

力学的特性に影響を及ぼす遮水シート表面近傍の亀裂の評価

九州大学大学院 学生会員 ○高橋 航平 正会員 井場 道夫
 〃 正会員 中山 裕文 フェロー会員 島岡 隆行

1. はじめに

一般廃棄物最終処分場には、浸出水による地盤や地下水の汚染を防止するため、埋立地底部に1.5mm厚の遮水シートが敷設されている。著者らは、供用期間における遮水シートの紫外線や温度による劣化に着目し、埋立地からサンプリングした遮水シートの表面の顕微鏡観察や FT-IR 分析、引張試験等の各種試験によって劣化の評価を行ってきた。現場での25年以上の暴露に加え、70年間に相当する促進劣化を行ったサンプルの亀裂の深さは50~60 μm に及んでおり、亀裂深さと力学的特性との間には負の相関関係が存在していた。遮水表面の亀裂が力学的特性へ及ぼす影響を考察するために、亀裂の深さとともに、亀裂の進行状況を解析することが重要であると考えた。

本稿では、遮水シート表面からの深部への亀裂の進行が力学的特性に及ぼす影響評価メカニズムを明らかにすることを目的とし、遮水シートを顕微鏡観察や引張試験により分析を行った。

2. 遮水シートの力学特性及び亀裂発生状況に関する分析

2.1 試料

表1に分析対象とした遮水シートを示す。敷設後26年が経過したO処分場、28年が経過したK処分場から得られたサンプルについて、メタルウェザー(KW-R5TP-A)を用いた促進耐候性試験を実施した。なお、促進時間480hでは屋外暴露10年、960hでは20年、1,440hでは30年、1,920hでは40年、2,640hでは55年、3,360hでは70年に相当するものとした。

2.2 分析方法

(1) 遮水シート表面の亀裂進展と応力に関する数値シミュレーション COMSOL Multiphysicsを用いて、単亀裂のあるシートが引張荷重を受ける様子をシミュレーションし、亀裂先端が受ける応力を求めた。

(2) 引張試験 各処分場からサンプリングした遮水シートについて、JIS K 6251(加硫ゴム及び熱可塑性ゴム引張特性の求め方)に基づき、引張試験を実施した。

(3) 遮水シート表面の顕微鏡観察 走査型電子顕微鏡を用いて各促進暴露時間別のサンプル表面を総合倍率100倍で観察した。また、顕微鏡写真の輝度値に閾値を設けることで2値化処理を行い、亀裂部分の画素数を画素数で除した値である「亀裂面積比」を定義する¹⁾ことで、亀裂の発生状況を数値化した。

(4) 人為的に亀裂の数を変化させたサンプルの作成 未使用の遮水シート(TPO-PE、厚さ1.6mm)に、カッターを用いて深さ60 μm の亀裂を1mm間隔で1、3、5、10、15本入れ、それぞれに対して引張試験を実施した。

表1 分析対象とした遮水シート

処分場名	材質	厚さ	暴露条件	現場経過年数(年)	促進劣化試験時間(h)
O	TPO	1500 μm	遮光性保護マット下	26	0-3360 の7ケース
K		(1.5mm)		28	

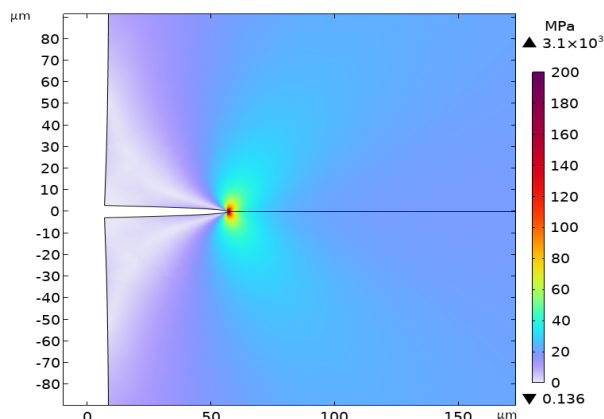
3. 分析結果

(1) 数値シミュレーションによる亀裂進展の現象解明

厚み1,500 μm 、幅2cm、初期の亀裂深さ10 μm 、引張応力10MPaとしてシミュレーションを行った。図1に亀裂深さ50 μm のときの亀裂先端の応力分布を示す。厚みに対して30分の1の深さの亀裂が生じることで、引張応力の310倍の応力が亀裂先端に生じており、この応力が深さ方向の亀裂を引き起こし、遮水シートの引張強度の低下を引き起こしたと考えられる。

(2) 引張試験による力学特性評価及び顕微鏡観察による亀裂発生評価

図2にO処分場のシート表面の顕微鏡写真を示す。屋外暴露年数約50年分で明らかに亀裂の発生が進行していることが確認できた。図3にO処分場の亀裂面積比、引張強さ保持率と屋外暴露相当年数の関係を示す。

図1 亀裂深さ50 μm 時の亀裂先端の応力分布

示す。左側の縦軸は亀裂面積比、右側の縦軸は引張強さ保持率を示す。屋外暴露相当年数が増えるに連れて、亀裂面積比は大きくなり、引張強さ保持率は小さくなる傾向を示した。特に、屋外暴露相当年数 30 年から 70 年の間で、亀裂面積比は 0.21 から 0.46 と大きく増加し、引張強さ保持率は 102% から 79.7% と大きく低下した。

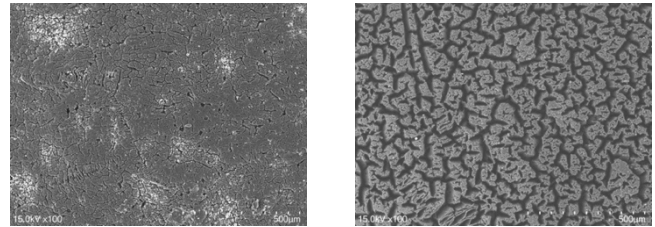


図 2 シート表面の顕微鏡写真 (左図屋外暴露 20 年相当、右図屋外暴露 70 年相当)

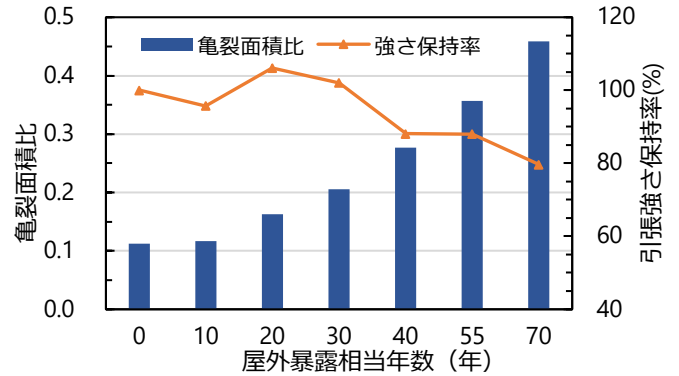


図 3 屋外暴露相当年数と亀裂面積比・強さ保持率の関係 (O 処分場)

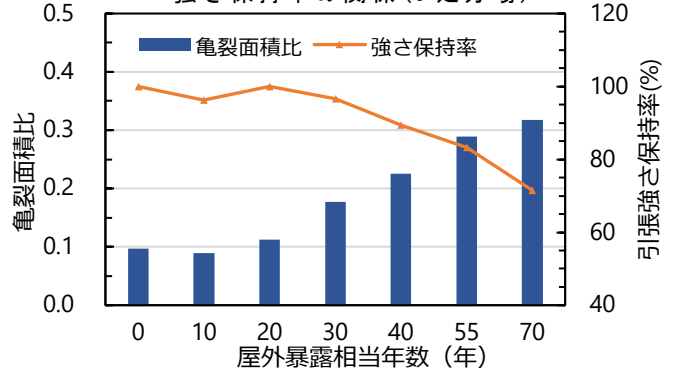


図 4 屋外暴露相当年数と亀裂面積比・強さ保持率の関係 (K 処分場)

また、図 4 に K 処分場の亀裂面積比、引張強さ保持率と屋外暴露相当年数の関係を示す。O 処分場同様、屋外暴露相当年数が増えるにつれ、亀裂面積比は大きくなり、強さ保持率は小さくなる傾向を示した。K 処分場の場合は、亀裂面積比も 0.11 から 0.46 と大きく増加し、強さ保持率も 100% から 71.5% と大きく低下した。

2 つの処分場における、亀裂面積比と引張強さ保持率の間の P 値は 0.001 よりも小さく、有意な負の相関関係が存在した。

(3) 人為的に亀裂の数を変化させたサンプルによる引張試験 図 5 に破断時伸びと亀裂の数と引張強さの関係を示す。縦軸の最小値は日本遮水工協会の自主基準値を表している。引張強さ、破断時伸び率ともに 1 本の亀裂を入れることにより急激に減少 (引張強さ 152N/cm、伸び 155% 減少) し、10 本の亀裂までは大きな変化はなく、15 本の亀裂を入れた場合にさらに減少傾向を示した。図 6 に亀裂 3 本、亀裂深さ 500 μm 時の応力分布を示す。亀裂の本数が多くなる、つまり亀裂の間隔が狭まることで互いの亀裂先端の応力分布が接近し、応力のはたらく部分が引張方向に広がっていくことで力学的特性の低下を引き起こしたと考えられる。

4. まとめ 本研究では、引張試験・顕微鏡観察を行い、遮水シート表面からの亀裂が力学的特性に及ぼす影響について評価した。以下に得られた知見を示す。

- (1) 厚み 1500 μm の 1 分の 30 の深さの亀裂が生じることで、亀裂先端には引張応力の 310 倍の力が生じ、力学的特性の低下を引き起こしたと考えられる。
- (2) 屋外暴露年数が増えるにつれ、亀裂面積比は大きくなり、引張強さは小さくなる傾向を示した。2 つの間の P 値は 0.001 より小さく、有意な負の相関関係が存在した。
- (3) 人為的に亀裂の本数を増やすと、力学的特性は減少傾向を示し、1 本の亀裂を入れることにより最大で 30% 減少した。また、複数の亀裂が存在する場合、応力のはたらく部分が引張方向に広がっていくことで力学的特性の低下を引き起こしたと考えられる。

【参考文献】

1) 大津展之：判別および最小 2 乗基準に基づく自動しきい値選定、信学論(D) J 63-D、pp.349-356、1980

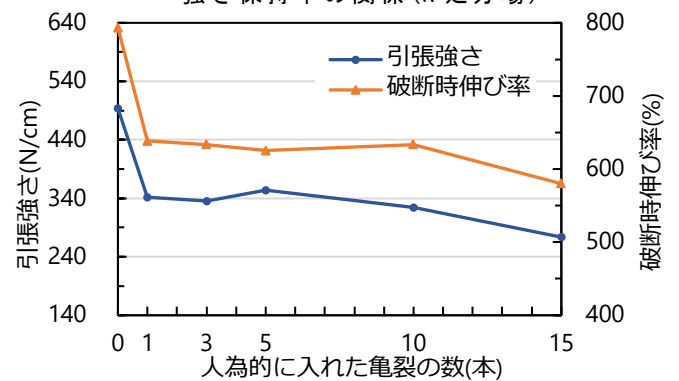


図 5 亀裂の数と引張強さ・破断時伸び率の関係

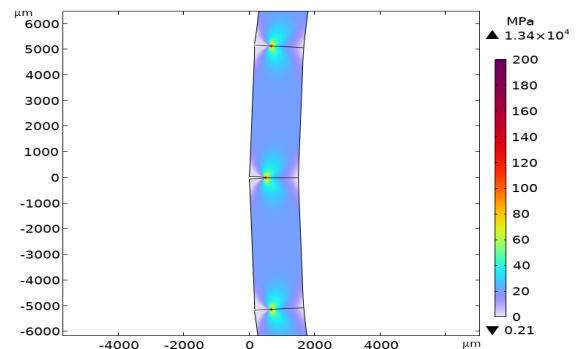


図 6 亀裂 3 本・亀裂深さ 500 μm 時の応力分布