

アジア諸国を対象とした社会資本アセットマネジメントのデファクト標準化戦略

河野広隆¹

¹京都大学経営管理大学院 経営管理講座（〒606-8501 京都市左京区吉田本町）

アジアの発展途上国では、アセットマネジメントに対する認識不足により、借款事業によって整備された社会資本においては供用後比較的時間もなく劣化や損傷が顕在化する事例が少なくない。そこで本研究では、我国に蓄積したアセットマネジメントに関する知識と技術を活用して、アジア諸国で国際教育イニシアティブを取り、さらには、土木業界の海外新規市場創出の基盤としてのアセットマネジメントの体系化を図る。具体的には、我国のアセットマネジメント技術のアジア諸国での国際デファクト標準化を視野に入れ、知識のデファクト標準化（e-bookシステム）、システムのデファクト標準化（多様化標準システム）、技術のデファクト標準化（国際ベンチマーキングシステム）について検討を行う。

キーワード：アセットマネジメント、社会資本、デファクト標準化、東南アジア、京都モデル

1. はじめに

アジアの発展途上国では、借款事業によって整備された社会資本においては、供用後比較的時間もなく劣化や損傷が顕在化する事例が少なくない。これらの劣化や損傷は、社会資本の維持管理（アセットマネジメント）に対する各国の認識不足に起因していることが多く、さらにその一因として知識や技術へのアクセシビリティの困難さを指摘することができる。アセットマネジメントは要素技術そのものも重要であるが、要素技術と要素技術を有機的に連動させ、マネジメントとして稼働させるための総合化技術が不可欠である。一方で、我国では大半の社会資本が高度経済成長期に団塊的に整備され、1990年代からそれらの老朽・劣化が顕在化しはじめた。さらに経済情勢が悪化する中で厳しい予算制約下において、これらの社会資本に対する維持管理をどのように効率的に実施していくかが土木工学における最重要課題の一つとなった。我国で蓄積したアセットマネジメントに関する知識と技術のようなインビジブルな無形資産を活用して、アジア諸国で国際教育イニシアティブを取ることで、アセットマネジメントが土木業界の海外新規市場創出の基盤となることが期待されている。以上の問題意識のもと、本研究においては、我国のアセットマネジメント技術のアジア諸国での国際デファクト標準化を視野に入れ、以下の3つの視点に立脚したシステム開発を行う。

- ・知識のデファクト標準化→e-bookシステム
- ・システムのデファクト標準化→多様化標準システム
- ・技術のデファクト標準化→国際ベンチマーキングシステム

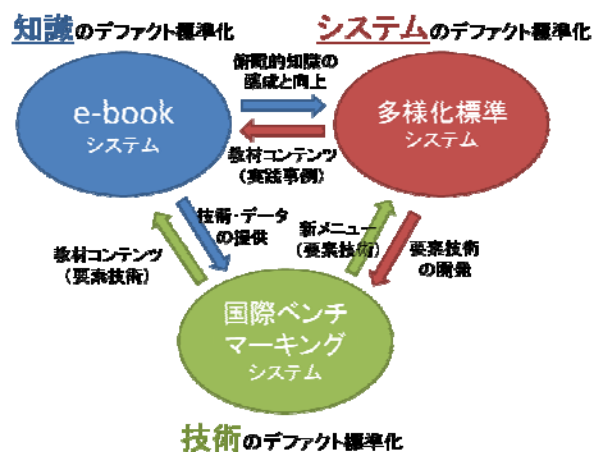


図-1. 開発システムの全容と相互関係

2. e-bookシステム

e-bookシステムに関しては「舗装マネジメント」に関するe-book「INFRASTRUCTURE ASSET MANAGEMENT: FROM FUNDAMENTAL TO FRONTIER PERSPECTIVES」のシステム化を実施し、限定的にweb上で公開した。また編集については不特定多数の書き込みを許容しない、マルチレイヤー型データベースを構築し、アクセス権限とコンテンツ内容に対する責任（執筆者を明記）を明確化した。舗装マネジメントに特化したシステム開発はベトナムとの事前協議を踏まえて実施した。

e-bookシステムの試行的適用は、ベトナムのUTC（University of Transportation and Communication）の協力の下で実施した。同大学と京都大学とは、2005年より共同

開催によるスマートレーニングコースを開催しており、すでに継続的なパートナーシップ関係が構築できている

(京都大学経営管理大学院は、2009年に学术交流協定を締結し、2012年3月に学生交流協定を締結した)。さらに、2009年2月の実務者会議を通してアジア19カ国とのネットワークも構築済みであり、特にネットワークが強いマレーシア (IIUM, マイサラ教授), 韓国 (ハンバット大学・都教授) を対象に、試行的適用範囲を拡大していった。

e-bookシステムを利用して、知識のオープン化を図る利点は、紙媒体の書籍と比較して安価であることのみならず、「動的柔軟性」という特徴をあげることができる。特に本研究では、ユーザーとエディタという2つの視点に立脚したe-bookの動的柔軟性を新規開発要素とする。例えば前者に関しては、ユーザー一人一人の興味に応じたコンテンツ構成 (テキスト) が可能となるような動的柔軟性を考慮することで、構造物、方法論や技術レベルでコンテンツをカテゴリー分類した独自テキストの構成が可能となるようにした。また、後者に関しては、基本的には、ウィキペディア化させることで最新情報の迅速なアップロードや実践事例の充実を目指したが、ウィキペディアのように不特定多数の書き込みを許容することはせずに、マルチレイヤー型のデータベースを構築することで、アクセス権限とコンテンツ内容に対する責任を明確化した。開発したe-bookは、2011年9月のスマートレーニングコースで一部使用した (出力したテキスト「INFRASTRUCTURE ASSET MANAGEMENT: FROM FUNDAMENTAL TO FRONTIER PERSPECTIVES」は最終報告書の付属資料1として提出)。

以上の開発に関しては、ハノイにて2011年5月に実務者会議を、9月にスマートレーニングコースを開催し、ベトナム側の要望を適宜反映させた。特に、9月のスマートレーニングコースでは、UTCとの共催で、大学の若手研究者や交通省の若手技術者、約30名を交えて、テキスト「INFRASTRUCTURE ASSET MANAGEMENT: FROM FUNDAMENTAL TO FRONTIER PERSPECTIVES」を題材に講義 (図-2) を提供するとともに、京都モデルプロトタイプの実践教育 (図-3) を行った。



図-2. スマートレーニングコース
(舗装マネジメント) : 左,

図-3. スマートレーニングコース
(京都モデル) : 右

3. 多様化標準システム

現在の世界標準システムであるHDM4とのデータコンパチビリティを確保したシステム開発を行い、京都モデル (KYOTO MODEL) としてプロトタイプを完成させた。京都モデルに関しては試作段階ではwebシステムとしての開発を実施したが、ベトナム側でのwebセキュリティや実用化への要望を踏まえて、スタンドアロン型に切り替えた。ベトナム側の要望に応じた形でカスタマイズを行うとともに、国道に対する2007年度の舗装点検データを用いた舗装の劣化予測 (路線ごとの劣化速度の相対比較)、さらには劣化予測結果に基づくライフサイクル費用の算定を実施した。特に南部 (例えばホーチミン) が軟弱地盤となっているために、南北に長い国土を有するベトナムでは南北の舗装の劣化に顕著な相違があることを定量的に評価できた (本成果は国際ベンチマーキングシステムの研究成果の一部を利用して推計を実施した)。

アセットマネジメントの分野においては、舗装ではHDM-4やRoSyが、橋梁ではBridgeManが国際標準システムとして確立しており、我国で分散的に開発されたシステムは国際市場では孤立化している。特に、世界銀行をはじめとする国際的融資機関がこれらの国際標準システムの活用を推奨していることもあり、我国システムは海外で認知されていないのが実態である。しかし、一方で国際標準システムの多くはブラックボックス型システムであり、入出力様式が規定された仕様規定型国際標準システム (各国の多様なニーズにも関わらず単一のソフトウェアで対応せざるを得ない単一化標準型システム) となっている。これらのシステムは後述するように、その導入が政策として制度化されているにも関わらず、ほとんど実用化されていないのが実情である。本研究ではこのような単一標準システムに対して、多様化標準システムを提案した。多様化標準システムでは、必要最低限の技術を統一的にカバーする一方、個々の機能に対する要求については別途カスタマイズを行うという標準化戦略を採用した。すなわち、個別の技術が求める性能に対応する性能規定戦略に基づいた性能規定型標準システムである。

特に本研究においては、従来の仕様規定型国際標準システムと対峙しうる性能規定型国際標準システムの開発を目的として京都モデルの開発を行った。本システムは、①従来システムとのコンパチビリティの確保、②ソフトウェアのオープン化、③各国の実情に応じた制度補完的なカスタマイズ、を柱とするシステムの多様性を備えている。このような多様化標準システムの開発とフィールドでの試行を通して、システムのデファクト標準化を図った。以上のようなシステムの基本方針を踏襲し、さらにベトナムとの協議を踏まえて、京都モデルのプロトタイプを試作した。京都モデルの基本構造は図-4に示すよ

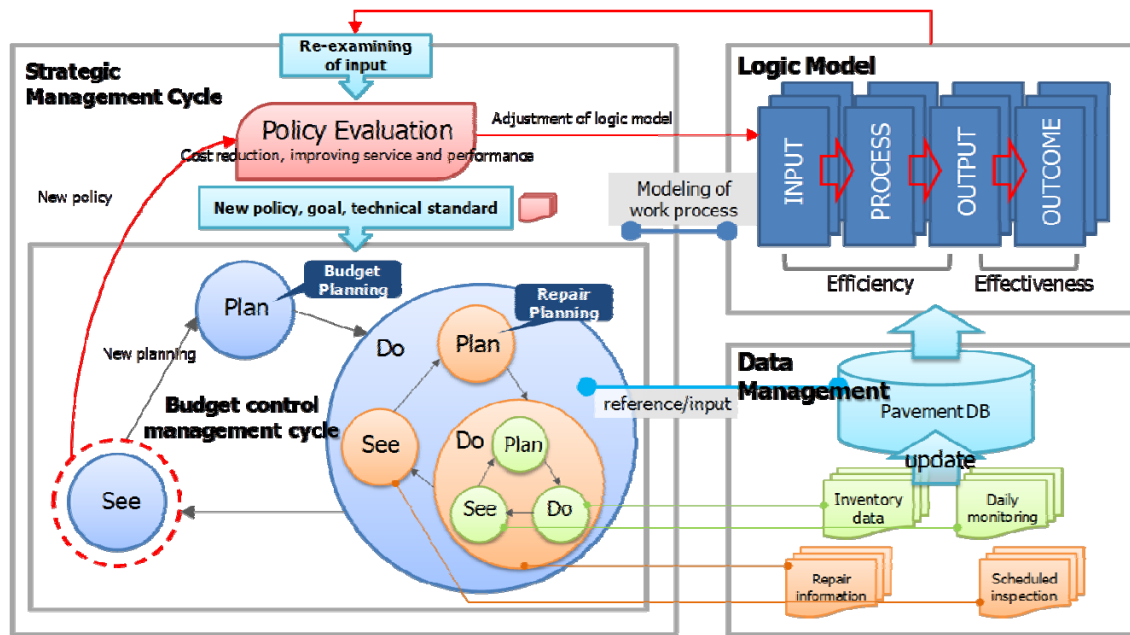


図4. 京都モデルの基本構造

うに、Data Management、Strategic Management Cycle、Logic Modelで構成される。今回の開発では、特にベトナム仕様とするためにData Managementにおいて、Inventory Data（台帳データ）としては管理者情報（事務所）、位置情報（キロポスト、上下線、車線数など）、道路スペック（幅員、延長など）、その他（交通量、舗装構造など）、Scheduled Inspection（定期点検）としてはひび割れ率、わだち掘れ量、IRI、Repair History Information（補修履歴）としては補修時期と方法、という最低限の情報で構成することとした。また、アウトプットとしては、予算計画、年度ごとの補修計画、劣化予測や補修の事後評価などが可能となるようにカスタマイズを実施した。さらに、国道に対する2007年度の舗装点検データを利用することが可能であったので、舗装の劣化予測（路線ごとの劣化速度の相対比較）、劣化予測結果に基づくライフサイクル費用の算定を実施した。このような劣化予測には国際ベンチマーキングシステムの研究成果であるベンチマーク分析を用いた。その結果、特に南部（例えばホーチミン）が軟弱地盤となっているために、南北に長い国土を有するベトナムでは南北の舗装の劣化に顕著な相違があることを定量的に評価できた（図-5、図-6）。

4. 国際ベンチマーキングシステム

同一条件のもとで異なる要素技術を比較するために、都市名を伏せた2件の舗装や橋梁の点検データを標準データベースとして公開し、これらを情報基盤プラットフォームとして活用した。マルコフ劣化ハザードモデルなどの標準的な要素技術のシステム化を図る一方で、ベトナムの舗装事情として、表層部分のみならず、基層以下

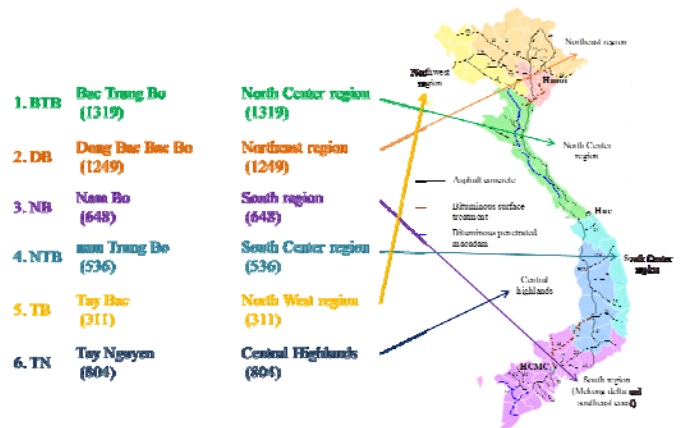


図-5. ベトナム国道の地域分類

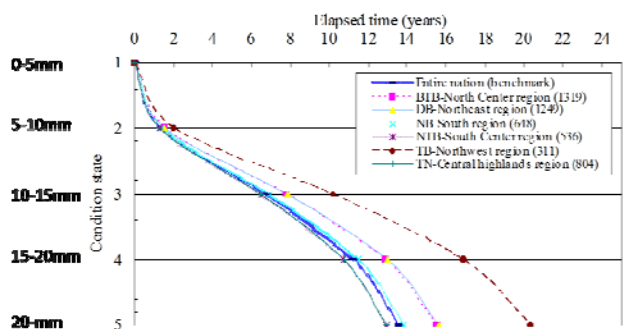


図-6. ベトナム国道のわだち掘れに関するベンチマークと地域比較

の劣化が進展していることが判明したために、表層に対する点検データ（ひび割れ、わだち掘れ、平坦性）、基層以下の耐久性に関する点検データ（FWD試験）を用いて複合的な劣化過程を予測する混合確率モデル（階

層的隠れマルコフ劣化モデル¹⁾)とそのベイズ推計手法²⁾を開発した。また、これ以外にも、ポットホールとひび割れの複合劣化過程を記述したポアソン隠れマルコフ劣化モデル³⁾の開発を行った。これらは要素技術として世界的にみても最先端の劣化予測モデルであり、別途海外ジャーナルへも投稿予定である。他システムとの連動に関しては、システム化を行った混合マルコフ劣化モデル(ベンチマーク分析手法)はベトナムへの京都モデルに組み入れる予定であり、階層的隠れマルコフ劣化モデルに関してベトナム側のデータ整備状況をにらみながら、今後、京都モデルに導入する計画である。

アセットマネジメントに関する様々な要素技術の国際比較が可能なソフトウェアの開発を行った。e-bookや多様化標準システムに組み込まれた要素技術と、その技術を用いて事前に選定されたデータベースに対して実施した解析結果をベンチマークとする。ベンチマーキングと同一条件のもとで、新規に開発された要素技術を用いた解析を行うことで、web上で要素技術間の国際比較が可能なプラットフォームを提供する。具体的には、同一条件のもとで異なる要素技術を比較するために、都市名を伏せた2件の舗装や橋梁の点検データを標準データベースとして公開した。すでに、本研究グループが開発した、多様化標準システムの基幹要素技術となる目視点検データを用いた統計的劣化予測は国際的な評価も高く、この技術に関しては一部ソースプログラムの公開も実施した。さらに、ライフサイクル費用評価に関して、統計的劣化予測手法と連動した形で、トータル費用の最小化を目指す割引現在価値法や、年間費用の最小化を目指す平均費用最小化法を構築済みであることから、これらの技術についても本システム上で提供した(ただし、これらの技術に関しては、最終的には京都モデルへ集約化して開発を行った)。このような技術・システム開発により、自らの意思で、多様な要素技術の中から自らに合致する要素技術を選定する技量がない可能性がある管理者においても、事前に設定されたデータベースや条件の下で、種々の要素技術や方法論を明示した上で、解析結果を提示するという国際的な相互比較が可能となる。特に解析結果がweb上でビジュアライゼーション化されることで、アジア諸国(特にアセットマネジメントに関する技術レベルが低い国)においても各種の要素技術の内容(方法論、解析に必要なデータ、アウトプット)に対する理解を補助できるものと期待される。

国際ベンチマーキングシステムに関して、ベトナム側との協議を踏まえ、技術開発を行った。特に、ベトナムの舗装事情として、表層部分のみならず、基層以下の劣化が進展していることが判明したために、表層に対する点検データ(ひび割れ、わだち掘れ、平坦性)、基層以下の耐久性に関する点検データ(FWD試験)を用いて複合的な劣化過程を予測する混合確率モデル(階層的隠れマルコフ劣化モデル:図-7)とそのベイズ推計手

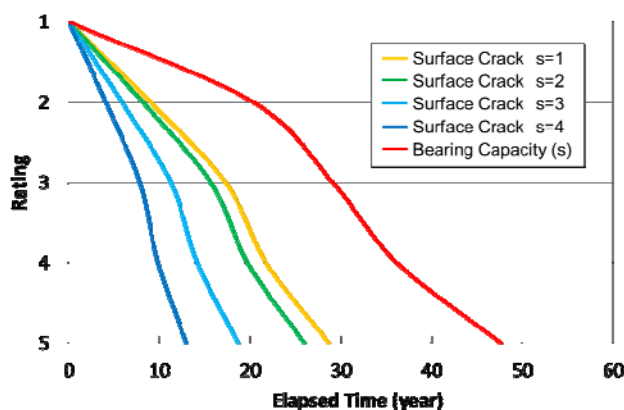


図-7階層的隠れマルコフ劣化モデルの適用事例(ひび割れと耐荷力)

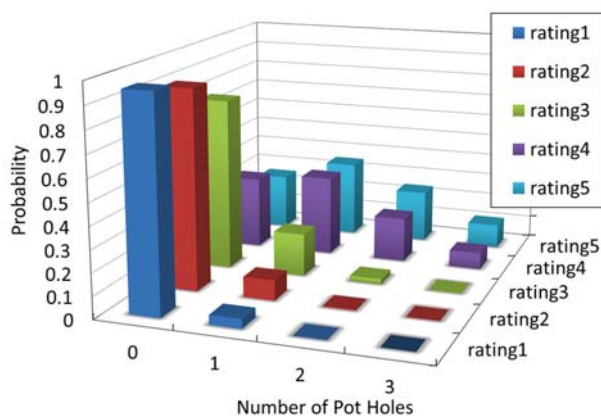


図-8.ポアソン隠れマルコフ劣化モデルの適用事例(ポットホールとひび割れ)

法を開発した。また、これ以外にも、ポットホールとひび割れの複合劣化過程を記述したポアソン隠れマルコフ劣化モデル(図-8)の開発を行った。

図-7は階層的隠れマルコフ劣化モデルの適用事例である。舗装のひび割れと耐荷力は階層的関係を有する劣化事象(耐荷力の低下がひび割れの劣化を促進させる、あるいはその逆の関係もあり得る)であることが知られている。しかし、その階層的関係について定量的に提示された事例は存在しない。同図における赤線は耐荷力の低下過程である。耐荷力は約45年経過時点で許容範囲に達することが理解できる。その一方で、それ以外の4本の曲線は耐荷力に応じたひび割れ率に関する劣化曲線である。舗装の耐荷力が健全な場合(s=1)にはひび割れの許容範囲に達するまで約30年を要するのに対して、耐荷力が低下した場合(s=4)にはひび割れは約12年で許容限界に達することが読み取れる。このような階層的関係を有する複合的な劣化事象をモデル化し、さらに実データにより推計することによって、表層のみの補修(例えばオーバーレイ)を行うのか、あるいは舗装全体を打ち換えるのかという意思決定プロセスと経済性を考慮しながら、分析することが可能になる。

図-8はポアソン隠れマルコフ劣化モデルの適用事例で

ある。先と同様に、ポットホールとひび割れに関しても複合劣化過程であることが実務では知られている。同図は横軸にポットホールの発生数と、ひび割れ率に関する健全度（Rating1～5）、さらには縦軸にはポットホールの発生確率をとっている。同図より、ひび割れ率の健全度が小さい（健全度1～3）場合には、ポットホールの発生確率はそれほど大きくない。ところが、ひび割れ率の健全度が低下した場合（健全度4、5）にはポットホールが1つ以上発生する確率が80%以上となる。一般的に道路管理者においてはひび割れ率に応じて補修アクションが決定されている。しかし、ひび割れ率を計測する定期点検は2～3年に1回実施される程度の頻度である。ポットホールとひび割れの関係を定量化することで、日常点検で観測されるポットホールの発生頻度に応じて補修アクションを決定することができれば、より合理的な維持管理につながる事が期待される。

5. 実用化の見通し

本研究の着想は、京都大学経営管理大学院が、2005年からベトナムにおいて継続的に主催している道路アセットマネジメントのスマートレーニングコースが背景にあった。その過程でアジア諸国を対象としたアセットマネジメントのデファクト標準化の必要性を痛感し、本助成の申請に至った。2年間の助成期間において、当初のコンテンツ、要素技術、システムの開発は概ね達成された。それは以下に述べるような、ベトナムとの連携が加速的に進展していることも証左の一つであるといえる。

はじめに、2011年の5月の実務者会議で京都モデルの導入と国道への適用に関して、ベトナム政府と合意に至った。これを受けて、ベトナムにて京都モデルの導入のためのプロジェクトをスタートさせた。同時に、JICA道路ODA案件・ベトナム国道路維持管理能力強化プロジェクト（2011年7月～2014年1月）にて、京都モデルによるベトナム版の舗装維持管理システムを開発することが決定した。

つぎに、2012年3月にベトナム交通省道路局Dong局長が来日した際に面会を行い、2012年6月20日にハノイでベトナム交通省道路局とのシンポジウム（International Seminar on a New Pavement Asset Management, Kyoto Model Pavement Management System, 図-9）を開催した。日本側からは小林、貝戸、青木が参加し、京都モデルの詳細説明と意見交換を行った（図-10）。本助成制度を受けたことにより、資金面はもちろんのこと、ベトナム交通省との協議、JICAの支援要請も円滑に進んだ。また、次年度以降、本研究成果をインドネシア、フィリピン、カンボジア、ラオスで展開する予定がある。さらに、マレーシアからは舗装のみならず、橋梁のアセットマネジメントに対する要望も寄せられている。



図-9. International Seminar on a New Pavement Asset Management, Kyoto Model Pavement Management System（2012年6月）

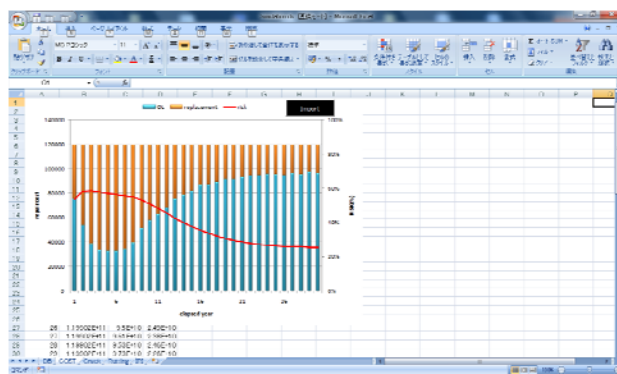


図-10. 京都モデルの出力事例
（エクセルファイルへの出力）

最後に、アセットマネジメントに関するISO5500Xが2014年3月に発行される予定であり、本研究グループが中心となって国内審議団体（実施母体：京都ビジネスリサーチセンター）を務めている。国内の意見調整を図り、国際会議に反映させる役割、さらには普及活動等を主体的に担うことにより、ISOというデジュール標準に関しても東南アジアで主導権を握っていく。また京都モデルはISOのフローと整合性を持つようにも開発しており、デジュール標準を背景に一層のデファクト標準化を進める予定である。

参考文献

- 1) 小林潔司, 貝戸清之, 江口利幸, 大井明, 起塚亮輔: 舗装構造の階層的隠れマルコフ劣化モデル, 土木学会論文集D3, Vol.67, No.4, pp.422-440, 2011.
- 2) Kobayashi, K., Kaito, K. and Nam, L. T.: A Statistical Deterioration Forecasting Method using Hidden Markov Model with Measurement Errors, *Transportation Research, Part B*, Elsevier, Vol.46, Issue 4, pp.544-561, 2012.
- 3) Nam, L. T., 貝戸清之, 小林潔司, 起塚亮輔: ポアソン隠れマルコフ劣化モデルによる舗装劣化過程のモデル化, 土木学会論文集F4, Vol.68, No.2, pp.62-79, 2012.

