の大きかった点灯パターンC-2と、一律な点灯速度で設定した点灯パターンBの比較検証を行った。検知器断面ごとに1日当たりの渋滞発生回数と1回当たりの渋滞継続時間の比較を図-6に示す。

(図-6) から、深江サグ部との位置関係により、効果の発現傾向が異なることが見て取れる。深江サグ部の上流付近(20.4kp, 21.1kp)では、渋滞回数は微増しているが渋滞継続時間は減少している。これは、点灯パターンBに比べて点灯パター

表-1 点灯パターン毎の設定内容

点灯パターン名称	判定速度帯数(点灯の割合率)	判定基準				点灯速度				点灯間隔	
		走行速度帯		ブロック1	ブロック2	ブロック3	ブロック4				
パターンA	2段階(2通り)	41km/h~		80km/h				1灯3消			
		~40km/h		40km/h				1灯3消			
パターンB	3段階(3通り)	61km/h~		80km/h				1灯3消			
		41km/h~60km/h		60km/h				1灯3消			
パターンC-1	3段階(3通り)	~40km/h		40km/h		50km/h		60km/h		1灯2消	
		61km/h~		80km/h				1灯3消			
パターンC-2	4段階(16通り)	41km/h~60km/h		60km/h		65km/h		70km/h		1灯3消	
		~40km/h		40km/h		45km/h		50km/h		1灯2消	
		41km/h~50km/h		50km/h		55km/h		60km/h		1灯3消	
		31km/h~40km/h		40km/h		45km/h		50km/h		1灯2消	
パターンC-3	5段階(125通り)	61km/h~		80km/h				1灯2消			
		51km/h~60km/h		60km/h		65km/h		70km/h		1灯2消	
		41km/h~50km/h		50km/h		55km/h		60km/h		1灯2消	
		~30km/h		30km/h		35km/h		40km/h		1灯2消	

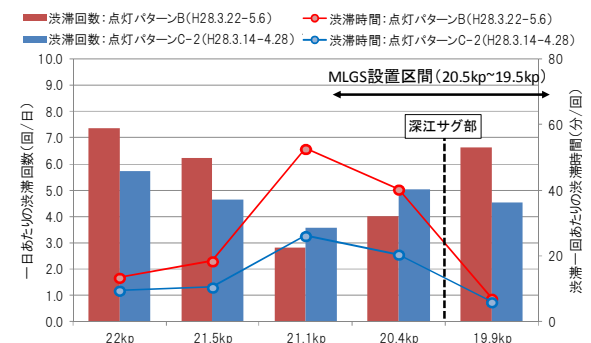


図-6 地点別渋滞発生回数と1回当たりの渋滞継続時間

ンC-2は、渋滞が発生しても早期に解消していることを表している。さらに上流の21.5kp, 22.0kpでは、渋滞継続時間だけでなく渋滞回数も大きく減少している。これは、点灯パターンC-2では、当該断面まで渋滞が延伸しにくくなったことを表している。一方、登坂中腹に位置する19.9kpでは、散発的に発生していた渋滞回数自体が減少しており、MLGSが上り坂での渋滞発生を抑制している。

4-3 ステップ3の効果検証

パターンC-3では、さらなる効果発現のために、よりきめ細やかに実勢速度へ対応する点灯パターンに設定した。パターンC-3の点灯時と無点灯時とを比較すると、魚崎合流~深江サグ部において、渋滞量は約7割の削減が見られた。(図-7)

渋滞量削減の要因検証として、1回あたりの渋滞発生回数と渋滞継続時間を地点ごとに無点灯時と比較した結果を図-8に示す。渋滞先頭位置直上流における渋滞時間の大幅な減少が、渋滞の早期解消に寄与していると言える。また、C-2と同様に、渋滞先頭位置の上流側では渋滞延伸の抑制、下流側では、渋滞発生抑制にも寄与しているこ

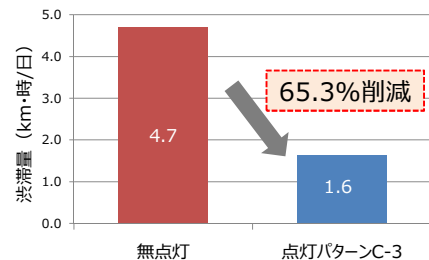


図-7 渋滞量の比較 (C-3 vs 無点灯)

MLGS設置範囲~魚崎合流 (19.5~22.0kp) で集計

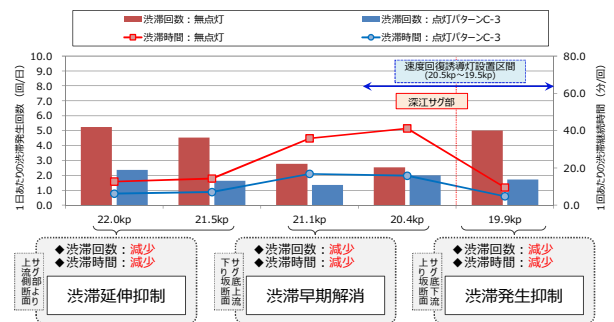


図-8 渋滞回数・渋滞継続時間の比較 (C-3 vs 無点灯)

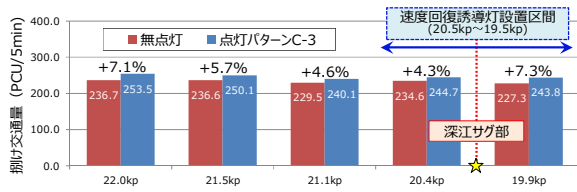


図-9 渋滞中の捌け交通量の比較 (C-3 vs 無点灯)

とが窺える。

続いて、MLGS 設置区間付近における地点別捌け交通量を比較した結果、各地点において約 4~7%の増大が確認できた (図-9)。したがって、この捌け交通量の増大が、渋滞の延伸抑制や早期解消に寄与した結果、渋滞継続時間が減少し、渋滞量削減の効果をもたらしたと言える。

4-4 成果のまとめ

MLGS は、設置することで捌け交通量が増加し、それに依る渋滞発生や延伸抑制、早期解消の効果もたらすことで渋滞継続時間が減少し、結果として渋滞量や遅れ時間の削減に効果があることがわかった。設置の際の点灯パターンの設定については、渋滞区間における渋滞中の速度と乖離の少ない点灯速度で運用すること、また、渋滞先頭付近からは段階的に点灯速度を高めを設定することにより、渋滞中の捌け交通量がより高まることをそれぞれ確認した。

冒頭では渋滞発生抑制には交通容量の増大、もしくは需要交通量の減少が必要であると記したが、渋滞中捌け交通量の増大により、交通量最大時以外の交通状況が改善されることで、渋滞緩和に効果を発現することが分かった。よって、交通容量ではなく、捌け交通量に着目した渋滞緩和対策は多分に有用な渋滞対策であると言える。

5. 今後の展開

捌け交通量の増加が見込めるという観点では、MLGS は、サグ部以外の渋滞対策としても効果が期待される。そのうち、サグ部と同様に、勾配変化等の影響による速度低下が発生し、先頭の捌け

交通量が低下して渋滞が発生している箇所への水平展開を検討することとした。

近年の渋滞多発箇所の特徴としては、ランプ等が本線に合流する箇所において渋滞が発生しているものが多いが、箇所によっては、合流箇所そのものが渋滞発生地点ではない場合もある。例えば、合流部より下流側で縦断勾配が変化しており、その付近が渋滞発生地点となっているのであれば、MLGS のような縦断勾配変化に起因する渋滞の対策により、上流側の合流部においても渋滞の緩和が期待できると考えた。

5-1 森之宮付近の交通状況と設置検討概要

2019 年 3 月現在は、近年渋滞が著しく増加している 13 号東大阪線下り森之宮付近において、MLGS を展開し、効果を大きくする点灯パターンの検討を行っている。本区間における渋滞は、上流の阿波座合流渋滞まで延伸するなど、都心部の交通に大きく影響を与えるため、早急の対応が求められている。本箇所は、図-10 に示すように、入口合流部直後の縦断勾配変化地点を先頭に渋滞が発生している。詳細な渋滞先頭位置を確認するにあたり、増本ら⁸⁾は渋滞先頭位置を過ぎた車両が速度上昇させることに着目し、プローブデータを分析し、速度回復している車両が多い地点を渋



図-10 森之宮付近の渋滞発生状況

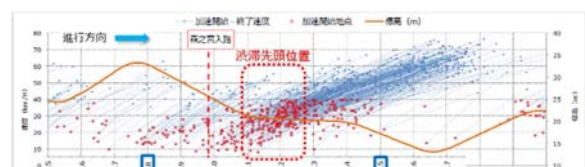


図-11 森之宮付近の渋滞先頭位置分析結果



写真-2 森之宮付近における MLGS

滞先頭位置と捉えている。図-11 に示すように、本 MLGS 設置区間においては、森之宮入口より下流の縦断勾配変化地点が渋滞先頭位置と考えられる。

深江サグ部での知見をもとに、写真-2 のように MLGS を設置した。設置範囲については、車線毎の分担交通量が大きく、合流等の影響が少ない追越車線側に重点的に設置した。一方、より効果を高めるために、最も速度を改善させたい渋滞先頭位置付近には走行車線にも設置した。

また、合流部より上流において速度上昇を図ることは、合流部における追突事故を誘発する可能性が必ずないとは言い切れない。その可能性を払拭するために、点灯パターンについては、捌け交通量の増大を図る点灯速度設定にすることに加え、必要な範囲に絞った運用を行う。増本らは、MLGS の必要範囲の検証を行い、渋滞中においては、渋滞先頭位置より下流だけでなく、渋滞先頭位置より上流側の速度低下している区間の設置が渋滞中の捌け交通量増大に寄与していることを確認している⁹⁾。この成果をもとに、森之宮付近における MLGS は「渋滞発生前と渋滞発生後に分けての運用」と、「渋滞先頭位置前後に分けた運用」が可能な設定とする。渋滞発生前については、速度低下の抑制を目的として、速度低下区間より下流（ブロック 3・4）のみで点灯し、下流に進むほど点灯速度を高く設定する。渋滞発生後は、渋滞範囲に合わせて点灯範囲を決定し、渋滞区間では観測速度と同等速度で運用し、渋滞先頭位置より下流側では、点灯速度を段階的に高くすることで、

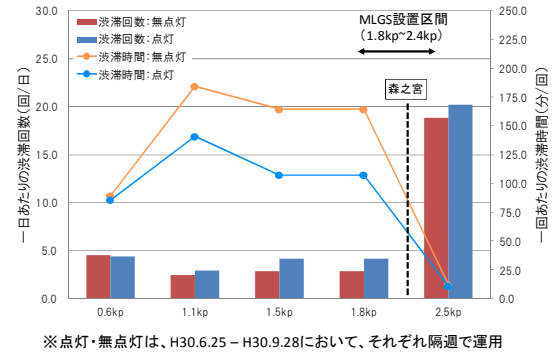


図-12 渋滞回数・渋滞継続時間の比較（森之宮付近）

捌け交通量の向上を図る。

5-2 森之宮付近での効果分析現況

平成 30 年 6 月から 9 月まで点灯と無点灯と交互に切り替え、交通状況を比較した。結果、MLGS 設置区間の上流側（1.1kp, 1.5kp, 1.9kp）で、1 回当たりの渋滞継続時間が減少していることを確認した（図-12）。ただし、本稿執筆時は点灯パターンを切り替えながら、渋滞緩和効果をさらに増大させるパターンを改良している状況であり、森之宮付近への設置効果の整理については、効果をより高める点灯パターンの探求過程を含め、別稿にて報告する。

今後は、適用箇所毎に必要なチューニングの評価を数値的に行い、阪神高速道路の多様な渋滞に対応可能なシステムへと改良することを目指す。MLGS を阪神高速道路の基本的な渋滞対策として展開し、さらなる安全・安心・快適な道路交通サービスを提供していく。

謝辞：平成 27 年の MLGS 運用開始に至るまでに、様々な検討、調整がなされてきた。本プロジェクトを推進して下さった諸先輩方、設置・効果検証に携わって頂いた関係部署、グループの方々には筆舌に尽くし難い感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 川島祐貴, 内川 恵二, 金子 寛彦, 福田 一帆, 山本 浩司, 木屋 研二：道路側面に設置された点滅柱状物体により生起する視覚誘導自己運動感覚を交通工学的に応用した自動車運転者の速度感覚変化手法, 映像メディア学会誌, Vol. 65, No. 6, pp. 833-840, 2011.

- 2) 亀岡弘之, 小根山裕之, 渡部義之, 櫻井光昭: 走光性を活用した路側発光体の動的点滅制御による渋滞緩和の効果検証, 第 33 回交通工学研究発表会論文集, pp. 185-188, 2013.
- 3) 鎌田恭典, 渡部聡, 安齋潤哉, 柴田健一: 渋滞対策を目的とした自発光ペースメーカーの開発と運用について, 第 33 回交通工学研究発表会論文集, pp. 181-184, 2013.
- 4) 荻原貴之, 川野祥弘, 小林雅彦, 泉典宏, 田中淳, 山口大輔: 首都高速道路におけるエスコートライトの効果的な運用方法の検討, 第 53 回土木計画学研究発表会, 2016.
- 5) 遠藤元一, 中川浩, 深瀬正之, 橋本弾: 東京湾アクアラインの渋滞対策について, 交通工学論文集, 1(4), B_1-B_8, 2015
- 6) 植田拓磨, 玉川大, 兒玉崇, 萩原武司: 深江サグ部における速度回復誘導等を用いた渋滞対策について, 第 53 回土木計画学研究発表会, 2016.
- 7) 兒玉崇, 植田拓磨, 飛ヶ谷明人, 増本裕幸, 玉川大: 走行型視線誘導システムにおける渋滞低減効果の高い点灯パターンの検討, 土木計画学研究・講演集, Vol. 54, No. 258, 2016.
- 8) 増本裕幸, 鈴木英之, 兒玉崇: 速度回復誘導灯を用いた渋滞対策の次期展開について, 第 50 回技術研究発表会論文集, 2018.
- 9) 増本裕幸, 飛ヶ谷明人, 兒玉崇, 北澤俊彦, 鈴木健太郎, 友枝ゆかり, 李竜煥: 阪神高速道路における速度回復の効果検証と効率的な運用方法について, 交通工学論文集, 4(3), B_1-B_9, 2018.

AN INVESTIGATION AND EFFECT OF THE MOVING LIGHT GUIDANCE SYSTEM AS A MEANS TO REDUCE TRAFFIC CONGESTION DUE TO GRADIENT CHANGES

Masaaki ISHIHARA, Takashi KODAMA and Hiroyuki MASUMOTO

It is difficult on existing urban expressways to increase traffic capacities by road widening or other structural modifications due to limited land availability or structural restrictions. At Hanshin Expressway, means to change behaviors of drivers have been studied for congestion mitigation, including a moving light guidance system (MLGS) that induces the drivers to pick up speed at a sag or similar location where they tend to slow down unconsciously. The MLGS was found to be more effective when operated at a dynamic flashing rate, rather than at a constant rate as commonly operated. This paper reports the investigation on the flashing patterns as well as the effect of the system in traffic congestion mitigation.

石原 雅晃



阪神高速道路株式会社
計画部 調査課
Masaaki Ishihara

兒玉 崇



阪神高速道路株式会社
計画部 調査課
Takashi Kodama

増本 裕幸



阪神高速道路株式会社
神戸管理部 保全管理課
Hiroyuki Masumoto