



舗装評価の相対化による コンサルティングサービスの マーケティング手法 (ドラフト版)

提出日：平成 22 年 1 月 30 日

入 学 年	平成 2 0 年
学 生 番 号	7 5 3 0 2 0 2 5 7 8
所属プログラム	プロジェクトオペレーションマネジメント
氏 名	森 悠
WS 担当教員氏名	小林 潔司

舗装評価の相対化による コンサルティングサービスのマーケティング手法

森 悠

本研究では、効率的な維持管理を目指し、補修計画立案のためのコンサルティングサービスについて検討した。特に、舗装の健全性が舗装構造の劣化に舗装表面の劣化が依存すること、また、ベンチマーキング技術が施設の健全性評価を相対化できることに着目して、舗装表面の健全性を示す路面性状データから、舗装表面以下の劣化を観察する手法について技術化し、舗装表面以下の健全性を評価する FWD（Falling Weight Deflectometer）調査を組み合わせることで、一連の手法をビジネスパッケージ化した。

1. はじめに

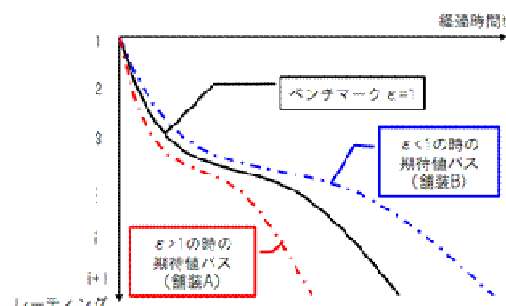
舗装の維持管理は、予算の縮減に伴い、これまでの対症療法的な修繕ではなく、計画的な予防的維持や耐久性の高い舗装構造に対する必要性が高まっている。しかし、対処療法的な修繕や予防的維持は、舗装表面の劣化や損傷に対し補修材を用いて表層路面の機能を回復させるのみの、いわば一時的な補修であり、構造的な健全度の向上を助長するものではない。一時的に回復した舗装表面の路面性状は、表層以下の層にて発生した劣化によって、劣化サイクルが速くなるため、路面の性能は、表層面へのダメージのみならず、基層以下の痛み具合に劣化速度が依存すると言える。

このような背景のもと、本研究では、効率的な維持管理を目指し、補修計画の立案について議論することとする。この中で、既存技術であるベンチマーキングが舗装群の劣化速度の相対評価を行えること、また路面健全度の低下は舗装の構造の健全度低下にも起因することに着目し、ベンチマーク技術を用いて路面以下の健全性の評価を行う手法について可能性を述べる。また、舗装表面以下の健全性を評価する一般的な手法である FWD 調査（Falling Weight Deflectometer）を組み合わせることで、一連の手法をビジネスパッケージ化するための検討を行った。

2. 本研究の基本的立場（従来の研究概要）

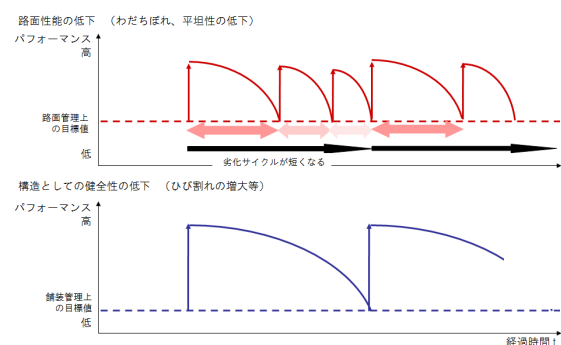
土木施設の統計的劣化予測モデルとしてマルコフ推移確率モデルが提案されている。特に、マルコフ劣化ハザードモデル¹⁾（以下、マルコフ劣化モデルと略記）の開発により、マルコフ推移確率の推定精度や実データへの適用性が飛躍的に向上した。

本研究もこれら一連の土木施設の統計的劣化予測モデルとしてマルコフ推移確率モデルに関する研究の中にある。一連の研究成果は参考文献として、巻末に列記しているので参照してほしい。2)、3)、4)、5)、



注) 実線は $\varepsilon=1$ の場合であり、ベンチマーキング劣化曲線を表す。この曲線より下方に位置する劣化曲線は平均より劣化進行が早く、上方に位置する場合は劣化進行が遅いことを意味する。

図－1 ベンチマーキングと相対評価



注) 路面性能は舗装の構造の健全性低下より劣化サイクルが早く、その都度補修することでその機能を回復する。また舗装の構造の健全性低下に伴い、路面性能の劣化サイクルは速くなる。

図－2 舗装の劣化パターン

3. ベンチマーキングと補修工法の選択

3.1 ベンチマーキングと相対評価

ベンチマーキングにおけるモデルの詳細に関しては、小濱ら¹⁶⁾が議論した論文に詳しい。図－1には、ベンチマーキングと各グループ間の異質性に関するコンセプトについて図示した。

3.2 相対評価と舗装構造の関連性

舗装の性能が一定レベルまで低下した時、建設当時の性能を回復させる、あるいは低下した性能を改

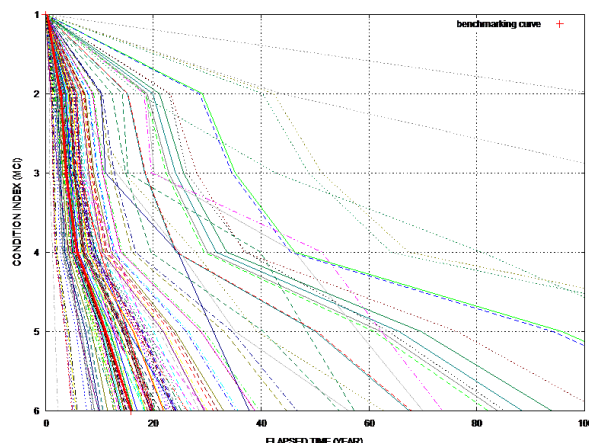


図-3 グループごとの期待寿命パス

善するため、補修・再構築などを実施することになる。この補修・再構築が必要となる舗装の性能のレベルのことを管理水準上の目標として表記している（図-2）。舗装の劣化過程を、1)路面性状の低下、2)舗装の構造としての健全性の低下、に大別して考えると、路面性能は舗装の構造の健全性低下より劣化サイクルが早く、その都度修繕することでその機能を回復する。また、舗装の構造の健全性低下に伴い、路面性能の劣化サイクルは速くなる。

一方、ベンチマーキングによる舗装の劣化相対評価は、舗装群ごとの相対評価を行うことを目的としてモデル化されており、表層における路面の機能が同じであった場合、路面性能の低下の速度は舗装の構造の健全性の低下に依存していることが考えられる。

4. 適用事例

4.1 ベンチマーキングと相対評価

今回提案した方法論を用いて、適用事例として、マルコフ劣化モデルによる劣化推計と混合マルコフモデルに基づいた劣化速度の相対評価を行う。解析用のデータとして、国道9号豊岡河川国道管理事務所管区内を対象として実施された路面性状調査と補修履歴データを用いる。

今回利用したデータを用いて、各グループ間における異質性を図-3に示した。一般的な劣化曲線を示すベンチマーク曲線（図-3中赤線）を軸に、期待寿命長は幅広く分布していることが分かる。

4.2 ベンチマーキング技術を利用したマネジメント方策

今回適用した方法を一般化した手順として示すと以下のとおりとなる。

STEP1 路面性状調査:路面性状調査の計画を行

京都大学大学院経営管理教育部
プロジェクトオペレーションマネジメントプログラム

い、舗装表面の性能各指標を測定する。

STEP2 ベンチマーク解析:ベンチマーク解析によりグループ間異質性の相対化する、これに基づき、詳細な調査が必要な個所を選定する。

STEP3 現地への適用:選定された再調査個所を図化（GIS 等地図への反映）し、FWD 調査計画を作成する。

STEP4 FWD 調査:FWD 調査によって、各層におけるたわみ量測定を行う。これにより、舗装表面（表層）以下の健全性の詳細な評価を行い、補修工法の選択を行う。

STEP5 補修箇所・工法決定:補修は必要に応じ、打ち替えや再構築を行う。その他の個所は日常の点検および維持管理・修繕を行う。

5. おわりに

本研究では、効率的な維持管理を目指し、補修計画立案のためのコンサルティングサービスの在り方について検討した。特に、舗装の健全性が舗装構造の劣化に舗装表面の劣化が依存すること、また、ベンチマーキング技術が施設の健全性評価を相対化できることに着目して、舗装表面の健全性を示す路面性状データから、舗装表面以下の劣化を観察する手法について技術化し、舗装表面以下の健全性を評価するFWD (Falling Weight Deflectometer) 調査を組み合わせることで、一連の手法をビジネスパッケージ化した。また、今後補修計画の立案をビジネスとして展開するため、経済的な観点から既存の方法とベンチマーキングを取り入れた手法を比較することが必要となる。

参考文献

- 1) 津田尚胤, 貝戸清之, 青木一也, 小林潔司: 橋梁劣化予測のためのマルコフ推移確率の推定, 土木学会論文集, No.801/I-73, pp.68-82, 2005.
- 2) 例えば, Mishalani, R. and Madanat S.: Computation of infrastructure transition probabilities using stochastic duration models, ASCE Journal of Infrastructure Systems, Vol.8, No.4, 2002.
- 3) 例えば, 青木一也, 山本浩司, 津田尚胤, 小林潔司: 多段階ワイブル劣化ハザードモデル, 土木学会論文集, No.798/VI-68, pp.125-136, 2005.
- 4) 例えば, 津田尚胤, 貝戸清之, 青木一也, 小林潔司: 橋梁劣化予測のためのマルコフ推移確率の推計, 土木学会論文集, No.801/I-73, pp.69-82, 2005.
- 5) 例えば, 津田尚胤, 貝戸清之, 山本浩司, 小林潔司: ワイブル劣化ハザードモデルのベイズ推定法, 土木学会論文集, No.798/VI-68, pp.125-136, 2006.
- 6) 小濱健吾, 岡田貢一, 貝戸清之, 小林潔司: 劣化ハザード率評価とベンチマーキング, 土木学会論文集 A, Vol.64, No.4, pp.857-874., 2008

目 次

1. はじめに	1
2. 本研究の基本的立場	2
2.1. 従来の研究概要	2
3. ベンチマーキングと補修工法の選択	4
3.1. ベンチマーキングと相対評価	4
3.2. 相対評価と舗装構造の関連性	5
4. 適用事例	8
4.1. 概要	8
4.2. 推定結果	9
4.2.1. マルコフ劣化モデル	9
4.2.2. 混合マルコフ劣化モデルによる劣化予測	10
5. ベンチマーキング技術を利用したマネジメント方策	13
6. おわりに	15

1. はじめに

道路管理者は、道路利用者に一定レベルのサービスを提供するため、道路の維持管理が重要な課題となっている。しかし、戦後より増え続け、膨大となった道路ストックの増大・老朽化に加え、税収の減少によって予算制約、さらには予算減少されているが、さらなる道路利用者のニーズの高度化など、さまざまな制約条件がある中で、道路構造物は効果的な利用によりユーザーニーズに応えることが求められるとともに、効率的な維持管理が必要となっている。

道路舗装は、安全で快適な走行を行うために必要な表面的な路面性状などの機能と、長期にわたってサービスを提供するための構造的な耐久性が必要とされる。路面の損傷については、路面性状調査の際に観察される指標として、わだちぼれやひび割れ、平たん性などがある。これらの観測された路面の損傷は、わだちぼれや平たん性の低下を観測した場合は表面的な路面の劣化として、またひび割れを観測した場合は路面以下の舗装構造の健全性低下として認識されることが多い¹⁾。これらの情報より、技術者により劣化個所が判断され補修が行われる。

こと表層以下の舗装構造の健全度の評価には、破壊試験であるコア採取や開削試験、もしくは非破壊試験である FWD 試験などで試験を行った後、補修すべき層とそれにあった補修工法が選定され、補修計画が策定される。

一方、舗装の維持管理について、予算の縮減に伴い、これまでの対症療法的な修繕（切削オーバーレイ、打換えなど）ではなく、計画的な予防的維持（シール材注入工法など）や耐久性の高い舗装構造に対する必要性が高まっている。ここで挙げる対症療法的な修繕や予防的維持は、舗装表面の劣化や損傷に対し補修材を用いて表層路面の機能を回復させるのみの、いわば一時的な補修であり、構造的な健全度の向上を助長するものではない。この修繕や維持にて一時的に回復した舗装表面の路面性状は、表層以下の層にて発生した劣化によって、劣化サイクルが速くなる。つまり路面の性能は、表層面へのダメージのみならず、基層以下の痛み具合に劣化速度が依存すると言える。

このような背景のもと、このような背景のもと、本研究では、効率的な維持管理を目指し、補修計画の立案について議論することとする。この中で、既存技術であるベンチマーキングが舗装群の劣化速度の相対評価を行えること、また路面健全度の低下は舗装の構造の健全度低下にも起因することに着目し、ベンチマーク技術を用いて路面以下の健全性の評価を行う手法について可能性を述べる。また、舗装表面以下の健全性を評価する一般的な手法である FWD 調査（Falling Weight Deflectometer）を組み合わせることで、一連の手法をビジネスパッケージ化するための検討を行った。

2. 本研究の基本的立場

2.1. 従来の研究概要

土木施設の統計的劣化予測モデルとしてマルコフ推移確率モデルが提案されている。特に、マルコフ劣化ハザードモデル²⁾（以下、マルコフ劣化モデルと略記）の開発により、マルコフ推移確率の推定精度や実データへの適用性が飛躍的に向上した。

マルコフ推移確率の推定方法として、1) 集計的推定方法と、2) 非集計的推定方法がある。前者の方法は、ある一定の観測期間の中で生起したレーティング間の推移状態に関するデータに基づいて、マルコフ推移確率を直接推定することを目的とする。もっとも単純な算定方法は、レーティング間の推移状態に関する実データの数え上げにより、推移確率を直接定義する方法³⁾である。これに対して、最尤法により、推移確率を推定する方法⁴⁾も提案されている。マルコフ推移確率は、推移確率を定義する期間間隔に依存する。現実には検査されるデータには、観測期間長が異なる多様なデータが混在している場合が多い。この場合、実データが観測された期間間隔の差異がもたらす影響を補正することが必要となる。杉崎等は、異なる観測期間長を有する目視検査データを用いて、マルコフ推移確率を集計的に推定する方法を提案している⁵⁾。しかし、このような集計的劣化予測方法では、個々の施設が置かれている使用環境や、施設が有する構造的、機能的特性と推移確率との関係をモデル化できないという限界がある。

これに対して、非集計的推定方法は、個々の土木施設の劣化過程に関する情報に基づいて、その背後にある劣化過程の統計的規則性を推定する方法である。このような非集計的推定方法として、貝戸等⁶⁾は、ニューヨーク市における橋梁の目視検査データを用いて、橋梁の劣化速度に着目した平均劣化曲線の算出方法を検討している。また、劣化速度を確率変数と捉えて、過去の検査履歴を反映したマルコフ推移確率の推定方法を提案した。その後、非集計的推定方法は、ハザードモデル^{7),8)}の適用により、飛躍的な発展を遂げている。その中で、Michalani and Madanat⁹⁾は、2つの隣接するレーティングのみを対象として、マルコフ推移確率を指数ハザードモデルを用いて表現する方法を提案した。これとは独立に、津田等²⁾は、2つ以上の任意のレーティング間における推移状態を表現する多段階指数ハザードモデルを提案し、マルコフ推移確率を推定する一般的なマルコフ劣化モデルを提案した。その後、マルコフ推移確率が過去の記憶を有する非斉次マルコフ推移確率を推定するための多段階ワイブル劣化ハザードモデル¹⁰⁾、異なる劣化パターン間の推移過程を表現する階層型指数劣化ハザードモデル¹¹⁾が提案されている。また、マルコフ推移確率の推定方法に関しては、検

査データが非常に少ない段階で、技術者の経験情報と検査結果を結合してマルコフ推移確率を推定するベイズ推定法^{12),13)}、予防補修により検査データが欠損することにより発生する欠損バイアスを補正する方法¹⁴⁾が提案されている。しかし、これらのハザードモデルは、いずれも確定的なハザード関数を用いており、個別施設に特有なハザード率の異質性を考慮できないという限界がある。このような観点から、貝戸等¹⁵⁾はハザード率の異質性を考慮した混合ワイブル劣化ハザードモデルを提案し、交通管制システムのマネジメントに適用している。しかし、そこでは故障の有無を表す2値変数を用いて、システムの劣化状態を表現しており、複数のレーティングを用いて表現できる劣化速度の異質性を評価できる枠組になっていない。そこで、小濱ら¹⁶⁾は、土木施設のベンチマーキング劣化曲線の設定や、劣化速度の相対評価・診断という点に着目し、多段階指数ハザードモデルにおけるハザード率の異質性を考慮した混合マルコフ劣化モデルを定式化するとともに、ベンチマーキング劣化曲線と劣化速度の相対評価指標を作成するための方法論を提案した。このことより、本研究では、既存のベンチマーキングを用いて、補修計画に資する方法論を検討する。

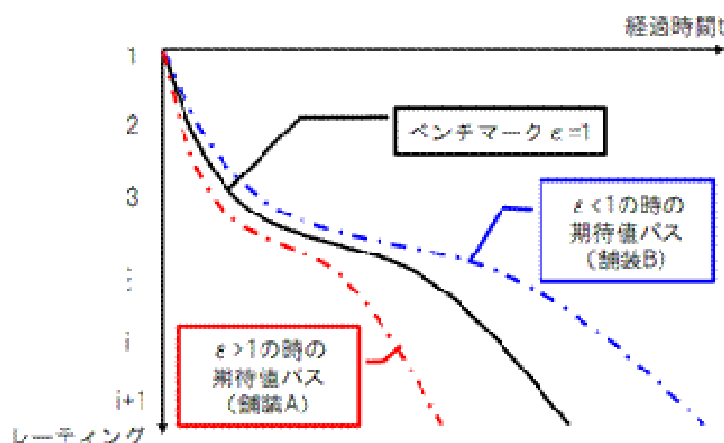
3. ベンチマーキングと補修工法の選択

3.1. ベンチマーキングと相対評価

ベンチマーキングにおけるモデルの詳細に関しては、小濱ら¹⁶⁾が議論した論文に詳しいが、ここではベンチマーキングによる相対評価について基本的なコンセプトを述べることにする。

いま、土木施設システムを構成する施設・要素群を K 個のグループに分類し、グループごとの劣化速度を相対評価する問題を考えよう。本研究の実証分析では、舗装群の劣化速度の相対評価問題を取りあげる。その際、個別舗装群単位を 1 グループと考え、ある 1 つの舗装群を構成する舗装種別を、同一グループに含まれる要素と位置づける。この場合、舗装種別の劣化速度を各舗装群間で比較する問題は、グループ間の劣化速度を相対評価する問題として定式化できる。このような劣化速度を相対比較する問題は、舗装群以外にも数多くの土木施設に共通して見出すことが可能である。例えば、橋梁における劣化速度を比較する問題も、同様に劣化速度の相対評価問題として定式化できる。このような劣化速度の相対比較を実施する場合、混合マルコフ劣化モデルは重要な役割を果たすことになる。混合マルコフ劣化モデルでは、異質性パラメータの推定値により、劣化速度の相対評価を行うことが可能である。ここでは異質性パラメータ ε を劣化速度の違いを表す確率変数とする。このとき、異なる舗装群の舗装種別の平均的劣化曲線が、時間の関数として図 3-1 に示すように表現できたと考える。比較の対象とする舗装群は、すべて同一の構造・材料特性、使用条件を有していると考ええる。同図において実線で描かれた平均的劣化曲線は、対象とする舗装群の平均的な劣化曲線を表している。この平均的な劣化曲線より下方に位置する舗装群 A は、平均的劣化曲線より劣化速度が速いと評価できる。逆に、上方に位置する舗装群 B は、劣化速度が遅いと評価できよう。平均的な劣化曲線は、舗装群の劣化速度の大小関係の評価するための基準となる劣化曲線であり、本研究ではベンチマーク劣化曲線と呼ぶこととする。混合マルコフ劣化モデルを用いれば、同一特性を有する舗装群の劣化速度の違いを、異質パラメータを用いて表現することができる。このうち、ベンチマーク劣化曲線では、異質性パラメータが $\varepsilon = 1$ となる。また、 $\varepsilon > 1$ の場合、ベンチマーク劣化曲線より劣化速度が速く、 $\varepsilon < 1$ の場合は、劣化速度が遅いと評価することができる。同図の舗装群 A では、劣化曲線がベンチマーク劣化曲線より下方に位置しており、劣化速度が相対的に早いと判断できる。このように他の同じような舗装群よりも、劣化速度が相当程度大きいことが判明した場合、劣化の進行が早い理由に関して究明することが必要となる。一方、舗装群 B は、劣化曲線がベンチマーク劣

化曲線より上方に位置している。



注) 実線は $\epsilon=1$ の場合であり、ベンチマーキング劣化曲線を表す。この曲線より下方に位置する劣化曲線は平均より劣化進行が早く、上方に位置する場合は劣化進行が遅いことを意味する。

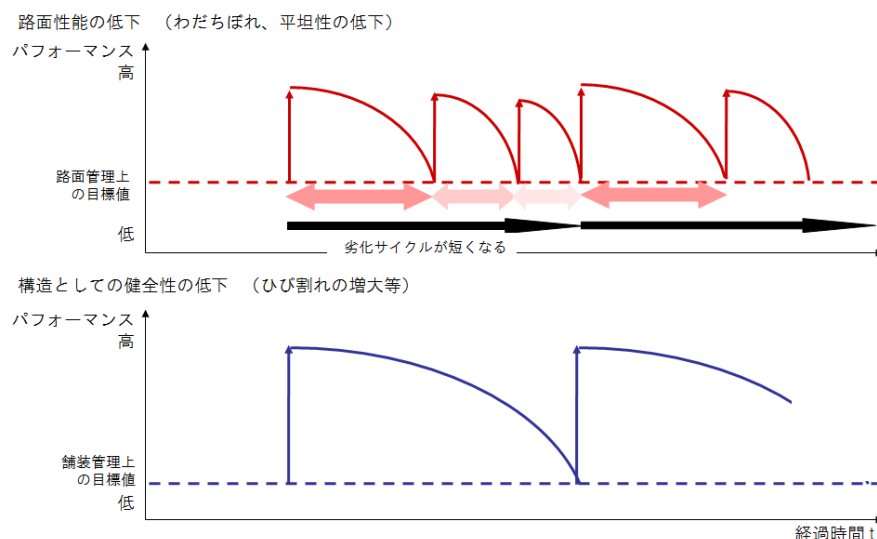
図 3-1 ベンチマーキングと相対評価

このように、混合マルコフ劣化モデルを用いて、個々の舗装群の劣化速度を相対評価することにより、道路ネットワークにおける舗装のアセットマネジメントの高度化のための有用な情報を提供することが可能となる。なお、以上では、同一の道路種別・特性を持つ舗装を対象とした劣化速度の相対評価問題を取りあげた。しかし、異質性パラメータを導入した混合マルコフ劣化モデルを用いることにより、道路種別・特性や、使用条件が異なる異質な舗装群の劣化速度を比較することも可能になるという利点がある。したがって、本モデルを用いることにより、異なるタイプの舗装で構成される舗装群に対して、個々のタイプの舗装の劣化過程に関するベンチマーク劣化曲線を設定し、劣化速度を相対的に検討するための相対評価モデルを開発することが可能となる。

3.2. 相対評価と舗装構造の関連性

舗装は建設後、供用され交通過重などにより性能が低下していく。舗装の性能指標には、さまざまなものが考えられるが、ひび割れ率等の舗装の構造としての健全性を評価する指標、わだちぼれ量や平坦性等の状態（または、その性能により影響を受ける道路利用者の安全性・快適性等）を評価する指標が代表的なものであり、このほか、排水性舗装等における透水性を評価する浸透水量などがある。

舗装の性能が一定レベルまで低下した時、建設当時の性能を回復する、あるいは低下した性能を改善するため、補修・再構築などを実施することになる。この補修・再構



注) 路面性能は舗装の構造の健全性低下より劣化サイクルが早く、その都度補修することでその機能を回復する。また舗装の構造の健全性低下に伴い、路面性能の劣化サイクルは速くなる。

図 3-3 舗装の劣化パターン

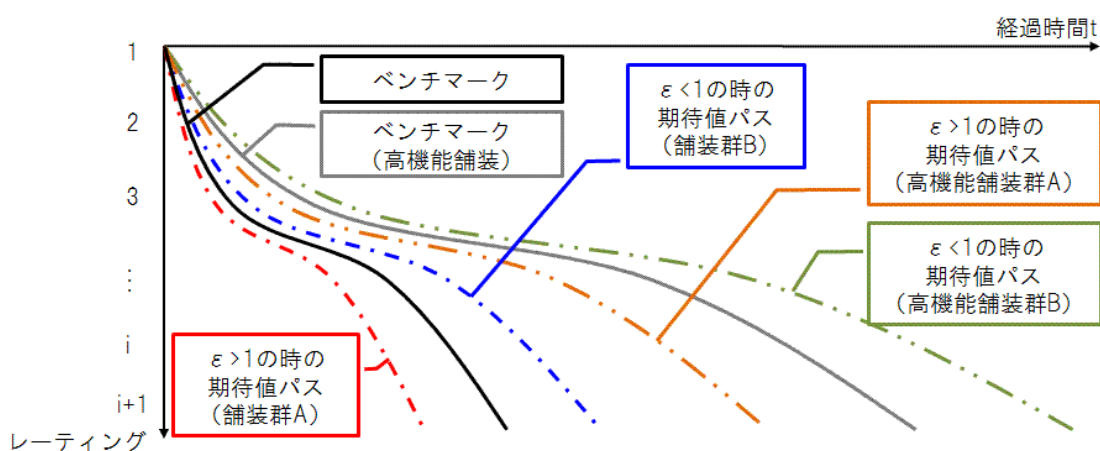


図 3-2 舗装機能の違いによるベンチマークと各異質性パラメータにおける期待値パス

築が必要となる舗装の性能のレベルのことを管理水準上の目標として表記している (図 3-2)。

舗装の劣化過程を、1)路面性状の低下、2)舗装の構造としての健全性の低下、に大別して考えると、路面性能は舗装の構造の健全性低下より劣化サイクルが早く、その都度補修することでその機能を回復する。また、舗装の構造の健全性低下に伴い、路面性能の劣化サイクルは速くなる。

一方、ベンチマーキングによる舗装の劣化相対評価は、舗装群ごとの相対評価を行

うことを目的としてモデル化されており，表層における路面の機能が同じであった場合，路面性能の低下の速度は舗装の構造の健全性の低下に依存していることが考えられる．これは高機能（高規格）にて設計した舗装においても同じであると考えられる（図 3-3）．

4. 適用事例

4.1. 概要

今回提案した方法論を用いて、本項では、マルコフ劣化モデルによる劣化推計と混合マルコフモデルに基づいた劣化速度の相対評価を行う。解析用のデータとして、国道 9 号豊岡河川国道管理事務所管区内を対象として実施された路面性状調査と補修履歴データを用いる。データの概要は表 4-1 に示した。

表 4-1 サンプルデータの概要

路面性状取得 1 回目 「前提条件①」	最新補修年月を適用し、健全度は 1 と仮定
路面性状取得 2 回目 「前提条件②」	MCI データは 2006 年度取得、2006 年 12 月を取得月と仮定
調査実施延長	77.140km
路面性状調査の評価単位	20m
路面性状評価指標	MCI

路面性状調査は、2006 年度に同区間より測定された MCI 値を用いているが、明確な測定日が記録として残っておらず、一定の仮定条件にて取得日を設定する必要がある。また、今回入手したデータの MCI に関する点検記録は 1 回のみのであり、マルコフ劣化モデルを利用するために、さらにもう 1 回の路面性状指標（MCI 値）を仮定する必要がある。そこで、「前提条件①」路面性状取得 1 回目は、最新補修年月と仮定し、その健全度は初期の最もよい状態と仮定すること、「前提条件②」路面性状取得 2 回目は、2006 年 12 月を取得年月として、路面性状としてデータベースに含まれる MCI 値関数で具体的に書き表すと、以下ようになる。

$$\tilde{\lambda}_i = \exp(\beta_{i,1} + \beta_{i,2}x_2 + \beta_{i,3}x_3) \quad (i=1, \dots, 6)$$

なお、各区間の舗装種別のデータは質的なデータであり、式内にてダミー変数を用いて表現している。具体的には、

$x_2 = 1 \quad x_3 = 0$ のとき、排水性舗装

$x_2 = 0 \quad x_3 = 1$ のとき、密粒度舗装

$x_2 = 0 \quad x_3 = 0$ のとき、セメント舗装

を適用することで、その健全度をサンプルとして解析に資するデータとすることとし

た.

さらに、劣化速度の違いを分析するための説明変数として、道路特性、空間特性等の情報を取得している。このうち、ハザードモデルの説明変数として、「舗装種別」を採用し、その他の要因は、混合指数ハザードモデルの異質性パラメータで評価することとした。

4.2. 推定結果

4.2.1. マルコフ劣化モデル

上記のデータベースを用いて、マルコフ劣化モデルを推定した。同データベースでは、路面性状を示す指標として記載されている「MCI 値」を本解析では、舗装種別の健全度が 6 段階で評価されている。健全度 6 の状態を除く合計 5 つのレーティングに対して、マルコフ劣化モデルを定義することができる。各レーティングに対応する劣化速度を表す指数ハザード関数の説明変数の候補として、舗装種別を選定し、混合指数ハザード関数を推定した。その中で、符号条件を満足し、かつ説明変数の説明力に関する仮説を有意水準 5%の尤度比検定で棄却されないような説明変数の組み合わせを選択した。

上記の説明変数「舗装種別」に含まれる「セメント舗装・排水性舗装・密粒度舗装」の 3 変数を指数ハザードで表現している。マルコフ推移確率を推定すると、表 4-2 に示す通りとなる。また、レーティングごとの期待寿命長より、各舗装種別に劣化パスを推計すると図 4-1 のようになる。

これより、セメント舗装が最も寿命長が長く、排水性舗装、密粒度舗装の順に劣化速度が速くなっている。

表 4-2 マルコフ劣化モデルの推定結果

レーティング	定数項 $\beta_{i,1}$	排水性 舗装 $\beta_{i,2}$	密粒度 舗装 $\beta_{i,3}$	E[θ]	期待 寿命長
1	0.0933 (14.62)	0.5035 (25.10)	0.1712 (20.94)	0.339	2.949
2	1.2522 (19.60)	-0.8461 (-12.81)	- -	1.029	0.972
3	0.0539 (14.82)	0.2147 (12.06)	0.6407 (21.46)	0.533	1.876
4	0.1551 (29.00)	0.1531 (4.34)	- -	0.196	5.114
5	0.15 (5.67)	- -	0.0803 (2.70)	0.203	4.928
対数尤度	-13433.7392				

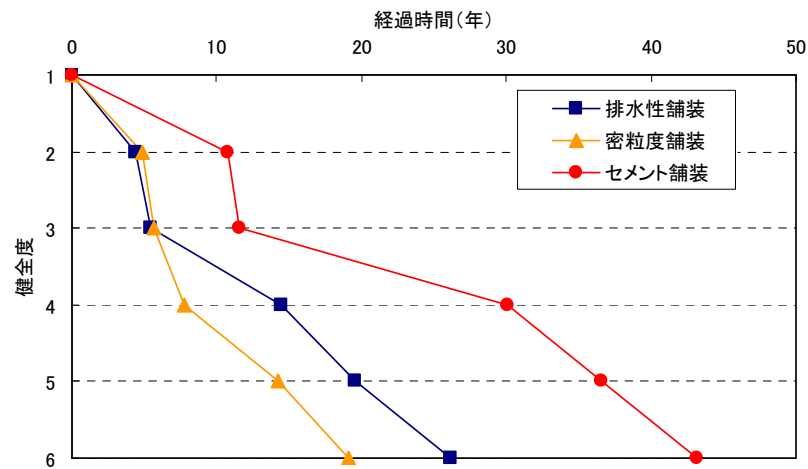


図 4-1 マルコフ劣化モデルによる劣化曲線
(舗装種別)

4.2.2. 混合マルコフ劣化モデルによる劣化予測

モデルは、各グループ間の異質性（説明変数のみでは表現できない非観測的要因）を表現する．具体的に書き表すと以下の通りとなる．

$$\lambda_i^k = \exp(\beta_{i,1}^k + \beta_{i,2}^k x_2 + \beta_{i,3}^k x_3) \varepsilon^k \quad (i=1, \dots, 6)$$

ここで表現される ε^k は、グループ k ($k=1, \dots, K$) の劣化特性を示す異質性パラメータであり、グループ数 k は、本解析において道路構造物（橋梁・トンネル・交差点）間をひとつの区間としたグループのグループ数が該当する．地域グループは道路構造物で区切られた道路を比較の対象としている．例として、図 4-2 を付記した．図 4-3 では、これら道路構造物で区切られたグループを位置するキロポスト順に並べている．このように、ベンチマーキング技術の利用により、劣化が著しい個所を検出することができる．検出された区間では、個別のかつ具体の原因について、検討する必要がある．図 4-4 では、各グループにおける個別の期待寿命長のパスを描くとともに、赤色の太線で全体のベンチマーク曲線を書き表した．これより、ベンチマーク曲線を軸に同一の管内においても期待寿命が均一でなく、ばらつきがあることを見ることができる．

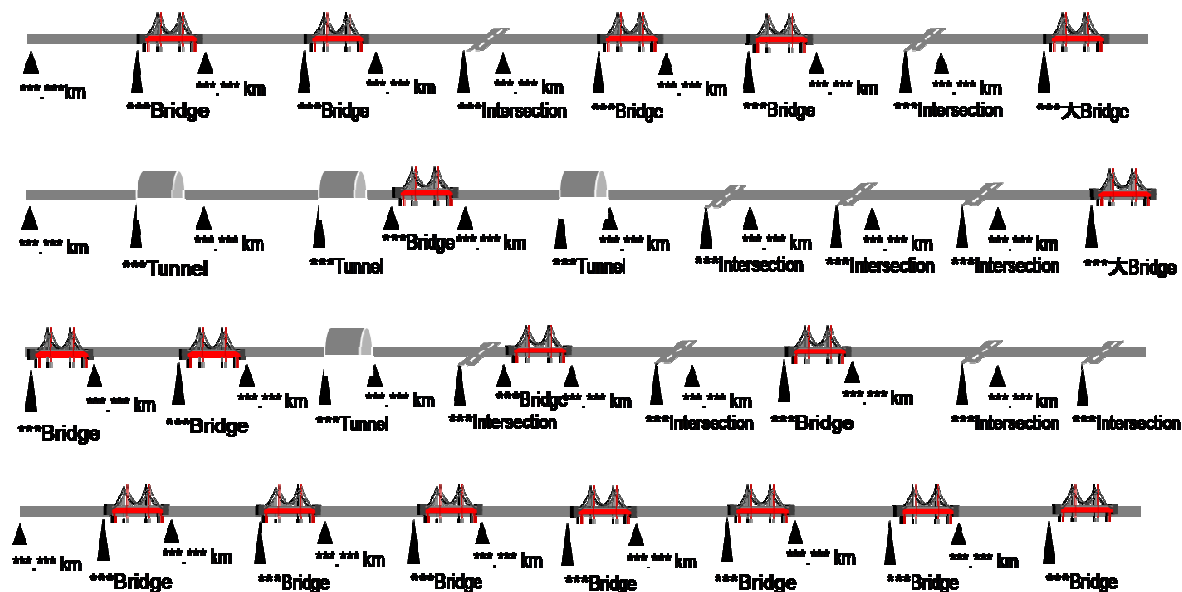


図 4-2 道路施設によるグループ分け（例）

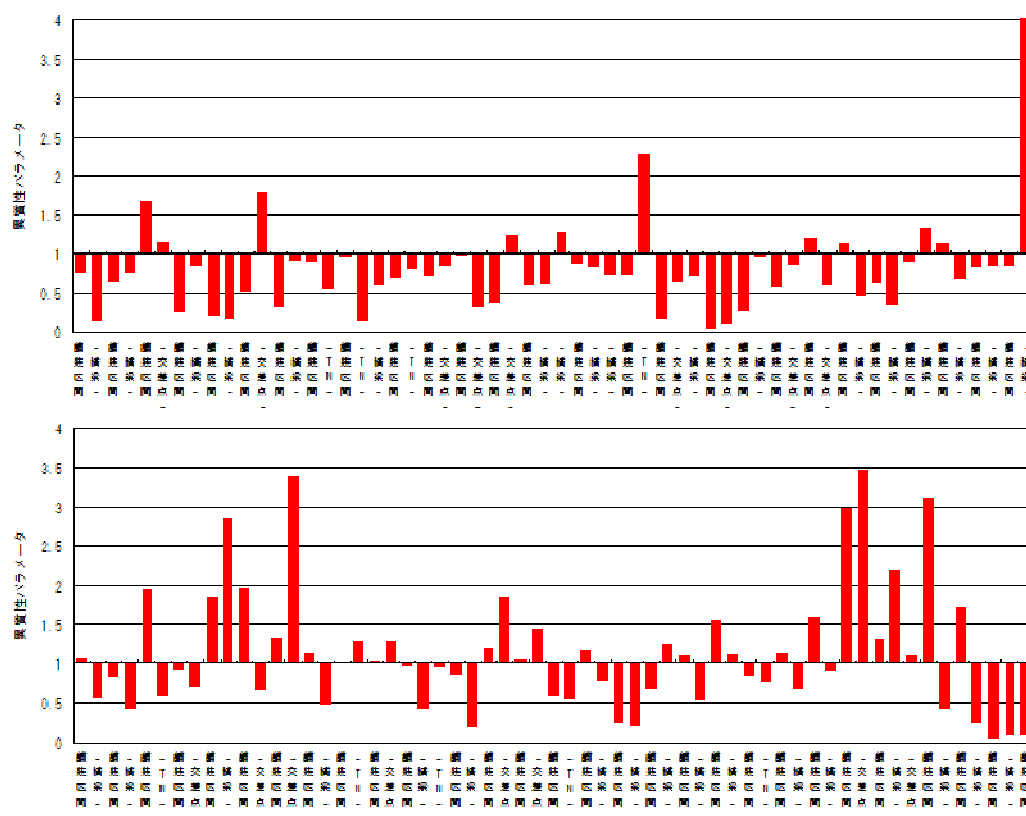


図 4-3 連続区間におけるグループ間異質性

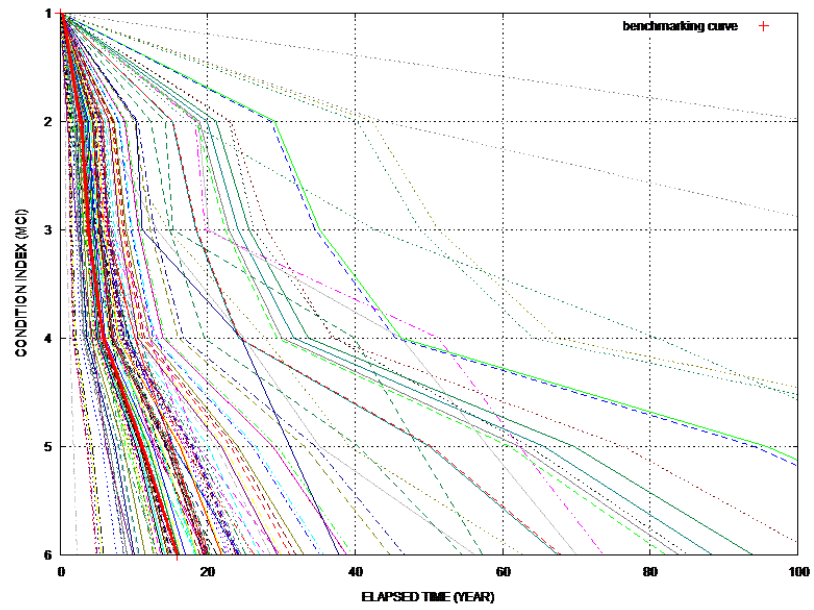


図 4-4 グループごとの期待寿命パス

5. ベンチマーキング技術を利用したマネジメント方策

今回適用した方法を一般化した手順として示すと以下のとおりとなる。

STEP1 路面性状調査：

路面性状調査の計画を行い，舗装表面の性能各指標を測定する。

STEP2 ベンチマーク解析：

ベンチマーク解析によりグループ間異質性の相対化する，これに基づき，詳細な調査が必要な個所を選定する。

STEP3 現地への適用：

選定された再調査個所を図化（路線図や GIS 等地図への展開）し，FWD 調査計画を作成する。

STEP4 FWD 調査：

FWD 調査によって，各層におけるたわみ量測定を行う。これにより，舗装表面（表層）以下の健全性の詳細な評価を行い，補修工法の選択を行う。

STEP5 補修個所・工法決定：

補修は必要に応じ，打ち替えや再構築を行う。その他の個所は日常の点検および維持管理・修繕を行う。

その他，補修計画における既往の意思決定過程およびベンチマーキング技術を取り入れた意思決定過程を図 5-1 と図 5-2 に示した。

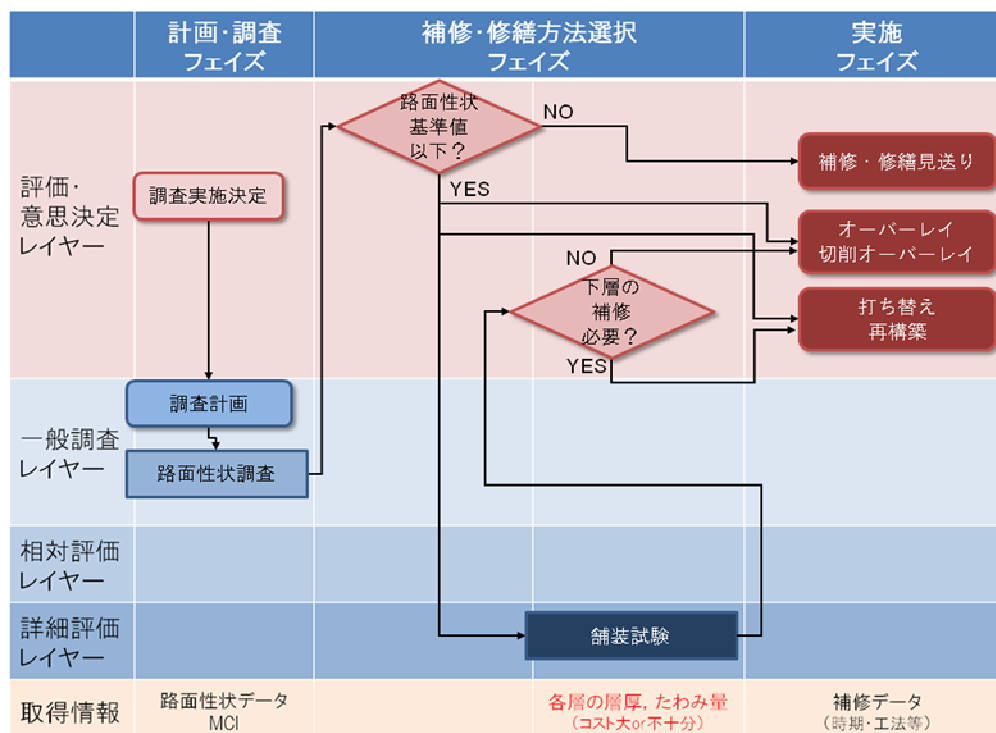


図 5-1 補修計画における既往の意思決定過程

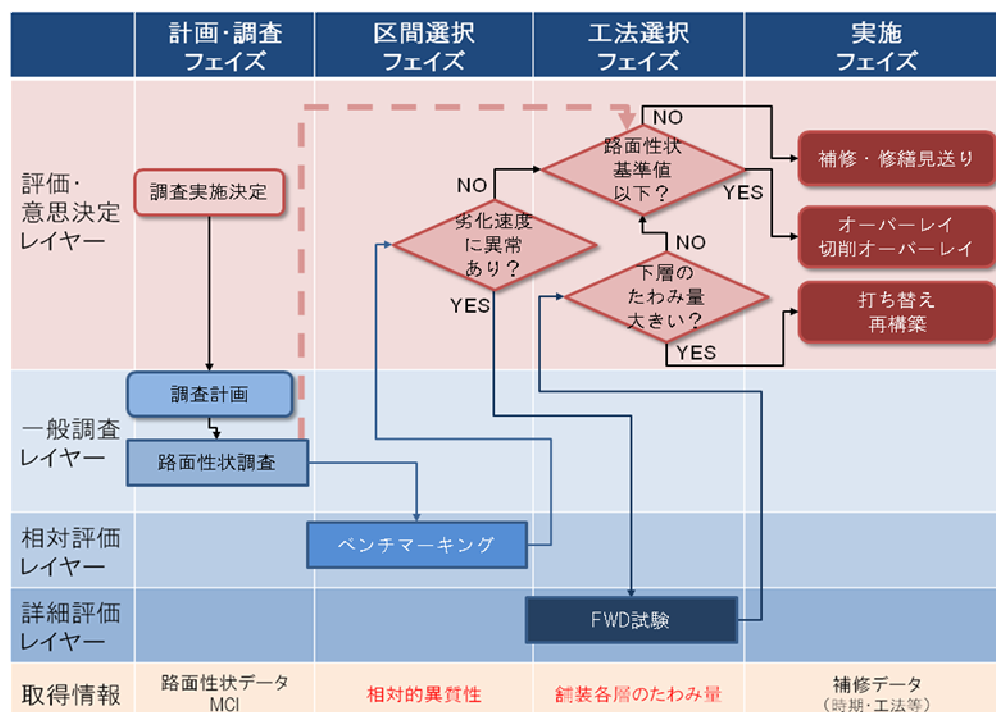


図 5-2 補修計画におけるベンチマーキング技術を取り入れた意思決定過程

6. おわりに

本研究では、効率的な維持管理を目指し、補修計画立案のためのコンサルティングサービスの在り方について検討した。特に、舗装の健全性が舗装構造の劣化に舗装表面の劣化が依存すること、また、ベンチマーキング技術が施設の健全性評価を相対化できることに着目して、舗装表面の健全性を示す路面性状データから、舗装表面以下の劣化を観察する手法について技術化し、舗装表面以下の健全性を評価する FWD (Falling Weight Deflectometer) 調査を組み合わせることで、一連の手法をビジネスパッケージ化した。

また、今後補修計画を立案するため、最適な補修工法の選択について考える必要があるが、管理上の目標値の設定の仕方についてはさまざまな方法が考えられる。代表的な例としては、舗装の構造としての健全度の観点から設定する方法、路面の状態の観点から設定する方法、ライフサイクルコストの最小化の観点より設定する方法などである。これらの方法から、最適な構造試験の選定と補修工法の選択について補修工法の選択について問題点を精査し、一括した方法論として提唱する必要がある。

これと同時に、今後補修計画の立案をビジネスとして展開するため、経済的な観点から既存の方法とベンチマーキングを取り入れた手法を比較することが必要となる。

謝辞

本研究は，新都市社会技術融合創造研究会の積雪寒冷地における舗装の耐久性向上および補修に関する研究（プロジェクトリーダー：小林潔司）の研究成果の一部である．また，本研究に関する検討は，本プロジェクトのメンバーでもある，大林道路（株），昭和瀝青工業（株），シンレキ工業（株），住友大阪セメント（株），大成ロテック（株），日進化成（株），ニチレキ（株），光工業（株），金下建設（株）からの協力により行われた．さらに，現地における路面性状調査の結果，および補修履歴，道路種別等に関する情報を取得するにあたり，国土交通省近畿地方整備局道路管理課，同豊岡河川国道事務所および八鹿国道維持出張所より多大なご協力と貴重な助言を賜った．ここに感謝の意を表する．

【参考文献】

- 1) 舗装設計便覧：社団法人日本道路協会, 2006
- 2) 津田尚胤, 貝戸清之, 青木一也, 小林潔司：橋梁劣化予測のためのマルコフ推移確率の推定, 土木学会論文集, No.801/I-73, pp.68-82, 2005.
- 3) 保田敬, 小林潔司: BMS における点検結果と状態推移確率が LCC に及ぼす影響, 建設マネジメント論文集, Vol.11, pp.111-122, 2004.
- 4) Lee, T.C., Judge, G.G. and Zellner, A.: Estimating the Parameters of the Markov Probability Model from Aggregate Time Series Data, Amsterdam, North-Holland, 1970.
- 5) 杉崎光一, 貝戸清之, 小林潔司：目視検査周期の不均一性を考慮した統計的劣化予測手法の構築, 構造工学論文集, Vol.52A, pp.781-790, 2006.
- 6) 貝戸清之, 阿部允, 藤野陽三：実測データに基づく構造物の劣化予測, 土木学会論文集, No.744/IV-61, pp.29-38, 2003.
- 7) Lancaster, T.: The Econometric Analysis of Transition Data, Cambridge University Press, 1990.
- 8) Gourieroux, C.: Econometrics of Qualitative Dependent Variables, Cambridge University Press, 2000.
- 9) Mishalani, R. and Madanat S. : Computation of infrastructure transition probabilities using stochastic duration models, ASCE Journal of Infrastructure Systems, Vol.8, No.4, 2002.
- 10) 青木一也, 山本浩司, 津田尚胤, 小林潔司：多段階ワイブル劣化ハザードモデル, 土木学会論文集, No.798/VI-68, pp.125-136, 2005.
- 11) 貝戸清之, 熊田一彦, 林秀和, 小林潔司：階層型指数劣化ハザードモデルによる舗装ひび割れ過程のモデル化, 土木学会論文集 F, Vol.63, pp.386-402, 2007.
- 12) 津田尚胤, 貝戸清之, 山本浩司, 小林潔司：ワイブル劣化ハザードモデルのベイズ推定法, 土木学会論文集, No.798/VI-68, pp.125-136, 2006.
- 13) 貝戸清之, 小林潔司：マルコフ劣化ハザードモデルのベイズ推定法, 土木学会論文集 A, Vol.63, No.2, pp.336-355, 2007.
- 14) 小林潔司, 熊田一彦, 佐藤正和, 岩崎洋一郎, 青木一也：サンプル欠損を考慮した舗装劣化予測モデル, 土木学会論文集 F, Vol.63, No.1, pp.1-15, 2007.
- 15) 貝戸清之, 山本浩司, 小濱健吾, 岡田貢一, 小林潔司：ランダム比例ワイブル劣化ハザードモデル：大規模情報システムへの適用, 土木学会論文集 F, Vol. 64, No. 2 pp.115-129., 2008

- 16) 小濱健吾, 岡田貢一, 貝戸清之, 小林潔司: 劣化ハザード率評価とベンチマーキング, 土木学会論文集 A, Vol.64, No.4, pp.857-874., 2008