

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 21 日現在

機関番号：82114

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2014～2016

課題番号：26303008

研究課題名(和文) アジア・アフリカ幹線道路網における舗装劣化モデルの構築と維持管理法の提案

研究課題名(英文) Development of IRI data base and deterioration models of pavements in Asia-Africa road networks

研究代表者

大島 義信 (Oshima, Yoshinobu)

国立研究開発法人土木研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：10362451

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、アフリカ地域においてケニア、タンザニア、ウガンダの三カ国、アジア地域においてカンボジア、ミャンマ、ラオスの三カ国を対象として、道路の劣化状態表すラフネス指標に関するデータベースの構築と、地域ごとの劣化モデルの構築と、劣化メカニズムの解明を目的としている。その結果、都市部など交通量の多い幹線道路では劣化の進行が速く、また補修されるタイミングも早いことが明らかとなった。さらに、劣化予測モデルの比較を行ったところ、各予測モデルによる差異は小さいものの、既存データの自由度や目的に応じてモデルを使い分けるのがよいことが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：In this study, IRI was measured and stocked to build proper prediction model in three countries such as Kenya, Tanzania, and Uganda in Africa, and Cambodia, Laos, and Myanmar in Asia. Asia-Africa trans road networks.

Finally it was found that deterioration of pavement occur much faster in urban area with heavy traffic and repair was completed at short intervals. It was also found that conventional prediction models were verified but there was not significant different among them and proper selection of the model is important according to its purpose.

研究分野：維持管理工学

キーワード：舗装 アジア アフリカ IRI 簡易計測

1. 研究開始当初の背景

アフリカ国際幹線道路 (Trans African Highway) と回廊 (Corridor) によって形成される道路網は、東アフリカにおける経済活動の大動脈である。そのため、日本を含めた多くの援助国によりこの幹線網が建設されたが、予想を上回る速さで劣化が進み、場合によっては舗装の再構築が必要な箇所も出てきている。事実、舗装道路は「消耗品」であるという発想のもと設計されており、適切な維持管理により舗装道路を維持していくことが前提となっている。しかし実際のところ適切な維持管理が行われている状況には程遠く、また援助国も維持管理の重要性を把握しているものの、維持管理への投資よりも新規の道路建設を重視する傾向にある。

一方、アジアからヨーロッパまでを繋ぐアジアハイウェイ (Asia Highway) 構想が提案され、各国で整備が進められている。しかし、経済状況や政治状況の違いから、道路整備の状況は国によって大きく異なっている。特に、経済発展を急速に遂げた東南アジア諸国では、交通量の増加に伴い既設路線の舗装劣化が著しく進んでおり、地域や劣化状況に応じた適切な維持管理が必要とされている。道路網の維持管理を適切に実施するためには、まず劣化状態を正しく評価し、その評価に基づき補修を実施していく必要がある。特に維持管理に対して少ない予算しか充てることができない途上国では、劣化状況に応じた合理的な補修計画と予算配分が必須である。一般に、道路舗装の劣化状態は、路面凹凸の程度を表すラフネス指標によって把握することができる。しかし、ラフネス指標を推定するためには、測定機械を搭載した専用の車両を用いる必要があり、多大な労力と予算を必要とする。そのため途上国では、道路劣化の現状を把握することができず、合理的な予算配分や維持管理計画の立案をより一層困難にしている。

アフリカ国際幹線道路、もしくはアジアハイウェイに該当する幹線道路では、先進国からの援助により、建設後ラフネス指標の把握が進められた。しかし、援助が打ち切られると、途上国自らで計測することが困難となり、多くの国ではラフネス指標の把握が行われていない。今後、アジア・アフリカの主要路線として道路ネットワークを維持するためには、継続的なラフネス指標の推計と、それに基づく劣化モデルの構築が必要である。

2. 研究の目的

本研究では、アフリカ地域においてケニア、タンザニア、ウガンダの三カ国、アジア地域においてカンボジア、ミャンマ、ラオスの三カ国を対象として、1) 道路の劣化状態を表すラフネス指標に関するデータベースの構築と、2) 地域ごとの劣化モデルの構築と、劣化メカニズムの解明を目的としている。

1) に関しては、アフリカ幹線道路網の代表

的な路線として、ケニア、タンザニア、ウガンダを経由する路線を選定し、その劣化状況を簡易計測法により把握する。また、アジアハイウェイにおいては、整備の遅れているラオス、ミャンマ、カンボジアを対象として、該当路線の劣化状況を把握する。

2) に関しては、各地で得られたラフネスのデータから、各地域別の劣化予測モデルを構築する。さらに、劣化メカニズムを合理的に説明する力学モデルを構築し、劣化要因の推定と、劣化予測に基づく予防的修繕を実現できる維持管理システムを構築する。

3. 研究の方法

3.1 路面凹凸簡易計測技術 VIMS

申請者らの研究グループでは、VIMS と呼ばれる車両の振動特性から路面性状を評価する研究を進めており、車両に搭載した簡易な加速度計の応答記録から、路面のラフネスを推定することが可能となっている。この技術は、地域の一般車両を改造することなく利用できることから、短期間で簡易に広範囲のラフネスを推定することが可能である。またこの技術は、すでに東アフリカやアジアの一部地域で試行的に利用されており、現地の技術者でも利用可能な簡易計測技術であることが実証されている。本研究では、この簡易計測技術を用いて現地での IRI 計測を実施するとともに、入手可能なデータの範囲で IRI 予測を行う。

3.2 対象国

アフリカにおいては、東アフリカの代表的な独立国家である、ケニア、ウガンダ、タンザニアの三カ国を対象とした。これらの国々はイギリスの旧植民地であった背景から、国家間の結びつきが深く、アフリカ国際幹線道路を主要な物流ルートとしている。また、アジアハイウェイでは、カンボジア、ラオスにおいてラフネス測定を行った。なお、当初予定していたミャンマにおける IRI 計測は、近年舗装化が進み、初期値との変化が特異的に生じていることから、劣化予測のためのデータを得るには不適切と判断し、計測は実施しなかった。

(1) ケニア

ケニアでは、ケニア道路公団 KENYA HIGHWAY AUTHORITY (KenHA) によって幹線道路が管理されている。ケニアでは、10 の管轄区に分かれて道路管理が行われているが、現状では道路状態の客観的な計測が行われていないため、恣意的な判断に基づき現状が評価され、維持補修に対する予算化が行われている。そのため、KenHA では積極的に計測技術を導入する動きがあり、JICA を通じた VIMS の導入が行われている。

(2) ウガンダ

ウガンダでは、ケニア同様幹線道路網の管理をウガンダ道路公団 UNRA が行っている。

また、路面状態の計測は ROMDAS と呼ばれるシステムで行っており、道路維持管理に対する一定の認識はあるものと考えられる。しかし、ROMDAS による計測は頻繁に実施できるものではなく、また車両に限られることもあり、全国的な路面計測は普及していないのが実情である。ウガンダでは、カンパラ近郊の幹線道路およびビクトリア湖周辺の幹線道路について、VIMS による路面計測の試行を実施した。

(3) タンザニア

タンザニアでは、他の二国同様、タンザニア道路公団 TANROADS によって幹線道路の管理が行われている。タンザニアにおいても ROMDAS による管理が行われているが、二台のシステムにより全国を網羅する必要があり、路面計測について十分な対応がとられていないと言わざるを得ない。タンザニアでは、首都 Dar Es Salam 周辺の幹線道路、および未舗装道路を試験的に計測し、適正について調査を行った。

(4) カンボジア

カンボジアでは、公共事業省による道路管理が行われており、特にプノンペンからシェムリアップへの国道5号線に対して重点的な管理が行われている。また、途上国支援の一環で IRI 計測が行われており、比較のためのデータベースが構築されている。よって、本研究ではカンボジアにおいて過年度実施されたデータに基づき、IRI 予測の手法を検討する。

(5) ラオス

ラオスでは、運輸公共事業省が国道管理を、また地方道管理を各県が管轄している。国道幹線道路のなかでは特に 13 号線と 9 号線が首都ビエンチャンと南北の主要都市を繋いでおり、国内交通のみならず、周辺地域における重要な路線となっている。運輸公共事業省は、JICA の援助を受けて、過去に世界銀行の援助によって整備された道路維持管理システムの更新を進めている。そのなかで、IRI の取得方法を一新し、VIMS を利用したインハウスによるラフネス計測の導入が進められている。本研究では、運輸公共事業省・運輸公共事業研究所と連携して、ラオスの主要国道の IRI 計測を行い、ラフネスの劣化進行状況の把握と、劣化予測手法検討のためのデータの蓄積を行う。

4. 研究成果

4.1 IRI 測定結果

(1) ケニア

ビクトリア湖周辺の幹線道路における計測の結果の一部を図4に示す。一部、ウガンダにおける道路の計測結果も示している。図における道路上の色は、IRI の区分によって分けられており、IRI が 0-3 で 青色(Good),

3-5 で 緑色 (Fair), 5-7 で 黄色 (Poor), 7-で 赤 (bad) の区分である。2015 年の計測では、巨視的には青色部が多く、幹線道路の整備が適切に行われていることがわかる。また、ナイロビ周辺(図5)では、一部未舗装における IRI の値が高くなっているが、舗装の状態が比較的よいことがわかる。一般的に都市部においては、渋滞や信号のため車両が一定速度以上を出すことが困難であり、IRI の算出ができない。

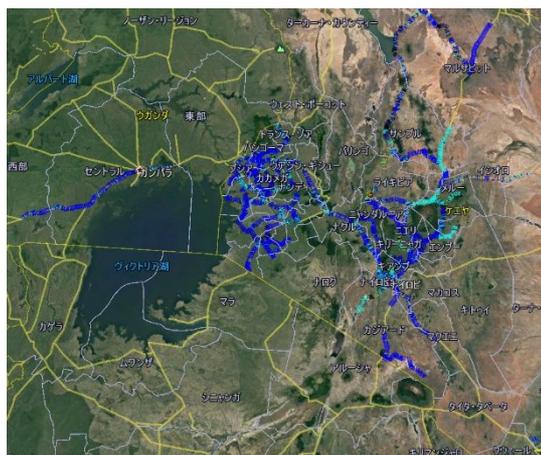


図4 ケニアにおける計測結果(ビクトリア湖周辺の幹線道路における測定結果)

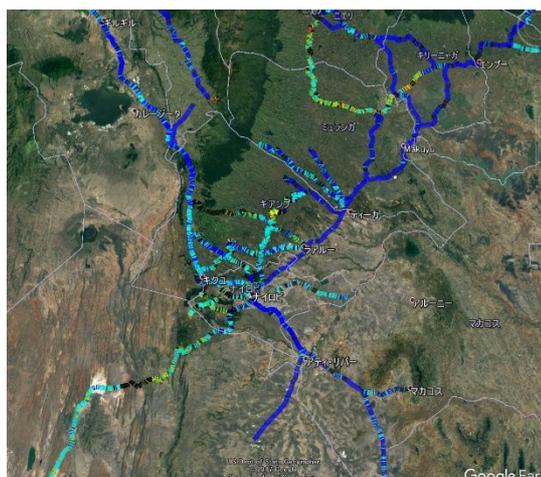


図5 ナイロビ近郊における計測結果

(2) ウガンダ

ウガンダにおける計測結果を図6に示す。ウガンダでは、首都カンパラ(図中心)近郊において比較的青い測定結果が得られていることがわかる(青: IRI < 3)。一方、首都から離れると緑色を中心とした IRI の分布となっている。(緑: IRI < 5)。これより、都心部では比較的頻繁に舗装の維持管理が実施され、路面状態を良好に保っているが、地方においては十分なメンテナンスが実施されていない可能性が指摘できる。図に示す幹線道路では、基本的に同程度の交通量が発生しているため、IRI の違いはメンテナンス頻度による差と考えられる。

(3) タンザニア

タンザニアでは、バガモヨからダルエスサラムに続くバガモヨ道路について計測を実施した。また、バガモヨ道路および幹線道路を横断する未舗装道路についても計測を実施した。測定した結果を図7に示す。図より、舗装道路では青が示されており、路面が良好であることがわかる。一方、未舗装道路においてもダルエスサラムに近い未舗装道路は赤色（ $IRI > 10$ ）を示しているが、バガモヨに近い未舗装道路は黄色（ $IRI < 10$ ）を示していることがわかる。これは、未舗装道路においても管理状態が異なることがあることを示唆している。

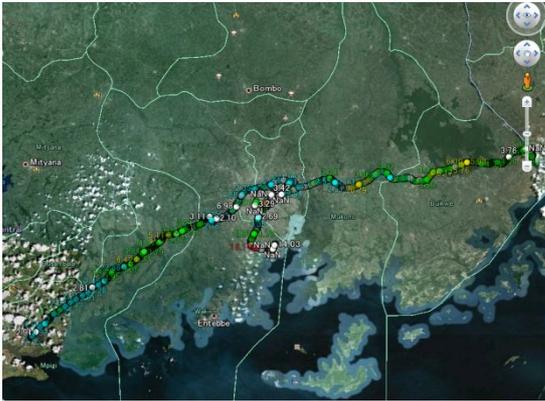


図6 ウガンダにおける IRI 分布

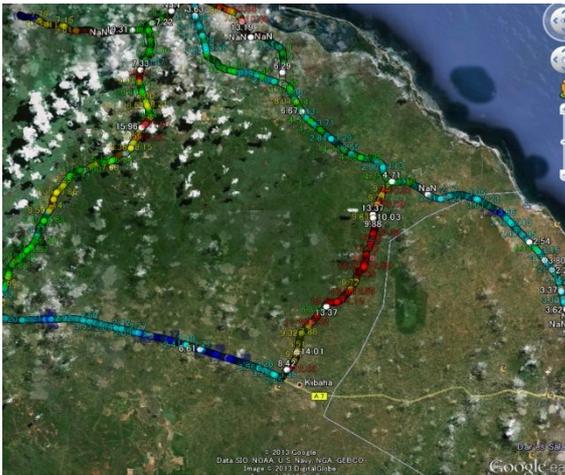


図7 タンザニアにおける IRI 計測

(4) カンボジア

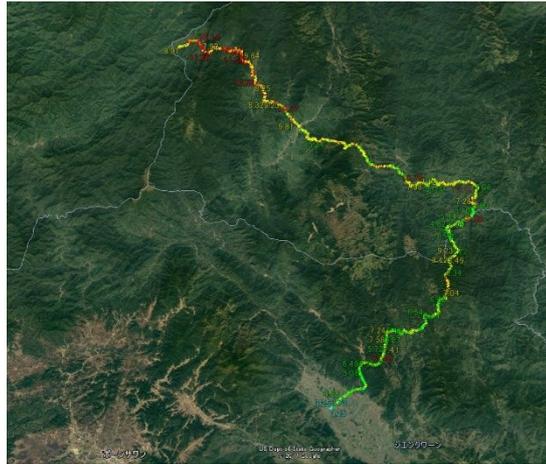
4.2節による。

(5) ラオス

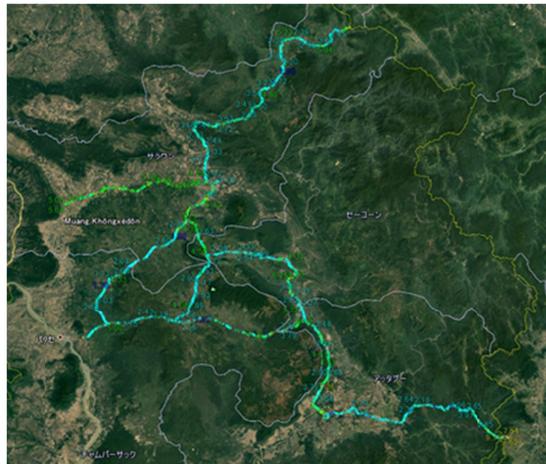
ラオスにおける全国道ラフネス調査では、特に中国国境へ向かう北部の山岳地域と、近隣国の陸上運輸を担う南部パクセー近郊の幹線道路が重点調査路線とされた。ラオス北部および南部における IRI 計測結果を図9に例示する。北部の山岳地域はほぼ全域にわたって未舗装路であり、特に高度の高い区間では十分な整備が行き届いていないため、黄色（ $IRI > 7$ ）から赤（ $IRI > 10$ ）の区間が目立つ。一方で、南部の比較的規模の大きな都市であ

るパクセー近郊から中央部の首都へと向かう路線は、青色（ $IRI < 4$ ）から緑色（ $IRI < 7$ ）の分布を示している。

北部地域においても比較的交通量が多い路線や区間は緑色の IRI 分布を示していることから、未舗装道路においても、平常的に交通があつて管理されている場合は、適正なラフネスが保持されることを示唆している。



(a) ラオス北部（山岳地域）



(b) ラオス南部（パクセー近郊）

図9 ラオスにおける IRI 計測（2014-2015）

(6) まとめ

以上より、東アフリカにおける舗装道路の標準的な路面評価方法として、簡易計測技術 VIMS が十分適用可能であること、また都市部においては比較的良好的な状態にあるものの、郊外では路面状態が悪いことなどが明らかとなった。本活動により、路面状態の基本的な情報を収取することができたため、今後継続して計測を行うことで東アフリカにおける幹線道路の継続的な劣化状況が把握できると考えられる。また、アジアにおける幹線道路でも同様の傾向が得られた。以下では、比較的データの蓄積があつたカンボジア5号線における IRI 予測について展開する。

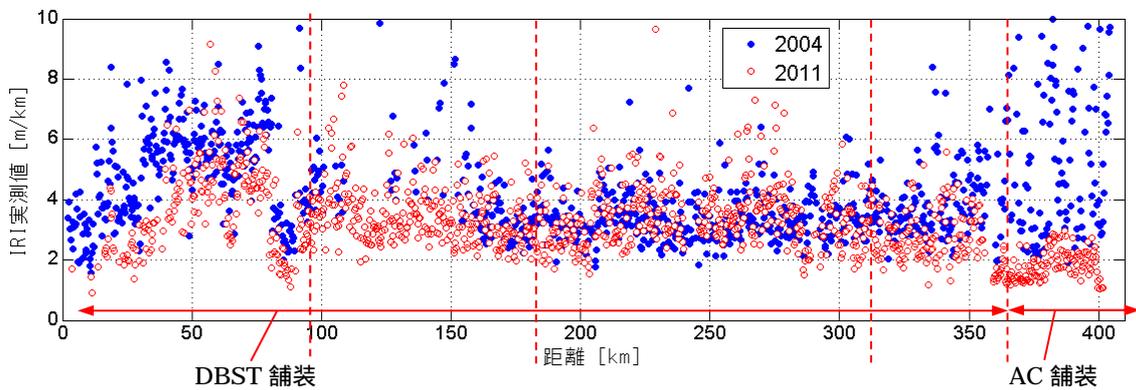


図 10 カンボジア国道 5 号の IRI 経年変化

4.2 IRI 予測

(1) IRI の履歴

ここでは、IRI の劣化履歴のデータとして、カンボジアにおける国道 5 号を対象とした。カンボジア国道 5 号線の IRI の経年変化を図 10 に示す。国道 5 号は、首都プノンペンからタイ国境のポイペットにわたる全長約 405km の幹線道路である。首都より 0~356 km の区間は簡易舗装である DBST 構造、356~405 km の区間はアスファルト舗装の AC 構造となっている。図 10 には、代表値として 2004 年および 2011 年に実施された IRI 計測値を示す。2004 年および 2011 年を比較すると、0~91km 区間および 356~405km 区間では、IRI の値が年とともに部分的に減少していることがわかる。この区間は大規模都市に近い箇所であるため、近年、修繕が行われており、その結果 IRI の値が低くなっていると考えられる。また、DBST 舗装と AC 舗装の IRI を比較した場合、DBST 舗装の IRI 値が高いことがわかる。

(3) IRI 増分量と各要因との相関関係

ここでは、舗装構造などの情報が得られている国道 5 号を対象に分析を行う。各要因が IRI の低下速度（以下 IRI 増分）に及ぼす影響を検討するため、ここでは補修等が行われていない 2010 年および 2011 年の国道 5 号のデータを対象とした。ただし、IRI 増分（2010 年から 2011 年での IRI の変化量）が負となるものは不適切なデータとして除外している。また、舗装厚の調査を実施した区間（95~171km 区間および 294~360km 区間）のみ対象とした。

IRI の低下速度は交通量の影響を受けるものと考えられるため、まず大型車交通量の差異に基づきデータを二つに分類した。国道 5 号では、ほぼ全区域の交通量は N5（設計交通量の区分）にあたるため、大型車交通量をその全体の平均より小さいものと大きいものに区別し、それぞれ「軽交通」、「重交通」として分類した。

FWD のたわみ量（以下 FWD 値）と IRI 増分との関係を図 11 に示す。ただし、FWD 値は、最大たわみ量（DMD）を用いた。図より、FWD 値と IRI 増分には明確な相関がないことが確認できる。ただし、ここでの相関は線形関係

のみを意味している。他方、IRI と IRI 増分との関係を図 12 に示す。軽交通と重交通では相関係数に違いがあるものの、IRI と IRI 増分には相関が確認できる。また、TA、CBR 値の他の要因と各要因間の相関関係も検討を行ったが、明確な相関は確認できなかった。以上より、IRI 増分は、FWD 値とは明確な線形相関を示さない一方で、IRI そのものの相関が高いことが明らか

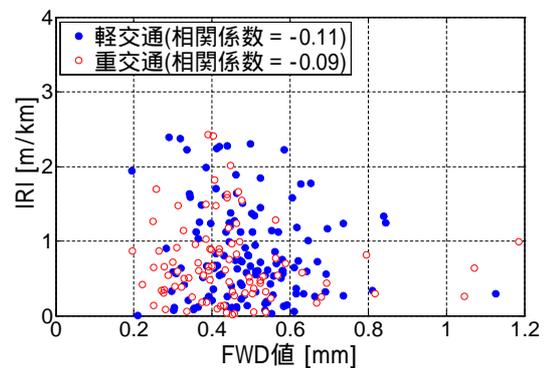


図 11 FWD 値と IRI 増分

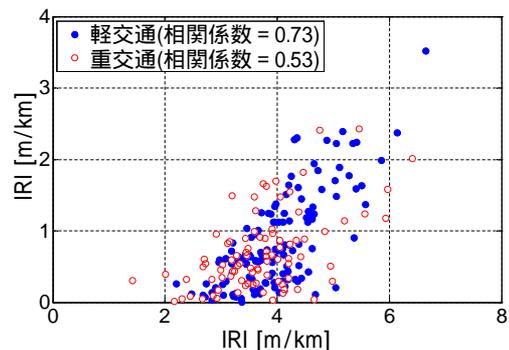


図 12 IRI 実測値（2010 年）と IRI 増分

(4) 予測モデルの比較

ここでは、舗装劣化モデルのうち、カンボジアで実際に用いられている 1)HDM-4 モデル、先進国での予測モデルとして 2)LTPP モデル、基本的なパラメータのみで構成される 3)指数関数モデル、データマイニングによる 4)NN モデル、および確率モデルとして 5)マルコフモデルを対象として、各予測モデルによる

IRI の予測評価を行う。ただし、ここで用いた FWD 値は 2009 年のデータを用いており、対象とする期間中一定であると仮定している。また、確定モデルと確率モデルでは IRI の評価方法が異なるため、それぞれの予測結果を検討したのち、予測誤差および状態確率により各モデルの比較を行った。

各予測モデルにおける予測値と実測値の誤差二乗平均を表 1 に示す。ただし、マルコフモデルにおいては、直接的な誤差が求められないため、この評価からは除外している。誤差二乗平均においては、NN および指数関数モデルの値が小さく、HDM-4 および LTPP モデルの値が大きくなっていることがわかる。

次に、マルコフモデルと他のモデルを比較するために、確定モデルで予測した連続的な IRI の値をレーティングし、その状態確率を求めた。さらに、求めた状態確率をもとに、各状態にあるデータの個数を定め、各損傷状態での誤差率を求め平均化した。すなわち、損傷 i にある実際の個数を N_i^R 、予測した個数を N_i^P とすると、誤差率の平均値 \overline{ERR} は

$$\overline{ERR} = \frac{1}{\sum_{k=1}^5 N_k^R} \sum_{k=1}^5 |N_k^R - N_k^P| \quad (3)$$

となる。その結果も表 1 に示す。表より、平均化した誤差率においては、マルコフモデルよりも数え上げによる結果の方が低いことがわかる。また、全てのモデルの中で最も誤差率が低いのは指数関数による方法となった。

表 1 各予測モデルの比較

モデル	誤差二乗平均	誤差率
HDM-4	0.5677	0.0402
LTPP	0.8683	0.0803
指数関数	0.2057	0.0201
NN モデル	0.2919	0.0434
マルコフモデル		0.0811
数え上げ		0.0530

4.3 まとめ

本研究では、アジア・アフリカにおける幹線道路網の劣化状況について、簡易計測手法による現地踏査により明らかにするとともに、既存データを活用して劣化予測モデルの比較を行った。その結果、都市部など交通量の多い幹線道路では劣化の進行が速く、また補修されるタイミングも早いことが明らかとなった。さらに、劣化予測モデルの比較を行ったところ、各予測モデルによる差異は小さいものの、既存データの自由度や目的に応じてモデルを使い分けるのがよいことが明らかとなった。

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 0 件)

[学会発表](計 5 件)

針尾, 西川ほか: 携帯端末による路面の可視損傷把握のための複合画像フィルタの構築, 土木学会西部支部, 2016

高木, 西川ほか: 路面ラフネス簡易評価システムの市道管理への適用性の検証と改良, 土木学会西部支部, 2016

Takafumi Nishikawa: Implementation of sensing /monitoring technology for civil infrastructure, CAMPUS Asia Symposium, 2017

Tomonori Nagayama et al.: Development of response-based road profile estimation using multiple observation, 14th East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction, 2016.

趙, 長山ほか: 複数観測量に基づく車両応答型路面プロファイル推定手法の開発, 第 70 回土木学会年次学術講演会, 2016.

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

[その他]

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大島 義信 (OSHIMA YOSHINOBU)

土木研究所・主任研究員

研究者番号: 10362451

(2) 研究分担者

長山智則 (NAGAYAMA TOMONORI)

東京大学・工学研究科・准教授

研究者番号: 80451798

西川貴文 (NISHIKAWA TAKAFUMI)

京都大学・工学研究科・助教

研究者番号: 50512076

宮下 剛 (MIYASHITA TSUYOSHI)

京都大学・工学研究科・准教授

研究者番号: 20432099