

商用車プローブデータを活用した 注意喚起カラー舗装の効果分析

堀田 尚史¹・遠藤 学史²・前川 友宏³・田名部 淳⁴

¹非会員 首都高速道路株式会社 東京西局 (〒102-0093 東京都千代田区平河町2-16-3)
E-mail: n.hotta1011@shutoko.jp

²正会員 首都高速道路株式会社 計画・環境部 (〒100-8930 東京都千代田区霞ヶ関1-4-1)
E-mail: s.endo5944@shutoko.jp

³非会員 株式会社地域未来研究所 (〒530-0003 大阪府大阪市北区堂島1-5-17)
E-mail: maekawa@refrec.jp

⁴正会員 株式会社地域未来研究所 (〒530-0003 大阪府大阪市北区堂島1-5-17)
E-mail: tanabe@refrec.jp

首都高速道路では、施設接触事故多発箇所のカーブ部における交通安全対策として、カーブ部への進入速度抑制を目的とした注意喚起カラー舗装を行っている。この対策を実施することで施設接触事故の削減効果が確認されているが、車両センサーやETC2.0プローブ情報から得られる速度では、対策実施前後でカーブ進入部における明確な速度減少は観測されなかった。

本稿は、1秒間隔で収集された商用車プローブデータを用いて、首都高速5号池袋線下りの飯田橋カーブにおける注意喚起カラー舗装の進入速度抑制効果を分析し、カーブ進入時に速度を減速させている車両が増加している状況から一定の効果が得られたことを報告するものである。

Key Words : probe data, alerting color pavement, driving behavior analysis

1. はじめに

首都高速道路上で発生した交通事故件数は、平成19年以降、約10,000～11,000件/年で推移しており(図-1)、これらの事故はカーブ部やジャンクション内の分合流部、本線料金所等で多く発生している。近年は、速度超過が原因と考えられるカーブ部での施設接触事故(側壁等に衝突する事故)が増加する傾向にあることから、首都高速道路では、施設接触事故が特に多いカーブ部において、カーブ部への進入速度を抑制するための注意喚起カラー舗装や先にカーブがあることを知らせるゼブラ舗装といった交通安全対策を行っている。本対策は、効果的な注意喚起とするために事故多発箇所や重大事故発生箇所において限定的に実施しており、主に東京西地区や埼玉の西側の路線を管理している東京西局内において、32箇所で行っている(平成27年度末現在)。

川野ら¹⁾は、注意喚起カラー舗装による事故削減効果として施工6ヶ月後と前年同期間を比較しており、その結果、総事故件数で約85%、施設接触事故で約94%の削減



図-1 首都高速道路上で発生した交通事故件数の推移



図-2 注意喚起カラー舗装の例
(首都高速5号池袋線下り護国寺カーブ)

減効果を確認している。また、これらの効果は、施工1年後、2年後においても同水準となっており、年数が経っても事故削減効果が継続していることを報告している。さらに、筆者ら²⁾は、ETC2.0プローブ情報から得られる左右加速度やヨー角速度、これらの挙動が発生した際の走行速度を用いて注意喚起カラー舗装による車両挙動の変化を分析しており、急なヨー角速度や左右加速度が減少している状況を確認している。

これまでも、筆者ら²⁾の他にも菊地ら³⁾が、このようなプローブ情報を活用した交通安全対策の評価が試みられているが、利用可能なデータの制約のため、基本的には急減速や急旋回等の危険挙動を主たる対象とした分析に留まっている。しかしながら、道路を走行する車両の挙動は、周辺車両の動きに制約されることは言うまでもない。例えば、安全対策を施すことで速度を抑制する車両が増加するれば、希望走行速度が高い車両もその影響を受けて速度を抑制せざるを得ないであろう。従って、結果としての危険挙動の増減だけでなく、対象区間を走行する車両全体の運転挙動の変化に着目したアプローチが必要である。

本稿では、1秒間隔で密に取得できる商用車プローブデータを用いて、首都高速5号池袋線下りの飯田橋カーブを通過する際の車両の運転特性を詳細に捉えて、注意喚起カラー舗装の速度抑制効果を分析した結果を報告する。

2. 飯田橋カーブにおける注意喚起カラー舗装の概要と効果

首都高速5号池袋線下りの飯田橋カーブにおいて、平成26年3月3日（月）に注意喚起カラー舗装が施工された。

当該カーブ部における注意喚起カラー舗装対策前後の事故発生状況を表-2に示す。対象期間は、対策前が平成

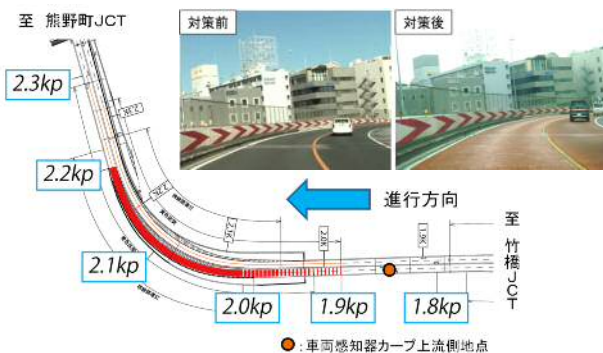


図-3 注意喚起カラー舗装対策図（飯田橋カーブ）

表-1 飯田橋カーブ（下り）の道路構造に係る諸元

曲率半径R	128m	最大片勾配	10%
クロソイドパラメータA	100m	縦断勾配	2.0~2.1kp: +1% 2.1~2.2kp: 4%

25年6月、対策後が平成26年6月の各1ヶ月間である。対策前後の事故発生状況を比較すると、対策前に10件発生していた事故が対策後には1件まで減少しており、施設接触事故に至っては、対策後は1件も発生していないことが分かる。この状況を踏まえると、飯田橋カーブでは、注意喚起カラー舗装による一定の事故削減効果が得られていると考えられる。

次に、車両感知器及びETC2.0プローブ情報を用いて、当該カーブ上流部（1.85kp付近）における注意喚起カラー舗装対策前後の速度変化を確認した（図-4、図-5）。データの期間は前述と同じである。ただし、注意喚起カラー舗装がカーブ進入部における速度抑制をねらいとした対策であることを踏まえると、渋滞時ではなく自由流時における速度変化を捉えることが望ましいといえる。そこで今回は、分析箇所における臨界速度に相当する60km/h以上のデータに限定した上で、時間帯別の平均速度及び標準偏差を整理した。その結果、カーブ進入部では明確な速度抑制効果は確認できなかった。

表-2 注意喚起カラー舗装対策前後の事故発生状況

事故類型	事故発生件数 ()内は大型車		削減数	削減割合
	対策前	対策後		
施設接触	9(3)	0	9	100%
追突	1(0)	1(0)	0	0%
車両接触	0	0	0	0%
計	10(3)	1(0)	9	90%

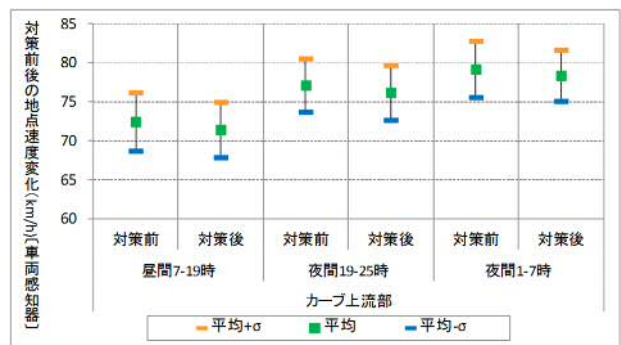


図-4 注意喚起カラー舗装対策前後の速度変化（車両感知器）

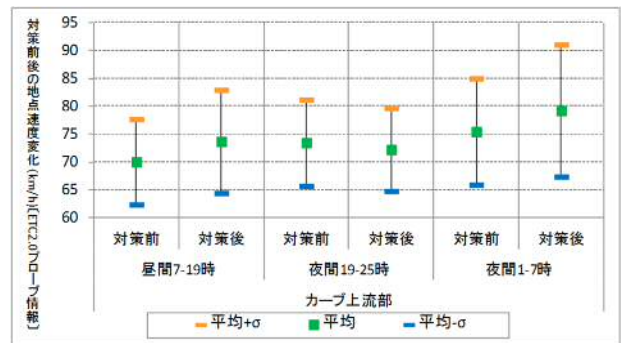


図-5 注意喚起カラー舗装対策前後の速度変化（ETC2.0プローブ情報）

3. 分析に用いるデータ

前章の速度抑制効果の把握に用いた車両感知器は、首都高速道路上に約300m間隔で設置されている。また、ETC2.0プローブ情報（走行履歴情報）は、前回記録した地点から200m走行もしくは進行方向が45度以上変化した地点でデータが取得される仕様となっている。そのため、これらのデータを用いて任意の地点の速度を詳細に把握することは難しい。一方、商用車プローブデータは、1秒間隔（60km/hで走行する車両の場合、約17m間隔）でデータが取得できることから、カーブ進入前から通過に至るまでの車両の運転特性を詳細に把握することができる（図-6）。本分析では、商用車プローブデータを用いて注意喚起カラー舗装前後の運転特性の変化を分析した。

(1) 商用車プローブデータの概要

a) 商用車プローブデータの特徴

商用車プローブデータは、富士通製のデジタコを搭載し、SaaS（Software as a Service）型運行管理システムを利用している車両から収集されたデータである。一般車両を対象としたプローブデータではなく、貨物車などの商用車から収集したプローブデータであるのが特徴で、主に8トン以上の貨物車を中心に全国で約53,000台（平成27年8月時点）の車両が稼働中である。1台の車両から取得されるデータは車両の移動軌跡を示すドットデータの集まりであり、1ドットのデータ項目は、車両ID、トリップID、日時、緯度・経度、速度、前後加速度、左右加速度で構成され、エンジンがかかっている間は1秒間隔で密に取得され続けている。

また、商用車プローブデータには車両を識別するIDが付与されており、特定車両を追跡した分析を行うことが可能であることから、注意喚起カラー舗装対策前後の効果を直接的かつ厳密に評価できるという特徴も有する（常に同じドライバーが運転しているとは限らないため、同一の車両IDでも運転特性が異なる可能性がある点には留意が必要である）。

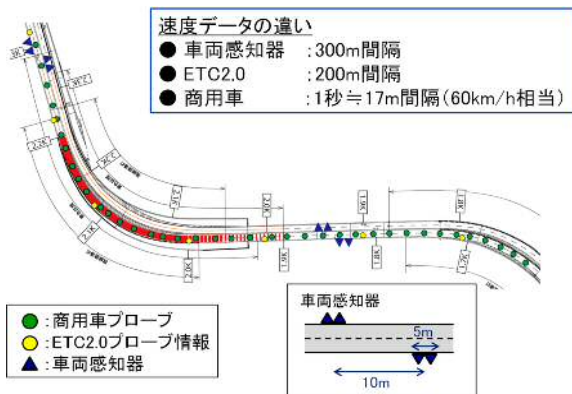


図-6 速度データの取得状況の違い

b) データの概況

飯田橋カーブ付近に設置された車両感知器と商用車プローブデータを比較し、本分析で使用するデータの概況を整理した。

まず、カーブ入口付近（1.85kp）におけるデータ取得状況として、平日交通量の時間帯別構成比を整理した（図-7）。なお、車両感知器の交通量については、観測される交通量のうちの大型車を対象としている。結果をみると、車両感知器と商用車プローブデータに多少の差異が生じる時間帯もあるものの、混雑時を除く朝の時間帯において交通量が多く、午後の時間帯に徐々に減少する分布形は概ね類似していることが分かる。

カーブ入口（1.85kp）及び出口（2.3kp）付近における速度の状況として、日別・時間帯別の平均速度を整理した（図-8）。速度の傾向をみると、カーブ入口においては、商用車プローブデータの速度が車両感知器の速度より遅く、逆に出口においては、商用車プローブデータの速度が速くなる傾向を示していることが分かる。これは、車両感知器が普通車を含む車両全体を対象としているのに対して、商用車プローブデータは主に貨物車を対象としているため、貨物車は積荷に配慮して普通車よりも速度を落としてカーブに進入し、カーブ手前で十分に減速する分、カーブ途中から早めに加速操作を行うためではないかと推察される。

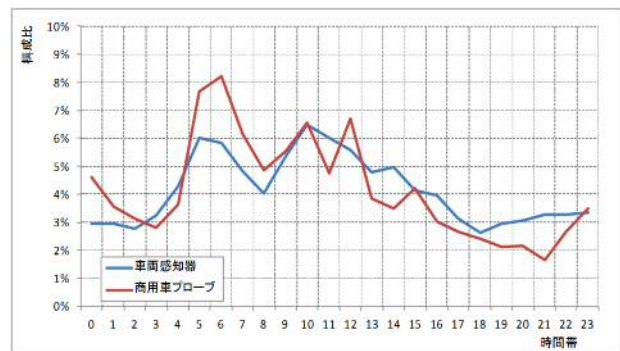


図-7 時間帯別平均交通量の構成比（平日・対策前）

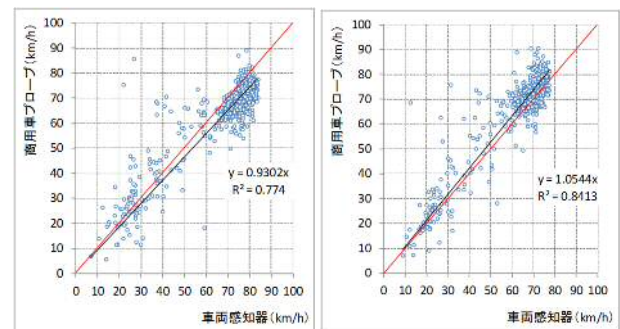


図-8 速度の比較（対策前）
（左：カーブ入口，右：カーブ出口）

(2) 分析用データベースの作成

商用車プローブデータから分析に適したデータベースを作成するために、マップマッチング処理、データクリーニング処理を行った。

なお、本分析で使用するデータの期間は、注意喚起カラー舗装対策前が平成25年6月、対策後が平成26年6月の各1ヶ月間とした。

a) マップマッチング処理

1秒毎の緯度・経度、時刻、速度等が記録されたドットデータをデジタル道路地図（DRM）へマッチングさせる処理を行った。この処理を行うことによって、GPSの計測時に生じる緯度・経度座標の誤差をDRMリンク上に補正するとともに、ドットデータの地図上での位置（kp位置）を明確にすることができる。マップマッチング処理後は、緯度・経度、時刻等の情報の他に、ドットデータが吸着したDRMリンク番号やDRMリンク起点からの距離といった情報が追加される。

b) データクリーニング処理

マップマッチング処理後のデータのうち、精度的な観点等から分析に適さないデータを除く処理を行った。本分析では、ドット単位で①データが途中で欠損している、②GPSの座標誤差が大きい、③渋滞時のデータを含む場合に分析に適さないと判断し、トリップ中に一つでも上記に適合するドットデータが含まれていた場合、そのトリップ中のデータは全て除くこととした。

ここで①については、飯田橋カーブ周辺を構成するDRMリンクのいずれか1リンクでもデータが欠損していた場合は除いた。また、②については、マップマッチング処理による座標の補正距離が100m以上あった場合は除くこととした。③については、注意喚起カラー舗装がカーブ進入部における速度抑制をねらいとした対策であることを踏まえて、速度が50km/hを下回る場合は除くこととした。なお、今回は渋滞時と判断する速度を分析箇所の臨界速度に相当する60km/hより低い50km/hと設定したが、これは商用車プローブデータが主に8トン以上の貨物車であることから、一般車両に比べると速度が遅い傾向にあると考えたためである。

データクリーニング処理前後のデータ数を表-3に示す。データクリーニング処理後のトリップ数は約3,800～

表-3 データクリーニング処理前後のデータ数

	トリップ数 ()内は処理前に対する比率	
	対策前	対策後
データクリーニング処理前	4,821	9,142
データクリーニング処理後	3,834 (0.80)	7,363 (0.81)
うち、対策前後でデータ取得	2,280 (0.47)	2,438 (0.27)

7,400トリップとなっており、処理前の約8割程度となった。また、処理後のトリップのうち、注意喚起カラー舗装対策前後の期間においてデータ取得できた車両のみを対象とした場合のトリップ数は約2,300～2,400トリップとなった。

4. 商用車プローブデータを用いた効果分析

(1) 速度の変化

飯田橋カーブ周辺において速度が遷移する状況を整理した。本分析では、1.7～2.4kpを0.1kp（10m）間隔で分割し、各区間内に含まれるドットデータの速度分布を整理し、速度の遷移図を描画した。

描画する遷移図について（図-9）、各区間で頻度が高い速度帯をkpに沿って追跡すると、飯田橋カーブ手前付近から速度が徐々に低下し、その後、カーブ途中の2.0～2.1kp付近から上昇に転じている様子が詳細に把握することができる。

また、速度の遷移の状況を注意喚起カラー舗装対策前後で比較すると（図-10）、注意喚起カラー舗装区間の上流側において60km/hを上回る速度で走行する車両が減少し、逆に60km/hを下回る速度で走行する車両が増加していることが分かる。この変化の状況を踏まえると、注意喚起カラー舗装によってカーブ進入時の速度抑制効果が発現している可能性が示唆される。

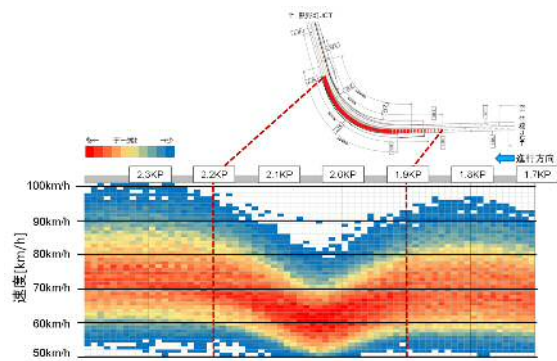


図-9 kp別の速度の遷移図（対策前）

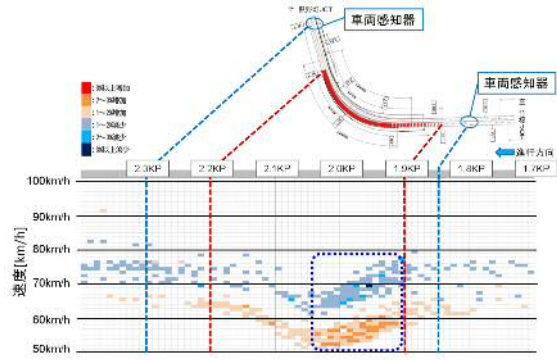


図-10 kp別の速度の遷移図（対策後－対策前）

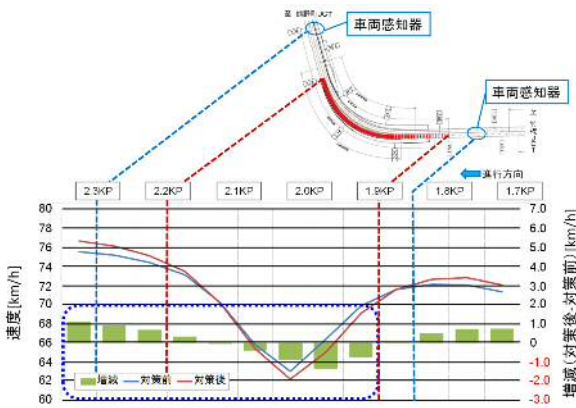


図-11 kp別の速度の遷移図 (対策後—対策前)
(対策前後でデータ取得できた車両のみ)

さらに、対策前後ともにデータが取得できた車両のみを対象として、対策前後の速度の変化を整理した(図-11)。結果をみると、カーブ手前の直線区間からカーブ途中までは速度が低下(最大で1.4km/h低下)し、逆にカーブ通過後は速度が上昇(最大で1.0km/h上昇)している状況が確認できる。この状況から、注意喚起カラー舗装によって、車両の運転操作がカーブ手前の早めの減速、カーブ進入後の早めの加速(スローイン・ファーストアウト)に変化していることが分かる。

(2) 前後加速度の変化

速度の変化と同様に、飯田橋カーブ周辺において前後加速度が遷移する状況を整理した(図-12)。結果をみ

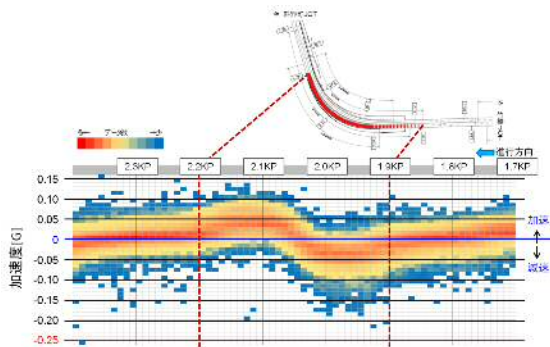


図-12 kp別の前後加速度の遷移図 (対策前)

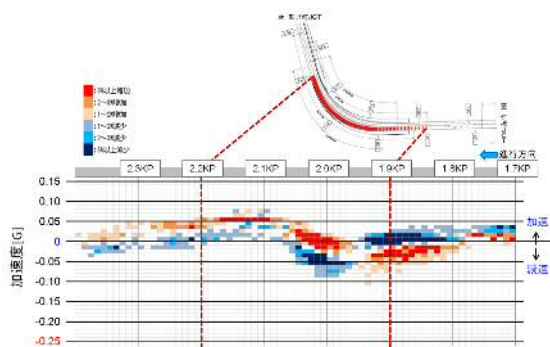


図-13 kp別の前後加速度の遷移図 (対策後—対策前)

ると、カーブ手前の直線区間からカーブ区間入口付近における減速操作やカーブ途中からの加速操作の状況を確認することができる。なお、商用車プローブデータは貨物車が主であり、積荷に配慮した運転走行を行う車両が多いことから、急加速・急減速を行う車両は少なく、ETC2.0(挙動履歴情報)においてデータ蓄積基準となっている-2.5Gを下回るほどの急減速はほとんどみられなかった。

また、前後加速度の状況を注意喚起カラー舗装対策前後で比較すると(図-13)、僅かではあるが、カーブ手前の直線区間からカーブ区間入口付近にかけて加速操作の減少、減速操作の増加が確認できる。

(3) 加速度歪度の変化

商用車プローブデータが1秒間隔で密に取得できる特徴を踏まえて、飯田橋カーブを通過する間にスムーズな加減速が行われているか、また注意喚起カラー舗装対策前後でその運転走行が改善されたかを分析した。本分析では、これら进行评估する指標として加速度歪度という指標を用いた⁴⁾。

歪度は、分布型の歪み(非対称性)を表現する指標として用いられており、確率分布の期待値の三次モーメントである。この加速度歪度が負の値を示す場合は、加速がゆっくりでブレーキが急といった運転特性、正の値を示す場合は、ブレーキを早めにゆっくりかけるが加速は急といった運転特性となる。また、値が0に近似する場合は、加速と減速の程度がほぼバランスしている運転特性を表す(図-14)。今回は、飯田橋カーブを含む1.3~2.5kpにおける前後加速度の状況からトリップ別の加速度歪度を算定し、対策前後での変化を分析した。また、この分析においては、速度が50km/hを下回る場合のトリップも含めて集計を行った。

$$\text{加速度歪度} = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{(\alpha(t) - \bar{\alpha})^3}{\sigma^3} dt \quad (1)$$

ここで、 T : 運転時間、 $\alpha(t)$: 時刻 t における加速度
 $\bar{\alpha}$: 加速度の平均値、 σ : 加速度の標準偏差

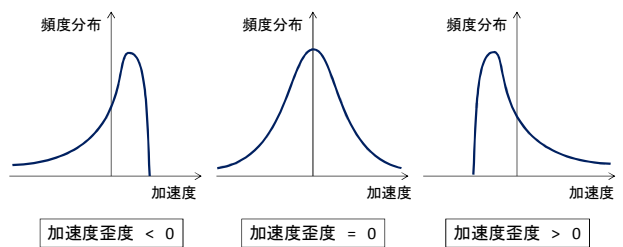


図-14 加速度歪度別の加速度分布

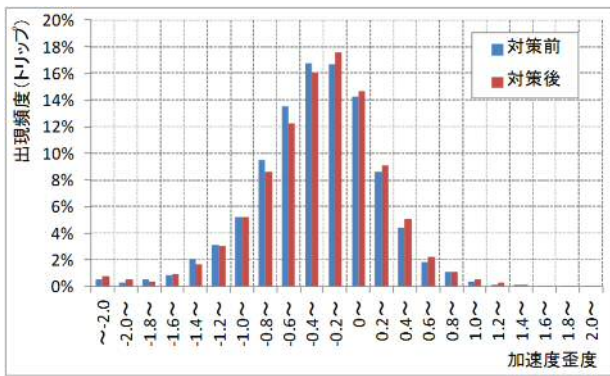


図-15 加速度歪度ランク別の出現頻度

注意喚起カラー舗装対策前後における加速度歪度のランク別の出現頻度を整理した(図-15)。加速度歪度の分布は負の側に歪む形状となっていることから、当該区間においては、加速はゆっくりでブレーキは急な運転操作を行う車両が多いことが分かる。また、対策前後を比較すると、分布の形状が僅かに正の方向にシフトしていることから、対策によって走行中の減速操作が緩やかになり、加速と減速のバランスが改善しているといえる。

5. おわりに

本分析では、商用車プローブデータを用いて注意喚起カラー舗装の進入速度抑制効果分析を行った。分析の結果、注意喚起カラー舗装対策後、カーブへ進入する際の速度が抑制され、車両の運転操作がスローイン・ファーストアウトの理想的な操作に変化していることが確認された。これにより、注意喚起カラー舗装の有効性が示されるとともに、安全対策の評価において商用車プローブデータを活用することへの有効性も確認された。また、今回使用した商用車プローブデータには個別車両を判別するIDが付与されていることから、注意喚起カラー舗装対策前後でデータが取得できた車両のみを対象として、安全対策の効果を直接的に評価した。その結果からも上

記と同様の効果が確認されたことから、注意喚起カラー舗装の効果に対する信頼性はより高いものであると考えられる。さらに、データが密に取得できる特徴を活かして、カーブを通過する際の運転のスムーズさの評価を行った。その結果、飯田橋カーブにおける運転操作の特徴を把握するとともに、対策によって加速と減速のバランスが改善している効果も確認することができた。

今回使用したプローブデータは、主に8トン以上の貨物車が対象となっているが、大型車と普通車では車両の挙動や事故のリスク等が異なることから、普通車からも詳細なデータを取得することで、事故リスク分析や安全対策の評価をより詳細に行うことができると考えられる。また、本稿は1事例の検証に留まっており、他のカーブ区間においても同様の速度抑制効果が得られるかを言及するまでには至っていない。従って、今後の課題として、本稿で分析対象とした飯田橋カーブ以外の注意喚起カラー舗装実施のカーブ部においても、対策前後での速度の変化について分析を行い、分析事例を蓄積していく必要がある。その際には、道路構造の違い等によって車両挙動の変化の傾向に差異が生じるかも検証する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 川野祥弘, 猪原拓也: 注意喚起カラー舗装による事故削減効果, 第30回日本道路会議論文集, 2013.10
- 2) 堀田尚史, 遠藤学史, 清野勝, 山下浩行, 島崎雅博: ETC2.0 プローブ情報を活用した注意喚起カラー舗装の対策効果に関する一考察, 第35回交通工学研究発表会論文集, 2015.8
- 3) 菊地春海, 岡田朝男, 水野裕彰, 絹田裕一, 中村俊之, 萩原剛, 牧村和彦: 道路交通安全対策事業における急減速挙動データの活用可能性に関する研究, 土木学会論文集 D3(土木計画学) 68(5), I_1193-I_1204, 2012
- 4) 井上健士, 横田孝義, 伏木匠: 加速度歪度を用いた運転特性の検討, 第26回土木計画学研究発表会論文集, 2002.11

(2016.4.22受付)

DRIVING BEHAVIOR ANALYSIS UTILIZING COMMERCIAL VEHICLE PROBE DATA ON ALERTING COLOR PAVEMENT

Naofumi HOTTA, Satoshi ENDO, Tomohiro MAEKAWA and Jun TANABE