

論文の内容の要旨

論文題目	交通流評価式と最適化手法による建設工事計画の高度化に関する研究 －進化計算を用いた車両待避区間の最適配置－
学位 申請者	天野 和洋

第1章：序論

建設工事においては、計画段階から工事中や竣工後の利用状況、周囲への影響度合いを視覚化して、計画の妥当性・安全性を確認しておくことが重要であり、シミュレーション技術が強力な手段となっている。このうち交通シミュレーションは、工事中の近隣環境への影響評価に利用されており、トンネルやダムなどの山間部での工事においても工事車両の運搬効率の評価に活用されている。資材搬入や土砂搬出に伴う工事車両の効率運行は施工計画上の重要な課題であり、狭隘な道路に想定以上の大型車が通るケースでは、すれ違いに用いる待避区間を最適配置することで、低コストで待ち時間を十分に減らす方策が必要となる。従来は、交通シミュレーションと試行錯誤によって待避区間を検討していたが、拡幅パターンの組合せは非常に多く、労力や時間を要する煩雑な作業となっていた。

本論文では、計算時間のかかる交通シミュレーションの代替手段として高速で汎用的な交通流評価式（評価式）を提案する。さらに、この評価式と進化計算を組合せることで、従来手法と比べて拡幅コストの少ない拡幅パターンをより短時間に算出することを可能にする。この研究成果は、煩雑さの解消に加え、パラメータスタディや多目的最適化を通じて、拡幅コストと待ち時間のバランスを検討する際の有効な判断材料を提供する効果がある。

第2章：関連研究

関連研究として、まず提案手法が代替しようとしている交通シミュレーションの分類と、その中でも提案手法で考慮すべき要素を含んだ追従モデルに基づく交通シミュレーションについての概要を説明する。続いて、最適化手法に関する研究として、はじめに最適化手法全般を概観した後に、提案手法で適用した遺伝的アルゴリズムを中心とした進化計算に関する手法、さらに多目的最適化に関する研究について記載する。その後、シミュレーションと最適化手法の組合せに関する研究について説明する。最後に、本研究の主な適用先である1.5車線の道路に関する研究について記載し、それに対する本研究の必要性を説明する。

第3章：狭隘区間と待避区間に対する評価式の提案

提案手法である評価式の具体的な構成方法を記載する。まず、すれ違い可能な車種の組合せを区間制約として整理した上、想定される車両の到着分布について確認する。その上で、狭隘区間と待避区間のそれぞれに対する評価式の定式化方法について説明する。評価式は、狭隘区間に対して待ち時間を算出する評価式と、待避区間に対して必要な区間長を計算する評価式から構成される。また、大型車と小型車が混在するケースや確率的な車両到着間隔にも対応した汎用的な評価式となっている。提案した評価式の妥当性を確認するため、道路の中央付近に狭隘区間を1カ所設けた簡易モデルを用いて、交通シミュレーションとの結果比較を行った。両者の平均絶対誤差は狭隘区間における平均待ち時間、待避区間における平均必要待避区間長ともに小さく、多くのケースで合致した結果となった。また、計算時間も速く、一回の試行において評価式の方が交通シミュレーションの7千分の一以下の時間で実行できることを確認している。

第4章：進化計算を用いた待避区間の最適配置

本章では、進化計算による最適化の適用方法と評価結果について説明する。狭隘区間が断続的に続く対象道路全体に対する待避区間の最適配置を行うため、拡幅パターンの組合せ問題を、提案した評価式による制約条件を考慮した拡幅コストの最小化問題として考える。その上で、進化計算による最適化手法の一つである遺伝的アルゴリズム(GA)を適用する。遺伝子表現においては、拡幅工事に必要な資機材の設置場所を想定して既存の待避区間を基点とした連続的な拡幅を表現できる構造としている。また、道路延長方向の拡幅可能範囲を離散化することで探索空間の削減を図るとともに、谷側と山側で適用可能工法や拡幅可能範囲が異なる点を表現できるなど、現実の問題に即したモデル化が可能となっている。GAを利用した提案手法の有効性を確認するため、狭隘区間が複数個所存在する実問題に基づいた事例に適用した。その結果、提案手法においては、従来手法である交通シミュレーションと人による試行錯誤に比べ、検討時間を8時間から4分に大幅短縮した上、拡幅コスト及び平均待ち時間ともに削減する有効な解を得た。加えて、パラメータスタディとGAをベースとした多目的最適化を実施して、拡幅コストと待ち時間の間にあるトレードオフ関係を明確化するとともに、最終世代における非劣解集合を観察することで、主要パラメータである許容待ち時間の当初の設定値が妥当であることを確認している。さらに、拡幅コストと待ち時間のトレードオフ関係から最終的な解を選択する手順をまとめるとともに、提案手法の活用シナリオを整理している。

第5章：結論

本論文では、計算時間のかかる交通シミュレーションの代替手段として、大型車・小型車の混在や車両到着の確率変動も考慮できる、一般的で高速な評価式を構築した。さらに、その評価式に進化計算を組合せることで、車両待避区間の最適配置と迅速で効果的な整備計画のための手法を提案した。この研究成果は、交通シミュレーションによる従来手法の予測精度を維持した上で、待避区間の最適配置における煩雑さを解消するとともに、拡幅コストと待ち時間のバランスを検討する際の有効な判断材料を提供する効果がある。さらには、このような最適化アプローチを通じて、これまで交通シミュレーションを用いて実施してきた建設工事計画の高度化に寄与していくことが期待できる。

論文審査の結果の要旨

学位申請者氏名 天野 和洋

審査委員主査 大須賀 昭彦

委員 田中 健次

委員 南 泰浩

委員 佐藤 寛之

委員 清 雄一

一般にコンピュータ・シミュレーションは、物理現象や社会現象の法則・仕組みを模倣的にモデル化し、コンピュータ上でその挙動や入力に対する出力を確認するためのシステムである。主に、実物を動かして検証することが困難もしくは危険であるような現象を対象に用いられることが多く、実物がまだ存在しない将来予測にもその効果を発揮する。建設工事の計画・設計段階においては、振動実験や風洞実験など様々な物理実験が行われているが、物理実験だけでは規模的にも費用的にも限界があることから、シミュレーション技術は計画に対する結果の予測において強力な手段となり得る。本研究が対象としている交通分野に関して、これから建設する道路上での車両挙動の検証には交通シミュレーションが有効である。しかし、交通シミュレーションの入力データは、道路の構造情報や交通情報など多岐にわたり、対象の問題によっては検証すべきケース数が飛躍的に増えてしまう可能性がある。本研究の対象問題である狭隘道路におけるすれ違い待避区間の配置問題においては、様々な拡幅パターンが考えられるだけでなく、確率的な車両到着と併せて考慮すると、非常に多くのケースを検証する必要がある。さらに、必要な待避区間が複数になる場合などは、拡幅箇所の選定を試行錯誤的に行う必要があり、最適配置の導出も困難と言わざるを得ない。

そこで本研究では、そのように検証すべきケース数が多く、計算時間のかかる交通シミュレーションを代替する手段として交通流評価式を提案している。評価式は、大型車・小型車の混在や車両到着の確率変動も考慮した、高速で汎用的な仕組みになっている。さらに、その評価式に進化計算を組み合わせることで、待避区間の最適配置を自動化するとともに、従来手法と比べて拡幅コストの少ない拡幅パターンをより短時間に算出できており、提案手法の有用性が確認されている。この研究成果は、人による試行錯誤の煩雑さを解消するとともに、パラメータスタディや多目的最適化を通じて、拡幅コストと待ち時間のバランスを検討する際の有効な判断材料を提供する効果がある。

第2章では、関連研究として、まず提案手法が代替する追従モデルに基づく交通シミュレーションについて説明している。最適化手法に関しても、提案手法で適用した遺伝的アルゴリズムと進化計算に基づく多目的最適化の主要要素が、全体の概観と併せて説明されている。さらに、シミュレーションと最適化手法の組合せに関する研究や、適用先である1.5車線の道路に関する研究についても説明があり、本研究のそれぞれに対する位置付けや必要性が記載されている。

第3章では、提案手法の一つ目のアプローチである、評価式の構成方法と妥当性検証に対する結果が述べられている。評価式は、狭隘区間と待避区間の両方に対して平均値と最大値の2種類の値で評価できるように定式化されている。また、建設工事では特に重要となる大型車と小型車が混在するケースや、確率的な車両到着間隔を考慮できる汎用的な評価式となっている。妥当性の検証においては、実験が困難な分野であることから、これまで実業務で活用されてきた交通シミュレーションの結果を正として結果比較を行っている。200近いケースについて、それぞれ車両到着に関して疑似乱数100系列分を集計した交通シミュレーションの結果との比較が行われており、多くのケースで合致していることが確認されている。計算時間も十分に速く、提案手法の有用性が明確となっている。

第4章では、提案手法の二つ目のアプローチである、進化計算による最適化手法の適用方法と評価結果が述べられている。最適化手法としては、進化計算のうち多目的最適化にも適した多点探索能力を有する遺伝的アルゴリズムが適用されている。特に、遺伝子表現では山側と谷側で拡張可能範囲や適用可能工法が異なる点を表現できることや、遺伝的操作でも交叉や突然変異に対象問題を考慮した工夫がなされており、現実の問題に適応したモデル化がなされている。実際に現地調査を行った実問題への試行適用においては、従来手法に対して、検討時間を大幅短縮した上、拡張コストと平均待ち時間をもとに削減する有効な解を得ている。また、パラメータスタディと多目的最適化を通じて、拡張コストと待ち時間の間のトレードオフ分析を行っており、拡張コストへの影響を低く抑える上での適切な許容待ち時間を明らかにしている。また、多目的最適化におけるパレートフロントの屈折点に着目することで、待ち時間と拡張コストの増加をもとに抑えた有効な解を選択する手順をまとめるとともに、提案手法の活用シナリオが整理されており、意思決定において有効な情報を提供する機能が確認できている。

第5章では、結論として、本論文における提案内容及び評価結果、さらには今後の課題が記述されている。この研究成果は、交通シミュレーションを用いた従来手法の予測精度を維持しながら、待避区間の最適配置における煩雑さを解消する効果がある。さらには、計画業務において拡張コストと待ち時間のバランスを検討する際の有効な判断材料を提供できる効果もあり、これまで交通シミュレーションを用いて検討されてきた建設工事計画の高度化に寄与していくことが期待できる。

以上で述べてきたように、本研究成果はオリジナリティに富み、有用性と実用性においても高い価値を持つものである。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分な価値を有するものと認める。

以上