

破壊確率を変数としたライフサイクルコストによる陸上廃棄物処分場の表面遮水工の優位性比較

ニシキコンサルタント(株) 正会員 ○佐藤 毅
電気通信大学大学院 情報システム学研究科 正会員 長江 剛志
フォレストエンジニアリング(株) 正会員 林 健二

1. はじめに

二重遮水構造が規定されている陸上廃棄物処分場の表面遮水工¹⁾は、ある程度の損傷や不良発生の可能性を認めた上で、リスクマネジメント手法に基づく設計の必要性が指摘されている²⁾。しかし、リスクマネジメントに必要な破壊確率の設定に用いる遮水工の破損事例がなかなか開示されていないため、遮水工の計画・設計に当たっては、リスクヘッジの根拠が不明確なまま遮水構造が選定される恐れがある。そこで、筆者らは、破損確率を変数として捉え、遮水構造毎に定式化したライフサイクルコスト(以後、LCC と呼ぶ)から遮水構造の選定を行う手法の検討を実施してきた³⁾。本報告では、二重遮水シートと漏水検知システム(以後、検知システム)、自己修復システムを対象とし、各システムが機能しない確率を変数とした LCC の比較を行い、それぞれのシステムの導入メリットを検討した。

2. LCC の定式化

二重遮水シート、検知システム、自己修復システムの LCC を定式化する。定式化の条件を表-1 に示す。また、表-2 にそれぞれの式および記号の説明を示す。検知システムおよび自己修復システムに関しては、いずれも、DP(dynamic programming)原理を適用して得られる Bellman 方程式⁴⁾のみを記載している。なお、LCC 定式化における仮定は、1)二重遮水シートが破損した場合は、周辺へ被害が広がる、2)検知システムが正常に機能する場合は、検知後直ちに補修作業を行う。3)正常に機能しない場合、そのまま周辺へ被害が広がる、4)自己修復システムが正常に機能しない場合に周辺へ被害が広がる、とした。なお、遮水シートが破損した場合の補修作業は、表-3 の項目を実施するものとし、LCC に各費用を計上した。検知システムが破損を検知してから修復するまでの期間に広がる周辺への被害額は計上していない。なお、検知システムには、自己修復機能を有するシステムもあるが、ここでは、検知能力のみを対象とした。

3. LCC の試算

LCC の試算では、中規模の陸上処分場を仮設定した。処分場の概略規格を表-4 に示す。また、二重遮水シート、検知システム、自己修復システムの初期費用(設計単価)を表-5 に示す³⁾。また、検知システムの年間維持費用は、100 万円、自己修復システムは、設置後の維持コストは不要とした。また、廃棄物の掘削作業および掘削後の補修に関する費用の設定は、文献 3)を参照されたい。また、遮水構造が破損した場合の被害額の想定は、

表-1 LCC 定式化の設定条件

項 目	条 件
遮水構造の破損	破損により周辺へ被害が及ぶ
破壊確率	年間破壊確率
LCC算定の期間	廃棄物受け入れ終了まで(15年間)

表-2 各遮水システムの LCC 定式化

二重遮水シートのLCC	$LCC_0 = IC_0 + \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+R)^t} \cdot \lambda \cdot H$
検知システム、自己修復システムを組み込んだ場合の二重遮水シートのLCC	$LCC = IC + \sum_{t=1}^T [LCC_1(t, S) + LCC_2(t, B) + LCC_3(t, C)]$ $LCC_1(t, S) = FC + \frac{1}{R} \{ (1-\lambda) \cdot LCC_1(t+1, S) + \lambda \cdot (1-\eta_{2,t+1} \mu) \cdot LCC_1(t+1, B) + \lambda \cdot \eta_{2,t+1} \mu \cdot LCC_1(t+1, C) \}$ $LCC_2(t, B) = FC + r_i + \frac{1}{R} \{ (1-\lambda) \cdot LCC_2(t+1, S) + \lambda \cdot (1-\eta_{2,t+1} \mu) \cdot LCC_2(t+1, B) + \lambda \cdot \eta_{2,t+1} \mu \cdot LCC_2(t+1, C) \}$ $LCC_3(t, C) = FC + H$
LCC_0	二重遮水シートのLCC
LCC_1, LCC_2	検知システム、自己修復システムのLCC
IC	各システムを組み込んだ二重遮水シートの初期建設費用(円) (IC_1 は二重遮水シートの初期建設)
FC	各システムの年間維持費用 (自己修復システム: $FC=0$ 円)
λ	年間遮水構造破壊確率(%)
H	遮水構造破損時の想定被害額 (円)
η, μ	検知システム、自己修復システムが機能しない確率(%)
R	年間割引率 (%) (=2%)
r_i	i年目に遮水構造が破損することによる補修費用
$LCC_1(t, S)$	t年目に破損がない場合のLCC
$LCC_2(t, B)$	t年目に破損したが遮水シートを修復した場合のLCC
$LCC_3(t, C)$	t年目に破損検知できない、もしくは自己修復できず廃棄物が漏水する場合のLCC

表-3 破損を検知した場合の修復作業

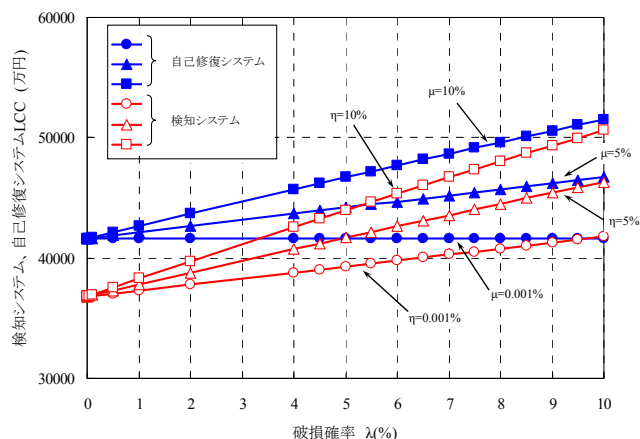
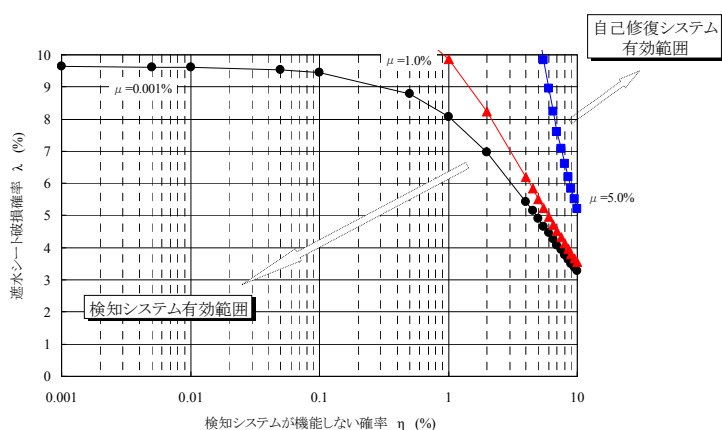
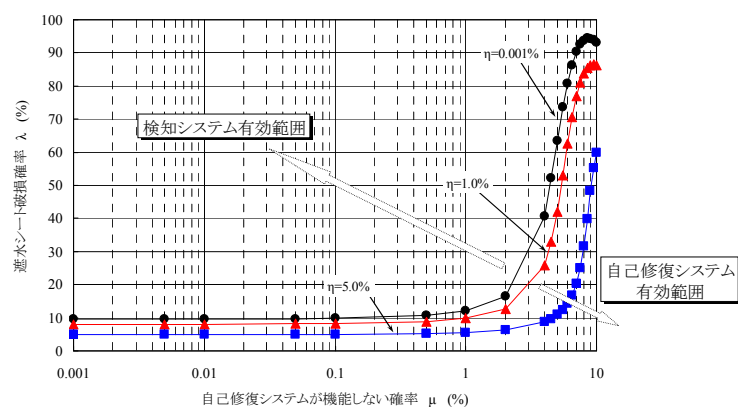
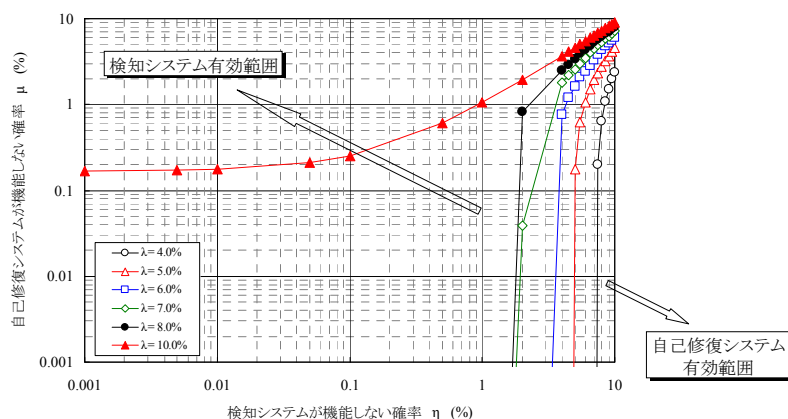
項 目	内 容
掘削作業	破損箇所付近の廃棄物を掘削
	破損箇所付近の遮水シートの露出
破損箇所探索	破損場所の確定(人力作業)
破損箇所修復	破損箇所の修復(人力作業)
埋め戻し	廃棄物の埋戻し

表-4 処分場の規格値

処分場面積	15,400 m ²
処分場埋立て深さ	15 m
処分年数	10 年
平均埋め立て高さ	1.5 m/年

表-5 各遮水構造の設計単価

遮水構造の種類	費 用
二重遮水シート	17,000 円/m ²
二重遮水シート 漏水検知システム	23,000 円/m ²
二重遮水シート 自己修復システム	27,000 円/m ²

図-1 η 、 μ ごとの λ と LCC の関係図-2 μ ごとの λ と η の関係図-3 η ごとの λ と μ の関係図-4 λ ごとの μ と η の関係

漏出が発覚した段階で「1)処分場周囲に鉛直遮水壁を構築し、処分場を遮断する。」「2)処分場周辺地盤の汚染調査を実施する。」「3)処分場付近の地盤で無害化处理を実施する」を実施するとして概算費用を算出した。

図-1に検知システムが機能しない確率 (η)、自己修復システムが機能しない確率(μ)ごとの二重遮水シートの破損確率 λ とLCCの関係を示す。図より、確率 η と μ に対する $\lambda \sim \text{LCC}$ 曲線の交点に着目すると、交点座標 (λ 、LCC) より小さい λ の範囲では、検知システムのLCCが小さく、検知システム導入がより経済的

であることが分かる。また、各 η と μ に対する $\lambda \sim \text{LCC}$ 曲線とそれぞれの交点から、 η と μ における各システムの導入優位性が比較できることが分かる。そこで、各曲線の交点 λ と η 、 μ の関係から、システム導入のための比較図を描いてみた(図-2、3)。さらに、図-2、3を組み合わせた η と μ の関係を図-4に示す。図-4より、 λ 、 η 、 μ に対して経済的(LCCが安価)なシステムがどちらであるかを判定することができる。また、本検討で設定した条件下での関係図を見る限り、検知システムの適用範囲が比較的広いことが分かる。これらの関係図を各処分場において作成することで、処分場に導入すべき適切なシステムの選定の判断基準となりえるものとする。

4. まとめ

本研究では、二重遮水シートの破損確率や検知システム、自己修復システムの機能しない確率を変数化することで、処分場における遮水構造の選定に関する比較図を作成した。各処分場の条件に基づいたこのような関係図を作成することで、遮水構造の選定に対するより明確な判断基準を得ることができるものと考えられる。

参考文献

- 1)総理府、厚生省令：一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める命令、平成10年6月
- 2)ゴミ埋立地の設計施工ハンドブック、国際ジオシンセティクス学会日本支部ジオメンブレン技術委員会編、2001。
- 3)佐藤ら：破壊確率とライフサイクルコストによる陸上廃棄物処分場の表面遮水構造選定手法の提案、第〇回年次学術講演会、III-398、2007年
- 4)例えば、Bellman, R.E.: Dynamic Programming, Princeton University Press, Princeton, NJ, 1957.