

京都大学大学院工学研究科	学生会員	○熊本紗也華
明石工業高等専門学校	正 会 員	稲積 真哉
京都大学大学院工学研究科	正 会 員	大津 宏康

1. はじめに

廃棄物処分場とは、廃棄物の最終的な残渣を埋立処分する社会基盤構造物であり、環境規制や近隣住民の環境安全性に対する危惧から従来の内陸処分場から海面処分場へと処分場の立地条件の多様化が進められている。しかし、現在の日本において、廃棄物処分場は環境安全性の長期的な評価が行われていないまま、建設・運用されている現状にある。廃棄物処分場の安定性を長期にわたって維持するためには、有害物質を含み得る廃棄物浸出水が周辺環境へ漏出しないように対策する必要がある。すなわち、廃棄物処分場における遮水工の遮水性能が長期的に保持できるか否かを評価することが重要である。一方、長期の供用により劣化が顕在化する社会基盤構造物については、厳しい予算制約の下で効率的に維持補修を行うことが求められている。そこで、社会基盤構造物の維持管理においては、戦略的な意思決定手法としてのアセットマネジメントが注目されている。

本研究では、廃棄物処分場の遮水工として用いられる遮水シートに着目し、劣化メカニズムに依存せず点検データから耐久性を評価する統計的劣化推定モデルの適用性を検討し、アセットマネジメントの観点から遮水シートの維持補修戦略を検討する。

2. 統計的劣化評価手法

ワイブル分布は物体の強度を統計的に記述するために提案された確率分布であり、時間に対する劣化現象や寿命を統計的に記述するためにも利用される。また、ワイブル分布は一部の故障が機能全体の停止に至る現象を説明することができる。ここで、海面廃棄物処分場では廃棄物の浄化作用に長時間を有するため、遮水工が全損傷すると環境被害が急激に拡大する恐れがあり、且つ環境被害の発生が危惧される遮水工の一部損傷の場合においてもワイブル分布が適用できると仮定している。なお、ワイブル分布の適用に際して、対象期間内に製品の要求機能が失われる確率である不信頼度 $F(t)$ は式(1)である。

$$F(t) = 1 - \exp \left\{ - \left(\frac{t}{\eta} \right)^m \right\} \quad (1)$$

ここで、 $F(t)$ ：不信頼度、 t ：時間、 m ：ワイブル係数（形状パラメータ）、 η ：尺度パラメータである。

式(1)の両辺を 2 回対数で変換すると式(2)になり、さらに $\ln t = X$, $\ln [-\ln \{1-F(t)\}] = Y$ とすると、式(3)のように変形できる。

$$\ln \left\{ \ln \frac{1}{1-F(t)} \right\} = m \ln t - m \ln \eta \quad (2)$$

$$Y = mX - m \ln \eta \quad (3)$$

すなわち、式(3)は直線として表されるため、ワイブル係数 m は直線の傾きとなる。 Y が判明すれば、尺度パラメータ η も表すことが可能となる。ここで、点検データを順位付けした順序統計量の累積故障確率 $F(t)$ は、データ分布に関係なく標本数と順位によって決まるメディアンランク法を用いると式(4)で表され、ワイブル分布を算出することが可能となる。

$$F(t) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4} \quad (4)$$

ここで、 n ：標本数、 i ：データの順位である。

3. 遮水シートの統計的劣化評価

本研究では供用後の遮水シートの現地サンプリングにより遮水シートが破断するときの伸び率の変化を特性変化率（点検データ）とし、経過時間との関係（図 1 参照）を用いて遮水シートの劣化評価を行う¹⁾。図 1 で示された点検データでは故障時間がわからないため、特性変化率は供用年数と直線関係で表されると仮定して故障時間を算出している。得られた遮水シートの故障時間に基づき、メディアンランク法を用いて式(3)に示す $\ln [-\ln \{1-F(t)\}]$ 平面にプロットした（図 2 参照）。得られた直線近似式から、ワイブル係数 m は 2.289、尺度パラメータ η は 31.530 という結果が得られた。さらに、平均故障時間 $MTTF$ （故障する確率が 50%）は 27 年、ビーテングライフ B_{10} （故障する確率が 10%）は 12 年と幅の広い結

果が得られた (図3 参照)。また、同じ点検データを用いて物理的劣化評価を行った結果、遮水シートの耐用年数は16年と求められ³⁾、統計的劣化評価は物理的劣化評価で得られた結果を網羅することが明らかになった。したがって、ワイブル分布が遮水シートの寿命予測方法として十分に適用可能であると考えられる。

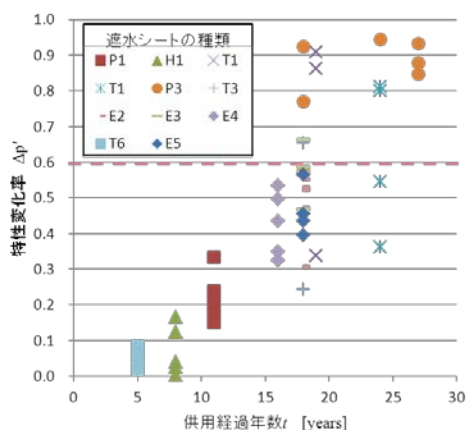


図1 遮水シートに関する供用年数と特性変化率

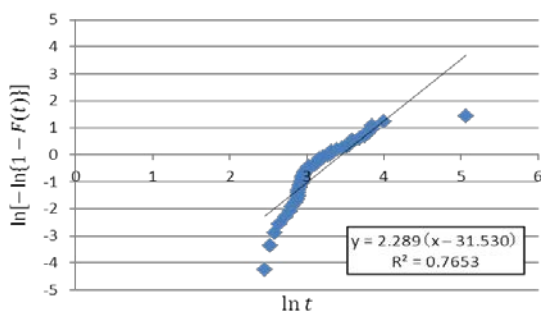


図2 ワイブルプロット

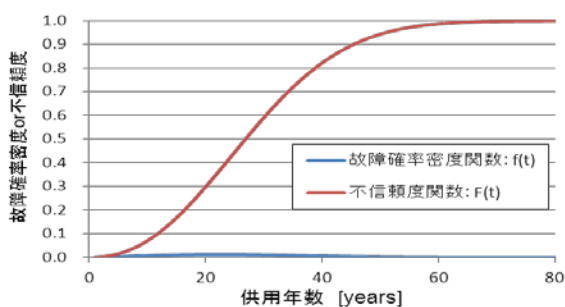


図3 ワイブル分布

4. 遮水シートのLCC評価

本研究では維持補修戦略の決定の判断指標としてライフサイクルコスト (LCC) を用いる。一般的な既存遮水シートのLCC算出のため、補修コストと被害コストの和を対象としている。算出に用いた式は式(5)で表される。

$$\text{期待LCC} = \sum_{i=1}^N I(i) \left(\frac{1}{1+\rho} \right)^i + \sum_{i=1}^N p_i C \quad (5)$$

ただし、 $I(i)$: m 年ごとに補修に要する費用、 p_i : i 年次

の損傷確率、 N : LCC 算出期間、 C : 被害損失額、 ρ : 社会的割引率 (0.04) である。具体的には、 $I(i)$ は添字 i が m の倍数の場合であるときのみ補修費を表し、その他の場合には0である。

本研究では、廃棄物処分場の平均的な供用年数15年に加え、安定化に15年を要すると仮定してLCC算定期間を30年とし、 1m^2 あたりのLCC算定を行う。LCC算定期間において、LCCが最小となる維持補修計画が遮水シートの最適維持補修計画であることを表す。補修費と損失被害額の数値の設定に関して、補修費の単価は遮水シート導入時の費用 $17,000 \text{ 円/m}^2$ 、損失被害額の単価は汚染度の無害化処理時の費用 $25,000 \text{ 円/m}^2$ とした²⁾。この値を用いて算出した期待LCCの変移は図4で表され、補修間隔を8年としたものが最適となった。

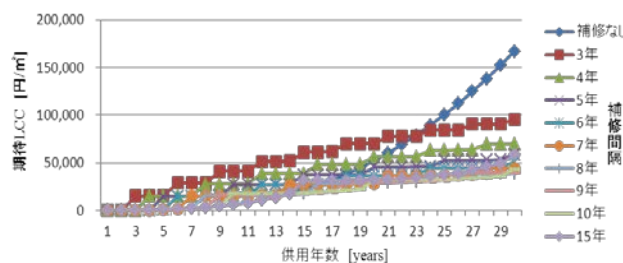


図4 期待LCCの推移

5. おわりに

遮水シートの劣化予測を統計的手法により行い、耐用年数の推定にワイブル分布が利用できる可能性を示した。また、期待LCCを算出することで、遮水シートの維持補修戦略の一例を示した。本研究の劣化予測モデルで用いたデータは十分でないことから、結果が現実と乖離している可能性があるため、今後データを増やし制度を向上していく必要がある。また、LCC算定において用いた額は仮想的な値であるため、現実 に即した値によって再度検討し、さらには、側面遮水工をも考慮したLCCを算定することでより実条件に近い維持補修戦略を計画していくことが必要となる。

参考文献

- 1) 国際ジョシンセティックス学会日本支部：廃棄物処分場における遮水シートの耐久性評価ハンドブック，技報堂出版，2009。
- 2) 佐藤 毅・長江剛志・西田博文・林 健二：機能不全リスクとライフサイクルコストを考慮した陸上廃棄物処分場表面遮水工の選定，土木学会論文集C，Vol.66，No.1，pp.100-114，2010。
- 3) 稲積真哉・大津宏康・熊本紗也華・磯田隆行：海面処分場における遮水工(材)の劣化評価について，第48回地盤工学研究発表会発表論文集，2013 (印刷中)。