

集計QKを用いた 環状道路開通による交通状況の変化分析

遠藤 学史¹・泉 典宏²・田中 淳³・山口 大輔⁴

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: s.endo5944@shutoko.jp

²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

³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

⁴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

中央環状線(大井JCT~大橋JCT)の開通により、首都圏の三環状道路で最初の環状道路が開通した。中央環状線は通過交通の都心部への流入抑制等を目的とした大都市圏においては日本で初めての高規格の環状道路であり、交通分散などの環状道路特有の効果やエリアの交通流動の効率性など多角的な分析が必要である。本稿では、高規格の環状道路開通によって首都高速道路の交通状況に与える影響を整理した。

分析の結果、①中央環状線より内側では迂回交通により、交通渋滞が大幅に減少すること、②交通渋滞の減少効果は、朝ピーク時間帯は交通が分散するため効果が大きく、夕ピーク時間帯は交通が集中するため効果が比較的小さいこと、③経路選択が可能となり、交通量が増加しても渋滞しづらくなること等の新たな知見が得られた。

Key Words : ring road, urban expressways, macroscopic fundamental diagram, traffic congestion

1. はじめに

首都高速道路は、昭和37年(1962年)に京橋~芝浦間4.5kmが開通してから約50年間で、路線延長310.7kmのネットワークにまで拡大した。

近年、首都高速道路では図-1のようにネットワーク整備を進めている。最新のネットワーク整備としては、2015年3月に開通した中央環状線(大井JCT~大橋JCT)であり、この整備によって首都圏の三環状道路で最初の環状道路が完成した。

中央環状線は通過交通の都心部への流入抑制等を目的とした大都市圏においては日本で初めて高規格の環状道路であり、交通分散などの環状道路特有の効果やエリアの交通流動の効率性など多角的な分析が必要がある。

そこで本稿では、高規格の環状道路開通によって首都高速道路の交通状況に与える影響を整理する。また、集計QKを用いて渋滞損失時間の集計QKの関係や高規格の環状道路開通による交通流動の変化を整理する。

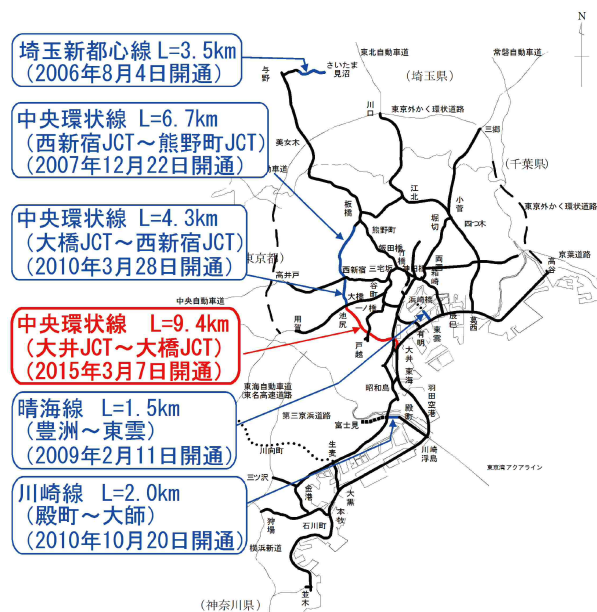


図-1 近年のネットワーク整備の変遷

2. 中央環状線（大井JCT-大橋JCT）の概要と効果

中央環状線（大井JCT～大橋JCT）は、湾岸線（大井JCT）から中央環状線（大橋JCT）に接続する路線で、路線延長が9.4kmである。道路構造としては、トンネル構造が約8.4km、高架構造が約0.6km、擁壁構造が約0.4kmである。車線数は片側2車線であり、内回りに五反田出口を、外回りに五反田入口を有する。内回り、外回りの合計利用台数は約6.1万台/日である。平成27年3月7日の中央環状線（大井JCT～大橋JCT）の開通により、中央環状線が全線開通して環状道路が形成された。

(1) 全線の利用台数の変化

中央環状線全線開通による首都高速道路全線の利用台数の変化を図-2に示す。

全線の利用台数は、中央環状線全線開通前の1,006,206台/日に対し、中央環状線全線開通後は1,038,801台/日と、33,595台/日（+3.2%）増加している。

(2) 主要断面の交通量の変化

中央環状線全線開通による主要断面の交通量の変化を図-3に示す。

中央環状線（大井JCT～大橋JCT）の開通により、中央環状線より内側の交通量は減少し、中央環状線及び中央環状線より外側の交通量は増加している。このことから、都心部に集中する交通の分散が図られていることがわかる。

(3) 全線の渋滞損失時間の変化

中央環状線全線開通による全線の渋滞損失時間の変化を図-4に示す。

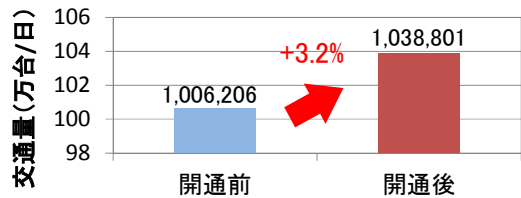
全線の渋滞損失時間は、中央環状線全線開通前の90,805台・時/日に対し、開通後は79,796台・時/日と、11,009台・時/日（12.1%）減少している。

3. 環状道路開通による交通状況の変化

(1) 交通状況変化の仮説と検証方法

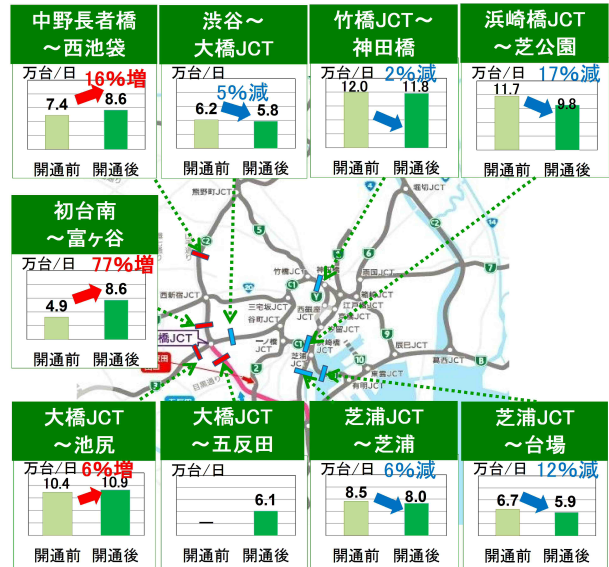
首都高速道路の路線を都心環状線、中央環状線より内側、中央環状線、中央環状線より外側、東京線以外に分類し、渋滞損失時間の変化を図-5に示す。

これより、都心環状線及び中央環状線より内側では渋滞の減少が顕著であり、開通前に比べて都心環状線では19.6%、中央環状線より内側では37.8%減少している。しかし一方で、中央環状線より外側では+3.9%、東京線以外では+5.1%と増加している。中央環状線より外側では、3号渋谷線上り大橋JCT付近で中央環状線への分岐



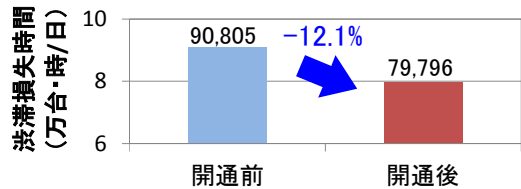
※開通前: H26.10～12月 平日平均
開通後: H27.10～12月 平日平均

図-2 交通量の変化（平日平均）



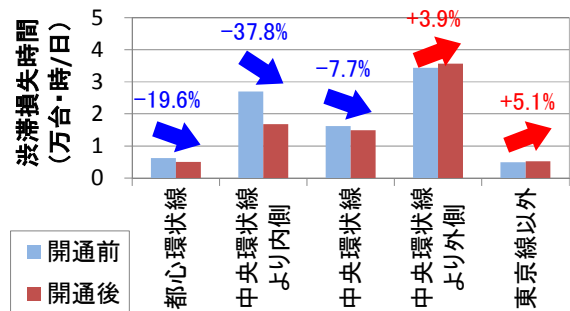
開通前: 平成26年10月～12月 平日平均
開通後: 平成27年10月～12月 平日平均

図-3 主要断面の交通量の変化



※開通前: H26.10～12月 平日平均
開通後: H27.10～12月 平日平均

図-4 月別渋滞損失時間の変化（平日平均）



※開通前: H26.10～12月 平日平均
開通後: H27.10～12月 平日平均

図-5 路線分類別の渋滞損失時間の変化（平日平均）

交通が増加して大橋JCT手前で車線利用の偏りが生じて渋滞が増加した等のため、また、東京線以外では、3号渋谷線下りの渋滞を回避できる経路として、中央環状線（大井JCT～大橋JCT）や湾岸線、狩場線などが活用されているため、渋滞損失時間が増加したと推察される。

本稿では、環状道路開通による効果に関して、以下の仮説を立てて検証を行う。

- 中央環状線より内側の上り線の渋滞緩和：時間帯別渋滞量の時間変動の変化から夕ピークより朝ピークの効果が大きいか検証
- 経路選択数増加による路線の渋滞持ちこたえ力の上昇：渋滞損失時間と交通量の散布図を作成し、開通前後の近似直線の傾向から、環状道路開通によって渋滞しづらくなったか検証
- 中央環状線全線開通による高い効果の発現：路線開通ごとに渋滞の減少度合いを確認し、全線供用のタイミングで渋滞が大きく減少しているか検証
- 渋滞緩和による誘発交通の増加：都心環状線と中央環状線の台キロの月変動から、中央環状線開通直後は都心環状線の台キロが減少、中央環状線は増加し、一年経過時には都心環状線の台キロが徐々に増加、中央環状線の台キロは変化していないか検証

(2) 朝・夕ピーク時間帯の渋滞状況の変化

中央環状線全線開通による流入交通量と渋滞量の関係を整理する。

時間帯別流入交通量の時間変動を図-6に、時間帯別渋滞量の時間変動を図-7に示す。なお、渋滞量とは40km/h以下の区間長の総和を表す。

分析の結果、以下の傾向が見られる。

- 図-6より流入交通量は一日を通して増加傾向にあり、朝ピーク時間帯では8時台に最大+3.9千台/時、夕ピーク時間帯では17時台に最大+4.3千台/時となっている。また、開通前後ともに朝ピーク時間帯が8時台、夕ピーク時間帯が17時台であり、流入交通量の変動傾向は中央環状線全線開通前後で大きな変化はない。
- 図-7よりピーク時間帯に関して、開通前後ともに朝ピークは11時台、夕ピークは17時台であることがわかる。また、渋滞損失時間の減少率は、朝ピーク時間帯は15km・h/時、夕ピーク時間帯は8km・h/時と朝ピーク時間帯の方が減少幅が大きい。これは、図-8のように、朝ピーク時間帯の渋滞は上り線で生じることが多く、中央環状線によって交通が分散できるようになり、渋滞が緩和している。一方で、夕ピーク時間帯の渋滞は下り線で生じることが多く、交通が集中するようになり、朝ピークより緩和幅が小さいと考えられる。

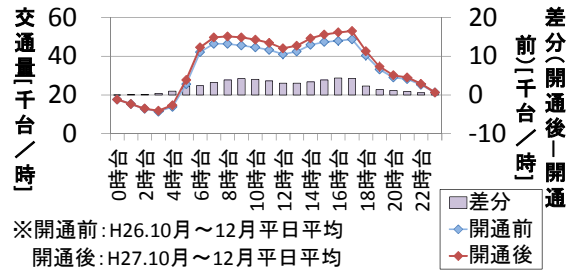


図-6 時間帯別流入交通量の時間変動

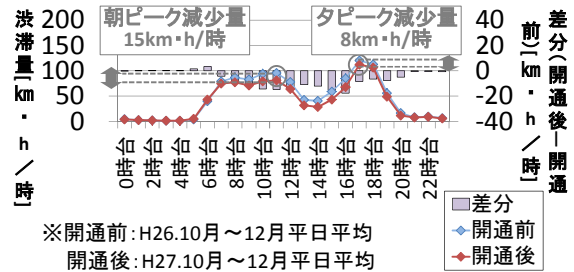


図-7 時間帯別渋滞量の時間変動

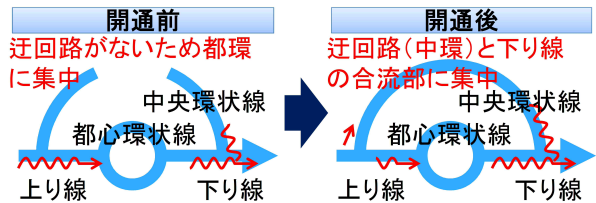
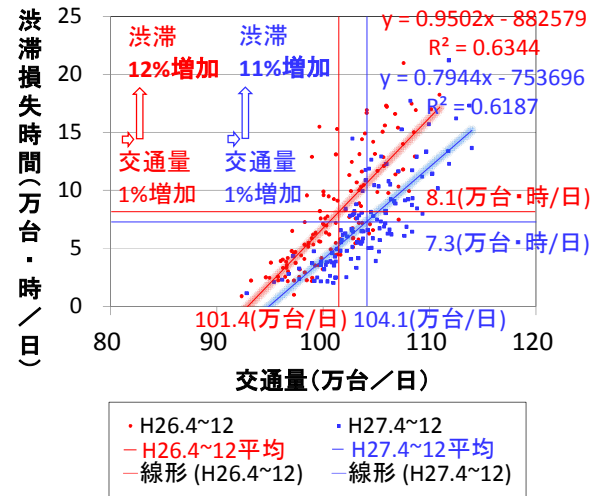


図-8 開通前後の渋滞延伸メカニズム



※土曜、日曜・祝日、雨日、お盆期間(8月12～16日)、年末(12月最終週)除き

図-9 交通量と渋滞損失時間の関係

(3) 交通量と渋滞損失時間の関係の変化

交通量が増加した時の渋滞損失時間の増加傾向から、交通量増加による許容度合いの変化について考察する。

開通前後の交通量と渋滞損失時間の関係を図-9に示す。

交通量と渋滞損失時間の関係を開通前後で比較すると、中央環状線全線開通したことにより、同程度の交通量でも渋滞損失時間が低くなっており、渋滞しづらくなっていることが読み取れる。更に開通後は近似直線の傾きが緩やかになっている。これは、環状道路開通によって渋

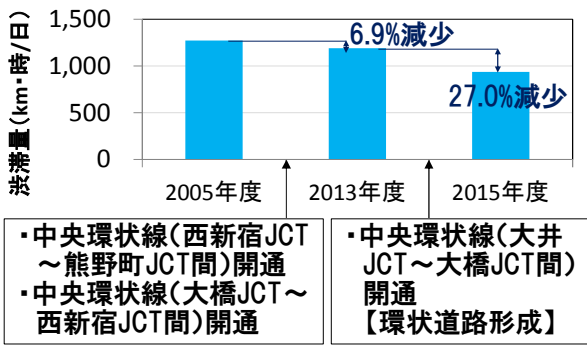


図-10 環状道路開通の進捗状況別渋滞量

渋滞を回避した経路選択が可能となり、交通量が増加しても渋滞しづらくなっていることを表す。

(4) 環状道路開通の進捗状況別効果の変化

環状道路が全線開通しているかにより、効果の発現度合いが異なるか比較する。

環状道路開通の進捗状況別渋滞量を図-10に示す。

中央環状線(西新宿JCT～熊野町JCT間)と中央環状線(大橋JCT～西新宿JCT間)が開通した時の効果は渋滞量が6.9%減少しているのに対して、中央環状線全線開通した時の効果は渋滞量が27.0%と一部開通よりも減少している。このことから、環状道路開通による効果は全線開通前は効果が低く、全線開通すると効果が高いという結果が読み取れる。

(5) 都心環状線、中央環状線利用台数の推移

中央環状線全線開通直後は、これまで都心環状線を利用していた交通の多くが中央環状線を利用するため、都心環状線の渋滞が緩和する。しかしある程度時間が経過すると、誘発交通によって都心環状線の利用台数が増加すると考えられる。ここでは、時間経過に伴う都心環状線、中央環状線の利用状況の変化を分析する。

都心環状線の台キロの月変動を図-11に、中央環状線の台キロの月変動を図-12に示す。

中央環状線全線開通直後と一年経過後を比較すると、開通直後はこれまで都心環状線を利用していた交通の多くが中央環状線へ転換していることが読み取れる。また、一年経過すると都心環状線は若干交通が増加し、中央環状線はあまり変化がないことから、近距離トリップなどの誘発交通によって台キロが上昇していると考えられる。これは、街路の交通を受け持つ量が上昇していることを表しており、都市高速道路としての機能が強化されていると言える。しかし一方で、中央環状線への交通の転換によって、図-13、図-14のように中央環状線を先頭とした渋滞が増加する可能性があることを留意する必要がある。

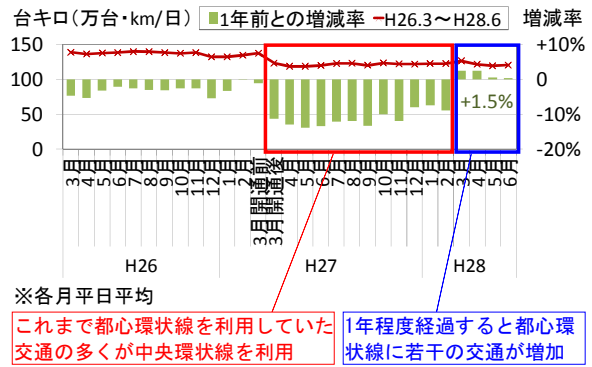


図-11 都心環状線の走行台キロの月変動

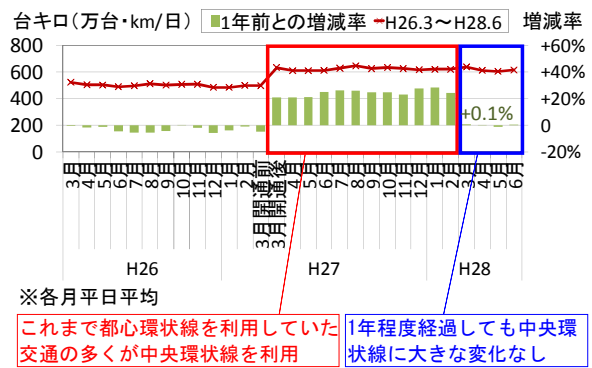


図-12 中央環状線の走行台キロの月変動

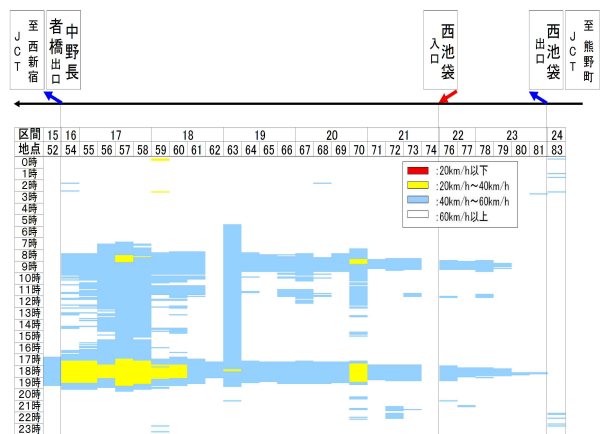


図-13 渋滞発生状況(開通前: H26.10-12 平日平均)

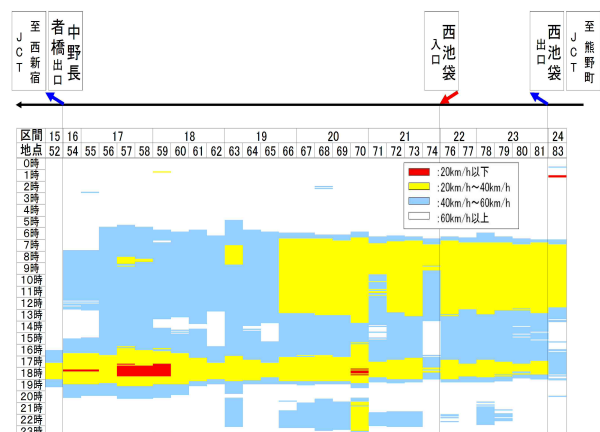


図-14 渋滞発生状況(開通後: H27.10-12 平日平均)

5. 集計QKによる路線分類別の渋滞状況の変化

環状道路と複数の放射線が網み目の様になり、迂回路が複数増加するので効率的にネットワークが活用されるようになる。ここでは、中央環状線開通前後のネットワーク使われ方を集計QKによって確認する。

首都高速道路の路線を都心環状線，中央環状線より内側（上り線・下り線別），中央環状線，中央環状線より外側（上り線・下り線別），東京線以外に分類して，中央環状線全線開通前後の集計QKの形状の変化について考察する。

集計QKとは，2008年に吉井ら¹⁾によって，MFD²⁾の考え方を参考に，エリアの交通状態を示す指標として提唱された指標であり，以下の式(1)，式(2)より算出される。

$$Q = \sum_{i \in L} (q_i \times d_i) / L_{lane} \quad (1)$$

$$K = \sum_{i \in L} (k_i \times d_i) / L_{lane} \quad (2)$$

- ここで， Q : 集計交通流率 (台・km/h/lane)
- K : 集計交通密度 (台/エリア/lane)
- q_i : リンク i の交通流率 (台/h)
- d_i : リンク i の区間長 (km)
- k_i : リンク i の交通密度 (台/km)
- L : 制御対象エリア内のリンクの集合
- L_{lane} : 総車線延長 (km)

この集計交通流率と集計交通密度の関係が集計QK関係である。

本指標の特徴としては，以下が挙げられる。

- ①集計交通流率とは，対象範囲，全時間帯の走行台キロの総和である。集計交通流率と渋滞損失時間の関係は，**図- 15**のように開通前510.8台・km/h/lane，開通前532.5台・km/h/laneで渋滞が発現し始めることがわかる。
- ②集計交通流率がある一定値に達すると，同じ集計交通流率のまま，集計交通密度が増加し始める。
- ③集計交通密度とは，対象範囲の各区間の交通密度に区間長を乗じた値の全時間帯の総和である。集計交通密度と渋滞損失時間の関係は，**図- 16**のように8.6～8.7台/エリア/lane付近で渋滞し始めることがわかる。
- ④集計交通密度は，値が高いほどネットワーク全体が渋滞している状況を表す。
- ⑤原点からの傾きはネットワーク全体の速度を表す³⁾。
- ⑥集計QKの一日の動きを見てみると，円を描いていることがわかる。これは，クロックワイス・ヒステリシス・ループ⁴⁾と呼ばれ，**図- 17**のような関係を表している。首都高速道路では，朝時間帯と夕時間帯に一日に二回ピークがあるため，**図- 18**のように一日に二回，

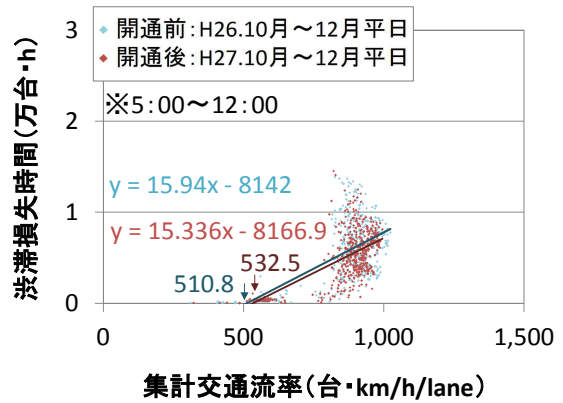


図-15 集計交通流率と渋滞損失時間の関係 (全線)

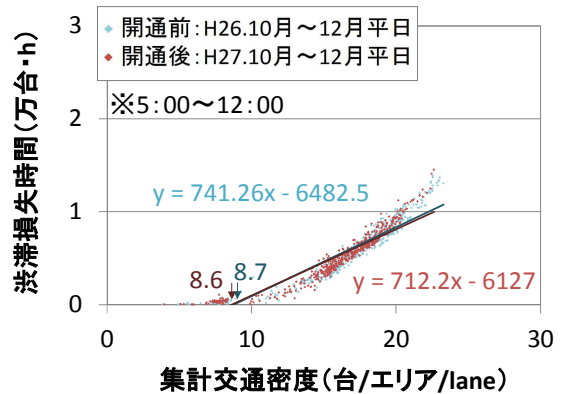


図-16 集計交通密度と渋滞損失時間の関係 (全線)

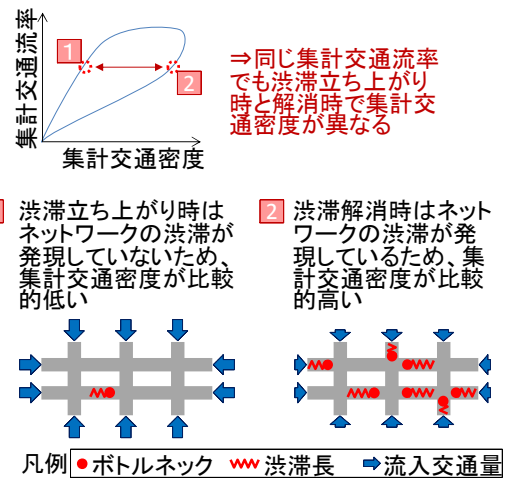


図-17 クロックワイス・ヒステリシス・ループの概念

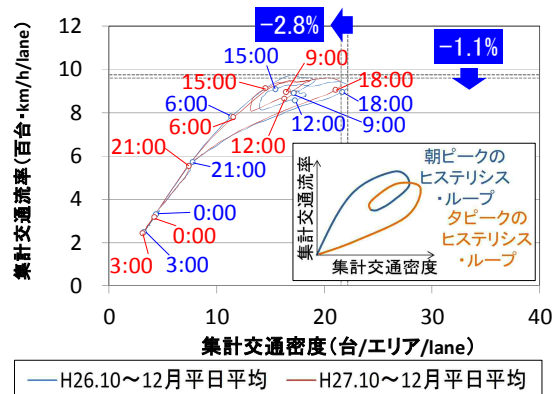


図-18 全線の集計QK

クロックワイス・ヒステリシス・ループが見られる特徴がある。

⑦集計QKの集計対象範囲の大小に応じて、クロックワイス・ヒステリシス・ループが大小する。

首都高速道路以外で集計QKを活用した事例として、米澤ら⁹⁾、遠藤ら⁶⁾、吉井ら⁷⁾はエリア流入制御が有効となる条件や制御方法について検討している。また、米澤ら⁸⁾、松本ら⁹⁾は、エリアの交通状況を表す指標として集計QKとLP制御の比較している。更に、吉井ら¹⁰⁾はシミュレーションを用いて一般道への影響を検討している。

首都高速道路において集計QKを活用した事例として、稲富ら¹¹⁾は最適な流入制御について検討している。また、割田ら¹²⁾、¹⁴⁾、稲富ら¹⁵⁾は中央環状線全線開通による集計QKグラフの形状の変化や大規模イベント時の流入制御方法を検討しており、集計QKは環状道路の交通状況の変化を評価できる有効な指標であると言える。更に、南ら¹³⁾は都心環状線の任意の入口工事時のデータを利用して流入制御の効果を分析している。

図-19、図-20、図-21、図-22、図-23、図-24、図-25は、期間内の同時刻の集計交通流率と集計交通密度に関して、5分毎に同時刻の平均値を算出して、時々刻々と変化する値を時系列ごとにトレースした結果である。本稿では、集計QKの時間的な推移について分析する。

- ・ 図-19より都心環状線では、中央環状線に交通が迂回したことで、8時頃の集計交通流率は減少している。また、3号渋谷線下りの渋滞が都心環状線まで延伸する等の影響により18時頃の集計交通密度は増加している。更に、他の路線分類と比べて都心環状線では、集計交通流率の最大値が高い。これは、都心環状線では様々な路線と接続しており、分合流も多く、他路線の走行時と比べて前方車や周辺環境を注意深く観察して走行しており、併せて追従意識も高まっていると推察される。
- ・ 図-20より中央環状線では、中野長者橋付近の渋滞の増加により8時台の集計交通流率が減少している。一方で路線延長が増加したことや迂回交通量の増加に伴って、6~7時台、15~17時台の集計交通流率が増加し、18時頃の集計交通密度も減少している。
- ・ 図-21より中央環状線より内側の上り線では、都心環状線の渋滞が減少したことで先詰まり渋滞が緩和し、8時頃の集計交通密度が減少している。一方で、集計交通流率は変化なし。更に本箇所は集計交通密度の減少率が最も大きく、ネットワーク全体の速度は24.8km/hから42.5km/hと約17.7km/h上昇している。また、ネットワーク全体の速度は中央環状線全線開通前は夕方方に最も低い値を観測していたが、開通後は朝ピーク時間帯に観測している。
- ・ 図-22より中央環状線より内側の下り線では、下り

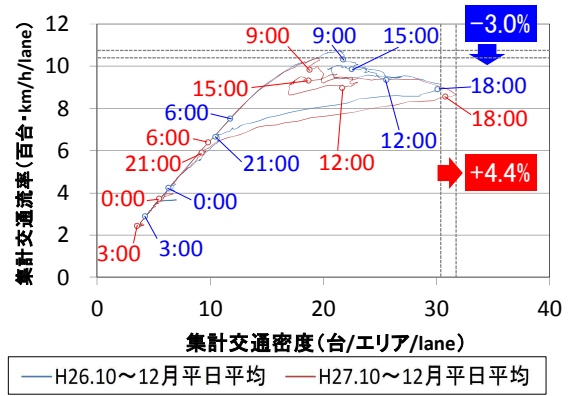


図-19 都心環状線の集計QK

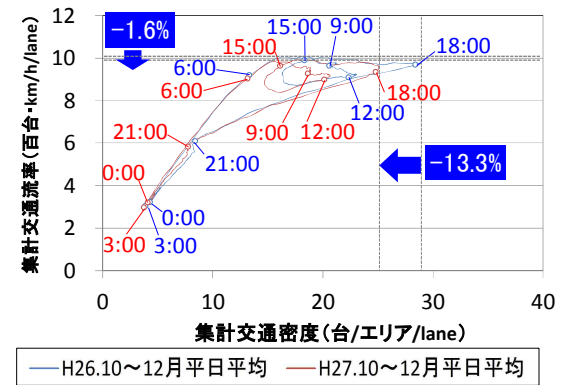


図-20 中央環状線の集計QK

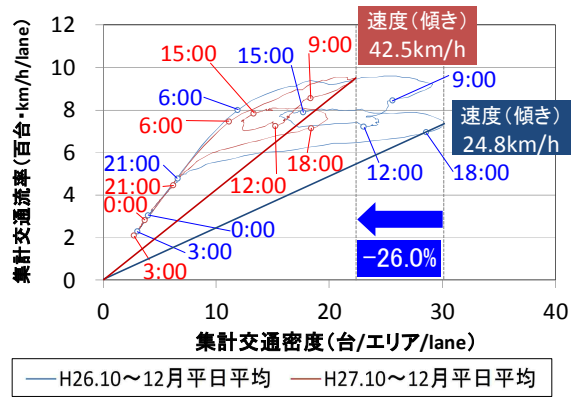


図-21 中央環状線より内側の上り線の集計QK

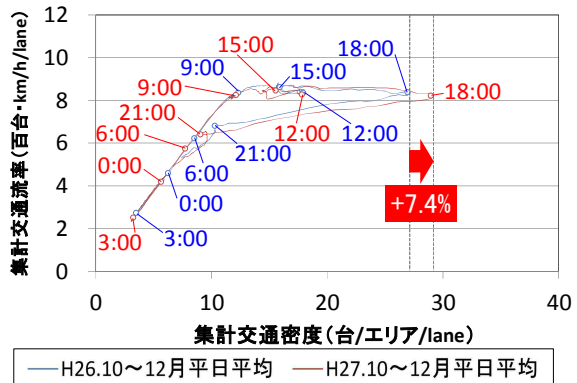


図-22 中央環状線より内側の下り線の集計QK

線と中央環状線の合流部の渋滞（3号渋谷線下り等）が増加したことで18時頃の集計交通密度が増加している。一方で集計交通流率に大きな変化は見られないことがわかる。

- 図- 23より中央環状線より外側の上り線では、17時台の集計交通密度が増加している。集計交通流率は中央環状線分岐部において、渋滞を回避した経路選択が可能となり、15～17時台に若干増加している。また、他の路線分類と比べて中央環状線より外側の上り線では、集計交通流率の最大値が高い。これは、中央環状線より外側上り線の需要が、中央環状線と中央環状線より内側に分割されることになるため、中央環状線等では集計交通流率の最大値が低く、中央環状線より外側では集計交通流率の最大値が高いと推察される。
- 図- 24より中央環状線より外側の下り線では、下り線と中央環状線の合流部の渋滞（3号渋谷線下り等）が増加したことで17時台の集計交通密度が増加している。一方で集計交通流率は18時頃に若干増加している。また、中央環状線より外側の下り線では、中央環状線より外側の上り線と同様の理由により他の路線分類と比べて集計交通流率の最大値が高い。
- 図- 25より東京線（神奈川線と埼玉線）以外では、7時頃の集計交通流率が低下し、7時台、17時台の集計交通密度が増加している。

6. おわりに

本稿では、環状道路が全線開通したときの首都高速道路の交通状況への影響を整理した。その結果、以下のような変化が生じることがわかった。

- 中央環状線より内側では迂回交通により、交通渋滞が大幅に減少（37.8%減少）する。
- 朝ピーク時間帯の渋滞は、交通が分散できるようになり、渋滞が減少している。一方で、夕ピーク時間帯の渋滞は、交通が集中するようになり、朝ピークよりは減少幅が小さい。
- 中央環状線前線開通により、経路選択箇所が増加したことで渋滞を回避した経路選択が可能となり、同じ交通量だけ増加しても渋滞しづらくなっている。
- 中央環状線全線開通による効果は、全線開通前は効果が低く、全線開通すると効果が高いという結果が読み取れる。
- 全線開通後は、これまで都心環状線を利用していた交通の多くが中央環状線を利用するようになるが、一年程度経過すると都心環状線が若干増加する。
- 集計QKを活用することによって、高規格の環状道

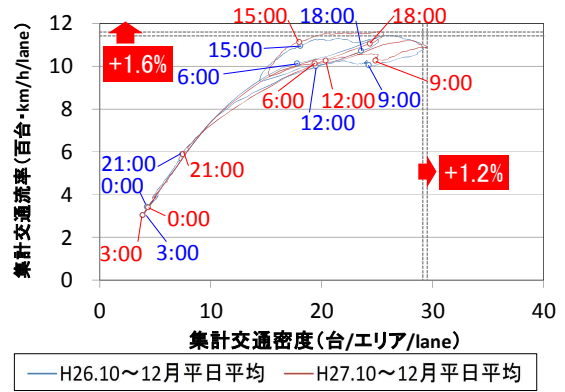


図-23 中央環状線より外側の上り線の集計 QK

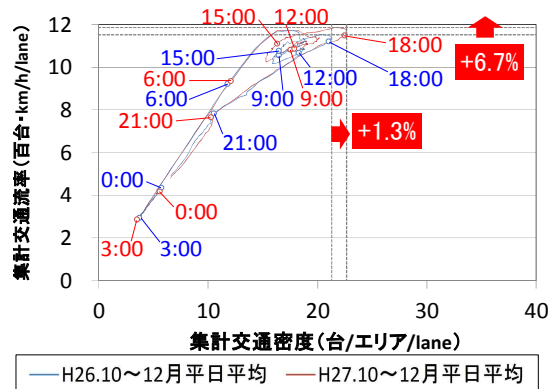


図-24 中央環状線より外側の下り線の集計 QK

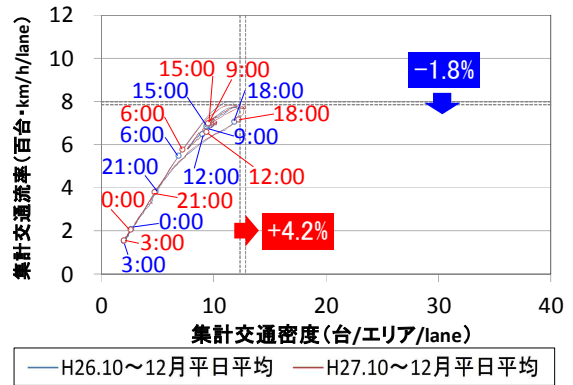


図-25 東京線以外の集計 QK

路開通による影響を時間帯別に把握できる。例えば、都心環状線では、中央環状線に交通が迂回したことで、8時頃の集計交通流率は減少している。また、3号渋谷線下りの渋滞が都心環状線まで延伸する等の影響により18時頃の集計交通密度は増加している。

更に今後は、首都圏の新たな高速道路料金に伴う交通状況への影響、板橋-熊野町JCT間等のボトルネック区間の車線数増加や横浜北線、横浜北西線等の新規路線整備、外環道や圏央道の開通に伴う交通状況の変化など分析を実施していく。

参考文献

- 1) 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, 土木計画学研究発表会・講演集, Vol.37, 2008.
- 2) Gerolimins N. and Daganzo C.F., Macroscopic modeling of traffic in cities, 86th Annual Meeting Transportation Research Board, Washigton D.C. 2007
- 3) 米澤悠二, 吉井稔雄, 北村隆一: 集計 QK を用いたエリア流入制御の実施効果検証, 土木計画学研究論文集, Vol.26, 2009.
- 4) Gayah, V.V. and Daganzo, C.F. (2011) : Clockwise hysteresis loops in the macroscopic fundamental diagram: An effect of network instability, Transportation Research Part B, 45(4):643-655.
- 5) 米澤悠二, 吉井稔雄, 北村隆一: 集計 QK を用いたエリア流入制御の有効性に関する研究, 土木計画学研究発表会・講演集, Vol.39, 2009.
- 6) 遠藤皓亮, 吉井稔雄, 藤井聡: 環状ネットワークにおける集計 QK を用いた流入制御の適応性, 交通工学研究発表会論文集, 第 30 回, 2010.
- 7) 吉井稔雄, 前原慎也, 高山雄貴: 東南アジア諸都市への導入に適した集計 QK 制御の考案, 土木計画学研究発表会・講演集, Vol.47, 2013.
- 8) 米澤悠二, 吉井稔雄, 北村隆一: 都市内高速道路における集計 QK エリア流入制御の実施効果検証, 交通工学研究発表会論文集, 第 29 回, 2009.
- 9) 松本洋輔, 吉井稔雄: 集計 QK ならびにローカル LP を組み合わせたランプメータリング制御の提案, 交通工学研究発表会論文集, 第 31 回, 2011.
- 10) 吉井稔雄, 高山雄貴, 松本洋輔: 集計 QK を利用したランプ流入制御手法の有効性評価, 土木学会論文集 D3, Vol.69, 2013.
- 11) 稲富貴久, 割田博, 桑原雅夫, 佐藤光: 首都高速道路における集計 QK を用いた流入制御の適用に向けた検討, 土木計画学研究発表会・講演集, Vol.41, 2010.
- 12) 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.
- 13) 南航太, 割田博, 山口大輔, 吉井稔雄: 首都高速道路におけるピーク時間帯の需要抑制による日渋滞量の低減可能性, 交通工学研究発表会論文集, 第 34 回, 2014.
- 14) 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.
- 15) 稲富貴久, 割田博, 桑原雅夫, 吉井稔雄: 首都高速道路における大規模イベント開催時を対象とした集計 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.53, 2016.

(2016.7.31)

ANALYSIS OF THE TRAFFIC SITUATION
BY DEVELOPING THE RING ROAD
USING THE MACROSCOPIC FUNDAMENTAL DIAGRAM

Satoshi ENDO, Norihiro IZUMI, Atsushi TANAKA and Daisuke YAMAGUCHI

The Central Circular Route (Oi Junction-Ohashi Junction) opened the first among the three Circular Routes in the metropolitan area. It is the first high-standard circular route that was introduced in Japan for controlling inflow of traffic into the central area. Its impacts need to be analyzed from various perspectives, including its effects unique to circular routes such as traffic dispersion and efficiency of traffic flow in the area. Impacts of opening of high-standard circular route on the traffic of the Metropolitan Expressway are sorted out in the paper.

Analysis results show new findings as follows; i) traffic congestion inside the Circular Route reduces significantly because of diverted traffic, ii) traffic congestion reduces more in the morning peak time because of traffic dispersion and it reduces less in the evening peak time as traffic concentrates, iii) routes can be selected and traffic congestion is less likely to occur even when the traffic volume increases.