

固定費用の削減に着目した道路舗装における予防的補修と劣化状態の空間相関

東北大学大学院 学生会員 ○中里悠人 正会員 水谷大二郎 正会員 奥村誠

1. はじめに

道路舗装のアセットマネジメントにおいては、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。この時、使用限界に達した区間と同時に、近接範囲の使用限界に近付いた状態の区間にも同時に予防的補修を行うことで（図-1）、異なる時点で必要であった建設機材を1時点にまとめることで必要台数の削減ができ、道路舗装全体の補修工事費用の削減効果が現れる。

劣化過程が時間依存する場合、ある時点で同時に補修された複数の舗装区間の劣化状況に正の空間相関が生じ、将来にも近い時刻で使用限界になる可能性が高くなる。そのため再び同時に補修される可能性が高くなり、再び補修工事費用の削減が見込める（図-2）。

本研究では（1）劣化の時間依存が劣化の空間相関に与える影響、（2）その劣化の空間相関が費用削減に与える影響について考察する。

2. 定式化

本研究では、中里ら¹⁾で提案された、予防的補修を考慮した道路舗装の最適補修施策決定モデルを用いる。このモデルでは単一舗装区間の劣化過程をマルコフ過程として記述していた。本研究ではワイブルハザードモデルで記述できる時間依存型の劣化過程も扱うが、供用開始もしくは最後の補修からの経過年数を劣化度 s と見なし、 S を使用上限年数として、使用限界に達した区間（故障区間）と使用上限年数に達した区間に対して補修工事が必要と仮定すると、マルコフ過程への変換が可能であり、先のモデルを適用することができる。この時、劣化度間の推移確率行列は

$$P^w \equiv \begin{pmatrix} 0 & P_{1,2} & 0 & \cdots & 1 - p_{1,2} \\ 0 & 0 & p_{2,3} & \cdots & 1 - p_{2,3} \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & \cdots & 0 & 1 \\ 0 & \cdots & \cdots & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

と定義できる。舗装区間はパラメータ (e, f) に従うワイブルハザードモデルに従い、生存関数を

$U(t, e, f) = \exp(-(t/e)^f)$ として定義すると、一段階劣化状態が進行する確率が $P_{i,i+1}^w = U(t_{i+1}, e, f)/$

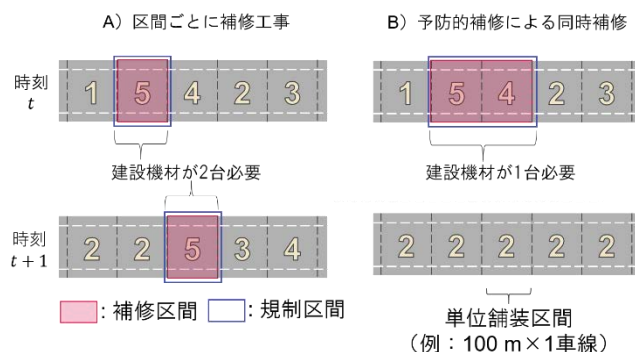


図-1 区間ごとの補修 vs 予防的補修による同時補修

（劣化度5の区間は必ず補修が必要。）

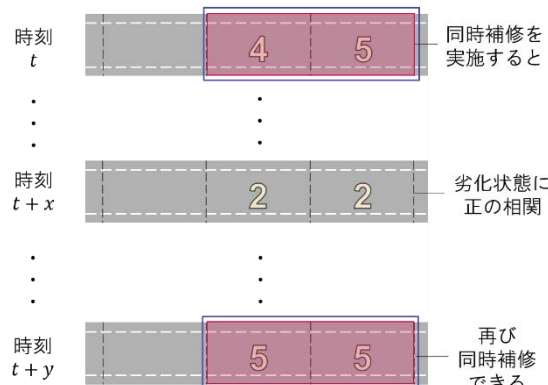


図-2 同時補修による劣化の空間相関（ $0 < x < y$ ）

$U(t_{i+1}, e, f)$ と求められる。

劣化の空間相関の影響を考察するために、道路舗装の劣化状況が補修後に空間的にシャッフルされるケースを考える（図-3）。シャッフルにより近接区間の劣化状態間の空間相関が打ち消されるため、同時補修による短期的な費用削減のみが存在する状況を作り出すことができる。これを通常のケースと比較することで、空間相関の影響を分析することができる。

3. 数値計算

数値計算においては、三種類の劣化過程を持つ道路舗装の維持管理について比較する（表-1）

- Case 1: 故障確率が供用時間にあまり依存しないワイブルハザードモデルに従い劣化する舗装区間（ $P = P_1^w$ ）からなる道路舗装
- Case 2: 故障確率が時間に強く依存するワイブルハザードモデルに従い劣化する舗装区間（ $P = P_2^w$ ）からなる道路舗装
- Case 3: マルコフモデルに従い劣化する舗装区間

キーワード：道路舗装 維持管理 ライフサイクル費用 マルコフ決定過程 予防的補修 同時補修

連絡先：〒980-0845 仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1S-502 東北大学災害科学国際研究所 TEL:022-752-2160

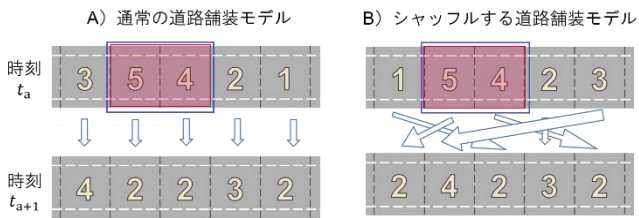


図-3 通常の道路舗装とシャッフルする道路舗装

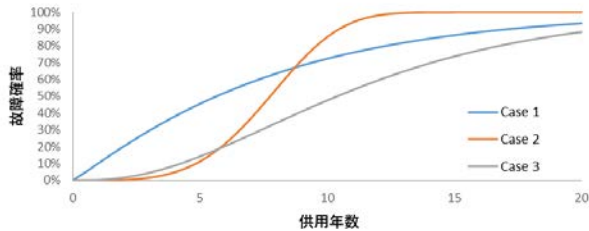


図-4 推移確率行列の故障確率の推移

表-1 数値計算で使用する推移確率行列

Case 1: P_1^w	$\begin{pmatrix} 0 & 0.7774 & 0 & 0 & 0.2226 \\ 0 & 0 & 0.7691 & 0 & 0.2309 \\ 0 & 0 & 0 & 0.7636 & 0.23 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$
Case 2: P_2^w	$\begin{pmatrix} 0 & 0.9551 & 0 & 0 & 0.0449 \\ 0 & 0 & 0.8194 & 0 & 0.1806 \\ 0 & 0 & 0 & 0.5849 & 0.4151 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$
Case 3: P^m	$\begin{pmatrix} 0.3679 & 0.3104 & 0.1796 & 0.1421 \\ 0 & 0.2593 & 0.3025 & 0.4382 \\ 0 & 0 & 0.1923 & 0.8077 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$

間 ($P = P^m$) からなる道路舗装

それぞれのCaseにおける故障確率の時間推移は図-4の通りであり、故障確率の時間依存性はCase 2が最も大きい。価値反復法を用いて最適補修施策を計算し、最適補修施策を適用した場合に、予防的補修が行われる確率と同時補修された区間が再び同時補修される確率（＝劣化の空間相関の指標）を計算する。また、通常の道路舗装とシャッフルする道路舗装におけるLCCを比較し、劣化の空間相関による費用削減割合を比較する。

予防的補修が行われる確率と、同時補修された区間が再び同時補修される確率は表-2の通りである。予防的補修が多く行われる時、長期的に見てそれらの区間の同時補修が多く行われることが分かる。

同時補修と劣化の空間相関がLCCに与える影響を図-5と表-3に示す。劣化過程の時間依存性が最も強いCase 2において、劣化の空間相関による費用削減が最

表-2 予防的補修の確率と劣化の空間相関の比較

	予防的補修が行われる確率	同時補修された区間が再び同時補修される確率
Case 1: P_1^w	24.65%	40.56%
Case 2: P_2^w	60.66%	85.49%
Case 3: P^m	36.69%	23.99%

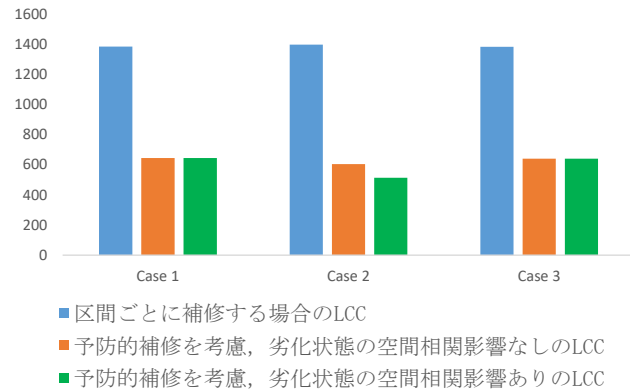


図-5 予防的補修と劣化の空間相関によるLCCの削減

表-3 予防的補修と劣化の空間相関による費用削減効果

	Case 1	Case 2	Case 3
予防的補修による費用削減効果	53.46%	63.19%	53.67%
劣化状態の空間相関による費用削減効果	0.15%	14.84%	0.03%

も大きく見込めることが分かる。

4. おわりに

本研究では、ワイブルハザードモデルで劣化が記述される道路舗装に、最適補修施策決定モデルを適用して同時に予防的補修を行う場合に発生する空間的相関と、それが維持管理の費用に与える長期的な影響を分析する方法を提示した。3種類の異なるタイプの劣化過程を想定した数値実験により、特に時間依存性が強い劣化過程において同時補修を行うとその後の劣化状態に空間的相関が現れることが分かった。実際の維持管理においても、劣化が時間依存かどうかで補修戦略を使い分ける必要があることが示唆された。今後は、劣化の空間相関が弱い状況での最適補修施策の簡単な求め方に関する研究が求められる。

【参考文献】

- 1) 中里悠人, 水谷大二郎, 奥村誠: 小規模道路舗装の時空間的補修同期化施策, 土木学会論文集D3 (土木計画学), Vol. 76, 掲載決定
- 2) Richard Bellman: A Markovian Decision Process, Journal of Mathematics and Mechanics, Vol.6, No.5, pp. 679-684, 1957