

平成21年 5月20日現在

研究種目：基盤研究(C)  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19560533  
 研究課題名（和文） 災害リスクを含む様々な費用と便益の統合的評価に基づく  
 道路網アセットマネジメント  
 研究課題名（英文） Road Network Asset Management based on Integrated Evaluation  
 of Benefit and Various Cost including Disaster Risk  
 研究代表者  
 高木 朗義（TAKAGI AKIYOSHI）  
 岐阜大学・工学部・教授  
 研究者番号：30322134

研究成果の概要：安全性・利便性・快適性を統一的・総合的に評価した道路ネットワークのアセットマネジメントシステムを構築することを目標として、災害リスクを含めた社会的費用、利用者便益、外部(不)経済効果などをライフサイクルコスト（LCC）として体系化するとともに、実際のデータに基づく定量的評価手法を開発し、道路網アセットマネジメントに関する方法論について検討を行った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	900,000	270,000	1,170,000
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,100,000	630,000	2,730,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・交通計画・国土計画

キーワード：アセットマネジメント，プロジェクト評価，災害リスク，リスクマネジメント，維持管理，コンジョイント分析，社会的費用，費用便益分析

## 1. 研究開始当初の背景

現在、道路資本の老朽化が急激に進んでおり、将来的に維持管理費用が著しく増加することが予測されている。このため、効率的な維持管理計画の策定を目的とした舗装維持管理システムの構築が全国各地で進められている。しかしながら、そのシステムの多くは健全度評価と劣化予測によって算出された維持管理費用の最小化については図られているものの、事業の優先順位の決定において利用者ニーズが反映されているものは少ない。

## 2. 研究の目的

安全性・利便性・快適性を統一的・総合的に評価した道路ネットワークのアセットマネジメントシステムを構築することを目標として、災害リスクを含めた社会的費用、利用者便益、外部(不)経済効果などをライフサイクルコスト(LCC)として体系化するとともに、実際のデータに基づく定量的評価手法を開発し、道路網アセットマネジメントに関する方法論について検討を行う。具体的には、岐阜県での道路舗装アセットマネジメントの検討内容を基に、道路管理者の視点に加え利用者の視点を反映する評価手法を提案す

る。具体的には、岐阜県内の住民に対するアンケート調査を実施し、コンジョイント分析を用いて、道路の安全性・快適性に係るユーザーコストを算出する。そして、実際に岐阜市の道路ネットワークを用いて、それらのユーザーコストが道路舗装の維持管理計画に与える影響について分析を行う。

### 3. 研究の方法

#### (1) 道路網アセットマネジメントのための費用・便益の体系化

道路網アセットマネジメントのための災害リスクを含む様々な費用・便益を帰着分析に基づいて、計測漏れや二重計算に注意しながら、体系的に整理する。本研究で取り上げる費用・便益の項目の主なもの、①狭義の維持管理費用、②維持管理（補修工事等）がもたらす社会的費用、③維持管理による劣化回避がもたらす社会的便益、④施設改良がもたらす社会的便益であり、これをベースとして整理する。

#### (2) 災害リスクを含む様々な費用と便益の定量的評価方法の検討

災害リスクを含む様々な費用と便益を定量的に評価するために、岐阜県の橋梁、舗装、斜面に関する実際の点検データを収集整理するとともに、県民へのアンケート調査方法を検討する。具体的には、橋梁、舗装、斜面に関するデータを収集し、定量的評価を行えるように整理する。また、交通量など、道路交通環境に関するデータも収集整理する。また、一対比較法によるアンケート調査において、属性とレベルを設定し、プロファイルをデザインした後、プレテストを実施し、本調査を実施する。

#### (3) 道路網アセットマネジメントのための評価指標の検討

的確な道路網アセットマネジメントが実施可能な安全性・利便性・快適性に対する統一的・総合的な評価指標を検討した。安全性・利便性・快適性のバランス、あるいは重要度の設定に、道路利用者および県民のニーズが加味されることは、不確実な将来に対して現時点で社会的な合意を取るという側面からも有用であると思われるため、コンジョイント分析を用いて検討する。

#### (4) 災害リスクを含む社会的費用を考慮したLCCの定量的評価手法の開発

岐阜県の橋梁、舗装、斜面に関する実際の点検データ、および県民に対して実施したアンケート調査によって得られたデータに基づき、災害リスク、補修費用、利便性・安全性・快適性に関するユーザーコスト、環境負荷に関するコストをLCCの構成要素とし、定量的評価手法を開発する。

#### (5) 道路網アセットマネジメント手法の検討 道路網アセットマネジメント手法として、

1. で開発したLCCの定量的評価手法に基づき、各期の予算制約を満足するという下、道路ネットワーク全体でLCCが最小となる橋梁の補修タイミング、および舗装の維持管理レベルについて検討する。

#### (6) 道路網アセットマネジメントシステムの構築

岐阜市の道路網を対象に、プロトタイプとしての道路網アセットマネジメントシステムを構築する。なお、本システムでは、岐阜県が管理する約56km(観測地点数は506地点)のうち6路線を管理対象とする。

### 4. 研究成果

#### (1) ユーザーコストを考慮した道路舗装LCCの定式化

社会的費用を考慮した道路舗装のLCCを補修費用、利便性・安全性・快適性に関するユーザーコストの和と定義し、補修水準最適化の目的関数を(1)式の通り定式化する。なお、LCCは、ライフサイクルにおける毎期のコストを現在価値換算したものである。

$$\min LCC = \sum \sum \{MC(i,t) + UC_m(i,t) + UC_c(i,t) + UC_s(i,t)\} / (1+r)^t \quad (1)$$

ここで、MCI: 道路舗装の劣化指標、MC: 補修費用、 $UC_m$ : 利便性に関するユーザーコスト、 $UC_c$ : 快適性に関するユーザーコスト、 $UC_s$ : 安全性に関するユーザーコスト、 $i$ はネットワーク上のリンク、 $t$ はプロジェクト年次、 $r$ : 社会的割引率。

#### ① 補修費用C

補修費用Cは、岐阜県道路舗装アセットマネジメントで用いられている考え方にに基づき、補修時のMCIに合わせた補修工法を設定し、(2)式により対象箇所における補修費用を算出する。

$$C = c \times b \times l \quad (2)$$

ここで、C: 各補修箇所の補修費用、c: 単位面積あたりの補修費用、b: 補修箇所の幅員、l: 補修箇所の区分長

#### ② 利便性に関するユーザーコスト $UC_m$

道路利用者の利便性に関するユーザーコスト $UC_m$ は、補修工事時の通行規制により発生する一般化交通費用の増分として捉える。これは、補修工事に伴う迂回等による時間損失を消費者余剰の減少分として算出する。また、補修時の工期は補修工法ごとに決定する。

$$UC_m = \{a_1(t_{1m} - t_0) + a_2(l_{1m} - l_0)\} T_l \quad (3)$$

ここで、 $T_l$ : 工事期間、 $a_1$ : 時間価値、 $a_2$ : 走行費用、 $t_{1m}$ : 補修工事中のネットワーク全体の総走行時間、 $t_0$ : 通常時のネットワーク全体の総走行時間、 $l_{1m}$ : 補修工事中のネットワーク全体の総走行距離、 $l_0$ : 通常時のネットワーク全体の総走行距離。

③安全性に関するユーザーコスト  $UC_s$   
 本研究では、「わだち掘れ量の増大」を「安全性の低下」と定義する。したがって、安全性に関するユーザーコスト  $UC_s$  は、舗装の劣化 (MCI の低下) のうち、「わだち掘れ量」に対する WTP と交通量の積により算出する。

$$UC_s = \sum WTP_s \times q \quad (4)$$

ここで、 $WTP_s$  : 安全性に対する支払意思額、 $q$  : リンク交通量。

④快適性に関するユーザーコスト  $UC_c$   
 本研究では、「ひび割れ率の増大」を「快適性の低下」と定義する。したがって、快適性に関するユーザーコスト  $UC_c$  は、舗装の劣化 (MCI の低下) のうち、「ひび割れ率」に対する WTP と交通量の積により算出する。

$$UC_c = \sum WTP_c \times q \quad (5)$$

ここで、 $WTP_c$  : 快適性に対する支払意思額、 $q$  : リンク交通量。

(2) 道路舗装ライフサイクルコスト算出手法の開発

本研究で取り扱う社会的費用はそれぞれ利用者の数、すなわち交通量に依存する。そのため、補修工事時におけるネットワーク上での交通量の変動を計測する必要がある。ここでは、前段で定義された LCC を算出するために必要となる、道路舗装の劣化予測、ユーザーコストを考慮した利用者均衡配分手法、予算制約を考慮した補修地点の優先順位の考え方の3点について整理する。

①道路舗装の劣化予測

道路舗装は共用環境によって劣化の進行速度が異なる。また、安全性と快適性に係るユーザーコストを個別に算出するためには、ひび割れ率とわだち掘れ量について、それぞれ個別の劣化予測式が必要となる。そこで、ここでは岐阜県道路舗装点検データを用いて劣化予測式を推定する。道路舗装点検データに蓄積されている観測地点の共用環境を示すすべての属性に経過年数を乗じて説明変数として重回帰分析を行う。重回帰分析を実施した結果ひび割れ率、わだち掘れ量の劣化予測式は(6)式、(7)式のように推定された。

推計結果の概要を表1および表2に示す。重相関係数は、ひび割れ率が0.69、わだち掘れ量が0.70となっている。ひび割れ率は、農村部、山間部、都市部とその共用地域によって劣化速度が異なっている。また、わだち掘れ量は大型車交通量の影響を強く受けていると共に、寒冷・積雪地域においては劣化の進行が速くなっていることが確認された。

$$C = 0.674x_1(t) + 0.808x_2(t) + 0.355x_3(t) \quad (6)$$

$$D = 0.000335x_4(t) + 0.181x_5(t) + 0.227x_6(t) + 0.933x_7(t) \quad (7)$$

ここで、 $x_1$  : 農村部、 $x_2$  : 山間部、 $x_3$  : 都

市部、 $x_4$  : 大型車交通量、 $x_5$  : 寒冷地域、 $x_6$  : 積雪地域、 $x_7$  : 排水アスファルト対策工。

表1 劣化予測式の推計 (ひび割れ率)

I. 説明変数	係数	t値
①農村部	0.674	32.24
②山間部	0.801	31.97
③都市部	0.355	4.55
II. 重相関係数	0.695	
III. 観測数	2,236箇所	

表2 劣化予測式の推計 (わだち掘れ量)

I. 説明変数	係数	t値
①大型車交通量	0.000335	27.08
②寒冷地域	0.181	7.59
③積雪地域	0.227	4.56
④排水アスファルト	0.933	4.89
II. 重相関係数	0.702	
III. 観測数	2,160箇所	

②ユーザーコストを考慮した利用者均衡配分

通常の利用者均衡配分では所要時間をリンクコストとして交通量が決定されるため、道路の劣化によって経路選択が変更されることはない。しかしながら、道路利用者が実際の経路選択を一般化交通費用に従って行っていると考えた場合、その一般化交通費用には、安全性や快適性などのユーザーコストも含まれていると考えることができる。そこで、ここではLCCの算出に用いる各ユーザーコストを、一般化交通費用として利用者均衡配分に導入することで道路利用者が経路選択において道路舗装の劣化性状を考慮していることを表現する。そのために、Frank-Wolf法の利用者均衡配分を基にして、各ユーザーコストを一般化交通費用として足し合わせた(8)式を用いて交通量配分を実行する。

$$\min Z_u = \sum_{a \in A} \int_0^{x_a} \alpha_a(w) + \beta l_a(w) + WTP_{sa}(w) + WTP_{ca}(w) dw \quad (8)$$

ここで、 $t_a$  : リンクの所要時間、 $\alpha$  : 時間価値原単位、 $\beta$  : 走行費用原単位、 $l_a$  : リンク長、 $WTP_{sa}$  : リンクの安全性に対する支払意思額、 $WTP_{ca}$  : リンクの快適性に対する支払意思額。なお、時間価値原単位  $\alpha$  は67(円/分)、走行費用原単位  $\beta$  は21(円/km)と設定する。

③補修地点の優先順位の考え方

計画的な維持管理を行うためには、每期必要となる補修費用が平準化されることが望ましく、そのために予算制約を考慮する必要がある。そして、適正な予算を確保することで道路舗装の供用水準が保たれ、安定的な利用が可能となる。予算は補修費用 MC に対して制約がかけられるため、予算制約を設けた場合、補修が先送りされる地点が発生する可

能性がある。したがって、あらかじめ観測地点間における補修の優先度を設定する必要がある。ここでは、毎期の補修地点の優先順位の考え方を以下のように設定する。

- 1) 必ず補修が必要となる最低 MCI 水準を設定する。
  - 2) 最低 MCI に達している区間を最も優先度順位の高いものとする。
  - 3) その他の優先度順位は、全区間について算出された補修優先度指標に従って決定される。
  - 4) 優先度順位に基づいて予算制約の範囲内で補修を行う区間を決定する。
- 補修優先度は(9)式で算出する。

$$OP^i = \frac{LCC_{t+1}^i - LCC_t^i}{l^i} \quad (9)$$

ここで、 $OP$ ：補修優先度、 $LCC_t$ ：最適なタイミングで補修した場合のLCC、 $LCC_{t+1}$ ：最適なタイミングから一期遅らせて補修した場合のLCC。

本研究では、補修をしなければならない最低MCI水準をMCI<3とする。これは、MCI<3では路面上にポットホールが発生し、路床の構造破壊が発生するといわれているためである。

### (3) 利用者意識調査に基づく安全性・快適性に関するユーザーコストの算出

道路舗装が劣化するとわだち掘れが大きくなることやひび割れが発生することにより、利用者の安全性・快適性は低下すると考えられる。それらを定量的に評価するために、道路利用者への意識調査を実施する。安全性・快適性それぞれに対する支払い意思額を明確にするため、わだち掘れ量・ひび割れ率をそれぞれ、安全性・快適性に関する指標として定義する。利用者意識調査にはコンジョイント分析を用いており、表-3に示す9つのプロフィールを使用している。選択形式は一対比較法を用いている。

各プロフィールは、同程度の劣化状態である岐阜市内の道路舗装を点検データから抽出し、実際にその地点を約40km/hで走行しながら車内に固定されたビデオカメラで撮影したものをを用いている。

調査対象は一般の道路利用者とする。そのために、ホームページを作成し、誰にでも回答できるシステムを作成した。

まず、普段の通勤（学生の場合は通学）の状況を中心としたアンケート回答者の個人属性を尋ねる。次に、各回答者の時間価値を算出するため、有料道路を利用するのに支払っても良いと思う金額を質問している。そして、利用者意識調査ではランダムで2つのプロフィールを抽出し、それに該当する道路舗装の劣化性状を撮影した動画を再生させる。抽出された道路を通勤・通学に利用する場合

の所要時間を提示する。通勤・通学時間と道路舗装の劣化性状を見比べて、利用者が通勤・通学路としてどちらを選択するかを問う。

利用者意識調査は、岐阜県インターネットモニター、中濃 ML の参加者、岐阜大学工学部社会基盤工学科の学生を対象として実施した。意識調査の結果、回答者数 168 人、有効回答数 1,555 サンプルを得た。しかしながら、全サンプルを対象とした分析では、有意な結果を得ることができなかつたため、特に通勤・通学手段が自動車の回答者のみを抽出（回答者数 107 人、有効回答数 938 サンプル）して分析したところ、表 3 に示す結果を得た。最尤推定法による分析の尤度比は 0.115 とそれでも課題の残る結果となったが、ひび割れ率における t 値は検定統計量を満たしている。また、以下の試算においてはこの分析結果を用いる。

表 3 安全性・快適性に対する WTP 推定結果

	係数	t値	尤度比	支払意思額
ひび割れ率 X1	-0.0128	-2.07	0.115	0.0000325 (円/(%・km))
わだち掘れ量 X2	-0.0069	-0.43		0.0000175 (円/(mm・km))
ユーザーコスト X3	-394.0	-6.10		-

### (4) 岐阜市道路ネットワークにおける道路舗装ライフサイクルコストの試算

ユーザーコストを考慮した道路舗装アセットマネジメント手法の妥当性を確認するため、岐阜市ネットワークを用いた試算を行う。プロジェクトライフは 60 年とし、年間の予算制約を 1 億 5 千万円、社会的割引率は 4%とする。

#### ①道路ネットワーク

管理対象とする路線は、岐阜市道路ネットワークの主要路線から抽出した 6 路線、総延長 56.125km とする。管理対象は、県道 77 号（環状部分のみ）、県道 1 号線（岐阜南濃線）、県道 78 号（岐阜大野線）、国道 248 号線、国道 157 号線、国道 256 号線の 6 路線である。

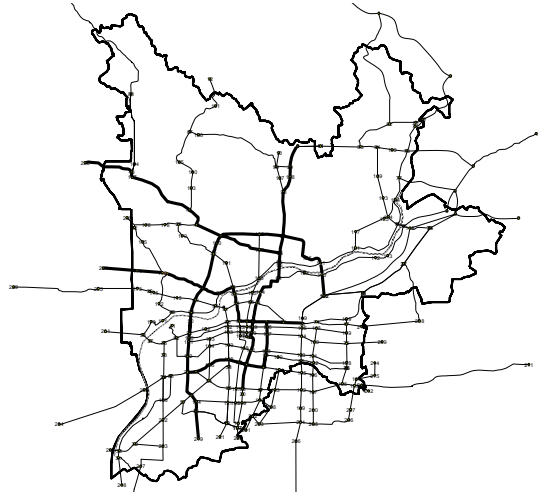


図 1 岐阜市道路ネットワーク

これらの路線を区切った管理区分におけるひび割れ率，わだち掘れ量は，岐阜県道路舗装点検データより抽出した。利用者均衡配分に用いる道路ネットワークは図4に示す岐阜市ネットワークを用いる。ネットワーク上の太線のリンクが管理対象路線である。OD交通量はH17年度交通センサデータを基に設定した。

### ②補修戦略

補修戦略はMCI値によって3種類を想定した。また，補修工事の際，工期中は車線規制によりリンク交通容量が1/2になるとした。

### ③対象路線全体のLCCについて

図2は管理対象としている6路線の合計のLCCと各種コストである。また，図3は補修戦略別のLCCの構成を示したものである。これらの結果から，本試算においては補修費用と利便性に係るユーザーコストの2つが支配的となっている。まず補修戦略①と②を比較すると，補修工法が同じであるため，補修回数が少なくなる補修戦略②の方が，LCCは小さくなっている。補修戦略②の方が舗装の劣化が進むため，快適性と安全性のユーザーコストは大きくなるが，その増分が微少であるため補修戦略への影響はない。次に補修戦略①と③を比較すると，補修費用のみの場合は補修戦略①の方が費用は大きい，LCCでは補修戦略③の方が大きい。これは，補修戦略③では工期の長い打ち換えにより，利便性（迂回費用）に関するユーザーコストの増大が影響している。さらに，補修戦略③では補修が将来に先送りされるため，現在価値換算後の補修費用が低く算出されることも1つの要因となっている。

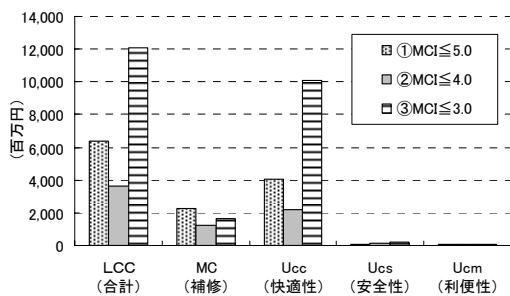


図2 補修戦略別のLCCと各種コスト

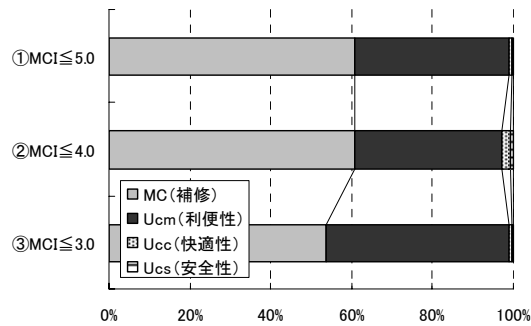


図3 補修戦略別のLCCの構成

### ④路線ごとの補修戦略への影響

図4に，路線別・補修戦略別のLCCの試算結果を示す。多くの路線でLCCが最小となる補修戦略が②となっている中，県道78号では補修戦略③でLCCが最小となっている。しかしながら，補修戦略③では本試算で設定した予算制約（1億5千万円/年）では不十分な状況となり，補修が先送りされMCIが3.0以下となる区間が数多く発生する結果となっている。したがって，県道78号が補修戦略③でLCCが最小となっているのは，本来実施されるべき補修が実施されなかった結果であると考えられる。

次に，路線別のLCCの構成に着目してみると，補修戦略①と②では補修工法が同一であるため利便性に関するユーザーコストには大きな差はみられないが，補修戦略②では快適性と安全性に関するユーザーコストの占める割合が高くなっている。特に国道248号と157号では高い割合となっており，国道248号ではLCCに占める割合が快適性で13.9%，安全性で6.0%，国道157号では快適性が9.8%，安全性で3.9%となっている。国道248号では，LCCの約2割を安全性と快適性に関するユーザーコストが占めており，これは利便性に関するユーザーコストが占める割合23.4%と比較しても大きなものであるといえる。

現在，地方自治体で進められている道路舗装マネジメントにおいても，利便性に関するユーザーコストを考慮している例はある。本試算の結果は，安全性・快適性に関するユーザーコストが利便性に関するユーザーコストと比較しても無視できない大きさとなることがあることを示している。

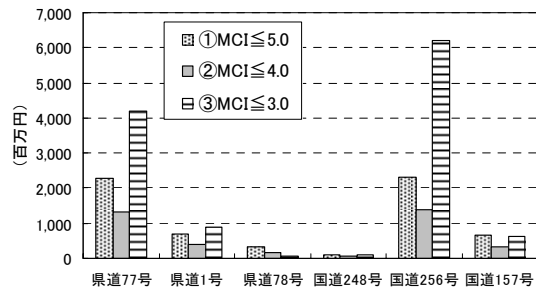


図4 路線別・補修戦略別のLCC

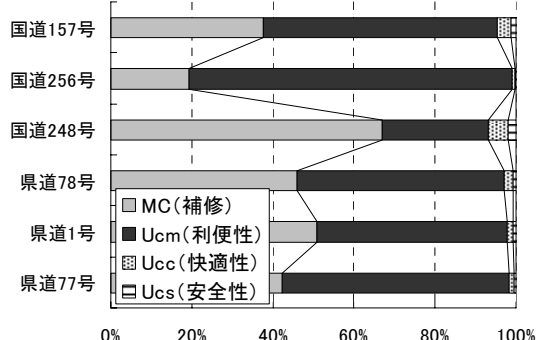


図5 路線別のLCCの構成（補修戦略①）

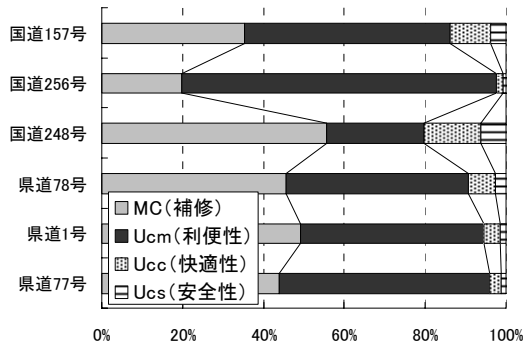


図6 路線別のLCCの構成(補修戦略②)

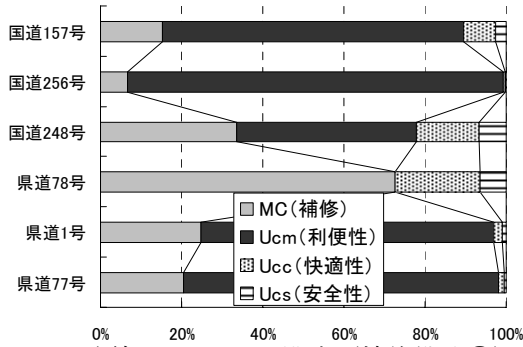


図7 路線別のLCCの構成(補修戦略③)

(5)まとめ

本研究では、利便性・快適性・安全性を考慮した総合評価指標を用いて、利用者ニーズを反映した道路舗装アセットマネジメントについて検討を行った。そして、実際に岐阜市の道路ネットワークを用いて、これらのユーザーコストが道路舗装の維持管理計画に与える影響について分析を行った。以下に、本研究で得られた知見を整理する。

- ・岐阜県の住民を対象としたアンケート調査を実施し、コンジョイント分析を用いて、道路の安全性・快適性に係るユーザーコストを算出した。
- ・岐阜市の道路ネットワークを用いて補修戦略別に道路舗装のLCCを算出し、安全性・快適性に係るユーザーコストが利便性(迂回による時間損失)に関するユーザーコストと比較しても無視できない大きさとなる可能性があることを示した。
- ・試算の際に用いた利用者均衡配分では、これらのユーザーコストを含む一般化交通費用を用いることにより、劣化形状が道路利用者の経路選択行動に影響を与えることを表現した。

今後の課題としては、コンジョイント分析により算出されたユーザーコストの精度の向上や、ユーザーコストが道路の維持管理に影響を及ぼす条件などを明らかにすることなどが考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

- ① 鈴木俊之, 杉浦聡志, 高木朗義, 道路舗装アセットマネジメントのための表明選好法を用いた安全性・快適性ユーザーコストの試算と考察, 土木計画学研究・論文集, Vol.25, 121-127, 2008, 査読有.

[学会発表] (計7件)

- ① 杉浦聡志, 鈴木俊之, 高木朗義, 倉内文孝, 安全性・快適性を考慮したLCCに基づく道路舗装アセットマネジメントの方法論, 平成20年度土木学会中部支部研究発表会, 2009年3月3日, 名城大学.
- ② 松田祥吾, 鈴木俊之, 高木朗義, 倉内文孝, 災害リスクを含む社会的費用を考慮したLCCに基づく橋梁維持管理戦略, 平成20年度土木学会中部支部研究発表会, 2009年3月3日, 名城大学.
- ③ 柘植亮輔, 鈴木俊之, 高木朗義, ユーザーコストを考慮したLCCに基づく橋梁アセットマネジメントの基礎的研究, 平成19年度土木学会中部支部研究発表会, 2008年3月7日, 金沢大学.
- ④ 小坂宏彰, 鈴木俊之, 高木朗義, 道路利用者の視点を考慮した斜面の0次アセットマネジメントに関する基礎的研究, 平成19年度土木学会中部支部研究発表会, 2008年3月7日, 金沢大学.
- ⑤ 鈴木俊之, 杉浦聡志, 高木朗義, 道路舗装アセットマネジメントのためのコンジョイント分析を用いたユーザーコストの試算とLCCの影響分析, 平成19年度土木学会中部支部研究発表会, 2008年3月7日, 金沢大学.
- ⑥ 鈴木俊之, 吉田拓司, 高木朗義, 地域住民の視点から見た斜面对策の優先度評価に関する基礎的研究, 第36回土木計画学研究発表会, 2007年11月23日, 八戸工業大学.
- ⑦ 鈴木俊之, 杉浦聡志, 高木朗義, 道路舗装アセットマネジメントのための表明選好法を用いた安全性・快適性ユーザーコストの試算と考察, 第36回土木計画学研究発表会, 2007年11月23日.

6. 研究組織

(1)研究代表者

高木朗義 (TAKAGI AKIYOSHI)

岐阜大学・工学部・教授

研究者番号: 30322134

(2)研究分担者

(3)連携研究者