

高速道路における路肩を用いた 動的な付加車線運用に関する研究

岩永陽^{*1}・桑原雅夫^{*2}・田中伸治^{*3}

東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻^{*1}

教授、東京大学国際・産学共同研究センター^{*2}

助手、東京大学生産技術研究所^{*3}

論文概要

本論文では、従来の様な交通インフラの整備水準を一律に上げる渋滞対策に変わる新たな効率的施策として、交通需要に応じて交通容量を動的に変動させる「動的インフラ」を提案し、そのケーススタディの一つとして路肩を用いた動的な付加車線運用について今後の展望も含めて考察を行う。具体的には、動的インフラの海外事例を紹介した後、わが国における付加車線運用の実用に向けて検討すべき渋滞緩和効果と運用方法について分析し、その結果について報告する。

Investigation of dynamic use of road shoulder as a travel lane on a congested expressway

By Akira IWANAGA^{*1}・Masao KUWAHARA^{*2}・Shinji TANAKA^{*3}

Graduate school of Engineering, University of Tokyo^{*1}

Center for collaborative research, University of Tokyo^{*2}

Institute of Industrial Science, University of Tokyo^{*3}

Abstract

This paper proposes "Dynamic infrastructure" i.e. to change the road capacity dynamically according to the time-dependent demand as a new and efficient measure to replace the traditional congestion reduction measures which raise the capacity of traffic infrastructure permanently. Here, we focus on the dynamic use of road shoulder as a normal lane during congested period on an intercity motorway as a case study. After introducing several overseas practices of "Dynamic infrastructure", we quantitatively analyze how much traffic capacity can be gained and discuss operational issues about the practical use of the shoulder lane.

Keyword: *Dynamic Infrastructure, Shoulder, Driving Simulator*

1. はじめに

近年、我が国の高速道路における渋滞の損失額は年間約 9400 億円にも上ると言われている。これを一人当たりで換算する 7000~8000 円になる。このように莫大な損失をもたらす渋滞が発生する原因は、時間や曜日によって交通需要が動的に変動しているのに対し、供給側である交通インフラの容量は固定的で限界があるためと考えることも出来る(図 1)。渋滞を未然に防ぐために設計段階で既存の情報から需要を想定し、それを基に供給レベルを決定したとしても将来の不確定要素や潜在的な需要などがあるために渋滞の発生を回避することは非常に困難である。

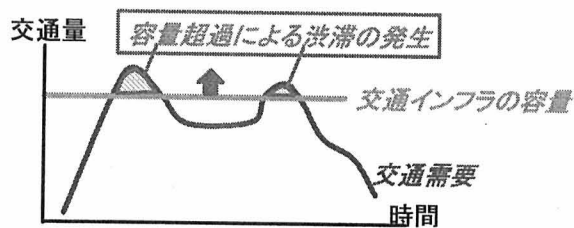


図 1. 渋滞発生メカニズム

そのため、これまでは渋滞を解消するために、道路の拡幅など道路構造を大規模に改変することで交通インフラの整備水準を一律に上げる対策が主に採られてきた。しかし、渋滞が発生するのは土日や祝日の朝夕ラッシュ時などのごく一部の時間帯に過ぎず一律に整備水準を上げるのは効率が悪い上、我が国の高速道路は地形的に厳しい箇所でも運用されていることが多いため、道路の拡幅は非常にコストがかかる。そこで既存の道路構造を大規模に改変することなく、交通インフラの容量を需要に応じて動的に変動させることが出来れば、地形的に制限の厳しい箇所においても道路資源を有効利用し、効率的な渋滞緩和の施策が可能になると考えられる(図 2)。

本研究では、このように交通需要に応じて交通容量を動的に変動させるインフラを「動的インフラ」と定義する。ただし、交通インフラの物理的な形状を動的に変えることは非常に困難であるため、マーキング等によって車線運用を変える方法を考える。その一つのケーススタディとして、本研究では路肩を動的に付加車線として開放する道路を想定している。適応箇所としては、サグ部などのボトルネック地点での運用が考えられる。この路肩を付加車線として利用することによる効果や影響について、途上の段階ではあるが今後の展望も含めて報告する。

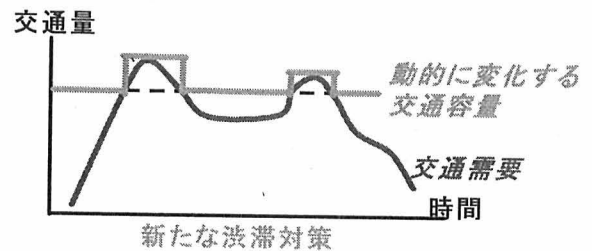
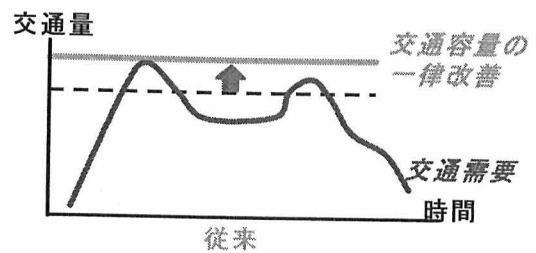


図 2. 従来と動的インフラの渋滞対策方針の違い

2. 海外における動的インフラの事例

ドイツやオランダなどでは、Dynamic Road Marking という可変レーンマーキングを用いて高速道路の分合流部のチャネルリゼーションを試験的に実施している。図 3 はドイツの事例であり、右側 2 車線が一時的に流出車線として運用されている。

また、ドイツでは将来拡幅予定の計画がある区間のみではあるが、時間帯を限定した路肩の走行車線運用を実施している。一例として、フランクフルト近郊のアウトバーンでは、渋滞対策として朝夕のピークの時間帯に路肩を開放し、車線数を 3 車線から 4 車線に増やしている(図 4)。その結果、頻繁に発生していた渋滞が大きく緩和されるとともに、渋滞時のイライラによるドライバーの危険な追い越し行動が減少したと報告されている¹⁾。

このように、海外では既に動的インフラを導入し、積極的に交通を制御している。



図 3. 可変チャネルリゼーション(ドイツ)



図4. ピーク時の路肩の付加車線運用 (ドイツ)

3. 研究内容

3-1 研究概要

わが国における動的インフラの研究はまだ始まったばかりで手探りの状況である。そこで手始めとして、サグ部などのボトルネック地点付近の路肩にあらかじめマーキングを引き、情報板などを用いてピーク時のみ動的に付加車線として利用する道路について考えることにした。もちろん、ピーク時以外は通常通り路肩の走行を禁止する (図5)。

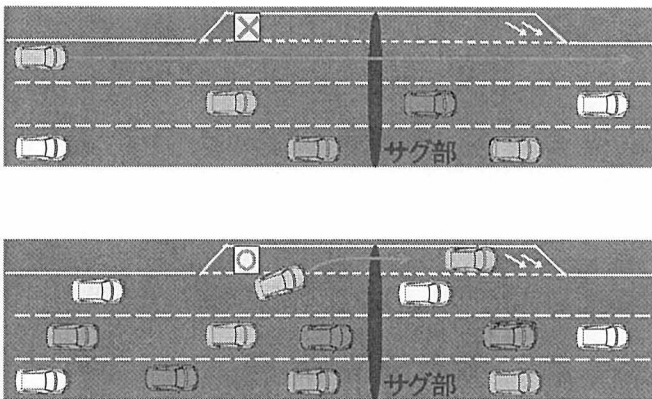


図5. 路肩の付加車線利用イメージ
(上: オフピーク時、下: ピーク時)

この路肩の動的な付加車線運用に向けて検討すべき項目として以下のようなものが挙げられる。

1. 渋滞緩和効果 (交通容量など)
2. 運用方法 (ドライバーへの情報提示方法など)
3. 安全性 (合流時の錯綜など)
4. 路肩本来の機能の維持 (事故車や緊急車への対応など)
5. コスト (工事費など)

他にも考えられるが、本研究ではこの中でも優先して検討すべきとして1.渋滞緩和効果と2.運用方法に着目する。渋滞緩和効果に関しては実データを用いた付加車線設置効果の分析を、運用方法に関してはドライビングシミュレータ (図6) 実験による路肩開放時のドライバー反応分析をそれぞれ行う。

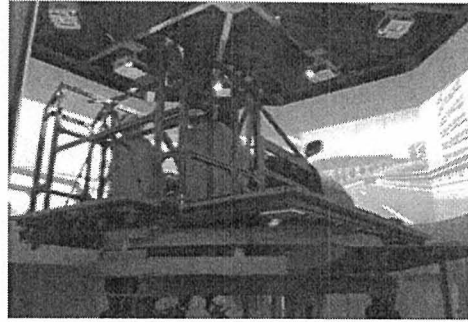


図6. ドライビングシミュレータ

3-2 渋滞緩和効果分析

実データを用いて付加車線設置効果を分析すると言っても、国内では動的な付加車線運用が行われている事例がないため、直接効果の評価を行うことは不可能である。そこで、代替案として渋滞対策で恒常的な付加車線を設置した事例の事前事後の評価を行うこととした。その対象地点として、本研究では東名高速道路上り綾瀬バス停付近を取り上げた。

対象地点である東名高速道路上り綾瀬バス停付近では、以前はサグ部での速度低下および海老名SAからの本線合流に伴う交通の輻輳など複合的な要因により、年間に約100回も渋滞が起こる地点であった。そこで、渋滞対策として2003年に交通容量の増大および海老名SAから本線への合流の円滑化を目的として、海老名SAから綾瀬バス停まで加速車線が延伸された (図7, 図8)。その結果、渋滞時における通過時間は以前と比較し3割程度短縮されたと報告されている²⁾。



図7. 加速車線延伸後の綾瀬バス停付近

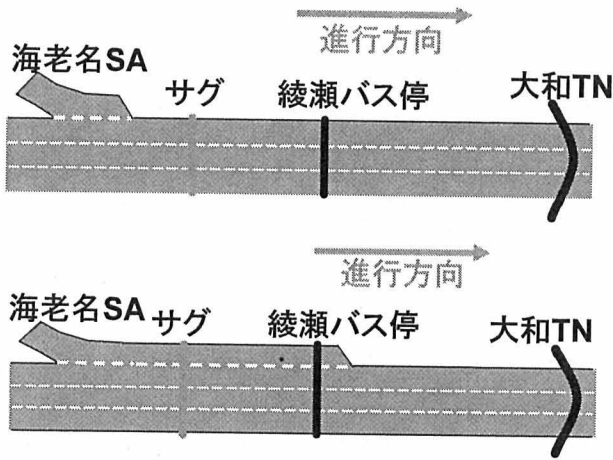


図 8. 加速車線延伸前(上)と後(下)の道路線形

この地点を取り上げた理由は、加速車線が延伸される前（3車線）と後（4車線）の状態が、本研究で想定している路肩開放（3車線⇒4車線）前後の状態に等価であると考えられるためである。そこで、付加車線設置効果の分析に2000年（事前）と2004年（事後）のそれぞれ1年間分の感知器データ（5分間毎）を用いて検証を行った。

まず、赤羽ら³⁾の渋滞検出閾値の設定方法より算出した基準値64km/hを下回った時間を渋滞開始時刻、64km/hを上回った時間を渋滞終了時刻と仮定して、交通量と速度変動のグラフから自然渋滞の継続時間と最低速度を求め、比較検討を行った（図9）。

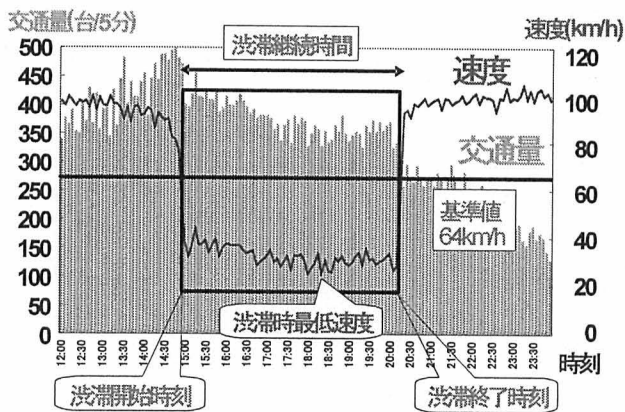


図 9. 渋滞継続時間と最低速度

その結果、平均渋滞継続時間は20%程度（300分→242分）、平均渋滞時最低速度は25%程度（25km/h→31 km/h）の改善が見られた。使用データの詳細と解析結果は以下の表1の通りである。

表 1. 使用データの詳細と解析結果

	2000年	2004年
データ範囲(月)	1~12	2~11
データ数(全日曜日数)	53	48
自然渋滞発生回数	29	17
渋滞時間(分)	300	242
最低速度(km/h)	25	31

ただし、これらの結果は2000年と2004年の交通需要のパターンがほぼ同一であるという前提の下での話である。そこで確認のために、綾瀬バス停より上流にあり渋滞の影響が出ていない場所（今回は東名上り御殿場IC付近を取り上げた）で一日の交通需要変動の比較を行った（図10）。

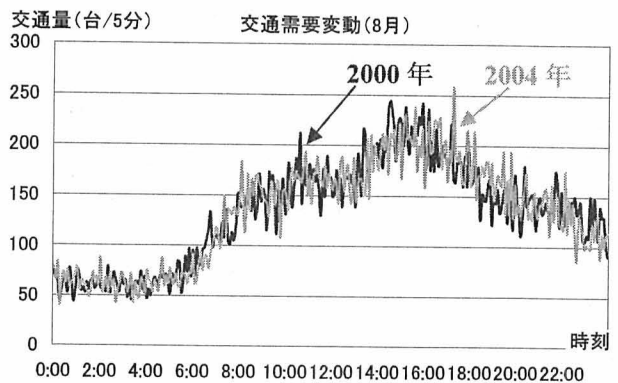


図 10. 交通需要パターンの比較

図10は一例として取り上げた8月のある日曜日同士の需要変動の比較であるが、需要パターンはほぼ同一であることが見て取れる。また、一日の総交通量を比べると2000年は38423台、2004年は38545台であり、2004年の方が122台の微増であった。よって、渋滞継続時間の減少と最低速度の向上は、加速車線を延伸したこと、つまり付加車線を設置したことによる効果であると考えられる。

次に、サグ部における加速車線延伸前後での追越車線の交通量について比較検討するために、付加車線運用を開始する目安となり得る断面交通量4000台/h以上の範囲で線形回帰を行った（図11）。求められた回帰関数に、この地点における実現最大値5500台/hを代入して追越車線の交通量を算出すると、2000年（上段）では約2421台/h、2004年（下段）では約2218台/hとなった。一般的に渋滞の発生は追越車線の交通容量に依存すると言われているため、同じ断面交通量で追越車線の利用台数が減少しているということは、渋滞の発生を遅らせられる可能性があると考えられる。

また、路肩に付加車線を設置した場合（直近下流にトンネルなどが無いと仮定）、ボトルネックとなるのはそのままサグ部か、付加車線の終端部であると思われる。そこで、まずサグ部が依然としてボトルネックとなる場合について、先ほどのデータ（図11）を用いてどの程度交通量を稼ぐことが出来るか試算した。追越車線で延伸前と同様の2421台/hを捌くことが出来ると仮定すると、回帰関数から全体として約5896台/hの捌け交通量が見込め、約400台/h稼ぐことが出来るという結果となった。ただし、サグ部が原因の渋滞では渋滞後の容量が渋滞の継続に伴って大きく低下してしまうという問題がある。

一方、終端部がボトルネックとなる場合についても、どれだけ交通量を稼げるか別途分析する必要があるが、終端部が原因の渋滞ではボトルネック箇所をはっきりとドライバーが認識出来るようになり、渋滞後の容量低下は比較的抑えられるため、容量上大きなメリットが期待できると考えられる。この効果については現在、都市間高速道路において合流部がボトルネックとなっている地点を対象に分析を行っている。

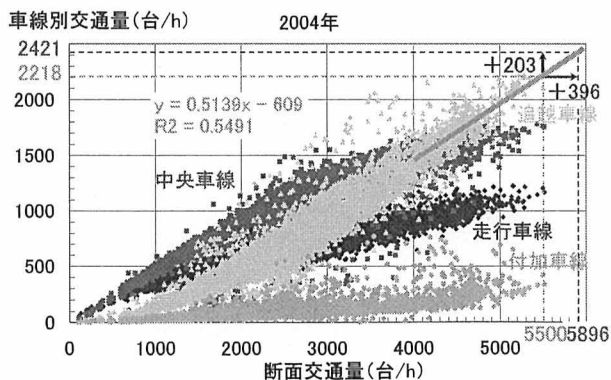
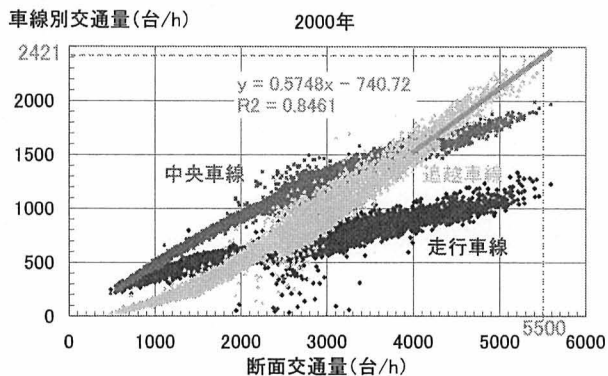


図 11. 追越車線交通量の線形回帰分析とその結果

3-3路肩開放時のドライバー反応分析

次に、路肩の付加車線運用方法について考える。路肩の動的な付加車線運用がドライバーにどの程度受容されるかは全くの未知数である。そもそもドライバーに利用されなければ路肩を付加車線として利用する意味がなくなってしまうので、出来るだけ多くのドライバーに利用してもらえようような運用方法を検討する必要がある。そこで本研究では、運用方法として以下の2つを考えた。これに比較対象として従来の登坂車線形式を加えた3パターンについてドライビングシミュレータ実験を行い、被験者の付加車線利用率の違いを調査する予定である。

- ①AHS（走行支援運転サービス）の様に可変情報板を用いて付加車線の利用を促すパターン（図12）
- ②LEDを用いた可変レーンマークで誘導するパターン（図13）

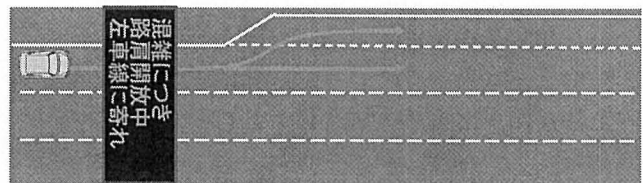


図 12. 可変情報板を用いるパターン

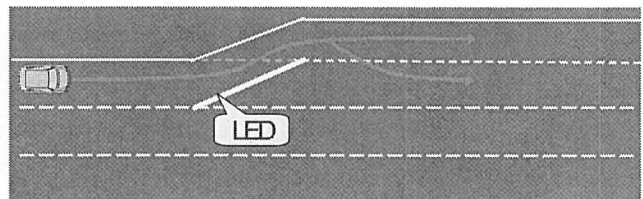


図 13. 可変レーンマーキングを用いるパターン

実験区間は、東名高速道路下り大和サグ付近の約5.5km、付加車線運用区間はサグの前後1kmを想定している（図14）。

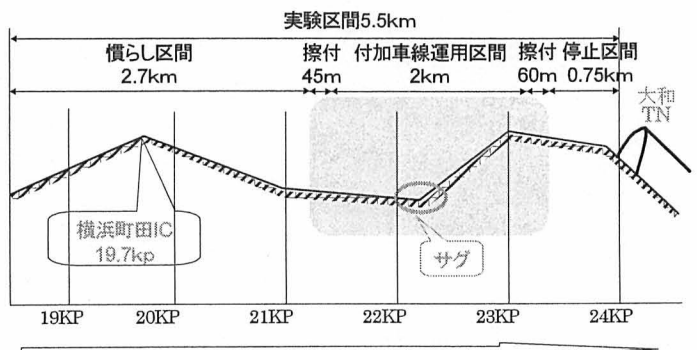


図 14. ドライビングシミュレータ実験対象区間

4. まとめ

本論文では、交通需要に応じて交通容量を動的に変動させる「動的インフラ」を提案し、そのケーススタディの一つとして路肩の動的な付加車線運用について考察した。そして、付加車線運用の実用に向けて検討すべき項目として渋滞緩和効果と運用方法について着目し、前者に関しては分析の結果いくつかの効果を実証することが出来た。

今後の予定としては、まず前述した分析途中の渋滞緩和効果の検証と運用方法についてのドライビングシミュレータ実験を行った後、付加車線運用の安全性やコストなどについて検討していきたい。現在考えている安全性の分析について簡潔に述べると、安全上問題となるのは、付加車線の途中で事故などが起こった場合や付加車線の直近下流で渋滞が起こった場合に、故障車や事故車が緊急で停めるスペースがない、緊急車両が通れないといった路肩本来の機能が損なわれることであるだろう。その場合早急に付加車線の利用車を本線に戻さなければならないのだが、全てのドライバーが容易に認識でき、かつ安全に合流が出来る方法を考える必要がある。その方法をいくつか考えドライビングシミュレータ実験で試してみたい。安全性を検証する指標としては、ステアリング操作量やブレーキ踏み込み量、TTCやPICUDやPTTC⁴⁾などを考えている。

最後に、動的インフラは道路インフラを最大限に有効活用し得るポテンシャルを持っており、日本のような狭い道路空間における次世代道路のひとつの方向であることは間違いないであろう。この新たな渋滞緩和策の実用化に向けて、今後メリットだけでなくデメリットも含めた両面について十分に検討を進めていくこととしたい。

謝辞

本研究に際し、分析に用いた感知器データをご提供頂いたNEXCO中日本の尾高寛信氏と首都大学東京の大口敬准教授に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 市川暢之・渡辺二夫・皆川聡一：ドイツ・スウェーデンにおける道路構造と交通運用に関する報告，高速道路と自動車，第48巻第10号，2005年10月
- 2) JH東京管理局：東名綾瀬地区（上り線）渋滞対

策事業の完成，技術情報誌EXTEC，66号，2003年

- 3) 赤羽弘和・越正毅：渋滞検出閾値のオンライン設定法，土木学会第42回年次学術講演集，pp.70-pp.71，1987年9月
- 4) 若林拓史・高橋吉彦・新美栄浩・蓮花一己：交通流ビデオ解析システムを用いた交通コンフリクト分析と新しい危険度評価指標の提案，土木計画学研究・講演集，Vol.20，No.4，pp.949-pp.956，2003.