

積雪寒冷地におけるポットホール補修合材の耐久性評価モデル

大阪大学大学院

学生員

○起塚 亮輔

大阪大学大学院

正会員

貝戸 清之

京都大学経営管理大学院

フェロー会員

小林 潔司

1. はじめに: アセットマネジメントを実務において有効に機能させるためには、対象とする地域や構造物に特有の条件を勘案することが重要である。本研究で対象とする積雪寒冷地の道路舗装では、冬季の融雪や除雪対策としての散水により、路面が常に滞水状態におかれることが少なくなく、ポットホールが多発するという特有の現象を確認することができる。ポットホール等の路面異常に対しては、通常、常温合材を用いて迅速に応急的な補修がなされるが、積雪寒冷地では常温合材が本来の性能を発揮するだけの施工条件を満たすことは難しく、すぐに合材が剥離してしまう事例が多い。本研究では、積雪寒冷地において発生したポットホールに対して、一般的な常温合材を用いて補修をした際の補修合材の剥離までの時間を実際の点検データを用いて統計的に推計し、その耐久性を実証的に分析する¹⁾。具体的には、ポットホールの発生過程をワイブル劣化ハザードモデルによって表現し、そのモデルの推計結果を用いて補修合材の剥離までの時間（耐久性）を算出する。

2. モデルの定式化: 本研究では補修合材による補修の実施から補修合材が剥離するまでの時間、すなわちその寿命をもって耐久性を評価する。補修合材の寿命を確率変数 ζ で表し、確率密度関数 $f(\zeta)$ 、分布関数（累積寿命確率） $F(\zeta)$ に従って分布すると仮定する。ただし、寿命 ζ の定義域は $[0, \infty)$ である。いま初期時点から任意の時点 $t \in [0, \infty)$ まで、構造物の劣化が発生しない確率（以下、生存確率と呼ぶ） $\tilde{F}(t)$ は、全事象確率 1 から時点 t までに補修合材が剥離する累積寿命確率 $F(t)$ を差し引いた値である。また、補修合材が時点 t まで生存し、かつ当該時点で剥離する確率密度 $\lambda(t)$ を「ハザード関数」と呼ぶ。ここで劣化ハザード関数としてワイブル劣化ハザード関数

$$\lambda(t) = \theta \alpha t^{\alpha-1} \quad (1)$$

を考える。ただし、 θ はポットホールの発生頻度を表す定数パラメータであり、さらに θ が道路区間の構造特性や補修合材の破損に影響を及ぼすような特性で表現できると考えれば、特性ベクトル $x = (x_1, \dots, x_M)$ を用いて、

$$\theta = \exp(x\beta') \quad (2)$$

と表せる。上式中で、 $x_m (m=1, \dots, M)$ 番目の特性変数の観測値を表し、 $\beta = (\beta_1, \dots, \beta_M)$ は未知パラメータベクトルである。 $'$ は転置操作を表す。また、 α はハザード率の時間的な増加傾向を表す加速度パラメータである。ワイブル劣化ハザード関数を用いた場合、補修合材の寿命の確率密度関数 $f(t)$ 、補修合材の生存確率 $\tilde{F}(t)$ は、それぞれ

$$f(t) = \theta \alpha t^{\alpha-1} \exp(-\theta t^\alpha) \quad (3)$$

$$\tilde{F}(t) = \exp(-\theta t^\alpha) \quad (4)$$

と表される。本研究の目的は、補修合材の剥離状態に関する実際の目視点検データを用いて、ワイブル劣化ハザード関数を推計することにあるが、推計方法の詳細については参考文献1)を参照されたい。

3. 実証分析の概要: 2.で定式化したワイブル劣化ハザードモデルを用いて、補修合材の耐久性分析を実施する。このとき、補修合材の耐久性に影響を及ぼす要因を分析することは重要な課題である。つまり、式(2)の特性変数として、どのような要因を採用するかが、積雪寒冷地における補修合材の耐久性を説明する上で、そこで、補修合材の耐久性に影響を及ぼすと考えられる特性変数として、1)ポットホールの複数回発生、2)構造物（土工部 or CO床版部）、3)表層材料（密粒度舗装 or 排水性舗装）、4)融雪散水装置の有無、5)融雪散水の有無、6)施工時のポットホール内の水の除去、7)泥（埃）の除去、8)締固め方法（作業車 or 人力・機械）、9)カットバック系、10)大型車交通量、11)平面線形、12)縦断勾配、13)ポットホールの面積、14)ポットホールの深さ、15)施工時気温、16)施工時間とした。これらのうち、ポットホールの複数回発生などの1)から9)までは定性的パラメー

キーワード アセットマネジメント、耐久性分析、ハザードモデル、ポットホール、補修合材

連絡先：〒565-0871 吹田市山田丘 2-1 大阪大学大学院 工学研究科フロンティア研究センター

表-1 推計結果 (複数回発生の有無)

	α 加速度	β_1 定数項	β_2 複数回発生
推計値	0.411	-3.68	1.61
t-値	10.5	-13.3	6.98
AIC	989.7		

表-2 推計結果 (4変数を考慮した際の最適モデル)

	α 加速度	β_1 定数項	β_2 複数回	β_3 装置の有無	β_4 構造物	β_5 水の有無
推計値	0.434	-4.14	1.46	1.18	-0.977	0.750
t-値	10.9	-9.28	6.04	3.24	-3.68	3.13
AIC	964.6					

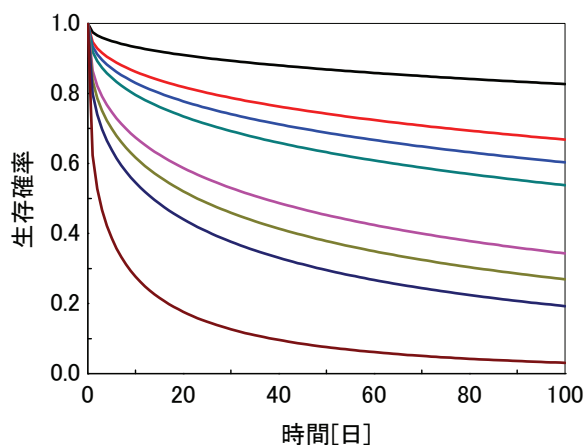


図-1 補修材の生存確率 (ポットホールが複数発生：有)

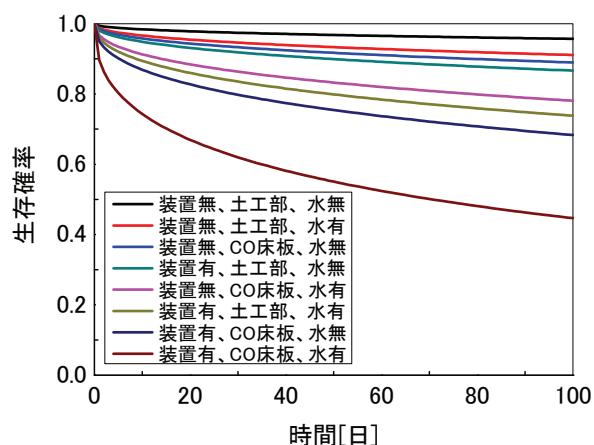


図-2 補修材の生存確率 (無)

タとなる。以上の特性変数に対して、まず1変数のみをハザード関数の説明変数に採用して順次ワイブル劣化ハザードモデルを推計する。その結果、耐久性を説明するために有意であると判断された特性変数（各特性変数に対応する未知パラメータ β のt-値と符号条件により検定）のみを抽出し、つぎに、それらを用いてハザード関数の説明変数を2変数、3変数と増加させ、最終的にt-値および符号条件を満足し、かつAICが最小となるモデルを採用する。

4. 推計結果： はじめに、3.の16個の特性変数に対して、1変数ごとにワイブル劣化ハザードモデルを推計した。

表-1には例として、符号条件を満足し、t-値が最大となるモデル（ポットホールの複数回発生、有： $x_2^1=1$ 、無： $x_2^1=0$ ）の推計結果を示す。式(2)を考慮すれば、定数項 β_1 が負値を取り、この特性変数に対応する β_2 が正值1.61を取ることから、ポットホールが複数回発生した箇所は、発生しなかった箇所よりもハザード関数が大きくなる（寿命が短くなる）。また、加速度パラメータ α の値は0.411となっており、常温合材による補修後、時間の経過とともに、補修合材が剥離する確率が減少していくことが読み取れる。つぎに、考慮する特性変数を増加させ、全ての組み合わせの中でAICが最小となるモデルを決定した。今回の分析においては、{複数回発生の有無、融雪散水装置の有無、構造物、融雪散水の有無}の4つの特性変数を考慮した場合が最適モデルとなった（AIC=964.6）。このモデルの推計結果を**表-2**に示す。それぞれの β のt-値を比較してみると、複数回発生の有無が最も大きいことから、最適モデルにおいても、これが補修材の耐久性に及ぼす影響が大きいといえる。さらに、条件の相違が耐久性に及ぼす影響を視覚的に理解するために、最適モデルを用いて常温合材の生存確率（式(4)）を算出する。最適モデルで表現可能な全ての組み合わせを考慮すると、16本の生存曲線が得られるため、ポットホールの複数発生の有と無に応じて、**図-1**（有）と**図-2**（無）に8本ずつの生存曲線を示す。両図を比較すると、生存曲線に顕著な差が現れていることが理解できる。また、**図-1**に着目すれば、ポットホールが複数回発生している状況であっても、{融雪散水装置無、土工部、融雪散水無}という条件下では、100日経過した時点でも補修材の80%以上が生存している。その一方で、最も厳しい条件{融雪散水装置有、CO床版部、融雪散水有}であれば、10日経過時点で生存確率がすでに20%程度まで低下している。今回の分析において、ポットホールが複数回発生する場所の要因を特定するまでには至っていない。しかしながら、これを除くと、従来から指摘されている水の影響は大きく、施工時に水を除去するなど、施工条件をより改善していくことが望ましい。実際に、良好な施工条件の下で、補修合材が本来有する性能を発揮することができれば、既存の補修合材であっても応急対策としての役割を発揮できるものと考えられる。

【参考文献】 1) 藤原栄吾, 小濱健吾, 貝戸清之, 小林潔司, 沢田康夫: 積雪寒冷地におけるポットホール補修材の耐久性分析, 建設マネジメント研究論文集, Vol.15, pp.239-248, 2008.