

走光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

兒玉 崇¹・植田 拓磨²・飛ヶ谷 明人¹・増本 裕幸¹・玉川 大³

¹正会員 阪神高速道路株式会社 計画部調査課 (〒541-0056 大阪市中央区久太郎町4-1-3)

E-mail: takashi-kodama@hanshin-exp.co.jp, akito-higatani@hanshin-exp.co.jp, hiroyuki-masumoto@hanshin-exp.co.jp

²正会員 阪神高速道路株式会社 保全交通部保全調整・点検課 (〒541-0056 大阪市中央区久太郎町4-1-3)

E-mail: takuma-ueda@hanshin-exp.co.jp

³正会員 阪神高速道路株式会社 技術部国際室 (〒541-0056 大阪市中央区久太郎町4-1-3)

E-mail: dai-tamagawa@hanshin-exp.co.jp

阪神高速ではサグ部における速度低下の抑制及び渋滞中の速度回復による渋滞低減を目的として、車両の走行速度に応じて点灯パターンを動的に制御できる走光型視線誘導システムを、平成27年6月に阪神高速3号神戸線上りの深江サグ部（深江～芦屋）に設置し、効果的な運用について検討を進めている。

本稿では、捌け交通量増加を期待して、下流側の点灯速度をより高めに設定し、かつ走行区間の走行速度に応じたきめ細やかな点灯速度で運用する点灯パターンについて、単純な点灯パターンとの比較検証を行った結果、よりきめ細やかな点灯パターンで運用することで、渋滞中の速度回復による渋滞の早期解消・延伸抑制効果や、上り坂での速度低下抑制による渋滞発生抑制効果が高くなることが確認できた。

Key Words : サグ, 渋滞対策, 走光型視線誘導システム

1. はじめに

阪神高速では、平成26年に策定した「渋滞対策アクションプログラム（H26～H28）」に基づき、様々な渋滞対策に取り組んでいる。サグ部での渋滞対策としては、当該区間の走行速度に応じて点灯パターン（点灯速度や点灯色等）を動的に変化させ、サグ部における無意識の速度低下の抑制や渋滞中の速度回復を期待した速度回復誘導灯（阪神高速では、走光型視線誘導システムを速度回復誘導灯と称している）（図-1）を、平成27年6月に阪神高速3号神戸線上りの深江サグ部（深江～芦屋）に設置して、効果的な運用について検討を進めている。

速度回復誘導灯は、走光性（生物が光刺激に反応して移動する性質）に着目し、車両の進行方向に一定の光刺激を移動させることにより、勾配変化に伴う無意識の速度低下の抑制や、渋滞中の速度回復等を期待した走光型視線誘導システムであり、様々な点灯制御が可能な点滅灯を等間隔に配置したものである。近年同様のシステムが高速道路で導入され始め、効果も報告されている^{1), 2)}。とりわけ、走行速度よりも10～20km/h程度高い点灯速度

での運用が、無意識の速度低下の抑制や、渋滞中の速度回復に効果的であることも報告されている³⁾。しかしながら、同システムの導入事例は少なく、より効果的に上記効果を発現させる点灯パターンに関する知見は乏しい。

そこで、今般、区間ごとに走行速度に応じて点灯パターンを動的に制御できる速度回復誘導灯（以下、誘導灯と呼ぶ）を開発・設置し、速度低下抑制や速度回復といった渋滞低減につながる効果の検証や、渋滞低減効果の高い点灯パターンを見出すことを目的に、複数の点灯パターンの比較による検証を行った。

本稿はそのうち、よりきめ細やかな点灯パターンの設定による渋滞低減効果について報告するものである。



図-1 速度回復誘導灯（阪神高速3号神戸線上り 深江サグ部）

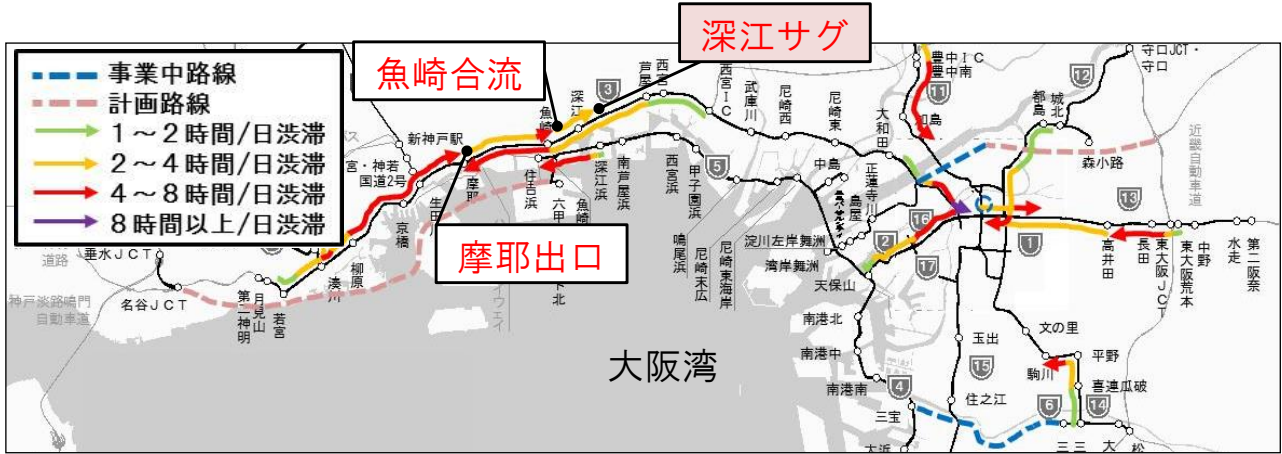


図-2 阪神高速道路の渋滞発生状況と3号神戸線上りの渋滞ボトルネック位置 (平成25年度平日平均)

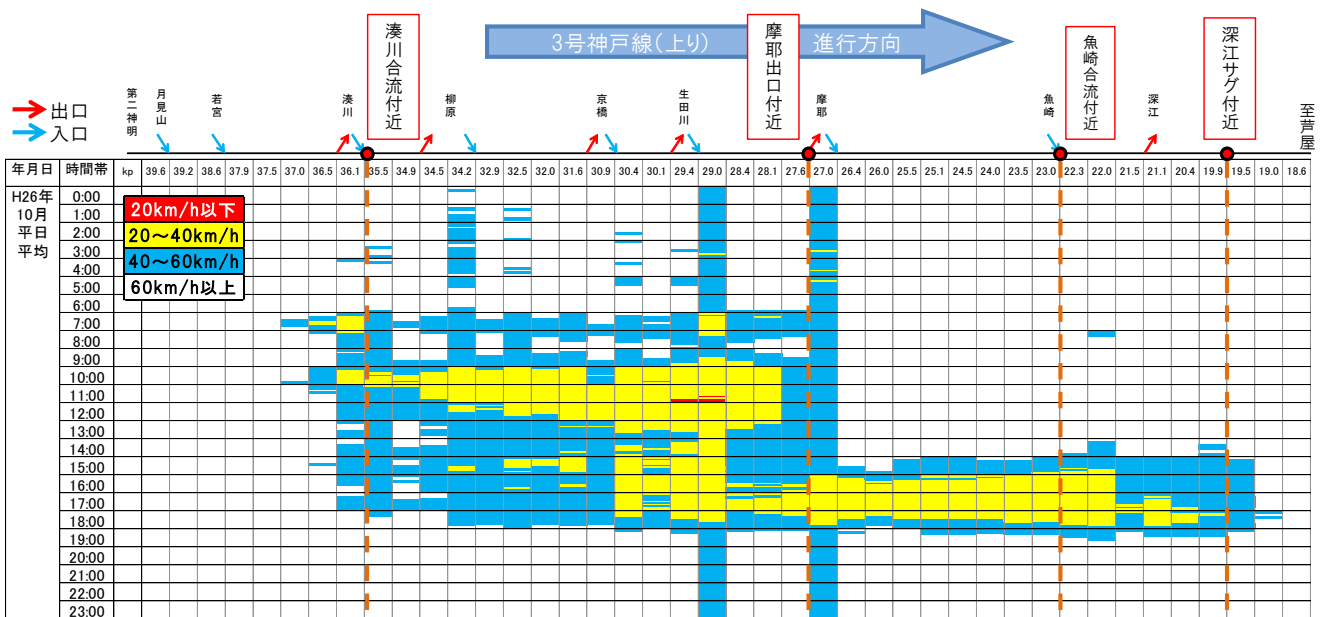


図-3 3号神戸線(上り)の渋滞状況(深江サグ付近・魚崎合流付近・摩耶出口付近・湊川合流付近) (平成26年10月平日平均)

2. 深江サグ部の渋滞発生状況

深江サグ部は、阪神高速3号神戸線上り深江～芦屋間に位置する縦断勾配2.5%の上り坂を有するサグ部であり、近年、渋滞の増加が見られるボトルネックの一つである。

また、神戸線上に複数ある渋滞ボトルネックの最下流に位置し(図-2)、約2km上流には魚崎合流という別のボトルネックが近接していることから、午後になると、深江サグで発生した渋滞が、魚崎合流渋滞等を取り込んで大きく延伸し(図-3)、神戸線上の旅行時間の増大に大きな影響を及ぼしている。

特に、通過交通の多い休日や繁忙期においては、深江サグ部を先頭とした渋滞は、阪神高速道路で最も激しい交通集中渋滞となっている。

3. 誘導灯の概要

(1) 目的

誘導灯は、前述の通り、走行性に着目した渋滞低減を目的としたシステムであり、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、による渋滞低減効果を期待している。

(2) システムの設計思想

誘導灯は、阪神高速3号神戸線上りの深江サグ部のサグ底手前(神上20.5kp)から上り坂の頂上付近(神上19.5kp)までの1kmの区間に、平成27年6月に設置した。

ここで、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、前項の目的を達成する最適な点灯パターンは、設置区間のどの位置でも共通ではないと予想される。そのため、勾配や交通状況を勘案して個別に設定可能で

あることが望ましいと考えた。以上から、本誘導灯は、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開発した(図-4)。

- (i) 車両の走行速度は勾配や交通状況により異なると考え、勾配変化を考慮して4つに区切ったブロックごとに、それぞれ異なる点灯条件(車両の走行速度等)や点灯パターンを設定可能とした。
- (ii) 点灯条件に用いる判定速度は、路側に設置された3台のカメラ(下り勾配部:カメラ①, 上り勾配部:カメラ②及び③)によって個別に観測された走行速度(画像処理によって1分間ごとに算出)のなかから、ブロックごとに任意のカメラの値を適用可能とした。
- (iii) 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)を変更可能とした。

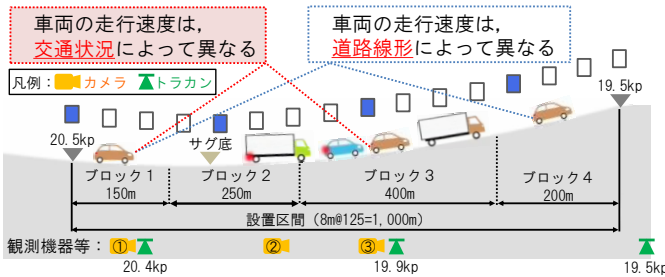


図-4 速度回復誘導灯設置区間のブロック割

(3) 設備概要

誘導灯の配置状況を図-5に示す。

誘導灯はサグ底手前の神上20.5kpから頂上付近の神上19.5kpまでの1kmの区間を対象に、走行車線側の高欄上に設置した。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)としている。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程度の高さとした。なお、設置灯具は、設置区間が透光板区間であるため、光漏れに配慮しコンパクトな形状としている。

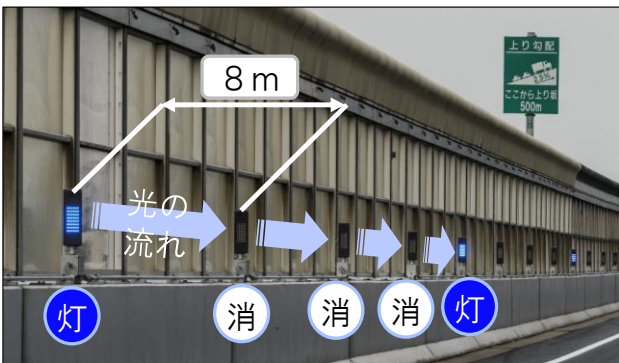


図-5 速度回復誘導灯の配置状況

4. 効果検証の全体方針と課題

(1) 効果検証の全体方針

深江サグ渋滞を低減するための最適な点灯パターンを見出すために、大きく3つのステップで、渋滞低減効果等の比較検証を行いながら、段階的に、点灯パターンの見直しを図ることにした。

ここで、誘導灯は場所ごとの走行環境に対応した点灯パターンを実装できるよう設計されているが、当初は、頻繁な点灯パターンの変更がかえってドライバーに混乱を与える危険性を危惧し、全ブロック共通で、かつ少ないパターン数の点灯パターンの検証から始め、渋滞低減効果の発現状況等を鑑みながら、徐々にパターン数を拡大・詳細化していく方針とした(表-1)。

ステップ1では、全ブロック共通の点灯パターンで、判定速度帯のパターン数(点灯パターンA:2パターン, 点灯パターンB:3パターン)を変えて、無点灯との比較による効果の発現傾向の把握を行った。

ステップ2では、ブロックごとに点灯パターンを個別に設定し、ステップ1の点灯パターンBとの比較を通じて効果が発現する点灯条件を検証することにした。

ステップ3では、ステップ1, 2の結果を踏まえ、より効果の高いと思われる点灯パターンと無点灯との比較を行うことで、誘導灯の渋滞低減効果を体系的に整理することを今後予定している。

なお、本稿では主に、ステップ2までの点灯パターンの比較を通じて明らかになった、効果的な点灯条件の検討を中心に報告する。

表-1 速度回復誘導灯の効果検証ステップ

点灯パターン名称	速度判定カメラ	パターン数等	点灯速度設定の考え方
ステップ1 パターンA (H27.6~) パターンB (H27.11~)	全ブロック:カメラ③	2パターン(1灯3消) ※全ブロック共通	自由走行時及び渋滞時より10km/h程度高く設定
	全ブロック:カメラ③	3パターン(1灯3消) ※渋滞時は1灯2消 ※全ブロック共通	50km/h台での速度維持、50km/h台への速度回復を勘案して設定
ステップ2 パターンC-1 (H28.2~) パターンC-2 (H28.3~)	全ブロック:カメラ③	4パターン(1灯3消) ※渋滞時は1灯2消 ※ブロック別	下流側の点灯速度を高めに設定
	ブロック1,2:カメラ② ブロック3,4:カメラ③	4パターン(1灯3消) ※渋滞時は1灯2消 ※ブロック別	下流側の点灯速度を高めに設定
ステップ3 パターンC-3 (H28.6~)	ブロック1 :カメラ① ブロック2 :カメラ② ブロック3,4:カメラ③	5パターン(1灯2消) ※ブロック別	下流側の点灯速度を高めに設定

※ステップ3の点灯パターンは、H27.6時点で計画していたもの

(2) ステップ1の検証結果と課題

ステップ1では、表-2に点灯条件を示す点灯パターンA, Bについて、別途設けた無点灯期間との比較を通じて効果の発現傾向の把握を行った。

なお、いずれの点灯パターンも、上り坂中腹に位置するカメラ③の観測速度にて、すべてのブロックの点灯条件を制御しており、かつ判定速度に対する点灯パターンが全ブロック共通であった。

表-2 点灯パターンA及びBの概要 (ステップ1)

点灯パターン名称	判定速度と点灯パターンの概要		
	60km/h超 ^{注1)}	40km/h超 60km/h以下 ^{注1)} (70km/h超に回復まで) ^{注2)}	40km/h以下 ^{注1)} (50km/h超に回復まで) ^{注2)}
パターンA (H27.6~)	80km/h (1灯3消)		40km/h (1灯3消)
パターンB (H27.11~)	80km/h (1灯3消)	60km/h (1灯3消)	50km/h (1灯2消)

注1) 判定速度は、全ブロック共通でカメラ3の観測速度を採用
注2) チャタリング防止のため設定

しかしながら、両点灯パターンとも渋滞の発生抑制を期待させる傾向は確認できなかった。また、渋滞発生中に、誘導灯設置範囲で、速度が一部回復している状態も僅かながら見受けられたが、渋滞中の捌け交通量の増加には至っておらず、渋滞の早期解消・延伸抑制効果を確認することもできなかった⁴⁾。

さらに、ブロック1, 2に位置する、カメラ①②での観測速度について、カメラ③での観測速度をもとに制御される点灯速度との速度差が非常に大きくなったり、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た。

また、交通需要は季節変動等により一様でないため、サンプル数確保のため点灯期間と無点灯期間を長期に設定して比較評価しようとする、交通需要の違いが無視できなくなり、単純比較の難しさに課題を残した。

5. ステップ2の検証方針

(1) 点灯パターン見直しの考え方

ステップ1の検証結果を踏まえ、ステップ1の点灯パターンである点灯パターンA, Bにおいて効果が発現されない要因として、下記の2つの特徴に着目した。

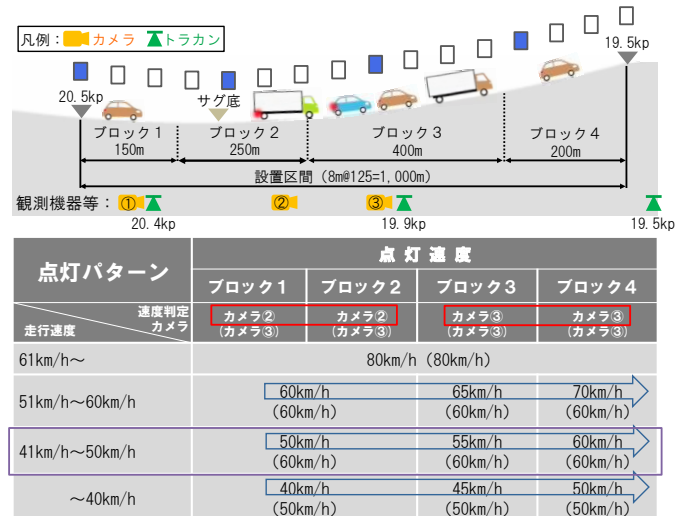
- ①点灯速度が観測速度と大きく乖離、もしくは逆転して低くなっている場合がある。
- ②渋滞時の速度回復が捌け交通量の増加に結び付いていない。

①について、点灯速度が実際の走行速度より低い場合には期待している効果を発現し得ないことは明白だが、点灯速度との速度差が大きすぎてもその効果が十分発現できない可能性も懸念される。そのため、ドライバーにとって、適度な速度差で誘導され続ける点灯パターンとなっていることが望ましいと考え、ドライバー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にした。

②について、上流側の車両は、下流側の最も遅い車両より早くは走行できないため、下流側のブロックの点灯速度を上流側より高めに設定することで、下流側の速度が全体的に高くなり、下流側の速度回復が上流まで追従することを期待することにした。

(2) 新たな点灯パターンの特徴

本項では、ステップ1の結果を踏まえて設定した点灯パターンC-1, C-2のうち、点灯パターンC-2 (図-6) について、ステップ1の点灯パターンBから改善を図った内容について整理する。



※速度判定カメラ、点灯速度の記載は、「点灯パターンC-2、(点灯パターンB)」

図-6 点灯パターンC-2とBの点灯条件比較

a) 点灯速度と観測速度の乖離の低減や逆転現象の解消

1)点灯パターンの判定速度条件の追加

点灯パターンBでは点灯パターンを判定する速度帯を、60km/h超、60km/h以下40km/h超、40km/h以下の3パターン (表-2) としていたが、点灯パターンC-2では、60km/h以下40km/h超を、60km/h以下50km/h超と50km/h以下40km/h超に二分することで、50km/h以下40km/h超の観測速度帯における点灯速度との過大な速度差の発生を抑制した。

2)チャタリング防止機能の停止

チャタリングは、観測速度が点灯パターンの切り替え速度閾値前後を上下する場合に生じる、点灯パターンの小刻みな変更のことを言う。

ステップ1では、チャタリングがドライバーに悪影響を及ぼす危険性を危惧していたため、チャタリング防止機能 (例えば、点灯パターンBで、60km/h以下を観測すると点灯速度は60km/hとなり、70km/h超を観測するまで点灯速度は60km/hが維持される (表-2)) を導入していた。しかしながら、同機能の実装により、速度回復中に点灯速度が走行速度を下回る場合が発生することがあり、かえって速度回復の弊害となる可能性が危惧されたため、懸念された事故の増加等がないことを確認したうえで、同防止機能を停止することにした。

3)ブロックごとに速度判定カメラを設定

点灯パターンBでは、すべてのブロックにおいて、3つあるカメラのうち、最下流かつ上り坂中腹に位置するカメラ③の観測速度で、点灯パターンを制御していた。

これはカメラ③が、渋滞発生前では3つのカメラのうちで最も速度低下の可能性が高いことが理由だが、実際には、カメラ③の観測速度と、カメラ①、②の観測速度が大きく乖離、もしくは逆転してカメラ③の観測速度が低くなっている場面も見受けられ、これでは誘導灯による速度回復が十分機能していない可能性が危惧された。

そのため、上り坂であるブロック3、4は上り坂中腹のカメラ③で、サグ底前後にあたるブロック1、2はサグ底下流のカメラ②の観測速度で点灯パターンを判定することとし、これにより、走行位置の実勢速度に、より対応した点灯パターンが提供されることになった。

以上、1)~3)の変更により、誘導灯設置区間を走行するドライバーからは、自身の走行速度に概ね対応した点灯パターンによって誘導される環境に、より近づくことになった。

b) 捌け交通量増加を期待した段階的な速度設定

パターンBでは、カメラ③観測の判定速度に対して、全ブロックで同一の点灯速度で運用していた。しかしながら、判定速度は1分間の平均速度のため、実際には個々の車両速度には幅があると考えられる。上流側の車両は下流側の最も遅い車両より早くは走行できないため、下流区間の速度がより高いことで、上流側も速度回復しやすくなり、結果として、渋滞中の捌け交通量の増加も見込めると考えた。そのため、下流側が速度回復しないと速度回復が見込めないブロック1、2は、点灯速度を判定速度の上限に設定する一方で、渋滞先頭付近になると思われるブロック3、4については、判定速度の上限から段階的に、下流側の点灯速度をより高く設定した。

(3) 検証日の設定

よりきめ細やかな点灯パターンへの見直しによる渋滞低減効果等の検証として、2016年3月14日から6月3日までの約2か月半において、点灯パターンC-2と点灯パターンBの比較検証を行った。検証では、季節変動等による交通需要の違いによる影響をなるべく抑えるため、隔週で点灯パターンを切り替えて比較することにした。なお、対象は平日の13時から21時までの8時間とし、ゴールデンウィーク期間、及び当該区間の需要交通に影響を与えるような前後区間での渋滞発生日は対象外とした。

この結果、検証対象日は、点灯パターンBが14日、点灯パターンC-2が19日、となった。ここで、設定した検証日における平均8時間交通量はほぼ同等で、僅かであるが、点灯パターンC-2の値が上回っていた(図-7)。

<p>■検証期間 2016年3月14日～6月3日(平日_13:00-21:00) ※点灯パターンC-2とBを隔週で運用</p> <p>(分析除外条件) ・ゴールデンウィーク期間である5.2及び5.6 ・深江より下流側で発生した渋滞が深江(20.4kp)まで延伸した日 ・深江より上流側(京橋付近(30.0kp)より以西除く)で交通集中渋滞以外の渋滞が発生した日</p> <p>■検証日の交通量について(pcu/8h) ・魚崎入口～深江出口 C-2 : 24,100 B : 23,900 ・深江出口～芦屋入口 C-2 : 22,900 B : 22,600</p>
--

図-7 検証条件(点灯パターンC-2・B)

6. ステップ2の検証結果

(1) 渋滞時間・渋滞量の比較

点灯パターンBとC-2について、検知器断面ごとに8時間あたりの渋滞時間の比較を図-8に示す。

これより、誘導灯の設置区間だけでなく、その上流においても、別のボトルネックである魚崎合流までの間で、2割～7割程度、渋滞時間が減少していることがわかる。なお、渋滞時間の減少率は、誘導灯の設置区間の上流側にいくにつれて大きくなっている。

また、これに伴い、深江サグ～魚崎合流の渋滞量(渋滞時間×検知器区間長の累計)も5割減少した(図-9)。

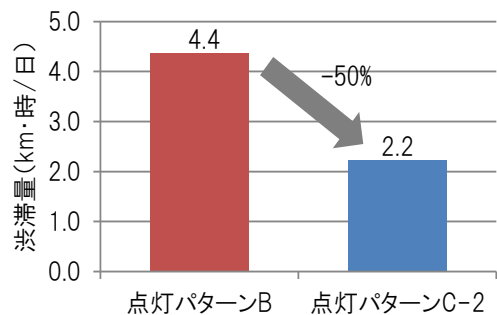


図-9 渋滞量の比較(点灯パターンB・C-2)

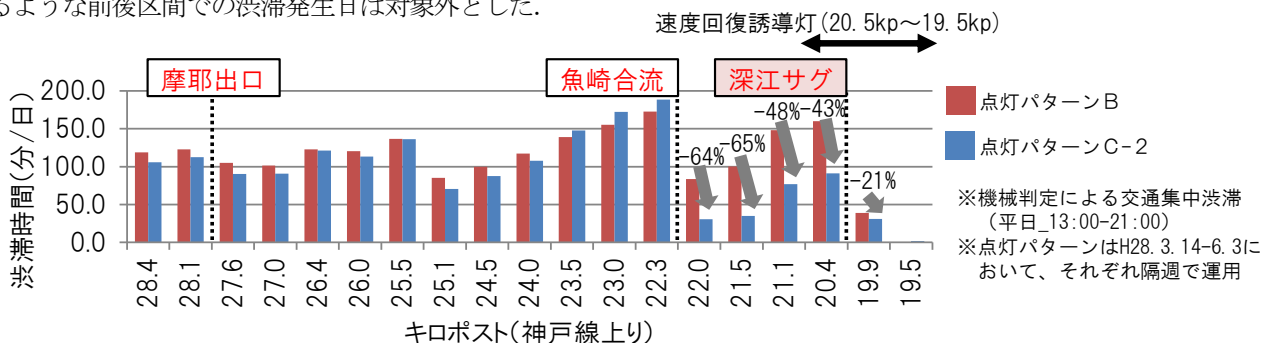


図-8 地点別渋滞時間の比較(点灯パターンB・C-2)

(2) 渋滞回数・渋滞継続時間の比較

検知器断面ごとに、1日あたりの渋滞発生回数と1回あたりの渋滞継続時間を、図-10に比較した。

サグ底上流の神上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おり、その結果、前述の日渋滞時間（8時間）の減少につながっていると考えられる。さらに上流の神上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おり、その結果、前述の日渋滞時間の大幅な減少につながっていると考えられる。

以上より、誘導灯効果により渋滞の早期解消や延伸抑制が図られたことで、渋滞量の大幅な減少を達成できていることが確認できた。

一方、上り坂中腹に位置する神上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、誘導灯が上り坂での渋滞発生を抑制している可能性が期待される。

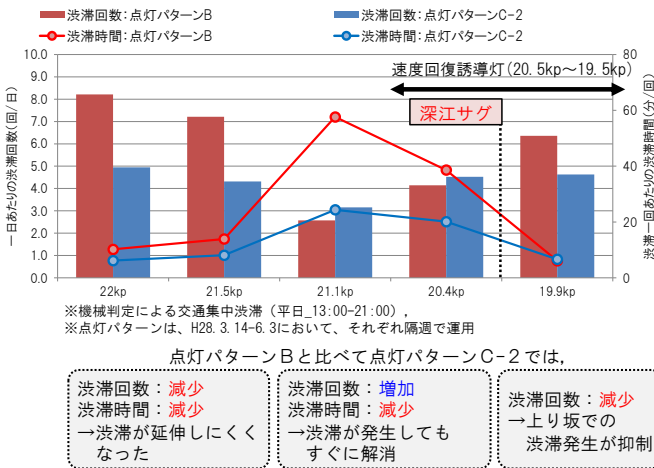


図-10 渋滞回数・渋滞継続時間の比較 (点灯パターンB・C-2)

(3) 渋滞中の捌け交通量の比較

続いて、検知器断面ごとに渋滞中の捌け交通量を比較した結果、誘導灯設置区間だけでなく、その上流においても、捌け交通量が3%~5%向上しており、前項の検証で確認された渋滞の早期解消・延伸抑制効果を裏付ける結果が得られた (図-11)。

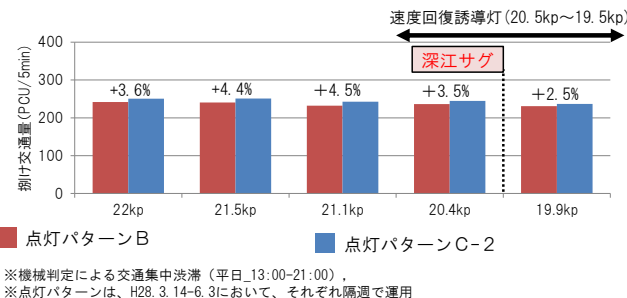


図-11 渋滞中の捌け交通量の比較 (点灯パターンB・C-2)

(4) 速度分布の比較

また、上り坂中腹に位置する神上19.9kpにおいて、5分間平均速度分布の時間推移を比較すると、15時~19時で、速度低下割合が減少するなど、速度低下抑制効果も見られ、前述の検証結果から期待された、上り坂での渋滞発生抑制をさらに期待させる結果が得られた (図-12)。

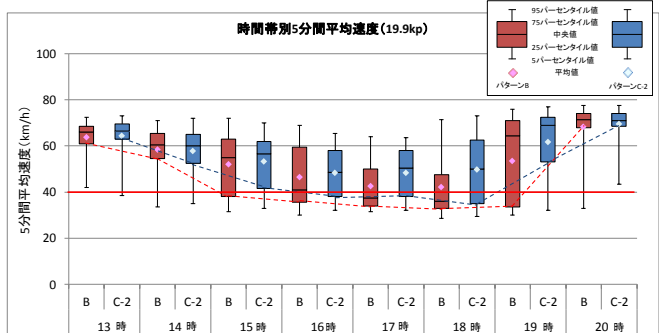


図-12 5分間平均速度分布の時間帯別推移 (点灯パターンB・C-2)

さらに、検知器断面ごとに5分間平均速度の累積構成割合を比較すると、誘導灯設置区間だけでなく、その上流でも低速度割合（40km/h以下）が、1割以上減少しており、速度低下抑制、及び渋滞中の速度回復効果が上流まで及んでいることが確認できた (図-13)。これは、渋滞中の捌け交通量の増加にも寄与する結果である。

(5) ロス時間の比較

深江サグ~魚崎合流におけるロス時間を比較した結果、8時間交通量はパターンC-2が僅かに大きい (図-7) にも関わらず、低速度割合が減少 (図-13) したこともあり、点灯パターンBと比べて点灯パターンC-2は、ロス時間が約4割減少している (図-14)。

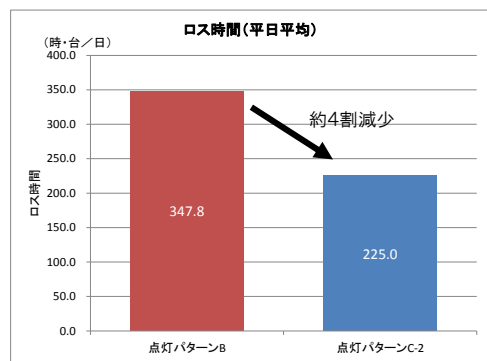


図-14 ロス時間の比較 (点灯パターンB・C-2)

7. まとめ

本稿では、捌け交通量増加を期待して、下流ほど点灯速度を高く設定し、かつ走行区間の走行速度に応じた、よりきめ細やかな点灯速度を適用させた点灯パターンについて、単純な点灯パターンとの比較検証を行った。

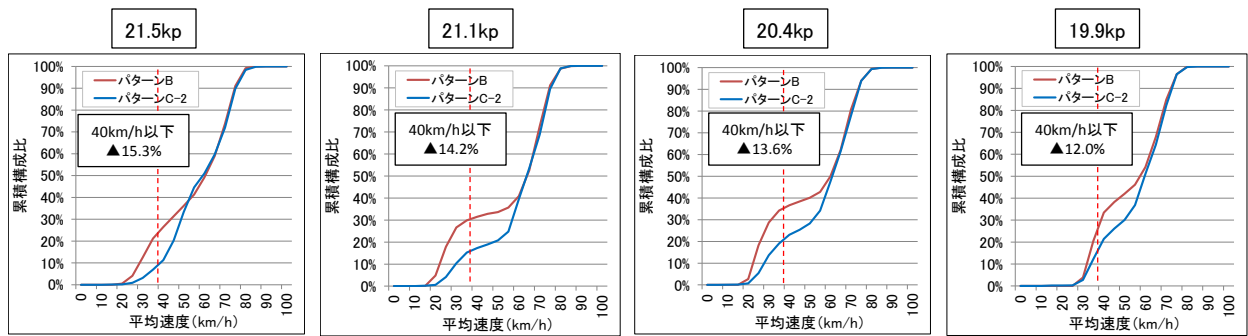


図-13 5分間平均速度分布の地点別比較

その結果、交通状況の変化に対して、よりきめ細やかに対応する点灯パターンでは、設置区間における上り坂での速度低下が抑制されるとともに、渋滞中の速度回復が促進され、低速度割合の減少が上流まで及んでいることを確認した。同様に渋滞中の捌け交通量も、設置区間及びその上流において、3%~5%増加した。また、それに伴い、同範囲において渋滞時間が大幅に減少し、渋滞量も5割減少するとともに、交通量全体は微増したにもかかわらず、ロス時間も約4割減少した。

このことから、誘導灯は、渋滞中の速度回復による渋滞の早期解消・延伸抑制効果を有していると推察される。

また、上り坂の中腹に位置する神上19.9kpで見られた速度低下割合の減少や渋滞発生回数の減少から、上り坂での速度低下抑制による渋滞発生抑制効果も期待される。

加えて、今回、無点灯との比較ではなく、点灯パターンの差異に着目したことで、誘導灯は、現地の走行環境に応じた現地調整が重要であること、また、調整次第で発現効果が大きく異なる可能性があることが示された。

今後は、誘導灯の発現条件や効果的な点灯パターン、その発現メカニズムについて、さらに分析を進めるとともに、無点灯との比較等を通じて、誘導灯の渋滞低減効果に係る体系的な整理をしていきたい。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 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.
- 4) 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灯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(春大会), 2015.

CONSIDERATION WITH THE LIGHTING PATTERN OF CONGESTED REDUCTION EFFECT OF THE MOVING LIGHT GUIDE SYSTEM

Takashi KODAMA, Takuma UEDA, Akito HIGATANI, Hiroyuki MASUMOTO and
Dai TAMAGAWA