

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

荻原貴之¹・川野祥弘²・小林雅彦³・泉典宏⁴・田中淳⁵・山口大輔⁶

¹正会員 首都高速道路株式会社 (〒100-8930 東京都千代田区霞が関1-4-1 (日土地ビル))
E-mail: t.ogihara21@shutoko.jp

²非会員 首都高速道路株式会社 (〒100-8930 東京都千代田区霞が関1-4-1 (日土地ビル))
E-mail: y.kawano146@shutoko.jp

³正会員 首都高速道路株式会社 (〒100-8930 東京都千代田区霞が関1-4-1 (日土地ビル))
E-mail: m.kobayashi1361@shutoko.jp

⁴正会員 株式会社オリエンタルコンサルタンツ (〒450-0003 名古屋市中村区名駅南2-14-19)
E-mail: izumi@oriconsul.com

⁵正会員 株式会社オリエンタルコンサルタンツ (〒151-0071 東京都渋谷区本町3-12-1)
E-mail: tanaka-at@oriconsul.com

⁶正会員 株式会社オリエンタルコンサルタンツ (〒151-0071 東京都渋谷区本町3-12-1)
E-mail: yamaguchi-di@oriconsul.com

首都高速道路のなかでも有数の渋滞箇所である3号渋谷線下り池尻付近において、エスコートライトを設置した。その結果、交通容量の拡大効果や渋滞損失時間の削減効果等の一定の効果が確認された。

本稿では、さらに効果を高めるため、エスコートライト設置区間の渋滞メカニズムを整理し、渋滞巻き込まれ時間や周辺の明るさなど、本設置区間における効果の発現条件を整理した。また、エスコートライトの発光パターンについて、変更実験を実施し、効果的な運用方法に関して考察を行った。

Key Words : congestion measures, highway capacity, urban expressways, sag section, traffic congestion

1. はじめに

首都高速道路に設置したエスコートライト等の走光型視線誘導システムは、これまで全国で10箇所を超え(表-1)、多くの箇所で効果が確認されている^{1), 2), 3), 4), 5), 6), 7), 8)}。

特に、上り勾配区間における渋滞対策として、有効な対策と認知されつつあるが、効果の発現条件などの知見は未だ少ない。

首都高速道路においても、平成27年2月より、上り勾配区間における渋滞対策として、3号渋谷線下りにエスコートライトを設置し、運用を開始している。小林ら⁸⁾は、本箇所の効果分析を通じて、捌け交通量の95%マイル値が2~4%上昇、捌け交通量の平均値が第1車線で1.2台/5分、第2車線で2.6台/5分上昇、走行速度が第1車線で1.0km/h、第2車線で0.4km/h上昇、冗長な車間の削減、低

表-1 走行型視線誘導システムの設置事例 (一例)

| 会社 | 設置位置 | 効果分析資料 |
|--------------|--|---|
| NEXCO 東日本 | 三陸自動車道(上り線)利府 JCT~仙台港北 JCT | 論文 ¹⁾ , 月刊誌 ²⁾ |
| | 東北自動車道(上り線)福島トンネル付近 | 論文 ¹⁾ , 月刊誌 ²⁾ |
| | 東北自動車道(下り線)安達太良 SA 付近 | 論文 ¹⁾ , 月刊誌 ²⁾ |
| | 東京湾アクアライン(上り線)川崎浮島 JCT 付近 | 月刊誌 ²⁾ , HP ³⁾ |
| NEXCO 中日本 | 東名高速道路(下り線)宇利トンネル付近 | 論文 ⁴⁾ |
| | 新東名清水連絡路(上り線)新清水 JCT~清水 JCT | 論文 ⁵⁾ |
| | 圏央道(内回り・外回り)小倉山トンネル | — |
| | 中央自動車道(上り線)小仏トンネル | — |
| NEXCO 西日本 | 山陽自動車道(下り線)三原久井~本郷 | 論文 ⁶⁾ |
| 阪神高速道路 | 3号神戸線(上り線)深江付近 | HP ⁷⁾ |
| 首都高速道路 | 3号渋谷線(下り線)池尻~三軒茶屋 中央環状線(外回り)扇大橋入口付近 中央環状線(内回り)千住新橋入口付近 | 論文 ⁸⁾ — — |

加速車両の加速などの効果を確認している。しかし、効果の有無に関する分析に留まっており、効果の発現条件、効果の持続性、渋滞発生時の効果に関しては考察されていない点が課題である。

そこで、本研究では、まず、3号渋谷線下りのエスコートライトに関して、対策効果が昨年と同様に見られるか効果の持続性を確認する。次に、対策効果の発現メカニズムを整理し、本設置区間における効果の発現条件を整理する。更に、エスコートライトの発光パターンの変更実験を実施し、効果的な運用方法に関して考察を行う。



図-1 分析対象区間位置図

2. 渋滞対策の概要

(1) 対策実施区間の概要

3号渋谷線下りの道路構造は、図-2のように、約1.3kmの区間に大橋JCTからの合流、池尻入口からの合流、三軒茶屋出口への分流が連続する区間である。それに加えて、大橋JCT～池尻入口間にサグを、池尻入口～三軒茶屋出口間に3.0%上り勾配を有する区間である。

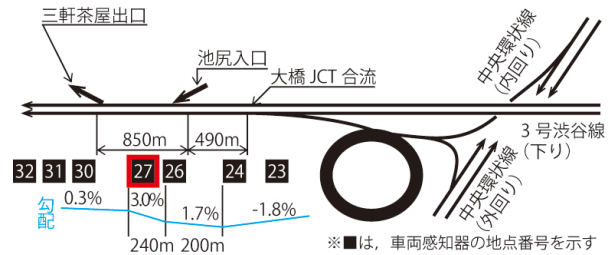


図-2 3号渋谷線下り池尻入口付近の道路構造

(2) 対策実施区間の渋滞発生状況

3号渋谷線下りにおける渋滞状況を整理する。

谷町JCT～三軒茶屋出口付近のRYG及び池尻入口～三軒茶屋出口付近のQV図を図-3に示す。

RYGより、池尻入口～三軒茶屋出口付近（地点27）を先頭に速度低下していることから、3.0%上り勾配を先頭に速度低下していることがわかる。また、QV図の臨界流状態が発現している点からも池尻入口～三軒茶屋出口間の3.0%上り勾配が渋滞の先頭であると言える。

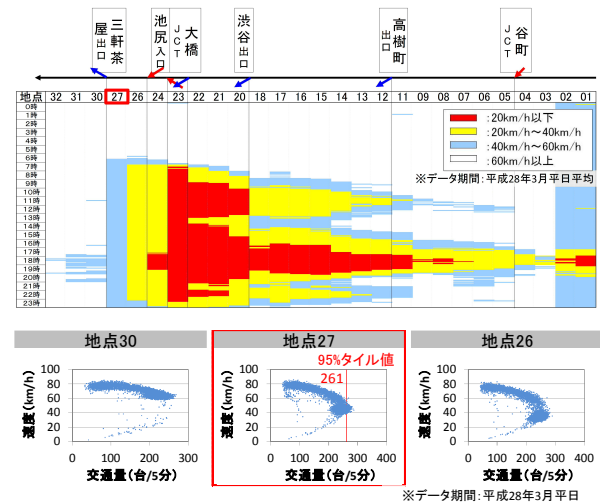


図-3 3号渋谷線下り池尻入口付近の RYG, QV 図

(3) エスコートライトの概要

前述の交通状況を踏まえ、3号渋谷線下りにエスコートライトを設置する。エスコートライトとは、図-4のように、路側に設置した灯具の光を走行速度より少し高い速度で流すことで、無意識の速度低下を防ぐことを目的とした施策である。

今回の実施では、近隣の住宅に光が入り込むこと等のリスクを考慮し、平日の発光時間帯を、平成27年2月16日～平成27年12月24日は7:00から24:00としていた。しかし、平成27年12月25日より、本箇所の渋滞発生時刻は6時台であることを考慮して、発光時間帯を6:00から24:00に変更している。

なお、エスコートライトの設定条件としては、表-2に示すとおりである。

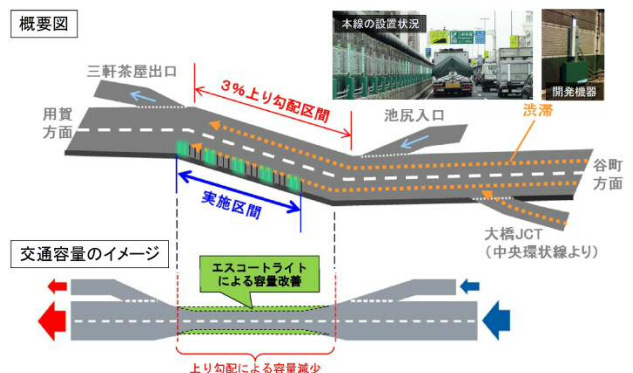


図-4 エスコートライトの概要

3. 渋滞対策の効果分析

(1) 交通容量に関する分析

池尻入口～三軒茶屋出口間において、各週の交通容量を算出する。交通容量は、捌け交通量の95%タイル値、渋滞後捌け交通量⁹⁾の2種類を算出している。各指標の算出方法は、以下のとおりである。

- ・捌け交通量の95%タイル値：車両感知器の5分データをを用いて、週毎に捌け交通量の95%タイル値を算出
- ・渋滞後捌け交通量：渋滞（40km/h以下）が発生した後、解消（速度上昇）するまでの全時間の平均フローレートを算出

対策前後の各週の捌け交通量の95%タイル値を図-5に、対策前後の各週の渋滞後捌け交通量を図-6に示す。図中の※は祝日を含む週を表す。

分析の結果、捌け交通量の95%タイル値より、捌け交通量は2～4%上昇している。対策実施から一年経過した赤丸の箇所はほとんど変化ないことから、この効果は、一年経過しても対策直後と同じ効果を発現していることが確認できる。

渋滞後捌け交通量より、渋滞後の平均的な捌け交通量は3～5%上昇している。

また、渋滞発生時の対策効果を整理するために、機器の点灯時刻を7:00から6:00に変更した後で平成27年12月25日以降のデータを用いて、渋滞発生確率¹⁰⁾を算出する。なお、渋滞発生確率は以下の流れで算出している。

- ボトルネック上流地点において40km/hを下回る時刻を抽出し、その時刻のボトルネック地点の交通量を交通量階層別（100台単位）にフローレート換算して出現頻度をカウント
- 渋滞発生時及び自由流時のデータを使用して、ボトルネック部の交通量を交通量階層別にフローレート換算して出現頻度をカウント
- 交通量階層別に以下の式より渋滞発生確率を算定

$$\text{渋滞発生確率} = i / ii$$

分析結果を図-7、図-8、図-9に示す。

図-7より、全体的にグラフが右に移行しており、渋滞発生時のフローレートが増加していることが読み取れる。また、図-9より、渋滞発生確率も、渋滞発生時のフローレートと同様の傾向を示している。

(2) 時間帯別の効果分析

交通状況の違いによる渋滞対策の効果分析を通じて、効果の発現メカニズムを整理する。時間帯別捌け交通量の95%タイル値の増減率（前年比）を図-10に示す。

分析の結果、タピーク時間帯で効果が高い傾向が見られる。

表-2 エスコートライトの設定条件

| 項目 | 仕様 | 仕様を決定した視点 |
|--------|------------------------|---|
| 設置延長 | 234m | ・上り勾配区間の最下流 |
| 灯具サイズ | 高さ 60cm × 幅 5.6cm | ・大型車からも視認しやすい縦長型 |
| 設置間隔 | 3m 毎 | ・視認性実験より決定（光が流れているように見えるかという視点で設置間隔を決定） |
| 設置高さ | 機器上部：2.0m 機器下部：1.4m | ・普通車、大型車ともに視認しやすい高さに設定 |
| 発光色 | 青緑 | ・視認性実験より決定（電球は青4+緑10を一列に配置） |
| 発光輝度 | 480カンデラ | ・視認性実験より決定（調整可能） |
| 発光パターン | 2灯6滅 | ・試験場実験より決定（調整可能） |

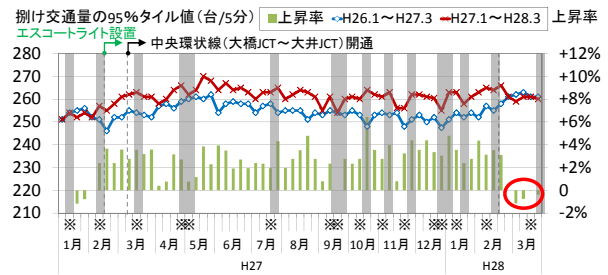


図-5 各週の捌け交通量の95%タイル値

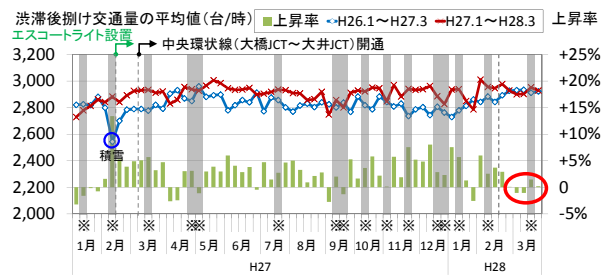


図-6 各週の渋滞後捌け交通量

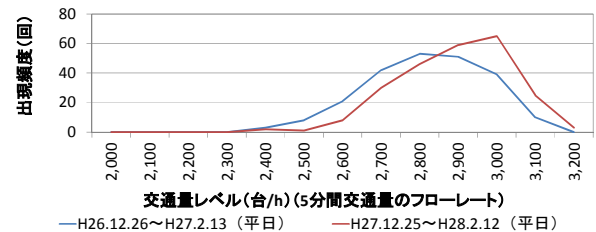


図-7 渋滞発生時のフローレート別頻度 (i)

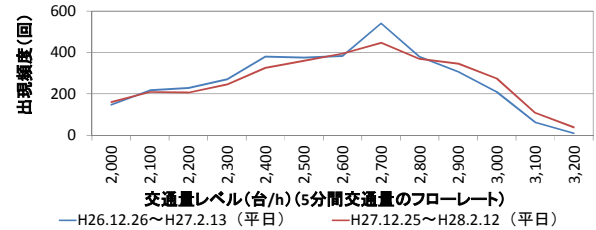


図-8 渋滞発生時、自由流時のフローレート別頻度 (ii)

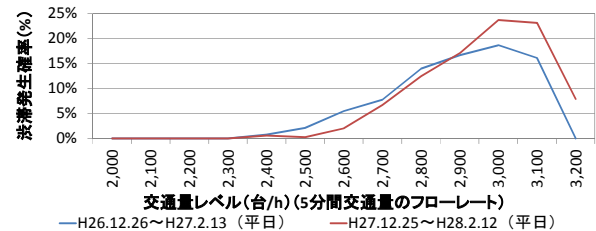


図-9 渋滞発生確率 (iii)

(3) 対策効果の発現メカニズム

前節の分析より、渋滞対策の効果はタピーク時間帯で効果が高い傾向が見られた。本節では、タピーク時間帯で効果が高くなる原因を解明することを通じて、対策効果の発現メカニズムを明らかにする。

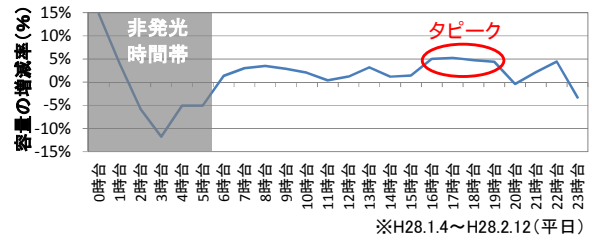


図-10 時間帯別捌け交通量の95%タイル値の増減率

a) 渋滞巻き込まれ時間の影響分析

渋滞巻き込まれ時間の長短を4分類して比較分析を行うことで、渋滞巻き込まれ時間の影響を分析する。渋滞巻き込まれ時間の分類を図-11に、分類別の捌け交通量の比較結果を図-12に示す。なお、渋滞巻き込まれ時間の分類は、以下のように4分割している。

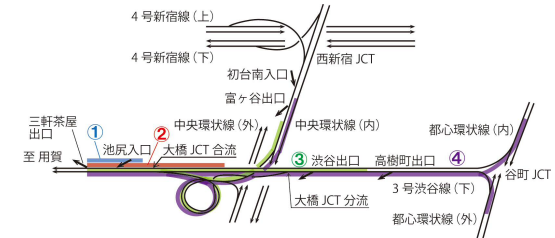


図-11 渋滞巻き込まれ時間の分類イメージ

- ① 3号渋谷線下りの渋滞長（40km/h以下の区間長）が池尻入口～大橋JCT合流の間まで延伸する場合
（渋滞巻き込まれ時間 約26秒～約40秒）
- ② 3号渋谷線下りの渋滞長が大橋JCT合流～大橋JCT分流の間まで延伸する場合
（渋滞巻き込まれ時間 約40秒～約47秒）
- ③ 3号渋谷線下りの渋滞長が大橋JCT～谷町JCTの間まで延伸する場合
（渋滞巻き込まれ時間 約47秒～約191秒）
- ④ 3号渋谷線下りの渋滞長が谷町JCTを超えて延伸する場合
（渋滞巻き込まれ時間 約191秒～）

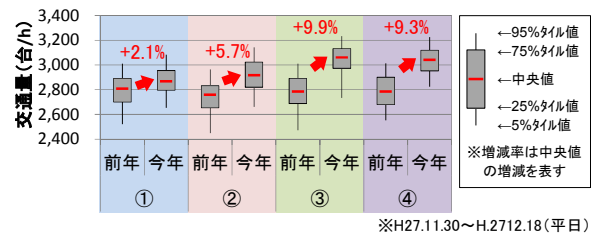


図-12 分類別の捌け交通量の比較結果

※中央環状線側の渋滞長が西新宿JCTを超えた場合は事故として扱い、分析から除外している。

※渋滞巻き込まれ時間は、池尻入口、大橋JCT合流、大橋JCT分流、谷町JCTからボトルネックまでの規制速度の旅行時間と40km/h走行時の旅行時間の差分を表している。

分析の結果、渋滞が延伸するほど捌け交通量の増加率が高く、エスコートライトの効果が高いことが言える。また、大橋JCT分流部（対策箇所の上流870m）を超えると、増加率+9.9%から+9.3%とあまり変化していないため、それ以上渋滞が延伸しても効果が変わらないことが確認される。また、分類ごとに捌け交通量の平均値の差の検定をt検定により行くと、表-3のように、全ての分類で有意な差が見られる。

表-3 t検定結果（単位：台/時）

| | ① | | ② | | ③ | | ④ | |
|-----------|-----------------|-------|------------------|-------|------------------|-------|-----------------|-------|
| | 前年 | 今年 | 前年 | 今年 | 前年 | 今年 | 前年 | 今年 |
| 平均値 | 2,790 | 2,875 | 2,723 | 2,913 | 2,759 | 3,033 | 2,787 | 3,035 |
| 標準偏差 | 157.1 | 126.4 | 208.7 | 153.0 | 232.6 | 155.8 | 148.7 | 129.6 |
| N | 459 | 124 | 361 | 436 | 719 | 172 | 58 | 44 |
| t 値 (p 値) | 6.269*** (0.00) | | 14.378*** (0.00) | | 18.576*** (0.00) | | 8.801*** (0.00) | |

*** 1%有意

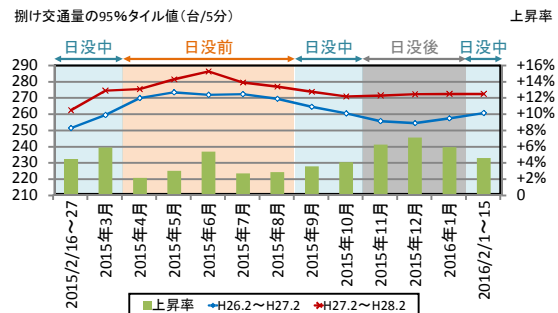


図-13 各月の17時台の捌け交通量の95%タイル値、上昇率

b) 明るさの影響分析

対策実施後一年間のデータを用いて、各月の17時台の捌け交通量の95%タイル値を算出し、17時台が日没前（明るい時間帯）、日没中、日没後（暗い時間帯）に分類して前年からの上昇率を分析する。また、上昇率と日の入り時刻（日没時刻）の関係进行分析する。

各月の17時台の捌け交通量の95%タイル値と上昇率を図-13に、17時台の捌け交通量の上昇率と日の入り時刻

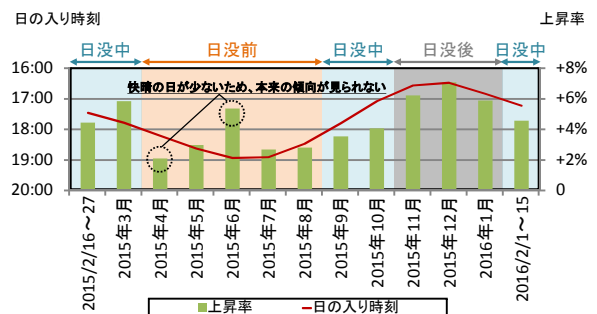


図-14 17時台の捌け交通量の上昇率と日の入り時刻

を図-14に、今年と昨年の快晴の日数を表-4に示す。なお、表中の快晴の日数は気象庁の過去の気象データ検索（1時間ごとの値）¹¹⁾より、東京観測所の17時台の日照時間（h）が1.0、0.9を快晴と定義し、日数をカウントしている。

分析の結果、図-13より、17時台が日没前（明るい時間帯）は上昇率が低く、17時台が日没後（暗い時間帯）は上昇率が高い傾向が見られる。これを日の入り時刻と重ね合わせると、図-14のように、上昇率と日の入り時刻が同じ傾向を示していることが見て取れる。なお、4月、6月の結果は、表-4のように、快晴の日数が少ないことにより、本来の傾向が見られていないと考えられる。

(4) 対策効果の発現条件に関する考察

対策効果の発現メカニズムに関して、以下の知見が得られた。

- ・渋滞巻き込まれ時間の影響分析より、渋滞巻き込まれ時間が長いとエスコートライトの効果が高いことがわかった。これは、渋滞巻き込まれ時間が長くなると、追従意識が低下していたが、エスコートライトを設置することで、追従意識を再刺激して効果が発現していると推察された。
- ・明るさの影響分析より、周辺の明るさが暗いほど、エスコートライトの効果が高いことがわかった。これは、周辺の明るさが暗いと灯具を視認しやすいため、夜間の方が対策効果が高いと推察された。

4. 運用方法の変更実験結果の整理

(1) 実験の概要

エスコートライトの効果的な運用方法を把握するために、灯具の発光パターンや発光速度を変更して、対策効果の違いを整理する。実験の概要は以下のとおりである。

実験日時：2015/10/3（土）～10/19（金）
 実施場所：3号渋谷線 下り
 実施ケース：表-5のとおり

(2) 車両感知器データを用いた比較分析

車両感知器データを用いて、捌け交通量、走行速度の変化を分析する。

捌け交通量の累積頻度分布を図-15～図-19に、走行速度の累積頻度分布を図-20～図-22に、捌け交通量及び走行速度の基本統計量を表-6に示す。なお、図中の赤線は1灯7減、緑線は3灯6減、紫線は2灯6減を示す。

分析の結果、以下の傾向が見られる。

- ・交通量、走行速度ともに、1灯7減が高い値である。

表-4 快晴の日数（17時台が日没前のみ）

| | 今年 | 昨年 | 合計 |
|---------|----|----|-----------|
| 2015年4月 | 0日 | 0日 | 0日 |
| 2015年5月 | 5日 | 5日 | 10日 |
| 2015年6月 | 3日 | 0日 | 3日 |
| 2015年7月 | 7日 | 4日 | 11日 |
| 2015年8月 | 2日 | 3日 | 5日 |

表-5 実施ケース

| | 発光パターン | 試験期間 | 日数 |
|--------------|-------------------------|---------------------------|------|
| ケース1 (現行) | 2灯6減 ○○●●●●○○●●●●← | — | — |
| | | | |
| ケース2 | 1灯7減 ○●●●●●○●●●●●← | H27.10.3（土） ～10.12（月） | 10日間 |
| | | | |
| ケース3 | 3灯6減 ○○○●●●●○○○●●●●← | H27.10.13（火） ～10.19（月） | 7日間 |
| | | | |

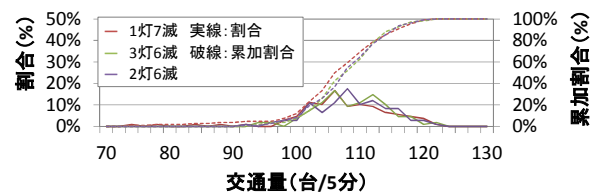


図-15 捌け交通量の累積頻度分布（第1車線）

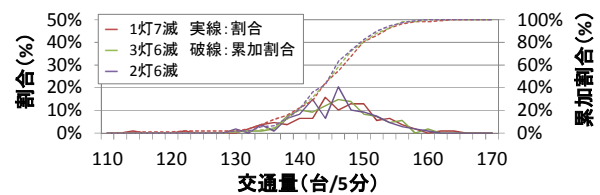


図-16 捌け交通量の累積頻度分布（第2車線）

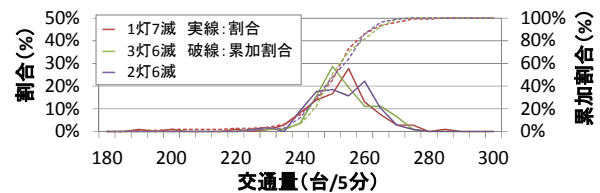


図-17 捌け交通量の累積頻度分布（断面）

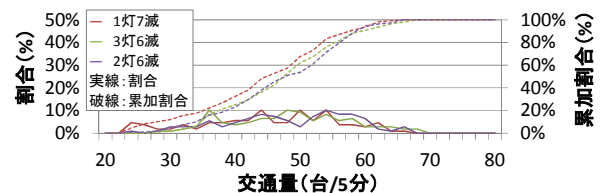


図-18 捌け交通量の累積頻度分布（池尻入口）

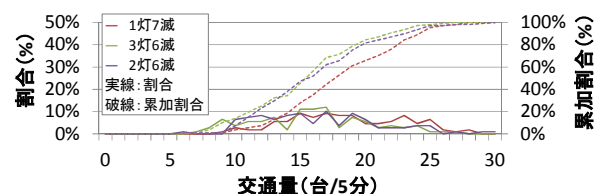


図-19 捌け交通量の累積頻度分布（三軒茶屋出口）

- ・ただし、1灯7減の期間は、他と比較して池尻入口の流入交通量が少ない。

(3) プローブデータを用いた比較分析

ETC2.0プローブデータを用いて、池尻入口～三軒茶屋出口間付近の走行速度を整理する。

走行速度の空間的な推移を図-23～図-24に示す。

分析の結果、対策区間で大きな変化は見られない。

(4) 実験より得られた知見

実験の結果、以下の知見が得られた。

- ・交通量、走行速度ともに、最も高い効果が発現したのは1灯7減であった。
- ・ただし、1灯7減の期間は、他と比べて池尻入口の流入交通量が少なかった。そのため、合流摩擦が小さくなり、交通量、走行速度が高くなった可能性が確認された。

5. おわりに

本稿では、3号渋谷線下りに設置したエスコートライトに関して、対策効果の発現メカニズムという視点から分析を行った。その結果、エスコートライトは対策実施後一年経過しても対策効果が低下しないことがわかった。また、本施策は、渋滞後だけでなく、渋滞発生時にも効果があることがわかった。渋滞巻き込まれ時間が長いほど、周辺の明るさが暗いほど、高い効果を発現することが確認された。

また、運用方法変更実験の結果、発光パターンは1灯7減で発光すると最も高い効果を発現することがわかった。しかしながら、1灯7減の期間は他の期間よりも池尻入口の交通量が少ないため、引き続き確認が必要である。

今後は、中央環状線外回り扇大橋入口付近（平成28年3月9日運用開始）及び中央環状線内回り千住新橋入口付近（平成28年3月14日運用開始）についても同様に分析を行い、適切な設置位置や運用方法を明らかにする。

参考文献

- 1) 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, 交通工学研究会, 第 33 回交通工学研究発表会論文集, pp.181-184, 2013.
- 2) 一般財団法人 道路新産業開発機構: 道路行政セミナー, 2013年 11月号, 2013.
- 3) NEXCO 東日本 HP プレスリリース (平成 25 年度), 東京湾アクアラインの渋滞緩和の新たな試みについて,

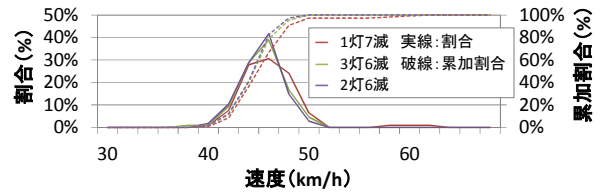


図-20 走行速度の累積頻度分布 (第1車線)

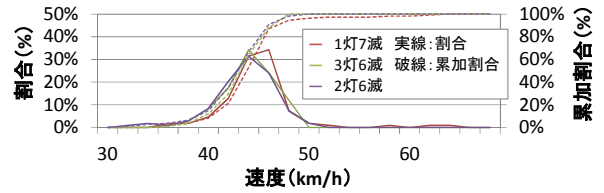


図-21 走行速度の累積頻度分布 (第2車線)

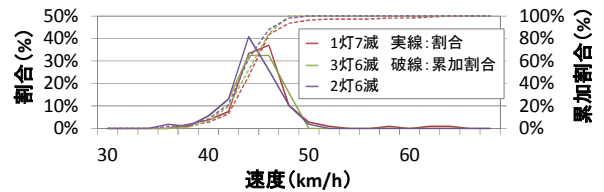


図-22 走行速度の累積頻度分布 (断面)

表-6 捌け交通量及び走行速度の基本統計量

| | | 1灯7減 | 3灯6減 | 2灯6減 |
|-----|------|------|------|------|
| 交通量 | 平均値 | 2538 | 2555 | 2549 |
| | 中央値 | 2550 | 2540 | 2550 |
| | 95%値 | 2720 | 2720 | 2680 |
| | 標準偏差 | 12.7 | 8.8 | 9.1 |
| 速度 | 平均値 | 46.4 | 45.6 | 45.3 |
| | 中央値 | 46.3 | 45.9 | 45.6 |
| | 95%値 | 50.6 | 49.0 | 48.9 |
| | 標準偏差 | 3.5 | 2.2 | 2.4 |

(赤字: 最高値, 緑字: 最低値)

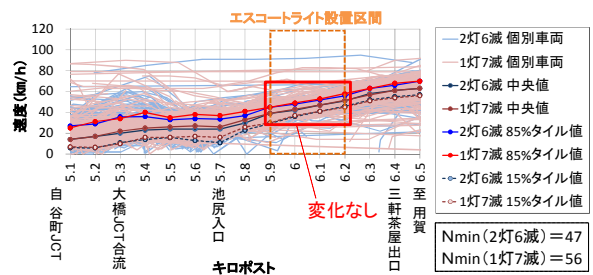


図-23 走行速度の空間的な推移 (ケース 1, 2 比較)

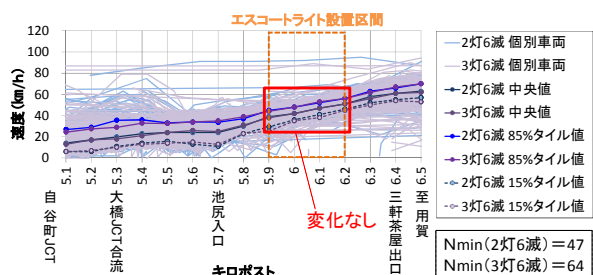


図-24 走行速度の空間的な推移 (ケース 1, 3 比較)

http://www.e-nexco.co.jp/pressroom/press_release/kanto/h25/0423b/

- 4) 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, 交通工学研究会, 第 33 回交通工学研究発表会論文集, pp.185-188, 2013.
- 5) 田子和利, 山本浩司, 岡田若奈, 辻 光弘: 視覚効果を活用した注意喚起設備の評価, 電気学会, 平成 24 年電気学会産業応用部門大会, pp.IV-7-12, 2012.
- 6) 松下 剛, 吉川貴信, 大西隆信, 今代 稔: 視覚に訴えた事故対策設備の速度抑制効果検証, 交通工学研究会, 第 33 回交通工学研究発表会論文集, pp.185-188, 2013.
- 7) 阪神高速道路 HP プレスリリース (2015 年), 阪神高速 3 号神戸線 (深江~武庫川) 終日通行止めによるフレッシュアップ工事の実施について, <https://www.hanshin-exp.co.jp/topics2/1427171318F.pdf>
- 8) 小林雅彦, 須藤 肇, 荻原貴之, 泉 典宏, 田中 淳, 山口大輔: 首都高速道路のエスコートライトの渋滞対策効果検証, 土木計画学研究発表会・講演集, Vol.52, 2015.
- 9) 交通工学研究会: 平成 7 年~10 年度高速道路の交通容量に関する調査検討総括報告書 (日本道路公団委託), pp.108, 1999.
- 10) 交通工学研究会: 交通容量データブック 2006, pp.545, 2006.
- 11) 気象庁 HP 過去の気象データ検索 <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>

A STUDY ON EFFECTIVE OPERATION METHOD OF ESCORT-LIGHT ON METROPOLITAN EXPRESSWAY

Takayuki OGIHARA, Yoshihiro KAWANO, Masahiko KOBAYASHI,
Norihiro IZUMI, Atsushi TANAKA and Daisuke YAMAGUCHI