首都高における無意識の速度低下に起因する渋滞に対する多様な対策の効果検証

髙橋　翼[1]・山口　孝[2]・高島　知之・長塚　里紗子・中村　毅一郎
平生　整・深井　靖史・中山　貴友

[1]非会員　首都高速道路株式会社　東京東局調査・環境課（〒103-0015 東京都中央区日本橋箱崎町 43-5）
E-mail: t.takahashi5542@shutoko.jp

[2]正会員　株式会社道路計画　技術部（〒170-0013 東京都豊島区東池袋 2-13-4 マルヤス機械ビル 5F）
E-mail:t_yamaguchi@doro.co.jp

上り勾配におけるドライバーの無意識の速度低下に起因する渋滞対策として，首都高速道路においては，速度回復誘導灯（エスコートライト）の設置や，速度回復を促す看板（１枚１文字の丸型看板を連続設置してメッセージを伝えるタイプ）の設置等の対策を実施しており，これらの対策については既往研究で交通流率の増加や効果の高かった車種等，対策効果が報告されているところである．本稿では，これら既往対策に加えて新たに，トンネル内拡声放送を用いた速度低下注意を促す渋滞対策の実験や，速度回復誘導灯（エスコートライト）を維持管理工事のために一時撤去した際の撤去前・後の影響分析等，様々なケースでの渋滞対策効果について新たな検証結果を報告する．また，同じ狙いを持ったこれら多様な取り組みについて対策効果を比較し，効果的な対策実施の条件について考察した結果を報告する．

Key Words: *traffic capacity, escort light, vehicle detector pulse data, public address broadcast*

1. はじめに

(1) 首都高速道路の渋滞状況

2023 年度において，首都高の交通量は前年比で増加しており，新型コロナウイルス感染症が流行する以前と同等のおよそ 100 万台／日で推移している．これに伴い，渋滞発生においても，交通量と同様の傾向がみられる．渋滞が発生する要因として，主に下記のものが挙げられる．

・交通集中による容量の超過
・上り勾配における無意識な速度低下
・短距離の中での分合流における車線変更

本稿においては，ソフト面での対策となる，上り勾配における無意識な速度低下の渋滞対策を取り上げる．

(2) これまで行われてきた渋滞対策の一例

前節で述べた現状を踏まえ，今後も引き続き，効果的な渋滞対策が重要であることは言うまでもないが，空間的な制約の多い首都高速道路においては，車線拡幅などといったハード面での抜本的対策は，用地取得や事業費の確保など，実現するためには，一般的に課題が大きいと言える．一方で，上り勾配における速度低下に起因する渋滞対策には，比較的早期に実施可能なソフト的な渋滞対策が考えられており，これまでも実施実績がある．これまで首都高速道路で実施されたものとして，下記が挙げられる．

・速度回復誘導灯（以下，エスコートライト）
・速度回復を促す看板
・音声を用いた速度回復喚起　など

次章では，首都高速道路において，これまで行われてきた上記の渋滞対策の概要や効果について触れる．

2. 首都高速道路での対策実績

(1) エスコートライト

エスコートライトは，路側に設置した灯具の光を走行速度よりも少し速く流すことにより，無意識の速度低下を防ぐ目的で設置している．首都高速道路においては，2015 年 2 月に 3 号渋谷線（下り）において初めて設置し，その効果が確認されている[1),2)]．　2023 年度現在は，首都高上で 7 箇所に設置している．**図-1** に，7 箇所のエスコートライト設置箇所について示す．どの箇所においても，縦断勾配はおおよそ 3.0%となっている．片側 2 車線の場合，ほとんどが左側のみに設置しており，片側 3 車線の場合は，見えやすさを考慮して左右両側に設置している．その他，灯具の形状や発光色，発光パターン等，対



図-1　首都高速道路管内のエスコートライト設置箇所

策箇所によって仕様は様々である．

(2)　速度回復を促す看板

6 号三郷線（上り）加平から小菅 JCT 間では，上り勾配における無意識な速度低下により，慢性的に渋滞が発生している．特に早朝の時間帯においては大型車混入率が高く，渋滞発生への寄与が大きいと考えられることから，大型車に対しても見えやすい，速度回復を促進する看板の設置を行った（**写真-1**）．



写真-1　速度回復を促す看板

これは，一文字のみが書かれた丸い看板を等間隔に設置することで，高速域の運転手でも，メッセージを読みやすくさせることを意図したものである．分析結果として，車長の長い大型車に着目すると，車間時間の減少が見られ，交通流率の改善が報告されている [3]．

(3)　音声を用いた速度回復喚起

湾岸線（東行き）の鶴見つばさ橋付近において，指向性スピーカーによって，ドライバーの聴覚に働きかけ，無意識な速度低下を抑制する渋滞対策の検討が，2021 年に行われた（**写真-2**）．実験は 2 回行われ，1 回目の実験では，様々な音量や機器配置におけるドライバーへの聞こえ方や周辺環境への影響について比較し，対象箇所に最適な機器・スピーカー設置位置・音声の話速・音量を決定した．2 回目の実験では，音声による車両の速度回復効果について検証を行った．その結果，CCTV 画像による計測，ETC2.0 プローブデータによる計測のいずれにおいても音声による喚起を行った方が速度回復していることが確認され，音声を用いた速度回復喚起の有効性が確認された [4]．



写真-2　音声を用いた速度回復喚起

3.　新たに行った渋滞対策の効果検証

ここでは，2023 年度に新たに 2 箇所で行った渋滞対策および過年度実施の速度回復看板の効果検証について報告し，これらの効果的な実施条件について考察を行う．

(1)　湾岸線東京港トンネルの注意喚起音声

a)　背景

湾岸線は横浜～東京～市川の臨海部を通る路線である（**図-2**）．

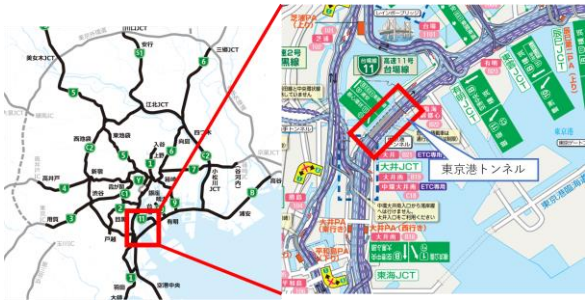


図-2　東京港トンネルの位置図

東京港トンネルは延長およそ 1.3km で，湾岸線にいくつかある海底トンネルの 1 つであり，坑内中央部付近が海底下部に位置するため，サグとなっている．縦断勾配は，西行と東行きどちらも+4%で，上り坂が 600~700m 続く構造となっている（**図-3**）．

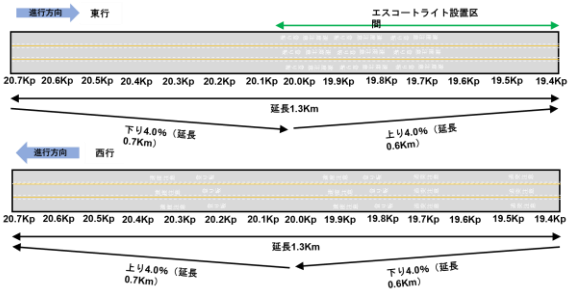


図-3　東京港トンネル内の縦断勾配

図-4 に，実験日と通常日における時間交通量の平均的な推移を示す．いずれも，朝 6 時以降交通量が急激に増加し，7 時までにピーク時間帯を迎える．その後は，正午にかけて減少傾向が見られるが，14 時ころから再度，交通量が増加していき，17 時ころに 2 回目のピークを迎える．

図-5 は，湾岸線（西行き）東京港トンネル上流部における平均日交通量（全車両）と平均日交通量（大型車）を示したものである．データ収集期間は 2023 年 6 月の平日である．大型車混入率は約 34%と比較的高い値となっている．

図-6 上段は，音声による注意喚起を行っていない通常日における，湾岸線（西行き）東京港トンネル付近の渋滞発生時間割合を示したものである．東京港トンネル中央のサグ底を先頭とする渋滞が発生する割合が高いことが分かる．さらに，東京港トンネル上

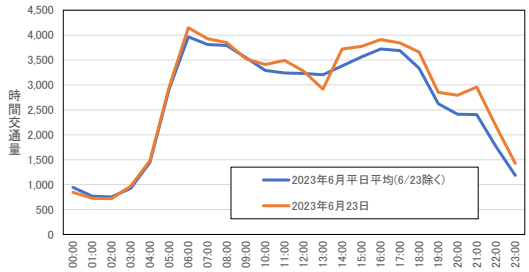


図-4　実験日と通常日の時間交通量比較

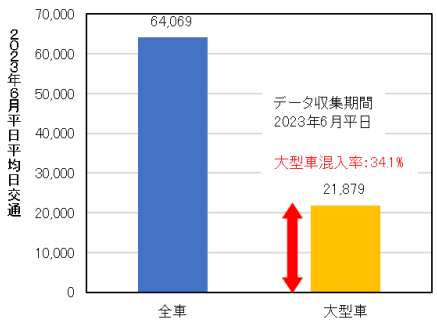


図-5　東京港トンネル付近における日交通量と大型車混入率

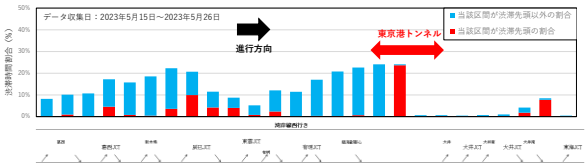


図-6　湾岸線（西行き）東京港トンネル付近の渋滞発生時間割合

流側においてジャンクション合流や入口合流が連続することもあり，渋滞長は上流へ大きく延伸していることが分かる．

現在，東京港トンネル内には，西・東行きに「登り坂」や「速度注意」の路面表示が，東行きにはエスコートライトが設置されており，これまでも渋滞対策は行ってきたところであるが，いまだに渋滞のボトルネックとなっている状況を踏まえ，速度低下を抑制する新たな対策を試行的に行った．

今回実施したのは，音声による速度低下注意喚起である．これまでも，前章で紹介した，湾岸線（東行き）の鶴見つばさ橋付近以外に，中央自動車道の小仏トンネルでの導入など，専用のスピーカーを設置し，音声による喚起を行なった事例がある[5]．これらの事例では，渋滞対策専用のスピーカーを導入しているのに対し，今回の東京港トンネル内の注意喚起音声は，2022 年に非常時のための防災設備として導入した拡声放送システムを渋滞対策として平時においても有効に活用しようという試みである．

b)　音声による注意喚起の概要

図-7 の通り，東京港トンネル内にある防災設備の指向性スピーカーを活用して，音声による注意喚起を行った．両方向とも，第 2 走行車線右上に設置されており，設置間隔は 200m となっている．また，スピーカーの個別制御は不可能であるため，下り勾配・サグ底・上り勾配など場所ごとに音声内容を変えることができないという制約がある．また音量については，予備実験において最も聞きやすいと判断された 108db（路側での測定値）とした．

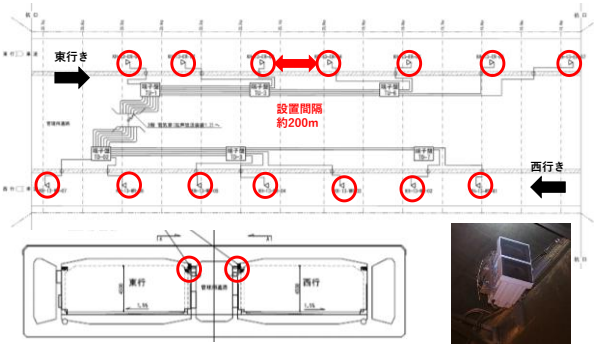


図-7　東京港トンネル内のスピーカー設置位置

本対策では，交通状況によって音声内容を変えることとした．**図-8** は，音声内容の制御フローである．6 時および 14 時以降，渋滞発生前の状況下では，「渋滞発生地点です，速度低下に注意してください」を流す．続いて，トンネル上流側の速度が当該地点の臨界速度に近い 50km/h 以下で 5 分間継続した場合，渋滞時であると判断し，「追突注意」を流す．渋滞時においては，渋滞対策ではなく，安全対策を目的とした音声としている．その後，トンネル上流側の速度が 50km/h 以上で 10 分間継続した時点で，渋滞が解消し，自由流になったと判断する．この時音声は，「この先上り坂です，速度低下に注意してください」を流す．

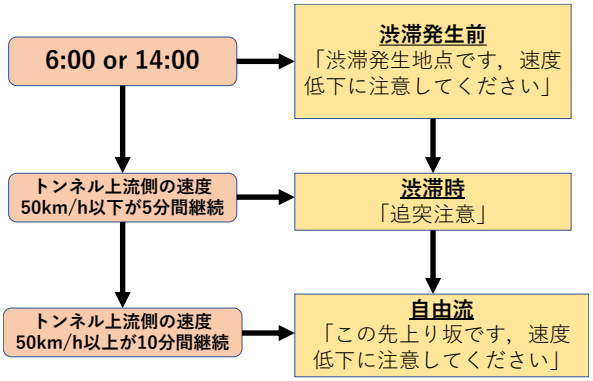


図-8　音声内容の制御フロー

実験日は，2023 年 6 月 23 日（金）とした．そのため，次節の分析結果において，分析対象期間は，音声ありは 2023 年 6 月 23 日（金），音声なしの通常日は，実験日を除いた 6 月の平日すべてとした．

c)　分析結果

湾岸線（東行き）については，上り坂においてエスコートライトが設置されていることから，音声による効果を単純に見ることができないため，今回の効果分析対象からは外した．以降，西行きのみを分析対象とする．分析の前提として，交通量のピークを迎える時間帯において，実験日と通常日を比較すると，実験日は比較的交通量が多いことや（**図-4**），実験日は 1 日のみであるため，

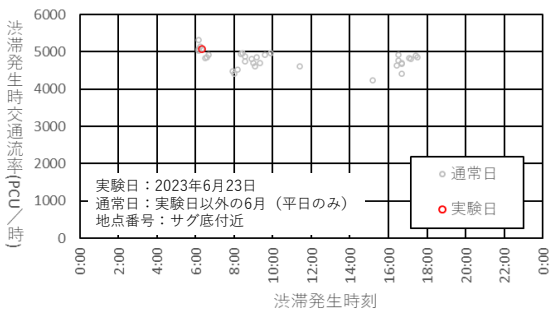


図-9　実験日と通常日の渋滞発生時交通流率

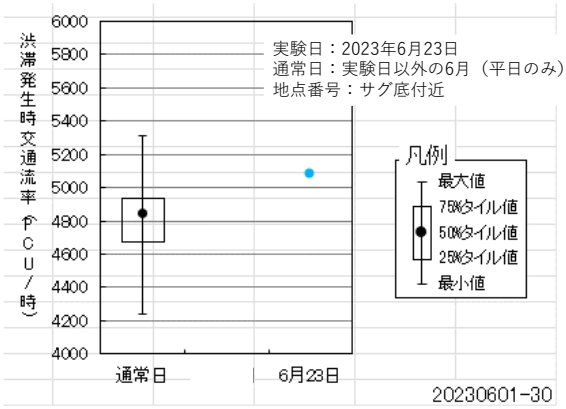


図-10　渋滞発生時交通流率の分布

通常日のサンプル数と比べて少ないという点に留意されたい．

図-9 は，渋滞発生時交通流率と発生時刻について，実験日と通常日でそれぞれプロットしたものである．ここで，“渋滞発生時”の定義は，渋滞と判断された時刻から直近の 15 分間とした．**図-9** を見ると，通常日と比べて，実験日の渋滞開始時刻は早めであった．この理由については，通常日と比べて，交通量が多かったからであると考えられる．一方で，実験日の渋滞発生時交通流率は比較的高いことが分かる．同様のことが，**図-10** 確認できる．通常日の 75%タイル値よりも，実験日は大きな値となっている．したがって，通常日と比べると，渋滞発生時における容量は大きくなるという可能性が示唆された．

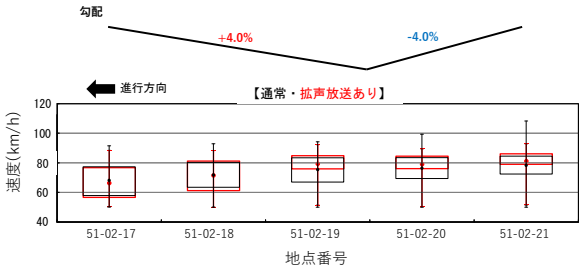
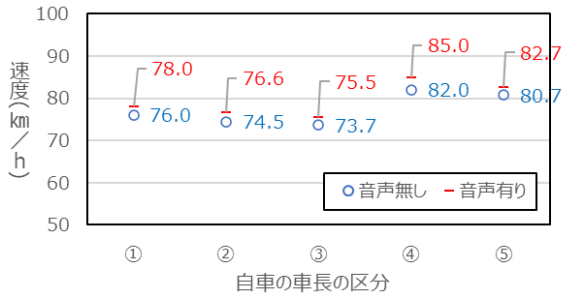


図-11　音声有り無しの非渋滞時における地点速度分布

図-11 は，音声有り無しにおける非渋滞時の地点速度分布を示したものである．音声有り無しにかかわらず，上り坂では速度が低下している．一方，下り坂～サグ底においては，音声有りの方が，速度が大きい傾向が見られ，かつ，速度のばらつきが小さいため，下り坂における交通流率は増加したと考えられる．上り坂においては，大きな差は見られなかった．

より詳細に実態を把握するため，パルスデータを用いて分析を行った．**図-12** は，サグ底部付近における非渋滞時（50km/h 以上）の，車長ごとの音声有り無しの速度を比較したものである．音声有りの場合は，車長の大きさによらず全体的に速度が上昇する傾向にある．一方，



①車長6m未満　②車長6m～8m　③車長8m～12m
④車長12m～15m　⑤車長15m以上

実験日：2023年6月23日
通常日：2023年5月15日～2023年5月26日（平日のみ）
地点番号：サグ底付近

図-12　車長ごとの音声有り無しの速度（非渋滞時）

課題としては，下り坂部での速度上昇が，上り坂部よりも大きいことから，安全性についての検証が必要なことが挙げられる．

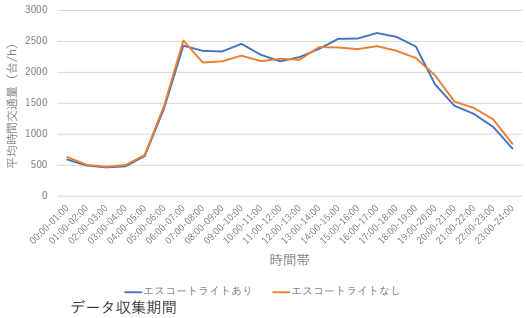
(2)　中央環状線千住新橋のエスコートライト撤去

a)　背景

中央環状線は，三環状の 1 番内側に位置し，都心部のネットワーク機能強化の役割を担っている．このうち今回対策箇所である千住新橋付近の上り坂は**図-13** に示す通り，環状の北東部に位置している．この付近の時間交通量の平均的な推移を見ると，6 時ころに交通量が急激に立ち上がり，以降，19 時ころまで同じような交通量で推移する傾向にある（**図-14**）．**図-15** は，中央環状線（内回り）千住新橋付近における平均日交通量（全車両）および，平均日交通量（大型車），大型車混入率を示したものである．大型車混入率については，およそ 24%となり，湾岸線と比べると小さい値となっている．



図-13　中央環状線千住新橋付近の上り坂の位置図



データ収集期間
エスコートライトあり：2023年6月19日～2023年6月30日（平日のみ）
エスコートライトなし：2023年8月21日～2023年9月1日（平日のみ）

図-14　撤去前後の平均時間交通量比較

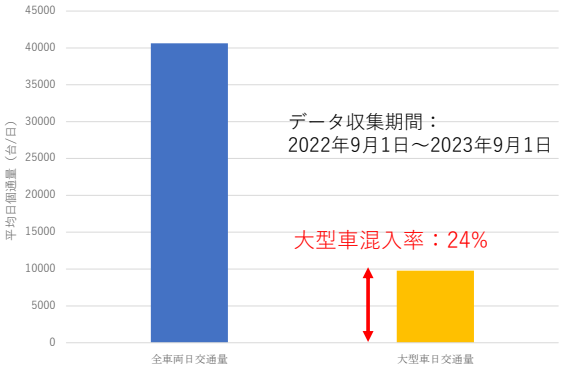


図-15　中央環状線千住新橋付近における大型車混入率

対策対象の上り坂は，縦断勾配が+3.3%であり，その延長はおよそ 800m となっている（**図-16**）．

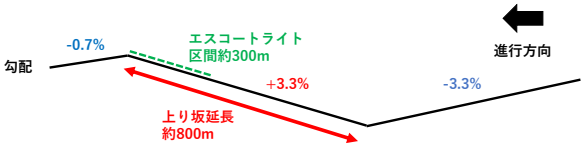


図-16　中央環状線（内）千住新橋付近の勾配

また，**図-17** を見るとわかる通り，この上り坂を先頭とした渋滞が発生する割合が，比較的高くなっており，渋滞のボトルネックとなっている．

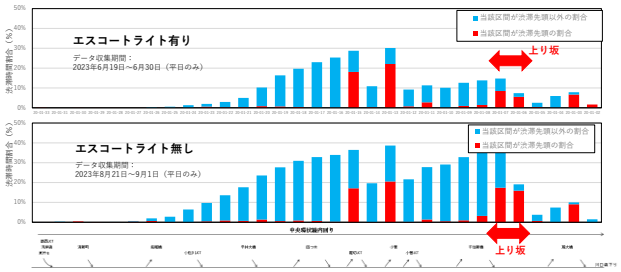


図-17　千住新橋付近の上り坂における渋滞発生時間割合

このような状況を踏まえ，2016 年 3 月 1 日に，上り坂後半の約 300m の区間に丸型のエスコートライトを設置したが（**写真-3**），維持管理工事に伴い，撤去が必要となり，2023 年 7 月 19 日に撤去したものである．



写真-3　千住新橋付近のエスコートライト

b)　分析結果

分析対象期間は，エスコートライト有りが，2023 年 6 月 19 日から 2023 年 6 月 30 日の間，エスコートライト無しが，2023 年 8 月 21 日から 2023 年 9 月 1 日の間とした．エスコートライト有り無しで比較分析を行うにあたり，それぞれの分析対象期間における交通量の差異について確かめた（**図-14**）．6 時～20 時まではエスコートライト有りが，無しと同等か，それよりも多い傾向にある．20 時～0 時までは無しの方が多い．0 時～6 時まではどちらも，ほぼ同じ推移をしている．エスコートライト有り無しの効果について比較するにあたり，エスコートライト有りの期間の方が交通量が 1 日を通して多いという前提に留意されたい．

図-17 を見ると，エスコートライト有りと比べ，無しの方が，当該上り坂が，先頭となる渋滞が増えていることが分かる．また，当該区間より上流にある，堀切 JCT・小菅 JCT 区間を先頭とした渋滞時間がエスコートライト有り無しでほぼ変化がない一方，上り坂部を先頭とした渋滞が上流側まで伸びている．これらより，エスコートライトがあることによる，渋滞緩和効果は十分にあったものと考えられる．

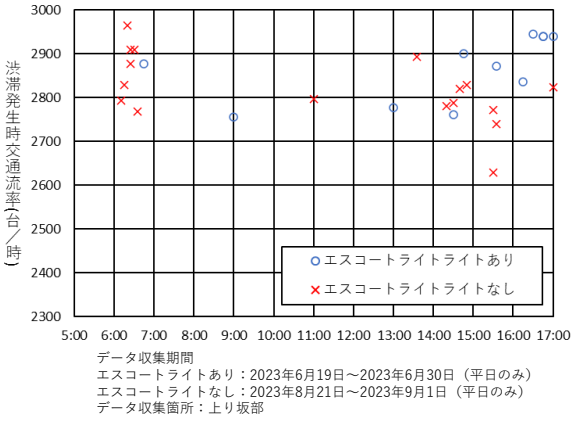


図-18　撤去前後の渋滞発生時交通流率

図-18 は，渋滞発生時（渋滞と判定された時刻から直近 15 分間）の交通流率を示している．エスコートライト無しの場合は 6 時すぎに渋滞が発生している日が多いのに対し，エスコートライト有りのほとんどの日において，午前は渋滞が発生しておらず，渋滞発生時間が 14 時以降と遅くなっており，交通流率も高い傾向が見られる．したがって，エスコートライト有りの方が容量は大きくなり，朝ピークでは渋滞を発生させることなく捌くことができたと考えられる．**図-14** から，エスコートライトありの方が日中の交通量が多いことを考えると，エスコートライトの渋滞緩和への寄与は明確にあると言える．

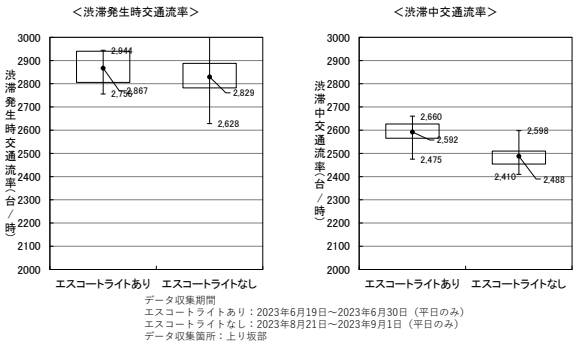


図-19　撤去前後の渋滞発生時交通流率と渋滞中交通流率

図-19 では，渋滞発生時交通流率，渋滞中交通流率ともにエスコートライト有りの方が高い傾向にある．特に，渋滞中交通流率は平均値が 100 台/時ほど高くなっていることから，渋滞発生直前のみならず，渋滞中においても高い容量を実現できていると言える．

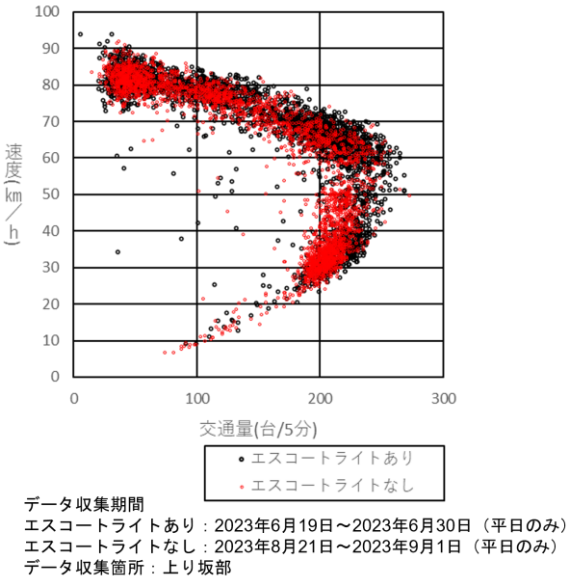


図-20　エスコートライト有り無しの QV 図

図-20 は，エスコートライト有り無しにおける QV 図を重ねたものである．これを見ると，エスコートライトの場合は，特に渋滞中において，交通流率が小さくなっている傾向がわかる．

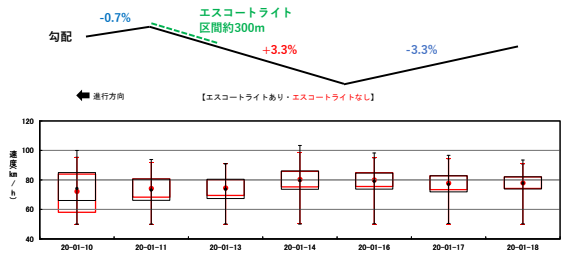
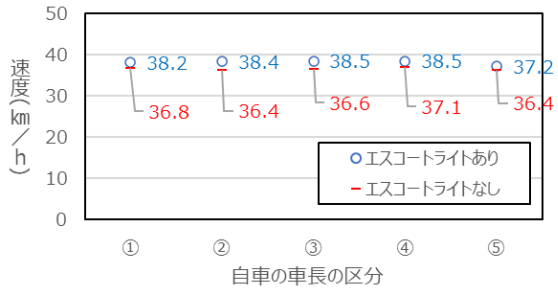


図-21　エスコートライト有無の非渋滞時における地点速度分布

図-21 は，エスコートライトの有無による非渋滞時における速度地点分布である．上り坂においては，エスコートライト無しの方が速度が高い傾向にある．この要因については，エスコートライト有りの場合は，発光速度に合わせて走行してしまい，一定の速度に収束してしまうのに対し，エスコートライト無しにおける非渋滞時の場合は，速度への影響要因が無いことから，比較的速度が大きくなったと推察される．

渋滞時と渋滞発生時における車両の挙動について考察するために，パルスデータをもちいた分析を行った．

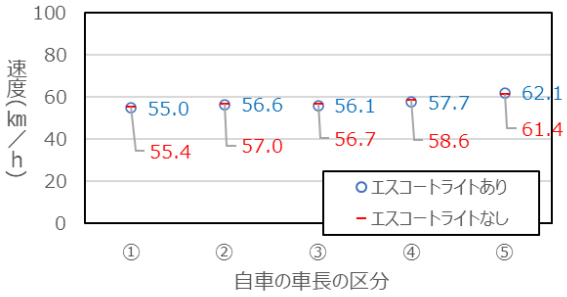
車長ごとのエスコートライト有り無しにおける速度を，渋滞時に絞って比較したものを**図-22** に，渋滞発生時に絞って比較したものを**図-23** に示す．渋滞時において，エスコートライト有りは速度が上昇する傾向にある一方，渋滞発生時は，車長が 15m 以上のみ，エスコートライト有りで速度が上昇したが，それ以外はほとんど変化が無かった．



①車長6m未満　②車長6m～8m　③車長8m～12m
④車長12m～15m　⑤車長15m以上

データ収集期間
エスコートライトあり：2023年6月19日～2023年6月30日（平日のみ）
エスコートライトなし：2023年8月21日～2023年9月1日（平日のみ）
データ収集箇所：上り坂部

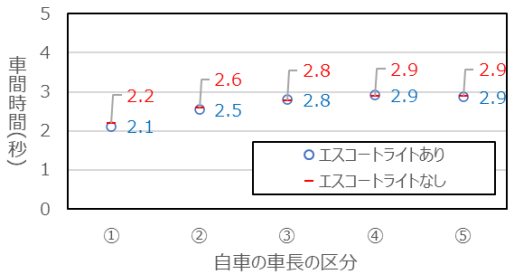
図-22　車長ごとの撤去前後の速度（渋滞時）



①車長6m未満　②車長6m～8m　③車長8m～12m
④車長12m～15m　⑤車長15m以上

データ収集期間
エスコートライトあり：2023年6月19日～2023年6月30日（平日のみ）
エスコートライトなし：2023年8月21日～2023年9月1日（平日のみ）
データ収集箇所：上り坂部

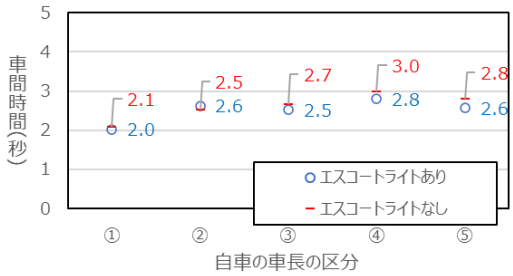
図-23　車長ごとの撤去前後の速度（渋滞発生時）



①車長6m未満　②車長6m～8m　③車長8m～12m
④車長12m～15m　⑤車長15m以上

データ収集期間
エスコートライトあり：2023年6月19日～2023年6月30日（平日のみ）
エスコートライトなし：2023年8月21日～2023年9月1日（平日のみ）
データ収集箇所：上り坂部

図-24　車長ごとの撤去前後の車間時間（渋滞時）



①車長6m未満　②車長6m～8m　③車長8m～12m
④車長12m～15m　⑤車長15m以上

データ収集期間
エスコートライトあり：2023年6月19日～2023年6月30日（平日のみ）
エスコートライトなし：2023年8月21日～2023年9月1日（平日のみ）
データ収集箇所：上り坂部

図-25　車長ごとの撤去前後の車間時間（渋滞発生時）

図-24 は，エスコートライト有り無しにおける車間時間を，渋滞時に絞って比較したものである．これを見ると，車長が 8m 未満のみ，エスコートライト撤去後において，車間時間が 0.1 秒増加し，それ以外はほぼ変化がなかった．渋滞中において，大型車の正の効果が弱かった点について，エスコートライトの設置位置や発光形状に問題があると考えられる．**写真-3** からわかる通り，低い位置に円状のエスコートライトとなっているため，目線が高い位置にある大型車の運転手にとって視認しづらい．そのため，設置位置を高くする，発光形状を縦長にすることにより，大型車においても正の効果が発現しやすくなる可能性があると推察される．また，当該区間は，上り坂の後半からエスコートライトが設置されているため，エスコートライトに気付いた大型車が上り坂途中からアクセルを踏んだとしても，それほどの速度回復が見込めない．したがって，サグに差し掛かる箇所からエスコートライトを設置することで，早期に速度回復の注意喚起を行うことにつながる効果が期待できる．

図-25 は，エスコートライト有り無しにおける車間時間を，渋滞発生時に絞って比較したものである．車長 6m~8m を除いて，エスコートライト有りの方が車間時間は短くなった．また，車長が長いほど，車間時間の短縮効果が大きな傾向が見られた．

図-22，**図-23** より，速度に関しては，渋滞発生時においては変化がないが，渋滞時においては，速度上昇効果があると考えられる．また，**図-24**，**図-25** より，車間時間に関して，渋滞時は変化がないが，渋滞発生時は短縮効果があると考えられる．したがって，エスコートライトにより，渋滞発生時に車両が密になり，渋滞時は比較的高い速度を維持するといった挙動が生じたと考えられる．

4. まとめ

表-1 は，本稿で取り上げた 2 種の渋滞対策について，分析結果についてまとめたものである．これらを踏まえて，渋滞対策の効果的な実施条件について，以下のように考察することができる．

・音声を用いた注意喚起については，渋滞時は，下り坂部では，速度上昇効果が得られやすい反面，安全面にも留意した音声とする必要がある．サグ部～上り坂部では，速度回復を呼びかける音声内容とすることが望ましいと考えられる．

・大型車混入率が高い路線において，エスコートライトを設置する場合は，特に発光形状や設置位置に留意する必要がある．例えば，目線の高い運転手からも視認性を確保するため，縦長の形状を採用することや，サグ部からエスコートライトを設置することで，上り坂部での加速が不利な大型車でも，速度が落ちる前に早期に速度回復を意識させることが挙げられる．

今後の課題として，以下が挙げられる．

・中央環状線（内）千住新橋付近において，撤去したエスコートライトの代替設備として，今後，速度回復を促す看板の設置が予定されている．そのため，速度回復を促す看板とエスコートライトとで，施策採用判断に資する定量的な効果分析を進める必要がある．

・音声による注意喚起については，今回の試行は 1 日のみの実施であったため，試行日を増やし，さらに多くのデータを収集する必要がある．

・様々な渋滞対策がある中で，最適な対策を選択するために，引き続き，各種対策の効果分析を行っていく必要がある．

参考文献

1) 小林雅彦，須藤肇，萩原貴之，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，第 52 回土木計画学研究発表会・講演集，pp1652 -1657 , 2015
2) 萩原貴之，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・講演集，pp. 2818 -2824
3) 井上七海，古賀浩樹，長塚里紗子，深井靖史，山口孝：首都高速 6 号線三郷線（上り）加平から小菅 JCT 間における大型車の車長別走行特性分析と渋滞対策の効果検証，第 66 回土木計画学研究発表会・講演集, 2022
4) 島越貴之，荒川太郎，後藤秀典：指向性スピーカーを用いた速度回復効果検証実験，第 66 回土木計画学研究発表

表-1 各渋滞対策の分析結果

	速度	車間時間	その他
音声による注意喚起	下り坂で上昇 上り坂では変化なし	「追突注意」のメッセージにより渋滞時に増加	全ての車種において同様の影響が見られた
エスコートライト	渋滞時に上昇	渋滞発生時に短縮	設置から7年経過しても効果の持続を確認

会・講演集, 2022

5) 佐藤久長，西田匡志，柏木悠，櫻井光昭，青木隆志：スピーカーを用いた音声案内による速度回復情報提供の効果分析，土木学会論文集 D3（土木計画学），Vol.77，No.1, pp.1-11, 2021