抗菌剤とポバールの表面処理による レーヨンの生分解の抑制

新田見 匡¹・村田 良太²・中村 健二³・松本 幹治⁴・中村 一穂⁵

¹横浜国立大学大学院特別研究教員 工学研究院 (〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5)

E-mail: nittami@ynu.ac.jp

²横浜国立大学大学院 工学府 (〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5)

E-mail: d08ga646@ynu.ac.jp

³正会員 清水建設株式会社 技術研究所 (〒135-8530 東京都江東区越中島三丁目4-17)

E-mail: kenji-nakamura@shimz.co.jp

⁴横浜国立大学大学院教授 工学研究院 (〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5)

E-mail: k-mtmt@ynu.ac.jp

⁵横浜国立大学大学院准教授 工学研究院 (〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5)

E-mail: naka-1@ynu.ac.jp

生分解性高分子材料であるレーヨンの表面に、抗菌処理剤DC5700とポバール (PVA) をコーティングして、環境中におけるレーヨンの生分解を抑制する研究を行った。活性汚泥中、バーク堆肥中において、DC5700のコーティングの有無によるレーヨンの分解期間を比較したところ、含水率が56 wt%以下の条件ではコーティングをしたレーヨンの分解期間が顕著に長くなることを確認した。また含水率が40 wt%以下の条件では、DC5700に加えてPVAをコーティングすることで、分解期間がさらに長くなることが分かった。分解に供したレーヨンに残存するDC5700を染色した結果、低含水率の環境においては、PVAによるコーティングがレーヨンからのDC5700の剥離を抑制し、レーヨンの分解を遅らせる効果のあることが示唆された。

Key Words : antimicrobial agent, biodegradable polymer, coating, poval, rayon, tensile strength

1. 目的

建設事業におけるプラスチック資材の用途は、土嚢¹⁾や防草シート²⁾、法面を保護する法枠³⁾の袋素材など多岐にわたる。従来これらプラスチック資材には、ポリエチレン繊維が汎用されてきた。しかしポリエチレン繊維は生分解性に乏しいため、使用後も建設現場の土壌環境中に長期間残存することとなり、生態系や景観への悪影響が懸念されている。そのため近年では麻やポリ乳酸 (PLA) など、生分解性を有する繊維の活用が増えてきた。

生分解性材料を使用する上での重要な課題は、生分解性の制御である⁴⁾。上記のPLAはその生分解速度が非常に遅く^{5,6)}、また分解に寄与する微生物も限定される⁷⁾ことから、使用場所によっては、ほとんど分解しないといった問題も多く報告されている⁸⁻¹¹⁾。そのためPLAにポリε-カプロラクトン (PCL) やデンプンを混合し、その混合比によって土壌中における分解速度 (引張り強度

の低下速度) を変化させた報告がなされている^{6,12)}。しかし複数の材料を混合する方法は、分解の初期から材料の引張り強度を低下させてしまう問題がある¹²⁾。材料の機能を保持するうえで、初期の引張り強度を維持することは重要である。

初期の引張り強度を低下させずに分解を抑制する方法として、分解の速い生分解高分子材料の表面に抗菌物質をコーティングする方法がある^{4,13)}。表面にシニグリンをコーティングしたPCLフィルムのコンポスト中における分解実験では、初期の引張り強度が約3週間ほど保持されたことが報告されている¹³⁾。

PCLと同様、前記の麻は生分解速度の速い高分子材料である。そのため建設現場において、形態の保持が求められる期間より前に分解が進んでしまうことも多い。そこで著者らは麻の表面にシニグリンよりも安価な抗菌処理剤DC5700と表面を均質化するポバール (PVA) をコーティングすることで、麻の生分解時間を調整することができないかと考えた。法面を保護する建設工事におい

て、DC5700とPVAでコーティングした麻素材の法枠袋を適用したところ、設置後約3年でも、袋の一部しか分解されないという結果が得られた¹⁴⁾。

上記の法枠袋が分解を抑制された結果を踏まえ、本研究ではDC5700およびPVAによるコーティングについて、分解抑制効果のある環境、分解を抑制する期間、コーティング剤の適用濃度、分解抑制機構、等を調べることを目的とした。なお本研究ではコーティングを施す素材にレーヨンを用い、活性汚泥中、バーク堆肥中における分解実験を行った。素材にレーヨンを用いた理由は、麻と同じセルロース系繊維でありながら、生分解速度が麻に比べて速いので、短い試験期間で現場の麻袋の分解制御に反映可能な知見を得やすいと考えたためである。また引張り強度の測定において、サンプル間の誤差が少なかったことも理由であった。

2. 方法

(1) レーヨンサンプル

実験に使用したレーヨンの原布はビスコースレーヨン（ダイワボウレーヨン製 レーヨンスターブル“コロナ”）であった。原布レーヨンを以下1)~3)の各溶液に浸漬して80~120℃で乾燥し、計9種類のサンプルを作成した。1)濃度1,3,5% (wt/vol) の抗菌処理剤DC5700（東レ・ダウコーニング製 Dow Coming 5700 Antimicrobial Agent（主成分3(トリメトキシシリル)プロピルオクタデシルジメチルアンモニウムクロライド）溶液、2)濃度1,3,5% (wt/vol)のポバール（クラレ製 PVA-117）溶液、3)濃度1,3,5%のポバール(wt/vol)と濃度3% (wt/vol) のDC5700の混合溶液。各レーヨンサンプルは10 mm × 80 mmのサイズに切断して分解実験に供した。切断した各レーヨンサンプルは、1枚ずつ重量を測定し、その平均値と標準偏差を求めた。なおDC5700は、米国環境保護局（EPA）の認可を取得して、肌着などの抗菌処理に使用されている既存の薬剤である¹⁵⁾。

(2) 活性汚泥中でのレーヨン分解実験

各種レーヨンサンプルをステンレス製のメッシュのボール（直径11 mm, メッシュ2 mm）に入れ、有効容積35 Lの活性汚泥槽の中に設置し、分解実験を行った。活性汚泥は室温、pH未調整、曝気2 L/minの条件下、グルコース14.28 g、ペプトン7.14 g、リン酸二水素カリウム0.66 gを週に2回添加することにより培養した。各種レーヨンサンプルは、週に1-2回の頻度で3枚ずつ取り出し、(4)節に示す方法で引張り強度と重量を測定し、その平均値と標準偏差を求めた。

(3) バーク堆肥中でのレーヨン分解実験

ポリプロピレン製のケース（110 mm×340 mm×260 mm）にバーク堆肥エコグリーンソイル（自然応用科学）を約80 mmの深さとなるように入れ、各種レーヨンサンプルを深さ40 mm程度の位置に埋めて分解実験を行った。各ケースは30℃の恒温槽内に設置した。またケースを含めたバーク堆肥の重量を1週間ごとに測定し、重量の減少分を霧吹きで添加することにより、含水率を20, 30, 40, 56 wt%に保った。各種レーヨンサンプルは2週間ごとに3枚ずつ採取し、(4), (5)節に示す方法で引張り強度、重量、抗菌処理剤の残存具合を調べた。なお引張り強度と重量については、その平均値と標準偏差を求めた。

(4) 重量測定と引張り強度試験

活性汚泥中、バーク堆肥中で分解した各種レーヨンサンプルは、重量を測定した後、引張り試験機R-840（オリエンテック）によりその引張り強度を測定した。測定手順は、まずサンプルを1 mmのメッシュのふるい上で荒く水洗いし、ビーカー内で2分間の超音波洗浄を行った。次にサンプルの水分を十分に拭き取り、温度23±2℃、相対湿度50±5%で48時間以上乾燥させ、サンプルの重量を電子天秤で測定した。最後にサンプルの両端15 mmを引張り試験機の引張り部位に取り付け、下端を20 mm/minの速度で引っ張ることにより、サンプルの引張り強度を求めた。

(5) 抗菌処理剤の染色

抗菌処理剤DC5700を施したサンプルの一部については、分解実験の途中でDC5700がレーヨン表面に残存しているかを把握するため、プロモフェノールブルー（BPB）による染色試験¹⁶⁾を行った。まず0.04% (wt/vol) BPB水溶液と10% (wt/vol) 炭酸ナトリウム水溶液を9:1の体積比で混合し、試験溶液を作成した。次にレーヨン試料を試験溶液に入れて10秒間振とうした。試料を取り出して水道水で濯いだ後、レーヨンの呈色とBPBの標準色（青色）とを比較した。

3. 結果と考察

(1) 活性汚泥中での分解実験におけるレーヨンの表面処理の効果

自然環境下におけるプラスチック材料の生分解性の尺度を得る方法として、JISでは活性汚泥中においてプラスチック材料の好氣的生分解度を求める方法が規定されている¹⁷⁾。そこで本研究においても、表面処理を施した各種レーヨンの生分解性を評価するため、まず活性汚泥を用いたレーヨンの好氣的分解実験を行った。

レーヨンの原布と原布を1, 3, 5%のDC5700で処理したサンプルを活性汚泥中で分解した結果を図-1に示す。図の重量残存率および引張り強度維持率は、各サンプルの初期の重量、引張り強度に対する、分解後のサンプルの重量、引張り強度の割合を示す（重量、引張り強度はいずれも平均値）。また表-1には重量残存率および引張り強度維持率の標準偏差を示す。図-1より、原布はDC5700で処理したサンプルに比べ、その重量と引張り強度の減少が速かった。特に引張り強度において、原布の引張り強度が初期の20%まで減少する期間は、DC5700で処理した他のサンプルよりも9日以上短かった。従ってDC5700による表面処理は、レーヨンの生分解を抑制する効果があると分かった。ただしDC5700の濃度を1, 3, 5%と変えて表面処理を施したサンプルを比較すると、その分解速度の違いは僅かであり、表-1に示す各サンプルの標準偏差よりも小さいものがほとんどであった。

次にレーヨンの原布と原布を1, 3, 5%のPVAで処理したサンプルを活性汚泥中で分解した結果を図-2（平均値）と表-1（標準偏差）に示す。図-2より原布とPVAで処理したサンプルは、重量と引張り強度における減少速度の差は僅かであった。またその差は各サンプルの標準偏差程度の小さいものがほとんどであった。

最後に原布を3%のDC5700で処理したサンプル、および1,3,5%のPVAと3%のDC5700で処理したサンプルを活性汚泥中で分解する実験を行った（図-3：平均値、表-1）

図-2 ポパール (PVA) で処理したレーヨンの活性汚泥中における分解

図-1 抗菌処理剤 (DC-5700) で処理したレーヨンの活性汚泥中における分解

図-3 抗菌処理剤 (DC-5700) とポパール (PVA) で処理したレーヨンの活性汚泥中における分解

表-1 図-1～図-3に示す各プロットの標準偏差

	原布	DC5700コーティング		
日数		1%(wt/vol)	3%(wt/vol)	5%(wt/vol)
図-1 重量残存率 (%)				
0	2.80	4.32	5.31	4.73
3	2.24	3.26	3.11	5.80
7	5.52	3.96	3.27	2.19
13	4.31	2.14	1.89	5.74
16	9.71	9.58	10.5	10.4
20	—	—	—	9.33
図-1 引張り強度維持率 (%)				
0	3.65	5.35	4.75	15.6
3	7.84	10.7	12.1	25.0
7	3.74	6.15	9.23	5.00
13	1.20	1.76	7.44	7.35
20	—	—	5.59	4.11
	原布	PVAコーティング		
日数		1%(wt/vol)	3%(wt/vol)	5%(wt/vol)
図-2 重量残存率 (%)				
0	6.21	5.53	5.31	4.29
4	4.45	0.725	4.49	0.729
7	5.72	3.16	3.74	5.26
15	3.35	—	5.65	3.57
図-2 引張り強度維持率 (%)				
0	5.83	12.7	5.34	5.63
4	1.27	4.80	4.50	0.926
7	2.93	5.54	3.29	5.63
15	2.41	—	1.39	1.96
	DC5700 3%(wt/vol)コーティング			
日数	PVAなし	+PVA1% (wt/vol)	+PVA3% (wt/vol)	+PVA5% (wt/vol)
図-3 重量残存率 (%)				
0	—	3.63	5.83	6.00
4	4.55	4.72	6.71	6.04
7	2.16	4.85	1.94	2.66
14	4.09	2.05	3.66	5.85
21	4.09	2.33	1.94	7.26
28	8.05	3.38	6.25	1.28
図-3 引張り強度維持率 (%)				
0	3.53	5.56	9.27	1.18
4	8.21	16.5	8.20	2.04
7	6.11	12.2	9.46	1.80
14	11.1	2.10	5.83	9.51
21	5.67	1.38	7.40	5.92
28	8.21	1.59	6.61	4.24

※ 1または2枚のサンプルしか測定ができなかった場合は、標準偏差の値を示さず、“—”と表記した。

標準偏差)．図-3と表-1よりDC5700のみで処理したサンプルとPVAとDC5700で処理したサンプルにおいて、重量と引張り強度の減少速度の差は、各サンプルの標準偏差程度の小さいものがほとんどであった。ただし図-3の重量残存率に着目すると、DC5700とPVAで処理したサンプルのほうが、DC5700のみで処理したサンプルよりも、僅かに高い値を示す場合が多かった。

以上の活性汚泥中における分解実験より、DC5700のみによる表面処理は、DC5700の適用濃度による顕著な差異はなかったものの、レーヨンの生分解を抑制する効果があることを確認した。一方PVAのみによる表面処理

は、PVAの適用濃度によらずレーヨンの生分解抑制効果の低いことが分かった。またDC5700とPVAによる処理は、DC5700のみの処理に比べ、レーヨンの生分解を抑制する効果を僅かに高める傾向があるようだった。なお図-1と2における原布の分解期間、および図-1と3におけるDC5700で処理したサンプルの分解期間は、それぞれ大きく異なっていた。特に図-1と3においてDC5700で処理したサンプルの引張り強度を比べると、初期の40%まで低下する期間には20日ほどの違いがあった。上記のとおり本実験は温度管理をしていない活性汚泥槽内での分解実験であった。従って同じ種類のサンプルであっても、各実験を行ったときの温度の違いにより、分解速度が異なったものと考ええる。

(2) バーク堆肥中(含水率56 wt%)での分解実験におけるレーヨンの表面処理の効果

表面処理を施した各種レーヨンの生分解性を土壌環境において評価することを目的として、バーク堆肥を用いたレーヨンの分解実験を行った。前記の活性汚泥中での分解実験において、PVAのみによる表面処理は、その分解抑制効果の低いことが明らかであった。そのためバーク堆肥中での分解実験では、PVAのみで処理したサンプルは用いず、レーヨンの原布、原布を1, 3, 5%のDC5700で処理したサンプル、原布を3%のDC5700と1,3,5%のPVAで処理したサンプル、を用いることとした。

まずレーヨン原布および原布を1, 3, 5%のDC5700で処理したサンプルを含水率56 wt%のバーク堆肥中で分解する実験を行った。図-4にサンプルの重量残存率と引張り強度維持率の平均値の経時変化、表-2に標準偏差を示す。図-4より原布はDC5700で処理したサンプルに比べ、その重量と引張り強度の減少が速かった。特に引張り強度が初期の20%まで低下する期間は、DC5700で処理した他のサンプルよりも14日以上早かった。この差は活性汚泥中での分解実験と比較しても顕著であった。図-1と図-4において、原布が初期の20%程度まで分解される期間を比較すると、バーク堆肥中での分解(図-4)は活性汚泥中における分解(図-1)に比べ、重量、引張り強度ともに2~3倍の日数を要していたことが分かる。従ってバーク堆肥中では活性汚泥中よりも分解が遅いために、DC5700による分解抑制が顕著に表れたものと考ええる。なお本分解実験では、表-2に示す通り、DC5700で処理した各サンプルの標準偏差が、分解期間後半において非常に大きかった。図-4にみられる1,3,5%のDC5700で処理した各サンプルの分解速度の差は、この標準偏差の大きさに起因するものではないかと考える。

次にレーヨン原布、原布を3%のDC5700で処理したサンプル、および1,3,5%のPVAと3%のDC5700で処理したサンプルを含水率56 wt%のバーク堆肥中で分解する実験を

行った。図-5にサンプルの重量残存率と引張り強度維持率の平均値の経時変化、表-2に標準偏差を示す。図-5よりDC5700のみで処理したサンプルとPVAとDC5700で処理したサンプルは、原布に比べその重量と引張り強度の減少が遅かった。原布の引張り強度が初期の20%まで低下する期間は、図-4と同様、他のサンプルよりも14日以上早かった。一方、DC5700のみで処理したサンプルとPVAとDC5700で処理したサンプルの重量と引張り強度の差は、各サンプルの標準偏差程度の小さいものであった。本実験においては、DC5700とPVAによる処理がDC5700のみの処理よりもレーヨンの生分解を抑制する傾向を確認することはできなかった。

以上のバーク堆肥中での2回の分解実験(図-4, 5)では、原布およびDC5700 3%で処理したサンプルが引張り強度を初期の20%まで低下させた期間は、いずれも14日と42日であった。図-4, 5の実験は温度管理をした恒温槽内で行った分解実験であったため、室温で実施した活性汚泥中での分解実験に比べ、同じ種類のサンプルが分解される速度に差が少なかったものと考えられる。また図-4, 5からは、DC5700、およびPVAとDC5700で処理したサンプルが、いずれも14日以上期間、初期の80%以上の重量と引張り強度を保っていたことが分かった。PCLの表面をコーティング処理した既往の報告¹³⁾と同様、レーヨンの表面をコーティングした本実験においても、コーティングが初期の重量や引張り強度を維持する傾向を確認した。

図-4 抗菌処理剤 (DC-5700) で処理したレーヨンのバーク堆肥中における分解

図-5 抗菌処理剤 (DC-5700) とポバール (PVA) で処理したレーヨンのバーク堆肥中における分解

表-2 図-4,5に示す各プロットの標準偏差

	原布	DC5700コーティング			
日数		1%(wt/vol)	3%(wt/vol)	5%(wt/vol)	
図-4 重量残存率 (%)					
0	7.56	3.26	2.37	3.79	
14	3.31	3.75	5.41	3.04	
28	14.5	5.73	8.12	9.26	
42	—	15.5	14.3	12.7	
57	—	—	28.9	28.1	
図-4 引張り強度維持率 (%)					
0	5.83	5.35	4.75	15.6	
14	3.47	6.34	44.8	17.1	
28	0.589	14.1	52.1	5.00	
42	—	3.83	6.98	—	
	原布	DC5700 3% (wt/vol) コーティング			
日数		PVA なし	+PVA1% (wt/vol)	+PVA3% (wt/vol)	+PVA5% (wt/vol)
図-5 重量残存率 (%)					
0	8.50	6.89	3.42	9.16	4.61
14	11.3	6.66	3.35	12.5	3.04
28	18.7	5.24	6.29	10.3	4.23
42	—	14.6	8.86	6.23	16.5
56	—	—	5.80	—	—
図-5 引張り強度維持率 (%)					
0	4.58	8.00	3.48	15.8	10.2
14	3.46	14.5	16.3	29.0	13.4
28	—	8.13	5.71	3.08	3.95
42	—	—	—	2.96	—

※ 1または2枚のサンプルしか測定ができなかった場合は、標準偏差の値を示さず、“—”と表記した。

(3) バーク堆肥中(含水率20,30,40 wt%)での分解実験におけるレーヨンの表面処理の効果

活性汚泥中とバーク堆肥中での実験結果の比較から、分解速度が遅い環境ほど表面処理の効果を確認しやすいことが分かった。既往の研究において、湿潤土壌では乾燥土壌に比べ、生分解性プラスチックの分解が速やかであることが報告されていたので¹⁸⁾、分解速度をより遅くする目的で、バーク堆肥の含水率を20, 30, 40 wt%に低下し、再度バーク堆肥中での分解実験を行った。ただしこれまでの実験において、DC5700、およびPVAの濃度による分解抑制効果の差は顕著でなかったため、本実験の分解試料はレーヨンの原布を3%のDC5700で処理したサンプル、および3%のPVAと3%のDC5700で処理したサンプルのみとした。各試料を各含水率のバーク堆肥中で分解したときの重量残存率と引張り強度維持率の平均値の経時変化を図-6に示す。また表-3には重量残存率および引張り強度維持率の標準偏差を示す。図-6の重量変化において、バーク堆肥中の含水率を30 wt%, 40 wt%とした分解実験では、42日目以降、DC5700のみで処理したサンプルがPVAとDC5700で処理したサンプルに対し、標準偏差(表-3)以上の低下を示した。また引張り強度の変化においても、バーク堆肥中の含水率を30 wt%, 40 wt%とした分解実験において、両サンプルの結果に差が生じた。PVAとDC5700で処理したサンプルは、いずれの含水率のバーク堆肥中においても、56日間の分解期間を通して初期の80%以上の引張り強度を維持した。しかしDC5700のみで処理したサンプルは、含水率を40 wt%とした実験では28日、含水率を30 wt%とした実験では42日で引張り強度が初期の15%以下に減少した。

以上より含水率が低く分解速度の遅い実験系においては、PVAとDC5700による処理は、DC5700のみの処理よりも分解を抑制する効果が高いことが分かった。なお含水率を20 wt%とした分解実験では、DC5700のみで処理したサンプルとPVAとDC5700で処理したサンプルともに、重量は初期の90%以上、引張り強度は初期の80%以上を実験最終日(56日)において維持していた。含水率20 wt%のバーク堆肥中では分解速度が遅いため、今回の分解期間(56日)ではPVA処理の有無によらず分解が進まなかったものと考えられる。

(4) バーク堆肥および活性汚泥の含水率と各種レーヨンの分解期間との関係

レーヨンの分解を行った環境(バーク堆肥と活性汚泥)の含水率とレーヨンの分解期間との関係を整理するため、図-1, 5, 6においてレーヨンの引張り強度が初期の80%および50%まで低下するのに要した日数をその実験を行った環境(バーク堆肥および活性汚泥)の含水率とともに図-7にまとめた。ただし図-6において分解が所定

の割合に達しなかったサンプルについては、分解に要した日数を56日として表記した。図-7よりレーヨンの引張り強度が初期の80%および50%まで低下するいずれの場合においても、DC5700の表面処理による効果が顕著に表れたのは、含水率が56 wt%以下の環境であり、DC5700とPVAの表面処理による効果が表れたのは、含水率が40 wt%以下の環境であったことが分かる。

(5) 分解過程における抗菌処理剤のコーティング状態とその生分解抑制との関係

上記の結果より、低含水率の分解環境においては、

図-6 含水率を変えたバーク堆肥中におけるレーヨンの分解

表-3 図-6に示す各プロットの標準偏差

	含水率 (wt%)					
	40	30	20	40	30	20
日数	DC5700 3% (wt/vol) コーティング					
	PVAなし			+PVA 3% (wt/vol)		
図-6 重量残存率 (%)						
0	5.72	5.79	4.22	5.25	6.43	8.00
28	9.87	8.02	7.81	4.99	7.99	7.99
42	—	—	2.10	5.25	4.21	2.44
56	10.1	11.0	6.20	2.29	5.23	0.677
図-6 引張り強度維持率 (%)						
0	—	—	—	—	—	—
14	—	19.7	4.64	14.9	6.83	3.31
28	—	—	11.4	12.5	4.74	14.5
42	—	—	4.09	14.1	21.1	7.59

※ 1または2枚のサンプルしか測定ができなかった場合は、標準偏差の値を示さず、“—”と表記した。

図-7 引張り強度の低下と土壌および汚泥の含水率との関係

DC5700に加えてPVAをコーティングすることで、レーヨンの分解が抑制されることが分かった。そこで低含水率 (30 wt%) のバーク堆肥中で分解したサンプルのDC5700のコーティング状態の変化を調べるため、分解過程においてDC5700のみおよびDC5700とPVAでコーティングしたサンプルをBPBで染色した。結果を図-8に示す。分解0日目においては、DC5700のみで処理したサンプル、DC5700とPVAで処理したサンプルともに青く染色されている。これは両サンプルの表面にDC5700が塗布されている状態であったことを示す。しかし分解42日目以降、DC5700のみで処理したサンプルは青く染まらなくなった。図-6に示すとおり、DC5700のみで処理したサンプルは、28日目から42日目の間に引張り強度が激減した。BPB染色の結果とあわせて考えると、DC5700が残存している期間はレーヨンの分解が抑制され、DC5700が失われた後にレーヨンの分解が進んだものと推察できる。一方DC5700とPVAで処理したサンプルは、図-8に示すとおり分解56日目まで青く染色された。これはPVA処理によりDC5700の剥離が抑制されたことを示唆する結果であった。また図-6よりDC5700とPVAで処理したサンプルは56日間では分解が進まなかったことから、DC5700とPVAで処理したサンプルにおいても、DC5700が残存している期間はレーヨンの分解が抑制されたものと推察する。

図-8 含水率30wt%のバーク堆肥中で分解したレーヨンのBPBによる染色試験

4. 結論

本研究では、生分解性の高い繊維であるレーヨンに、PVAおよび抗菌処理剤のDC5700をコーティングし、活性汚泥中とバーク堆肥中において、その分解抑制効果を調べた。本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- DC5700の表面処理による効果が顕著に表れたのは、含水率が56 wt%以下の環境であった。また含水率が40 wt%以下の環境では、DC5700に加えPVAの表面処理を行うことで、その分解抑制効果が大きくなった。
- 温度30℃、含水率56 wt%のバーク堆肥中において、DC5700のみ、およびDC5700とPVAのコーティングを施したレーヨンは、初期の引張り強度（初期の80%以上の引張り強度）を原布のレーヨンよりも2週間程度長く保持できた。
- 表面処理に用いるDC5700およびPVAの濃度が1-5% (wt/vol)の範囲では、濃度差による明らかな分解抑制効果の差を確認できなかった。
- DC5700が表面に残存している期間はレーヨンの分解が抑制され、DC5700が表面から剥がれるとレーヨンの分解が進むことが示唆された。また低含水率の環境においては、PVAのコーティングがDC5700の剥離

を防ぐ効果があったものと推測する。

参考文献

- 1) 中村健二：赤土流亡対策用土嚢袋の生分解性に関する研究，土木学会第 58 回年次学術講演会論文集 VII, pp. 139-140, 2003.
- 2) 山本孝，木水貢，森大介：新保善正環境調和型産業資材の実証化 生分解性繊維の実用化，石川県工業試験場研究報告，No. 49, pp. 25-30, 2000.
- 3) 中村健二，伊東優介，新田見匡，松本幹治，中村一穂：尿素を用いたパーク堆肥中でのポリ乳酸(PLA)の分解，日本緑化学会誌，Vol. 35, No. 1, pp. 21-26, 2009.
- 4) 技術情報協会：生分解性プラスチックの改質技術と成形加工における課題と対策，pp.1-23, 2003.
- 5) 北川和男：生分解性プラスチックの土壌分解性について，材料，Vol. 51, No. 6, pp.707-708, 2002.
- 6) Tsuji, H., Mizuno, A. and Ikeda, Y. : Blends of Aliphatic Polyesters. III. Biodegradation of Solution-Cast Blends from Poly (L-lactide) and Poly (ϵ -caprolactone), *J. Appl. Polym. Sci.*, Vol. 70, pp. 2259-2268, 1998.
- 7) 酒井清文，森芳邦彦，中山敦好，山野尚子：自然環境中における生分解性プラスチック分解菌の分布，高分子学会予稿集，Vol. 52, No. 5, p. 979, 2003.
- 8) 黒木泰至，鳥越清，福地哲郎，小玉義和：生分解性プラスチックのフィールドテスト第 1 報，宮崎県工業技術センター・宮崎県食品開発センター研究報告，No. 44, pp. 51-54, 2001.
- 9) 佐野正，林成美，天城裕子，佐藤亨：生分解性プラスチックのフィールドテスト，新潟県工業技術総合研究所工業技術研究報告書，No. 30, pp. 55-58, 2001.
- 10) 田村克浩，金子亜由美：生分解性プラスチックの土壌分解性フィールドテスト，静岡県静岡工業技術センター研究報告，No. 47, pp. 21-25, 2002.
- 11) 中井猛夫，野村賀寿雄，三橋正典，西村敬一：生分解性プラスチックのフィールドテスト・暴露試験，奈良県工業技術センター研究報告，No. 28, pp. 13-18, 2002.
- 12) 大澤敏，附木貴行，小川俊夫：ポリ乳酸/デンプンブレンド射出成形物の土壌中における分解制御，高分子論文集，Vol. 58, No. 11, pp. 573-580, 2001.
- 13) 大澤敏：天然抗菌物質を利用した生分解性プラスチックの分解制御，高分子加工，Vol. 52, No. 7, pp. 16-22, 2003.
- 14) 中村健二：建設事業における緑化への繊維活用に関する研究，博士学位論文，横浜国立大学，pp.44-45, 72-73, 2010.
- 15) 河合博：Dow Corning 5700 抗微生物処理剤，人にやさしい繊維と加工，pp. 535-540, 繊維社，1995.
- 16) 河合博：抗菌防臭加工剤有機シリコン第四アンモニウム塩，抗菌防臭，pp. 128-139, 繊維社，1989.
- 17) 日本工業規格 (JIS)：プラスチック—水系培養液中の好氣的究極生分解度の求め方—閉鎖呼吸計を用いる酸素消費量の測定による方法，JIS K 6950:2000 (ISO 14851:1999)，2000.
- 18) 鴨田福也：園芸分野における生分解性プラスチック，バイオサイエンスとインダストリー，Vol. 58, No. 11, pp. 811-814, 2000.

(2010.6.4 受付)

DECOMPOSITION SUPPRESSION OF RAYON BY SURFACE COATING USING ANTIMICROBIAL AGENTS AND POVAL

Tadashi NITTAMI, Ryota MURATA, Kenji NAKAMURA, Kanji MATSUMOTO
and Kazuho NAKAMURA

The authors examined whether decomposition of rayon in environment is suppressed by coating it with antimicrobial agent DC5700 and poval (PVA). When the rayon samples coated with DC5700 were decomposed in activated sludge or bark compost together with non-coated samples, the coated samples needed longer time for the decomposition comparing to the non-coated samples under the environmental condition whose water content is 56% or less. Moreover, PVA coating together with DC5700 further extended the decomposition time of rayon samples under the condition whose water content is 40% or less. The dyeing test of DC5700 using bromphenol blue indicated that PVA coating together with DC5700 prevented DC5700 from removing from the rayon surface under the low-water-content condition and thus the double coating sample was decomposed slowly.