

時間依存型劣化過程を有する道路舗装における 補修の同期化と劣化状態の空間相関

中里 悠人¹・水谷 大二郎²・奥村 誠³

¹学生会員 東北大学大学院 工学研究科土木工学専攻 (〒 980-0845 仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1)
E-mail: yuto.nakazato.s1@dc.tohoku.ac.jp

²正会員 東北大学助教 大学院工学研究科土木工学専攻 (〒 980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)
E-mail: daijiro.mizutani.a5@tohoku.ac.jp

³正会員 東北大学教授 災害科学国際研究所 (〒 980-0845 仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1)
E-mail: mokmr@strep.main.jp

道路舗装の維持管理において、劣化がある程度進展した複数の舗装区間を単一連続規制で同時に補修（補修の同期化）すると、補修・規制の固定費用が削減され、短期的な総補修費用を低減できる場合がある。各舗装区間の劣化過程が同質であると考え、補修が同期化された舗装区間が再度劣化の進展した将来時点においても類似の劣化状態を有し、補修の同期化の効果が長期的に増加する可能性が高くなる。特に、舗装区間が時間依存型の劣化過程を有する場合には、このような劣化状態の空間的な相関が強くなると考えられる。本研究では、ワイブル劣化ハザードモデルにより舗装区間の劣化過程を表現し、補修の同期化に起因した劣化状態の空間的な相関関係を定量化する。さらに、劣化過程の時間依存性に応じた劣化状態の空間的相関性の程度に関する考察を行う。

Key Words : *pavement management, life cycle cost, markov decision problem,*

1. はじめに

道路舗装のような公共性が高く、社会的便益も維持費用も高い社会基盤施設に対しては、その社会的総余剰を最大化し維持管理を行う、アセットマネジメントが必要となる。道路舗装のアセットマネジメントにおいては、道路を構成する舗装を 10m や 100m 単位の舗装区間に分割し、個々の舗装区間で劣化状況の把握を行うのが一般的である。舗装区間の補修を行うには、当該舗装区間を規制して、建設機材を用いて補修工事を行う必要がある。空間的に近接する複数の舗装区間を単一の連続規制において同時に補修する場合、一建設機材で同時に補修することが可能である。そのため、建設機材費用には同期化便益が存在しており、近接する複数の舗装区間を同じ建設機材で補修することで、建設機材費用の削減による補修工事費用の削減が見込める。

同じ建設機材での補修による補修費用削減を考慮した場合、使用限界に達してない舗装区間に対しても予防的補修を行い、他の使用限界に達した区間と同時に補修することで、短期間における補修工事費用の削減が考えられる。このような近接する複数の舗装区間の同時補修、すなわち「補修の同期化」は既に維持管理の現場で行われている。

舗装区間は同質で同じ期待寿命だと考えると、同時に補修された複数の舗装区間は、同時に使用限界に達

する可能性が高い。そのため、ある補修時点で同時補修された複数の近接する舗装区間の劣化状態には正の相関がみられ、将来時点でまた同時補修による建設機材費用の削減が見込める。すなわち、補修の同期化を行う便益は、短期間における補修工事費用の削減だけではなく、道路舗装の劣化状態に正の相関をもたらすことで、将来時における補修の同期化を促し、補修工事費用の削減に繋げることができる。

劣化状態の空間的相関に影響する要因として、同時補修の他に劣化の時間依存性があげられる。アセットマネジメントにおいて、施設の劣化やを確率的な事象として捉えるのが一般的である。通常劣化が進展し、使用限界になる確率は、供用からの経過時間が進むにつれ大きくなる。同時補修された舗装区間において、故障確率が供用年数に強く依存する場合、同時補修によって劣化状態に強い空間的相関が現れる。一方で、故障確率が供用年数にあまり依存しない場合、同時補修を行っても劣化状態にはあまり空間的相関が現れない。

本研究では、近接区間を同時補修した場合の最適補修戦略を適用した道路舗装において、舗装区間の劣化状態の空間的相関について考察する。故障確率が時間依存な舗装区間に対する最適補修施策を定式化し、最適補修施策を適用した舗装区間において、同時補修や故障確率が劣化状態の空間的相関にどのような影響を

与えるか、また劣化の空間的相関が道路舗装の維持管理にどう影響するかを考察する。数値計算で (1) 劣化状態の空間的相関が劣化経路の時間依存性にどう影響されるか; (2) 劣化状態の空間的相関がライフサイクル費用 (LCC) に与える影響; (3) 劣化状態の空間的相関が維持管理費用の分散に与える影響, について考察する。

以下, 2. で本研究の基本的な考え方, 3. で道路舗装の劣化状況の設定, 4. で補修の同期化を考慮した最適補修施策の定式化, 5. で数値計算について説明する。

2. 本研究の基本的な考え方

(1) 補修の同期化と劣化状態の空間相関

社会基盤施設の LCC 算出および補修施策決定を行う際には, 個々の施設を独立に考えることが多い³⁾が, 道路舗装のような複数の区間を同時補修することで補修固定費用削減が見込めるインフラのアセットマネジメントにおいては, 単一の舗装区間だけではなく, 道路舗装全体の状態から, 各舗装区間に対する補修の意思決定を行う必要がある。

補修の同期化は, 近接する使用限界区間を同一建設機材で補修する「補修の空間的同期化」と, 近接する使用限界区間を使用限界に近い区間を同一建設機材で補修する「補修の時空間的同期化」に分けることができる。補修の同期化が LCC への影響は 4 種類に分けることができる:

- 補修時点:
 - 近接する複数の補修施設の同時補修による補修固定費用の削減 (補修の時空間的同期化のみ)
 - 使用限界に達していない区間に対する予防的補修による補修費用の増加
- 短期間:補修単価と補修固定費用の削減 (補修の時空間的同期化のみ)
- 長期間:近接舗装区間の劣化状態に正の相関をもたらし, 将来における補修の同期化を促す (補修の時空間的同期化のみ)

本研究では, 補修の時空間的同期化に起因する, 劣化状態の空間的相関およびその影響について考察する。

最適補修施策においては, 近接する舗装の補修の時空間的同期化が行われるため, ある舗装区間で補修が行われた場合, 近接する舗装区間も同時に補修されている可能性が高いため, 劣化状態に空間的相関が現れる。舗装区間の劣化が確定的に近い, すなわち期待寿命近くでのみ使用限界に達する場合, 同時補修した舗装区間のうち一つが使用限界に達した時, 他の同時補修された舗装区間も, 使用限界, もしくは使用限界一歩手

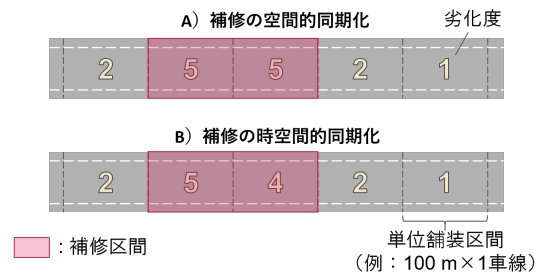


図-1 補修の同期化の例 (劣化度 5 の区間は使用限界に達しているとする。A) 補修の空間的同期化では劣化度 5 の舗装区間を同じ建設機材で補修; B) 補修の時空間的同期化では劣化度 4 の舗装区間を劣化度 5 の区間と同時に同じ建設機材で補修)

前に達していることが多く, また補修の同期化が行われる可能性が高い。そのため, 一度同時に補修された複数の区間に対してまた補修の同期化が行われ, LCC の削減が見込める。

「補修の同期化」を考慮した道路舗装全体に対する最適補修施策問題は, マルコフ決定過程 (MDP) であり, 全体の劣化状態ごとの補修戦略の集合となる。全体の劣化状態は各々の舗装の劣化状態の掛け合わせの数だけ存在するためその数は膨大であるため, 計算コストが問題の規模の増大に伴い急激に拡大し, 実務規模の MDP の解を求めるのは不可能である。そこで, 数値計算では小規模の道路舗装に最適補修施策を適用し, 劣化状態の空間的相関について考察する。

(2) 既往研究

社会基盤施設のアセットマネジメントに関してはすでに多くの研究が行われており, 劣化状態を離散的な状態変数で記述する, MDP¹⁾ を用いた最適補修戦略に関する研究は多く存在する²⁾。しかし, 多くの研究は単一の社会基盤施設のマネジメントを対象としており³⁾, 複数の社会基盤施設間の相関を考慮した研究は少ない。複数の社会基盤施設からなるシステムのマネジメントを対象とした研究でも, 前述したとおり大規模な MDP の計算は不可能に近いと, ほとんどの研究は単一時刻におけるコストを最小とする補修戦略のみに着目した研究である。織田澤等⁴⁾は, 複数の異なる社会基盤施設からなるシステムの補修同期化便益に着目している。当該研究は最適補修戦略の候補を列挙できるような (あるいは, 現実性を考慮しその候補数を削減できるような) 状況を想定しているが, 劣化パターンと戦略の組み合わせが膨大で, 同期化便益が距離に依存するような道路舗装に対する最適補修施策では, 当該研究での方法論を直接適用することは困難である。Burkhalter et al.⁵⁾は, 補修の同期化ではなく, 社会基盤施設のネッ

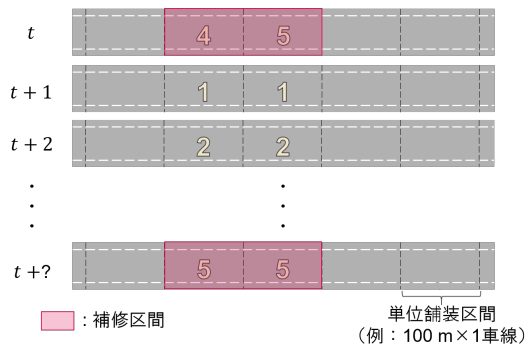


図-2 劣化の空間的相関の例（同時補修された劣化度 4 と劣化度 5 の区間は、将来時点で同時に使用限界に達し、また同時補修される）

トワーク特性を考慮した補修工事による利用者の不便益の評価手法を提案しており、同期化便益が施設ごとのネットワーク特性を持つなどの点で本研究と異なる。Lethanh et al.⁶⁾ や保田等⁷⁾ は、ともに補修時点での費用を最小化することを目的として、前者は予算制約、後者は危険コストをさらに考慮した研究であるが、両者ともに補修同期化による長期費用の減少を考慮していない。

また、上記の研究は全て同期化便益を考慮した補修施策に着目した研究であり、社会基盤施設の状態に与える影響に着目した研究は存在しない。

(3) 道路舗装の維持管理

本研究は補修の同期化とそれによる劣化状態の空間的相関に焦点を当てるため、通常の補修業務では発生する（1）点検費用（2）複数の工法（3）利用者へ与える影響（4）各舗装区間の劣化の異質性は考慮せず、同質の複数の舗装区間からなる道路舗装に対して、固定時間間隔で行われる補修工事の LCC を抑える補修施策を適用した道路舗装の劣化状態の空間的相関について考察を行う。

補修工事を行う区間に対しては当該区間に対して交通規制を行い、工事用の建設機材を用いて工事を行う必要がある。建設機材は連続した規制区間の間を自由に移動し、複数の舗装を同時に補修することができ、一台の建設機材で複数の近接区間を同時に補修できる。建設機材の費用削減が道路舗装の補修における補修同期化便益となる。

(4) ワイブルハザードモデル

劣化状態の空間的相関は、舗装区間の故障確率が供用年数に依存するかどうかで大きく変化する。既往研究の多くでは、社会基盤施設の劣化をマルコフモデルで記述している。マルコフモデルは過去の経歴を変数

に持たないため、問題を簡易化するのに適している手法であるが、本研究では過去の経歴（舗装区間の供用年数）が重要な影響をもたらすため、供用年数を変数に持つ、ワイブルハザードモデルを用いて道路舗装の劣化過程を記述する。問題を簡易化するため、舗装区間の使用年数が管理上設定された年数に達した場合は必ず補修を行う必要があるとする。

3. 複数道路舗装区間の劣化・補修過程

(1) 時間軸の設定

複数の連続した道路舗装区間からなる道路舗装システムの劣化・補修過程をモデル化する。道路舗装が建設されたカレンダー時刻 t_0 を起点とする離散的な時間軸を考える。舗装システムに対しては、 t_0 から同じ時間間隔 d で劣化度の点検を行い、その直後すぐに補修区間の決定及び補修が行われる。 $i (i \in \mathbb{Z}^+)$ 回目の点検補修時刻を t_i とし、点検補修時刻の集合を定義する：

$$\mathcal{T} \equiv \{t_i | \forall i \in \mathbb{Z}^+\} \quad (1)$$

$$\text{where } t_i = t_0 + id \quad (2)$$

(2) システムの劣化度ベクトル

道路舗装システムは $N (N = 2, 3, 4, \dots)$ 個の連続かつ同質な舗装で構成されている直線状の道路舗装であり、各舗装区間は 1 から N までの区間番号が振られている。使用限界までの時間を $T = Md$ とすると、 $n (n \in N)$ 番目の舗装区間の劣化度 s_n を、補修から経過した点検の回数で記述する：

$$s_n = m \quad (3)$$

$$\text{where } n \in N \quad (4)$$

$$m \in \mathcal{M}$$

$$N = \{1, 2, \dots, N\}$$

$$\mathcal{M} = \{1, 2, \dots, M\}$$

N は舗装区間番号の集合、 \mathcal{M} は劣化度の状態空間である。以上より、システム全体の劣化度を、 n 番目の要素が s_n の劣化度ベクトル \mathbf{s} で定義する：

$$\mathbf{s} \equiv [s_n] \quad (5)$$

劣化度ベクトルの状態空間 \mathcal{S} は各区間の劣化度の直積で、 $\mathcal{S} = \mathcal{M}^N$ と表記できる。補修前と補修後の劣化度を区別するため、時刻 $t \in \mathcal{T}$ において点検後補修前の劣化度を $\mathbf{s}^-(t)$ 、補修直後の劣化度を $\mathbf{s}^+(t)$ とする。

(3) 劣化過程モデル

舗装の劣化は道路区間の交通量に関係せず、現在の劣化度のみに影響されるとした場合の、ワイブルハザードモデルに従う単一の舗装区間の劣化過程をモデル化

する。パラメータ (a, b) に従うワイブルハザードモデルの確率密度関数 $h(t, a, b)$, 生存関数 $F(t, a, b)$ は以下のよう記述する:

$$h(t, a, b) = \frac{b}{a} \left(\frac{x}{a}\right)^{(b-1)} \exp\left(-\left(\frac{x}{a}\right)^b\right) \quad (6)$$

$$F(t, a, b) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{x}{a}\right)^b\right) \quad (7)$$

ワイブルハザードモデルでは、舗装区間の状態の変化は（使用限界に達する）or（供用からの経過時間が増える）の 2 通りになる。そのため、 $i \in \mathbb{Z}^+$ 回目の点検補修時刻 t_i から次の点検補修時刻 t_{i+1} までに、劣化度が $a(a \in \mathcal{M})$ から $b(b \in \mathcal{M})$ に遷移する確率を p_{ab} とする:

$$p_{ab} = \begin{cases} \text{Prob}[s_n^-(t_{i+1}) = b | s_n^+(t_i) = a] & \text{if } b = a + 1 \\ 1 - \sum_{m \in \mathcal{M} \cap \mathcal{M}} p_{am} & \text{if } b = M \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (8)$$

$$\forall i \in \mathbb{Z}^+ \forall a, b \in \mathcal{M}$$

p_{ab} を用いて、 a 行 b 列が p_{ab} の単一舗装区間の劣化度のマルコフ推移行列 \mathbf{P}_{sing} を定義する:

$$\mathbf{P}_{sing} \equiv [p_{ab}] \quad \forall a, b \in \mathcal{M} \quad (9)$$

道路舗装システム全体では、 i 回目の補修後の劣化度ベクトルが特定の $s^* \in \mathcal{S}$ の時、 $i + 1$ 回目の点検までに劣化度ベクトルが特定の $s^{**} \in \mathcal{S}$ になる確率は、各要素の劣化確率の積で表すことができる:

$$\text{Prob}[s^-(t_{i+1}) = s^{**} | s^+(t_i) = s^*] = \prod_{n \in \mathcal{N}} p_{s_n^* s_n^{**}} \quad (10)$$

(4) 劣化・補修過程モデル

劣化した舗装に対して補修工事を行うことで劣化度が減少する（=舗装状態が良くなる）。ここでは舗装に対する補修工法は、劣化度が最小の 1 になる取換工法（e.g. 切削オーバーレイ）のみを考慮する。時刻 $t \in \mathcal{T}$ において、各区間に対して補修を行うか否かを二値変数で表す補修ベクトル $\delta(t)$ とすると、補修による劣化度の変化は以下のように表記できる。

$$s^+(t) = s^-(t) - [s^-(t) - \mathbf{1}] \circ \delta(t) \quad (11)$$

$$\text{where } \delta_n(t) \in \{0, 1\} \quad \forall n \in \mathcal{N} \quad (12)$$

4. 最適補修施策

(1) 補修の前提条件

取換工事を行うためには、該当する舗装区間を通行止めにする必要となる。各区間に対して補修を行うか否かを二値変数で表す補修ベクトル $\delta(t)$, 通行止めにするか否かを二値変数で表す規制ベクトル $\xi(t)$ とすると、

$\delta(t)$ と $\xi(t)$ には以下の関係が成立する:

$$\delta_n(t) \leq \xi_n(t) \quad \forall n \in \mathcal{N} \quad (13)$$

$$\text{where } \delta_n(t), \xi_n(t) \in \{0, 1\} \quad \forall n \in \mathcal{N} \quad (14)$$

また、点検で劣化度が最大の M であった舗装区間に対しては必ず取換工事を行う必要があり、次の点検時刻までの劣化度が M になる舗装区間の割合の期待値 $E(t)$ を、基準値 E^* 以下に抑える必要がある。以上の点を踏まえたうえで、管理側はライフサイクル費用が最小となるような補修ベクトルおよび通行止めベクトルを決める必要がある。補修で発生する費用は、補修区間の数に比例する材料と人件費 h , 規制区間の数に比例する規制費用 b , 建設機材の配置費用 k の三つとなる。建設機材は連続した規制区間の間を自由に移動し、一台で複数の補修区間を担当することができるが、機材の移動距離には制限があり、同時に補修できる範囲は最大で L とする。以降補修ベクトル $\delta(t)$ と規制ベクトル $\xi(t)$ を合わせて規制・補修戦略と呼び、規制・補修戦略を決める方法を管理施策と呼ぶ。

(2) 単一舗装の最適補修施策

システムの特性を考慮せず、単一の舗装に対する補修戦略をすべての舗装に対して行う施策。

(3) 同期化便益を考慮した最適補修施策

管理側のライフサイクル費用を最小にする、最適管理施策は以下の最適化問題として定式化することができる:

$$\min_{\Delta, \Xi} \sum_{t \in \mathcal{T}} \frac{1}{(1 + \rho)^t} [h(t) + b(t) + k(t)] \quad (15)$$

$$\text{s.t. } \delta_n(t) = 1 \quad \text{if } s_n^-(t) = M \quad \forall n \in \mathcal{N} \quad (16)$$

$$\delta_n(t) \leq \xi_n(t) \quad \forall n \in \mathcal{N}$$

$$\text{where } s(t_0) = \mathbf{1} \quad (17)$$

$$\Delta \equiv [\delta(t_1), \delta(t_2), \delta(t_3), \dots]$$

$$\Xi \equiv [\xi(t_1), \xi(t_2), \xi(t_3), \dots]$$

$$\text{Prob}[s_n^-(t+1) = j | s_n^+(t) = i]$$

$$= p_{ij}, \forall i, j \in \mathcal{M}, n \in \mathcal{N}$$

$$h(t) = \alpha \sum_{n \in \mathcal{N}} \delta_n(t)$$

$$b(t) = \beta \sum_{n \in \mathcal{N}} \xi_n(t)$$

$$k(t) = \gamma q(t)$$

目的関数はライフサイクル費用の最小化、制約条件はそれぞれ劣化度が最大だと補修が必要、補修には通行止めが必要、劣化度最大の期待値が基準値以下、に対応している。 $q(t)$ は時刻 t における建設機材の配置数、 α は補修区間あたりの材料・人件費の単価、 β は規制区間

あたりの規制費用の単価, γ は規制あたりの固定補修費用である。

目的関数 (15) については, 舗装システムの劣化が確率的であるため, 最適な Δ, Ξ は一意ではない. このような状態の推移が確率的なモデルの最適化問題は MDP であり, システムの起こりうる任意の状態 $s \in \mathcal{S}$ に対する規制・補修戦略の集合 $\{\delta(s), \xi(s) | \forall s \in \mathcal{S}\}$ が最適な管理施策となる. システムの劣化度の状態空間 \mathcal{S} の要素数は M^N であるため, 管理施策は M^N 個の規制・補修戦略の集合となる.

MDP の解法としては価値反復法があげられるが, その計算時間は状態空間の広さに比例して非常に大きくなる. 実用レベルにおける本問題では, 3 桁以上の舗装区間からなる舗装システムに対する補修をも考えるが, 価値反復法では舗装区間の数が 1 桁でも莫大な計算時間がかかる.

5. 数値計算

(1) 数値計算の概要

数値計算では, Hee Chol et,al.⁸⁾ で推定された, 道路舗装のワイブルハザードモデルのパラメータ $(a, b) = (7.926, 1.08)$ を Case1 のパラメータとして用いる. さらに比較対象として, 推定されたパラメータと同様な期待寿命を持つが, 故障確率がより供用時間に依存する Case2 のパラメータ $(a, b) = (8.5, 4)$ として用いる. 具体的なパラメータは表-1 を参照.

(2) 劣化の時間依存性が道路舗装に与える影響

劣化の同期化の指標として, 劣化度が最大の $m = 5$ の状態が二つ以上同時に存在する場合, それらの区間の距離の分布を用いる. それに加えて, LCC をまとめたものが表-2 である.

同じ期待寿命の舗装でも, 劣化が確定的な Case 2 の LCC は Case 1 の LCC より小さい. これは, 故障確率がより確率的な Case 2 において, より補修の同期化が行われているからだと思われる. 劣化度最大の区間の距離の分布については, 両 Case ともに距離 1 が最大であるため, 劣化状態に正の空間的相関が存在することがわかる. Case 1 より Case 2 のほうが距離の分布が均一なのは, Case 2 では全ての区間において劣化の同期化が発生しているためだと思われる.

(3) 劣化の相関が LCC に与える影響の考察

Case 1 のパラメータを用いて, 補修を行うごとに全ての舗装区間の劣化度がシャッフルされる舗装を考える. このような舗装区間では劣化の空間的相関が存在せず, 通常の舗装と比較することで, 劣化の空間的相関

表-1 数値計算パラメータ

	Case 1	Case 2			
区間数: N	7				
点検間隔: d	2(年)				
使用限界年数: T	10(年)				
補修単価: α	2				
規制単価: β	1				
建設機材単価: γ	10				
割引率: ρ	0.04				
ワイブルパラメータ: (a, b)	(7.926, 1.08)	(8.5, 4)			
舗装の期待寿命:	7.6954	7.7044			
Case 1 の推移行列: P_1	0	0.77	0	0	0.23
	0	0	0.77	0	0.23
	0	0	0	0.76	0.24
	0	0	0	0	1
	0	0	0	0	1
Case 2 の推移行列: P_2	0	0.96	0	0	0.04
	0	0	0.82	0	0.18
	0	0	0	0.58	0.42
	0	0	0	0	1
	0	0	0	0	1

表-2 時間依存性が舗装に与える影響

	LCC	劣化度最大の区間同士の距離の分布		
		1	2	3
Case 1	677.77	34.52%	33.33%	32.14%
Case 2	544.29	33.34%	33.33%	33.33%

表-3 劣化の空間的相関が LCC に与える影響

	通常の舗装区間	区間をシャッフル
LCC	26.06	26.14

が補修工事費用に与える影響を評価することができる. シャッフルを行った場合の一機当たりの補修工事費用と通常の舗装の一期当たりの補修工事費用は表-3 のようになった. シャッフルを行わないほうが LCC が高く, この差分が劣化の相関が LCC に与える影響である.

6. おわりに

本研究では, ワイブルハザードモデルで劣化を記述する道路舗装に対する, 補修の同期化を考慮した最適補修施策を定式化した. さらに数値実験を通して, 補修の同期化によって劣化状態に空間的相関が現れることを示し, 劣化の時間依存性が劣化状態の空間的相関に大きく影響することが分かった. 実際の維持管理においても, 劣化が時間依存かどうかで, 舗装区間への対処を柔軟に変える必要があることが分かった. 今後

は、劣化の空間的相関を簡単に評価する手法や、劣化の空間的相関が弱い状況での最適補修施策の簡単な求め方が求められる。

参考文献

- 1) D. J. White.: *Markov Decision Processes*, Wiley, 1922.
- 2) Madanat, S.: Incorporating inspection decisions in pavement management, *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol.27, Issue 6, pp.425-438, 1993.
- 3) 貝戸清之, 保田敬一, 小林潔司, 大和田慶: 平均費用法に基づいた橋梁部材の最適補修戦略, 土木学会論文集, No.801/I-73, pp.83-96, 2005.
- 4) 織田澤利守, 山本浩司, 青木一也, 小林潔司: 道路付帯施設の最適補修同期化政策, 土木学会論文集 F, Vol.64, No.2, pp.200-217, 2008.
- 5) Burkhalter, M., Martani, C. and Adey, B. T.: Determination of risk-reducing intervention programs for railway lines and the significance of simplifications, *Journal of Infrastructure Systems*, Vol.24, Issue 1, 2018.
- 6) Lethanh, N., Adey, B. T., and Burkhalter, M.: Determining an optimal set of work zones on large infrastructure networks in a GIS framework, *Journal of Infrastructure Systems*, Vol.24, Issue 1, 2018.
- 7) 保田敬一, 川上順子, 若槻晃右, 兒玉崇, 甲元克明: 都市高速道路における大規模補修工事最適化支援システム, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.67, No.2, pp.I_29-I_43, 2011.
- 8) Hee Cheol S., and Samer M.: Development of a stochastic model of pavement distress initiation, No.744, JSCE, J. Infrastructure Plan. and Man., 2003 October

Synchronized Repair and Spatial Correlation of Road Pavement Systems with Time-Dependent Deterioration Processes

Yuto NAKAZATO, Daijiro MIZUTANI, Makoto OKUMURA

When determining sections to repair on a pavement network consists of multiple adjacent pavement sections, repairing neighboring sections simultaneously can reduce the fixed repair cost (e.g. cost of machine). Therefore, system life-cycle-cost (LCC)-optimized management for pavement network may allow repairment for sections don't need repair in single pavement section management (synchronized repair). When adjacent pavements are repaired simultaneously, states of adjacent pavement may have positive correlation considering homogeneous deterioration of each pavement section. The correlation of adjacent pavement depends on how strongly deterioration process of pavement is time-dependent. This study formulated optimal policy for pavement management with time-dependent deterioration process and shows property of correlation of states of adjacent pavement by numerical experiments.