

合成樹脂被覆鉄線の耐候性試験 —促進時間の検討—

土橋聖賢* 藤本邦三** 小川久之***

1. はじめに

河川護岸に使用する合成樹脂被覆鉄線については、「鉄線籠型護岸の設計施工技術基準(案)」(以下、技術基準(案))において、必要な性能が規定され、耐久性に関しては耐用年数30年間程度を確保することが求められている。

この耐久性の確認試験の一環として鉄線籠型護岸用被覆鉄線の建設技術審査証明委員会(委員長:大石不二夫 元 神奈川大学教授(現 帝京大学短期大学教授))の指導の下にポリエチレンの被覆材についてオープンフレームカーボンアークライプ(サンシャインウェザーメーター:以下、WA-S)とメタルハライドランプ式耐候性試験機(以下、SUV)並びに自然露光での被覆材の劣化促進速度の比較を行ったので報告する。

2. 合成樹脂被覆鉄線

合成樹脂被覆鉄線は、メッキ鉄線では十分な耐久性を確保することが困難な汽水域などの条件下で用いられる。構造は、図-1に示すように亜鉛メッキ鉄線に接着性樹脂および合成樹脂を被覆したもので、合成樹脂には、現在、高密度系ポリエチレン(以下、高密度 PE)や低密度系ポリエチレン(以下、低密度 PE)が用いられている。ポリエチレンは、密度が0.94以上を高密度 PE と呼び、その用途としては洗剤容器、パイプ、フィルム等に使用され、耐薬品性や低温衝撃性に優れた樹脂である。一方、低密度 PE は、非常に強靱で適度の弾力性と柔軟性を持ち、耐摩耗性、耐候性にも優れている。図-2に鉄線護岸への被覆鉄線の適用事例を示す。

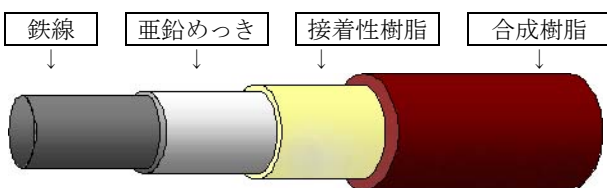


図-1 合成樹脂被覆鉄線の概要図



図-2 合成樹脂被覆鉄線の鉄線籠への適用例

3. 促進耐候性試験の概要

3.1 促進試験

被覆鉄線の樹脂は、主として太陽光に含まれる紫外線に、熱、雨などのストレス因子も加わり複合的な劣化を引き起こす。促進耐候性試験は、屋外環境よりも数倍～100倍の強いストレスを与え、複合的な劣化を加速させ、年単位の劣化状況を短期間で確認する試験法である。促進耐候性試験機は、これまでWA-S試験やキセノンウェザーメーターなどが広く使用されている。特にWS-A試験は、国内では標準的な促進耐候性試験としてデータの蓄積も豊富であり、袋型根固め用袋材では耐用年数30年程度の耐候性をWS-Aにより紫外線を7,500時間照射後の強度で評価することになっている。しかしながら近年、さらに短期間で劣化現象を確認するために、屋外環境の約100倍、WA-S試験の約10倍の促進性のあるSUVが超促進耐候性試験機として用いられることがある。

合成樹脂被覆鉄線について、これまでのデータ蓄積からWA-Sを基本の促進試験として、より促進時間の短いSUVにより劣化させた試料の劣化状況(引張り強さや破断時の伸びなど)を比較し、両者の促進状況から劣化促進作用の妥当性ならびに両者間の促進倍率を導き出した。また、劣化促進作用の妥当性として現地で自然の太陽光に長期に暴露された試料を採取し、それとも比較した。

なお、ポリエチレンにおけるWA-SとSUVとの促進倍率は、過去の知見から12倍程度と見積り、WA-S 7,500時間とSUV 625時間の試験を実施した。促進試験のサンプリング間隔は、促進試験機の容量から試

料数が限られるために表-1に示す時間で実施した。

表-1 促進試験のサンプリング時間

	(時間)					
SUV	0	—	72	144	312	625
WS-A	0	250*	500	1,000	2,500	7,500**

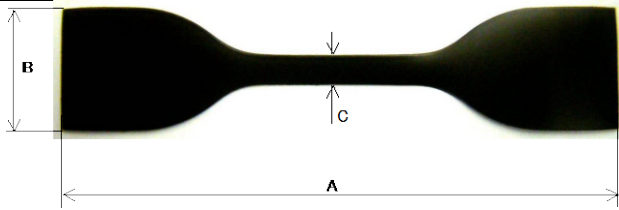
*)高密度PEのみ
**)低密度PEのみ

3.2 測定項目と供試体

劣化状況を判断する測定項目は、表-2のとおりである。また、促進試験に使用した供試体の形状を図-3に示す。供試体はJIS K 7113 2号型試験片を参考にしたが、厚さは、被覆厚さと同じ0.5mmとした。

表-2 促進試験の測定項目

試験項目	試験方法
引張強さ・伸び	紫外線による劣化により、ポリエチレンは、硬化し、引張強さの変化や破断時の伸びの減少が起こる。この強度に関する劣化の程度を測るため、JIS K 7113（プラスチックの引張試験方法）に準拠し、引張強さ及び伸びを測定する
カルボニル基ピーク面積比	紫外線による劣化により、ポリエチレンは、分子鎖を切断しながらカルボニル基を生成する。この分子結合での劣化の度合いは、カルボニル基の増加量を赤外分光光度計（FT-IR）により母材の吸収スペクトルとカルボニル基の吸収スペクトルを測定し、カルボニル基の面積比により算出する。
色差	紫外線による色の変化で劣化を判断するために、JIS K 7362（プラスチック-アンダーグラス屋外暴露、直接屋外暴露又は実験室光源による暴露後の色変化及び特性変化の測定方法）に準拠して暴露前後での色差を測定する。色差の計算方法は、JIS Z 8730（色の表示方法-物体色の色差）7.1.1 L*a*b*表色系のより求める。
光沢度	紫外線による表面の劣化を判断するために、反射光の強さや正反射像の鮮明さ、表面のざらつき模様などの光の反射程度の変化（光沢度）を光沢計の測定角度60°にて測定する。



A : 115mm、B : 25mm、C 6mm、厚み : 0.5mm

図-3 供試体形状

4. 測定結果

4.1 室内促進試験結果（低密度PE）

低密度PEについて、室内促進試験（WS-AおよびSUV促進試験）後の引張強度の減少率、破断時伸びの減少率、カルボニル基面積比、色差、光沢度保持率の計測結果を図-4～図-8に示す。なお、横軸の値は促進時間でSUVの場合は、促進時間を10倍して表示した。

引張強度の減少率は、初期の引張強度に対し、

WA-S、SUVとも同じような減少曲線を描き、WA-S 7,500時間では60%程度、SUV 625時間で65%程度であった。また伸び減少率も、同様な劣化曲線で、WA-S 7,500時間では60%、SUV 625時間では90%以上減少していた。

カルボニル基の面積比は、SUVが一様に増加していたのに対し、WA-Sでは3,000時間までは急速に増加したが、それ以降は増加が止まり、7,500時間では、SUV625時間の半分程度であった。

色差は、WA-S、SUVともにWA-S 3,000時間相当程度まで変化がなく、それ以降はSUVが急速に増加し、SUV625時間で11程度になり、WA-S 7,500時間の7より相当に大きくなった。

光沢度も、色差と同様に試験当初には変化がなく、WA-S 2,000時間相当以降に低下し、SUV 625時間ではほぼ無くなり、WA-S 7,500時間では13%程度しか残らなかった。

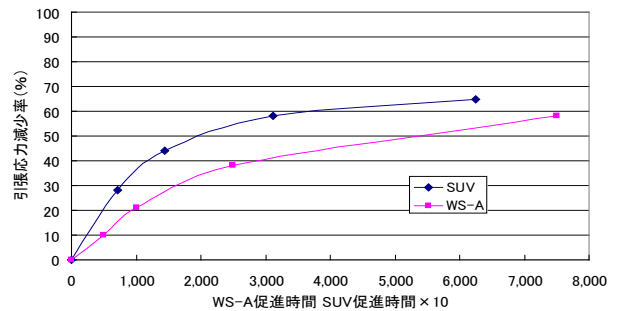


図-4 低密度PE 引張強さの減少率

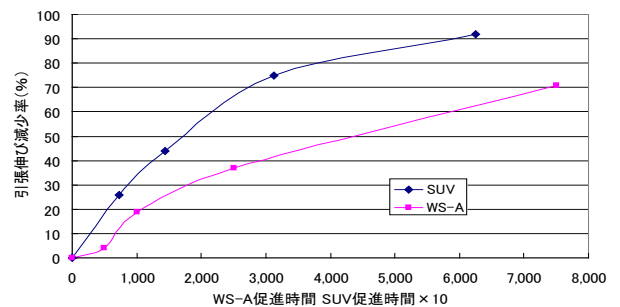


図-5 低密度PE 破断時伸びの減少率

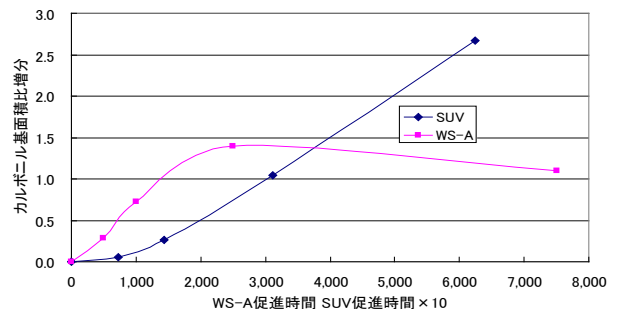


図-6 低密度PE カルボニル基の面積比

土研センター

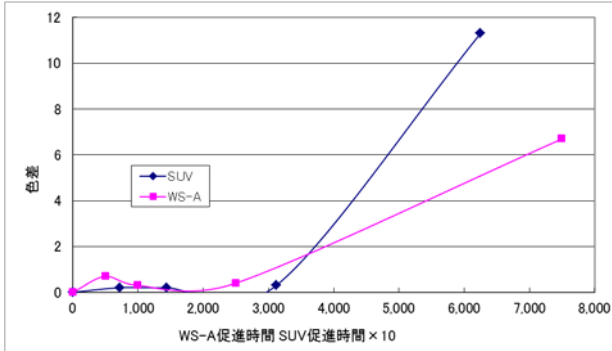


図-7 低密度PE 色差

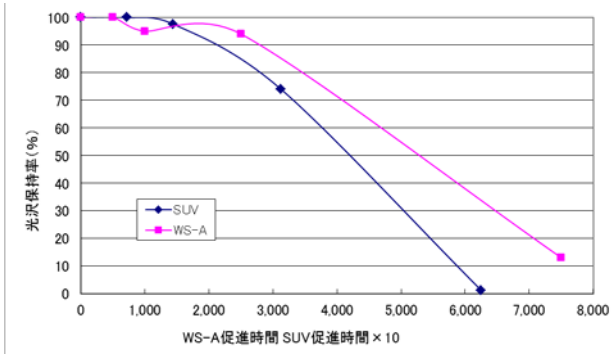


図-8 低密度PE 光沢保持率

4.2 室内促進試験結果 (高密度PE)

高密度PEの破断時伸びの減少率、カルボニル基面積比、色差、光沢度保持率については、低密度PEと同様の傾向を示したが、引張強度については照射時間の増加とともに強くなる傾向を示した。

5. 促進倍率の検討

促進試験の結果から、WA-SとSUVの劣化促進の倍率の検討を行なった。倍率は、WA-Sのサンプリング時間での劣化状況を基準に。その劣化状況に相当するSUVの促進時間を推定して求めた。

比較する指標としては、引張強度は、低密度PEと高密度PEで異なった挙動を示すこと、また、色差や光沢度保持率は、照射初期には変化がなく一定時間後に急激に変化し、材料全体の特性以上に材料表面の変化の影響を受けやすいと考えられることなどから、これらの指標を避け、各材料で相関が得られている破断時の伸びの減少率およびカルボニル基の面積比を使用した。表-2に試験結果と促進倍率を、図-9にWA-Sに対するSUVの促進時間の関係を示す。

表-3および図-9の伸びの減少率およびカルボニル基の面積比の状況から低密度PEでは、SUVは、WA-Sの20倍以上の劣化促進効果があった。また、高密度PEも、WA-S 2,500時間後の劣化状況から、SUVのWA-Sに対する促進倍率は、伸びの減少率で約25

倍、カルボニル基の面積比で11倍程度となっていた。

表-3 促進試験結果と促進倍率

測定項目		WS-A促進時間				
		500	1,000	2,500	7,500	
低密度PE	伸び減少率	試験結果 (%)	4	19	37	71
		WS-A試験時間に相当するSUV試験促進時間	11.1	52.6	121	295
		促進倍率	45.0	19.0	20.6	25.4
	カルボニル基面積比	試験結果	0.29	0.73	1.40	1.10
		WS-A試験時間に相当するSUV試験促進時間	160	219	381	330
		促進倍率	3.1	4.6	6.0	22.7
測定項目		WS-A促進時間				
		250	500	1,000	2,500	
高密度PE	伸び減少率	試験結果 (%)	2.03	-1.22	9.55	24.8
		WS-A試験時間に相当するSUV試験促進時間	13.1	-	61.5	116
		促進倍率	19.1	-	16.3	21.6
	カルボニル基面積比	試験結果	0.004	0.02	0.03	0.07
		WS-A試験時間に相当するSUV試験促進時間	23.3	63.3	107	227
		促進倍率	10.7	7.9	9.4	11.0

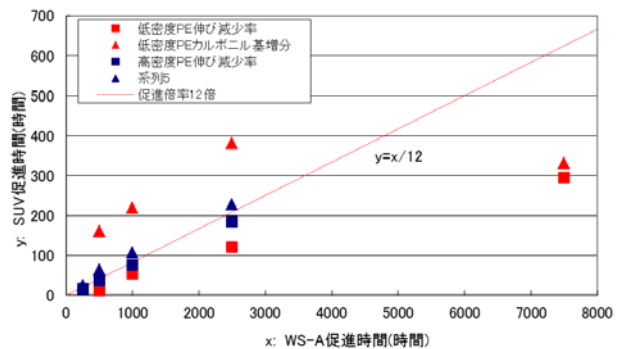


図-9 WS-AとSUVの促進時間の関係

6. 促進試験と現地サンプルの深さ方向の劣化比較

6.1 概要

紫外線による劣化は、表層から進行する。SUVと供用後6.8年の現地試料の深さ方向の劣化状況とを比較することにより、SUV 625時間の試験時間の妥当性を検証した。

試料採取は、河口部より約3km上流の覆土がない地点で行った。試験条件を表-4に示す。試験片は図-10に示すように表面より2μm間隔で削って作成した。

表-4 試験条件

項目	内容
試験方法	FT-IR
測定方法	マイクロームスライス片一透過測定
試験片	樹脂ダンベル (初期値測定) SUV 625時間後の被覆線 施工から6.8年間経過している被覆線

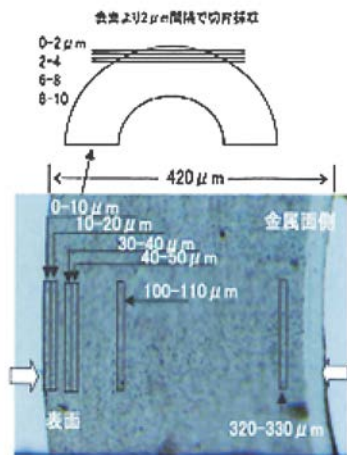


図-10 試料片作成と分析のイメージ

6.2 試験結果

SUV 625時間後試料と現地採取試料の深さ70 μmまでのカルボニル基面積比の深度分布を図-11に示す。劣化程度の比較は、カルボニル基面積比の初期値および最小値からの増加深さの2つの方法で行なった。低密度PEは、初期状態でカルボニル基面積比0.40のカルボニル基が含まれている。このカルボニル基面積比の初期値(0.4)を基準として比較すると、0.4を超える値を示したのはSUV 625時間では、30 μmの深さで、現地採取試料では、4 μmであったので、SUV 625時間後の劣化は現地暴露時間の7.5倍となり、SUV 625時間は、現地の約50年程度と推定できる。

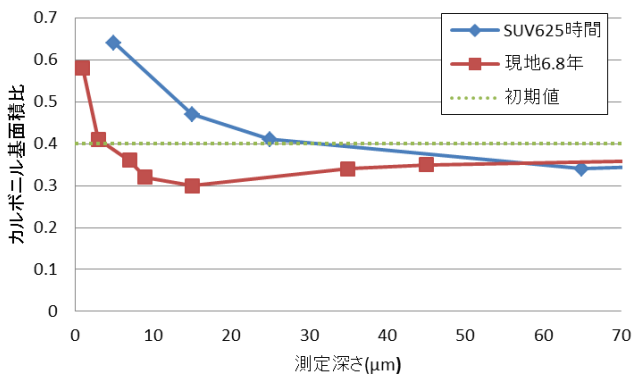


図-11 カルボニル基面積比の深度分布

また、最小値(深さ100 μmまでの)で比較すると、SUV 625時間後では65 μmまでの深さで、現地採取試料は15 μmまでの深さでカルボニル基の増加がみられた。このことから、現地の暴露時間は、SUV625時間の4.3倍程度となり、SUV 625時間は現地の30年程度と推定できる。

両者の比較によりSUV 625時間は、現地の30年以上相当の促進試験であると判断した。

高密度PEについても同様の試験を行い、カルボニル基面積比の増加は、SUV 625時間が現地の30年以上に相当すると推定できた。

7. まとめ

今回試験を実施したポリエチレンについては、SUV試験625時間は、WS-A 7,500時間および現地採取試料との劣化状況の比較により、SUVはWS-Aの12倍程度以上、若しくは現地の30年以上に相当する促進試験であることが分かった。

なお、今回試験した低密度PE、高密度PE以外の材料については、SUVやWS-Aによる劣化の特性が異なるために、別途に個別に相関を取る試験を行い確認する必要がある。

最後に、ご指導いただいた大石委員長および本橋委員他に謝意を表します。

参考文献

- 1) 河川工事用材料の性能規定化に向けた取組について、平成21年4月24日、国土交通省河川局
- 2) 建設技術審査証明報告書(建技審証 第1001号) 鉄線籠型護岸用被覆鉄線「IR被覆鉄線」
- 3) 建設技術審査証明報告書(建技審証 第1009号) 鉄線籠型護岸用被覆鉄線「山河-G」

土橋聖賢*



財団法人土木研究センター
技術研究所地盤・施工研究部 主任研究員
Kiyomasa DOBASHI

藤本邦三**



トワロン株式会社常務取締役
Kunizo FUJIMOTO

小川久之***



タキロンプロテック株式会社
本社工場 技術グループ
Hisayuki OGAWA