

令和 4 年 5 月 17 日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K13847

研究課題名（和文）利用者への影響を考慮した高規格道路の大規模更新工事に関する計画方法の開発

研究課題名（英文）Planning methods for large-scale renewal works on high-graded trunk roads under consideration impact users.

研究代表者

杉浦 聡志 (Sugiura, Satoshi)

北海道大学・工学研究院・准教授

研究者番号：30648051

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：わが国では老朽化した道路施設の拡大に対応するための大規模更新事業が進められているところである。本研究では高規格道路の大規模更新工事に着目し、以下2点の手法論を構築した。1つ目は渋滞・迂回等の利用者に生じる費用と施工費用を考慮した目的関数を最適化する工法選択手法。2つ目は複数存在する施工区間においてプロジェクト期間での利用者の渋滞・迂回等による費用を最小化を図る施工スケジュール最適化手法。

研究成果の学術的意義や社会的意義

大規模更新工事に伴う高規格道路の規制は道路ネットワーク利用者への影響が大きく、規制による利用者の行動予測を踏まえた戦略的な計画が求められる。本研究で提案した2つの手法はいずれも道路ネットワーク中の道路区間が一時期車線規制や通行止めとなる条件のもとで、利用者の通行パターンの予測を踏まえてその施工方法やスケジュールを最適化する方法論を提供したものである。これらの手法は大規模更新工事に適用できるだけでなく、土砂災害の復旧工事などの災害対応事業にも応用が可能であり、応用可能性は小さくない。

研究成果の概要（英文）：In Japan, large-scale renewal projects are underway to address the growing number of aging road facilities. This study focuses on large-scale renewal projects of high-graded trunk roads, and develops the following two methodologies: First, a selection method that optimizes the objective function considering the cost to users such as traffic congestion and detours and the construction cost; second, a construction schedule optimization method that minimizes the cost to users such as traffic congestion and detours during the project period in multiple construction sections

研究分野：土木計画，交通計画

キーワード：大規模更新 維持管理 PERT ネットワークデザイン問題 ネットワーク解析

## 1. 研究開始当初の背景

わが国では老朽化した道路施設の拡大に対応するための大規模更新事業が進められているところである。特に高規格道路の更新工事は各道路管理者が計画し、順次実施されている。高規格道路の更新工事は、橋梁床板の取り換えなど道路交通規制を生じさせるものが多い。更新工事によって該当区間の交通容量は低下、あるいは0となり、迂回等による損失が生じる。一般的な道路新設計画における費用便益分析では渋滞や迂回による損失の軽減分を消費者余剰として計上する一方で維持管理の施策ではこれらの利用者の影響を評価、最適化するような枠組みは取り扱われていない。

個別の施工区間に着目すると、渋滞や迂回を回避するための施工技術が開発されてきた。橋梁床板取替においては片側車線を全面通行規制し対面通行とするのが一般的であるが、必要とする作業ヤードが小さい機械を採用することで、一車線のみを規制して床板を取り替える施工技術がある。これは規制する車線を減らし、交通容量を確保することで道路利用者への影響の低減を企図している。しかしながら、この工法を採用すれば1日あたりに生じる利用者費用を小さくすることは可能となるが、施工に係る期間を考慮すると交通規制期間中の総利用者費用は必ずしも最小になるとは限らない。交通需要や道路網の状況によっては、片側車線を全面通行止めとし、施工ヤードを確保することで早期に工事を完了させた方が有利な場合もある。また、当然ながら技術採用に際してはその施工費用も考慮しなければならない。したがって、プロジェクト全体の作業工程にかかる施工費用と規制によって生じる利用者費用を考慮したうえで、採用する施工技術を決定する必要がある。

道路網全体での大規模更新工事計画に着目する。老朽化構造物が今後も生じることを踏まえれば、劣化の状況により早期対応の必要がある対象が同時に多数発生することも考えられる。そのとき、複数の区間を同時に規制せざるを得ない場合も生じるだろう。しかしながら、複数区間での同時規制により大きな利用者費用を生じさせる区間の組み合わせも存在しうる。一方で複数区間の同時規制でも利用者費用への増大が軽微な組み合わせも存在しうるだろう。利用者の影響が小さいのであれば、複数の区間を組み合わせる施工すれば、大規模更新プロジェクト全体の利用者への影響を小さくすることも期待できる。したがって、対象区間を組み合わせるプロジェクト全体の施工スケジュールを最適化する方法論の構築が望まれる。

## 2. 研究の目的

以上の背景を元に本研究では問いを以下のように設定する。

利用者費用、施工費用を考慮してプロジェクト全体で最適とするために採用する施工技術の組み合わせはどのように求めればよいか  
利用者費用の増大を最小化するような、同時規制を前提とした大規模更新プロジェクトの最適なスケジュールを決定する方法はどのようなものか。

上記の問いに対応するために研究の目的を以下のように設定する。

- ・ 利用者費用と施工費用を考慮した目的関数を最適化する作業工程を特定する「最適工法選択モデル」を構築する。
- ・ 道路利用者への影響を最小化する道路網全体の施工区間の施工スケジュールを決定する「大規模更新工事スケジュール最適化問題」を構築する

## 3. 研究の方法

### (1) 最適工法選択モデル

最適工法選択モデルはプロジェクト全体の施工日数を特定するためにPERT(Program Evaluation and Review Technique)を応用したモデルを構築する。一般的なPERTでは並行作業が可能の場合には工程の分岐を設けて、その両作業の完了時刻の最大値である最遅結合点時刻を求め、順次全行程完了まで必要日数を求めることでプロジェクト全体の工期を把握する。本研究では一般的なPERTネットワークを拡張し、代替となる複数の施工技術を列挙するとともに、そのうちの1つだけ選択されるよう制御するためのダミーリンクを設けることで、施工技術を選択するような表現を可能とする。

### (2) 大規模更新工事スケジュール最適化問題

大規模更新工事スケジュール最適化問題は一般的なNDP(Network Design Problem)と比べて、ネットワークにおける一部のリンク容量が一定期間低下することを想定する点で違いがある。また、複数の施工区間がプロジェクト期間中のいずれかの期間に施工、規制により容量減少する前提のもとで、複数用意した離散的期間の中で規制区間を組み合わせることでプロジェクト全体での利用者費用を最小とする必要がある。この問題設定を考慮した新たなNDPを定式化し、効

率的に求解できる方法を構築する。

#### 4. 研究成果

##### (1) 最適工法選択モデル

右図のように PERT を工法選択にネットワーク拡張したモデルを構成した。このネットワーク中のリンクには各工法に依存する道路規制に基づく道路利用者への影響評価値と施工費用が与えられる。さらに、各作業の終了に関して不確実性が存在し、複数の離散的完了日数に対してそれぞれ達成確率が把握可能と仮定した。この仮定に基づいて施工完了までの最終時刻が与えた確率以上となるように制約する事が可能となる表現へ拡張した。以上のネットワークにおいて施工完了までの日数、およびその達成確率に関する制約を持ち、利用者費用と施工費用を最小化する最適化問題を定式化した。定式化された問題は線形計画問題として求解可能であり、大規模なネットワークであっても高速に求解できる。最適化された工法選択はネットワーク中の経路として示される。この基本モデルは高い汎用性をもち、この最適化問題を応用して、土砂災害における復旧工事を対象とした事例にも適用した。土砂災害における復旧工事では査定前着工の制度が復旧事業全体に与える影響を仮想的な環境を想定したネットワークで分析した。その結果査定前着工が可能となる場合には多くのケースで完了日数が小さくなる事が明らかになった。

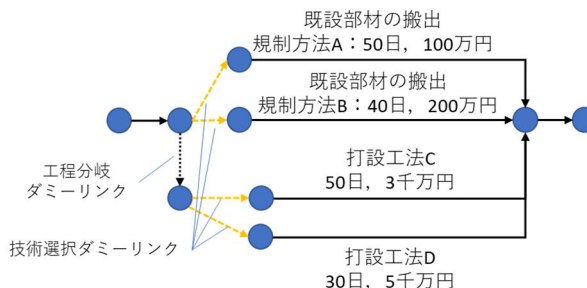


図-1 施工選択に拡張した PERT ネットワーク

##### (2) 大規模更新工事スケジュール最適化問題

大規模更新工事スケジュール最適化問題は、施工対象道路区間と更新期間を設定する図-2に示すスケジュールマップにおいて、どのリンクをどの期間で、どの規制方法で施工するかを設定する問題として定式化することとした。規制方法は片側車線規制と通行止めの2方法を想定することとした。片側車線規制は容量が半減する一方で通行止めは容量が0となる。車線規制は通行止めと比べて施工ヤードの確保や物資搬入に困難を生じることが多く想像されることから施工日数が一般的には長くなる。そこで、更新期間を2つに分けた時限という単位を導入することでこの表現を可能とした。このスケジュールマップで規定される各時限におけるネットワークで交通量配分により総走行時間を計測することで、スケジュールマップの評価をする。以上の条件に基づいて大規模更新工事スケジュール最適化問題を定式化した。定式化された問題は数理最適化問題として単純に求解することが困難であったため、上記のスケジュールマップ上で各リンクの施工期間と施工法を入れ替えることで最適化を図る、メタヒューリスティックアルゴリズムの一つであるタブーサーチに基づいた求解法を構築した。構築した手法を図-3に示す仮想ネットワークに適用し、A-Fに示す施工区間における最適な組み合わせを導出した。この結果は混雑が大きいリンクC,Dが車線規制とされることで、利用者の経路が大きく変化することで、混雑が軽微なリンクA,Bの負荷も小さくなり、通行止めとすることで全体が効率的となることにより得られたものと考えられる。リンクE,Fは他の施工と組み合わせることなく単独で施工されることにより最適となる事がわかる。また、更新期間2においてはどの施工もされないことで、通常時と等し

更新期間	1		2		3	
	1	2	1	2	1	2
A	車線規制					
B	車線規制					
C	通行止					
D			通行止			
E					車線規制	
F					車線規制	

図-2 施工道路区間と更新期間のスケジュールマップ

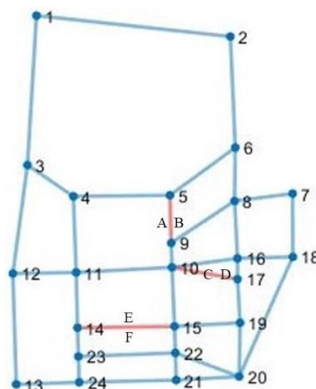


図-3 計算対象の仮想ネットワーク

更新期間	1		2		3	
	1	2	1	2	1	2
A	通行止					
B	通行止					
C	車線規制					
D	車線規制					
E					通行止	
F					通行止	

図-4 最適となったスケジュールマップ

この結果は混雑が大きいリンクC,Dが車線規制とされることで、利用者の経路が大きく変化することで、混雑が軽微なリンクA,Bの負荷も小さくなり、通行止めとすることで全体が効率的となることにより得られたものと考えられる。リンクE,Fは他の施工と組み合わせることなく単独で施工されることにより最適となる事がわかる。また、更新期間2においてはどの施工もされないことで、通常時と等し

いネットワークが供給されることで、プロジェクト全体の利用者損失が小さくなる。AB, CD の組み合わせのように利用者の経路選択が変更されることによって同時施工がプロジェクト全体にとって効率的になるケースが発見された。これはプロジェクト全体でのスケジュールを考慮する本研究の特徴であり、本研究で構築したモデルの優位性を示すものである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 杉浦聡志, 御村まゆ, 高木朗義	4. 巻 Vol.74, No.5
2. 論文標題 道路縮減のためのネットワークデザイン問題における付加的評価指標の導入	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集D3 (土木計画学)	6. 最初と最後の頁 I_269-I_276
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejipm.74.I_269	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 杉浦聡志, 倉内文孝, 高木朗義	4. 巻 Vol.74, No.5
2. 論文標題 複数経路の確保を前提とした耐震化費用を最小とする緊急輸送道路整備計画	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集D3 (土木計画学)	6. 最初と最後の頁 I_285-I_292
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejipm.74.I_285	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 安藤宏恵, 倉内文孝, 杉浦聡志	4. 巻 Vol.74, No.4
2. 論文標題 徒歩と車による津波避難計画モデルに基づく最適施設整備に関する研究	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 土木学会論文集D3 (土木計画学)	6. 最初と最後の頁 306-319
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejipm.74.306	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Sugiura Satoshi, Chen Anthony	4. 巻 153
2. 論文標題 Vulnerability analysis of cut-capacity structure and OD demand using Gomory-Hu tree method	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Transportation Research Part B: Methodological	6. 最初と最後の頁 111 ~ 127
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.trb.2021.08.013	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 YAMAKI Soichiro, NAKANISHI Wataru, SUGIURA Satoshi	4. 巻 76
2. 論文標題 AN ANALYSIS ON TOURIST EXCURSION PATTERN IN KYOTO CITY USING GNSS DATA FROM SMARTPHONE APP	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. D3 (Infrastructure Planning and Management)	6. 最初と最後の頁 I_679 ~ I_688
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejipm.76.5_I_679	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計17件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 森田 一平・杉浦 聡志・倉内 文孝
2. 発表標題 カスケード故障を用いた鉄道ネットワーク廃線波及モデル構築
3. 学会等名 土木学会北海道支部 令和2年度 年次技術研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 神谷 奏有・杉浦 聡志
2. 発表標題 降下方向ベクトルへ計算へのランダム性の導入による利用者均衡配分の演算効率化
3. 学会等名 土木学会北海道支部 令和2年度 年次技術研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松田奈緒子・倉内文孝・内田賢悦・円山琢也・杉浦聡志・丹下真啓・田中久光・横地和彦・村野祐太郎
2. 発表標題 ETC2.0プローブ情報を用いたOD交通量逆推定手法におけるリンク利用率の補正方法に関する検証
3. 学会等名 第62回土木計画学研究発表・講演集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉浦聡志
2. 発表標題 起点別リンク交通量の部分的更新による利用者均衡配分の効率的求解アルゴリズムの提案
3. 学会等名 第62回土木計画学研究発表・講演集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三輪三太・杉浦聡志
2. 発表標題 大規模修繕・更新に伴う規制スケジュール計画最適化のためのネットワークデザイン問題
3. 学会等名 第61回土木計画学研究発表・講演集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 秋岡路暉・杉浦聡志・倉内文孝
2. 発表標題 社会的費用を最小化する二段階バスネットワークデザインモデル
3. 学会等名 第61回土木計画学研究発表・講演集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山木聡一郎・中西航・杉浦聡志
2. 発表標題 スマートフォンアプリGNSSデータを用いた京都市内の観光流動分析
3. 学会等名 第61回土木計画学研究発表・講演集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 秋岡 路暉・杉浦 聡志・倉内文孝
2. 発表標題 社会的費用を最小化する二段階バスネットワークデザイン問題
3. 学会等名 土木学会北海道支部
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三輪 三太・杉浦 聡志
2. 発表標題 大規模更新スケジュール最適化のためのネットワークデザイン問題
3. 学会等名 土木学会北海道支部
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山木 聡一郎・杉浦 聡志・中西 航
2. 発表標題 スマートフォンアプリGNSSデータを用いた京都市内の観光流動推定に向けた基礎分析
3. 学会等名 土木学会北海道支部
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉本達哉・杉浦聡志・高木朗義
2. 発表標題 自動運転車の普及が将来の都市構造へ与える影響の定量的分析：立地均衡モデルの適用
3. 学会等名 第60回土木計画学研究発表・講演集
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 松田奈緒子・倉内文孝・内田賢悦・円山琢也・杉浦聡志・丹下真啓・田中久光・横地和彦・里内俊介
2. 発表標題 OD交通量逆推定手法における出発時刻ベースの時間単位OD交通量の推定
3. 学会等名 第60回土木計画学研究発表・講演集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 浅井拓登・杉浦聡志・倉内文孝
2. 発表標題 OD交通量・移動滞留データを用いた属性・モード別トリップチェーン推定手法の研究
3. 学会等名 第60回土木計画学研究発表・講演集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoshi SUGIURA・Masahiro NAKASHIMA・and Fumitaka KURAUCHI
2. 発表標題 ISOLATION VULNERABILITY EVALUATION OF DISASTER PREVENTION BASE ON ROAD NETWORK BASED ON MINIMUM ( + ) CUT
3. 学会等名 THE 25TH INTERNATIONAL CONFERENCE OF HONG KONG SOCIETY FOR TRANSPORTATION STUDIES ( 国際学会 )
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中島雅大, 杉浦聡志, 高木朗義
2. 発表標題 辺連結度 + -カットを考慮した道路ネットワーク孤立脆弱性評価手法の構築
3. 学会等名 土木計画学研究・講演集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 遠山直高, 杉浦聡志, 高木朗義
2. 発表標題 スマートシュリンクを念頭においた土地利用規制とその帰結に関する基礎的研究
3. 学会等名 土木計画学研究・講演集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Santa Miwa, Satoshi Sugiura
2. 発表標題 Network Design Problem to Optimize Traffic Restriction Schedule for Long-Term Road Facility Rehabilitation
3. 学会等名 The 14th EASTS International Virtual Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------