

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、新たな廃棄物処分場の建設は、周辺環境に対する悪影響が懸念や、関連する環境規制の強化等のために難しい状況にある。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きている（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いまま建設・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の維持のためには、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して維持補修計画を立てる必要がある。

本研究では廃棄物処分場の遮水材として鋼材に着目し、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. ワイブル分布を適用した劣化評価

遮水工に求められる機能は処分場内から汚染水が漏出されるのを防ぐ遮水機能である。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。

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

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

ここで、 $R(t)$: 信頼度、 $F(t)$: 不信頼度、 t : 時間、 m : ワイブル係数、 η : 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 $\ln t = X$ 、 $\ln[-\ln\{1 - F(t)\}] = Y$ とすると、式(4)となる。

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

$$Y = mX - m \ln \eta \tag{4}$$

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 η も表すことが可能となる。本研究では港湾構造物の鋼製材料における腐食減量のデータを順位付けし、式(5)のような標本数と順位によって決まるメディアランク法によって不信頼度 $F(t)$ を表す (図-1 参照)。また、不信頼度と供用年数の関係をワイブル分布として図-2 に表す。ここでの

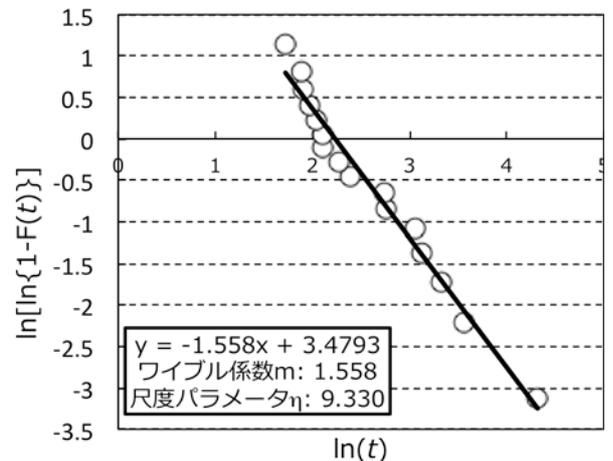


図-1 メディアランク法によるワイブルプロット

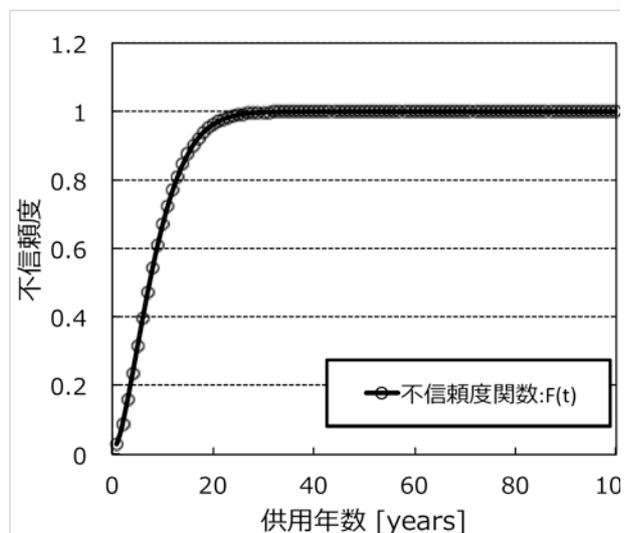


図-2 不信頼度の推移(ワイブル分布)

故障とは鋼材の腐食減量が基準値に達した場合を指す。

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

ここで、 n ：標本数、 i ：データの順位である。

3. 劣化評価に基づくライフサイクルコストの算定

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¹⁾。一般的な鋼板矢板の 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(6)で表される。

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

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 ：被害損失額、 ρ ：社会的割引率 (0.04) である。

本研究では一般に海面廃棄物処分場の耐用年数として 50 年とし、1 m²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 3~25 年とし、補修費と損失被害額の数値の設定に関して、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/m²とした²⁾。この値を用いて算出した LCC の推移の一例として図-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

本研究では鋼材に関する劣化評価のデータとして、全国の港湾の飛沫帯における鋼材の腐食減量と供用年数を用いる³⁾。飛沫帯は海水と空気がどちらも接触する海面上の部分であり、もっとも激しく腐食が進行する箇所である。そのため、腐食の発生に関する不確定要素を包括した結果を求めることができると考えられる。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 では、鋼材の不信頼度は供用年数が 20 年経過するまでに 1 に到達している。このことから、LCC 算定期間中に故障に達するとしている。ここで、補修費 10 円/m²、被害損失額 10 円/m²の場合の LCC の推移を示した図-3 では、補修間隔を 13 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 では補修費よりも損失被害額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、損失被害額が大きい場合、鋼材は今回求めた補修間隔である 25 年より長い期間をあけて補修を行うことが最適である。

5. おわりに

本研究では、廃棄物処分場における遮水機能を果たす遮水工として、特に鋼材に関して劣化評価を実施し、それを基に最適な維持補修間隔を検討した。その結果、ワイブル分布において得られた信頼度の変化に基づきライフサイクルコストを求められ条件に合わせた維持補修間隔の決定を行うことができた。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.
- 3) 安部正美, 横井聡之, 大即信明, 山本邦夫: 港湾技研資料, 港湾構造物の腐食調査資料, 運輸省港湾技術研究所, No.628, 1998.

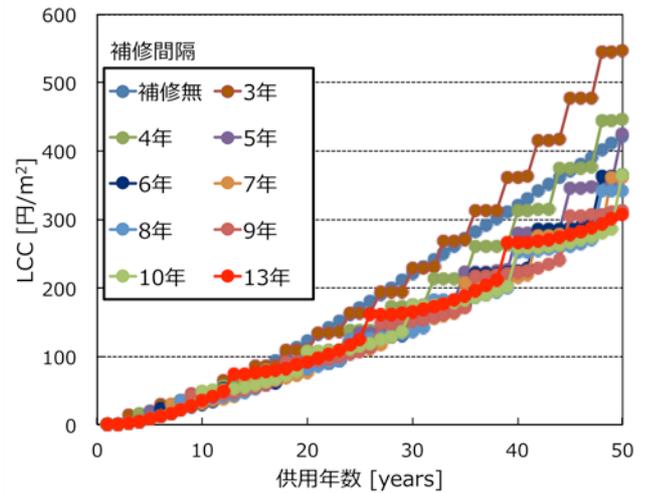


図-3 補修間隔別での LCC の推移

表-1 条件ごとの最適な補修期間

		被害損失額 (円/m ²)				
		10	100	1000	10,000	100,000
補修費 (円/m ²)	10	13年	3年	3年	3年	3年
	100	補修無	13年	4年	3年	3年
	1000	補修無	補修無	13年	3年	3年
	10,000	補修無	補修無	補修無	13年	3年
	100,000	補修無	補修無	補修無	補修無	13年