

貴社提供塗膜の分析結果について

1.まえがき

貴社より提供のありました水管橋吊り材塗膜の分析結果につきまして、以下のように報告します。

2.分析塗膜概要

落下事故のあった水管橋の吊り材より、T-5R-U、T-5R-B、T-5R-M、の3部材から、それぞれを4分割し、計12か所を分析しました。

全体写真については添付資料1を参照ください。

T-5R-Uを4分割し、①T-5R-U-N、②T-5R-U-E、③T-5R-U-S、④T-5R-U-W、としました。

T-5R-Bを4分割し、⑤T-5R-B-N、⑥T-5R-B-E、⑦T-5R-B-S、⑧T-5R-B-W、としました。

T-5R-Mを4分割し、⑨T-5R-M-N、⑩T-5R-M-E、⑪T-5R-M-S、⑫T-5R-M-W、としました。

物件名：六十谷水管橋の吊り材

施工者：日鉄パイプライン&エンジニアリング株式会社殿

施工時期：昭和48年

新設時塗装仕様：不明

補修時期：平成4年（ふっ素樹脂系塗料にて補修塗装）

3.分析内容

3-1.拡大写真

光学顕微鏡および電子顕微鏡（SEM）により塗膜を観察しました。

3-2.X線マイクロアナライザー（XMA）分析

X線マイクロアナライザーにより元素分析を行いました。

3-3.赤外分光(IR)分析

IR分析にて、塗膜の組成を分析しました。

4.分析結果

（別紙拡大写真・XMA分析結果およびIRチャートを参照ください）

5.まとめ

サンプル	断面分析	表面分析	XMA分析
①T-5R-U-N	7層の塗膜が確認できた。	塗膜の層間剥離がみられる。表層には珪藻が付着。	C（炭素）、O（酸素）、Ti（チタン）、Si（ケイ素）、Fe（鉄）、Cl（塩素）、Al（アルミ）が検出された。
②T-5R-U-E	7層の塗膜が確認できた。	表層には珪藻が付着しており、塗膜の割れがみられる。	C（炭素）、O（酸素）、Si（ケイ素）、Ti（チタン）、Fe（鉄）、Al（アルミ）が検出された。
③T-5R-U-S	8層の塗膜が確認できた。	塗膜の層間剥離がみられる。	C（炭素）、O（酸素）、Si（ケイ素）、Ti（チタン）、F（ふっ素）、Cl（塩素）が検出された。
④T-5R-U-W	6層の塗膜が確認できた。	塗膜の層間剥離がみられる。表層には珪藻が付着しており、塗膜の割れがみられる。	C（炭素）、O（酸素）、Ti（チタン）、Si（ケイ素）、Fe（鉄）、Cl（塩素）が検出された。
⑤T-5R-B-N	7層の塗膜が確認できた。	塗膜の層間剥離がみられる。	C（炭素）、O（酸素）、Si（ケイ素）、Ti（チタン）、Ca（カルシウム）、Fe（鉄）、P（リン）が検出された。
⑥T-5R-B-E	6層の塗膜が確認できた。	塗膜の割れがみられる。	C（炭素）、O（酸素）、Fe（鉄）、Ti（チタン）、Ca（カルシウム）、P（リン）、Zr（ジルコニウム）、Si（ケイ素）、Cl（塩素）が検出された。
⑦T-5R-B-S	7層の塗膜が確認できた。	表層には珪藻が付着しており、塗膜の割れがみられる。	C（炭素）、O（酸素）、Ti（チタン）、Fe（鉄）、Si（ケイ素）、N（窒素）、Cl（塩素）が検出された。
⑧T-5R-B-W	6層の塗膜が確認できた。	塗膜の層間剥離がみられる。表層には珪藻が付着しており、塗膜の割れがみられる。	C（炭素）、O（酸素）、Ti（チタン）、Ca（カルシウム）、Fe（鉄）が検出された。
⑨T-5R-M-N	6層の塗膜が確認できた。	表層には珪藻と鉄さびが付着しており、塗膜の割れがみられる。	C（炭素）、O（酸素）、Ca（カルシウム）、Ti（チタン）、P（リン）、F（ふっ素）、Fe（鉄）、Cl（塩素）、Si（ケイ素）が検出された。
⑩T-5R-M-E	2層の塗膜が確認できた。	表層には珪藻が付着しており、塗膜の割れがみられる。	C（炭素）、O（酸素）、Ti（チタン）、Fe（鉄）が検出された。
⑪T-5R-M-S	5層の塗膜が確認できた。	表層には鉄さびが付着しており、塗膜の割れがみられる。	C（炭素）、O（酸素）、Ca（カルシウム）、Ti（チタン）、F（ふっ素）、P（リン）、Fe（鉄）、Cl（塩素）、Si（ケイ素）が検出された。
⑫T-5R-M-W	4層の塗膜が確認できた。	塗膜の割れがみられる。	C（炭素）、O（酸素）、Ti（チタン）、Fe（鉄）が検出された。

貴社より提供のありました水管橋吊り材塗膜を分析したところ、表層には珪藻と思われる生物の付着や、塗膜割れ、発錆などが確認できました。

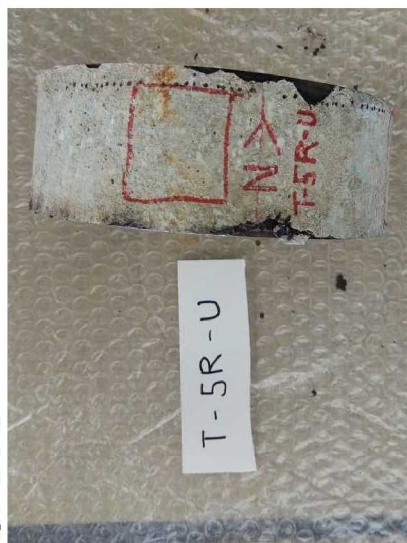
塗膜は基材に最も近い部分は鉛含有塗料で、その上にアルキド樹脂系塗料、エポキシ樹脂塗料、ふっ素樹脂塗料が塗り重ねられています。

以上

添付資料1. (全体写真)

T-5R-U

①T-5R-U-N



③T-5R-U-S



②T-5R-U-E



④T-5R-U-W



側面



内面



T-5R-B

⑤T-5R-B-N



⑦T-5R-B-S



⑥T-5R-B-E



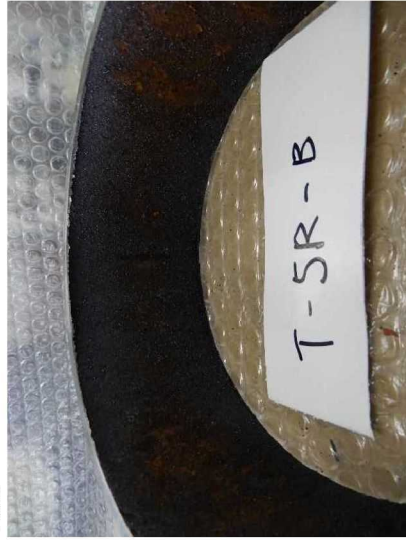
⑧T-5R-B-W



側面



内面





T-5R-M

⑨T-5R-M-N

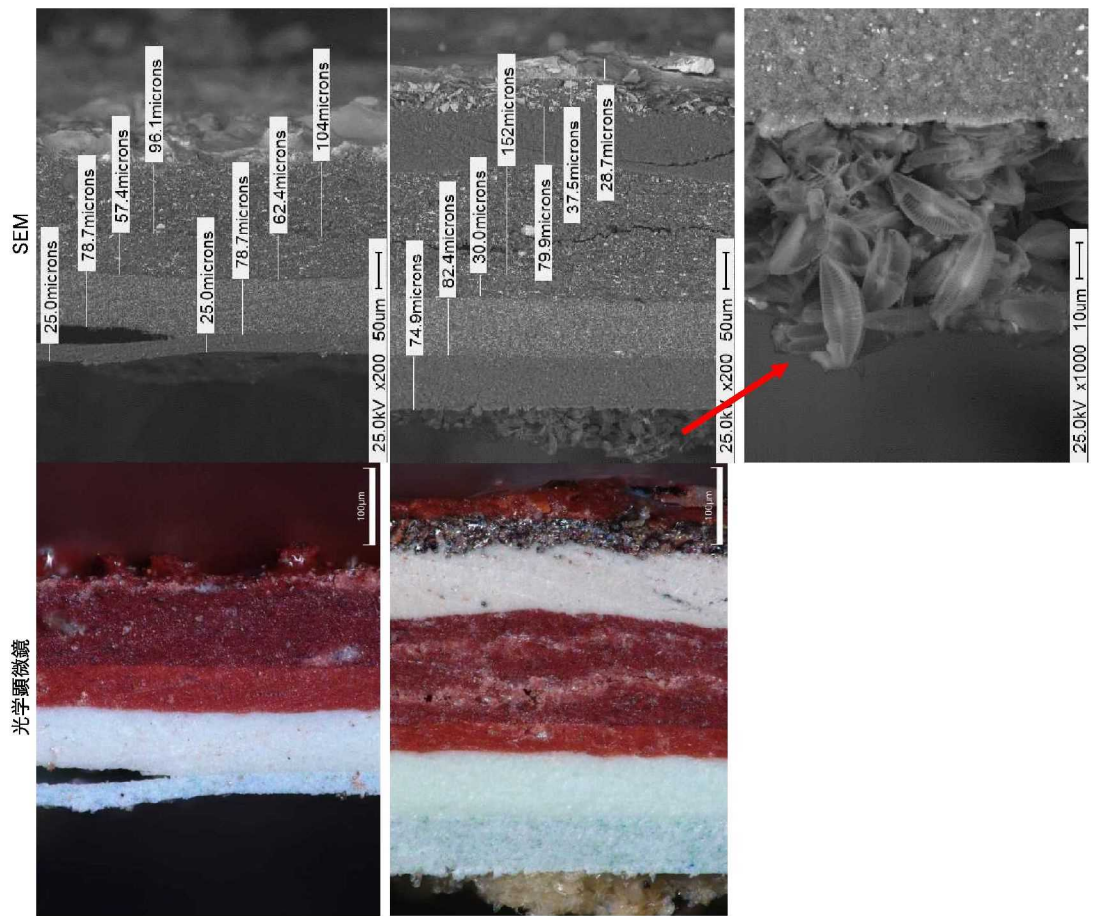
⑩T-5R-M-E

⑪T-5R-M-S

⑫T-5R-M-W

①T-5R-U-N

断面分析



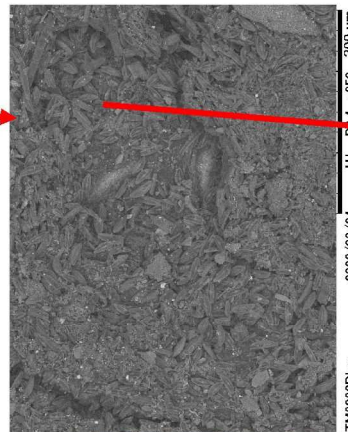
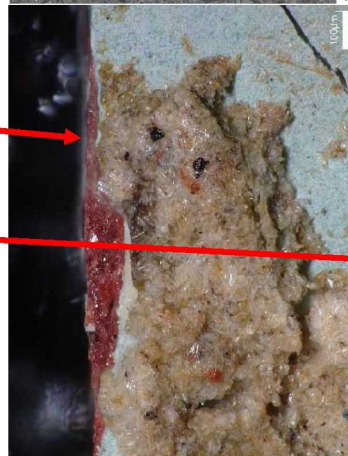
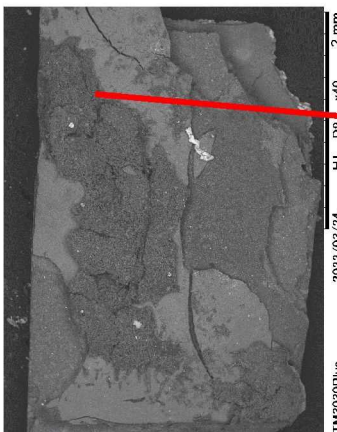
①T-5R-U-N

表面分析

光学顕微鏡



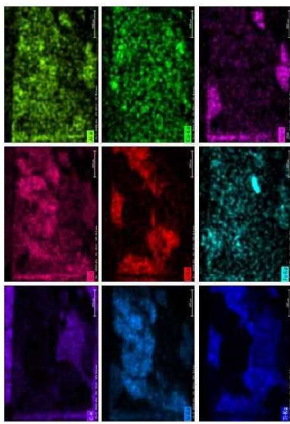
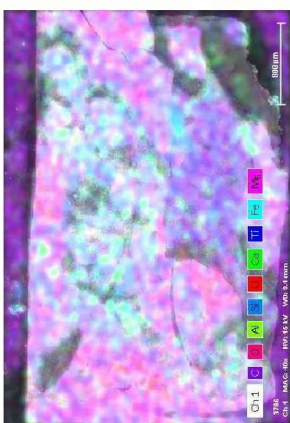
SEM



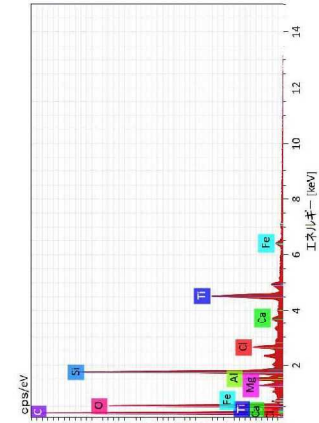
塗膜の層間剥離がみられる

表層の汚れ(珪藻)

XMA分析



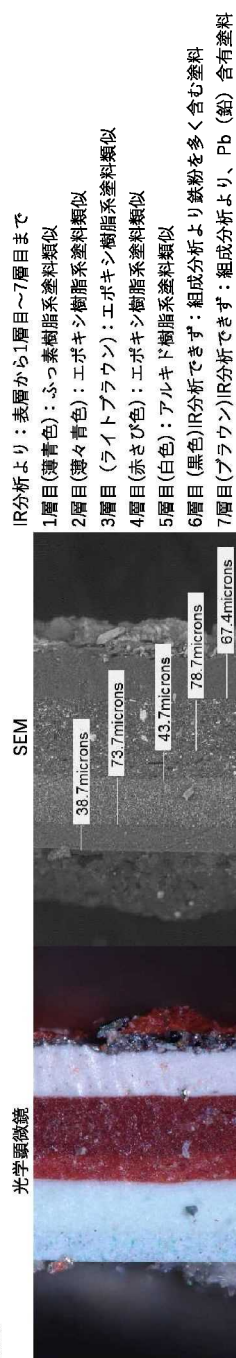
名称 日付 時間 電圧 倍率 W/D
3796 2022/03/24 14:57:05 15.0keV 50x 9.4mm



元素	原子番号	カウント	質量	質量濃度(1-マージン)	原子数濃度(1-マージン)	絶対濃度(1-マージン)	相対濃度(1-マージン)
C	6	31799	41.03	42.65	55.28	5.01	12.30
O	8	25412	39.31	36.72	33.75	4.94	12.57
Si	14	20888	35.21	33.31	2.71	0.29	3.27
Al	13	20888	35.21	33.31	2.71	0.29	3.27
Fe	26	3350	1.69	1.33	0.30	0.08	5.66
Cl	17	5448	1.33	1.25	0.35	0.07	5.61
Al	13	5115	1.16	1.09	0.63	0.08	7.21
Mg	12	2620	0.71	0.66	0.42	0.07	9.59
Ca	20	1972	0.62	0.58	0.23	0.05	7.58
合計		107,604		100.00	100.00		

C (炭素)、O (酸素)、Ti (チタン)、Si (ケイ素)、Fe (鉄)、Cl (塩素)、Al (アルミ) が検出された。

②T-5R-U-E
断面分析

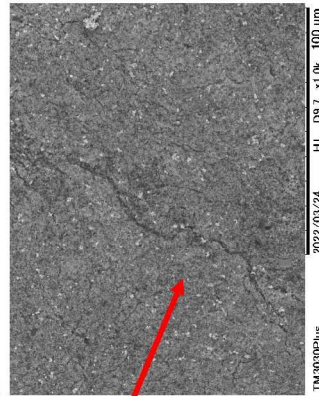
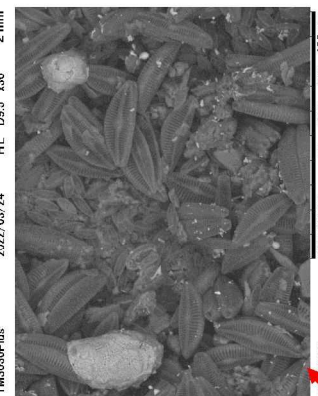
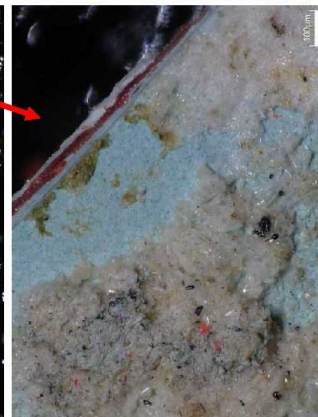
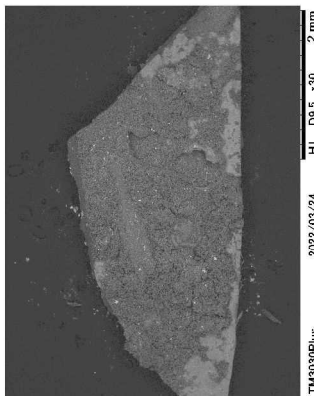


②T-5R-U-E
表面分析

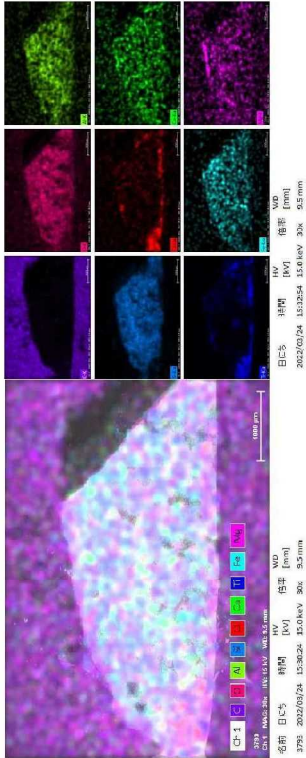
光学顕微鏡



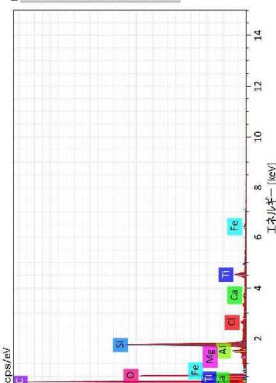
SEM



XMA分析



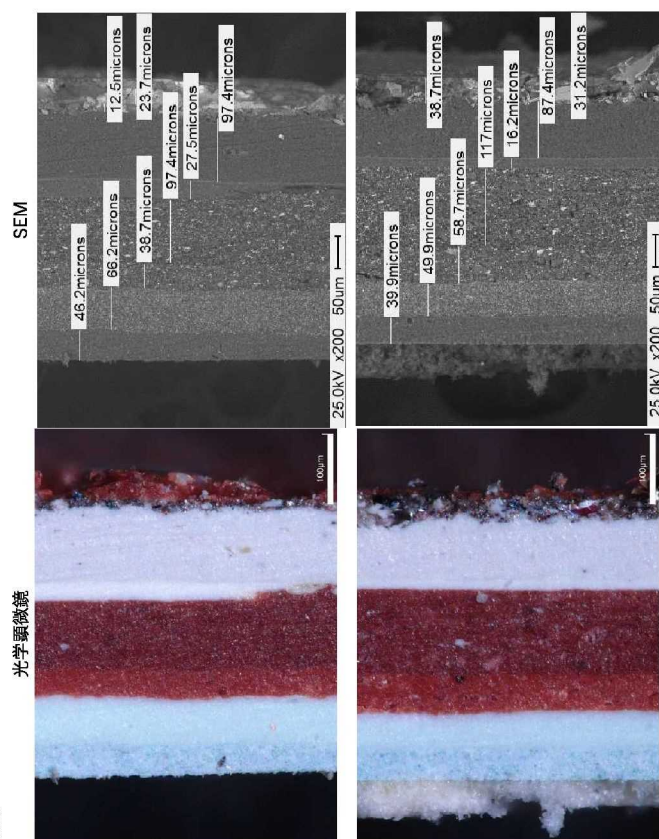
元素	原子番号	カウント	質量濃度 (%)	原子数濃度 (%)	絶対濃度 (%)	相対濃度 (%)
C	6	51121	90.72	53.26	63.18	10.70
O	8	28204	60.91	35.76	31.84	7.57
Si	14	41764	12.57	7.38	3.74	0.55
Ti	22	5447	3.13	2.84	0.55	0.13
Al	13	3085	1.01	0.59	0.34	0.08
Ca	20	541	0.21	0.12	0.04	0.04
Mg	12	388	0.13	0.09	0.05	0.04
合計			100.00	100.00		



C (炭素)、O (酸素)、Si (ケイ素)、Ti (チタン)、Fe (鉄)、Al (アルミ) が検出された。

③T-5R-U-S

断面分析

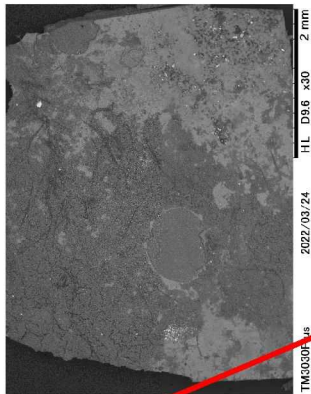


③I-5R-U-S
表面分析

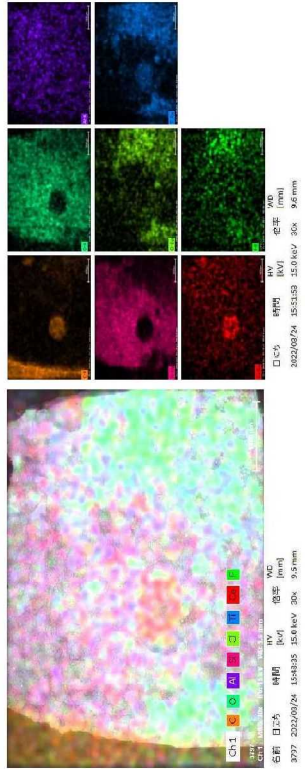
光学顕微鏡



SEM

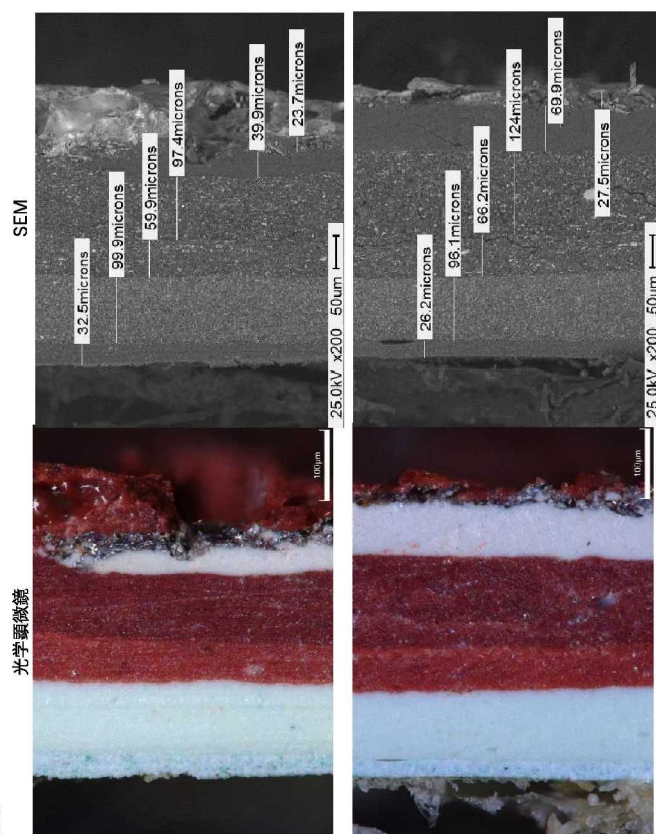


XMA分析



C (炭素)、O (酸素)、Si (ケイ素)、Ti (チタン)、F (フッ素)、Cl (塩素) が検出された。

④T-5R-U-W
断面分析

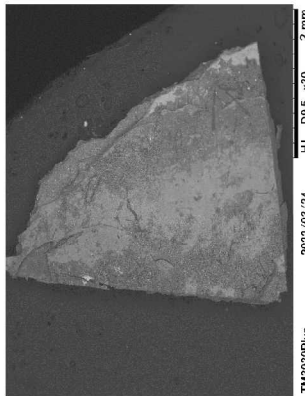


④T-5R-U-W
表面分析

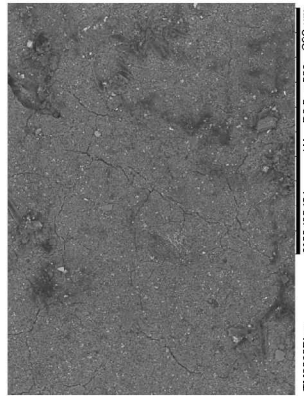
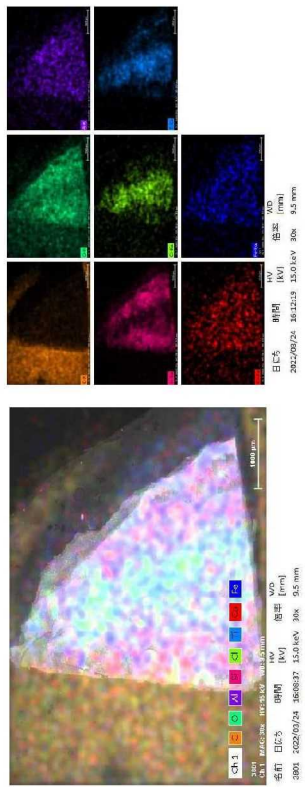
光学顕微鏡



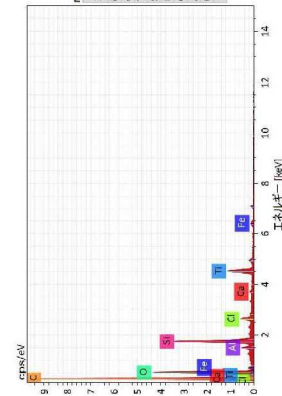
SEM



XMA分析



ひび割れが確認できる
層間剥離がみられる

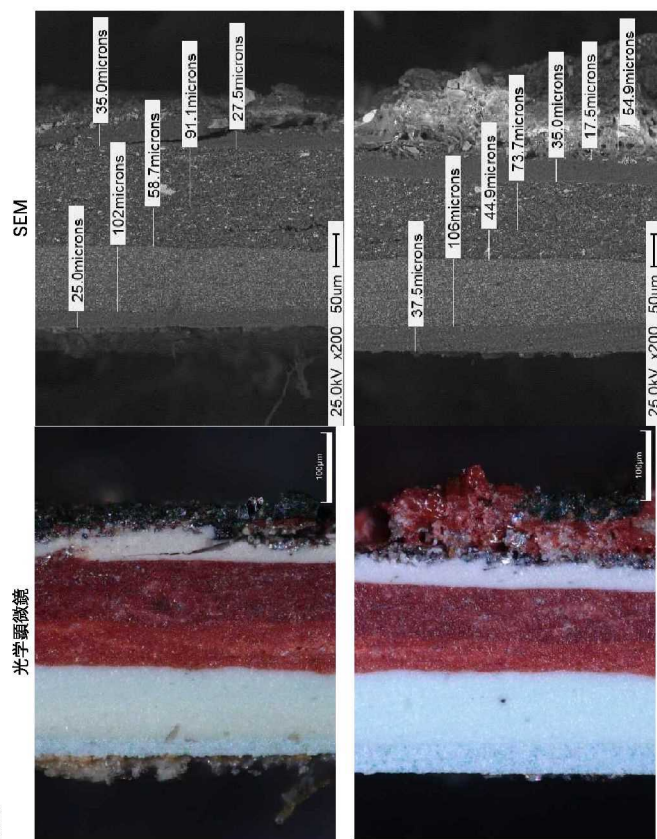


元素	原子番号	検出率 (%)	質量濃度 (%)	原子濃度 (%)	検出率 (%)	質量濃度 (%)	原子濃度 (%)
C	6	31.02	61.85	31.02	61.85	6.46	13.13
O	8	37.13	49.29	36.53	33.24	1.67	3.49
Ti	22	8523	7.40	5.49	1.67	0.26	4.70
Si	14	17538	5.97	4.43	2.30	0.28	8.14
Fe	26	837	1.31	0.97	0.25	0.09	8.14
Al	13	1470	0.55	0.40	0.27	0.06	10.48
Ca	20	603	0.38	0.29	0.11	0.05	11.83
合計			100.00	100.00	100.00		

C (炭素)、O (酸素)、Ti (チタン)、Si (ケイ素)、Fe (鉄)、Cl (塩素) が検出された。

⑤T-5R-B-N

断面分析



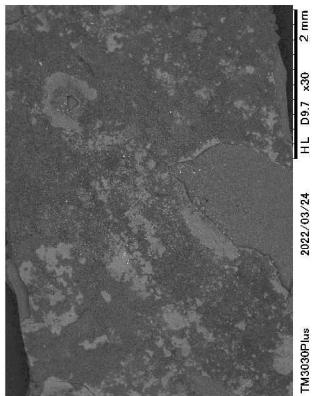
⑤I-5R-B-N

表面分析

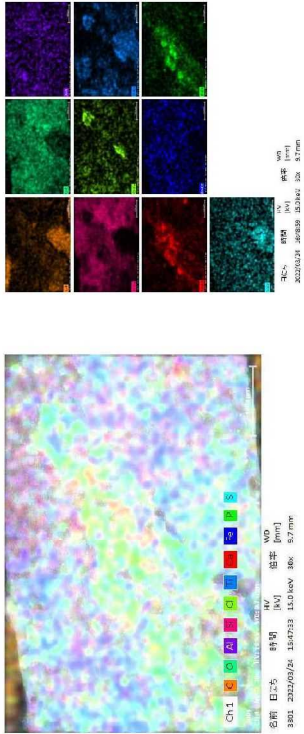
光学顕微鏡



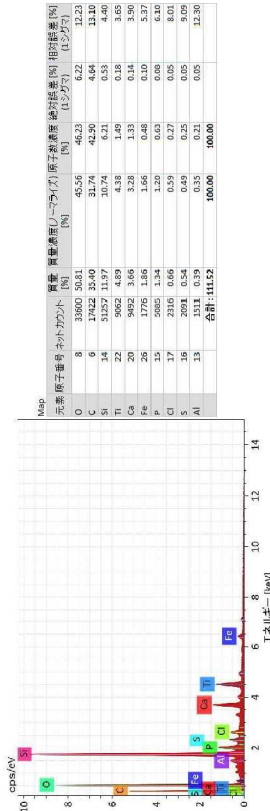
SEM



XMA分析

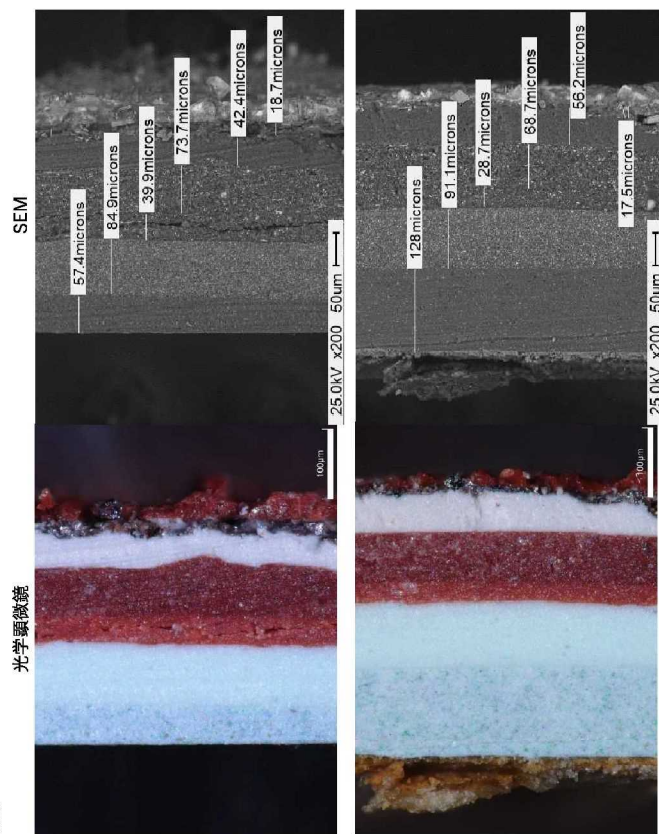


層間剥離がみられる



C (炭素)、O (酸素)、Si (ケイ素)、Ti (チタン)、Ca (カルシウム)、Fe (鉄)、P (リン) が検出された。

⑥T-5R-B-E
断面分析



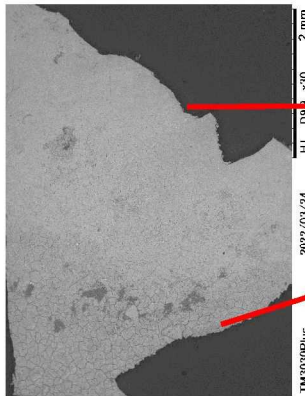
⑥I-5R-B-E

表面分析

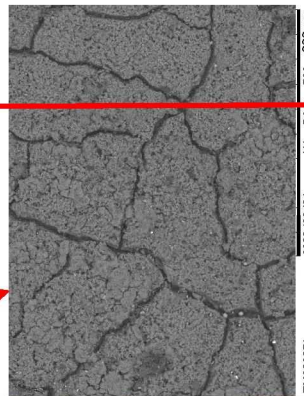
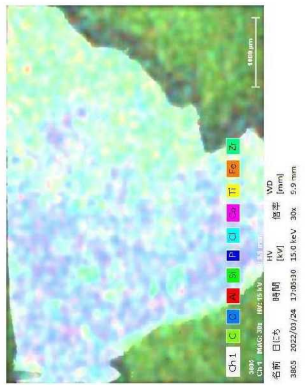
光学顕微鏡



SEM

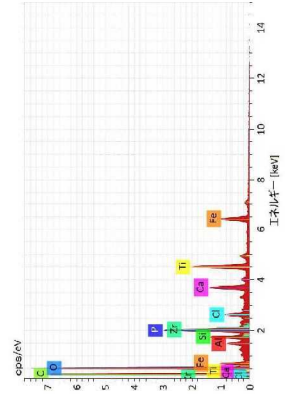


XMA分析



表面の汚れ(珪藻)

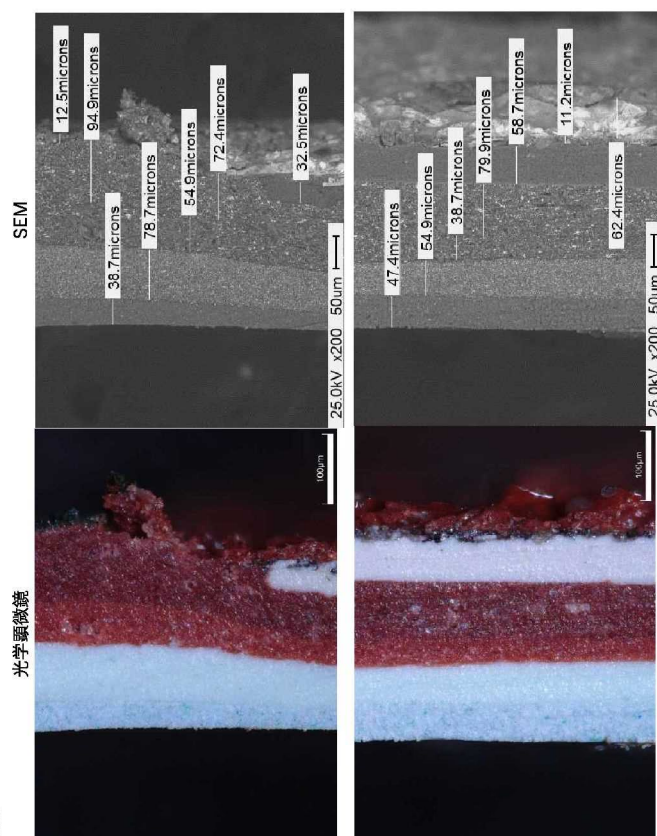
ひび割れが確認できる



元素	原子番号	ネットカウント	強度	質量濃度(%)	原子濃度(%)	原子濃度(%)	原子濃度(%)
O	8	29660	51.87	41.12	43.33	6.42	12.37
C	6	23191	42.26	33.51	47.03	5.36	12.69
Fe	26	8714	9.07	7.67	2.31	0.33	3.44
Ti	22	15010	9.54	7.56	2.06	0.14	3.49
Ca	20	12761	3.31	2.78	1.31	0.16	4.69
Si	14	4113	1.86	1.47	0.27	0.10	5.69
Al	13	2415	0.74	0.59	0.37	0.07	3.85
Cl	17	4221	1.31	1.04	0.49	0.08	5.75
Sum				100.00	100.00		

C (炭素)、O (酸素)、Fe (鉄)、Ti (チタン)、Ca (カルシウム)、P (リン)、Zr (ジルコニウム)、Si (ケイ素)、Cl (塩素) が検出された。

⑦T-5R-B-S
断面分析

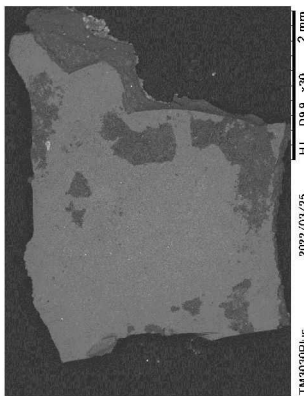


⑦I-5R-B-S
表面分析

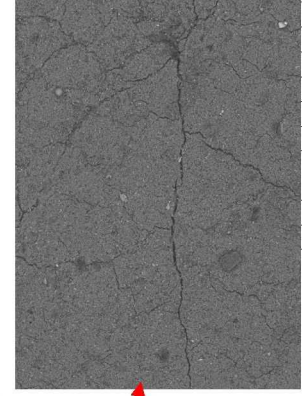
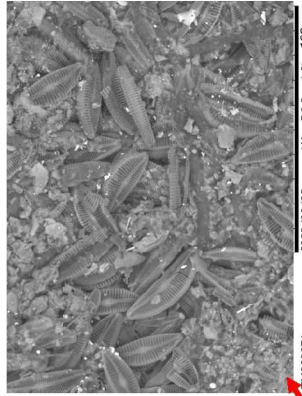
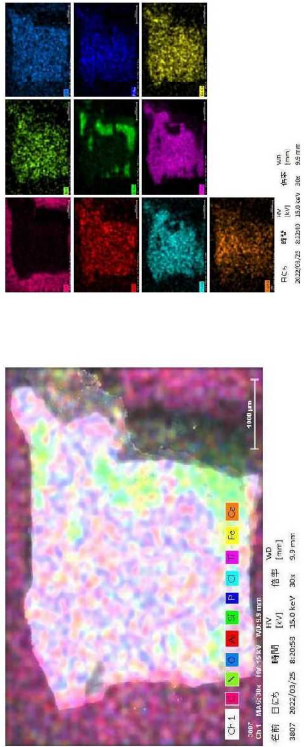
光学顕微鏡



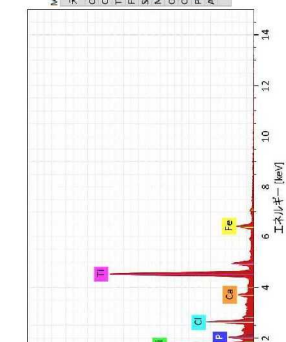
SEM



XMA分析



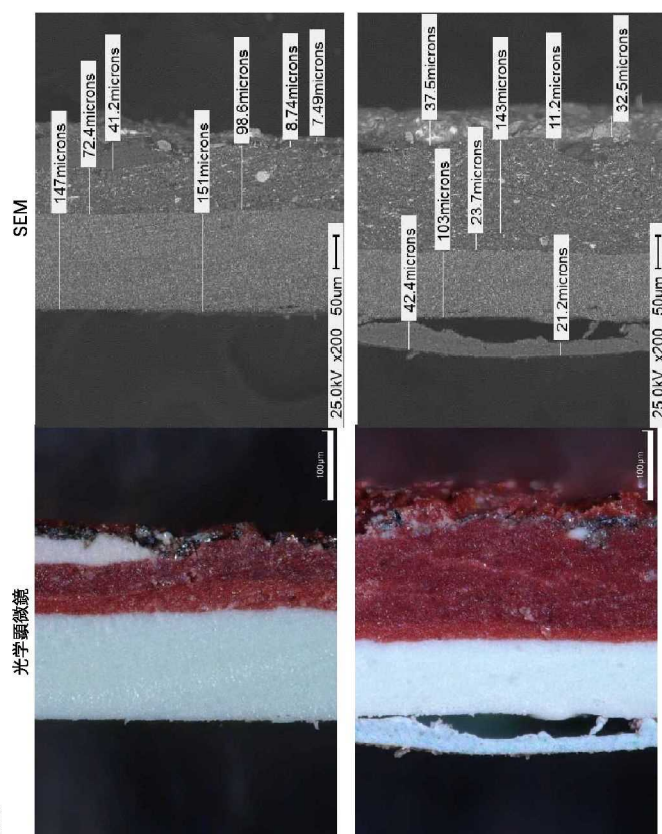
表面の汚れ(珪藻)
ひび割れが確認できる



元素	原子番号	カウント	割合 [%]	重量割合 [%]	原子割合 [%]	原子割合 (1σ)	重量割合 (1σ)
C	6	21566	39.75	43.17	61.38	5.08	12.78
O	8	7201	19.75	21.45	12.89	2.93	14.84
Si	14	13414	2.78	4.44	1.05	0.17	4.13
Fe	26	3668	4.15	4.40	1.38	0.17	4.13
Ni	28	13414	2.78	3.03	1.84	0.15	5.25
Cl	17	6893	1.90	2.24	2.73	0.05	31.43
Ca	20	2154	0.88	0.96	0.91	0.09	4.97
Al	13	2270	0.62	0.67	0.42	0.06	5.93
合計		52.07	100.00	100.00	100.00		

C (炭素)、O (酸素)、Ti (チタン)、Fe (鉄)、Si (ケイ素)、N (窒素)、Cl (塩素) が検出され
た。

⑧T-5R-B-W
断面分析

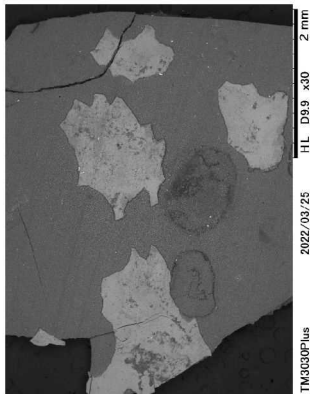


⑧T-5R-B-W
表面分析

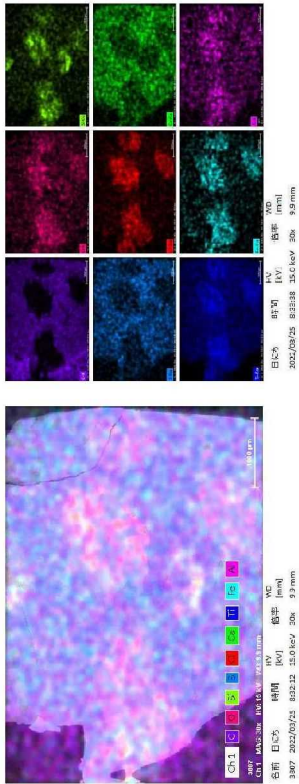
光学顕微鏡



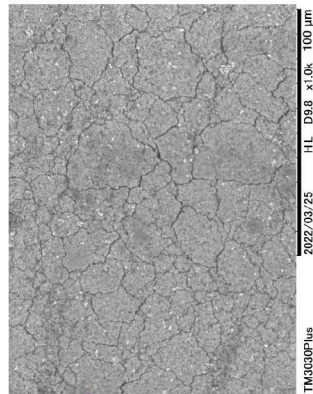
SEM



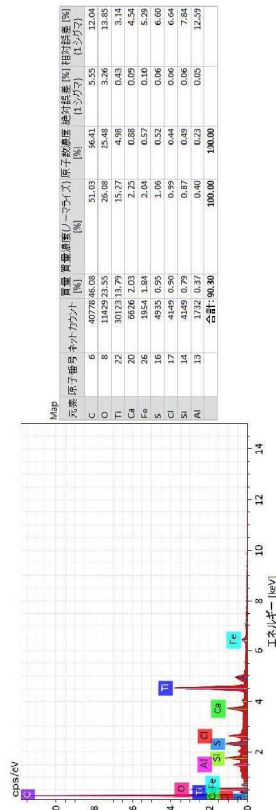
XMA分析



層間剥離がみられる



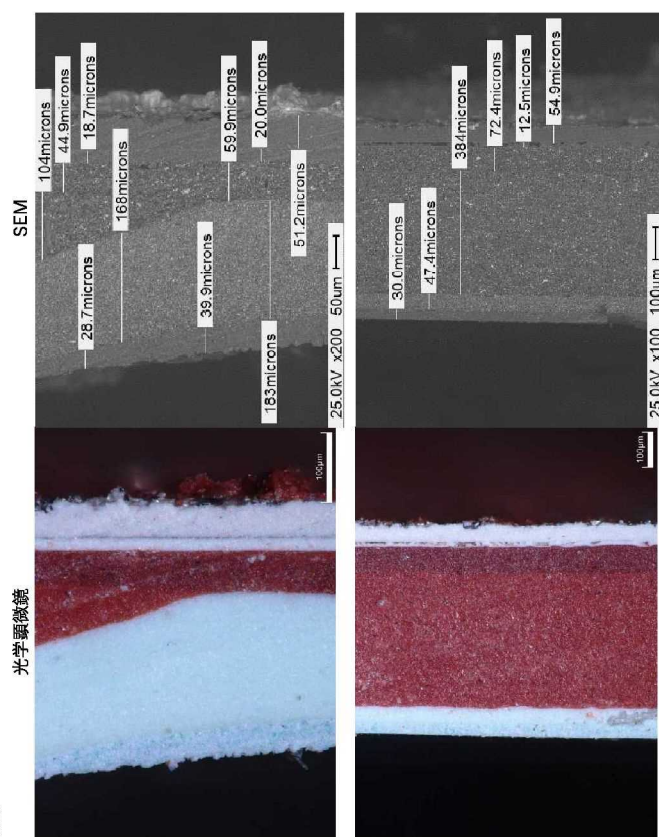
ひび割れが確認できる



C (炭素)、O (酸素)、Ti (チタン)、Ca (カルシウム)、Fe (鉄) が検出された。

⑨T-5R-M-N

断面分析

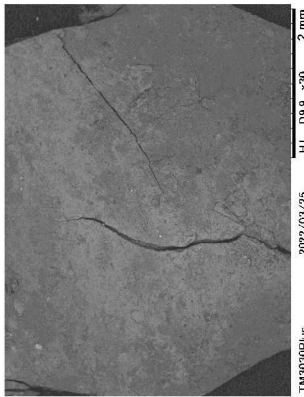


⑨I-5R-M-N
表面分析

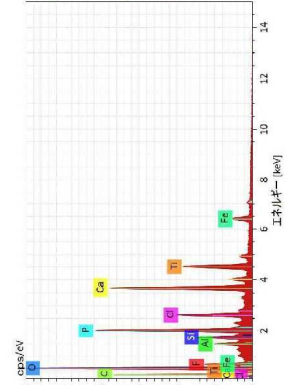
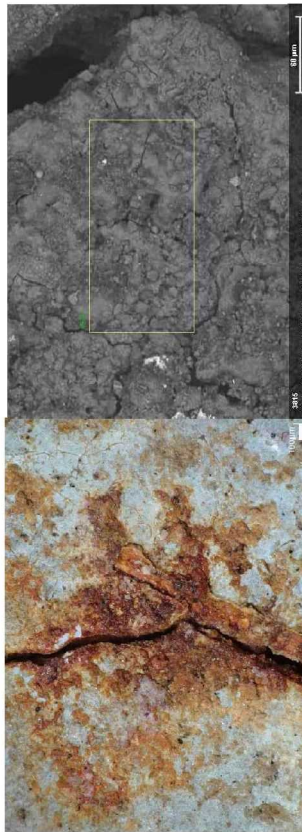
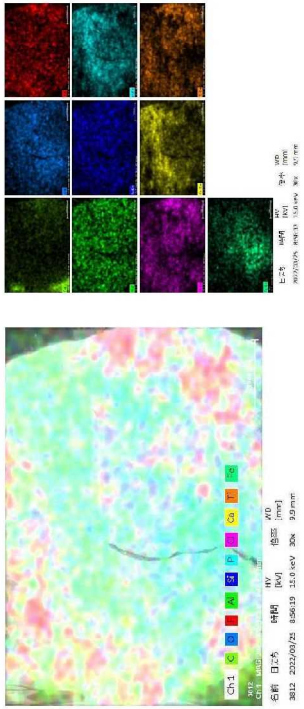
光学顕微鏡



SEM



XMA分析



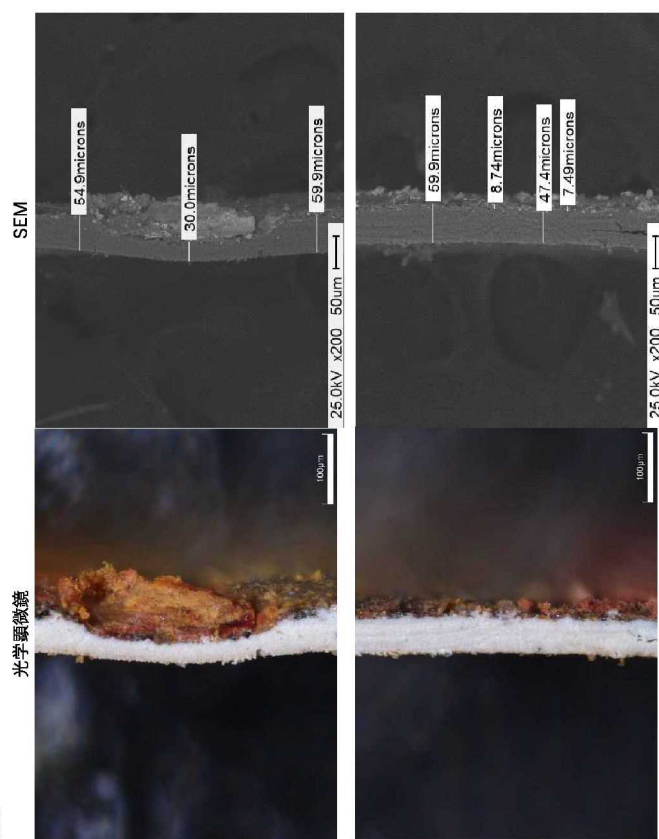
元素	原子数濃度 (%)	質量濃度 (%)	原子数濃度 (at%)	質量濃度 (wt%)
O	21893	41.31	38.11	44.52
C	21893	41.31	38.11	44.52
Ca	20	26933	9.96	4.28
Ti	22	14897	7.81	2.81
P	15	21873	5.63	3.13
F	9	2844	5.11	4.64
Fe	27	13441	3.31	1.61
Si	14	5788	1.48	0.85
Al	13	3224	0.94	0.60
合計		100.00	100.00	100.00

C (炭素)、O (酸素)、Ca (カルシウム)、Ti (チタン)、P (リン)、F (フッ素)、Fe (鉄)、Cl (塩素)、Si (ケイ素) が検出された。

ひび割れと錆が確認できる

⑩T-5R-M-E

断面分析

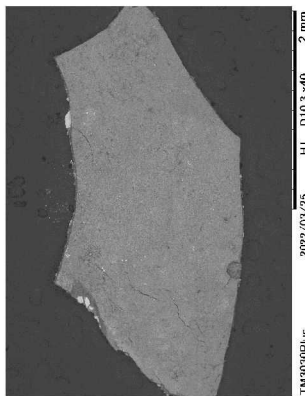


⑩I-5R-M-E
表面分析

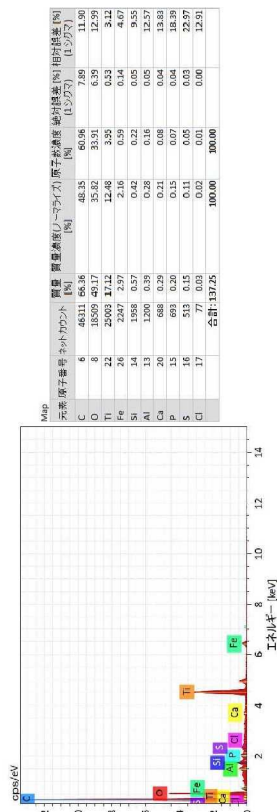
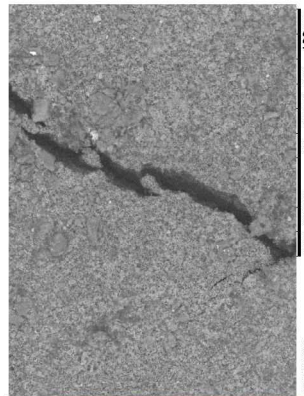
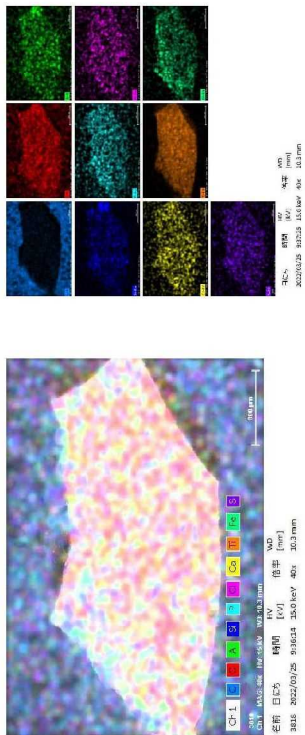
光学顕微鏡



SEM



XMA分析



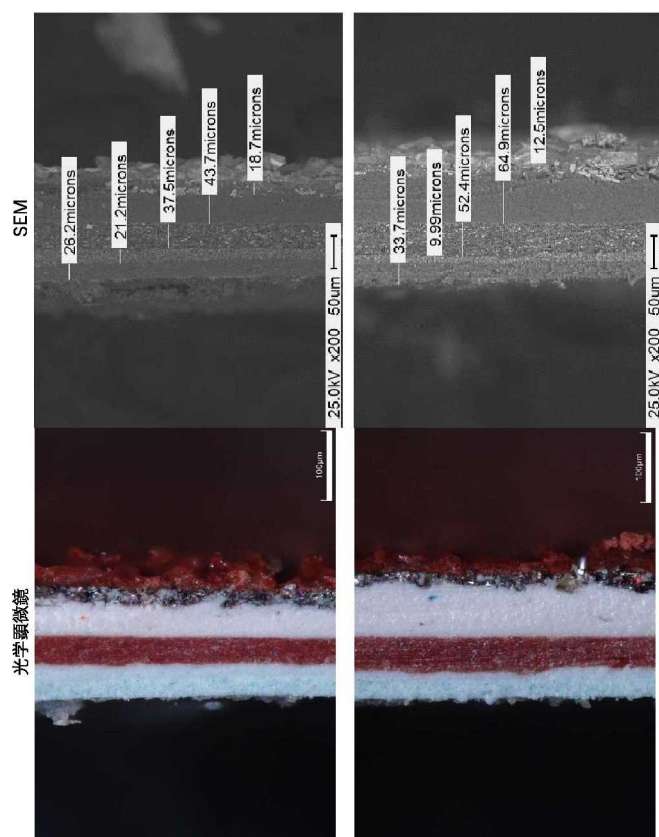
C (炭素)、O (酸素)、Ti (チタン)、Fe (鉄) が検出された。

ひび割れが確認できる



⑪T-5R-M-S

断面分析

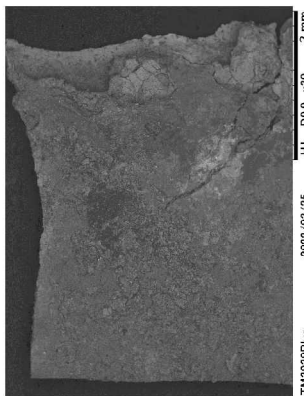


⑪T-5R-M-S
表面分析

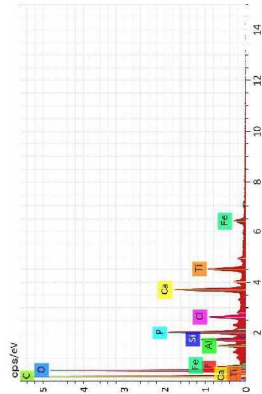
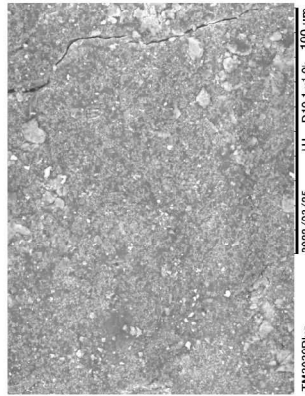
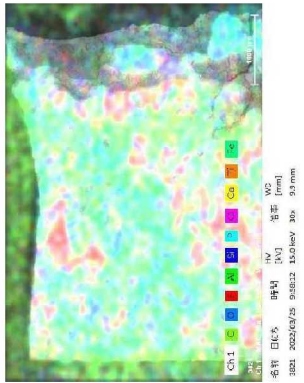
光学顕微鏡



SEM



XMA分析



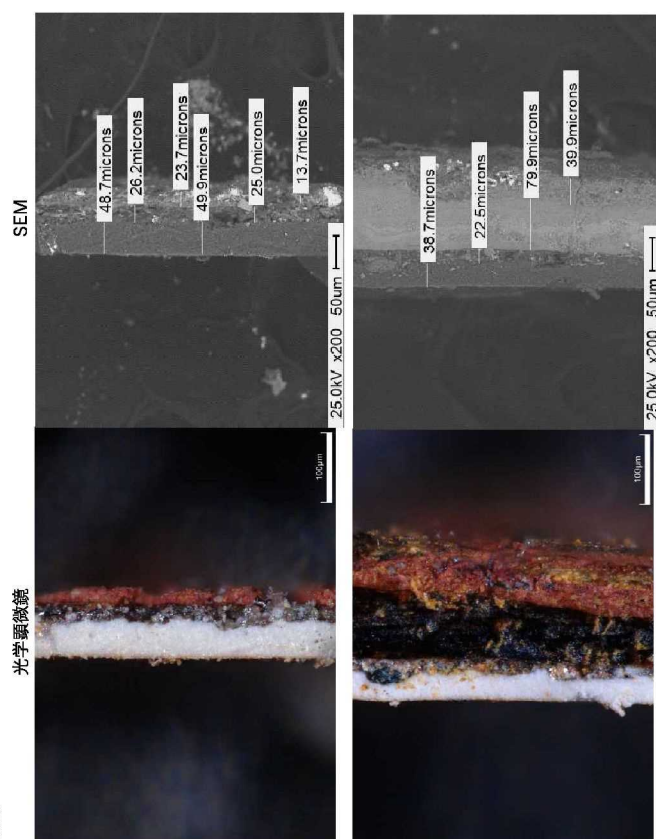
元素	原子番号	カウント	質量パーセント (%)	原子数濃度 (%)	体積濃度 (%)
O	8	18382	47.85	38.42	6.22
C	6	18999	46.86	37.82	50.31
Ca	20	12666	7.74	6.25	2.49
Fe	26	10076	3.51	2.83	1.46
P	15	10076	3.51	2.83	1.46
Ti	22	10076	3.51	2.83	1.46
Si	14	10076	3.51	2.83	1.46
Al	13	10076	3.51	2.83	1.46
合計		123.90		100.00	100.00

C (炭素)、O (酸素)、Ca (カルシウム)、Ti (チタン)、F (フッ素)、P (リン)、Fe (鉄)、Cl (塩素)、Si (ケイ素) が検出された。

ひび割れと錆が確認できる

⑫T-5R-M-W

断面分析

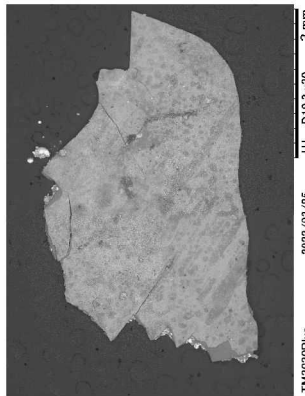


⑫T-5R-M-W
表面分析

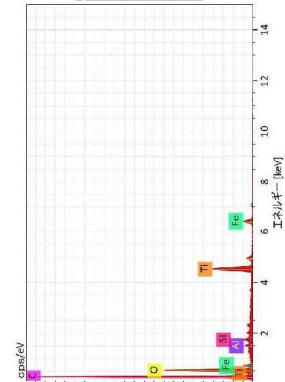
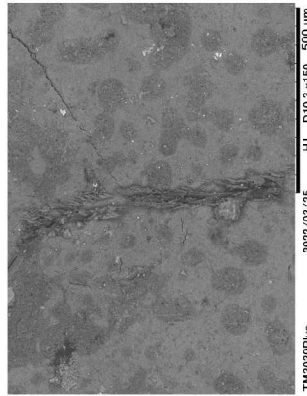
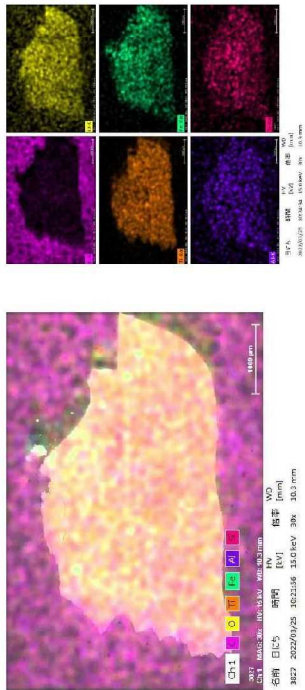
光学顕微鏡



SEM



XMA分析



Map

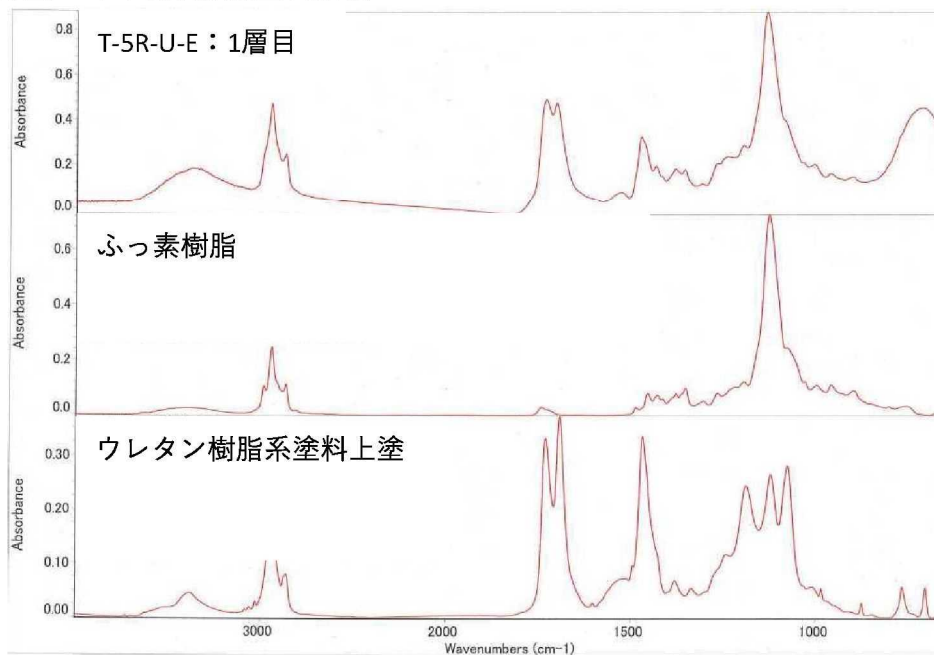
元素	原子番号	カウント	質量濃度 (%)	原子濃度 (%)	絶対濃度 (1/μm ²)	相対濃度 (%)
C	6	40668	45.09	45.09	31.02	31.02
O	8	17704	50.40	36.48	24.25	6.44
Ti	22	16169	13.38	9.59	3.01	0.43
Fe	26	3919	6.12	4.39	1.18	0.24
Si	14	1693	0.46	0.31	0.18	0.05
Al	13	593	0.34	0.24	0.13	0.05
合計		13353	100.00	100.00	800.00	

C (炭素)、O (酸素)、Ti (チタン)、Fe (鉄) が検出された。

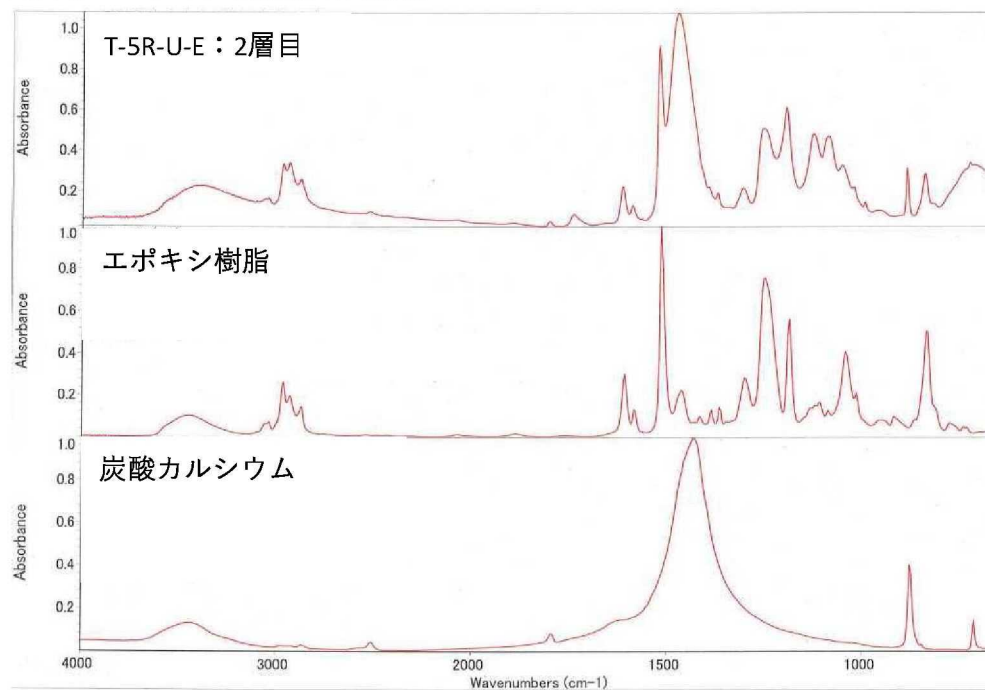
ひび割れが確認できる

②T-5R-U-EのIR分析：表層から1層目～7層目まで

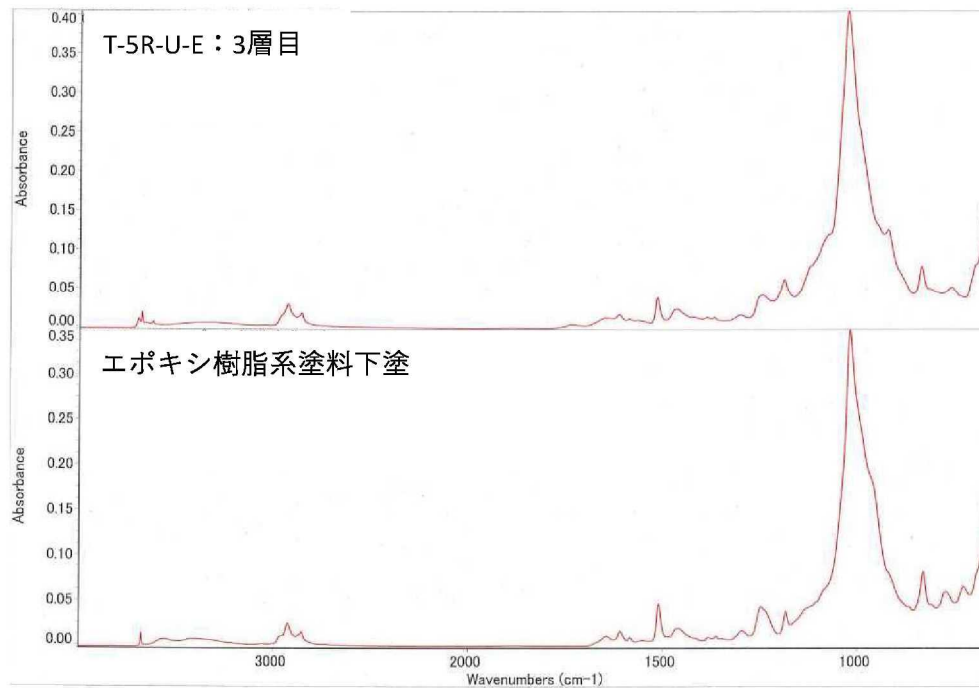
1層目(薄青色)：ふっ素樹脂系塗料類似



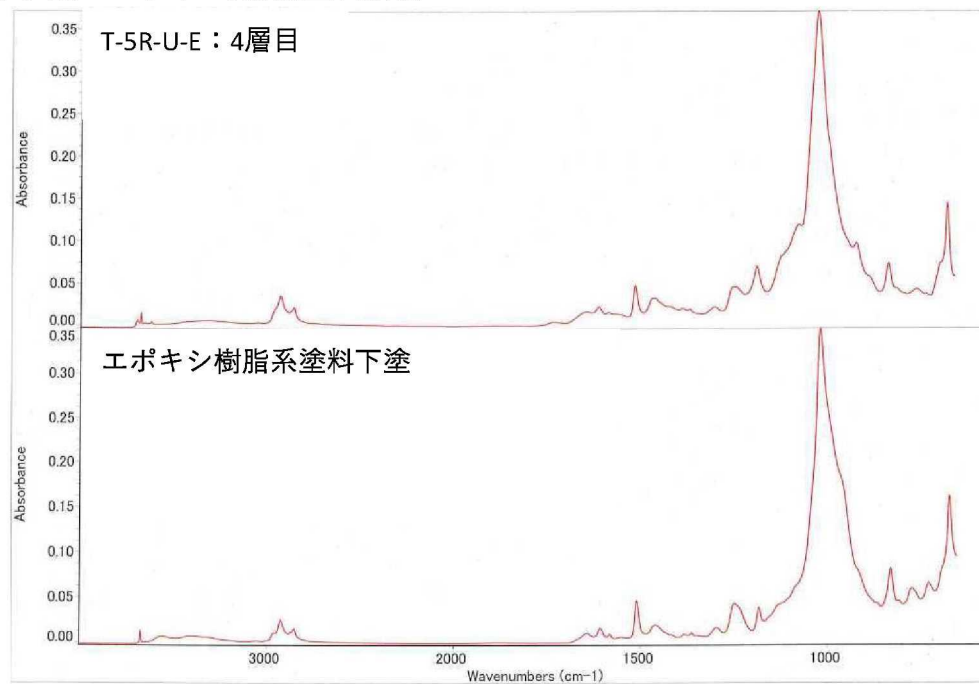
2層目(薄々青色)：エポキシ樹脂系塗料類似



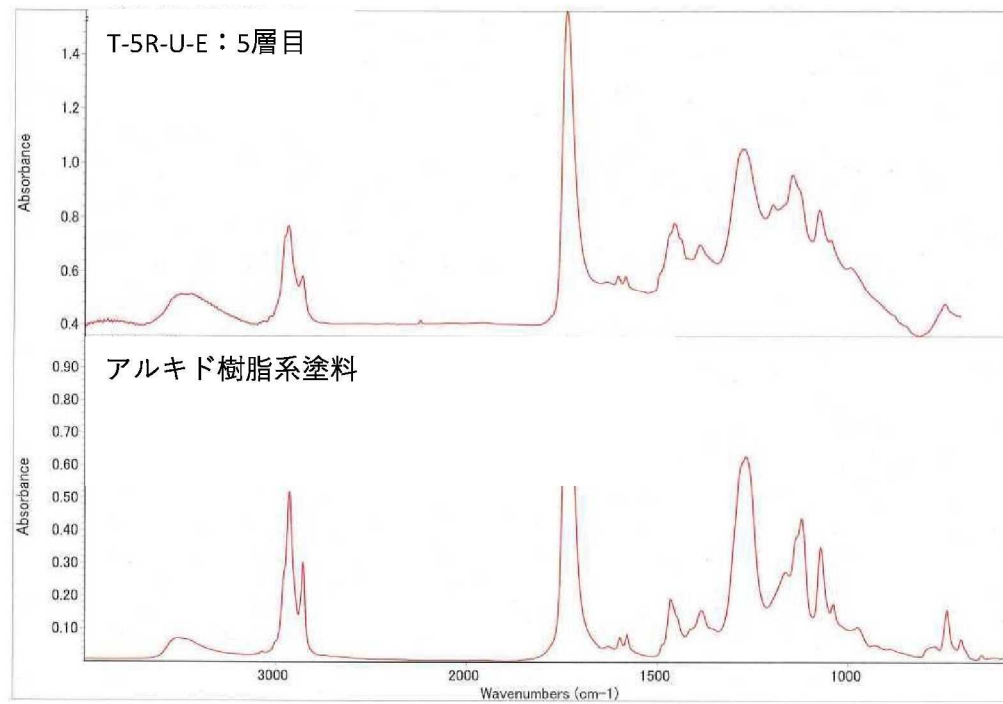
3層目 (ライトブラウン) : エポキシ樹脂系塗料類似



4層目 (赤さび色) : エポキシ樹脂系塗料類似



5層目(白色)：アルキド樹脂系塗料類似



6層目 (黒色)IR分析できず：組成分析より鉄粉を多く含む塗料

7層目(ブラウン)IR分析できず：組成分析より、Pb（鉛）含有塗料

六十谷水管橋塗膜調査結果報告書

本書は、水管橋の吊材に残存した塗膜の付着力試験結果について記載したものです。

1. 試験サンプル

サンプル名	No.
塗膜付着力試験片 ①	TA-5R-U
塗膜付着力試験片 ②	TA-5R-B

2. 使用機器

アドヒージョンテスター ; Positest AT-A (DeFelsco)
膜厚計 ; SWT9000 (サンコウ電子研究所)

3. 塗膜付着力の測定結果

単位 : Mpa

No.	①	②	③
TA-5R-U	7.97	3.13	-
TA-5R-B	7.03	6.59	6.48

No.	①-1	①-2	平均値
標準①	10.46	9.1	9.8
No.	②-1	②-2	
標準②	10.23	10.9	10.6

標準試験片①の付着力に対して、48～81%の想定結果であった。

4. 膜厚測定結果

単位 : μm

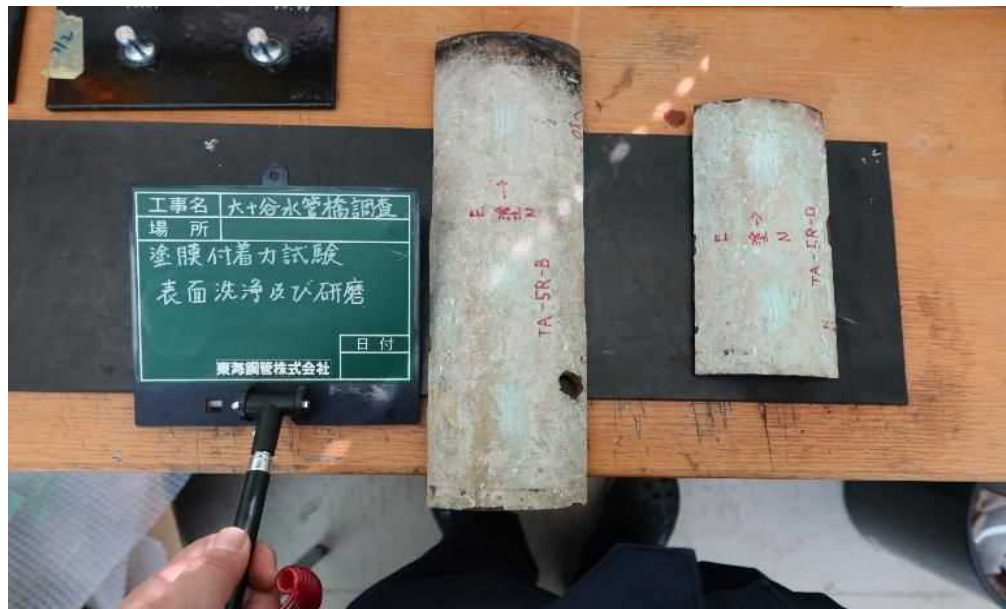
TA-5R-U	445～563
TA-5R-B	383～551
標準①	263～309
標準②	252～264

5. 試験状況写真

<作業前の状況>



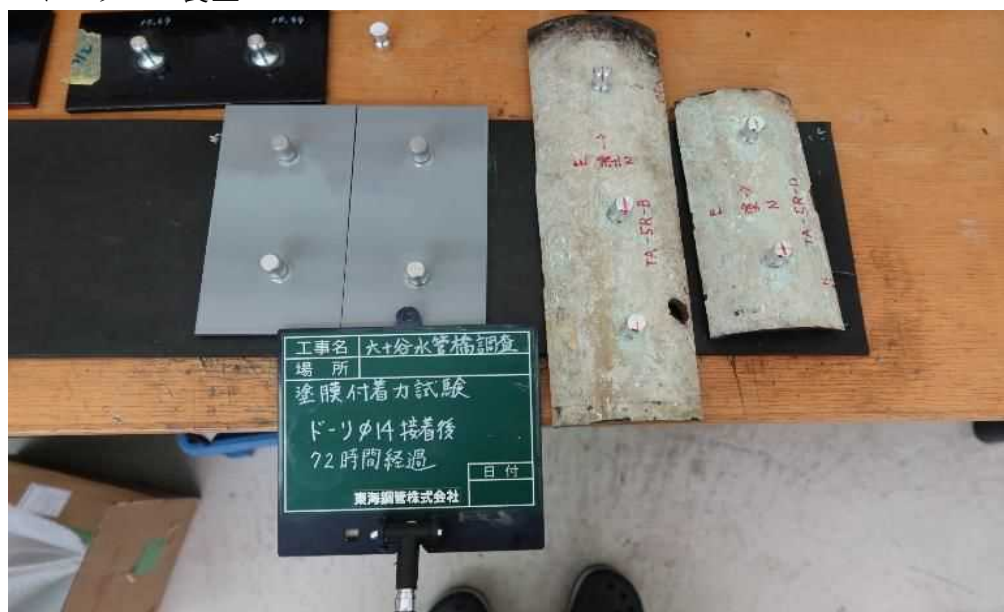
<サンプルの清掃>



<ドーリー接着>



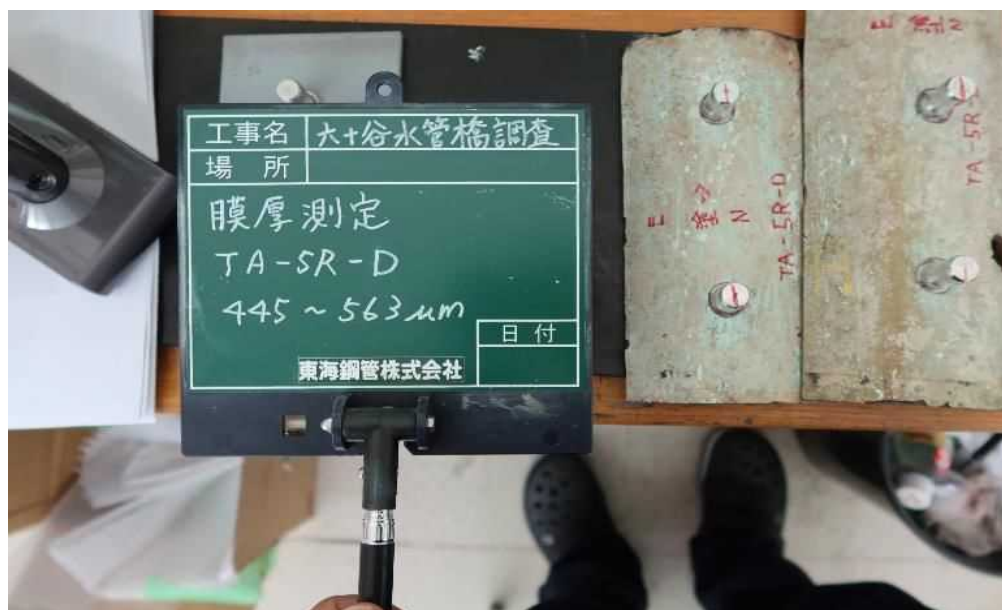
<ドレーの養生>



<膜厚測定> TA-5R-B



<膜厚測定> TA-5R-D



<膜厚測定> 標準板①



<膜厚測定> 標準板②



<付着力試験> TA-5R-B



<付着力試験> TA-5R-D



<付着力試験> 標準板①



<付着力試験> 標準板②

