

第2回 東名高速道路 宇利トンネル照明灯具落下事象 調査検討会 議事要旨

【第2回議事要旨】

■検討会として、調査結果により下記のとおり事実関係を確認した。

- ・ 取付脚と灯具本体の接合面は無塗装であった。なお、周囲はパテ仕上げが施されていた。
- ・ 取付脚のさびの層間にナトリウム、塩素、硫黄が検出された。
- ・ 落下した照明灯具は取付脚4箇所いずれも、取付脚と灯具本体との接合面において主に取付脚が減肉している。特に先端部側（取付脚の破断面に近い側）の腐食が著しく、破断箇所には金属部がほとんど見られなかった。

■調査結果から、下記のような討議を行った。

- ・ 腐食メカニズムなどに関して更なる検討が必要。
- ・ 腐食に関与すると考えられる他の物質も更なる調査が必要。
- ・ 今回の照明灯具と同種仕様の維持管理手法について対応方針、更新の考え方について検討する。

トンネル照明灯具の構造（仕様）

（１）トンネル照明灯具の仕様変遷

トンネル照明灯具における仕様の変遷は表２－１のとおりであり、落下した宇利トンネル（上り線）の照明灯具設置時において、適用した発注仕様は次のとおりである。

【発注仕様】

＜灯具本体及び取付脚の仕様＞

灯具本体：SPCC 1.2mm

取付脚：SPCC 3.2mm

※SPCCとは、冷間圧延鋼板

＜塗装仕様＞

リン酸塩被膜処理後、高濃度亜鉛末塗料を塗装し、上塗りとしてエポキシ変性メラミン樹脂塗料２回塗りの焼き付け



図２－１
宇利トンネル照明灯具の設置状況

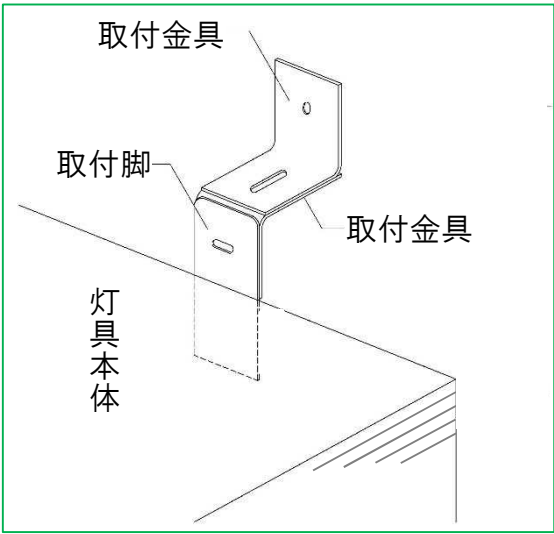


図２－２
トンネル照明灯具の部材詳細図

表２－１ トンネル照明灯具の仕様変遷

※各制定時期で適用する原則仕様：

	標準仕様書制定(改訂)時期			
	1987(昭和 62)年 4 月	1996(平成 8)年 4 月	2000(平成 12)年 4 月	2005(平成 17)年 7 月
	灯具本体：SPCC(塗装) 1.2mm 取付脚：SPCC(塗装) 3.2mm			
	灯具本体：SUS(塗装) 1.2mm 取付脚：SUS(塗装) 3.0mm			
		灯具本体：SUS(塗装なし) 1.0mm 取付脚：SS (溶融亜鉛めっき) 4.5mm		
			灯具本体：SUS(塗装) 1.0mm 取付脚：SS (溶融亜鉛めっき) 4.5mm	
現行仕様（性能規定）				灯具本体：SUS(塗装) 1.0mm 取付脚：SUS(塗装) 4.0mm
摘要	取付脚は灯具本体にスポット溶接取付け	取付脚は灯具本体にビス取付け ※取付脚は左側の上下及び右側の上下をフラットバーで一本化		取付脚の固定方法は規定無(耐食性に優れたものであること)※フラットバーは参考図として図示

(2) 宇利トンネル（上り線）に納入された照明灯具の仕様

宇利トンネル（上り線）に納入された照明灯具の仕様は、本調査検討会の各種調査において、メーカーヒアリングの結果、下記のとおりであることが判明した。

【発注仕様】

＜灯具本体及び取付脚の仕様＞ 灯具本体：SPCC 1.2mm 取付脚：SPCC 3.2mm ※SPCCとは、冷間圧延鋼板
＜塗装仕様＞ リン酸塩被膜処理後、高濃度亜鉛末塗料を塗装し、上塗りとしてエポキシ変性メラミン樹脂塗料2回塗りの焼き付け

メーカーヒアリングの結果、納入された灯具のうち、灯具本体の仕様はSECCであることが判明

※SECCとは、SPCCの原板に電気亜鉛めっきしたもの

【納入仕様】

＜灯具本体及び取付脚の仕様＞ 灯具本体：SECC 1.2mm 取付脚：SPCC 3.2mm ※SPCCとは、冷間圧延鋼板
＜塗装仕様＞ リン酸塩被膜処理後、高濃度亜鉛末塗料を塗装し、上塗りとしてエポキシ変性メラミン樹脂塗料2回塗りの焼き付け

トンネル照明灯具における変状形態の整理

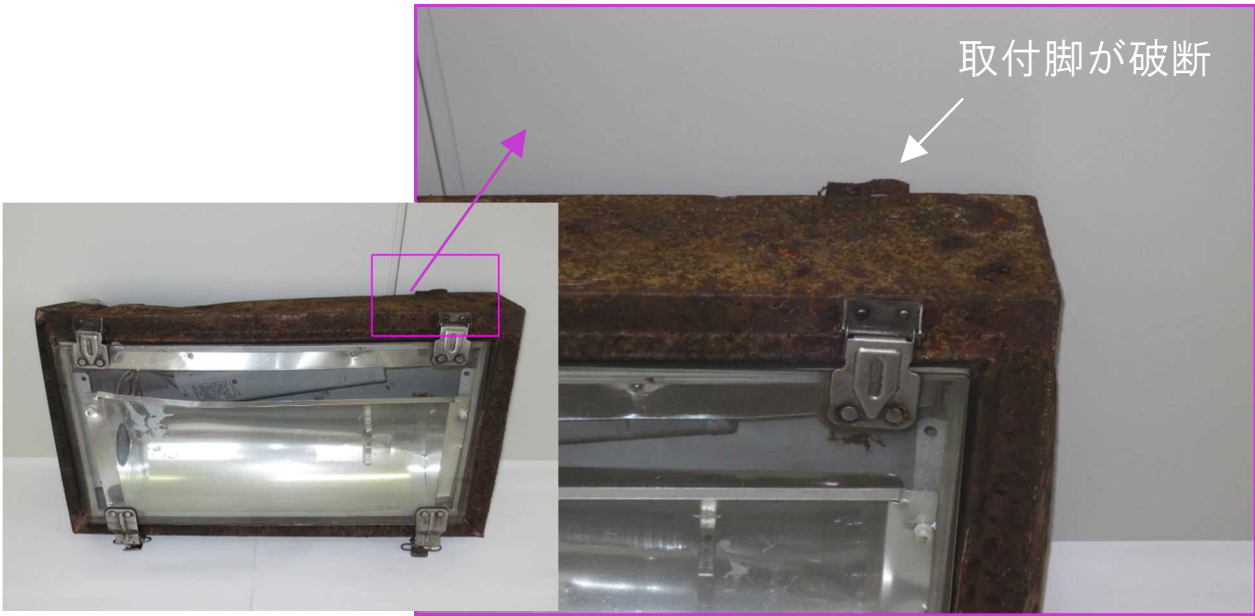
（１）標準仕様（発注仕様）のトンネル照明灯具における変状形態 と 宇利トンネルにおける照明灯具の変状形態

灯具本体が標準仕様（発注仕様）と同一の「SPCC」で納入されたトンネルでは、これまで表３－１の左のような変状形態を示している。

しかしながら、今回、これまでの変状形態と異なる変状が宇利トンネルで確認された。

＜灯具本体及び取付脚の仕様＞ 灯具本体：SPCC 1.2mm ※宇利トンネル（上り線）ではSECC 取付脚：SPCC 3.2mm ※SPCCとは、冷間圧延鋼板	＜塗装仕様＞ リン酸塩被膜処理後、高濃度亜鉛末塗料を塗装し、上塗りとしてエポキシ変性メラミン樹脂塗料２回塗りの焼き付け
---	--

表 3－1 トンネル照明灯具の変状形態

灯具本体が「SPCC」の場合の変状形態	宇利トンネルの変状形態 ※灯具本体が「SECC」
灯具本体に変状が発生 	
【考察】 ➤ 灯具本体と取付脚が同一の材質において、肉厚が薄い灯具本体に変状が発生している	【考察】 ➤ これまでに発生していた変状と異なり、肉厚の厚い取付脚の方が、灯具本体よりも先に減肉破断している

(2) 宇利トンネルの事象を受けて実施した他トンネルにおける緊急点検結果（宇利トンネルと同様の仕様の灯具が対象（宇利トンネル除いて11トンネル））

宇利トンネルと同様の仕様の灯具について緊急点検を実施した結果、18灯の変状が確認され、これを撤去している。

なお、灯具本体がS E C Cの照明灯具は、宇利トンネル以外には無かった。

撤去した照明灯具の変状を確認すると、表3-1で示した『灯具本体が「S P C C」の場合の変状形態』と同様に、肉厚の薄い灯具本体側に変状が確認された。



図3-1
緊急点検で撤去した灯具の変状①
(灯具本体の角部に穴あきがある状況)



図3-2
緊急点検で撤去した灯具の変状②
(取付脚周辺の灯具本体に穴が開いた状況)

落下した照明灯具の取付脚破断面の調査（S E M観察、E P M Aマッピング分析）

【調査項目】

落下した照明灯具の取付脚破断面の調査（S E M観察、E P M Aマッピング分析）

【調査目的】

取付脚の破断部付近の状況を詳細に観測することで、腐食の状況を定量的に把握するとともに、腐食生成物に含まれる元素とその分布状況を分析し、腐食の発生原因及び促進原因を推定するために実施

【調査概要】

- ・落下した照明灯具の取付脚（4箇所）部分を灯具本体部材とともに、破断面を垂直方向に切断・研磨し、断面を肉眼とS E M（走査型電子顕微鏡）により観察
- ・E P M A（電子線マイクロアナライザ）マッピング分析により、断面の一部分を観測範囲として、その範囲に含まれる特定の元素の分布状況を分析

【調査結果】

■ 肉眼及びS E Mによる観察

- ・取付脚と灯具本体との接合面の隙間部全体にさび層が観察された
- ・取付脚の破断面側（先端部）では、取付脚、照明灯具本体とも隙間部が減肉し、扇型に開口している
- ・取付脚は灯具本体に比べて著しく腐食し、先端部では、ほとんど鉄素地が残っていないが、外気に接する面（照明灯具本体との接合面の反対側）の腐食は小さかった
- ・取付脚の中央部、根元は、減肉が見られるものの、その程度は小さい

■ E P M Aマッピング分析

- ・さびの層間で層状に塩素（C l）、硫黄（S）の分布が検出された
- ・灯具本体の電気亜鉛めっきに由来する亜鉛（Z n）が検出された
- ・カルシウム（C a）は、表面で観察されたことから、工事によるアンカーボルト削孔時のコンクリート粉と想定される

(1) 外観観察（肉眼）状況

落下した照明灯具の取付脚（4箇所）部分を照明灯具本体部材とともに、破断面を垂直方向に切断・研磨し、断面を肉眼観察した。

※左右は照明灯具正面から見た左右で表示している。（以下、同じ）



図 4-1-1 落下灯具右上脚切断研磨後



図 4-1-2 落下灯具右下脚切断研磨後

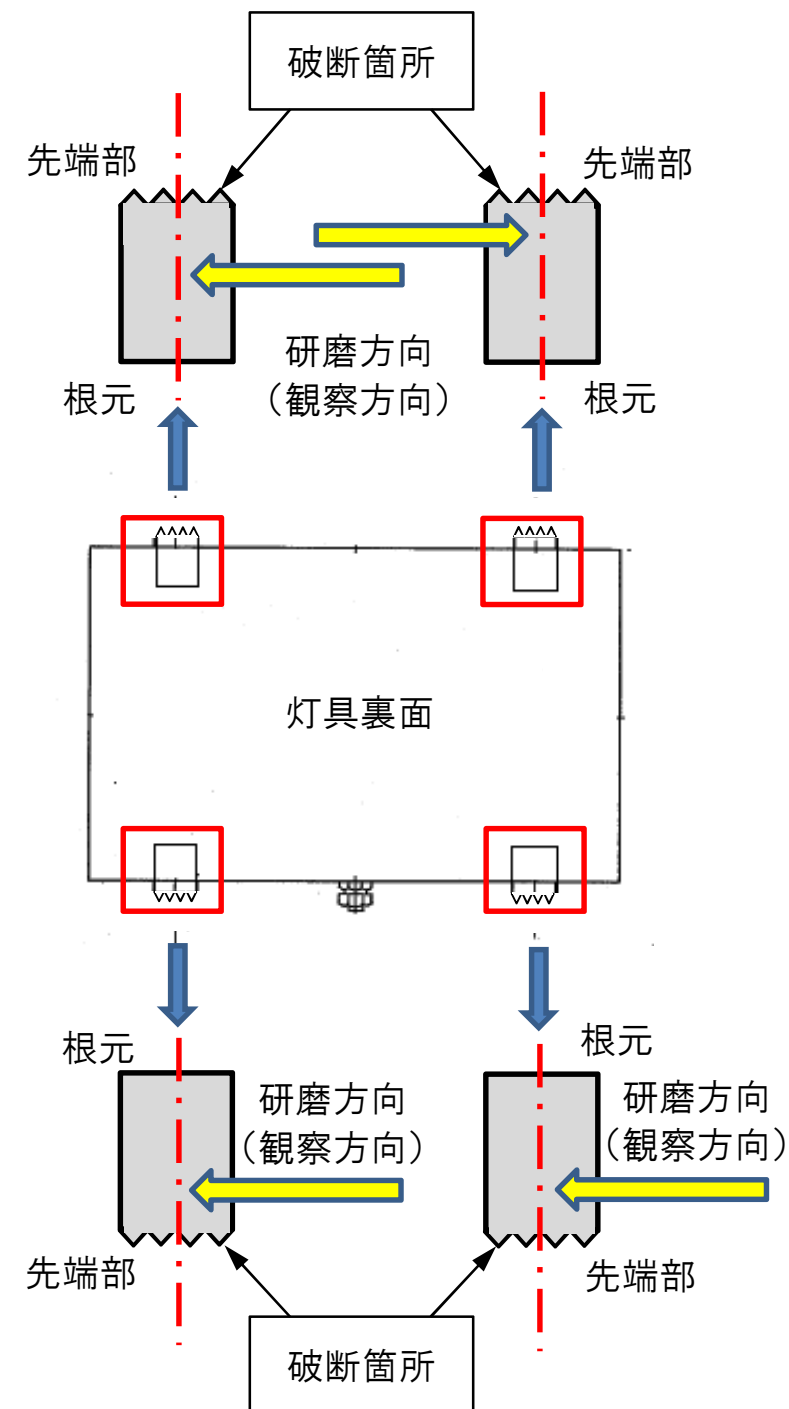


図 4-1-3 落下灯具の観察方向

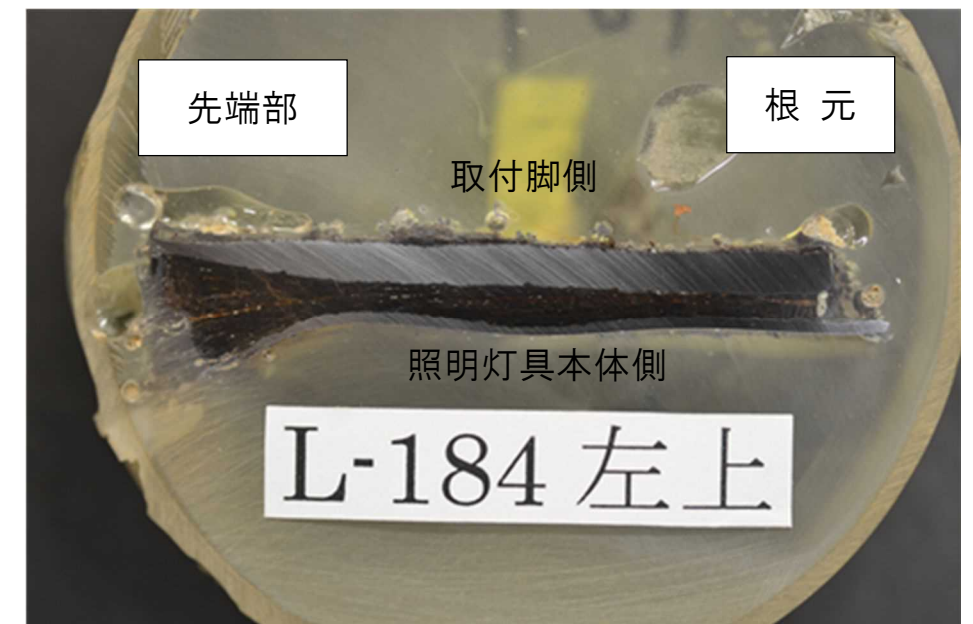


図 4-1-4 落下灯具左上脚切断研磨後

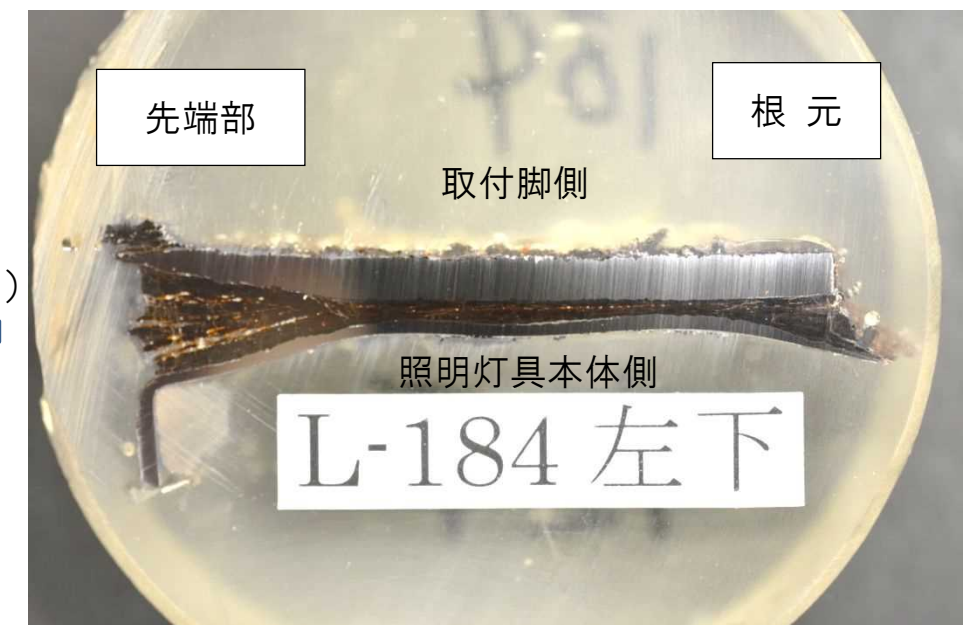


図 4-1-5 落下灯具左下脚切断研磨後

(2) 外観観察 (SEM) 状況及びE PMAマッピング分析結果

落下した照明灯具の取付脚(4箇所)部分を照明灯具本体部材とともに、破断面を垂直方向に切断・研磨し、断面をSEM(走査型電子顕微鏡)により観察した。あわせて、E PMA(電子線マイクロアナライザ)マッピング分析により、断面の一部分を観測範囲として、その範囲に含まれる特定の元素の分布状況を分析した。代表として、右上及び右下の取付脚の結果を示す。

1) 右上取付脚

先端部、根元、中央部の3箇所で、Fe、Na、K、S、Cl、O、C、Zn、Caの分布を確認した。Na、S、Cl、Cは、中央部でもさびの層間に検出された。灯具本体の電気亜鉛めっきに由来するZnが検出された。Caは、先端部、根元の表面で観察されたが中央部では検出されなかったことから、工事によるアンカーボルト削孔時のコンクリート粉と想定される。

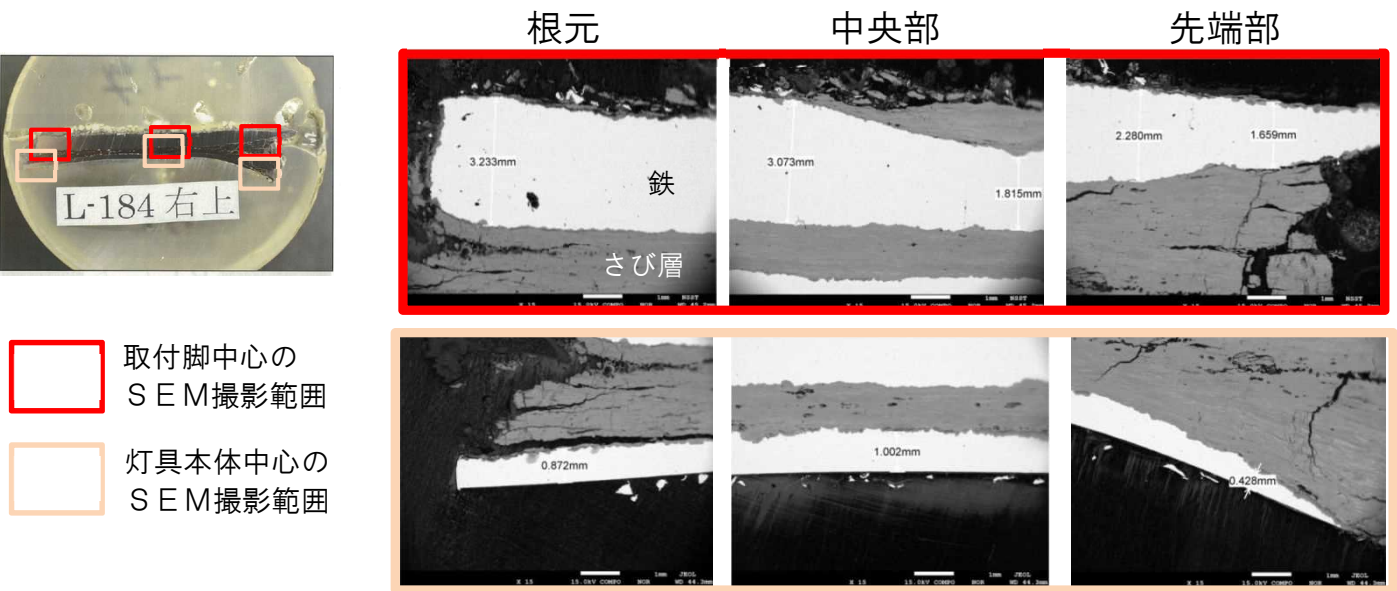


図 4-1-6 落下灯具右上取付脚SEM写真

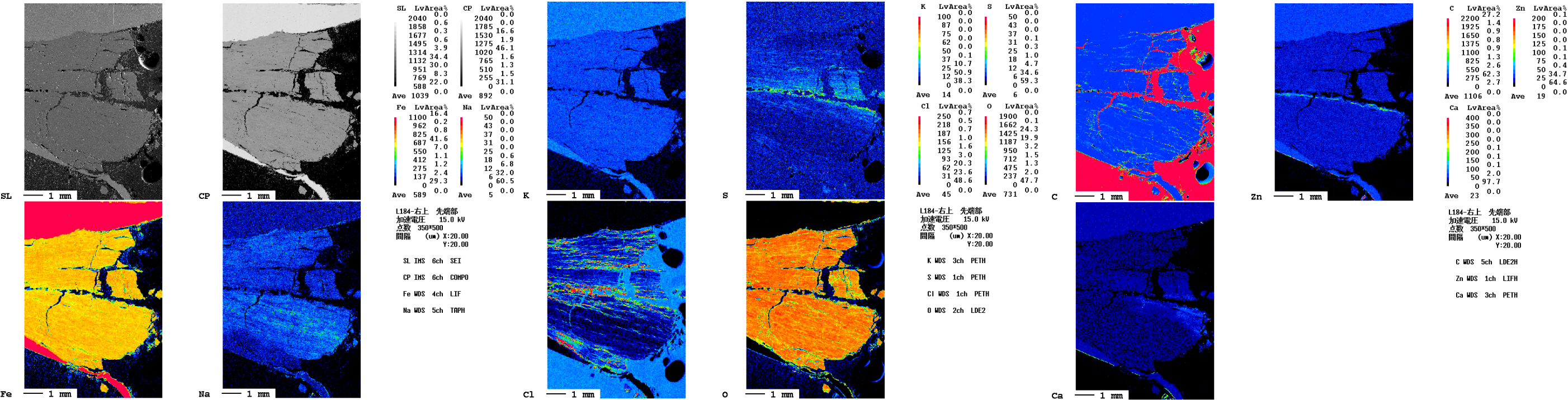


図 4-1-7 E PMA(電子線マイクロアナライザ)マッピング【右上取付脚先端部】

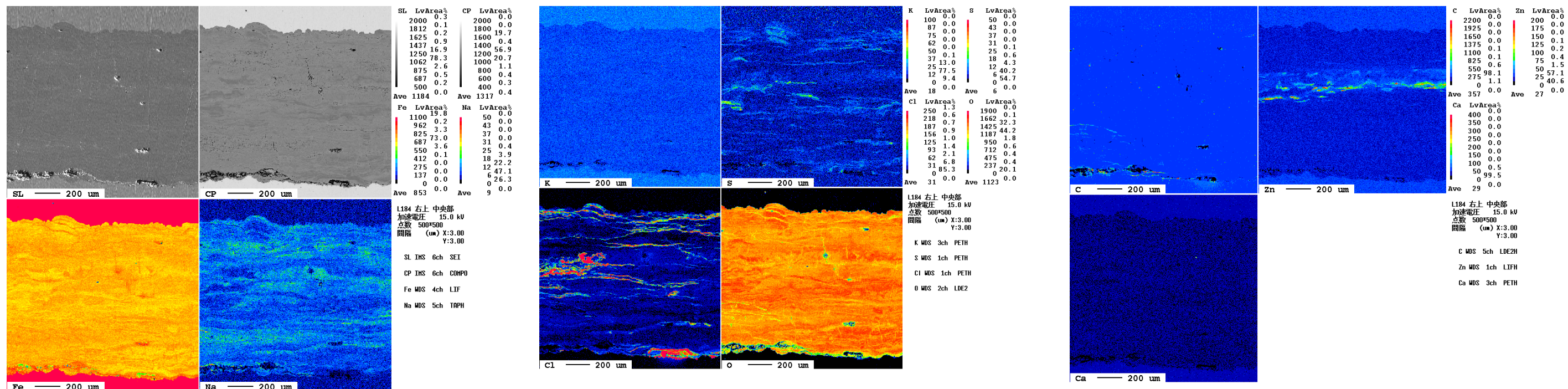


図 4-1-8 E PMA（電子線マイクロアナライザ）マッピング【右上取付脚中央部】

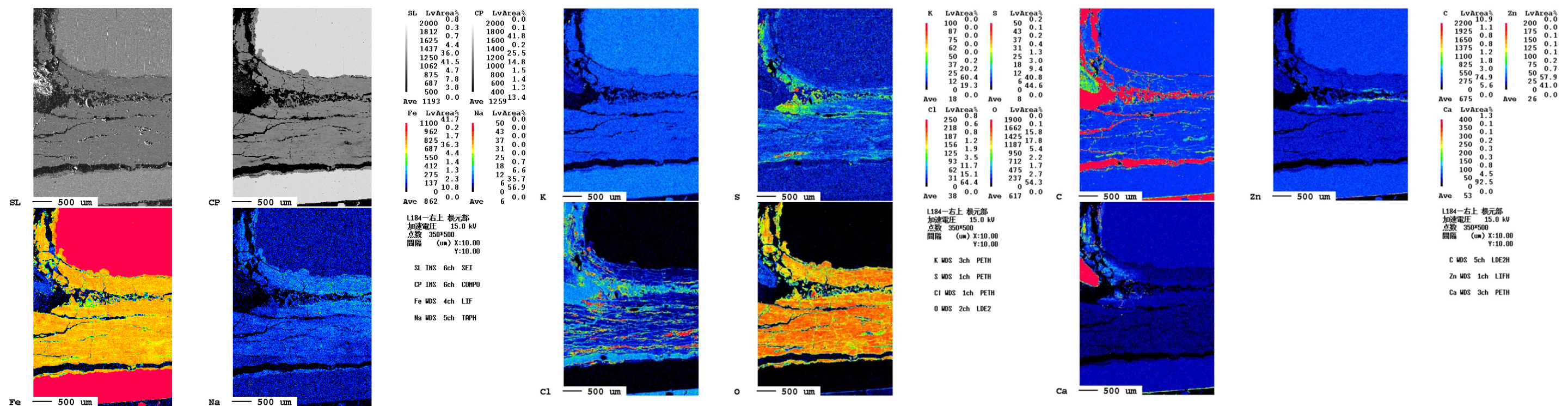


図 4-1-9 E PMA（電子線マイクロアナライザ）マッピング【右上取付脚根元】

2) 右下取付脚

先端部、根元、中央部の3箇所、Fe、Na、K、S、Cl、O、C、Zn、Caの分布を確認した。Na、S、Cl、Cは、中央部でもさびの層間に検出された。灯具本体の電気垂鉛めっきに由来するZnが検出された。Caは、先端部、根元の表面で観察されたが中央部では検出されなかったことから、工事によるアンカーボルト削孔時のコンクリート粉と想定される。

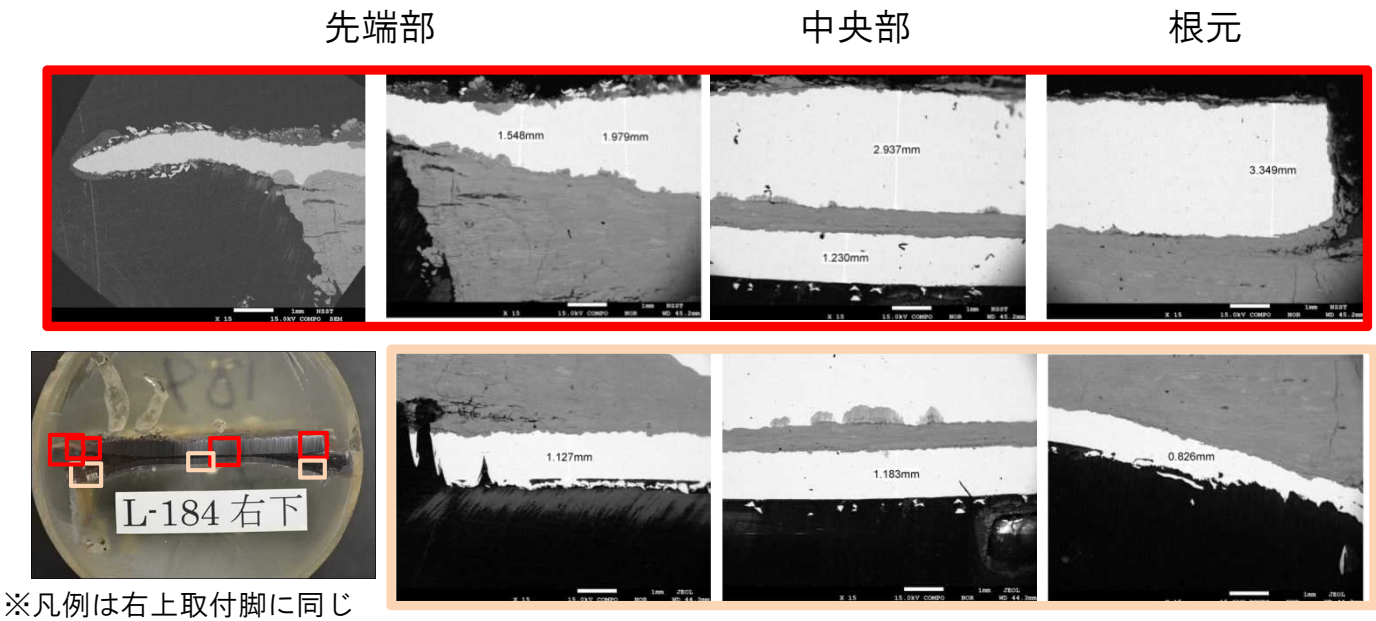


図 4-1-10 落下灯具右下取付脚SEM写真

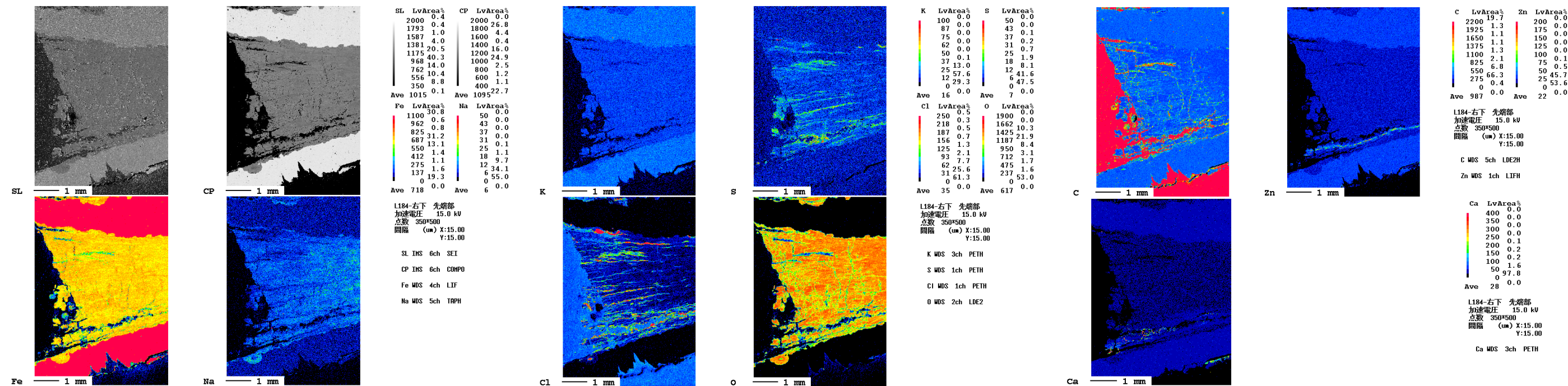


図 4-1-11 E PMA (電子線マイクロアナライザ) マッピング【右下取付脚先端部】

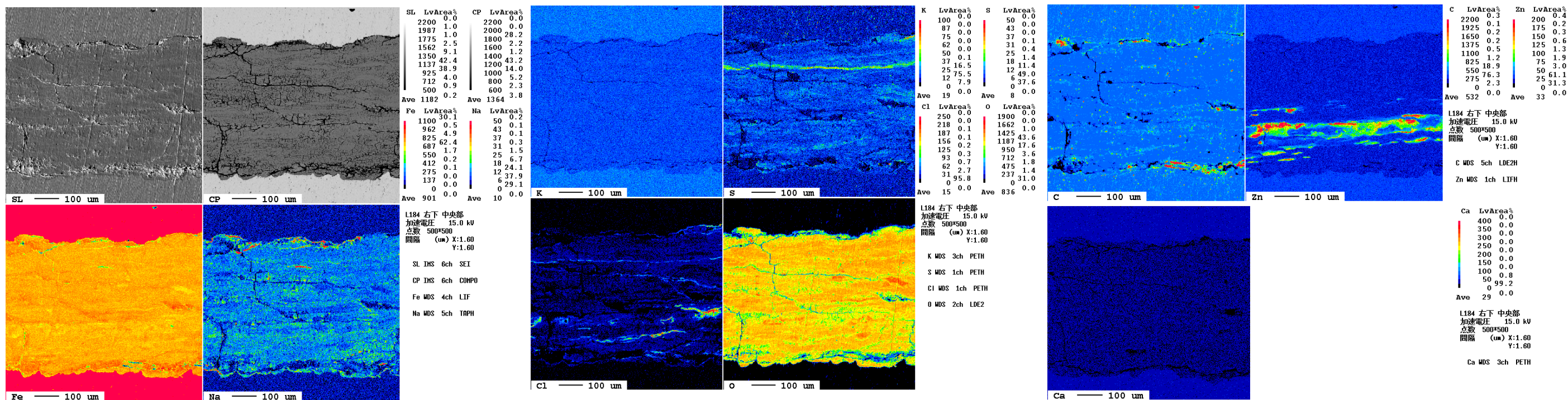


図 4-1-12 E PMA（電子線マイクロアナライザ）マッピング【右下取付脚中央部】

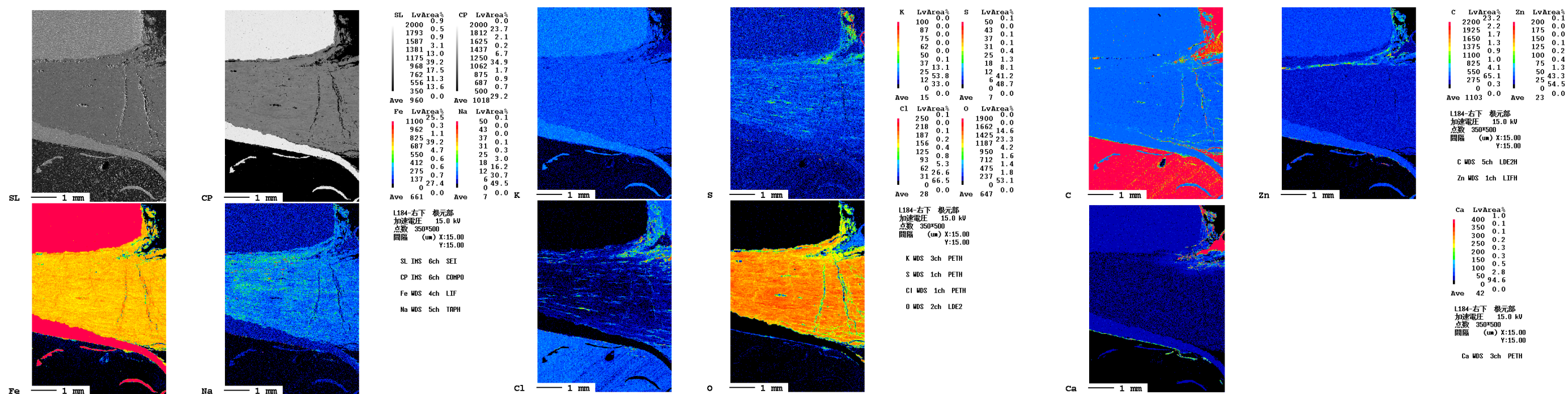


図 4-1-13 E PMA（電子線マイクロアナライザ）マッピング【右下取付脚根元】

照明灯具における付着物質の調査

【調査項目】

照明灯具の付着物質分析調査

【調査目的】

トンネル縦断方向の腐食環境を把握するために実施

【調査概要】

- ・イオンクロマトグラフィー分析により、塩化物 (Cl^-)、窒素酸化物 (NO_3^-)、硫黄酸化物 (SO_4^{2-})、カルシウム (Ca^{2+}) の量を測定
- ・付着物質の採取位置は図 4 - 2 - 1 参照
- ・調査間隔は宇利トンネル（上り線）を縦断方向に下記間隔により行った。

[Cl^- ・ NO_3^- ・ SO_4^{2-}]

裏面下部 : 入口から 300m までは概ね 50m 間隔、300m から出口までは概ね 100m 間隔で調査＋緊急点検で撤去した灯具

裏面上部・上面 : 入口から 300m までは概ね 100m 間隔、300m から出口までは概ね 200m 間隔で調査

裏面下部・上面 : 落下灯具 L-184 (坑口から 251m)

裏面上部・裏面下部・上面 : 坑口付近灯具 R-1 (坑口から 31m) 、落下灯具の隣の灯具 L-183 (坑口から 248m) も調査

[Ca^{2+}]

裏面上部・上面 : 入口から 300m までは概ね 100m 間隔、300m から出口までは概ね 200m 間隔で調査

上面 : 落下灯具の隣の灯具 L-183 (坑口から 248m) を調査

【調査結果】

- ・塩化物 (Cl^-)、窒素酸化物 (NO_3^-)、硫黄酸化物 (SO_4^{2-})、カルシウム (Ca^{2+}) がトンネル縦断方向で一様に観察された

※カルシウムは、工事によるアンカーボルト削孔によるコンクリート粉と想定される



図 4-2-1 付着物質採取位置

(1) 照明灯具の付着物質分析結果

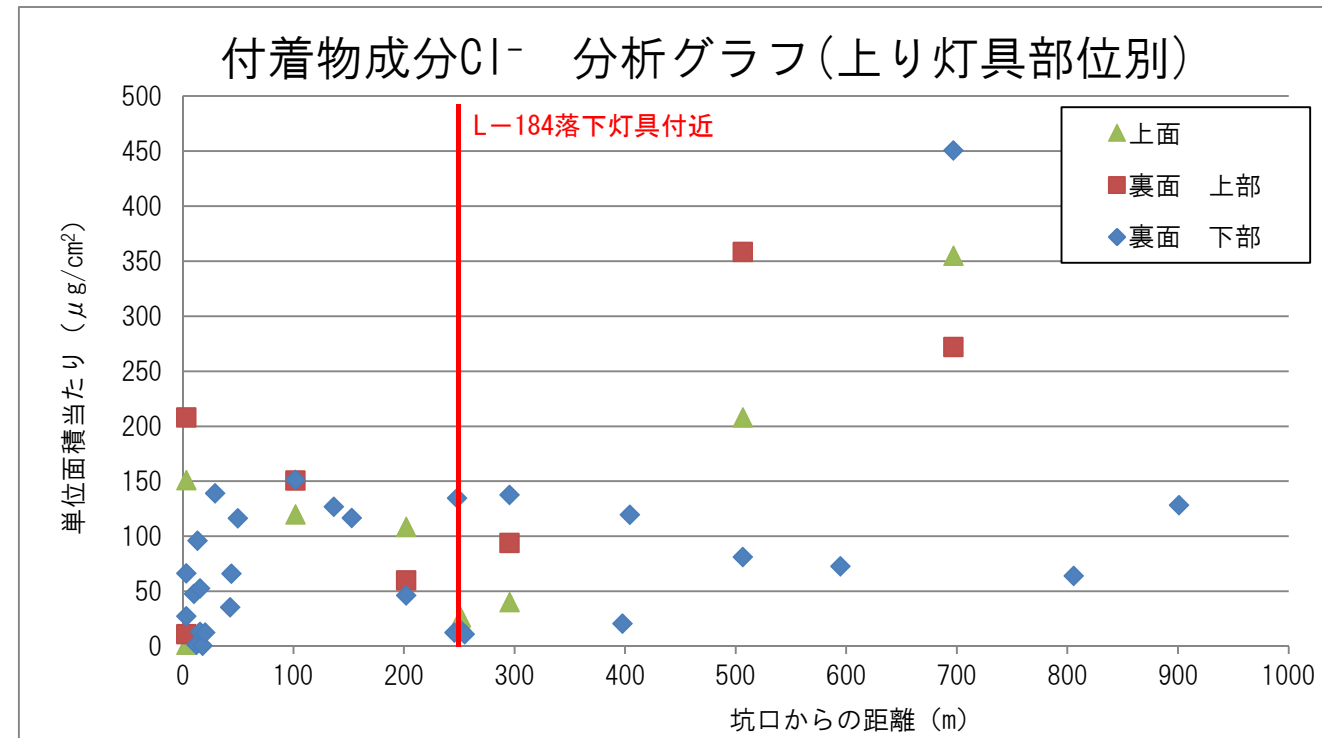


図 4-2-2 付着物質分析結果(上り線 Cl^-)

【上記グラフのレンジ外にあるデータ】
 L-183 (坑口から 248m) の裏面上部 (2,227) 上面 (2,264)
 L-284 (坑口から 901m) の裏面上部 (1,289) 上面 (1,188)

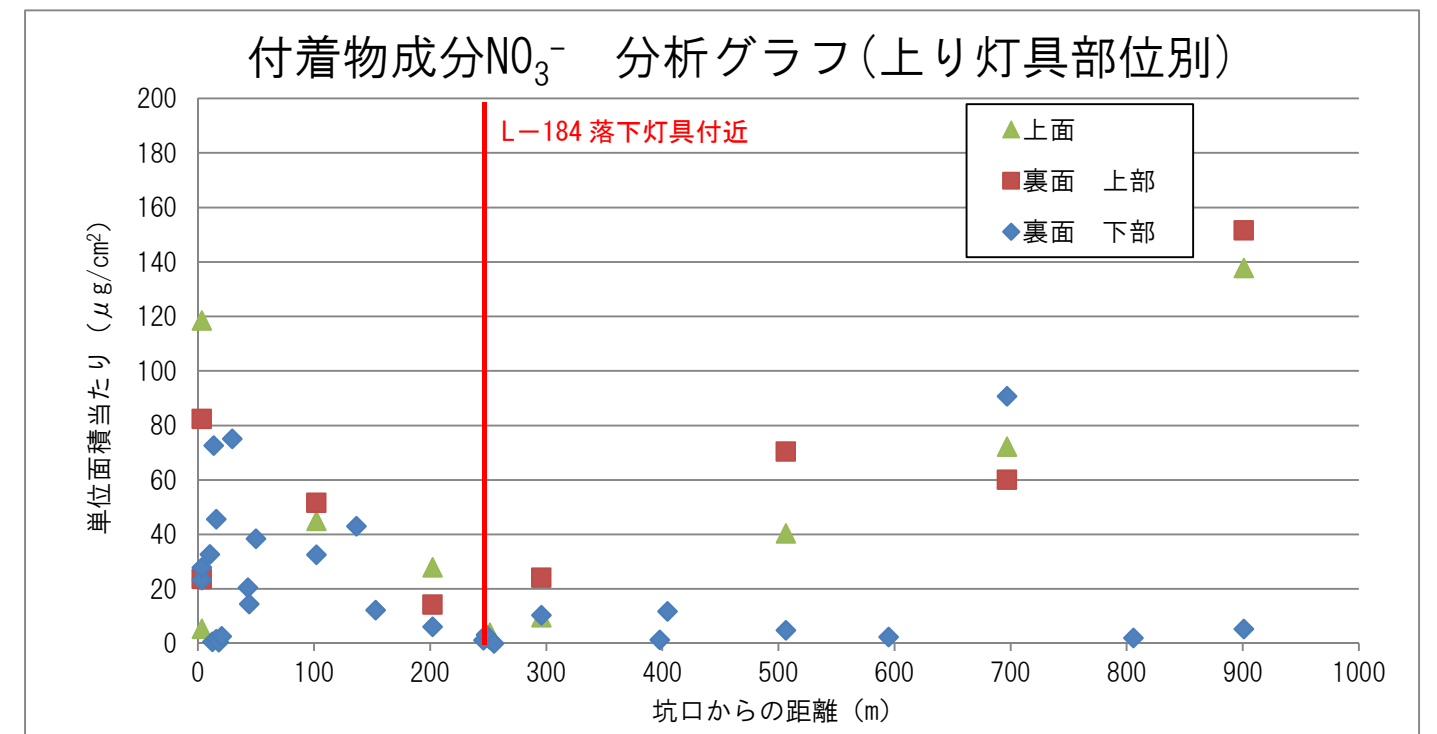


図 4-2-3 付着物質分析結果(上り線 NO_3^-)

【上記グラフのレンジ外にあるデータ】
 L-183 (坑口から 248m) の裏面上 (328) 上面 (331)

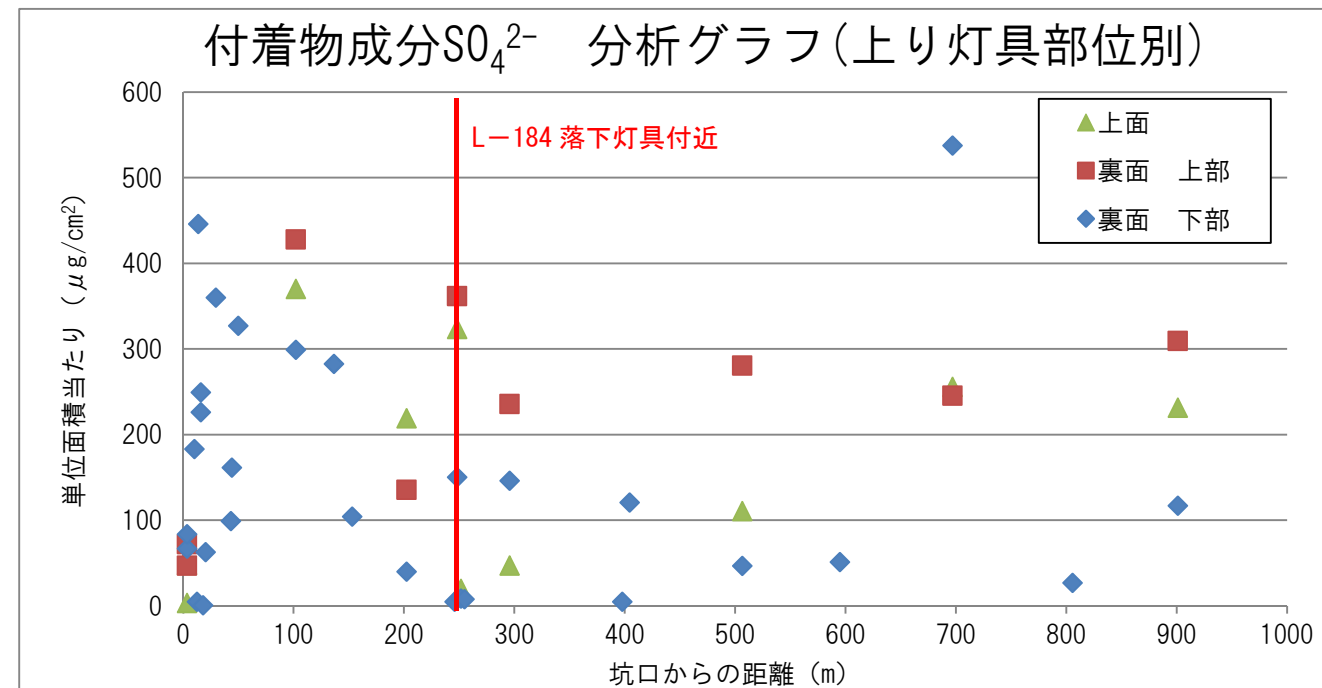


図 4-2-4 付着物質分析結果(上り線 SO_4^{2-})

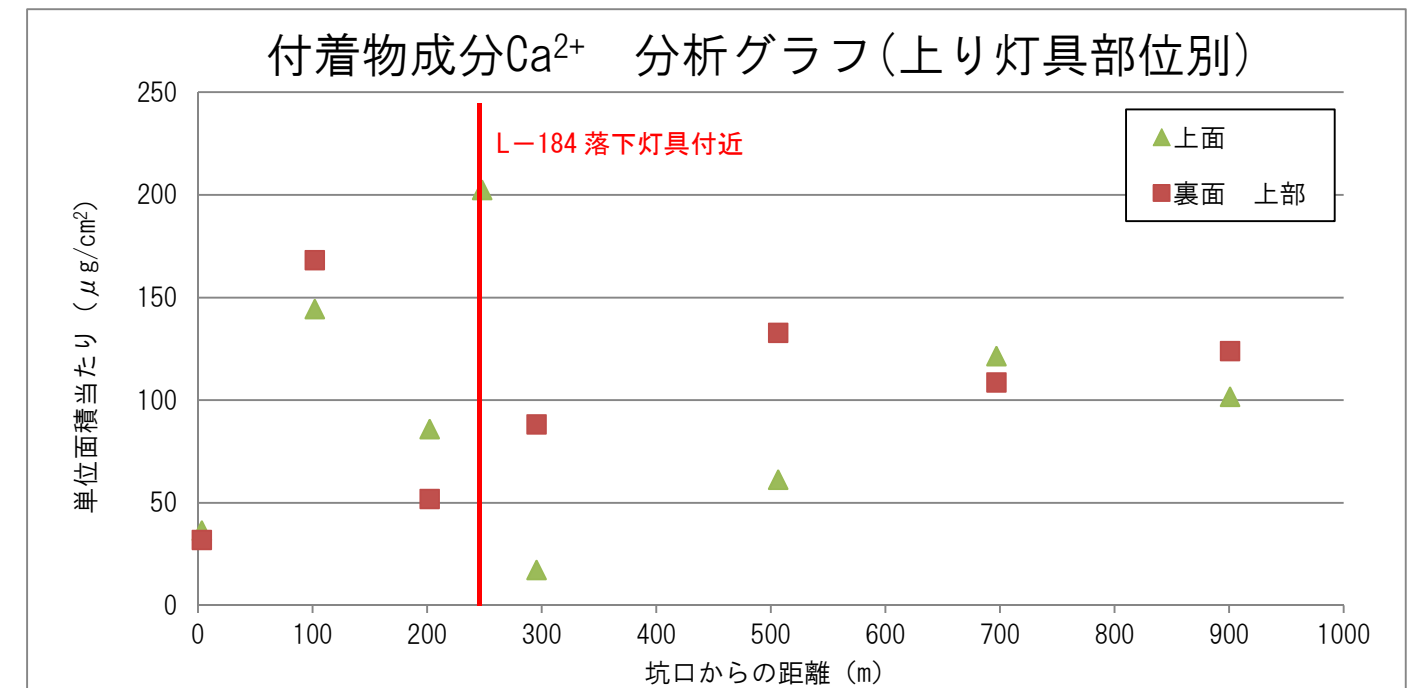


図 4-2-5 付着物質分析結果(上り線 Ca^{2+})

宇利トンネルにおけるトンネル内部の温湿度環境

【調査項目】

トンネル内部と外部の温度、湿度（相対湿度）を観測

【調査目的】

トンネル照明灯具の腐食状態との相関を確認するために実施

【調査概要】

- ・ 宇利トンネル（上り線）を縦断方向に入口から 300 m までは概ね 50 m 間隔、300 m から出口までは概ね 100 m 間隔で調査
- ・ 近隣の浜松気象台のデータを確認

【調査結果】

- ・ 浜松気象台の湿度の観測値から推測した宇利トンネル内の湿度より、NaCl 臨界相対湿度の 75 % 以上となる時間がかなりの頻度で出現する環境と推定される。

※ NaCl 臨界相対湿度：NaCl の吸湿が始まり、濡れやすい環境になる湿度

(1) 宇利トンネル（上り線）における温度と湿度の関係（観測結果のまとめ）

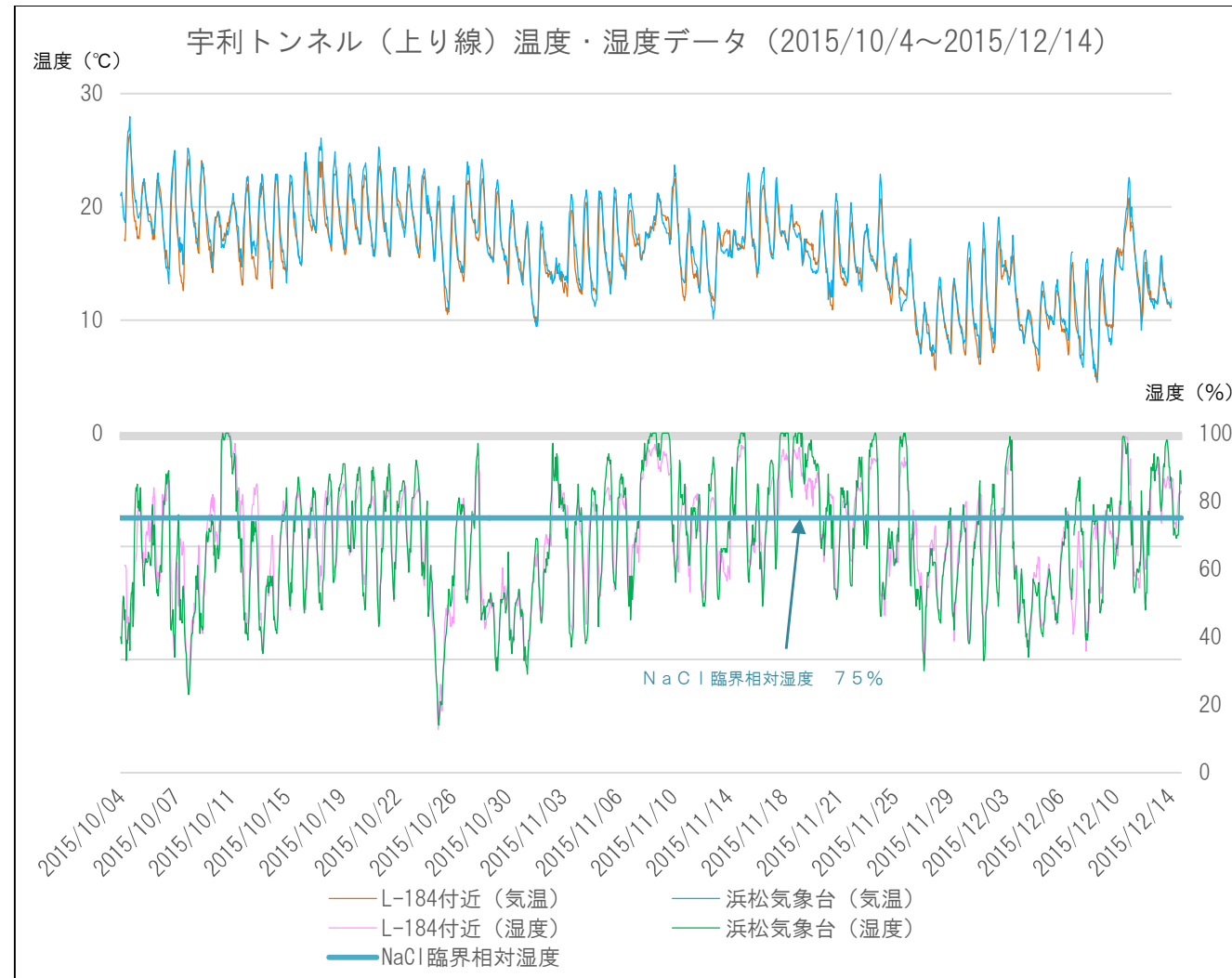


図4-3-1 宇利トンネル(上り線)温度・湿度データ
(2015/10/14～2015/12/14)

[トンネル内部と外部の温度・湿度の関係]

- ・トンネル外部の温度、湿度変化（浜松气象台の観測値）と、トンネル内部の温度、湿度変化（宇利トンネル（上り線）内の落下灯具付近の計測値）は、同様の推移を示していた。
- ・トンネル内部の湿度については、NaCl 臨界相対湿度 75% を上下しており、乾湿状態を繰り返していたと推測される。

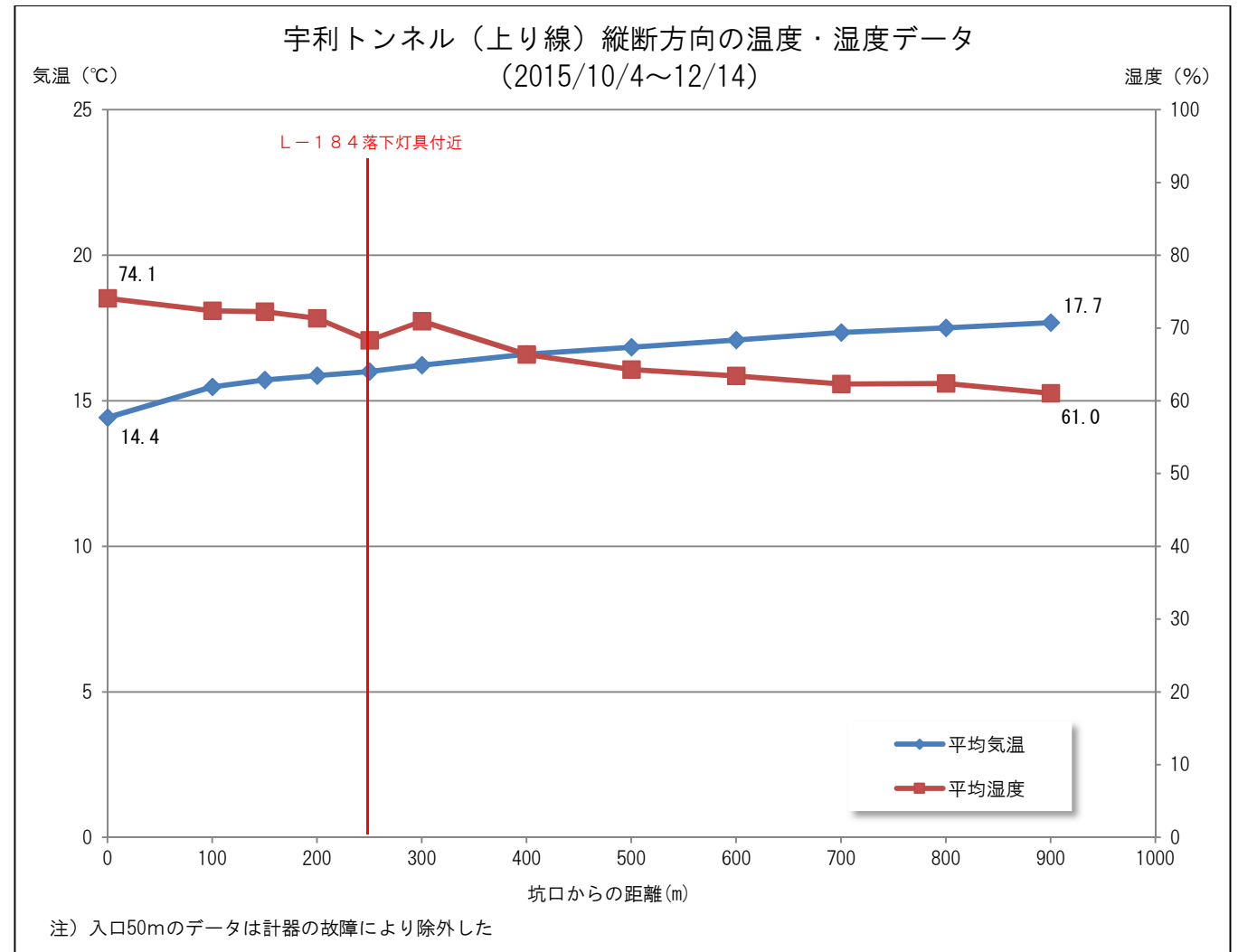


図4-3-2 宇利トンネル(上り線)縦断方向の温度・湿度データ
(2015/10/14～2015/12/14)

[トンネル縦断方向の温度・湿度の関係]

- ・宇利トンネル内部の温度の計測期間（2015/10/4～2015/12/14）中のそれぞれの計測点の平均値は、トンネル入口から出口に向い上昇していた。
- ・温度の上昇に伴い、湿度は、トンネル入口から出口に向い下降していた。

(2) 浜松気象台における平均気温と湿度（坑口温度の参考値）

浜松気象台における各月の平均気温と平均湿度、宇利トンネル内の計測値のうち坑口の計測値の期間（10/14～12/14）中の各月の平均値は表4－3－1のとおりである。11月の浜松気象台（気温15.6℃、湿度74.0％）と、宇利トンネル内の計測値（坑口）（気温14.6℃、湿度78.8％）は、ほぼ同じである。したがって、宇利トンネル内の年間の湿度の状況を浜松気象台の観測値から推定した。

表4－3－1 浜松気象台の気温と湿度の月別平均値（2015年）													[凡例]赤字：気温25℃以上または湿度75%以上
月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
平均気温[℃]	6.5	6.9	10.4	15.5	20.5	21.8	25.6	27.5	23.3	19.3	15.6	10.7	17.0
平均湿度[%]	59.5	57.6	64.4	76.2	69.2	76.8	86.9	80.0	77.7	62.9	74.0	64.2	70.8
湿度75%以上の割合[%]※	21.2	19.6	34.5	57.2	42.1	60.3	84.4	67.3	58.8	29.8	48.1	28.0	—
※ 各月の湿度値の発生時間のうち、相対湿度75%以上となる時間の割合を示す。							宇利トンネル坑口 気温[℃]	17.5	14.6	10.8	観測期間 2015/10/17 ～12/14		
							宇利トンネル坑口 湿度[%]	67.0	78.8	71.0			

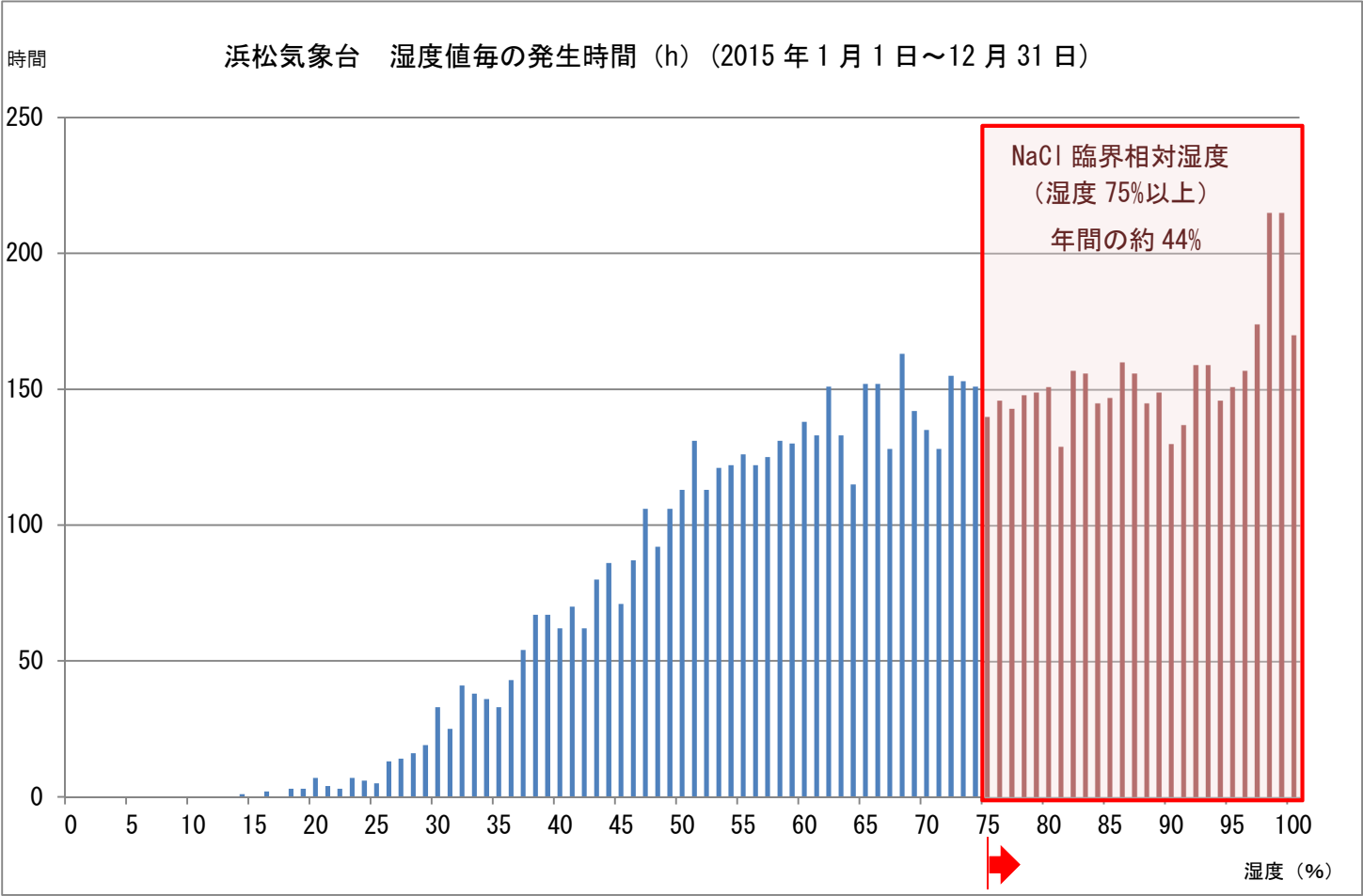


図4－3－3 湿度値毎の発生時間（h）

浜松気象台の年間の湿度観測値の湿度値毎の発生時間を図4－3－3に整理した。これによると、湿度75%以上の時間が年間の約44%あった。

また、図4－3－1より、宇利トンネル内と浜松気象台の温湿度がほぼ同じであることから、トンネル内においても、NaCl 臨界相対湿度の75%以上となる時間がかなりの頻度で出現する環境と推定される。

取付金具の残存亜鉛めっき膜厚の調査

【調査項目】

亜鉛めっき量が確認可能な取付金具について、残存亜鉛めっき膜厚を調査

【調査目的】

トンネル縦断方向の腐食環境を把握するために実施

【調査概要】

- ・ 宇利トンネル（上り線）を縦断方向に入口から 3 0 0 m までは概ね 5 0 m 間隔、3 0 0 m から出口までは概ね 1 0 0 m 間隔で調査
- ・ 加えて、落下灯具の左下の取付金具についても調査
- ・ 照明灯具の右上、右下の取付金具を切断し、さらに切欠いた部位の切断面を S E M で観察し、残存亜鉛めっき膜厚を測定

【調査結果】

- ・ 入口から約 1 5 0 m までは、亜鉛めっきの残存が確認できた
- ・ 入口から約 2 0 0 m 以降は、ほぼ亜鉛めっきは消失しており、一部で母材への錆の浸食が確認された。

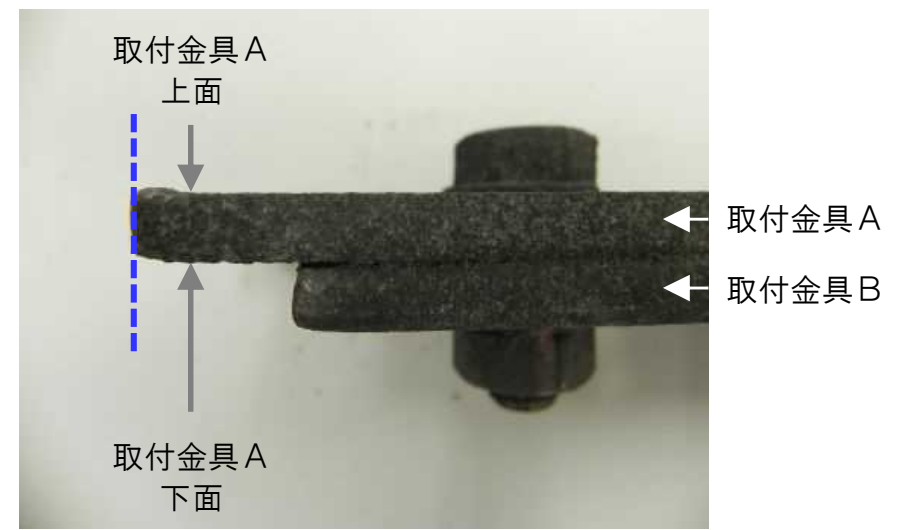
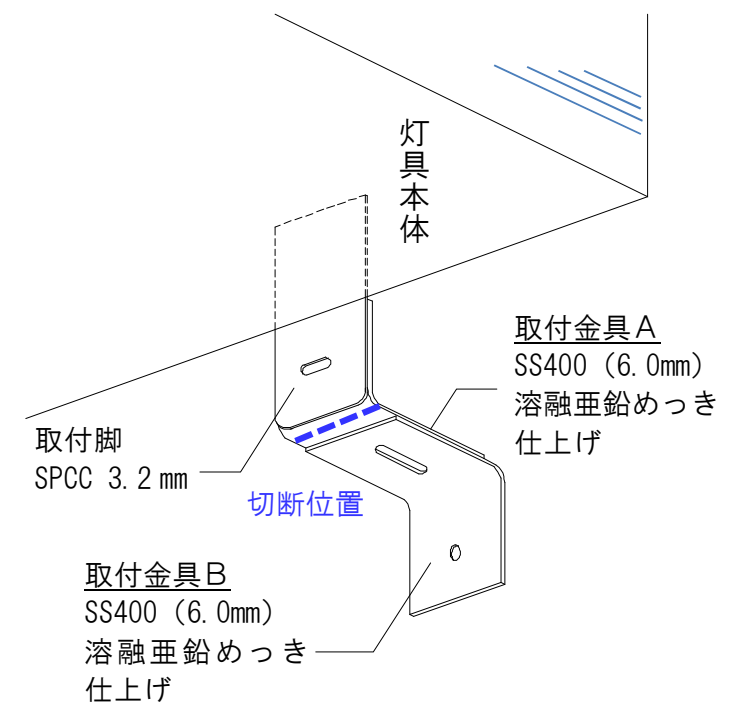
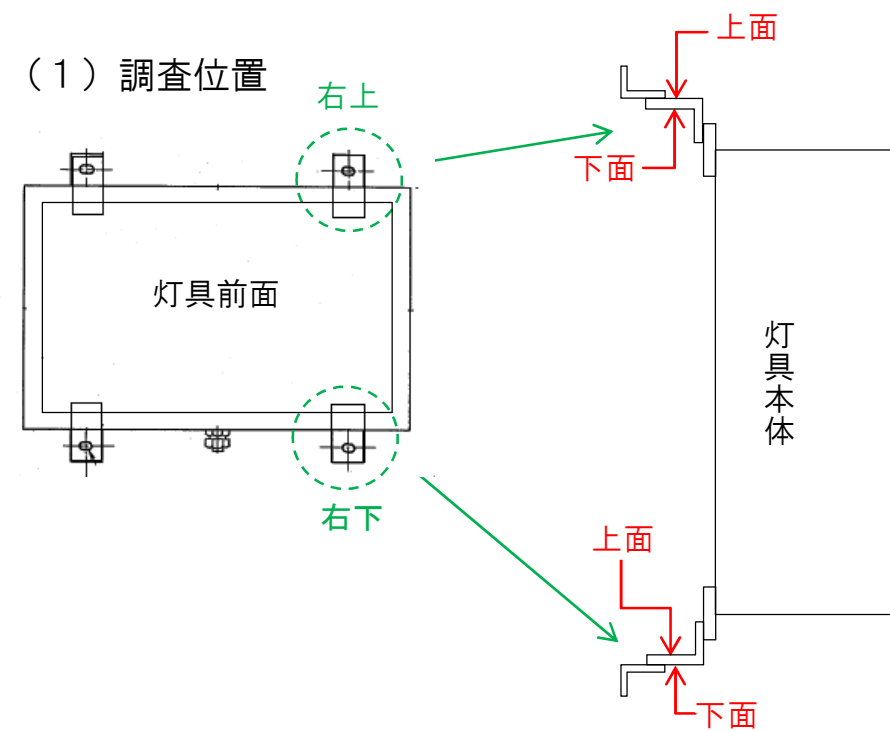
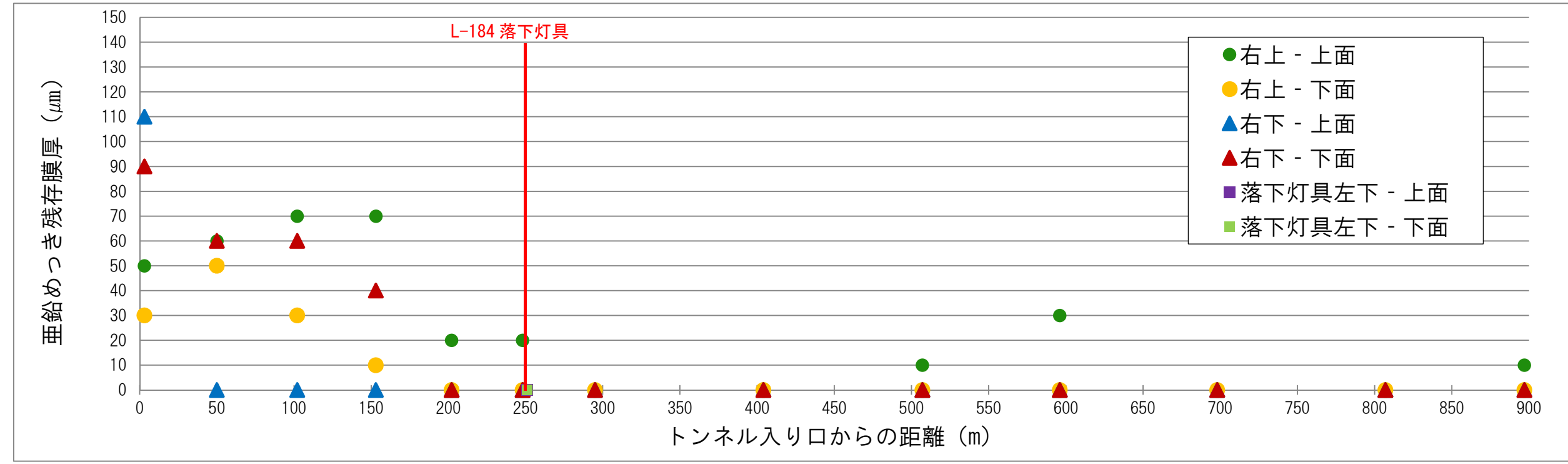


図5-1 調査位置図

(2) 調査結果

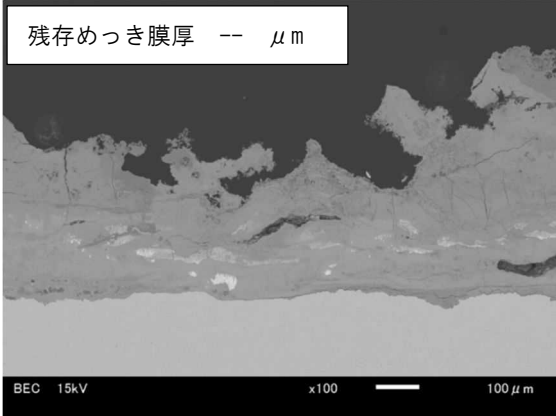
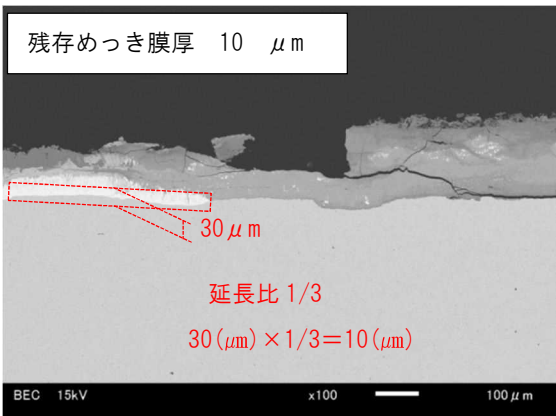
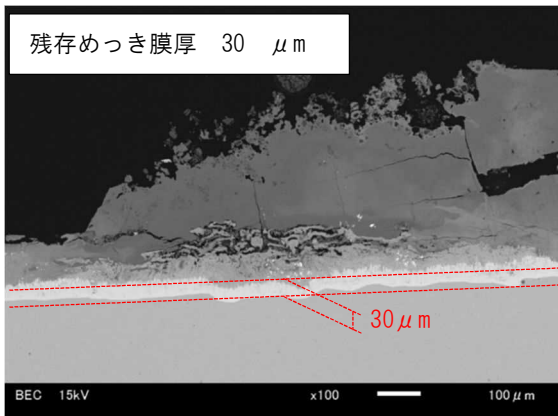
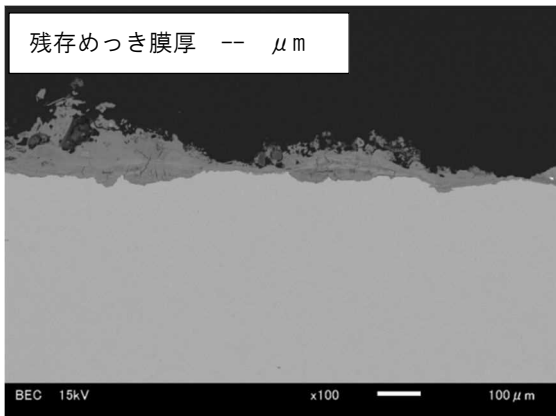
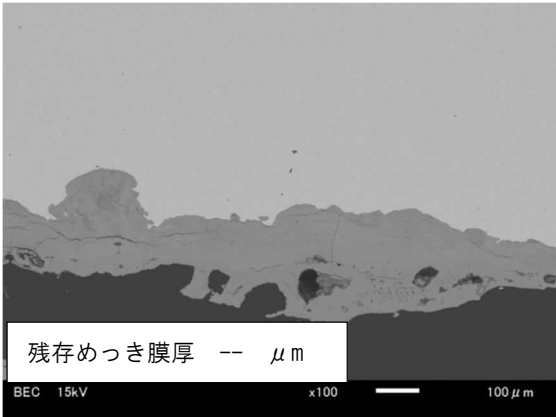
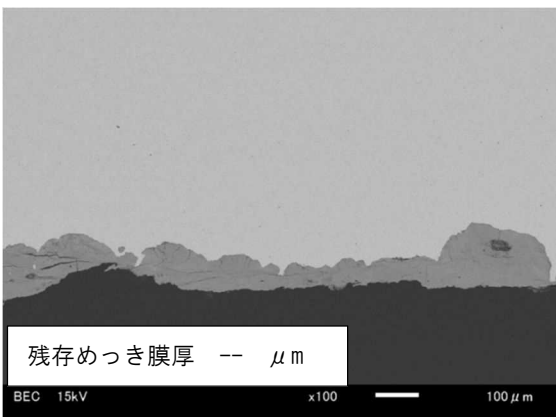
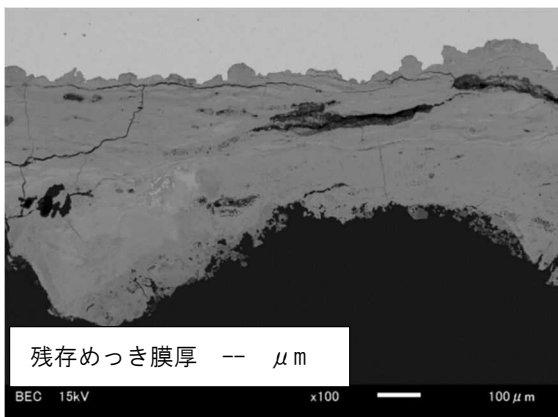
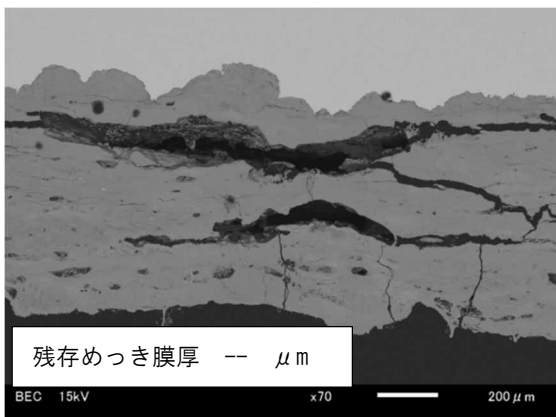
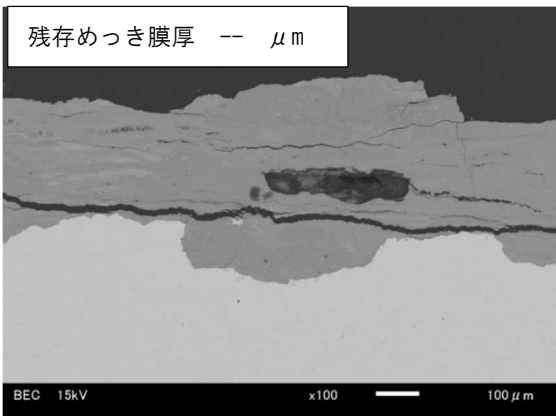
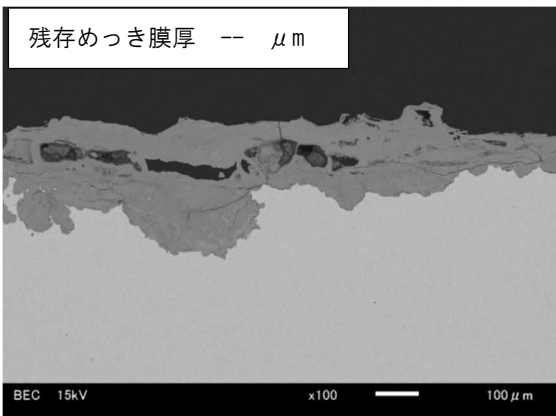
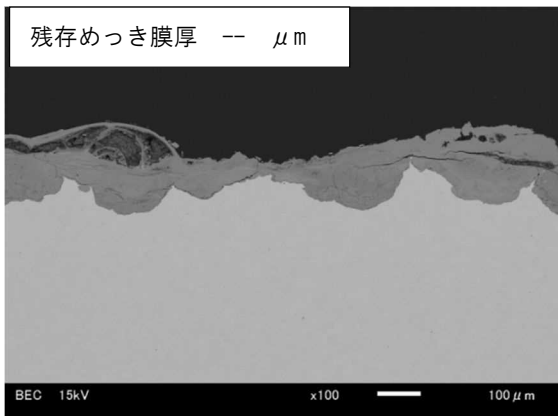
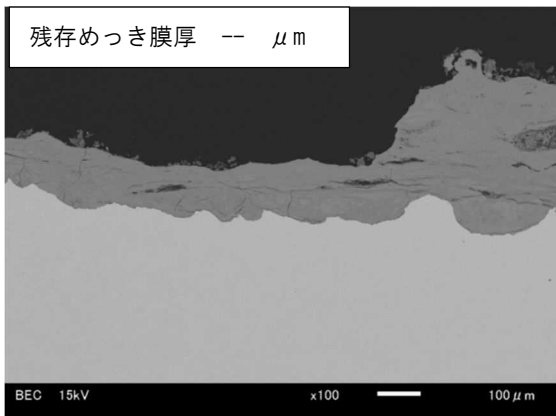
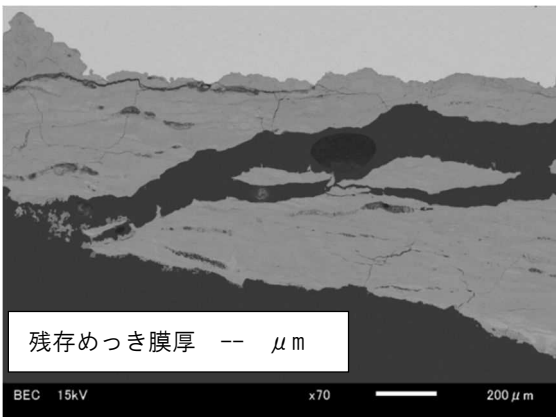
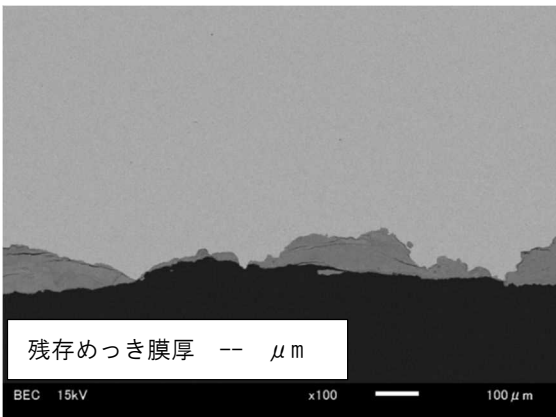
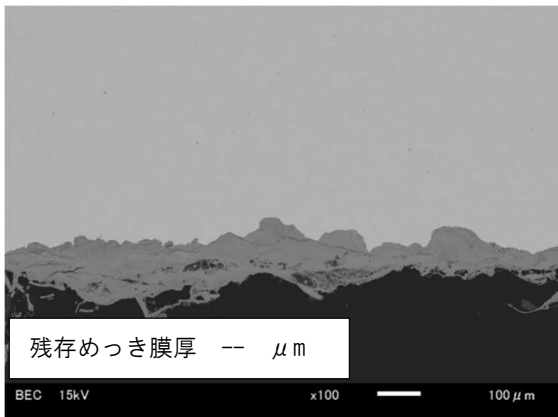


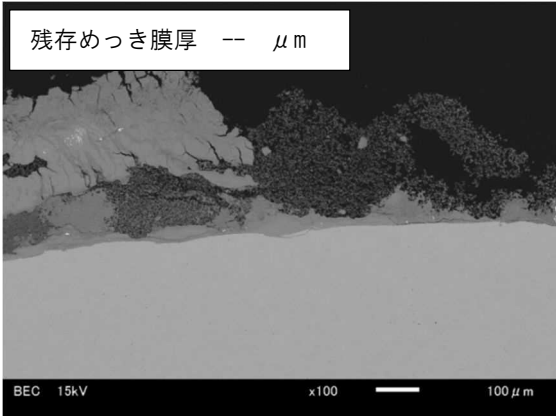
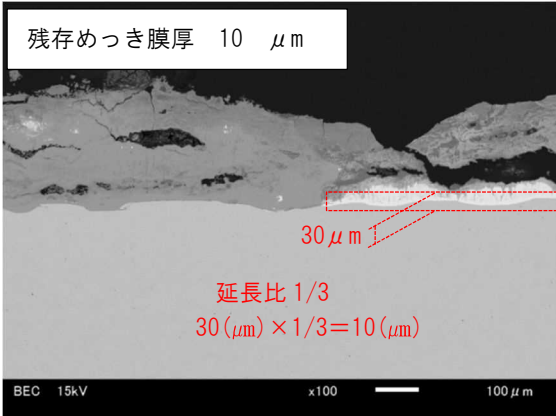
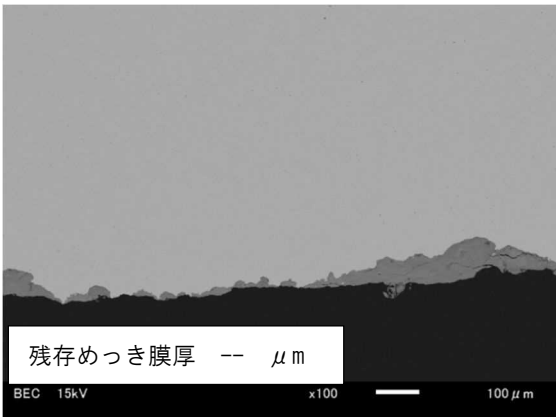
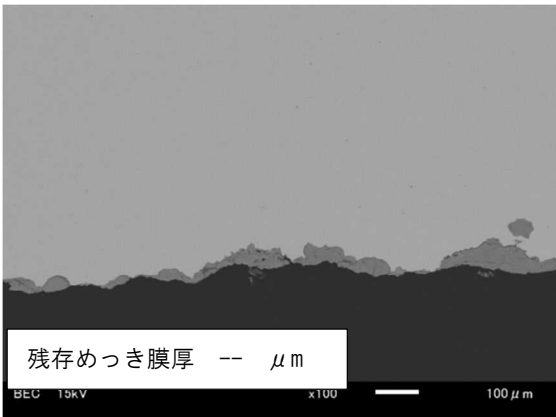
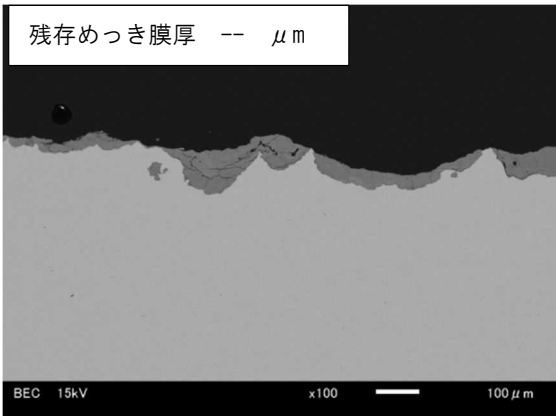
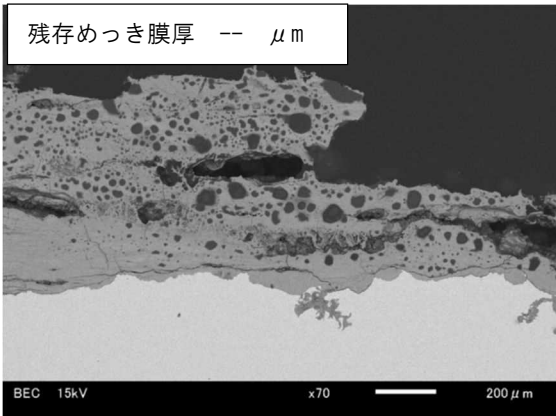
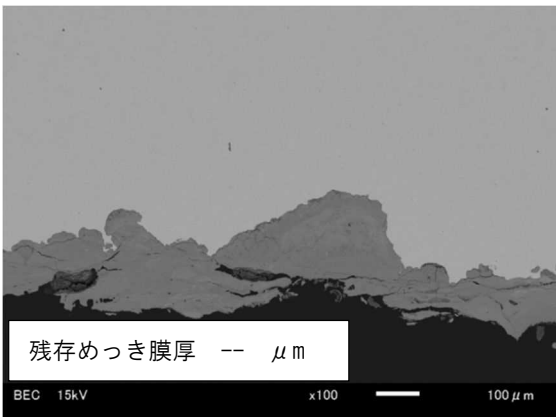
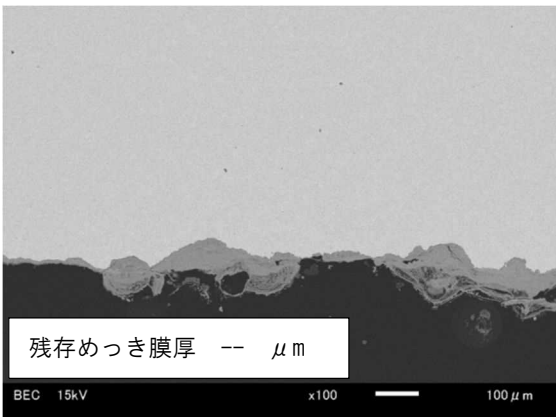
灯具番号			L-1	L-37	L-83	L-123	L-159	L-183	L-184	L-195	L-211	L-226	L-239	L-254	L-270	L-284
入り口からの距離 (m)			3	50	102	153	202	248	251	295	404	507	596	698	807	897
残存めっき 膜厚 (μm)	右上	上面	50	60	70	70	20	20	—	0	0	10	30	0	0	10
		下面	30	50	30	10	0	0	—	0	0	0	0	0	0	0
	右下 (左下)	上面	110	0	0	0	0	0	(0)	0	0	0	0	0	0	0
		下面	90	60	60	40	0	0	(0)	0	0	0	0	0	0	0

※参考
納入当時のミルシート結果より、片面の残存亜鉛めっき膜厚は 621g/m²
(Zn 密度 7.2g/cm³ で計算するとめっき厚は平均 86 μm となる)

灯具番号		L-1	L-37	L-83	L-123
入口からの距離		3m	50m	102m	153m
右 上	上面 SEM 観察				
	下面 SEM 観察				
右 下	上面 SEM 観察				
	下面 SEM 観察				

灯具番号		L-159	L-183	(参考) 落下灯具 L-184	L-195
入口からの距離		202m	248m	251m	295m
右 上	上面 SEM 観察	残存めっき膜厚 20 μm 40 μm 40 μm 延長比 1/2 $40(\mu\text{m}) \times 1/2 = 20(\mu\text{m})$ BEC 15kV x100 100 μm	残存めっき膜厚 20 μm 40 μm 40 μm 延長比 1/2 $40(\mu\text{m}) \times 1/2 = 20(\mu\text{m})$ BEC 15kV x100 100 μm		残存めっき膜厚 -- μm BEC 15kV x100 100 μm
	下面 SEM 観察	残存めっき膜厚 -- μm BEC 15kV x100 100 μm	残存めっき膜厚 -- μm BEC 15kV x100 100 μm		残存めっき膜厚 -- μm BEC 15kV x100 100 μm
右 下 (L-184については左下)	上面 SEM 観察	残存めっき膜厚 -- μm BEC 15kV x70 200 μm	残存めっき膜厚 -- μm BEC 15kV x70 200 μm	(参考) 落下灯具左下-上面 残存めっき膜厚 -- μm BEC 15kV x100 100 μm	残存めっき膜厚 -- μm BEC 15kV x100 100 μm
	下面 SEM 観察	残存めっき膜厚 -- μm BEC 15kV x100 100 μm	残存めっき膜厚 -- μm BEC 15kV x100 100 μm	(参考) 落下灯具左下-下面 残存めっき膜厚 -- μm BEC 15kV x100 100 μm	残存めっき膜厚 -- μm BEC 15kV x100 100 μm

灯具番号		L-211	L-226	L-239	L-254
入口からの距離		404m	507m	596m	698m
右上	上面 SEM 観察	 残存めっき膜厚 -- μm BEC 15kV x100 100 μm	 残存めっき膜厚 10 μm 30 μm 延長比 1/3 $30(\mu\text{m}) \times 1/3 = 10(\mu\text{m})$ BEC 15kV x100 100 μm	 残存めっき膜厚 30 μm 30 μm BEC 15kV x100 100 μm	 残存めっき膜厚 -- μm BEC 15kV x100 100 μm
	下面 SEM 観察	 残存めっき膜厚 -- μm BEC 15kV x100 100 μm	 残存めっき膜厚 -- μm BEC 15kV x100 100 μm	 残存めっき膜厚 -- μm BEC 15kV x100 100 μm	 残存めっき膜厚 -- μm BEC 15kV x70 200 μm
右下	上面 SEM 観察	 残存めっき膜厚 -- μm BEC 15kV x100 100 μm	 残存めっき膜厚 -- μm BEC 15kV x100 100 μm	 残存めっき膜厚 -- μm BEC 15kV x100 100 μm	 残存めっき膜厚 -- μm BEC 15kV x100 100 μm
	下面 SEM 観察	 残存めっき膜厚 -- μm BEC 15kV x70 200 μm	 残存めっき膜厚 -- μm BEC 15kV x100 100 μm	 残存めっき膜厚 -- μm BEC 15kV x100 100 μm	 残存めっき膜厚 -- μm BEC 15kV x100 100 μm

灯具番号		L-270	L-284		
入口からの距離		807m	897m		
右 上	上面 SEM 観察				
	下面 SEM 観察				
右 下	上面 SEM 観察				
	下面 SEM 観察				

新品サンプル灯具を用いた腐食促進試験

【調査項目】

異なる材質の照明灯具を用いた腐食促進試験を行う。

【調査目的】

落下した照明灯具と同仕様で灯具本体の材質が SECC と SPCC の 2 種類について腐食促進試験を行い、灯具本体と取付脚の合わせ部（無塗装部分）の腐食形態について比較調査を行う。

【調査概要】

- ・ 下記 2 種類のサンプルで実施した。

表 5－2－1 サンプル灯具仕様

		サンプル A	サンプル B
灯 具	灯具本体材質	SECC 1.2mm	SPCC 1.2mm
	取付脚材質	SPCC 3.2mm	SPCC 3.2mm
	塗装仕様	〈下塗り〉高濃度亜鉛末塗料 〈上塗り〉エポキシ変性メラミン樹脂塗料	〈下塗り〉特殊変性エポキシ樹脂系塗料 〈上塗り〉エポキシ変性メラミンアルキド樹脂系塗料

※サンプル A は落下した灯具と同一の塗装仕様であるが、サンプル B は製作メーカーの現状の標準塗装であるため仕様が異なった。ただし、今回の試験は無塗装部分の腐食進行度で評価するため、塗装の違いによる影響はない。

【サンプル形状】

- ・サンプルの形状は、照明灯具と取付脚のカットモデルを製作工場にて製作した。又、トンネル内の取付環境に合わせて、取付金具を取り付けた状態で試験を実施した。なお、灯具本体内側は、外気に接触しない面であるため、塩水噴霧の影響がないようコーティングを施した。

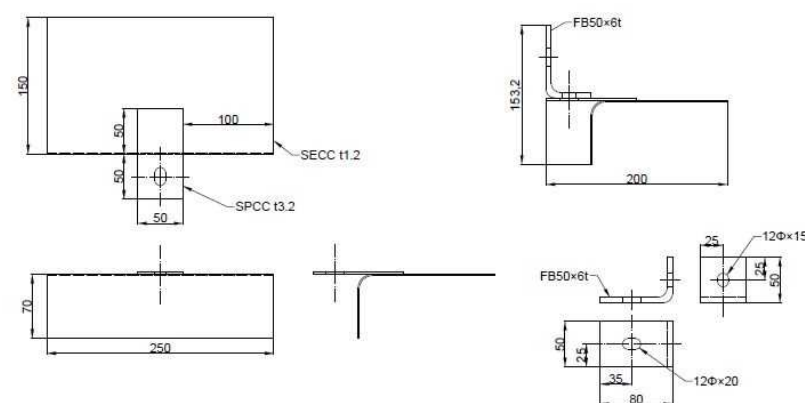


図 5-2-1 サンプルの形状

【試験機材】

1. 試験期間：平成 27 年 12 月 8 日～平成 28 年 2 月 4 日（約 2 ヶ月間）58 日（170cycle）

※想定：17cycle（136 時間）≒トンネル内環境 1 年相当、170 cycle ÷17 cycle ≒10 年相当

2. 試験方法：中性塩水噴霧サイクル試験（JIS H 8502）
3. 試験サイクル：1cycle＝8 時間（噴霧 2 時間 35℃、乾燥 4 時間 60℃、湿潤 2 時間 50℃）
4. 塩水濃度：5 % N a C l
5. 試験機：スガ試験機製 複合サイクル試験機

【サンプルの加工】

- ・クロスカット：取付脚、及び灯具本体の塗装された面については、素地の錆の進行状況を観察するために、カッターナイフで、塗装を傷つけ素地まで達する深さまで傷を入れる（※本体内面は外気にさらさないことから、クロスカットは入れない）

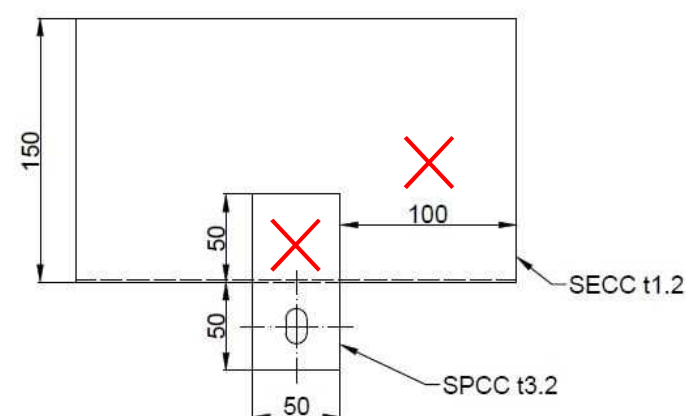


図 5-2-2 クロスカット

- ・パテ及び塗膜の除去：取付脚周囲のパテ及び塗装が劣化したことを想定して、接合面の4面すべてのパテと塗装をカッターナイフで除去した。

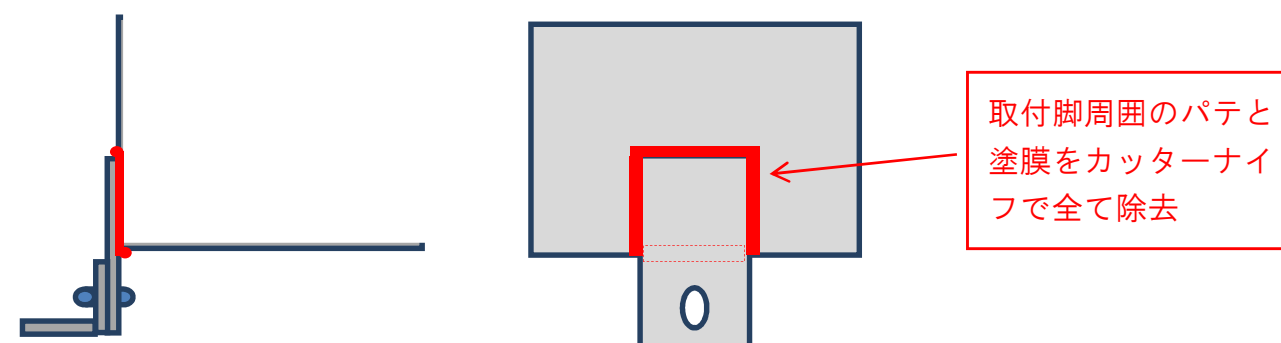


図 5-2-3 パテ、塗膜の除去

【サンプルの組み付け】

- ・サンプルは、トンネル内の設置状態に近い形で、試験機槽内に吊り下げ。



図 5-2-4 複合サイクル試験機外観



図 5-2-5 サンプルの取付

【試験結果】

- ・ サンプルAとBの取付脚の腐食進行度（板厚の初期値と試験後の測定値の差）はサンプルAが0.046mm、サンプルBが0.068mmと大差がない。
- ・ サンプルAの灯具本体の腐食進行度は、サンプルBの0.104mmと比べ、0.010mmと極めて小さい。

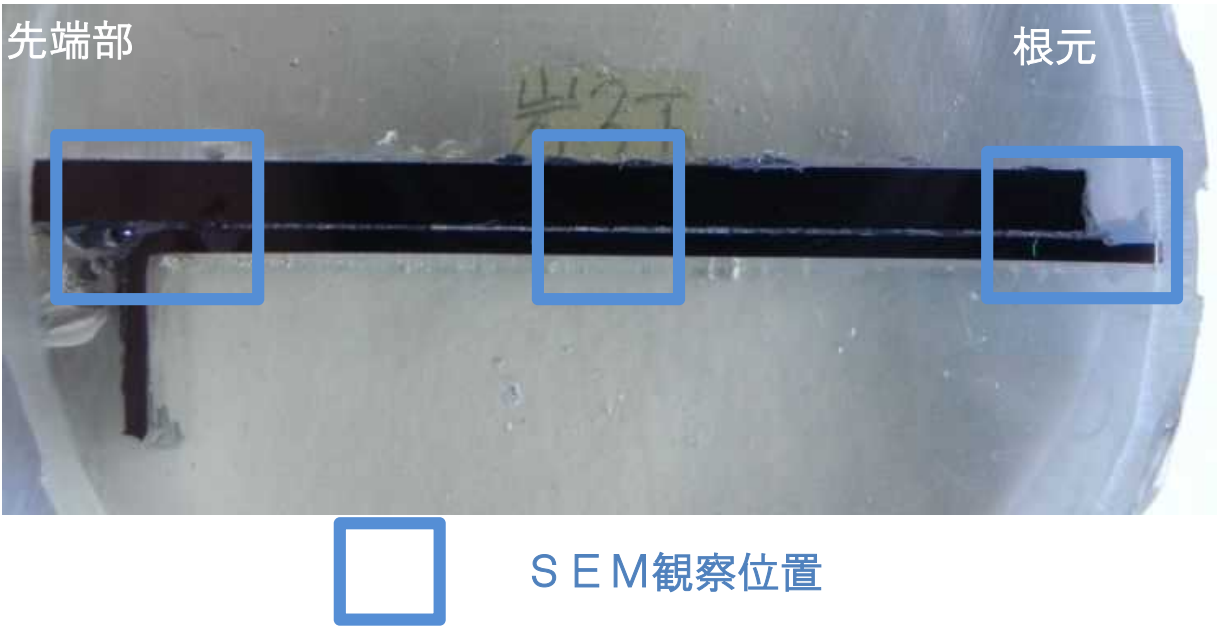
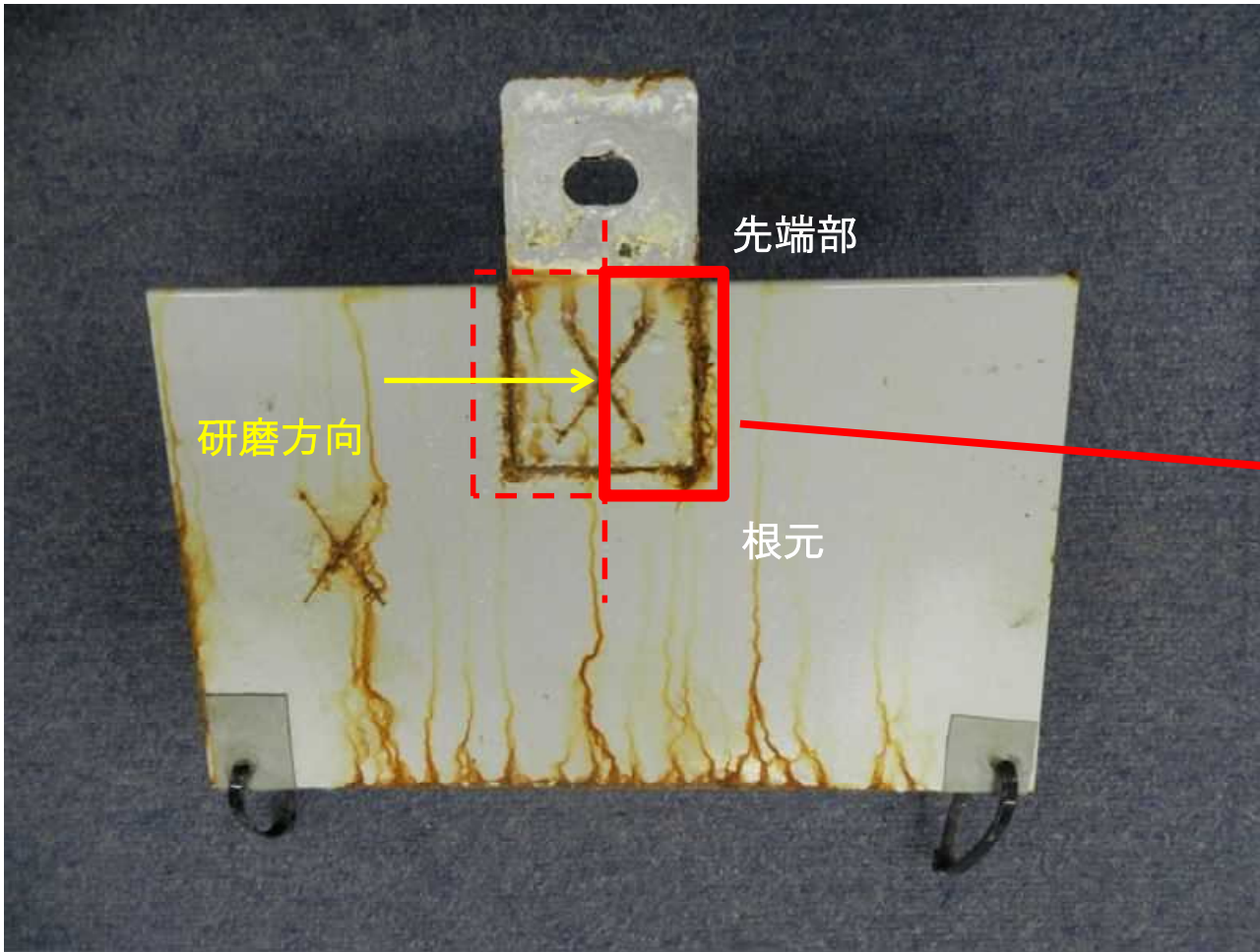
部位	サンプル (材質)	測定結果	先端部	中央部 基準値	根元部
取付脚	A (SPCC)	測定値 (mm)	3.068	3.174	3.128
		腐食進行度 (mm)	0.106	—	<u>0.046</u>
	B (SPCC)	測定値 (mm)	3.254	3.324	3.256
		腐食進行度 (mm)	0.070	—	<u>0.068</u>
灯具本体	A (SECC)	測定値 (mm)	—	1.226	1.216
		腐食進行度 (mm)	—	—	<u>0.010</u>
	B (SPCC)	測定値 (mm)		1.234	1.130
		腐食進行度 (mm)		—	<u>0.104</u>

【注意事項】

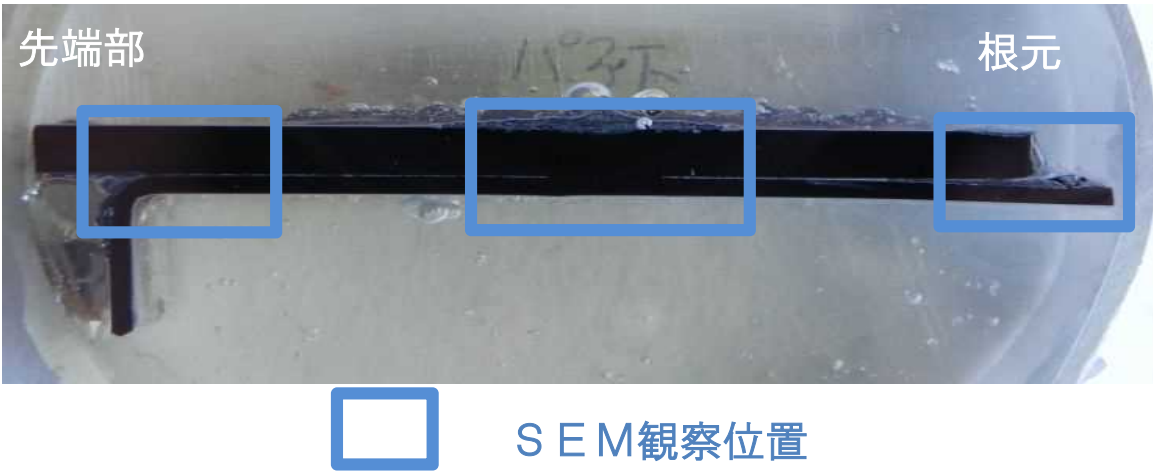
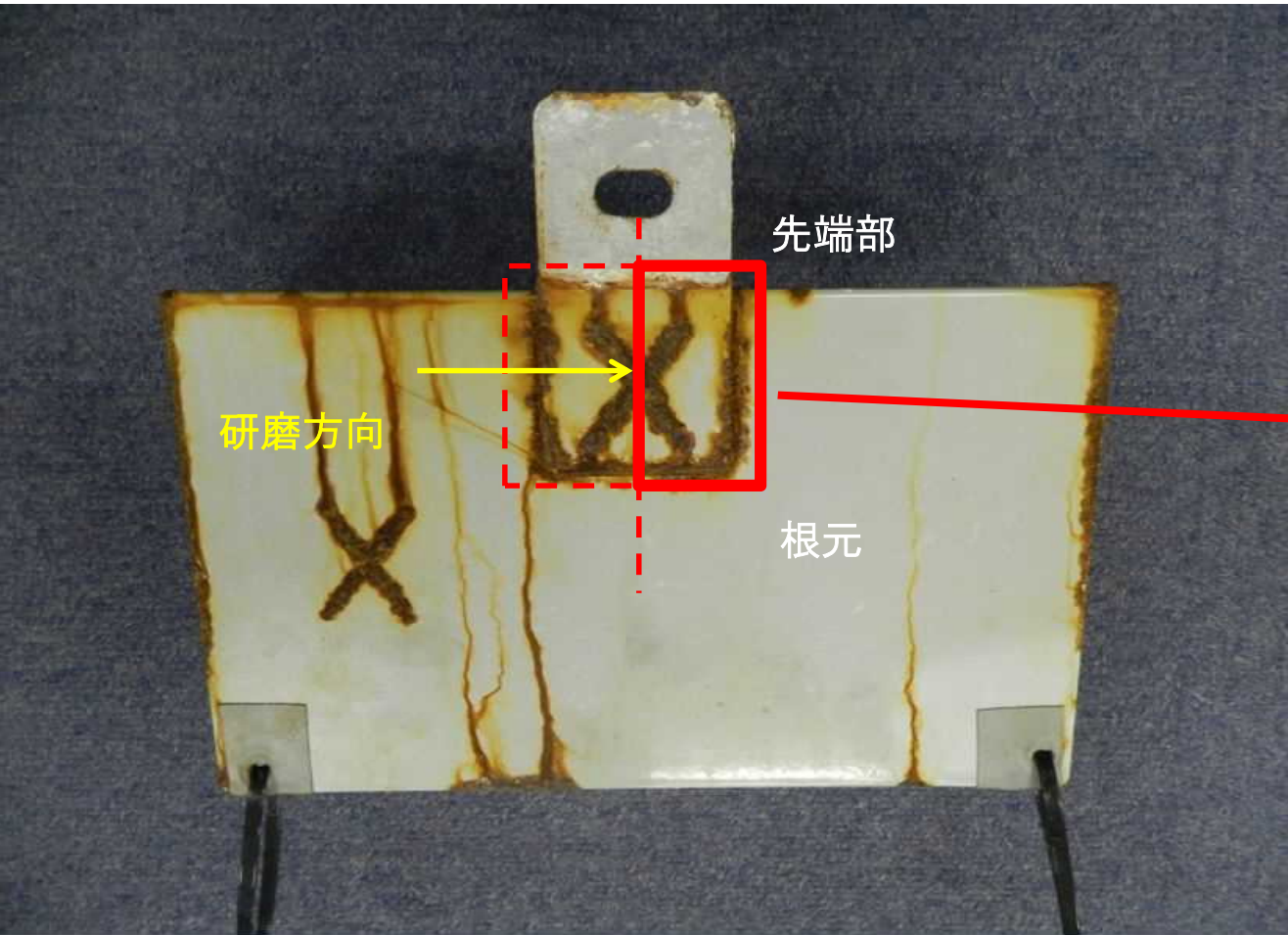
- ・ 取付脚と灯具本体の合わせ部（内側未塗装箇所）で対向する取付脚と灯具本体の鉄部の厚さを測定
- ・ 灯具本体の内側はコーティングされていること、取付脚の外面側は塗装が施されていることから、いずれも内側からのみ腐食が進行（取付脚の外面側（塗装面）に部分的に発錆が見られるため、測長時には発生箇所を避けた位置で測長）
- ・ 腐食進行値の算定にあたっては、素材（SPCC）の厚さの許容差が板幅により±0.16～±0.20ある（JIS G 3141）ことから、この影響を除くため、中央部の測定値を初期値とした。
- ・ 中央部の測長結果は初期値として使用したこと、先端部は曲げ加工されており正確な測長ができないことから、誤差となる要因の少ない根元部で比較した。

【促進試験の状況】

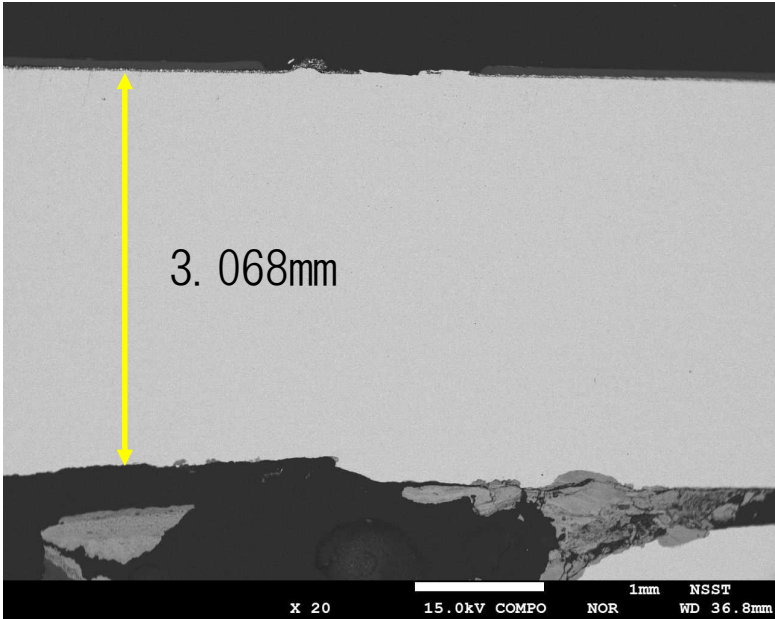
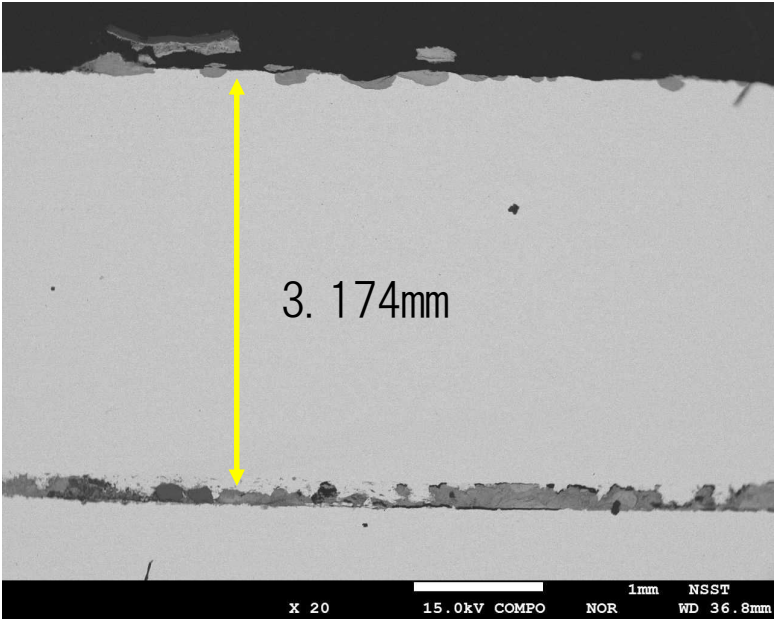
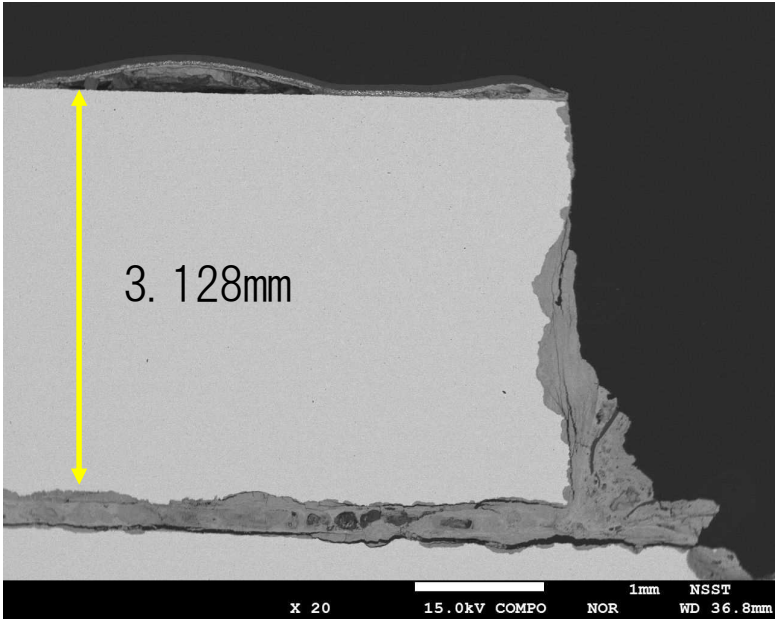
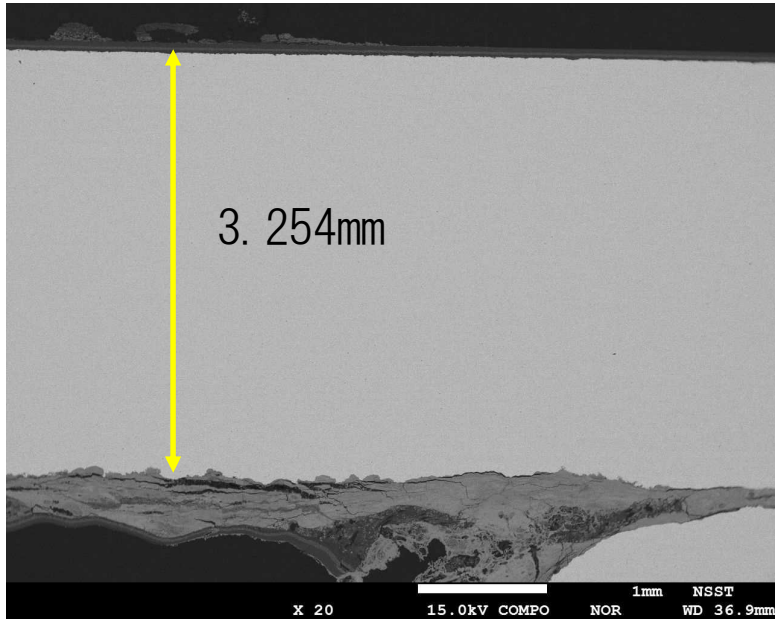
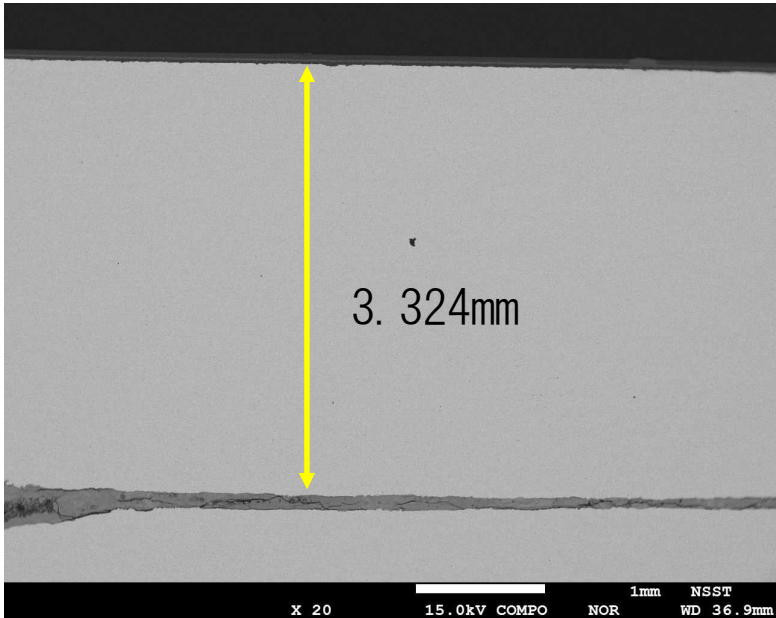
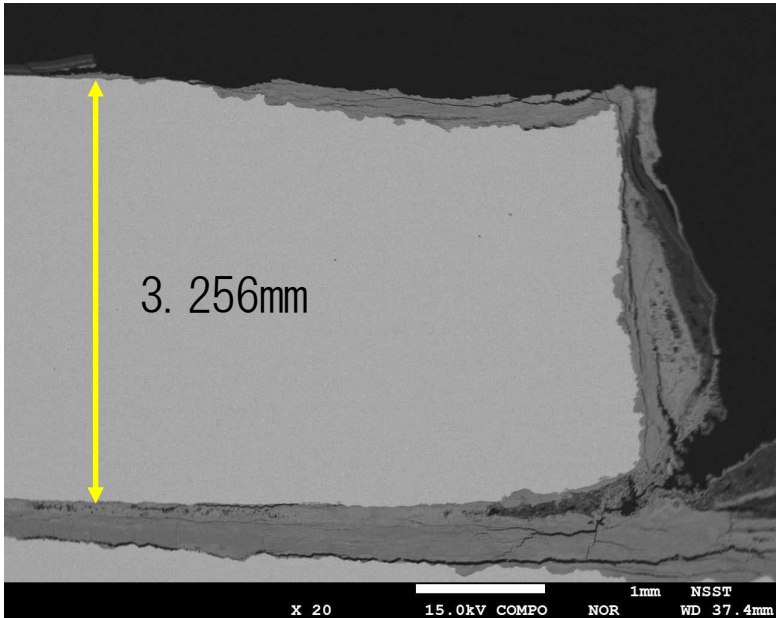
サンプル	当初	47 サイクル	90 サイクル	170 サイクル
A 取付脚：SPCC 灯具本体：SECC				



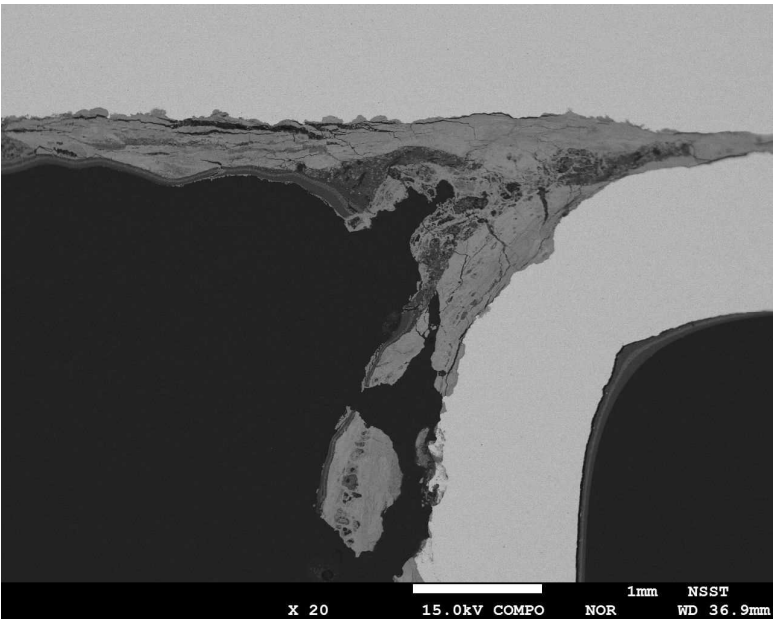
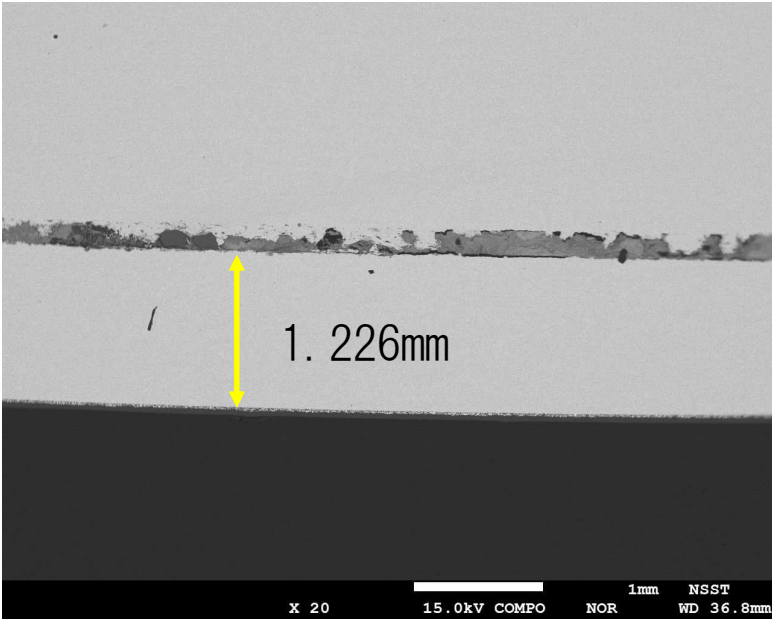
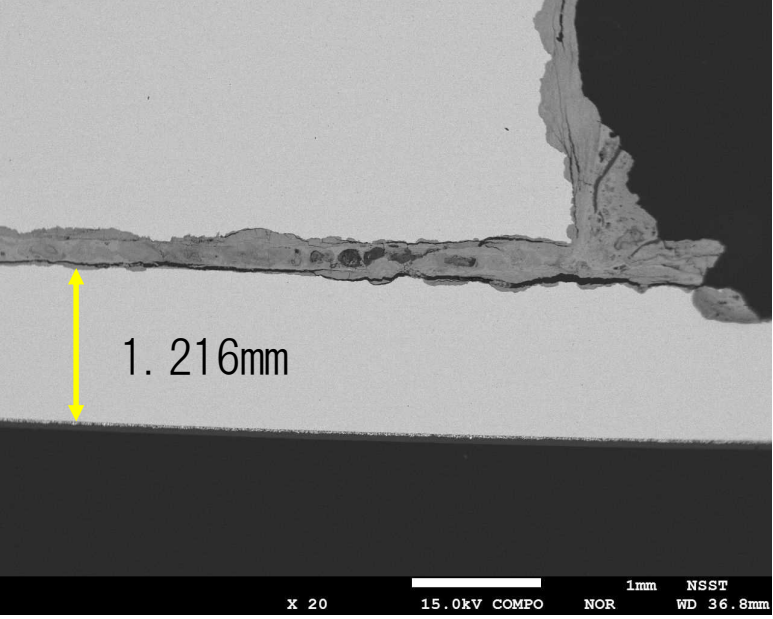
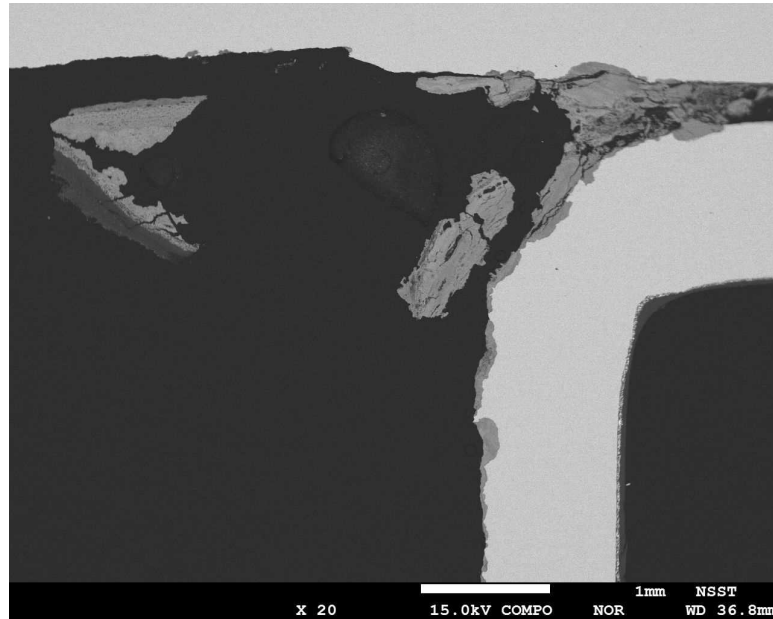
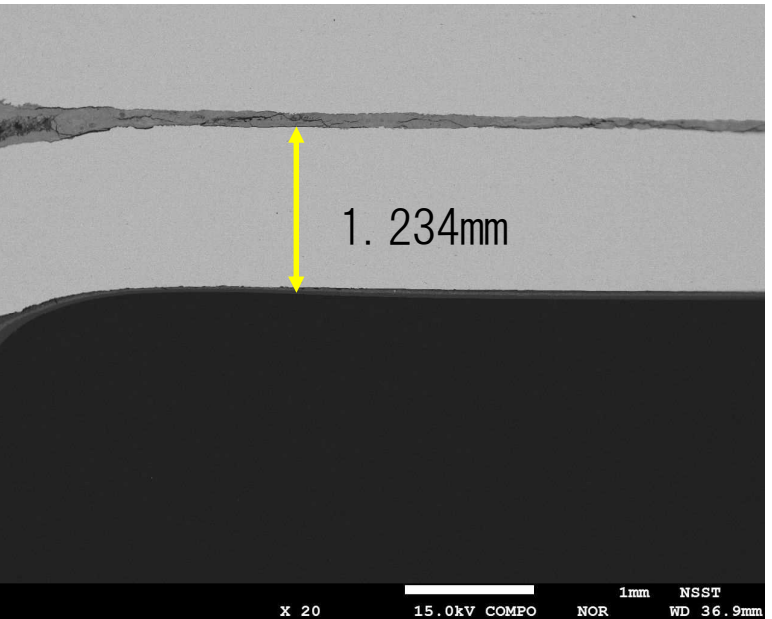
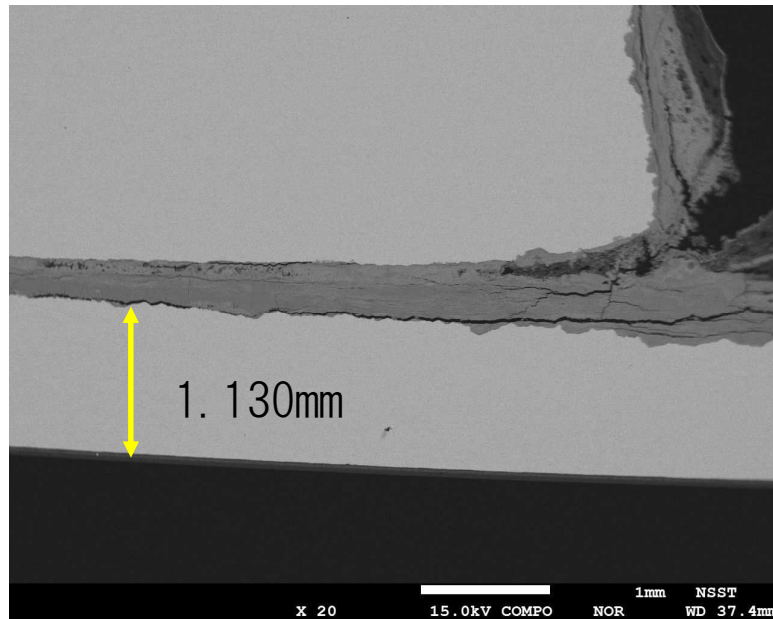
サンプル	当初	47 サイクル	90 サイクル	170 サイクル
B 取付脚：SPCC 灯具本体：SPCC				



【計測結果】（取付脚側）

	先端部	中央部	根元部
サンプル A 取付脚 SPCC 灯具本体 SECC	 3.068mm 【測長】10箇所平均：3.068mm 3.16 3.10 3.04 3.02 3.04 3.00 3.00 3.12 3.14 3.06	 3.174mm 【測長】10箇所平均：3.174mm 3.18 3.22 3.24 3.26 3.24 3.08 3.12 3.12 3.16 3.12	 3.128mm 【測長】10箇所平均：3.128mm 3.14 3.08 3.12 3.18 3.08 3.14 3.14 3.14 3.14 3.12
サンプル B 取付脚 SPCC 灯具本体 SPCC	 3.254mm 【測長】10箇所平均：3.254mm 3.28 3.28 3.26 3.20 3.26 3.18 3.28 3.24 3.26 3.30	 3.324mm 【測長】10箇所平均：3.324mm 3.34 3.30 3.32 3.32 3.34 3.32 3.32 3.34 3.32 3.32	 3.256mm 【測長】10箇所平均：3.256mm 3.26 3.26 3.26 3.26 3.24 3.24 3.26 3.24 3.28 3.26

【計測結果】（灯具本体側）

	先端部	中央部	根元部
サンプル A 取付脚 SPCC 灯具本体 SECC	 1mm NSST X 20 15.0kV COMPO NOR WD 36.9mm 【曲げ加工部分のため測長せず】 発錆の状況を確認するために提示	 1mm NSST X 20 15.0kV COMPO NOR WD 36.8mm 1. 226mm 【測長】10箇所平均：1. 226mm 1. 22 1. 22 1. 22 1. 22 1. 22 1. 24 1. 24 1. 24 1. 22 1. 22	 1mm NSST X 20 15.0kV COMPO NOR WD 36.8mm 1. 216mm 【測長】10箇所平均：1. 216mm 1. 20 1. 20 1. 22 1. 24 1. 22 1. 22 1. 22 1. 20 1. 24 1. 20
サンプル B 取付脚 SPCC 灯具本体 SPCC	 1mm NSST X 20 15.0kV COMPO NOR WD 36.8mm 【曲げ加工部分のため測長せず】 発錆の状況を確認するために提示	 1mm NSST X 20 15.0kV COMPO NOR WD 36.9mm 1. 234mm 【測長】10箇所平均：1. 234mm 1. 24 1. 22 1. 22 1. 22 1. 24 1. 24 1. 24 1. 24 1. 24 1. 24	 1mm NSST X 20 15.0kV COMPO NOR WD 37.4mm 1. 130mm 【測長】10箇所平均：1. 130mm 1. 16 1. 16 1. 18 1. 14 1. 10 1. 12 1. 12 1. 10 1. 14 1. 08

金属疲労痕の調査

【調査項目】

金属疲労痕の調査

【調査目的】

落下した照明灯具の取付脚（左下脚）における取付金具側の破断面について、腐食疲労や取付脚破断の最終段階での疲労破壊の可能性を確認するため観察

【調査概要】

- ・ 落下した照明灯具の取付金具側に残っていた取付脚を取付金具から取り外し、破断面を S E M（走査型電子顕微鏡）により観察
- ・ 加えて、入口付近及び落下した照明灯具に隣接した灯具も調査

【調査結果】

■ 落下灯具

- ・ 破断面付近の大半はナイフエッジ状となっており、腐食減肉により鉄部がほとんどない状態であった。
- ・ 破面様相はディンプル（穴ぼこ状の模様）が観察され、延性破壊（破壊するまでに大きな塑性変形を伴うのが特徴で、比較的伸びの大きい金属材料に過大な荷重を加えて破断させると見られる破壊形態）の様相を呈しており、この破断面からは疲労破面の様相は見られなかった。

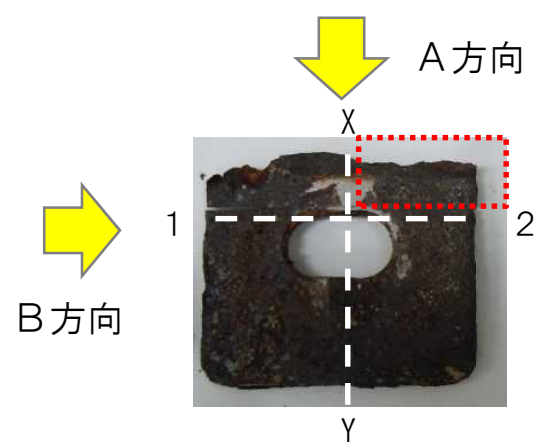


図 6-1-1 取り外した取付脚

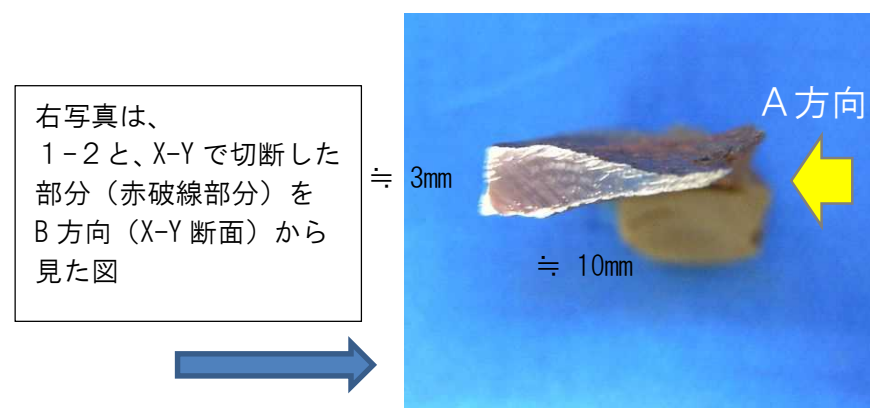


図 6-1-2 B方向から見た X-Y 断面

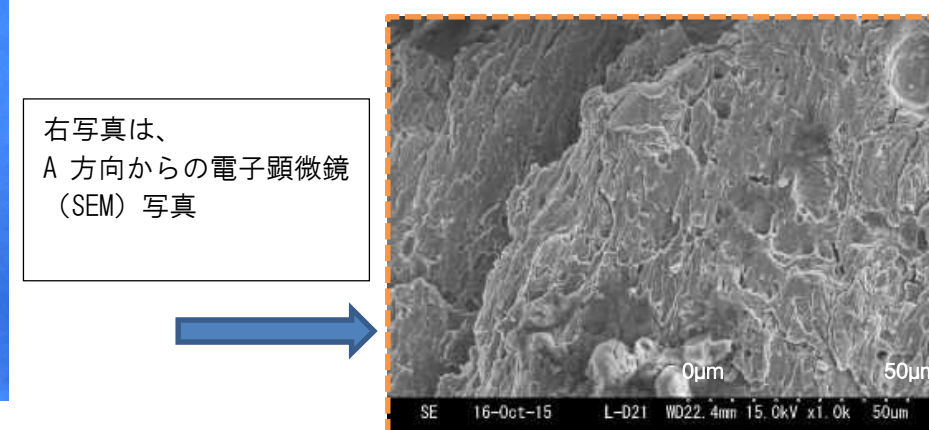


図 6-1-3 破断面の SEM 拡大写真

- 入り口付近及び落下した照明灯具に隣接した灯具にも、疲労痕跡は確認されなかった

(1) 金属疲労痕の調査状況（落下灯具L 1 8 4）

1) 全体観察

【右上】

- ・ボルトナットを外し、取付脚破断面の観察を行うため、破断面付近を平行に切断した後、さらに、垂直方向に切断し、SEMによる観察を行ったが、破面様相は認められず、ナイフエッジであった



図 6-1-4 取付金具側の取付脚破断面（右上）



図 6-1-5 取付金具側の取付脚破断面（左上）

←取付金具
← 取付脚

【左上】※右下と同様

- ・ボルトナットを外し、取付脚破断面の観察を行うため、破断面付近を平行に切断した段階で、表層が崩壊
- ・崩壊した層は黒色で、組織観察や硬さ測定もできないほど脆いため、腐食層と思われる、観察可能な破面は残っていなかった

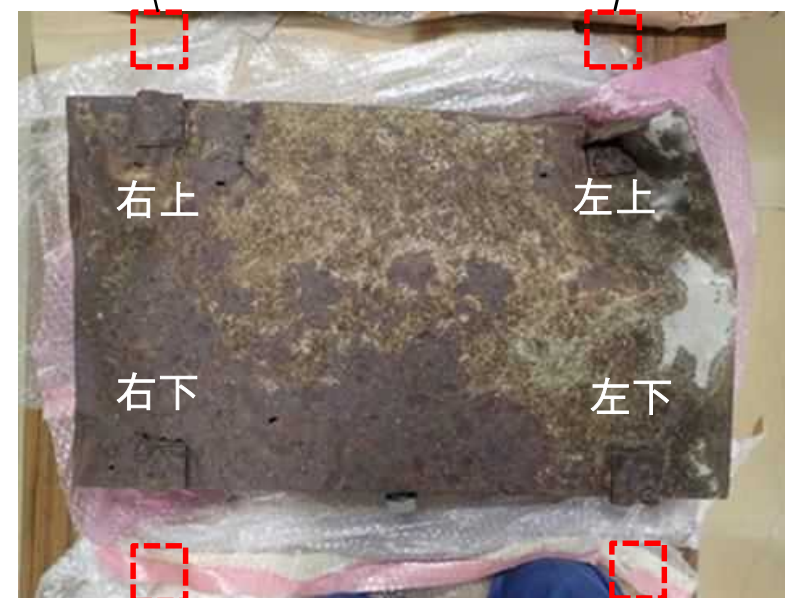


図 6-1-6 照明灯具裏面(L184)

【右下】※左上と同様

- ・ボルトナットを外し、取付脚破断面の観察を行うため、破断面付近を平行に切断した段階で、表層が崩壊
- ・崩壊した層は黒色で、組織観察や硬さ測定もできないほど脆いため、腐食層と思われる、観察可能な破面は残っていなかった



図 6-1-7 取付金具側の取付脚破断面（右下）



図 6-1-8 取付金具側の取付脚破断面（左下）

← 取付脚
←取付金具



図 6-1-9 取付金具から取り外した取付脚
取付金具との接触面を表す
(左下)

※周りの残骸は表面が塗装割れしたもの

2) 落下灯具L 1 8 4 <左下> S E M観察

- ・破面付近の大半はナイフエッジであったが、b部付近では破面様相が残っていた
- ・b部の様相はディンプル（延性破壊）の様相を呈しており、疲労破面の様相は認められなかった

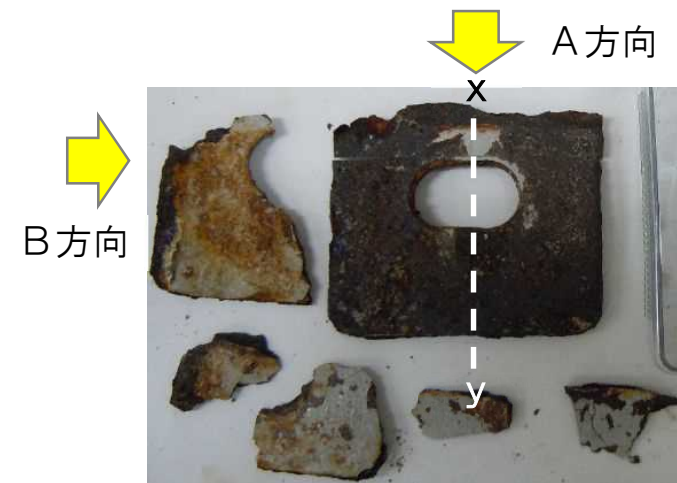


図 6-1-10 取付金具から取り外した取付脚
取付金具との接触面を表す
※周りの残骸は表面が塗装割れしたもの

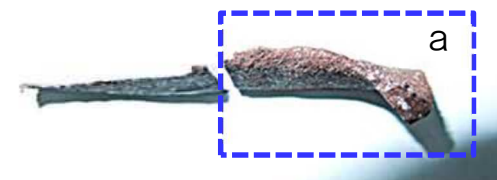


図 6-1-11 A方向（破断面）

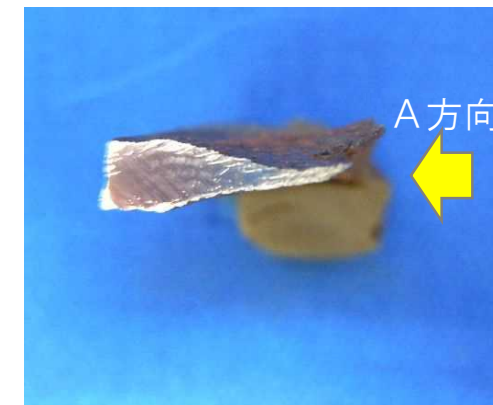


図 6-1-12 B方向から見たx-y断面

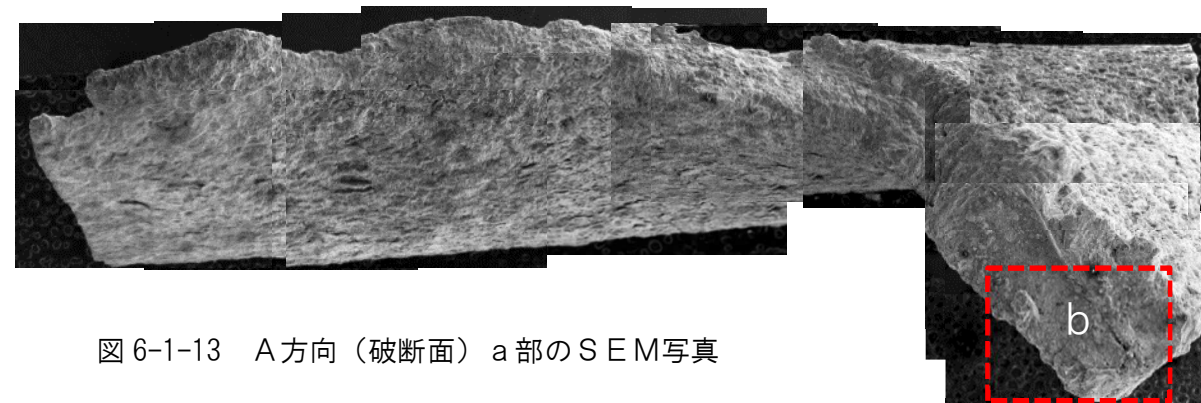


図 6-1-13 A方向（破断面）a部のS E M写真

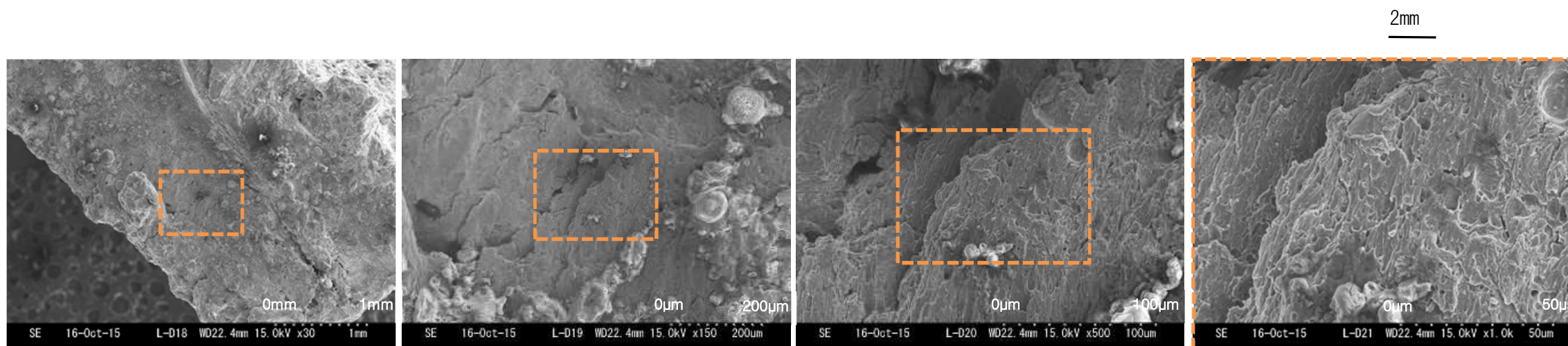


図 6-1-14 b部のS E M拡大写真

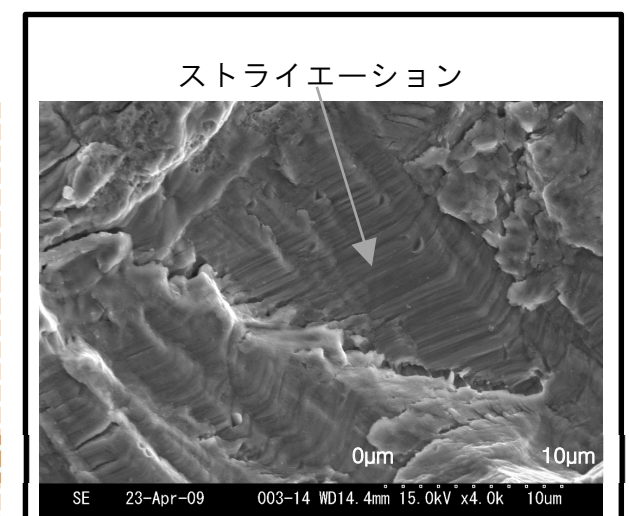


図 6-1-15

【参考】寿命末期の疲労破面に見られる様相

3) 入口付近撤去灯具R1 <左上> SEM観察

- ・ L-184 照明灯具の取付脚破断箇所と同一付近を垂直方向に切断した(図 6-1-17)
- ・ 切断面は金属光沢を呈し、L-184 に比べて表面層の崩壊も小さかった
- ・ X2-y2断面については、疲労によるき裂の兆候は見られなかった(図 6-1-19)

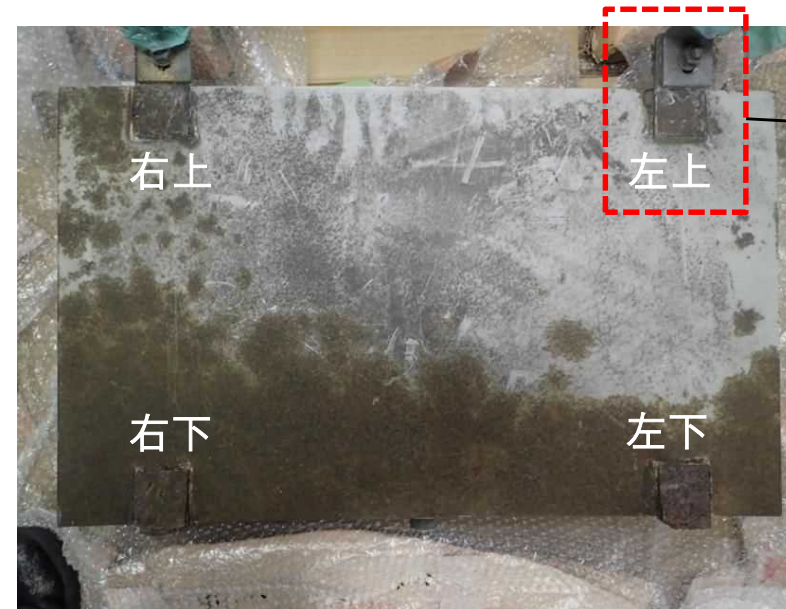


図 6-1-16 照明灯具裏面 (R1)

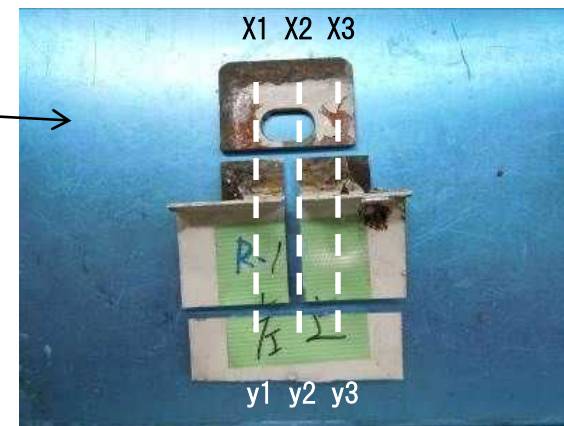


図 6-1-17
照明灯具本体から切り取った左上取付脚

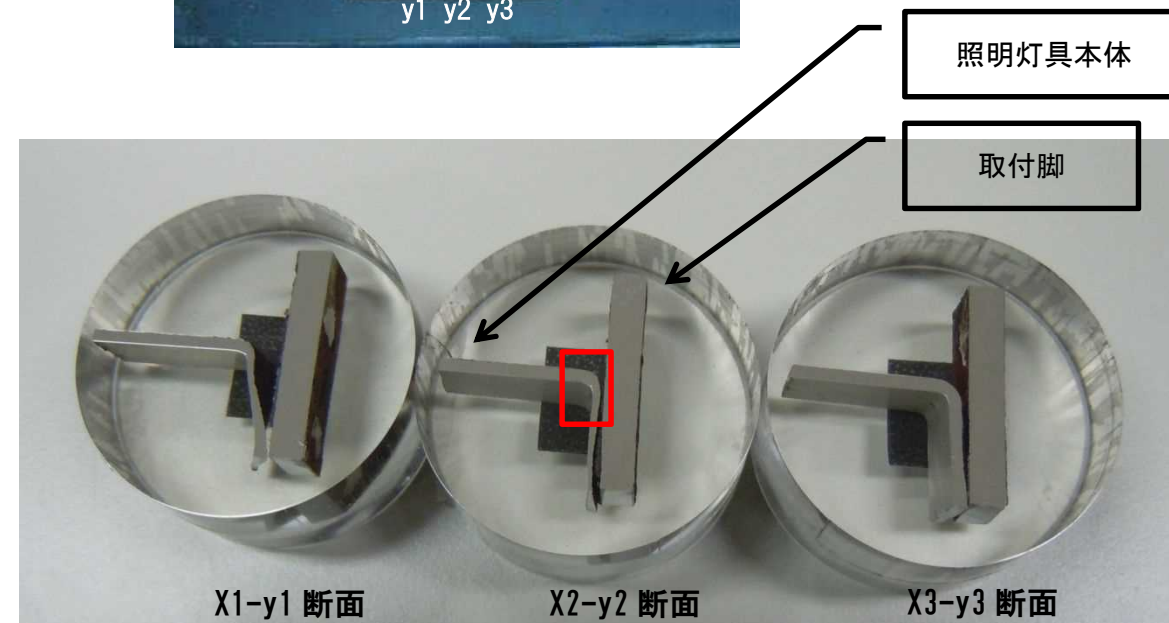


図 6-1-18
取付脚の切断面の状況
(R1)

SEM写真

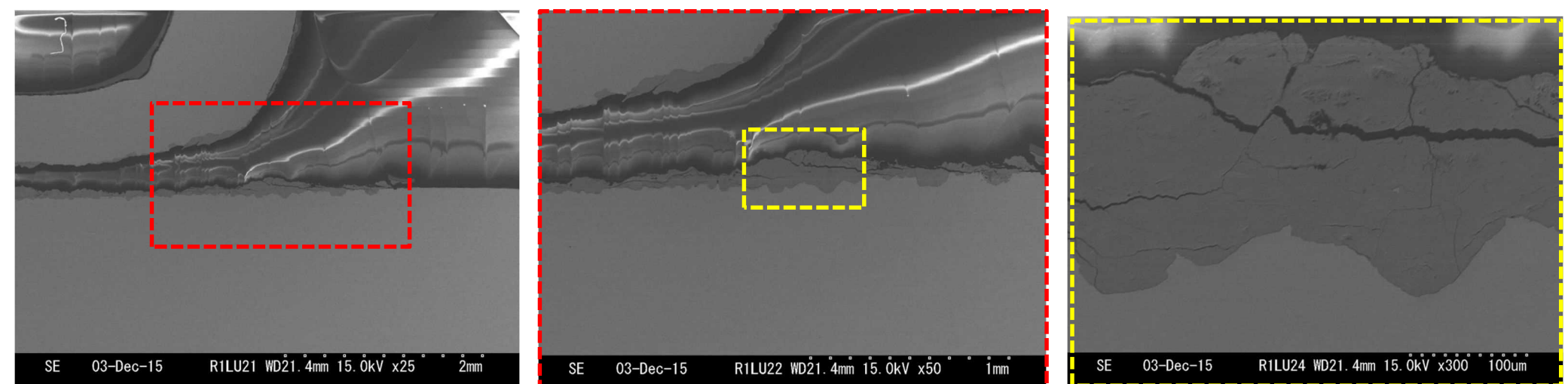


図 6-1-19 X2-y2断面研磨後SEM拡大写真 (※X1-y1 及び X3-y3断面も同様であった)

4) 落下した照明灯具に隣接した撤去灯具 L 1 8 3 <右下> S E M観察

- ・ X 3 - y 3 断面について、疲労によるき裂の兆候は見られなかった(図 6-1-23)



図 6-1-20 照明灯具裏面 (L183)

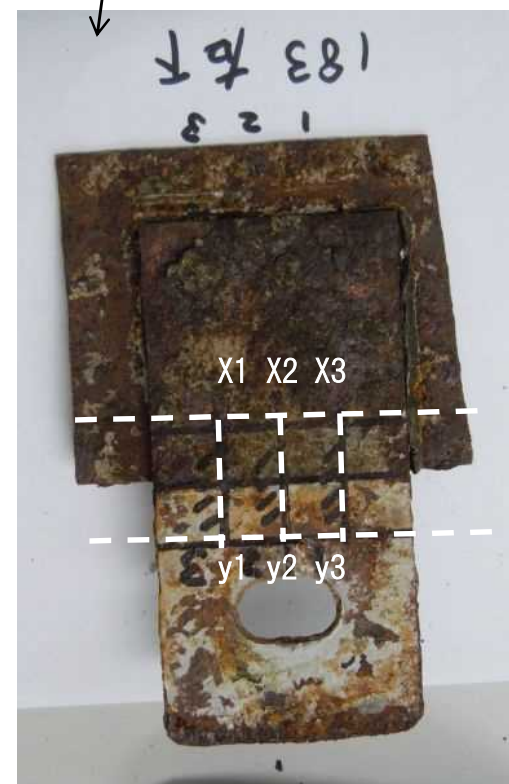


図 6-1-22 照明灯具本体から切り取った右下取付脚

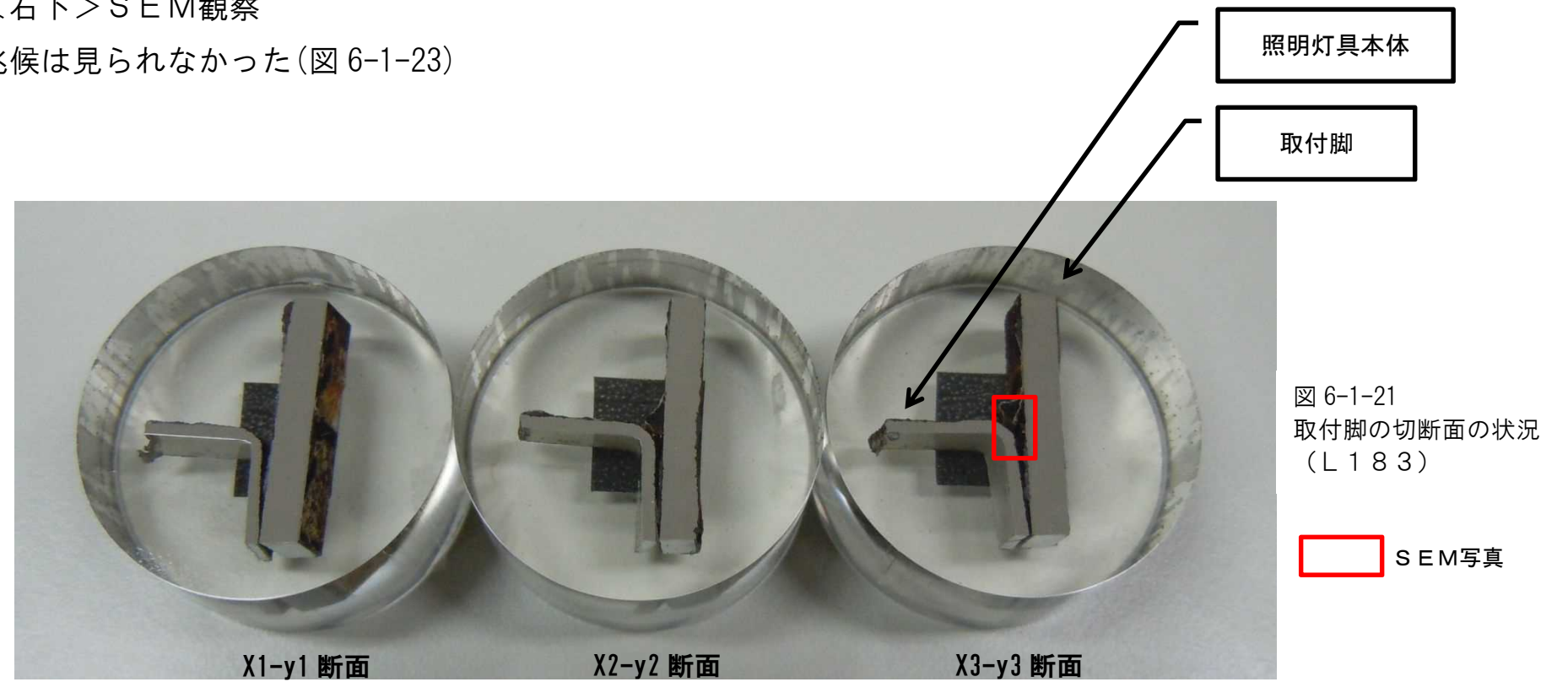


図 6-1-21
取付脚の切断面の状況
(L 1 8 3)

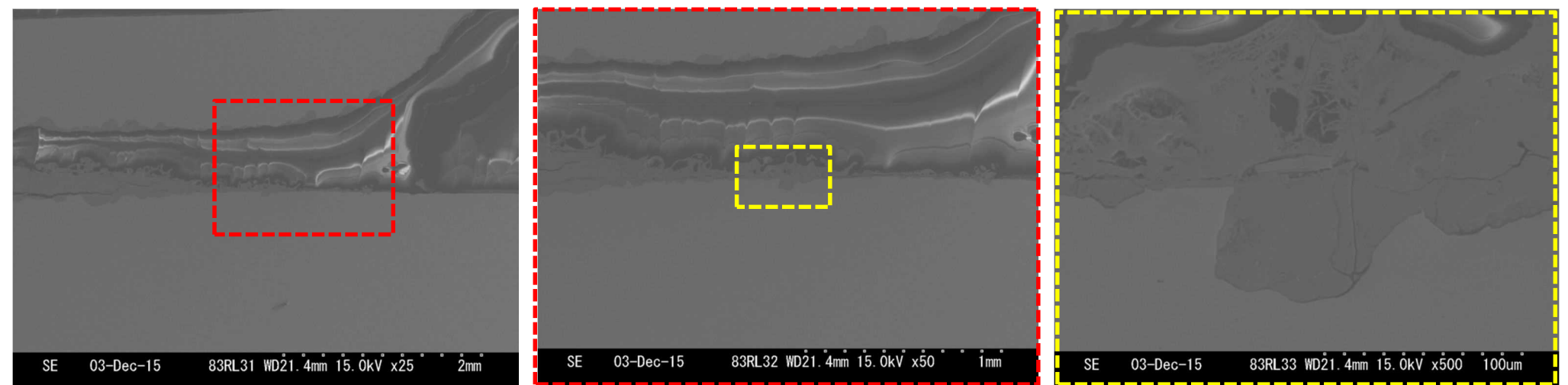


図 6-1-23 X3-y3 断面研磨後 S E M拡大写真 (※X1-y1 及び X2-y2 断面も同様であった)

落下照明灯具 F E M 解析

【解析目的】

落下照明灯具取付脚の破断落下に至るメカニズムを推定するために、落下照明灯具モデルを再現し、その自重（18.5 kg）により取付脚に発生する応力について、取付脚腐食減肉（4箇所均等に減肉）の段階毎に F E M 解析により再現した。

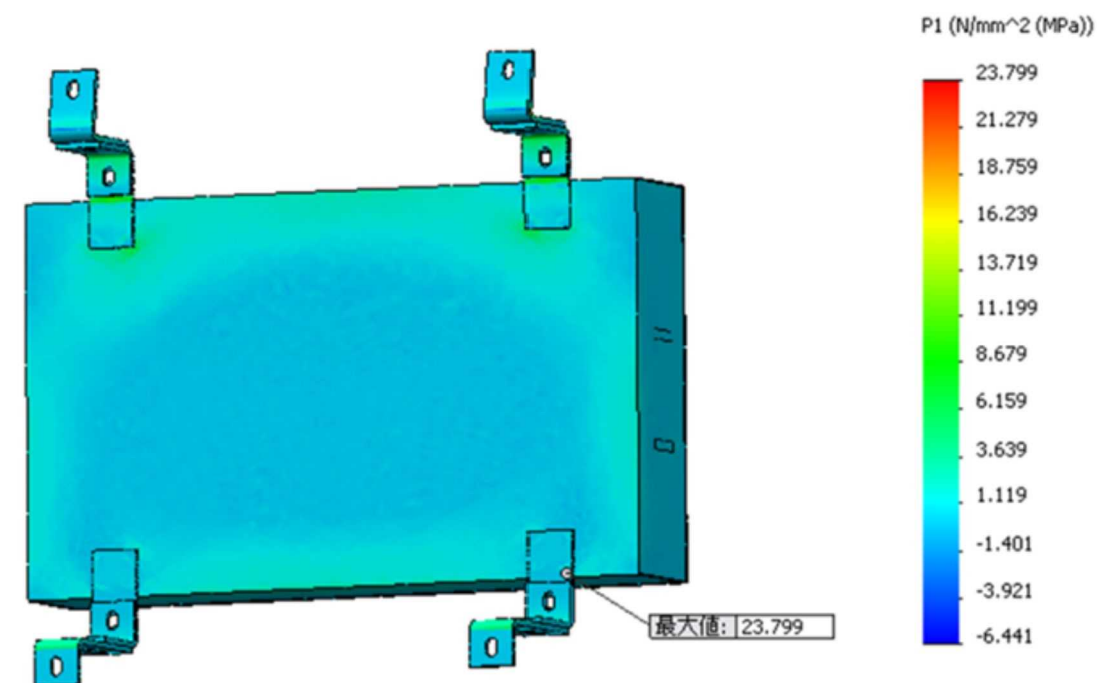
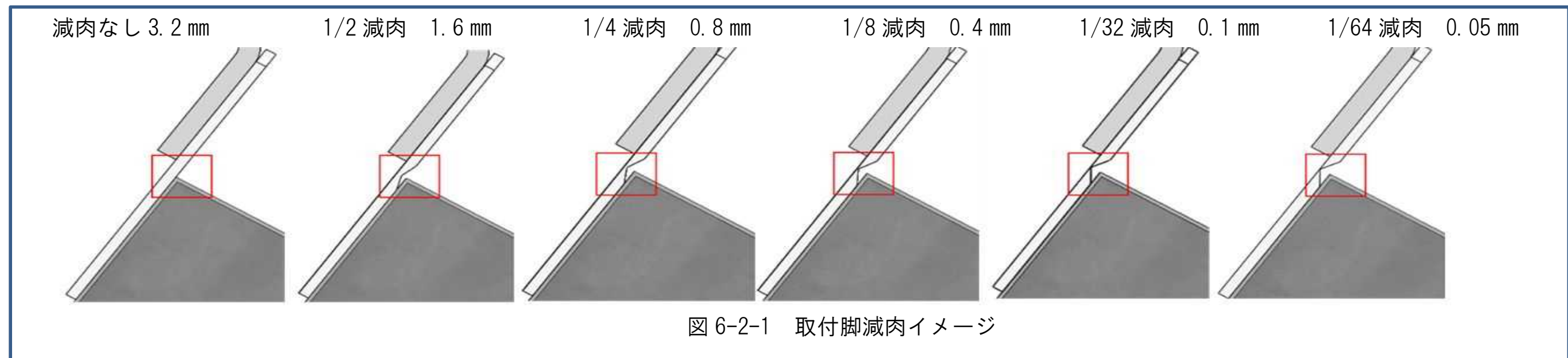
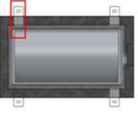
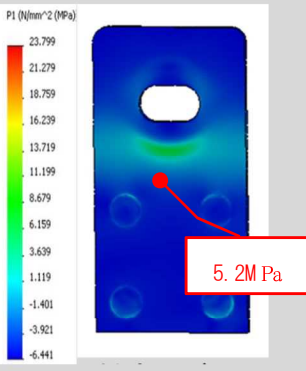
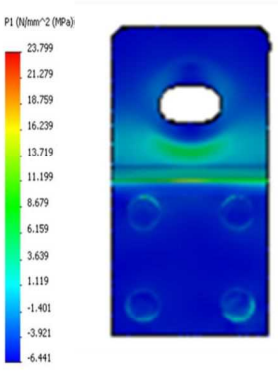
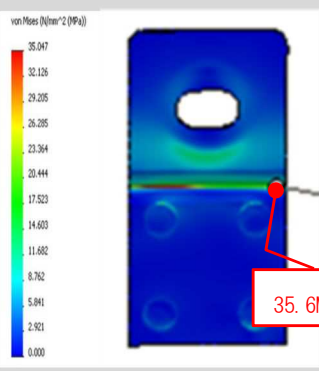
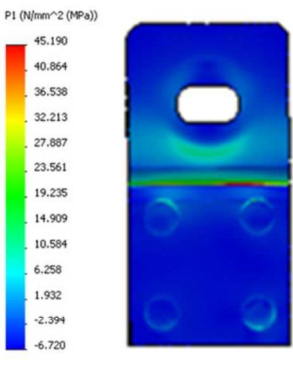
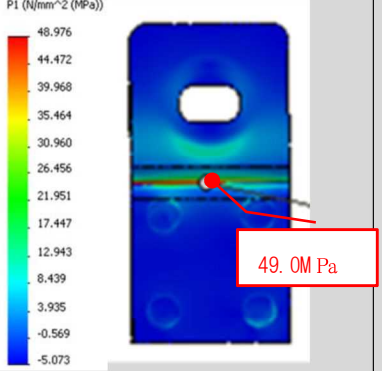
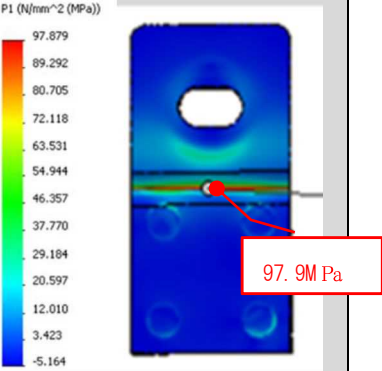
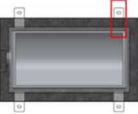
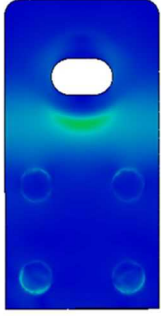
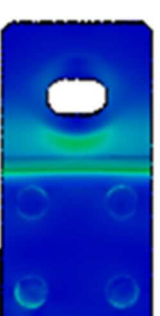
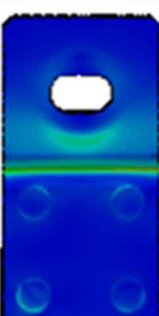
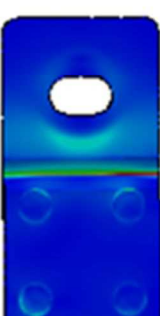
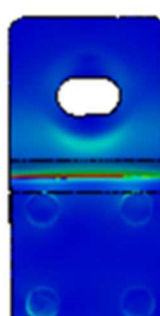
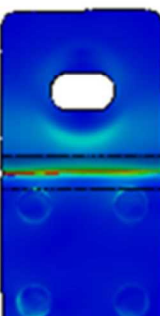
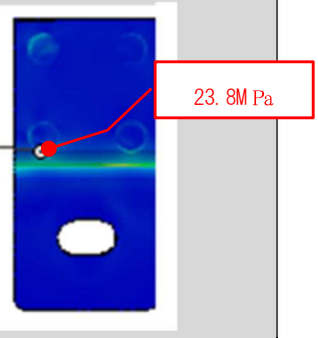
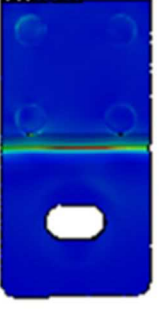
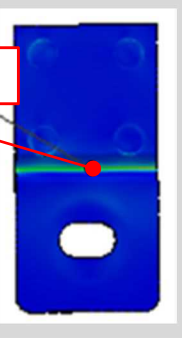
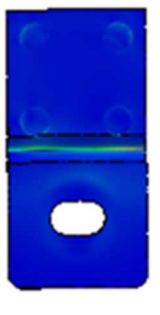
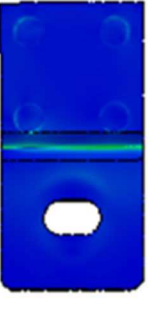
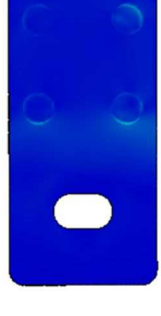
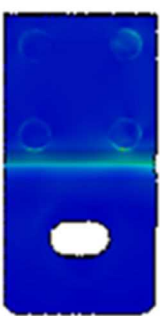
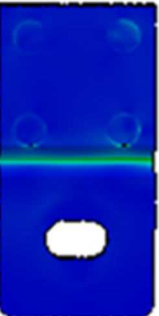
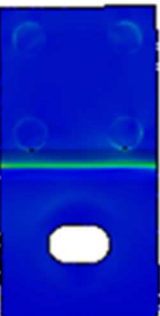
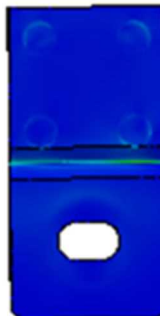
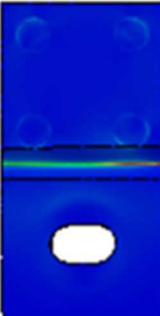


図 6-2-2 解析結果（1/2 減肉 1.6 mm の例）

【解析結果】

表 6-2-1 取付脚部解析結果

※ 吹出の数値は最大応力を示す

脚部板厚	3. 2mm（腐食なし）	1. 6mm（1/2）	0. 8mm（1/4）	0. 4mm（1/8）	0. 1mm（1/32）	0. 05mm（1/64）
最大応力 （局所）	5. 2 MPa 左上	23. 8 MPa 左下	35. 6 MPa 左上	45. 2 MPa 左下	49. 0 MPa 左上	97. 9 MPa 左上
左上 						
右上 						
左下 						
右下 						

【解析結果の考察】

FEM 解析の結果、照明灯具取付脚を厚さ 0.05 mm（当初 3.2 mm に対し 1/64 減肉）まで減肉した場合の発生応力は 97.9MPa であり SPCC の引張強度 270MPa に対し破断する応力ではない。

トンネル照明灯具の落下に至った経緯（まとめ）

（１）トンネル照明灯具が落下に至った経緯のまとめ

これまでの各種調査結果から、トンネル照明が落下に至った経緯を表 7－1 にまとめる。これにより、今回の事象による課題として以下を抽出した。

- ・ 灯具本体と取付脚との接合部内側に無塗装部分があったこと
- ・ トンネル内は、乾湿の繰返しと、凍結防止剤由来の塩化物（Cl⁻）、排気ガス由来の硫黄酸化物（SO₄²⁻）により厳しい腐食環境であったこと
- ・ 灯具本体の耐防食性能が向上したことで、灯具本体と比較して取付脚の腐食が先行する形態となったこと

表 7－1 照明灯具落下経緯

説明図	時間経過				
	説明	・ NaCl が乾湿を繰り返す腐食環境 ・ 硫黄酸化物（SO ₄ ²⁻ ）の影響で、腐食が促進（SO ₄ ²⁻ は自己触媒作用※1があると言われる）される環境	接合部の隙間から腐食原因物質（水分、塩化物（Cl ⁻ ）、硫黄酸化物（SO ₄ ²⁻ ）が浸入	隙間から侵入した腐食原因物質により、接合部内側の無塗装部分で錆が発生、成長	接合部内側の錆により取付脚、灯具本体の体積増加により、接合部の端部が、腐食原因物質を捕捉、蓄積しやすい形状（扇型）に変形し、腐食しやすい取付脚の腐食が大きく進行
	観測・検証結果	・ トンネル縦断方向の照明灯具の付着物質を分析し、凍結防止剤由来の塩化物（Cl ⁻ ）、排気ガス由来の硫黄酸化物（SO ₄ ²⁻ ）などを検出 ・ 塩化ナトリウム臨界湿度 75% 以上となる時間がかなりの頻度で出現していることを推定 ・ 灯具本体の材質が SECC（電気亜鉛めっき鋼板）であることを確認	・ 取付脚部分の断面を EPMA マッピング分析し、接合部内側全体に、塩化物（Cl ⁻ ）、硫黄酸化物（SO ₄ ²⁻ ）などを確認 ・ 取付脚と灯具本体の接合部周囲の充填材（防水パテ）が経年劣化により剥離していることを確認	・ 取付脚部分の断面を EPMA マッピング分析し、接合部内側に錆層を確認 ・ 錆層の間に塩化物（Cl ⁻ ）、硫黄酸化物（SO ₄ ²⁻ ）などを確認 ・ 灯具の製作過程において、灯具本体と取付脚をスポット溶接により接続したのち、塗装をすることから、接合部内側は無塗装	・ 取付脚部分の断面を SEM※4 観察し、接合部端部が扇型に開口している状況を確認 ・ この扇型の開口の錆層の間に塩化物（Cl ⁻ ）、硫黄酸化物（SO ₄ ²⁻ ）などを確認 ・ また、塩水噴霧サイクル試験（JIS H 8502）では、SECC 製の灯具本体の腐食進行度は SPCC 製と比べて小さいことを確認
		・ 取付脚部分の破断面を観察し、左下の取付脚には金属（破断様相）が確認できたが、他の取付脚では観察可能な破面は残っていないことを確認 ・ FEM 解析では、取付脚が 4 か所均等に 0.05 mm まで減肉した場合でも自重では破断しないと推定 ・ 疲労の痕跡は確認できなかった			

※1 自己触媒作用：化学反応において反応生成物が、その反応を促進する触媒の役割をする作用 ※2 NaCl の臨界湿度：NaCl の吸湿が始まり、濡れやすくなる湿度
※3 EPMA：電子線マイクロアナライザ ※4 SEM：走査型電子顕微鏡

(2) 落下した灯具の取付脚の減肉推定

落下した灯具における取付脚の減肉推定線を図7-1に示す。

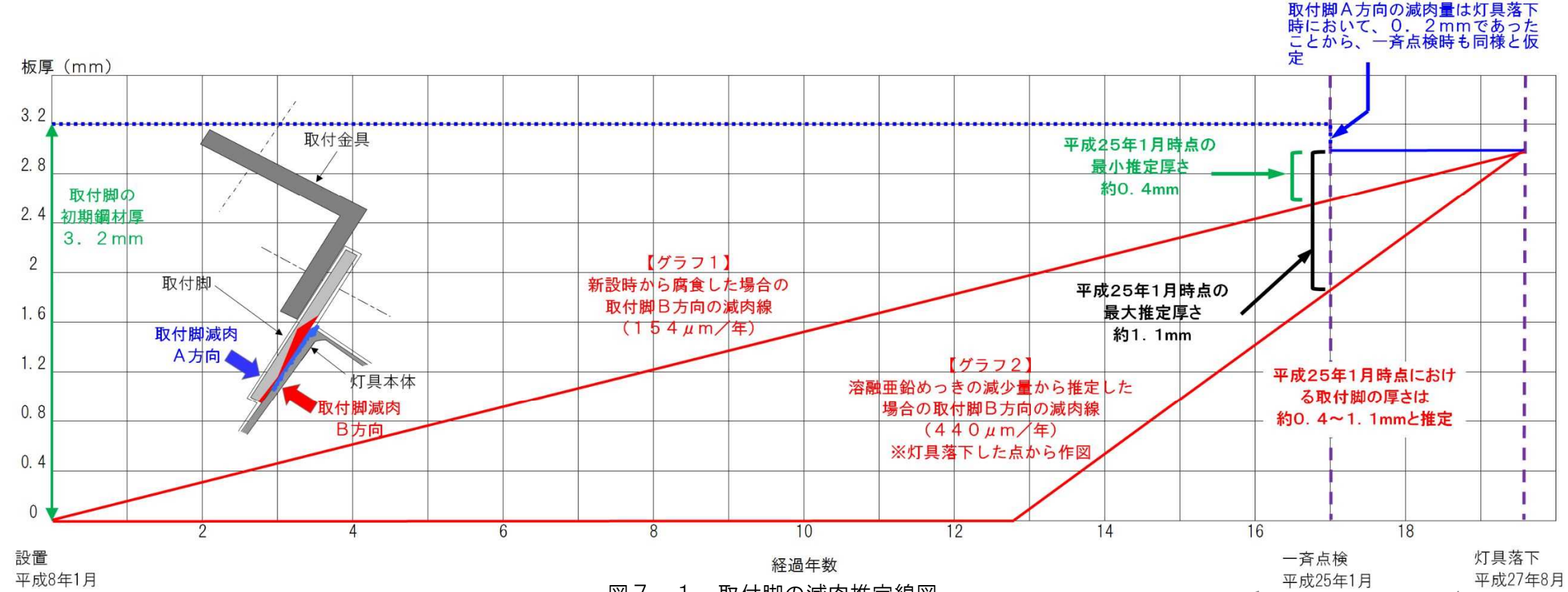


図7-1 取付脚の減肉推定線図



図7-2
新品照明灯具写真 (今回製作したもの)



図7-3
平成25年1月の点検写真 (落下灯具 L-184)



図7-4
平成27年8月の状況写真 (落下灯具 L-184)
※灯具本体と取付脚の合わせ部が扇形状に開口



図7-5 (参考)
平成27年8月に撤去した照明灯具 (R-2)
※落下した灯具と同様に扇形状に開口

- ・ 資料 5－1 「取付金具の残存亜鉛めっき膜厚の調査」で示したとおり、取付金具における片面の亜鉛めっき量は 621g/m^2 (Zn 密度 7.2g/cm^3 で計算すると残存亜鉛めっき膜厚は平均 $86\mu\text{m}$)
- ・ 19.5 年ですべてのめっきが消失していることから、腐食速度は $31.8\text{g/m}^2/\text{年}$ ($4.4\mu\text{m}/\text{年}$)
- ・ 図 7－6 で示した知見により、SPCC の腐食度は、一般に炭素鋼は亜鉛めっきと比較して 10～100 倍の腐食速度を示すと言われていることから、落下した灯具の取付金具における溶融亜鉛めっきの消失量から取付脚の腐食速度を推定すると、 $44\sim 440\mu\text{m}/\text{year}$ 程度と考えられる。

なお、これまでの各種調査から、落下した灯具の取付脚の腐食速度を決定する結果が得られなかったことから、取付脚の腐食速度は、上記推定の腐食速度を最大（図 7－1 グラフ 2）とし、照明灯具を新設した時点から腐食減肉が始まったと仮定した腐食速度を最小（図 7－1 グラフ 1）とする範囲内にあったものと推定する。

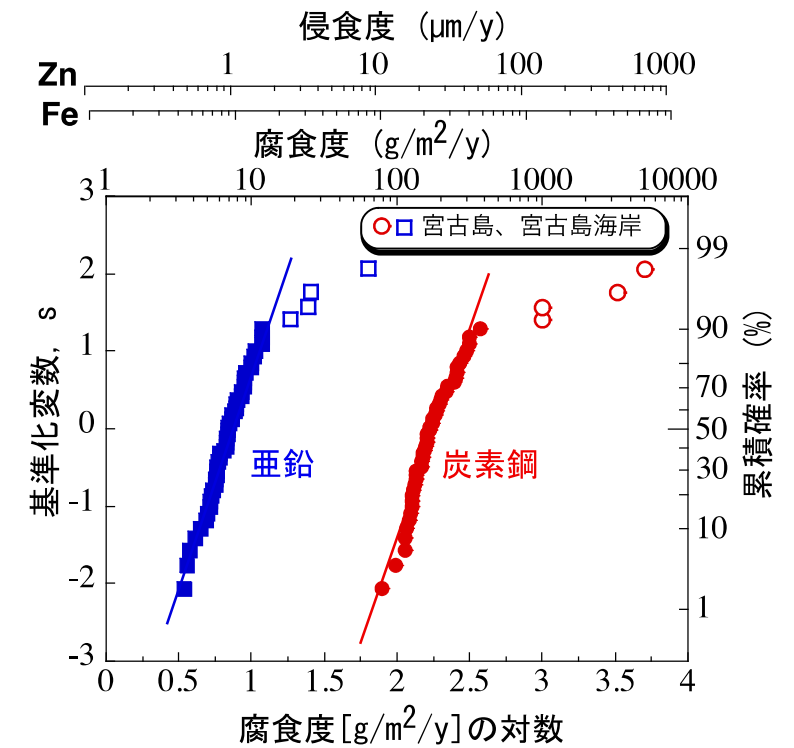


図 7－6
国内 25 箇所での炭素鋼 (SM400) および亜鉛の
1 年暴露試験結果の対数正規プロット
[出典] 篠原 正：表面技術、Vol. 62, 25(2011).

トンネル照明灯具の点検について

（１）トンネル照明灯具の点検方法

点検要領に規定されているトンネル照明灯具の点検方法は下記のとおりである。

- 1) 点検方法 近接目視かつ触診
- 2) 点検周期 1 回以上／5 年（ただし、10 年経過以降は 1 回以上／3 年とする）
- 3) 点検項目

対象施設設備	点検箇所	点検部位	点検項目	
トンネル照明設備	トンネル灯	全般	1	近接目視かつ触診（亀裂、損傷、腐食及び取付状況）
			2	超音波厚さ測定など（必要に応じて実施）
			3	灯具内部近接目視（亀裂、損傷及び腐食状況） （必要に応じて実施）

4）点検の着目点及び点検概略図

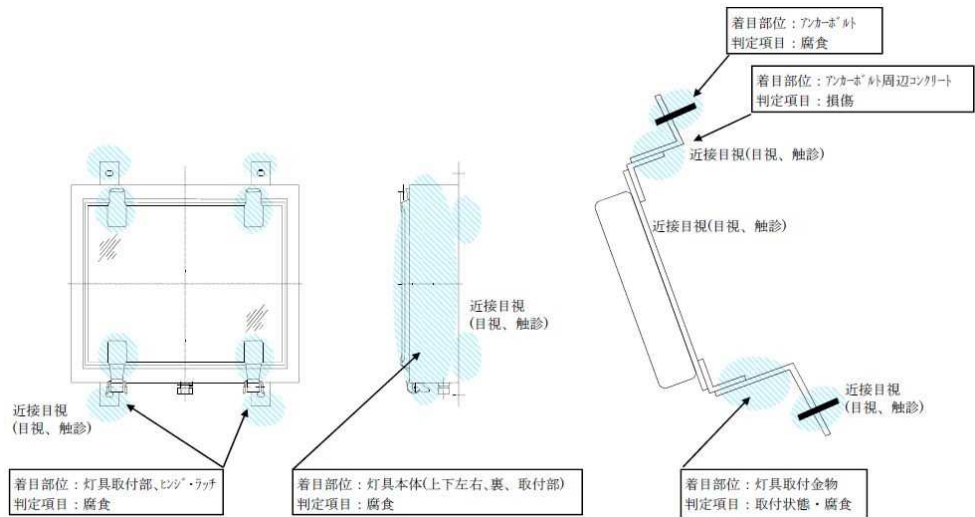


図 8-1 点検の着目点

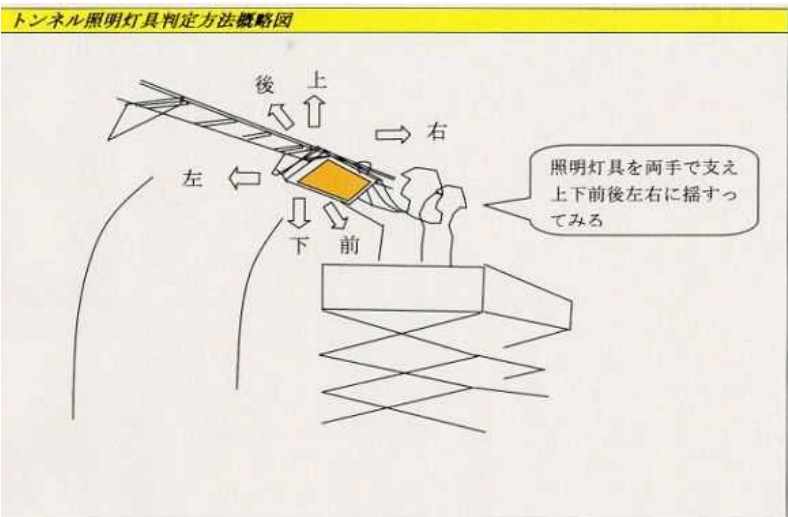


図 8-2 点検概略図

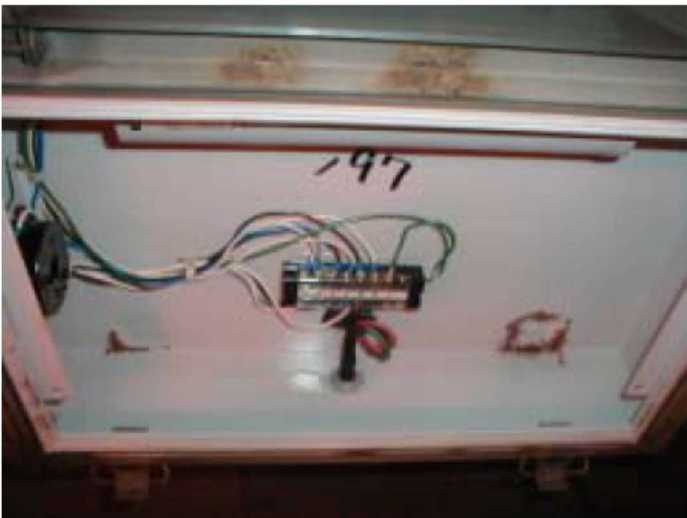
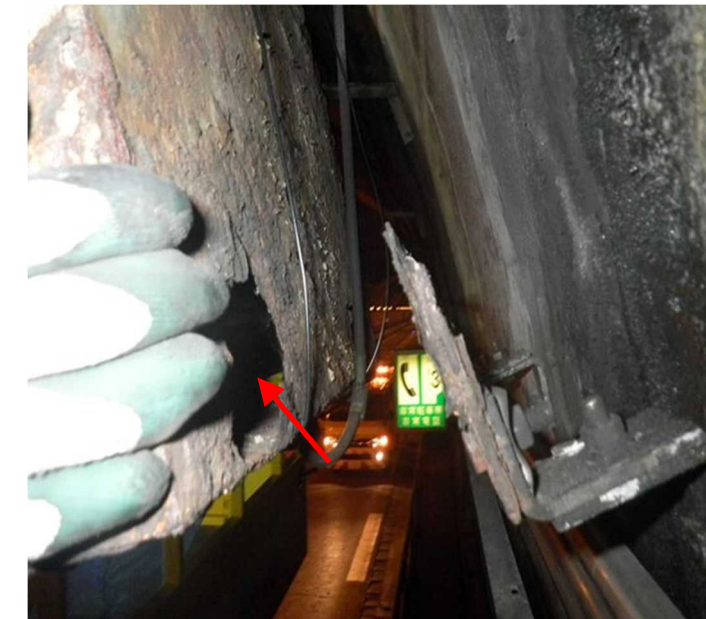


図 8-3 灯具内部近接目視

（２）灯具本体が「ＳＰＣＣ」の場合の変状形態に対する点検の考察

これまで、灯具本体が「ＳＰＣＣ」の場合の変状は資料３で考察したとおり、灯具本体と取付脚が同一の材質において、肉厚が薄い灯具本体に変状が発生していることが確認されている。（下図参照）

前述の現行点検方法により、この変状を確認することができることから、現状の点検は有効であると考えられる。



【資料３より】
灯体が「ＳＰＣＣ」の場合の変状
（取付脚周辺の灯体に穴が開いた状況）

また、上の写真の変状を確認する点検について、過去の知見では３箇所の取付脚周辺の灯具本体が健全であっても、１箇所の取付脚周辺の灯具本体に穴が開いている状況では「揺すり」により変位を確認することができ、変状を発見できると報告されている。加えて、灯具本体は外面から錆始め、腐食が進行すると錆は内面にまで達することから、内面への錆の発生状況を確認することで、穴が開く前兆を確認することが可能である（図８－３参照）とされている。

(3) 宇利トンネルの変状形態に対する点検の考察

これまでの各種調査結果から、落下した宇利トンネルの照明灯具の変状形態は、図8-4のとおりであり、灯具本体と取付脚が面した箇所において、取付脚が腐食による減肉となっていたものである。この変状形態に対し、「(1) トンネル照明灯具の点検方法」について、以下のとおり考察する。

- 1) 宇利トンネルの変状形態は、灯具本体が「SPCC」の場合の変状形態とは異なる形態であることが確認され、点検要領には注視すべき着目点として規定されていない
- 2) 灯具内部近接目視では確認することができない
- 3) 資料7で示した図7-1により、取付脚の減肉は、グラフ1及びグラフ2の範囲内であると推定されることから、落下した灯具の前回点検（平成25年1月）時において、取付脚の残存厚は約0.4mm～1.1mmであったと仮定することができる。この残存厚の下限値である約0.4mmの状況を再現した試験灯具を「揺すり」による確認で腐食減肉の変状を判定できるかを実験したところ、確認することができなかった

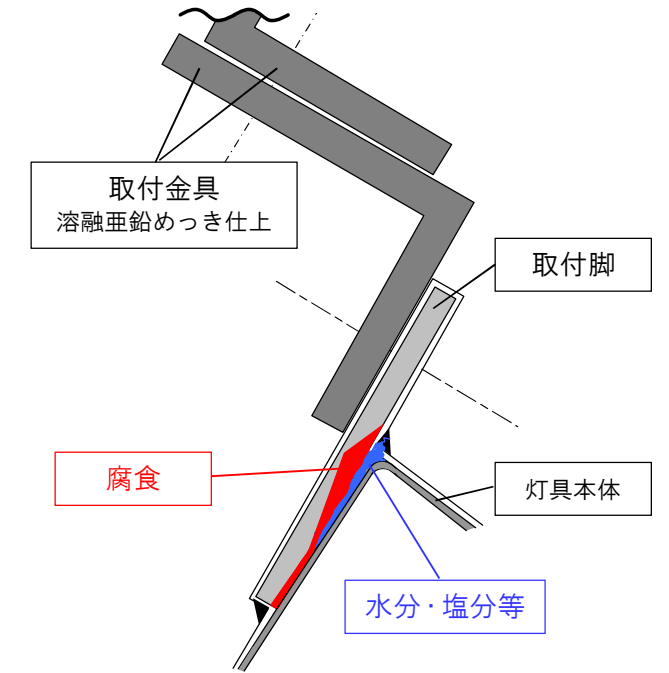


図8-4 宇利トンネルの変状形態

(4) トンネル照明灯具の「揺すり」再現試験

落下した照明灯具は取付脚が減肉、破断していたことが判明していることから、破断箇所を減肉させた試験灯具を製作し、人力による「揺すり」確認の再現試験を行った。

- 1) 試験日時 平成28年1月26日（火）
- 2) 試験場所 浜松保全・サービスセンター敷地内
- 3) 試験内容 a) 「揺すり」再現試験＜ケース1＞
※取付脚4箇所とも0.4mmのケース

＜試験照明灯具＞

宇利トンネル（上り線）の照明改良工事で撤去した照明灯具の取付脚をベルトサンダーで削り、減肉状態を再現した。

なお、試験に使用した灯具は、部分的に錆は見られるものの、灯具本体の塗装も残っているものを使用した。

（図8-5）



図8-5 試験照明灯具



図8-6 減肉加工箇所

<試験概要>

1. 破断箇所付近の各取付脚の肉厚を0.4mmまでベルトサンダーで研磨
2. 被験者3名による揺らしを実施

<試験結果>

いずれの被験者も0.4mmの取付脚について、「揺らし」により、その状態を確認することはできなかった

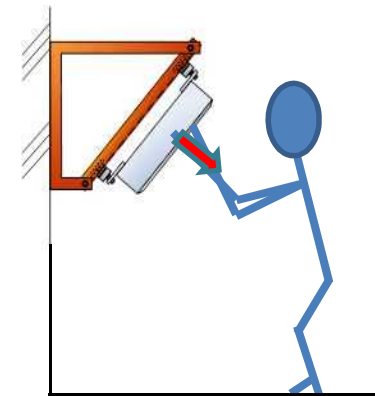


図8-7 再現試験イメージ



図8-8 揺すり再現試験<ケース1>

b) 「揺すり」再現試験<ケース2>

※取付脚3箇所が0.4mmで、残りの取付脚1箇所が破断しているケース

<試験概要>

1. 「揺すり」再現試験<ケース1>の試験灯具について、取付脚3箇所はその状態を維持し、残りの取付脚1箇所を破断させた状態を再現（破断箇所は左下の取付脚）
2. 被験者3名による揺らしを実施

<試験結果>

いずれの被験者も「揺すり」により、照明灯具の変位が感じられ、破断した取付脚の状態を確認することができた（図8-7参照）

- 上及び下の写真は「揺らし」確認により、照明灯具の変位が確認できている状況を示している
- 上の写真は「揺らし」で赤←方向（押し込まれた方向）の状況写真
- 下の写真は「揺らし」で黄→方向（引っ張られた方向）の状況写真
- 上下の写真の丸内を比較すると、破断箇所の開きが見て取れる
- 赤線は上の写真の灯具の角を合わせた線で、黄線は下の写真の灯具の角を合わせた線であり、変位があることを意味している

⇒よって、取付脚が1箇所破断した状況は、「揺らし」による確認で変位を感じることができ、変状を確認することが可能である



図8-9 揺すり再現試験<ケース2>

(5) まとめ

- ・ 灯具本体が「SPCC」の場合の変状は灯具本体側に多く発生していることから、その変状に応じた着目点に注視した点検により、変状が確認できていることから有効であると考えられる。
- ・ 今回確認された変状形態は、これまでとは異なる形態であることが確認されたため、点検手法の検討が必要であると考えられる。
- ・ 今回の照明灯具落下事象（8月15日）を受け実施した宇利トンネル（上り線）の緊急点検（走行車線側8月16日、追越車線側8月19日）において、ぐらつき等の状況が確認された15灯を撤去したが、このとき撤去した灯具で取付脚がすでに破断していたものや、緊急点検時の揺すりにより破断したものはなかった。

今回の事象を受けたトンネル照明灯具の維持管理手法（案）

落下に至った経緯で抽出された課題に対して、宇利トンネルと同種の灯具、及び同種以外の灯具についてそれぞれに応じた対応と、維持管理手法の方針について下記のとおり整理した。

種 別	宇利トンネルと同種の灯具	宇利トンネルと同種以外の灯具		
標準仕様書制定 (改訂)時期	1987(昭和 62)年 4 月	1996(平成 8)年 4 月	2000(平成 12)年 4 月	2005(平成 17)年 7 月
灯具本体と取付 脚の仕様	<u>灯具本体：S P C C（塗装）</u> <u>取付脚：S P C C（塗装）</u> <u>灯具本体と取付脚は溶接接続</u>	灯具本体：S U S（塗装なし） <u>取付脚：S S（溶融亜鉛めっき）</u> 灯具本体と取付脚はビス止め	灯具本体：S U S（塗装） <u>取付脚：S S（溶融亜鉛めっき）</u> 灯具本体と取付脚はビス止め	灯具本体：S U S（塗装） 取付脚：S U S（塗装） 灯具本体と取付脚はビス止め
これまでの検討 結果から判明し たこと	➤ 灯具本体と取付脚との接合部内 側に無塗装部分があった ➤ 灯具本体がS E C Cの場合、灯 具本体の耐腐食性能が向上した ことで、灯具本体と比較して取 付脚の腐食が先行する形態とな った	➤ 溶融亜鉛めっきとして、塗装に比べると耐腐食性能は向上してい るが、亜鉛めっきも経年により消失する ➤ 亜鉛めっき消失後の素材はS S（鉄）であることから腐食する		
対応方針	二重の安全対策で落下に対する安全性を確保する			
	腐食に対する点検手法による対応が必要	腐食に対する点検手法による対応が必要		
維持管理 手法（案）	➤ 灯具本体と取付脚との接合部の 点検を着目点として追加する	➤ 取付金具や取付脚の残存亜鉛めっき膜厚を定期的に測定すること を追加し、当該トンネルの腐食環境を把握する		従来と同様
	トンネル全体の点検結果に応じて計画的に更新を実施する			

- 二重の安全対策については、今年度完了予定
 - 宇利トンネルと同種灯具のトンネル 1 2 本の対応状況
 - ・ 6 本（宇利トンネル含む）については、今年度更新完了予定
 - ・ 他 6 本については、来年度以降更新を実施予定
- ※上記 1 2 本のトンネルで灯具本体がS E C Cの灯具は、宇利トンネルのみ

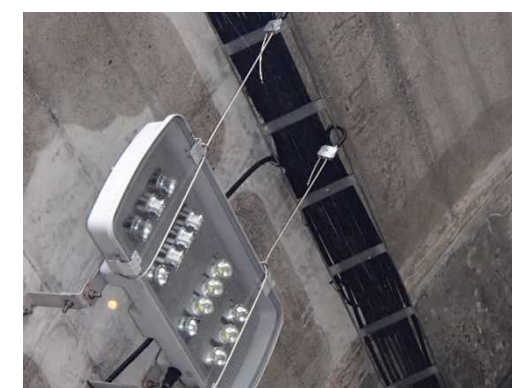


図 9－1 二重の安全対策状況写真