

土木用資材からのマイクロプラスチック・ファイバーの発生量に関する研究

九州大学工学府 学生会員 ○福田 敦輝
九州大学大学院工学研究院 正会員 中山 裕文
九州大学大学院工学研究院 フェロー会員 島岡 隆行

1. はじめに

プラスチックごみのうち大きさが5 mm以下のものをマイクロプラスチック(以下、MPs)と呼び、世界各地の海域でその存在が確認されている。化学繊維製品からは、マイクロプラスチック・ファイバー(以下、MFs)と呼ばれる細かいプラスチックが発生することがわかっており、衣類の洗濯等によって簡単に発生すると考えられている¹⁾。河川の護岸工事、防草シート、廃棄物最終処分場の遮光性保護マット等で使用される不織布は、ポリエステルなどの化学繊維で製造されており、風雨にさらされることでMFsの発生源となっている可能性がある。屋外設置された不織布は紫外線により劣化し、表面からMFsが抜け落ち降雨などにより流出すると考えられる。MFsの発生ポテンシャルの評価のため、不織布サンプルの促進劣化後に摩耗試験を行い、脱離したMFsの定量方法を検討した²⁾が、MFsの回収方法に再現性が確保されていなかったこと、促進劣化期間が2年と短かったことが課題として残されていた。そこで本研究では、実験方法に関する再現性の確保、促進期間を5年間まで延長した不織布試料を用いてMFsの発生量評価を試みた。

2. 実験内容

2.1 実験試料

MFsが発生する可能性のある資材として、産業資材用繊維の生産量の増加が著しく、今後、消費量が增大すると考えられる不織布を対象とし、劣化に伴うMFsの脱離量の定量方法を検討した。実験に使用した試料を表1に示す。

2.2 引張強度試験

JIS L 1913:2010 に準拠し、促進劣化後の試料の引張強度保持率を求めた。

2.3 MFsの定量方法

以下にMFsの定量方法の手順を示す。

- (1) 表2に示す条件で屋外暴露5年間相当の促進劣化試験を実施した後、JIS L 1913:2010 に準拠して摩耗試験を行った。
- (2) 摩耗試験後の試料からMFsを回収するため、500mlの純水を入れたプラスチック性の容器に試料を入れ、振とう機を用いて表3に示す条件で振とうした。なお、適切な振とう条件を設定するため、振とう時間を0.5分、1分、2分、5分、また振とう速度を50 rpm、100 rpm、150 rpmと変化させて定量を行った。
- (3) 試料を静かに容器から取り出し、容器内に残った繊維と純水をろ過器にてろ過した。

その後、MFsを定量するためCoramiらの方法³⁾を参考にし、一部変更を加えた手順で顕微鏡観察により分析した。ろ過後のろ紙(Φ55 mm、孔径4μm)を乾燥させ、観察箇所をろ紙1枚あたり14箇所ランダムに選び、顕微鏡写真を撮影した。次に、ろ紙上のMFsがろ紙に占める面積を次式(1)で算出した。

表1 不織布サンプル詳細

項目	用途
材質	ポリエステル
製法	ニードルパンチ
目付(g/m ²)	600
密度(g/cm ³)	1.38
試料サイズ(mm)	φ=115

表2 促進劣化試験条件

項目	詳細
ブラックパネル(°C)	63±3
相対湿度(%RH)	50±5
放射照度(mW/m ²)	150±8
試験時間(時間)	284

表3 振とう実験条件

項目	詳細
振とう条件	常温、常圧、水平振とう
振とう幅(cm)	4~5
振とう時間(分)	2
振とう速度(rpm)	100

表4 振とう時間、振とう

速度別のMFs脱離量 (単位: g/m²)

時間(分)	速度(rpm)	50	100	150
0.5		1.00	1.30	1.23
1		1.14	1.23	1.25
2		1.17	1.28	1.28
5		1.07	1.26	1.28

$$\text{ろ紙全体に対する MFs の占有面積} = \frac{\text{ろ紙の面積}}{\text{観察箇所 1 か所の面積} \times \text{観察箇所の数}} \times \text{観察箇所に対する MFs の占有面積} \cdots (1)$$

ただし、ろ面積：2,376 mm²、観察箇所 1 か所の面積：3.91 mm²、観察箇所の数：14 箇所、全ての観察箇所に対する繊維の占有面積：Image J による算出(mm²)である。次に、MFs の形を円柱と仮定し、試料から発生する MFs の質量(g)を次式(2)で算出した。

MFs の質量 = MFs の体積 × MFs の密度

$$= \pi \times \frac{\text{ろ紙全体に対する MFs の占有面積}}{2} \times \text{MFs の断面の半径} \times \text{MFs の密度} \cdots (2)$$

MFs の断面の半径は走査型電子顕微鏡による観察によって求めた(図 1 参照)。なお、Corami らの研究では MFs の半径と長さより体積と質量を算出していたが、MFs が長い場合や湾曲している場合は長さを測ることが困難であったため、本研究においては Image J で算出した面積を用いて MFs の質量を計算した。

3. 結果及び考察

照射時間に伴う引張強度保持率の変化を図 2 に示した。図より、屋外暴露 5 年間相当の照射で引張強度保持率が防草シートは 58.1 %まで低下し、劣化が進んでいることが分かった。

促進劣化後に摩耗試験を実施した試料から MFs を回収するために行った振とう時間、振とう速度を変化させた実験の結果を表 4 に示した。振とう時間及び振とう速度を大きくしても MFs の回収量に変化がなくなる条件として、振とう時間を 2 分、振とう速度を 100 rpm とすることとした。

ろ過後にろ紙上の MFs 質量を(1)、(2)式に基づいて算出し、結果を図 3 に示した。劣化させていない防草シートから発生する MFs の量は 1.28 g/m²であったが、屋外暴露 5 年間相当の照射では 41.3 g/m²まで増加した。照射により劣化がかなり進み、初期値と比べ MFs の発生量が大幅に増加することが分かった。

4. 結論

本研究では、これまで十分な検討がなされていない MFs の定量について、Corami らの方法を参考に、促進劣化試験、摩耗試験を実施した不織布に対して MFs の定量実験を行った。実験結果より照射により不織布の劣化が進み、引張強度保持率は 58.1%まで減少した。それに伴い、防草シートからの MFs の発生量は 1.28 g/m²から 41.3 g/m²まで大きく増加した。これまでの手動の振とう方法を振とう機により振とうを行うことによって、再現性のある値を得ることができた。また、振とう機を用いた方法により、手動のときよりも、6.2%多くの MFs を回収することができた。

【参考文献】 1)Browne, M.A., Crump, P., Niven, S. J., Tonkin, A., & Galloway, T., et al. : Accumulation of microplastics on shorelines worldwide: Sources and sinks, Environmental Science and Technology, Vol.45, pp.9175-9179, 2011 2)福田敦輝：土木用不織布からのマイクロプラスチック・ファイバーの発生に関する研究, 第 31 回廃棄物資源循環学会研究発表会 2020、pp.395-396、2020 3) Fabiana Corami, Beatrice Rosso, Barbara Bravo, Andrea Gambaro: A novel method for purification, quantitative analysis and characterization of microplastic fibers using Micro-FTIR, Chemosphere, Vol. 238, pp.1-10, 2020



図 1 走査型電子顕微鏡観察による顕微鏡写真

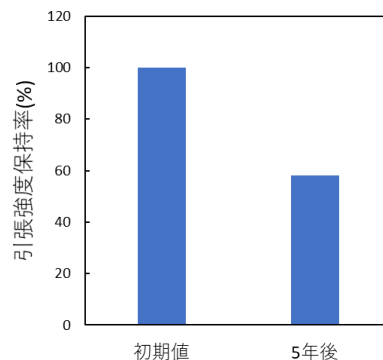


図 2 照射時間の変化に伴う引張強度保持率の変化

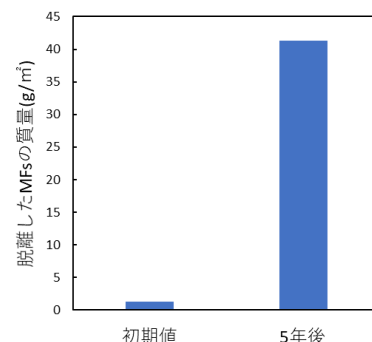


図 3 照射時間の変化に伴う MFs 発生量の変化