

遮水シートの信頼性劣化予測に基づくライフサイクルコスト評価

明石工業高等専門学校 学生会員 ○眞鍋磨弥  
 明石工業高等専門学校 正会員 稲積真哉  
 大分工業高等専門学校 正会員 佐野博昭

1. はじめに

廃棄物処分場は、再利用・再資源化が困難である廃棄物を最終的に埋め立て処分する社会基盤施設の一つである。しかし、周辺環境に対する悪影響の懸念や、関連する環境規制の強化等のために新たな廃棄物処分場の建設は困難な状況にある。そのため、近年では山間谷地部から都市部の港湾域に廃棄物処分場が建設されるようになっている（海面廃棄物処分場）。しかし、海面廃棄物処分場は環境安全性の長期的な評価が行われなまま建設・運用されている現状にある。廃棄物処分場の長期的な安定性は、遮水工によって保持されている。そのため、廃棄物処分場の維持管理計画を立てるためには、アセットマネジメントの観点から遮水工における遮水性能の劣化を考慮する必要がある。

本研究では廃棄物処分場の遮水材として遮水シートに着目し、ワイブル分布による劣化評価を行う。それをもとに、遮水工の最適な補修間隔を求める図表を作成し維持補修戦略を検討した。

2. 遮水シートのワイブル分布を適用した劣化評価

本研究では遮水工に対してワイブル分布が利用できると仮定し、それにより対象とされる製品が対象期間において故障しない確率である信頼度、および累積故障確率である不信頼度を求める。ワイブル分布は物体の強度を統計的に記述するための確率分布であり劣化現象や寿命を記述するために利用される。信頼度および不信頼度は式(1)、式(2)で表される。

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

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

ここで、 $R(t)$  : 信頼度、 $F(t)$  : 不信頼度、 $t$  : 時間、 $m$  : ワイブル係数、 $\eta$  : 尺度パラメータを表す。式(1)の両辺を2回対数で変換すると式(3)になり、さらに  $\ln = X$ 、 $\ln[-\ln\{1 - F(t)\}] = Y$  とすると、式(4)となる。

$$\ln\left\{\frac{\ln 1}{(1-F(t))}\right\} = m \ln t - m \ln \eta \quad (3)$$

$$Y = mX - m \ln \eta \quad (4)$$

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  $\eta$  も表すことが可能となる。本研究では現地サンプリングにより得られた、遮水シートが破断するときの伸び率の変化（特性変化率）を点検データとして使用する。点検データからは故障時間がわからないため特性変化率と経過年数は直線関係で表されると仮定し、式(5)で表されるメディアランク法によって信頼度  $R(t)$  と不信頼度  $F(t)$  を求める

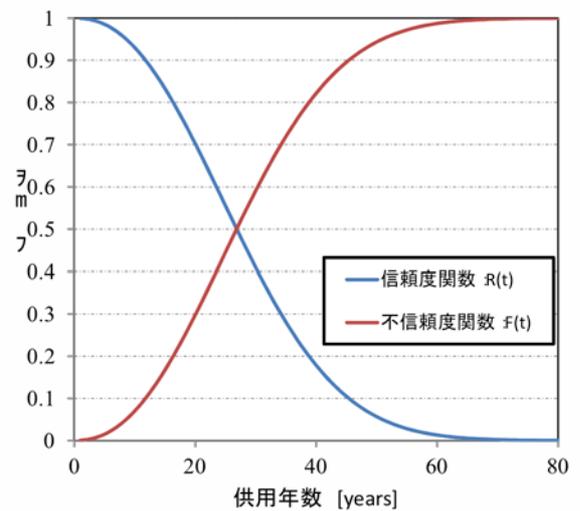


図-1 ワイブル分布

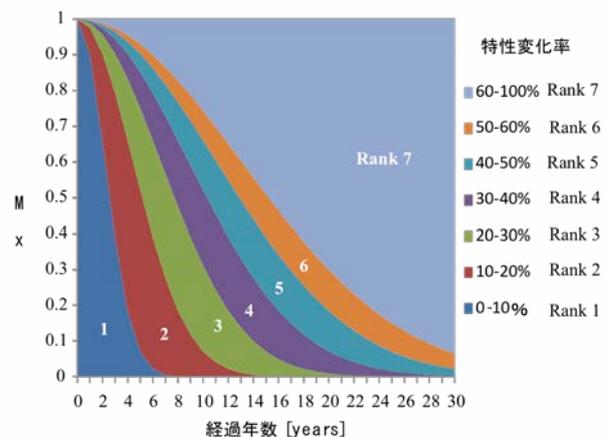


図-2 ランク別のワイブル分布

(図-1 参照)。また、特性変化率ごとにランク付けを行い、それぞれの信頼度を図-2 に表す。ここでの故障とは特性変化率が安全とする限界の値を上回る場合を表す。

$$F(t) = \frac{i-0.3}{n+4} \quad (5)$$

ここで、 $n$  : 標本数、 $i$  : データの順位である。

### 3. 遮水シートの劣化評価に基づく 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) を求める<sup>1)</sup>。一般的な遮水シートの LCC 算出のため、補修費と環境被害費の和を対象としている。算出に用いた式は式(6)で表される。補修コストは遮水シートの貼り換え時にかかる費用であり、環境被害費は遮水シートの破損が起きた場合の汚染除去や補修などの処理にかかる費用である。

$$LCC = \sum_{i=1}^N I(i) \left(\frac{1}{1+\rho}\right)^i + \sum_{i=1}^N p_i C \quad (6)$$

ただし、 $I(i)$  :  $m$  年ごとの補修に要する費用、 $p_i$  :  $i$  年次の不信頼度、 $N$  : LCC 算出機関、 $C$  : 被害損失費、 $\rho$  : 社会的割引率 (0.04) である。

本研究では一般的な海面廃棄物処分場の耐用年数として 30 年とし、1 m<sup>2</sup>あたりの LCC 算定を行う。LCC 算定期間として、LCC が最少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。補修間隔は 3~30 年とし、補修費と損失被害費の数値の設定は、損傷の大きさや遮水工の構造によって条件は変化するためにそれぞれ 10~100,000 円/m<sup>2</sup>とした<sup>2)</sup>。この値を用いて算出した LCC の変移の一例として図-3、最適な補修間隔は表-1 に示される。

### 4. 遮水工の最適な補修間隔の検討

ワイブル分布は様々な劣化要因を考慮した統計的劣化予測手法である。そのため、ばらつきのあるデータから規則性や不規則性を見出し、データの不確実性を定量的に表すことができるといえる。図-2 より、供用年数が 20 年経過するまでに Rank1~6 では信頼度が 50%以下になることがわかる。このことから、LCC 算定期間中に特性変化率の限界値に達するとしている。

補修費 10 円/m<sup>2</sup>、被害損失額 10 円/m<sup>2</sup> の場合の LCC の推移を示した図-3 では、補修間隔を 16 年とした場合が最適であることわかる。同様にして費用の条件を変えて補修間隔を求めた表-1 では損失被害費よりも補修費が大きい時は補修をしないほうが良いとする結果が示されている。したがって、補修費が大きい場合、遮水シートは故障した後に補修等の処理を行うほうが経済的であることがわかる。

### 5. おわりに

本研究では、遮水シートに関する維持補修戦略として、劣化評価を行い、それを基に補修間隔を検討するまでの手法を示すことができた。今後は、遮水工(材)に関するデータの蓄積・質の向上の上で、実条件に近い維持補修計画の決定手法の検討・裏付けを行う必要がある。

#### 【参考文献】

- 1) 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正面遮水工の選定, 土木学会論文集 C, Vol.66, No.1, pp.100-114, 2010.
- 2) 日本埋立浚渫協会: 廃棄物海面処分場の施工要領 (改訂版), 2010.

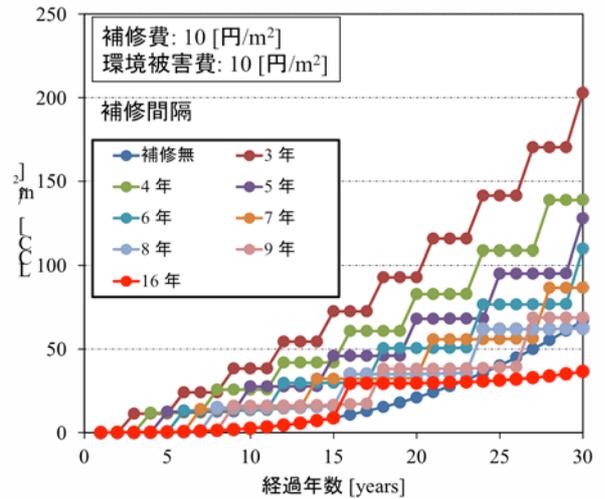


図-3 補修間隔別での LCC の推移 (Rank6)

表-1 条件ごとの最適な補修期間

Rank 6		環境被害費 [円/m <sup>2</sup> ]				
		10	100	1,000	10,000	100,000
補修費 [円/m <sup>2</sup> ]	10	16年	8年	3年	3年	3年
	100	補修無	16年	8年	3年	3年
	1,000	補修無	補修無	16年	8年	3年
	10,000	補修無	補修無	補修無	16年	8年
	100,000	補修無	補修無	補修無	補修無	16年