

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 19 日現在

機関番号：82114

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2013

課題番号：23656283

研究課題名(和文) 土木構造用 GFRP の微生物劣化の評価方法に関する研究

研究課題名(英文) Study on the evaluation methods of biological deterioration of structural GFRP for construction

研究代表者

西崎 到 (NISHIZAKI, ITARU)

独立行政法人土木研究所・材料資源研究グループ・上席研究員

研究者番号：80355792

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000 円、(間接経費) 900,000 円

研究成果の概要(和文)：近年FRPは土木構造用途での適用が広がりつつある。その表面に微生物に起因すると疑われる変状が認められ場合があるため、実態や調査方法の検討を行った。8種類のFRP構造物・供試体から、述べ10種類の事例を採取し、肉眼観察による形態に基づく分類を行った。次に、これらを実体顕微鏡、生物顕微鏡により観察するとともに、培養後、形態学的手法および分子生物学的手法による真菌種の同定を実施した。

その結果、黒い点状の変状、黒い汚れ様の変状、黄色い粒状の変状、褐色の変状の4つに分類され、それぞれ、およびは主としてカビ、は藻類によるもの多い、は生物起因ではなく樹脂劣化である、などの結果を得た。

研究成果の概要(英文)：Application of FRP in construction has now become a common technology. There are some cases that the appearance changes on the FRP seem to be caused by biological reasons such as mold. The present state and the test methods for these changes were studied. The authors collected ten examples of these changes from FRP structures used in outdoor environment, then categorized the examples. Observation by a digital microscope and a biological microscope and identification including the cultivation method were also carried out. The appearance changes could be categorized into four configurations: 1) Black punctate allochroism, 2) Black dust-like allochroism, 3) Ginger powdery allochroism, 4) Bistered punctate allochroism. As the results, 1) Black punctate allochroism and 3) Ginger powdery allochroism were due to mold. On the other hand, 2) Black dust-like allochroism was mainly due to algae and 4) Bistered punctate allochroism was not due to mold but was due to chemical deterioration.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学、土木材料・施工・建設マネジメント

キーワード：複合材料 微生物 耐久性

1. 研究開始当初の背景

繊維強化高分子材料 (FRP) は、軽量かつ高強度で腐食しないという特長を有する点で注目され、土木構造用材料としての適用が、国内はもとより海外でも適用が進みつつある。代表研究者は、これらの適用技術研究を進める過程で行った、GFRP の屋外耐久性を調べるための暴露試験の過程で、FRP (特に GFRP) 表面にカビあるいは苔状の微生物が発生し、長期にわたって存在する事例が複数あることを確認した。また、国際会議における同分野の研究者との交流から、海外でも同様の事例が見いだされた事例があるとの情報を得た。さらには、これまでは FRP 表面の汚れとして取り扱われていたものの一部が、微生物の作用によるものである可能性があるのと指摘もあった。

高分子材料の微生物劣化については、これまで多くの研究例があるものの、土木分野においては下水処理施設内の劣化検討が多く、近年適用が進みつつある土木構造用 FRP の屋外環境における劣化への微生物の影響については、研究事例が殆ど見あたらないのが現状であった。

2. 研究の目的

土木構造用 FRP の劣化に対する微生物の影響の実態が、殆ど知られていないことから、本研究ではこれを明らかにすることを目的とした。また、微生物による変状であることの確認・評価方法についての検討することもあわせて本課題の研究目的とした。

3. 研究の方法

(1) 比較的長期間屋外に置かれていた FRP の表面に認められた、カビなどの付着が疑われる構造物や供試体について、肉眼観察により事例を収集するとともに、外観上の特徴により分類を行った。

(2) 前項で収集した変状について、実体顕微鏡 (図-1) および生物顕微鏡を用いた観察による調査を行い、その特徴や生物的要因の有無等について検討した。



図-1 研究に用いたデジタル実体顕微鏡

(3) 前項の結果、カビの影響が大きいとの結果が得られたことから、採取したサンプルに対して培養試験、形態観察、遺伝子解析により、カビ種の同定を行った。

4. 研究成果

(1) 比較的長期間屋外に置かれていた FRP の表面に認められた、カビなどの付着が疑われる構造物や供試体の事例を収集した結果、8つの事例を得た。これらはその外観上の特徴や推定される原因によって、大きく以下の5つに分類できた。

黒色点状の変状

クロカビの一種と推定される変状である。図-2~4 に事例を示す。

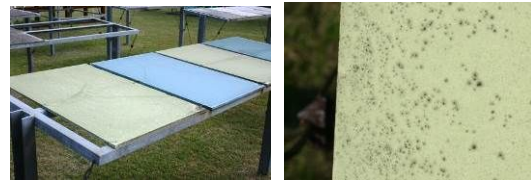


図-2 黒色点状の変状 (供試体 No.1, つくば)



図-3 黒色点状の変状 (供試体 No.7A, 陸別)



図-4 黒色点状の変状 (供試体 No.8, つくば)

黒色汚れ状の変状

黒色の汚れを思わせる変状である。FRP 表面全面に広がる場合もある。図-5~6 に事例を示す。



図-5 黒色汚れ状の変状(供試体 No.2, つくば)



図-6 黒色汚れ状の変状(供試体 No.3A, つくば)

茶褐色粉状の変状

茶褐色の粉体状の変状である。塗装した FRP 斜張橋の主塔壁面の表面で見つかり、ヘラな

どで容易に採取できた。図-7 に状況を示す。生物によるものか、FRP 内部から析出したものかは判断が付きがたい。



図-7 褐色粉体状の変状(供試体 No.6, つくば)

黒褐色点状の変状

供試体 No.3A (図-6) の反対側 (直射日光にあまり多く曝されずに表面樹脂の脱落がより少ない面) に認められた変状で、表面に黒茶色の点状の変色が認められるものであった。図-8 に状況を示す。



図-8 黒褐色点状の変状(供試体 No.3B, つくば)

白色球状の付着物

供試体 No.3A の実体顕微鏡による観察中に、FRP の表面樹脂が脱着するほどに劣化した部分の内部に、白色の球状の付着物が見つかった。(図-9)

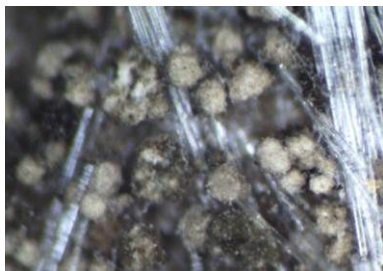


図-9 白色球状の付着物(実体顕微鏡による写真, 供試体 No.3C, つくば)

(2) 前項で見つかった変状に対して、実体顕微鏡および生物顕微鏡による観察を実施したところ、以下の結果を得た。

黒色点状の変状

黒色点状の変状である、供試体 No.1, No.7A および No.8 の実体顕微鏡による観察結果、No.1 と No.7A はともに菌糸と思われる網目構造が認められた (図-10 左) が、No.8 ではこのような構造が認められなかった (図-10 右)。このため、No.1 と No.7A と No.8 は、肉眼では類似しているが、種類の異なるカビである可能性があるものと考えられる。図-11 に、供試体 No.1, No.7A および No.8 から採

取した試料の生物顕微鏡写真を示す。No.1 では特に顕著に黒い球状の孢子と思われるものが連なって観察された。

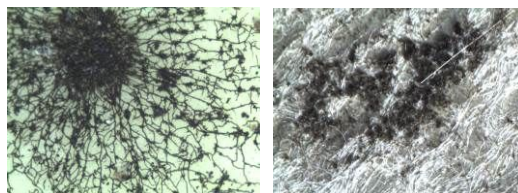


図-10 黒色点状の変状の実体顕微鏡観察 (左: 供試体 No.1, 右: 供試体 No.8)

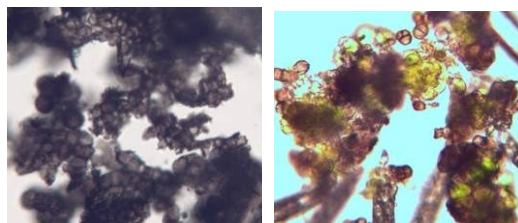


図-11 黒色点状の変状の生物顕微鏡観察 (左: 供試体 No.1, 右: 供試体 No.8)

黒色汚れ状の変状

図-12 左に 黒い汚れ状の変状から採取した試料の実体顕微鏡写真を示す。黒い部分は樹脂脱落によって露出したガラス繊維にまわりつく形で、FRP の表面にはりついているように見える。図-12 右には生物顕微鏡写真を示す。この変状は実体顕微鏡での観察では非生物的なものに見えたが、生物顕微鏡観察からは繊維に球状のものが付着しているのが分かり、藻類によると考えられることが分かった。

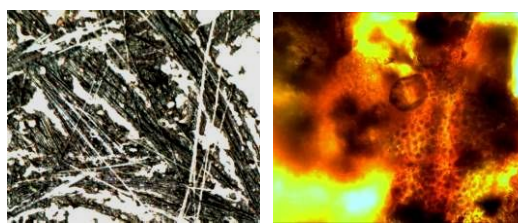


図-12 黒色汚れ状の変状の顕微鏡観察(左: 実体顕微鏡, 供試体 No.2, 右: 生物顕微鏡, 供試体 No.3A)

茶褐色粉状の変状

図-13 左は、茶褐色粉状の変状の実体顕微鏡写真である。土壌のようにも見える茶褐色の粒状物質が付着しているのが確認できる。図-13 右は、これを採取して生物顕微鏡で観察した写真である。緑色の球状の連なった細胞が認められ、藻類の一種と考えられることが分かった。

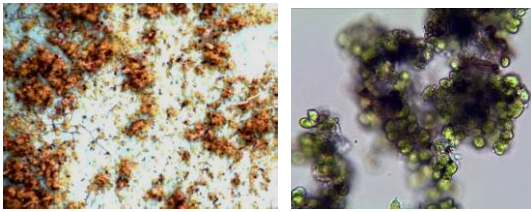


図-13 茶褐色粉状の変状の顕微鏡観察(左：実体顕微鏡，右：生物顕微鏡,いずれも供試体 No.6)

黒褐色点状の変状

図-14は、黒茶色点状の変状の実体顕微鏡写真である。この部分の樹脂は著しく黄変化しているものの、脱落は顕著ではなく、繊維の露出も殆どなかった。肉眼では表面に不規則な茶褐色の斑点が認められるが、実体顕微鏡でも同様であり、特別な構造は認められない。変色部の樹脂の一部に亀裂が発生している部分が見つかる(図-14の矢印部分)など、樹脂そのものが劣化に起因しているとも考えられる。この変状についてはカビ等による変状とは確認できず、生物顕微鏡観察のための試料採取もできなかった。



図-14 黒褐色点状の変状の実体顕微鏡観察(供試体 No.3C)

(3) 上記の変状を踏まえて、供試体 No. 1、2、3、6、7、8 について FRP 表面(100 cm²)から真菌をサンプリングし、形態学的及び分子生物学的手法を用いて真菌種の同定を行った(表-1、2)。形態学的手法については培地上に形成されたコロニー性状、胞子の形状および胞子形成様式を同定指標とした。また、分子生物学的手法についてはリボゾーム RNA 遺伝子(rDNA)塩基配列の相同性を同定指標として同定を行った。なお、真菌のサンプリングは2013年の7月及び10月に行った。

黒色点状の変状

黒色点状の変状が見られた No. 1 の7月の真菌叢は黒色真菌(菌種不明)が71%を占め、*Dothideomycetes* が18%、*Cladosporium* が1%であった。No. 1 の10月の真菌叢は黒色真菌(菌種不明)が92%を占め、*Dothideomycetes* が7%を占めた。同じく、黒色点状の変状が見られた No. 8 では *Dothichiza* が7月の真菌叢の50%を占め、黒色真菌(菌種不明)が39%を占めた。No. 8 の10月の真菌叢は黒色真菌(菌種不明)が7月と同様に39%を占め、

Dothichiza が31%、*Rhodotorula* が29%を占めた。No. 1 及び No. 8 の黒色真菌(菌種不明)はそれぞれ7月採取株と10月採取株で rDNA の塩基配列が100%一致したことから同一菌種であると推定された。このことから、供試体 No. 1 及び No. 8 では7月から10月の夏季約3か月にわたって同一菌種がFRP表面に定着し、主要菌種として存在していることがわかった。また、No. 7 は7月のみサンプリングを行い、*Aureobasidium* が47%、*Cladosporium* が21%を占めた。

表-1 FRP 表面の主な真菌叢(7月)

供試体 No.	分離真菌	検出率
1	不明(黒色真菌)	71%
	<i>Dothideomycetes</i>	18%
	<i>Cladosporium</i> sp.	1%
2	不明(黒色真菌)	94%
	不明(黒色真菌)	3%
3	<i>Aspergillus penicillioides</i>	100%
6	<i>Dothideomycetes</i>	74%
	<i>Aureobasidium</i> sp.	1%
7	<i>Aureobasidium</i> sp.	47%
	<i>Cladosporium</i> sp.	21%
8	<i>Dothichiza</i> sp.	50%
	不明(黒色真菌)	39%

表-2 FRP 表面の主な真菌叢(10月)

供試体 No.	分離真菌	検出率
1	不明(黒色真菌)	92%
	<i>Dothideomycetes</i>	7%
2	不明(黒色真菌)	50%
	<i>Cryptococcus</i> sp.	23%
	<i>Cladosporium</i> sp.	5%
3	<i>Cryptococcus</i> sp.	33%
	<i>Aureobasidium</i> sp.	12%
	<i>Cladosporium</i> sp.	2%
6	<i>Teratosphaeria</i> sp.	97%
8	不明(黒色真菌)	39%
	<i>Dothichiza</i> sp.	31%
	<i>Rhodotorula</i> sp.	29%

黒色汚れ状の変状

黒色汚れ状の変状が見られた No. 2 では7月の真菌叢の94%を黒色真菌(菌種不明)が占め、これと異なるコロニー性状と遺伝子塩基配列を持つ黒色真菌(菌種不明)が真菌叢の3%を占めた。また、10月では黒色真菌(菌種不明)が真菌叢の50%を占め、*Cryptococcus* が23%、*Cladosporium* が5%を占めた。

茶褐色粉状の変状

茶褐色粉状の変状見られた No. 6 の7月の真菌叢は *Dothideomycetes* が74%、*Aureobasidium* が1%で、10月では *Teratosphaeria* が97%を占めることがわかった。

黒褐色点状の変状及び 白色球状の付着物

黒褐色点状の変状、白色球状の付着物及び黒色汚れ状の変状が見られた No. 3 では7月のサンプリングによって分離された菌種は *Aspergillus penicillioides* が 100 %であった。No. 3 は顕微鏡観察によって多様な変状が見られたにもかかわらず、真菌叢が単一菌種で占められていた。これは、屋外曝露後の No. 3 を実験のために実験室内で一定期間保管していたため、真菌叢が変化したものと考えられる。一方、10月は屋外曝露場でサンプリングを行い、真菌叢は *Cryptococcus* が 33 %、*Aureobasidium* が 12 %、*Cladosporium* が 2 % を占める結果となった。

FRP 成形材表面の真菌叢を調査した結果、主な菌種として *Aureobasidium*、*Cladosporium*、*Alternaria*、*Dothichiza*、*Teratosphaeria* 及び黒色真菌（菌種不明）を検出した。同定できた菌種は No. 3 の *Aspergillus penicillioides* 及び酵母を除いて全てクロイボタケ綱（*Dothideomycetes*）に属していた。屋外曝露された FRP 成形材の表面の真菌叢で *Dothideomycetes* が支配的であった理由として、*Dothideomycetes* は子嚢菌類のなかでもメラニン化などによって紫外線や温度変化など過酷な環境に耐える菌種を含むことに起因するためと考えられた。

また、7月の真菌叢調査では主な真菌種として酵母の検出がみられなかったが、10月では、供試体 No. 2、3 から *Cryptococcus*、No. 8 から *Rhodotorula* が検出された。これは10月のサンプリング当日及び前日の天気が雨であり、サンプル表面の水分活性値が高い状態であったことから水系環境を好む酵母が発育したものと推察される。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計2件)

西崎 到、富山禎仁「土木構造用 FRP へのカビ等の付着について」、第4回 FRP 複合構造・橋梁に関するシンポジウム講演概要集、土木学会、2012.11、pp.47-52.

Itaru Nishizaki, Tomonori Tomiyama, Hiroki Sakuraba, "STUDY ON MOLD ON THE SURFACE OF FRP FOR CONSTRUCTION STRUCTURAL USE" Proceedings of the Fourth Asia-Pacific Conference on FRP in Structures (APFIS 2013), Paper No.41, 2013.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

西崎 到 (NISHIZAKI, Itaru)

独立行政法人土木研究所・材料資源研究グループ・上席研究員

研究者番号：80355792

(2)研究分担者

富山 禎仁 (TOMIYAMA, Tomonori)

独立行政法人土木研究所・材料資源研究グループ・主任研究員

研究者番号：50370721

櫻庭 浩樹 (SAKURABA, Hiroki)

独立行政法人土木研究所・材料資源研究グループ・研究員

研究者番号：30713573

飯田 孝彦 (IIDA, Takahiko)

地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター・開発第二部・上席研究員

研究者番号：00463068

小沼 ルミ (KAMUNA, Rumi)

地方独立行政法人東京都立産業技術研究センター・開発第二部・副主任研究員

研究者番号：90463075