

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

田村 勇二¹・酒井 浩一²・割田 博³・吉尾 泰輝⁴

¹非会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社 都市・環境事業本部 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

²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

³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

⁴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: h.yoshio1114@shutoko.jp

本研究では、首都高の特性として、都心環状線では渋滞域での事故率が高いこと、その影響は接続する放射路線に広範囲の渋滞として波及することを定量的に明らかにした。これは、首都高速道路網の中心に存在する都心環状線の事故削減、即ち渋滞対策が、首都高速道路網の効率的な運用に寄与することを示唆している。そこで、都心環状線全体の円滑な交通状態を確保するための対策として、エリア流入制御に着目し、これによる事故削減の可能性を分析した。具体的には、事故発生時の個別区間と集計交通状態を比較（相関性を分析）することで、エリア流入制御により事故削減効果が見込まれることを明らかにした。

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300km、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¹。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）の供用により、三環状道路で最初の全線開通を達成するなどの道路ネットワーク拡充の結果、交通集中による渋滞は減少傾向にある²。一方、交通集中以外の主な渋滞要因としては、事故や工事が挙げられる³。特に事故は、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。

首都高では年間約1万件（平成26年度実績）の事故が発生しており、事故削減に向けて様々な安全対策を実施してきている³。例えば、カーブ区間での注意喚起カラー舗装による速度超過抑制や大型注意喚起板による減速

や合流への注意喚起、高機能舗装による雨天時のハイドロプレーン現象や水しぶき防止など、事故多発箇所などにおける道路幾何構造や環境要因に対する静的な対策、車速感応型LED表示板による速度超過抑制⁴など、交通流要因に対する動的な対策が挙げられる。これらの安全対策により、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⁵。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⁶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⁷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⁸、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⁹⁾。

以上の背景を踏まえ、本研究では、首都高における事故発生状況の特性を分析し、事故削減を目的に、都心環状線（図-1に赤で示す）を対象としたエリア流入制御の適用可能性について分析する。



図-1 首都高速道路ネットワーク

2. 首都高における事故発生状況の分析

(1) 分析手法

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、首都高の路線別（方向は考慮）での事故発生状況を分析した。

分析に使用したデータは、事故の発生日時や場所、事故形態等が記録されている事故データと、首都高の道路上に設置された車両感知器によって収集・蓄積された5分間交通量及び速度データである。

ここで、本研究で使用する事故指標と、交通状態の判定について概説する。

a) 事故指標

本研究では、事故の危険度を評価する指標として、一般的に用いられている事故件数と事故率を使用する。また、事故の影響を分析するために事故渋滞量を使用する。

まず、事故件数は、対象期間中において発生した事故の絶対数を示すものであり、事故指標として最もわかりやすい指標である。安全対策の検討にあたっては、事故件数が多い路線や区間に着目していくことが基本となる。

次に、事故率は、事故件数を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¹⁰⁾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(1)にて算定される。

なお、事故率は、走行台キロの小さい道路区間では、1件の事故の重みが大きくなり、事故率が異常に大きく算定される場合があることに留意が必要である。

・事故率

$$R = \frac{N}{D} \times 10^8 \quad \text{式(1)}$$

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]

最後に、事故渋滞量は、事故を先頭とした渋滞（20km/h以下）が連なった距離と、集計単位時間（5分）を積和することで算出する。

b) 交通状態の判定

事故発生特性を分析するにあたり、既往の研究^{10), 11)}では、交通状態によって事故発生状況が異なることが示されていることから、本研究においてもそれに倣い、交通状態を非渋滞域、臨界域、渋滞域の3つの状態に区分して分析することとした。

各交通状態を判定する閾値は、既往の研究¹¹⁾を参考に設定した。まず、平均車頭時間3秒を車群と仮定し、それ以下は車群が繋がっている状態とし、これを臨界域と判定した（100台/5分/車線）。次に、臨界域以下の交通流率範囲については、境界速度を50km/h（湾岸線は60km/h）として非渋滞域と渋滞域に区分した。（図-2）なお、交通状態の判定は、事故発生5分前を対象とした。

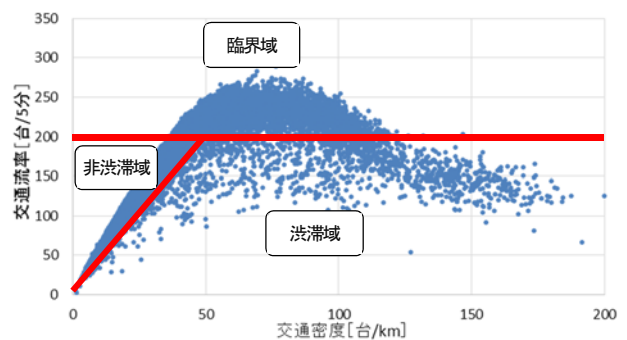


図-2 非渋滞域・臨界域・渋滞域の設定例（都心環状線内回り、霞が関入口～谷町JCT間（2車線区間））

(2) 分析結果

a) 事故件数及び事故率

まず、事故件数に着目すると、分析期間中において、

首都高全線で8,386件の事故が発生しており、その内、事故件数上位10位の路線で約5割（合計4,188件）が占められている（図-3）。事故件数は、5号池袋線（図-1に青で示す）（以下、5号上り）が最も多く、次いで都心環状線（以下、都環）となっている。

次に、これら事故件数が多い上位10位の路線の事故率に着目すると、都環が最も高くなっている。これは、5号上りよりも都環の方が走行台キロが小さいことによる。一般的に、走行台キロは路線延長が長い方が大きく算出され、具体的には、事故件数が最も多い5号上りの走行台キロが約221百万台km（路線延長：22.7km）であるのに対して、都環は内回りが173百万台km（路線延長：14.9km）、外回りが166百万台km（路線延長：14.8km）である。湾岸線（図-1に緑で示す）の事故率が他路線と比較して著しく低くなっているのも、走行台キロが大ききことによる（走行台キロ：509百万台km、路線延長：62.1km）。

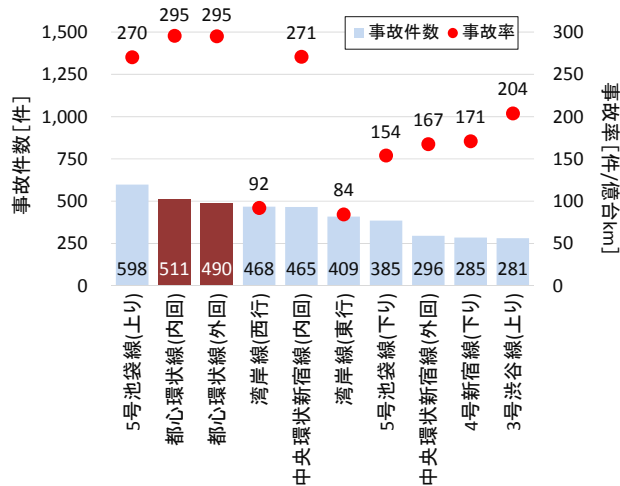


図-3 事故件数 (上位10位)

b) 事故の影響範囲

事故件数が多く、事故率が高い5号上りと都環を対象に、自路線で発生した事故による事故渋滞量を、自路線と他路線に及んだ量を区別して算定することで、事故の影響範囲を分析した。分析イメージを図-4に示す。

また、事故渋滞量を事故件数で除すことで、事故1件当りの事故渋滞量を算定した（図-5）。

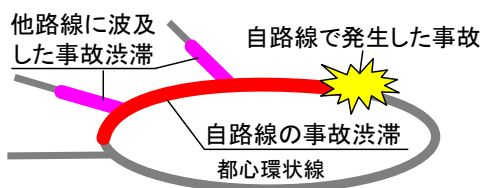


図-4 都環を対象とした事故の影響範囲の分析イメージ

まず、自路線と他路線を合算した総事故渋滞量は、事

故件数の多い5号上りが多いが、事故1件当りに換算すると都環の方が多くなっている。次に、自路線と他路線に及んだ事故渋滞量を比較すると、5号上りでは、自路線での事故渋滞量が約7割を占めるのに対し、都環では、約6割が他路線に及ぶ事故渋滞量となっている。これは、複数の放射路線を、短い間隔で接続している都環の道路ネットワークとしての特徴を顕著に示している。

ここで、分析期間中において、都環で事故が発生し、最大事故渋滞量が観測された際の交通状況を図-6（首都高における都環の位置は図-1を参照）に示す。図より、事故渋滞が各放射路線に延伸しており、都環での事故の影響が、広範囲に波及していることが一目瞭然に見て取れる。

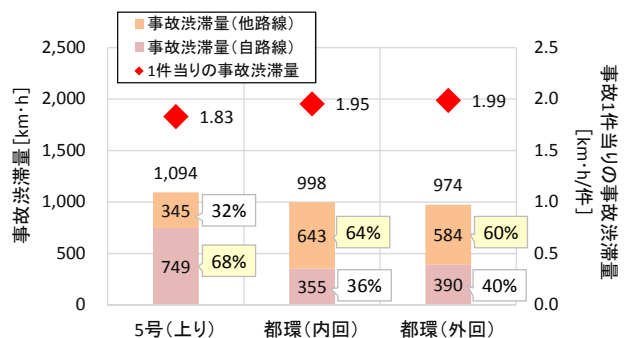


図-5 事故渋滞量

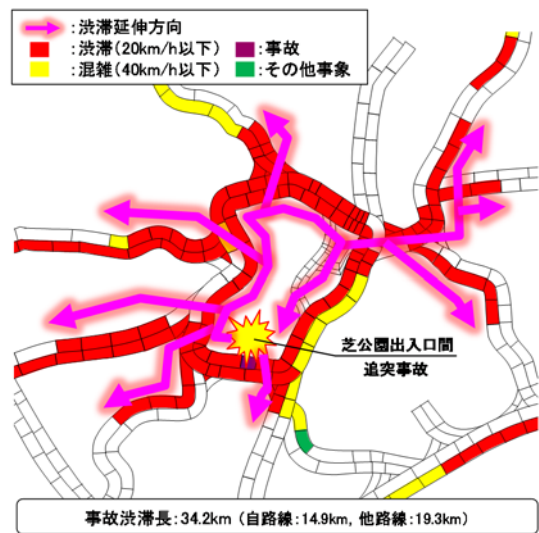


図-6 都心環状線（内回り）での事故事例（2015年3月、平日17時台）

c) 交通状態別・事故形態別での事故率

都環に着目し、交通状態別・事故形態別での事故率について分析した。ここで、分析期間中で発生した首都高全線での事故（8,386件）において、追突事故（3,771件、全体の45%）と車両接触（2,105件、全体の25%）、施設接触（1,886件、全体の22%）で、全体の9割以上を占め

ていることから、上記3形態を対象に分析した。

なお、都環は、内回り・外回りで事故の発生状況が同様であったことから、合算して事故率を算定した。分析結果を表-1及び図-7に示す。

まず、渋滞域における事故率が顕著に高くなっている。また、いずれの事故形態も他の交通状態よりも高い事故率となっているが、特に追突事故の事故率が高い。

次に、非渋滞域での事故率が高くなっており、臨界域の事故率が最も低くなっている。この傾向は、これまで既往の研究^{10) 11)}で分析結果が示されてきた都市間高速道路や湾岸線の分析結果と異なる。これは、都環では非渋滞域での施設接触が多いことが主な要因として挙げられる。なお、都環における施設接触は、事故多発地点となっているカーブ区間での発生が多数を占めていることを確認している。比較対象として、平面線形が直線的な路線である湾岸線（西行き）の分析結果を表-2及び図-8に示す。都環と比較して非渋滞域における施設接触の事故件数が顕著に少ないことがわかる。

(3) 分析結果のまとめ

首都高における事故発生状況を分析した結果、都環は事故件数と事故率共に上位であり、事故の影響が接続する放射路線に面的に広範囲に広がる特徴が明らかとなった。また、交通状態別では、渋滞域での事故率が顕著に高いことが明らかとなった。渋滞域が発現するのは、交通量が多い状況下であることから、分析結果より、都環では、事故の影響が広域に波及する確率が高い状況下で事故が多発していることが明らかとなった。

以上より、首都高全体の道路管理を実施していく上で、都環の事故を削減することは重要であり、特に事故影響が広域に波及する可能性が高い、臨界域や渋滞域における事故削減が重要であると考えられる。

ここで、一般的に、事故と渋滞には相関があることから、一つの解決策として、流入制御による渋滞緩和が挙げられる。都環を対象とした流入制御を実施する場合、都環に位置する入口の他、放射路線からの流入を制御することが考えられる。しかし、都環は内回り・外回りと経路選択が可能な環状道路であり、一方を制御しても、他方が代替経路となり得ることから、特定区間を対象とした流入制御は困難である。そこで、これまで首都高の円滑化を目的に研究が進められてきた、都環を面的に捉えたエリア流入制御の適用を検討する。

3. エリア流入制御手法

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⁹⁾である。

表-1 都心環状線（内回り・外回り）の交通状態別・事故形態別の事故件数

| 事故件数[件] | 非渋滞域 | 臨界域 | 渋滞域 | 合計 |
|------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| 追突 | 73 | 142 | 192 | 407 |
| 車両接触 | 141 | 78 | 62 | 281 |
| 施設接触 | 192 | 32 | 50 | 274 |
| 合計 | 406 (42%) | 252 (26%) | 304 (32%) | 962 (100%) |
| 走行台キロ [百万台km] | 187 (55%) | 132 (39%) | 19 (6%) | 337 (100%) |

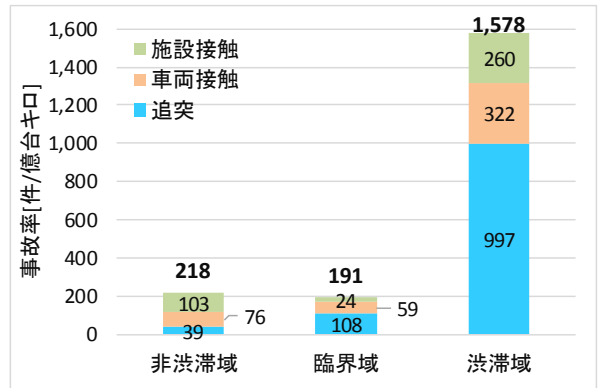


図-7 都心環状線（内回り・外回り）の交通状態別・事故形態別の事故率

表-2 湾岸線（西行き）の交通状態別・事故形態別の事故件数

| 事故件数[件] | 非渋滞域 | 臨界域 | 渋滞域 | 合計 |
|------------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| 追突 | 39 | 31 | 199 | 269 |
| 車両接触 | 43 | 22 | 47 | 112 |
| 施設接触 | 19 | 3 | 3 | 25 |
| 合計 | 101 (25%) | 56 (14%) | 249 (61%) | 406 (100%) |
| 走行台キロ [百万台km] | 577 (77%) | 144 (19%) | 31 (4%) | 751 (100%) |

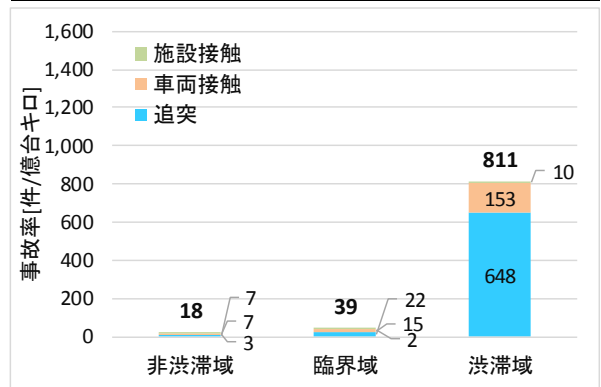


図-8 湾岸線（西行き）の交通状態別・事故形態別の事故率

集計 QK 関係は、複数の区間から構成されるネットワークエリアを対象に、以下の式(2)及び式(3)で定義される集計交通流率と集計交通密度を用いる (図-9)。

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

$$Q = (\sum q_i \times l_i) / L \quad \text{式(2)}$$

ただし、

- Q : 集計交通流率 [台/h]
- q_i : 区間 i の交通流率 [台/h]
- l_i : 区間 i の区間長 [km]
- L : 総延長 [km]

・集計交通密度

$$K = \sum k_i \times l_i \quad \text{式(3)}$$

ただし、

- K : 集計交通密度 [台/area]
- k_i : 区間 i の交通密度 [台/km]

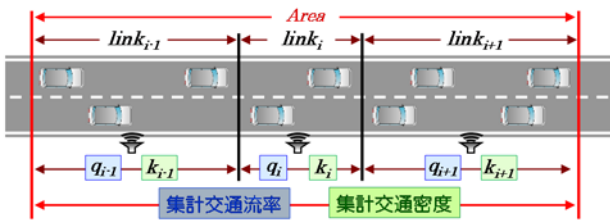


図-9 集計QK算定方法のイメージ

4. 追突事故に着目したエリア流入制御の適用可能性分析

事故発生状況の分析結果より、都環における渋滞域での追突事故の事故率が高いことに着目し、エリア流入制御適用による追突事故削減の可能性について分析した。

(1) 分析概要

集計QK関係は、複数の区間を包括して交通状況を捉える手法であることから、異なる交通状態の区間が混在している可能性がある。具体的に、都環でのエリア流入制御適用をイメージすると、集計交通状態が渋滞域あるいは臨界域と判定され、流入制御を実施しても、エリア内における非渋滞域の区間では、追突事故の削減効果は得られない(図-10)。従って、エリア流入制御による事故削減効果を得るためには、集計QK関係によるエリアの交通状態と、各個別区間の交通状態に相関性がある

ことが前提条件となる。

そこで、追突事故発生時の交通状態について、集計交通状態と区間別交通状態で各々判定し比較することで、相関性を分析した。

分析方法を以下に示す。

- ① 都環で発生した追突事故を対象に、発生5分前の集計QK関係を算定し、交通状態を判定する。判定方法は2.(1) b)と同様とする。
- ② 同時帯における各区間の交通状態を判定する。
- ③ 分析対象期間における全追突事故に対して、上記①②を実施し、追突事故発生時の集計交通状態と区間別交通状態の関係を整理する(図-11)。
- ④ エリア流入制御によって事故削減効果が見込まれるのは、事故発生時の区間交通状態が、臨界域・渋滞域の追突事故であることから、式(4)により、エリア流入制御による追突事故捕捉率を算定する。

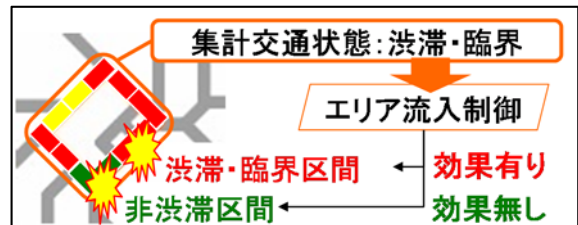


図-10 エリア流入制御適用時の課題

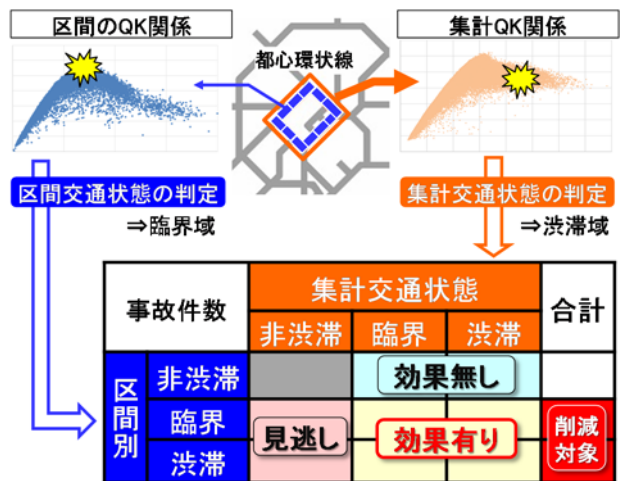


図-11 追突事故発生時の集計交通状態及び区間交通状態の整理イメージ

・エリア流入制御による追突事故捕捉率

$$C_A = \frac{N_A}{N_S} \quad \text{式(4)}$$

ただし、

C_A : エリア流入制御による追突事故捕捉率

N_A : 集計交通状態及び区間交通状態が共に渋滞・臨界域となっている追突事故件数 [件]

N_s : 区間交通状態が渋滞・臨界域で発生した総追突事故件数 [件]

(2) 分析結果

都環を対象としたエリア流入制御による追突事故捕捉率の算出結果を表-3に示す。集計交通状態が臨界・渋滞域で、且つ区間交通状態も臨界・渋滞域となっている追突事故件数は274件となった。エリア流入制御の削減対象となる総追突事故件数は334件であることから、捕捉率は約8割となる。以上より、集計QK関係によるエリアの交通状態と、各個別区間の交通状態には相関性があることが示され、エリア流入制御によって、追突事故の大幅な削減効果が期待できる結果が得られた。

表-3 エリア流入制御による追突事故捕捉率の算定結果

| 追突事故 件数 | 集計交通状態 | | | 合計 | |
|-------------|--------|----|----|----|-----|
| | 非渋滞 | 臨界 | 渋滞 | | |
| 区 間 別 | 非渋滞 | 45 | 14 | 14 | 73 |
| | 臨界 | 28 | 73 | 41 | 142 |
| | 渋滞 | 32 | 69 | 91 | 192 |

捕捉率=274/334=0.82

6. 今後の課題

本研究では、首都高の特性として、都環では渋滞域での事故率が高く、事故による影響は接続する放射路線に広範囲の渋滞として波及することを定量的に明らかにした。また、都環の追突事故に着目し、エリア流入制御による大幅な削減効果が期待できることを明らかにした。

今後の課題としては、まず、エリア流入制御実施の判断基準の検討が挙げられる。次に、エリア流入制御により発生する迂回交通の影響を分析し、首都高全体での安全性を確認することが重要となる。なお、検討にあたっては、都環の特徴である非渋滞域の事故率が高いことに留意することが必要であり、過大な制御による事故率の増加といった悪影響の有無を確認する必要がある。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。交通状況の予測手法として、首都高で別途開発中のオンラインリアルタイム予測シミュレーション（以下、RISE）¹²⁾との連携を予定している。RISEは、交通管制システムと接続された交通シミュレーションであり、既に発生している事故や工事による交通影響も考慮し、現在から2時間先までの首都高全線の交通状態（速度及び交通量）を予測することが可能なシステムである。RISEにより、

事故リスクが高まる交通状況を事前に予測することで、最適なタイミングで流入制御を実施することが可能となる（図-16）。

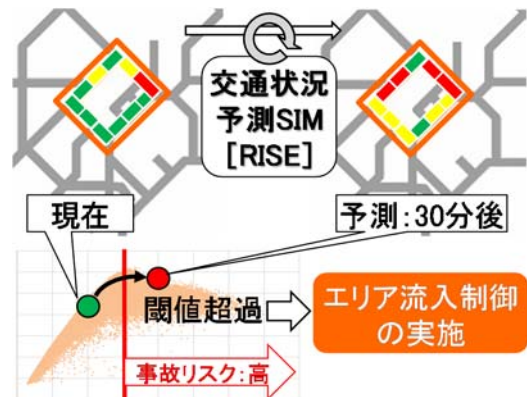


図-16 交通状況予測とエリア流入制御の連携イメージ

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^{13),14)}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る。

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/
- 3) 「管理レポート2015」,首都高速道路株式会社,<http://www.shutoko.co.jp/efforts/safety/>
- 4) 「山手トンネルの安全対策」,首都高速道路株式会社,<http://www.shutoko.jp/ss/tokyo-smooth/about/yamate-safety.html>
- 5) 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
- 6) 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
- 7) 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
- 8) 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
- 9) 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複数エリアを対象とした集計QKを用いた流入制御に関する研究」,土木計画学研究発表会・講演集 Vol.51,2015
- 10) 大口敬,赤羽弘和,山田芳嗣；「高速道路交通量の臨界領域における事故率の検討」,交通工学 Vol.39, No.3,2004
- 11) 後藤秀典,田中淳,赤羽弘和,割田博；「都市高速道路のトンネル区間を対象とした事故分析」,第25回交通工学研究発表会, pp.49-52, 2005
- 12) 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
- 13) 酒井浩一,田中淳,大近翔二,山口大輔,割田博；「高精度気象データを用いた交通影響分析と活用手法に関する研究」,土木計画学研究発表会・講演集 Vol.53,2016（投稿予定）
- 14) 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（投稿予定）

A Feasibility Study of An Area Inflow Control Focused on Traffic Accident Characteristics of Inner
Circular Route on Tokyo Metropolitan Expressway

Yuji TAMURA, Kouichi SAKAI, Hiroshi WARITA, Hiroki YOSHIO