

最終処分場遮水シートの表面からの深さ方向の劣化の評価に関する研究

九州大学大学院工学府

学生会員 ○土屋 海渡

〃

正会員 井場 道夫

九州大学大学院工学研究院

正会員 中山 裕文

〃

フェロー会員 島岡 隆行

1. はじめに

廃棄物埋立地に敷設される遮水シートは、廃棄物や浸出水等による地盤や地下水の汚染を防止する重要な役割を果たしている¹⁾。これまで、著者らは供用期間中に遮水シートが受ける劣化に着目し、廃棄物埋立地からサンプリングしたシートを引張試験や表面観察、FT-IR等の各種試験によって劣化の進行を評価した。その結果、遮光性保護マット下のシートや廃棄物に埋没したシートは、大気に直接暴露されたシートと比較して表面亀裂の発生が小さく、力学特性もあまり低下することなく、初期の性能を維持していることが分かった²⁾。しかし、プラスチックの酸化劣化は表面から進行し、やがて深部に空気中の酸素が徐々に拡散することで分子量が低下し樹脂強度も低下することから³⁾、遮水シートの劣化メカニズムを考察するためには、表面から深さ方向(シート厚さ方向)にどれだけ劣化が進行しているかを分析することが重要である。

本稿では、知見の少ない、遮水シートの劣化深さに関する情報を得ることを目的とし、ウルトラマイクロトームを用いて遮水シートを表面から切削したサンプルを表面観察やFT-IRに供することによって深度別の劣化を評価した。

2. 遮水シート表面からの深さ方向の劣化の評価

2-1 分析対象とした遮水シート 本研究では、K処分場において、供用開始から20年間大気に直接暴露されていた1.5mm厚の遮水シートのうち、北東向き法面、東向き法面、南東向き法面からサンプリングしたシートを分析対象とした。遮水シートの材質はTPO(オレフィン系熱可塑性エラストマー)である。図1に、分析対象とした遮水シートの引張試験結果(引張強さ保持率、伸び保持率)を示す。引張強さはいずれの遮水シートも初期から大幅に値が低下しており、破断時伸び率も北東向きの遮水シートを除いてやや値が低下している。

2-2 ミクロンオーダーでの遮水シートの切削 力学特性の低下は表面から材料内部への酸化劣化に伴って起こる現象であるため、対象とする遮水シートにおいても表面からある程度の深度まで劣化が進行しているのではないかと考えられる。そこで、遮水シート表面からミクロンオーダーで切削したサンプルを作製し、表面において亀裂やカルボニル基の生成をみることで、表面から深さ方向にどれだけ劣化が進行しているかを評価した。サンプルは、ウルトラマイクロトーム(Leica製)で作製した。試料作製のイメージを図2に示す。ここでは1mm角にカットした遮水シートをウルトラマイクロトーム装置内で凍結させ、表面から0μm、5μm、10μm、15μm、20μm、30μmの深さの面が露出するようマイクロトームナイフにより水平に切削した。

2-3 顕微鏡観察 走査型電子顕微鏡(SEM)を用いて各深度別のサンプル表面を総合倍率200倍で観察した。各深度別のSEM像を表1に示す。顕微鏡観察より、表面から深くなるにつれて亀裂が減少していく様子が確認された。特に、北東向き法面、東向き法面の遮水シートは20μm、南東向き法面の遮水シートは30μmの箇所まで亀裂がみられなくなった。以上の結果から、亀裂の発生は表面から30μm程度の深さまでにおける表面近傍で進行していることが分かった。引張試験では亀裂の深い箇所から破断していくため、シート厚さ1.5mmに対して30μm程度での劣化でも、応力をかけると亀裂が伝播し、

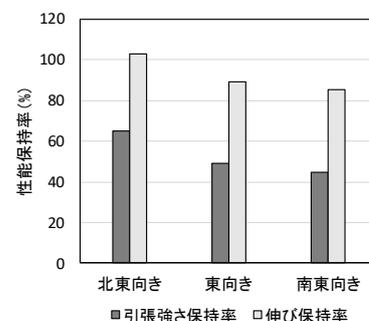


図1 分析対象とした遮水シートの力学性能保持率

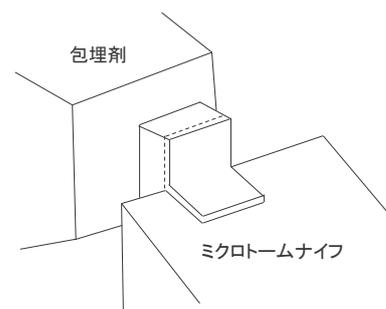


図2 ウルトラマイクロトームによる遮水シート切削のイメージ図

低い力学性能保持率を示したと考えられる。

2-4 FT-IR 測定 ゴムやプラスチックといった高分子材料は紫外線や熱により、まず表面が酸化され分子切断と同時に切断された高分子鎖の末端にカルボニル基(-C(=O)-)が生成する。その後、材料内部に空気中の酸素が徐々に拡散し内部の樹脂が酸化され、分子切断とカルボニル基の発生がさらに進行する³⁾。そこで、FT-IR (ATR 法)を用いて表面の赤外吸収スペクトルを測定し、 1740cm^{-1} 付近に現れるカルボニル基に由来する赤外吸収ピークと 1470cm^{-1} 付近に現れる TPO 固有のメチレン基(-CH₂-)の赤外吸収ピークを観察した。

図 3 に、東向き法面の遮水シートの各深度別のサンプル表面の赤外吸収スペクトルを示す。表面から深くなるにつれてカルボニル基の吸収ピークが減少していることが分かる。ここで、カルボニル基由来の赤外吸収ピークと 1470cm^{-1} 付近に現れる TPO 固有のメチレン基(-CH₂-)の赤外吸収ピークの高さの比であるカルボニルインデックス(=カルボニル基/メチレン基赤外吸収ピーク高さ)を用いて、酸化劣化の進行を数値化して評価した⁴⁾。各深度別のカルボニルインデックスの値を図 4 に示す。北東向き法面、南東向き法面の遮水シートは $20\ \mu\text{m}$ で増加しているが、全体の傾向として表面から深くなるにつれてカルボニルインデックスの値が小さくなる様子が確認された。北東向き法面、南東向き法面の遮水シートは $30\ \mu\text{m}$ より深い箇所まで劣化が進行していると考えられる。顕微鏡観察結果と同様に、酸化劣化によるカルボニル基の発生が表面近傍で進行していることが分かった。

3. まとめ

本研究では、表面からミクロンオーダーで切削した各深度別のサンプル表面を各種試験に供することで、深さ方向の劣化の進行を評価した。顕微鏡観察および FT-IR 測定の結果、亀裂やカルボニル基の発生が表面から深くなるにつれて減少していく様子を確認することができた。また、これらの劣化は表面から $30\ \mu\text{m}$ 程度の深さに留まっており、 $1.5\ \text{mm}$ ($1,500\ \mu\text{m}$) 厚の遮水シートの表面近傍で進行していることが分かった。今後の研究では、表面から深さ方向への劣化の進行が力学特性の変化に及ぼす機構を明らかにする必要がある。

参考文献

1) 社団法人 全国都市清掃会議編：廃棄物最終処分場の計画・設計要領，2010 2) 土屋海渡，中山裕文，島岡隆行，井場道夫：廃棄物埋設部における遮水シートの耐久性評価に関する研究，ジオシンセティックス論文集，34 巻，pp.21-28，2019 3) 森北浩通，田中伸幸，畑千登，高木光司：カルボニル基分布によるポリエチレンの寿命予測，パナソニック電工技報，Vol.58，No.1，pp.58-63，2010 4) 西村正樹，陰地威史，赤井智幸，原健二，石田正利，渡部直人，嘉門雅史：遮水シートの促進暴露試験における工学影響の検討，ジオシンセティックス論文集(26)，pp.121-126，2011

表 1 遮水シートの各深度別の SEM 像

	北東向き	東向き	南東向き
表面			
5μm			
10μm			
15μm			
20μm			
30μm			

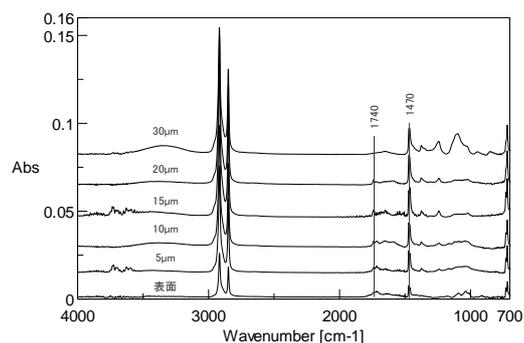


図 3 赤外吸収スペクトル(東向き)

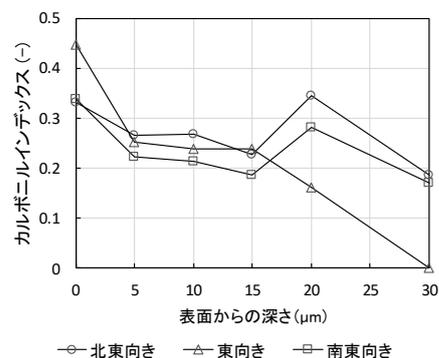


図 4 カルボニルインデックス