

# 首都高速道路における都心環状線の エリア流入制御による事故削減効果の分析

田村 勇二<sup>1</sup>・小島 朋己<sup>2</sup>・酒井 浩一<sup>3</sup>・割田 博<sup>4</sup>・  
稲富 貴久<sup>1</sup>・島崎 雅博<sup>1</sup>

<sup>1</sup>非会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社 社会マネジメント本部 交通政策部  
(〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目22番地テラススクエア)

E-mail: yuuji.tamura@ss.pacific.co.jp, takahisa.inatomi@tk.pacific.co.jp, masahiro.shimazaki@tk.pacific.co.jp

<sup>2</sup>非会員 首都高速道路株式会社 保全・交通部 (〒100-8930 東京都千代田区霞が関1-4-1)  
E-mail: t.kojima862@shutoko.jp

<sup>3</sup>非会員 首都高速道路株式会社 計画・環境部 (〒100-8930 東京都千代田区霞が関1-4-1)  
E-mail: k.sakai67@shutoko.jp

<sup>4</sup>正会員 首都高速道路株式会社 技術コンサルティング部 (〒100-8930 東京都千代田区霞が関1-4-1)  
E-mail: h.warita1116@shutoko.jp

首都高速道路の中心に位置する都心環状線は、各放射路線を接続する交通の要衝であるが、事故が多発している状況にある。都心環状線においてひとたび事故が発生すると、その影響は周辺路線を含むネットワーク全体に波及することから、都心環状線の事故削減は、首都高速道路のネットワーク機能を有効に発揮する上で、重要な解決課題である。本研究は、都心環状線を対象としたエリア流入制御による事故削減効果について分析した。具体的には、都心環状線の集計交通状態別における事故率を整理し、流入制御の実施判断基準を分析した。次に、交通シミュレーション及び事故リスク予測モデルを用いて、都心環状線の全入口一括閉鎖によるエリア流入制御を実施し、都心環状線の事故削減効果を確認すると共に、都心環状線以外に、入口転換や本線での経路変更による交通集中渋滞の誘発に起因する事故率の増加等、負の反動が発生しないことを確認した。

**Key Words :** *accident risk, macroscopic fundamental diagram, inflow control, metropolitan expressway*

## 1. はじめに

首都高速道路（以下、首都高）は、路線延長約320km、1日の利用台数が約100万台を有しており、首都圏の道路交通網において、大動脈としての役割を担っている<sup>1)</sup>。平成27年3月には中央環状線山手トンネル（湾岸線～渋谷線）が供用し、次いで、平成29年3月には横浜環状北線が供用しており、道路ネットワークの拡充が推進している。特に中央環状線の全線開通時には、交通集中による渋滞の大幅な減少が観測<sup>2)</sup>されており、今後も、道路ネットワークの拡充や道路拡幅等改良による交通集中渋滞の減少が期待される。

一方、渋滞要因である事故は頻発しており、年間約1万件（平成27年度実績）の事故が発生している。事故は、事故渋滞による社会的な損失以前に、人命を脅かし、道路構造物や車両の損壊を伴うものであり、人的・物的・社会的に大きな損失をもたらすものであることから、

事故削減は道路交通管理上の重要な課題である。

首都高では、事故削減に向けて様々な安全対策を実施してきており、一定の事故削減効果が得られているが、今後もより一層の安全対策強化に努めていく必要がある。

昨今の安全対策に関する研究事例では、事故と渋滞の相関関係に着目し、流入制御によって渋滞緩和を図ることで、事故削減効果を期待する新たな対策が提案されている<sup>3)</sup>。具体的には、都市高速道路である阪神高速道路を対象として制御効果を推定しており、流入制御手法としては、実用化に向けてこれまで多くの改良モデルが提案されてきているLP制御<sup>4)</sup>と、昨今、積極的に研究が遂行されている集計QK関係を用いたエリア流入制御<sup>5)</sup>を組み合わせている。エリア流入制御については、相互に干渉するボトルネックを含む面的な道路ネットワークに対して有効に機能することが示されており<sup>6)</sup>、環状線を有する首都高においても、円滑性確保の観点において、その適用可能性が示されている<sup>7)</sup>。

筆者らは、既往の研究<sup>8)</sup>において、首都高における事故の特徴を分析し、首都高ネットワークの中心に位置する都心環状線（以下、都環）（図-1に赤で示す）で事故が多発しており、その影響が周辺路線を含むネットワーク全体に波及していることを明らかにした。また、都環における事故発生区間の交通状態と、同時時間帯での都環を一つのエリアとした集計交通状態との関係を分析し、エリア流入制御による渋滞緩和と事故率低減に相関性があることを明らかにした。

以上の背景を踏まえ、本研究では、都環を対象としたエリア流入制御のケーススタディを実施し、事故削減効果について分析した。具体的には、都環の集計交通状態別における事故率を整理し、流入制御の実施判断基準を分析した。次に、交通シミュレーション及び事故リスク予測モデルを用いて、都環の全入り括閉鎖によるエリア流入制御を実施し、都環における事故削減効果と、首都高全線に及ぼす影響について分析した。

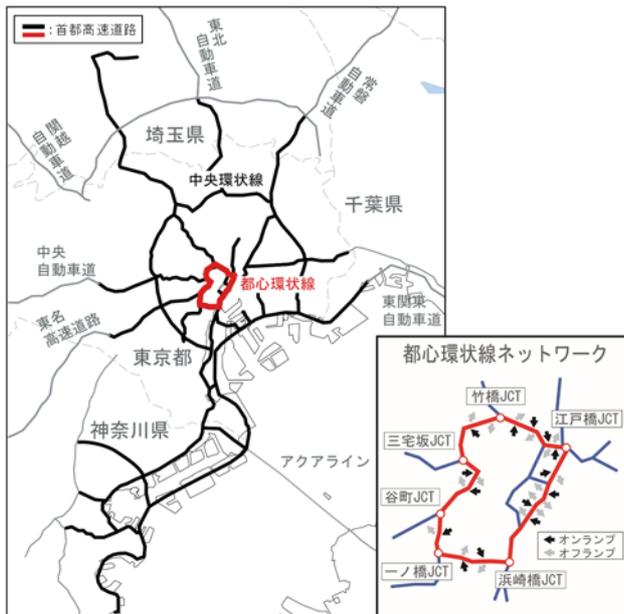


図-1 首都高速道路ネットワーク

## 2. 集計QK関係による事故リスク分析

### (1) 集計QK関係の定義

本研究で対象とするエリア流入制御は、既往の研究で提案されている集計 QK 関係を用いた手法<sup>7)</sup>である。

集計 QK 関係は、複数の区間から構成される道路ネットワークエリアを対象に、式(1)及び式(2)で定義される集計交通流率と集計交通密度を用いる（図-2）。

本研究では、中央環状品川線供用後の平成 27 年 3 月 8 日から 11 月 30 日の約 9 ヶ月間を対象に分析した。分析対象期間における、車両感知器 5 分区間データ（交通

量及び速度）を用いて作成した都心環状線の集計 QK 関係を図-3に示す。図より、凸型の頂点となる最大集計交通流率は約 3,000 台/h となっており、その際の集計交通密度、即ち臨界密度は約 1,500 台/AREA である。

集計QK関係を用いた流入制御のアルゴリズムは、対象とする道路ネットワークエリア内の交通密度が増加した際に、エリア集計交通密度を適切なレベルに維持するように流入交通量を調節する。この制御手法の特徴としては、従来のLP制御等で必要とされたOD情報が不要であり、道路上に設置された車両感知器データで得られる情報のみで実施可能な点が挙げられる。

#### ・集計交通流率

$$Q = \left( \sum q_i \times l_i \right) / L \quad \text{式(1)}$$

ただし、

- Q : 集計交通流率 [台/h]
- q<sub>i</sub> : 区間 i の交通流率 [台/h]
- l<sub>i</sub> : 区間 i の区間長 [km]
- L : 総延長 [km]

#### ・集計交通密度

$$K = \sum k_i \times l_i \quad \text{式(2)}$$

ただし、

- K : 集計交通密度 [台/area]
- k<sub>i</sub> : 区間 i の交通密度 [台/km]

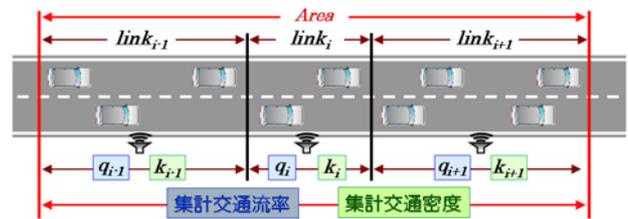


図-2 集計QK算定方法のイメージ

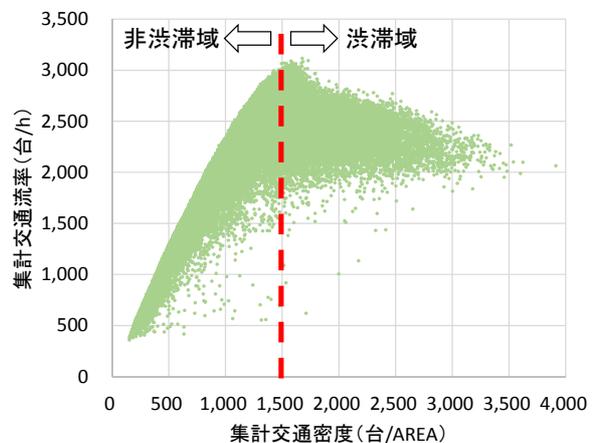


図-3 都心環状線の集計QK関係

(2) 事故指標

本研究では、事故リスクを評価する指標として、一般的に用いられている事故率を使用する。事故率は、事故件数を総走行台キロで基準化したものであり、路線間等の相対的な評価を実施する際に用いられる指標である。対象とする道路範囲の総走行台キロ当りの事故件数を1億倍したものであり、1台の自動車<sup>1</sup>が1kmの道路区間を1億回走行したときに発生する事故件数を意味し、以下の式(3)にて算定される。

・事故率

$$R = \frac{N}{D} \times 10^8 \quad \text{式(3)}$$

ただし、

R : 事故率 [件/億台 km]

N : 事故件数 [件]

D : 総走行台キロ [台 km]

(3) 集計QK関係による都心環状線の事故リスク分析

既往の研究<sup>8)</sup>より、都環では、渋滞中における追突事故が多発していることが明らかとなっていることから、本研究で分析対象とする事故形態は追突事故とした。

都環における集計交通状態別の追突事故の件数及び事故率を整理した結果を図-4及び図-5に示す。事故件数の整理結果より、集計交通流率が2,000~2,500台/h、集計交通密度が1,000~2,000台/AREAの交通状態で追突事故が多く発生している。一方、総走行台キロによって基準化した事故率では、臨界密度である1,500台/AREAを超過すると、追突事故率が増加する傾向が見られる。

以上より、集計QK関係を用いたエリア流入制御のひとつの判断基準として、都環の存在台数を1,500台/AREA以下に維持することで、事故リスクを抑制することが可能になると考えられる。

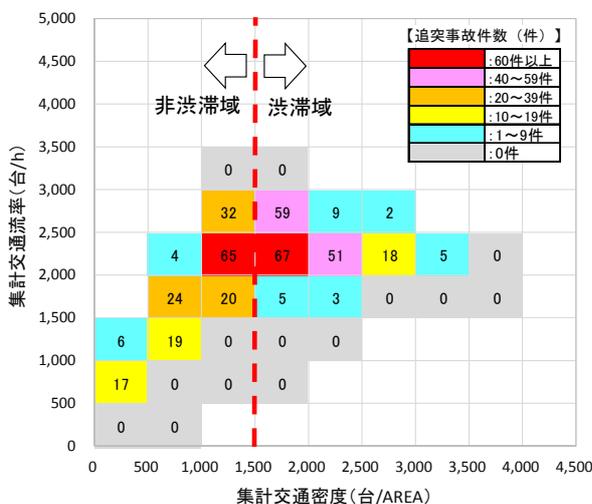


図-4 都心環状線の集計交通状態別の追突事故件数

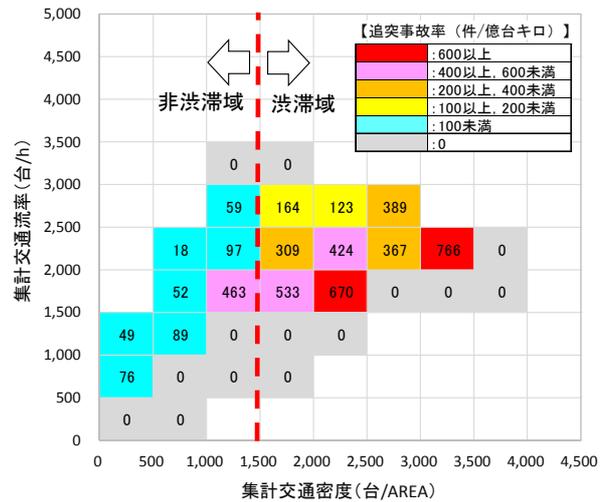


図-5 都心環状線の集計交通状態別の追突事故率

3. エリア流入制御による事故削減効果検証

(1) ケーススタディの実施条件

交通シミュレーションによるケーススタディを実施し、都環のエリア流入制御による事故削減効果を検証する。本研究では、交通シミュレーションに首都高において研究開発中であるRISE (Real time traffic Information by dynamic Simulation on urban Expressway) <sup>9)</sup>を用いた。また、事故率の算定についても、同様に首都高において研究開発中である事故リスク予測モデル<sup>10)</sup>を用いた。

都環への流入交通を制御する手段として、既往の研究を参考に、都環に存在する全ての入口の一括閉鎖を採用した(都環の入口については図-1参照)。当該手段の選定理由としては、①入口閉鎖による効果が都環の交通状況に直接的であること、②都環入口を利用する多くの交通が放射路線下り方向に目的地を持ち、道路ネットワークの位置関係上、一般道での迂回が比較的容易であること、③広報としてわかり易いこと等が挙げられている。

入口閉鎖に伴う入口転換行動については、首都高における過去の入口閉鎖の実績を参考に、閉鎖により都環に流入できなかった交通の60%を下流側の入口に転換させ、40%は首都高の利用を取りやめることを想定した。なお、転換先の入口については、交通シミュレーションで使用するOD表をもとに、目的地比率から設定した。

ケーススタディは、平成28年6月の平日を対象に、都環の集計交通密度が流入制御の判断基準とした1,500台/AREAを超過し始める16時~19時で実施した。ケーススタディ対象日時における都環の集計交通密度と都環への流入交通量の時間遷移を図-6に示す。

流入制御開始時刻は、都環の集計交通密度が基準値を超過し始める16時15分とし、流入制御終了時刻は、都

環への流入交通量が1,500台/h以下となる18時25分とした。以上より、都環の入口を135分間閉鎖することによる制御効果を検証する。

なお、流入制御対象とした16時15分～18時25分において、未閉鎖時の総流入交通量は137,638台であり、流入制御により首都高の利用を取り止める交通量は3,843台（約3%）である。

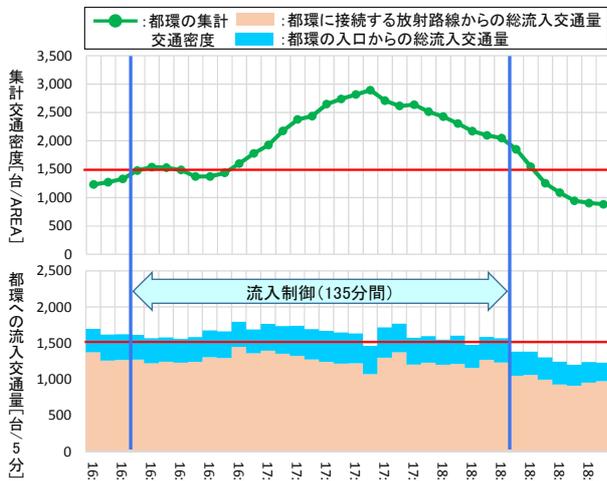


図-6 都環の集計交通密度と流入交通量の時間遷移

## (2) 効果検証結果

エリア流入制御なしのケース（以下、現況ケース）とエリア流入制御実施ケース（以下、制御ケース）を比較することで効果を検証した。

まず、制御有無による都環の集計交通状態の変化を図-7に示す。現況ケースでは渋滞域となっていた交通状態が、制御を実施することで、基準値とした1,500台/AREA以下の交通状態となっている。ただし、集計交通流率が低下しており、過大な制御となっていると考えられる。

次に、現況ケースにおいて、都環の集計交通密度が最大となった時間帯（5分間）の速度状況の変化を図-8に示す。現況ケースでは、都環が全体的に渋滞しているが、制御ケースでは、都環の渋滞が解消していると共に、中央環状線外回り及び湾岸線の渋滞が緩和している。これは、都環の渋滞が解消することで、中央環状線または湾岸線経由の交通が都環経由に経路変更し、道路ネットワーク効果が発揮したものと考えられる。

最後に、シミュレーション時間（16時～19時）全体での、都環・都環以外・全線での追突事故率の変化を図-9に示す。まず、都環においては、現況ケースでは追突事故率が264件/億台キロであったが、制御ケースでは162件/億台キロとなっており、大幅に事故率が低減している（約40%の事故リスク低減効果）。次に、先に示し

た中央環状線や湾岸線の渋滞緩和より、都環以外でも事故率が低減し、結果、首都高全線での事故率が低減している（約6%の事故リスク低減効果）。

以上より、都環のエリア流入制御は、都環の事故リスクを大幅に低減し、且つ首都高全線の安全性の向上に寄与する可能性があるという知見を得た。

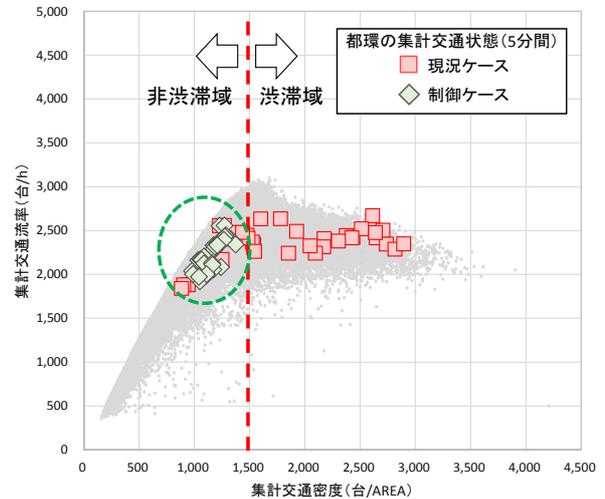


図-7 エリア制御による都環の集計交通状態の変化

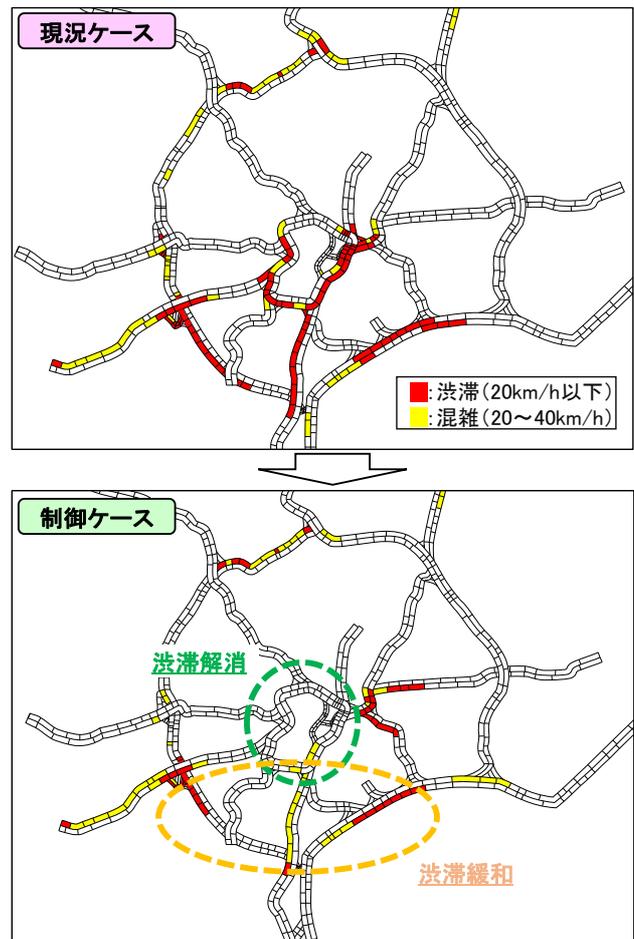


図-8 エリア制御による速度状況の変化（17時35分）

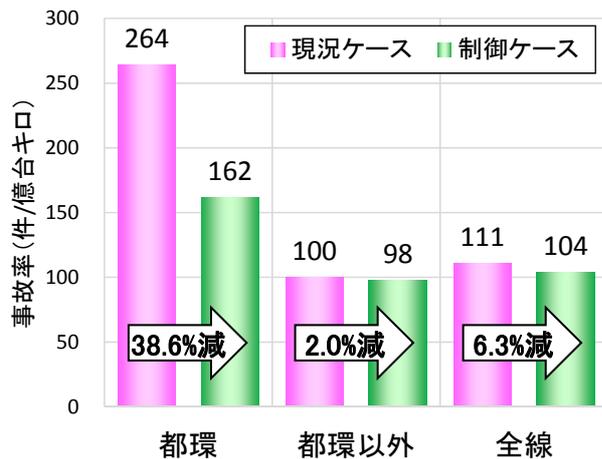


図8 エリア制御による追突事故率の変化 (16時～19時)

#### 4. まとめ

本研究は、都環を対象としたエリア流入制御による事故削減効果の分析を目的に、都環をひとつのエリアと捉えた集計交通状態別の事故率を分析することで、エリア流入制御の実施判断基準を検討し、交通シミュレーション及び事故リスク予測モデルを用いた、ケーススタディによる効果検証を実施した。結果、都環の集計交通状態別の事故率は、臨界密度付近である1,500台/AREAを境に増大する傾向がある知見が得られた。また、都環の全入口一括閉鎖によるエリア流入制御を実施することで、都環の大幅な事故リスク低減と共に、都環以外の事故リスクも低減し、制御による負の反動が発生しないことを確認した。

今後の課題として、まず、利用者及び道路管理者共に受け入れられる効率的な制御手段の検討が挙げられる。本研究では、都環の全入口を一括閉鎖したが、長時間閉鎖であり、過大な制御となっている。利用者に過大な不便を強いると共に、閉鎖が長時間になるほど、首都高利用取り止め交通も増加し、首都高(株)としても減収につながる。対応としては、ランプメタリングや可変チャネリゼーションといった本線上での制御適用可能性の検討が考えられる。また、集計交通状態で流入制御実施の判断基準に至る前に、既往のLP制御等を用いた個別渋滞箇

所への対策を実施するといった、段階的な制御方法を採用することも考えられる。次に、流入制御を実施した際における、一般道への影響評価が挙げられる。対応としては、高速道路と一般道の両方をモデル化した交通シミュレーションの活用等が考えられる。最後に、流入制御による安全対策をより効果的に実施する方法として、交通状況予測との連携が挙げられる。本研究で用いた交通シミュレーションは、首都高の交通状況をオンラインリアルタイムで予測することを目的に開発されてきており、事故リスクが高まる交通状況を事前に予測し、最適なタイミングで流入制御を実施することで、効果的な運用が可能になると考えられる。

謝辞：本研究は、(一社)交通工学研究会の自主研究活動「交通事故リスクマネジメントに関する研究」に関連し、首都高の事故リスクマネジメントに関する研究<sup>1)</sup>と連携するものである。研究遂行に際し、研究メンバー各位から貴重な助言を得た。ここに記し感謝の意を表す。

#### 参考文献

- 1) 首都高速道路株式会社 HP ; <http://www.shutoko.jp/>
- 2) 「中央環状線(高速湾岸線～高速3号渋谷線)開通後6ヶ月の整備効果について」,首都高速道路株式会社プレスリリース(平成27年度),[http://www.shutoko.co.jp/company/press/h27/data/11/12\\_sixmonths/](http://www.shutoko.co.jp/company/press/h27/data/11/12_sixmonths/)
- 3) 松本洋輔,吉井稔雄,高山雄貴;「事故リスク算定シミュレーションを用いたランプ流入制御実施効果分析」,土木計画学研究発表会・講演集 Vol.44,2011
- 4) 佐佐木綱,明神証;「都市高速道路網における流入車制御理論」,交通工学,Vol.3, No.3, pp.8-16, 1968
- 5) 吉井稔雄,塩見康博,孫瀟瀟,北村隆一;「集計QKを用いたエリア流入制御手法」,第37回土木計画学研究発表会・講演集 Vol.37,2008
- 6) 遠藤皓亮,吉井稔雄,藤井聡;「ネットワーク形状と交通状況に適応したランプ流入制御手法」,土木計画学研究発表会・講演集 Vol.41, 2010
- 7) 割田博,桑原雅夫,吉井稔雄,稲富貴久;「首都高速道路における集計QKを用いたエリア流入制御の適用に関する研究」,土木計画学研究発表会・講演集 Vol.49,2014
- 8) 田村勇二,酒井浩一,割田博,吉尾泰輝;「首都高速道路における都心環状線の事故発生特性に着目したエリア流入制御の適用可能性検討」,土木計画学研究発表会・講演集 Vol.53,2016
- 9) 宗像恵子,割田博,田村勇二,白石智良;「首都高速道路におけるリアルタイム予測シミュレーションの開発」,第29回交通工学研究発表会, pp.293-296,2009
- 10) 三浦正幸,深井靖史,篠田直樹;「首都高速道路における事故リスク予測モデルの構築」,土木計画学研究発表会・講演集 Vol.53,2016
- 11) 岩崎興治,割田博,酒井浩一,深井靖史,篠田直樹,田中淳;「首都高速道路における事故リスク情報の提供手法に関する研究」,土木計画学研究発表会・講演集 Vol.55,2017(投稿予定)

### An Analysis of Traffic Accident Reduction Effects by An Area Inflow Control of Inner Circular Route on Tokyo Metropolitan Expressway

Yuji TAMURA, Tomoki KOJIMA, Kouichi SAKAI, Hiroshi WARITA,  
Takahisa INATOMI, Masahiro SHIMAZAKI