

第1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1回議事要旨】

- 検討会として、今回の事象に関して事実関係を確認した。
 - ・ 落下した照明灯具は取付脚が4箇所破断しており、著しい腐食があることを確認した。
 - ・ 緊急点検において撤去した照明灯具にも腐食があることを確認した。
 - ・ 当該トンネルにおいて、落下した照明灯具等の位置を確認した。

- 検討会として、落下照明灯具の仕様、点検状況、周辺環境について確認したが、原因の究明にはさらに落下した照明灯具等の詳細な調査が必要である。

- 今後、詳細な調査を踏まえ、劣化から破断、落下に至るメカニズムについて、さらなる検討を実施していくことを確認した。

以 上

落下した照明灯具の取付脚破断面の調査（SEM 観察、EDS 定性分析、XRD 分析、EPMA マッピング分析）結果

【調査項目】

落下した照明灯具の取付脚破断面の調査（SEM 観察、EDS 定性分析、XRD 分析、EPMA 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することで、腐食の発生原因、腐食を促進した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）部分を照明灯具本体部材と共に、破断面を垂直方向に切断、研磨し、断面を肉眼とSEM（走査型電子顕微鏡）により観察
- ・EDS（エネルギー分散型 X 線分光測定）定性分析により、さび層の一部分を観測範囲として、その範囲に含まれる元素を分析
- ・XRD（X 線回折）分析により、さび層を構成するさびの種類を分析
- ・EPMA（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、SEM による観察

- ・ 取付脚と照明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
- ・ 取付脚は照明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

■ EDS 定性分析

- ・ 隙間部のさび層を分析したところ、さびの層間にナトリウム (Na)、塩素 (Cl)、酸素 (O)、が検出された

■ XRD 分析

- ・ オキシ水酸化鉄 (α -FeOOH、 β -FeOOH、 γ -FeOOH)、酸化鉄 (Fe_3O_4 マグネタイト) が検出された。一般的に β -FeOOH は、塩化物イオンが多い環境で、 Fe_3O_4 は濡れ時間が長い環境で、それぞれ検出される

■ EPMA マッピング分析

- ・ さびの層間に、層状に塩素 (Cl)、硫黄 (S) の分布が検出された

外観観察

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共に、破断面を垂直方向に切断、研磨し、断面を観察

※ 左右は、照明灯具正面から見た左右で表示している。



図 2-1-1 落下灯具右上脚切断研磨後

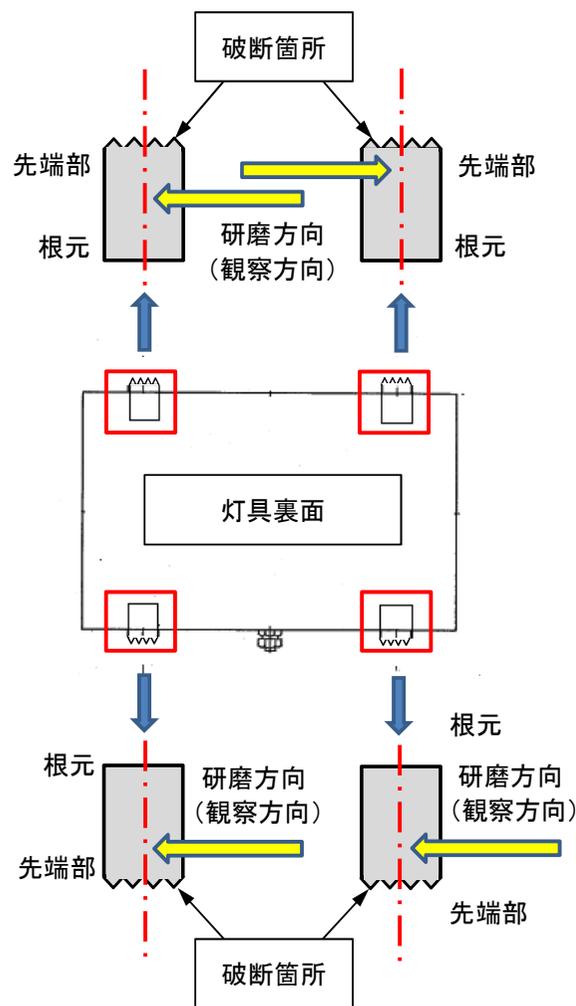


図 2-1-3 落下灯具の観察方向

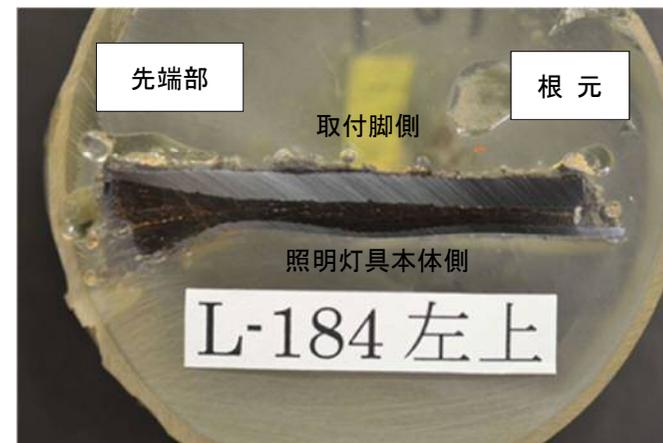


図 2-1-4 落下灯具左上脚切断研磨後

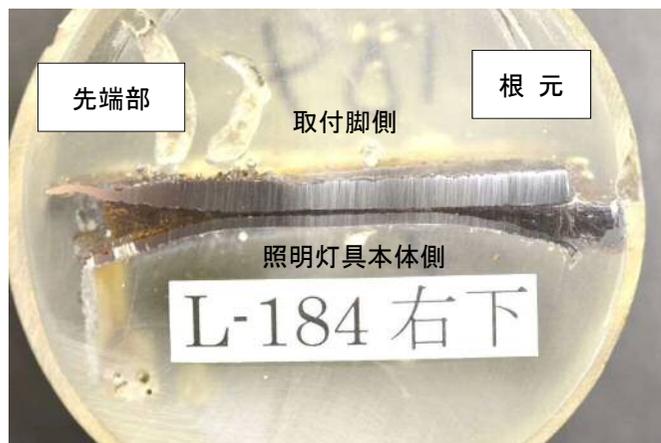


図 2-1-2 落下灯具右下脚切断研磨後

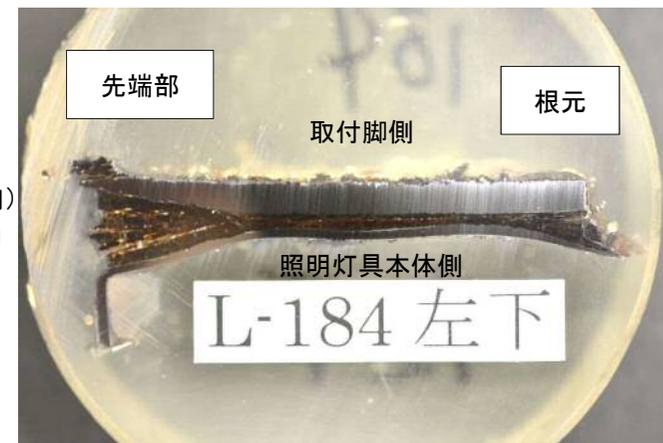


図 2-1-5 落下灯具左下脚切断研磨後

取付脚（右上）の SEM 観察、EDS 定性分析、XRD 分析、EPMA マッピング分析

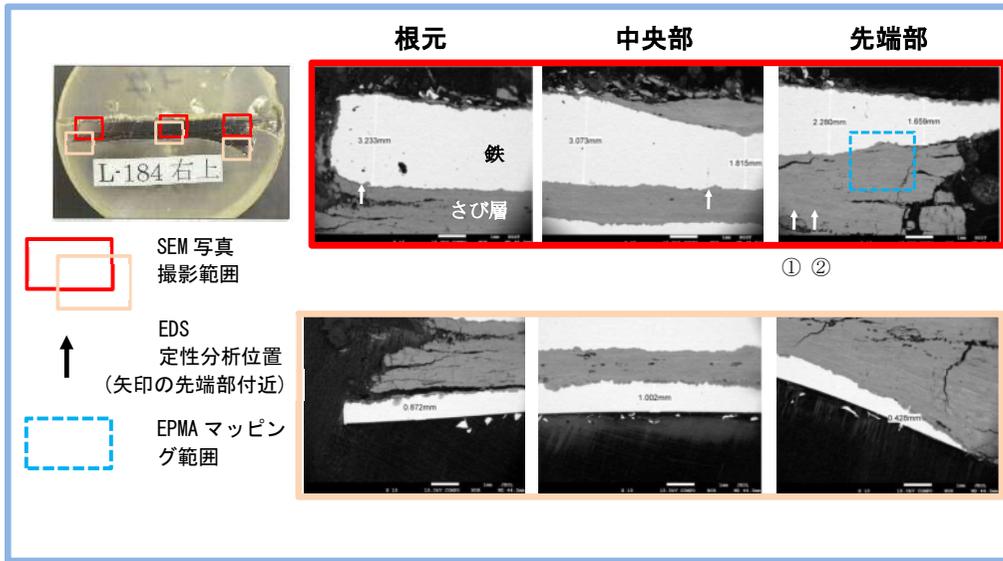


図 2-1-6 走査型電子顕微鏡 (SEM) 写真観察

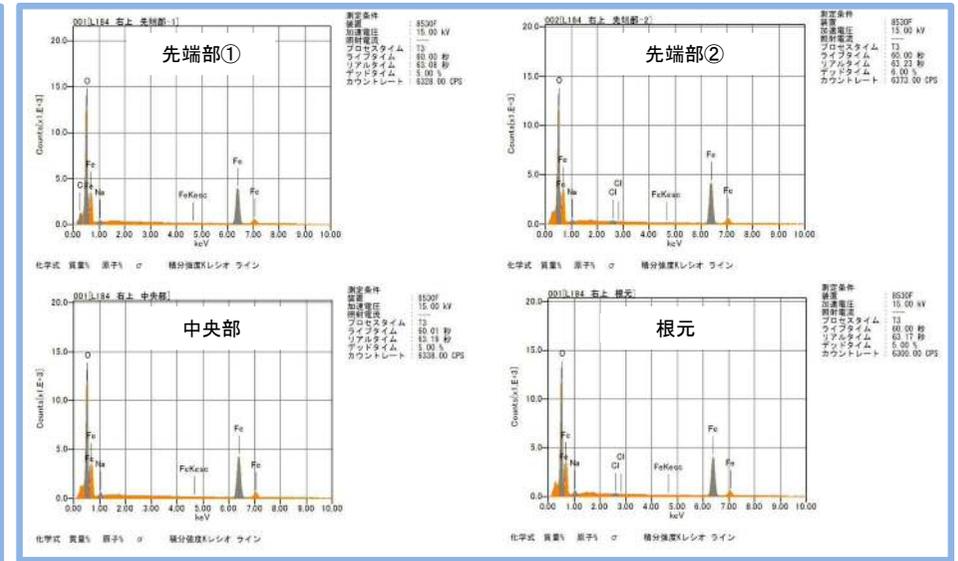


図 2-1-7 エネルギー分散型 X 線分光測定 (EDS) 定性分析

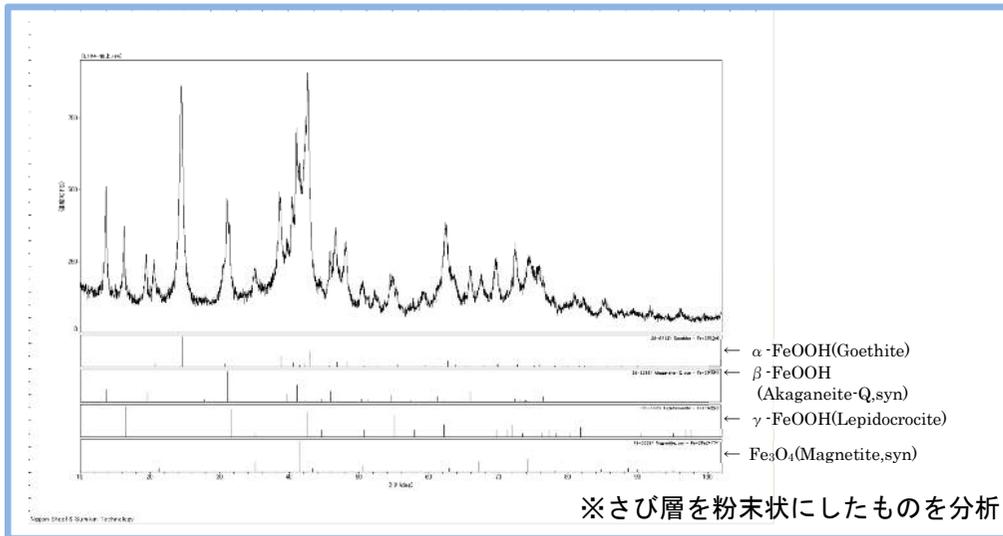


図 2-1-8 X 線回折 (XRD) 分析

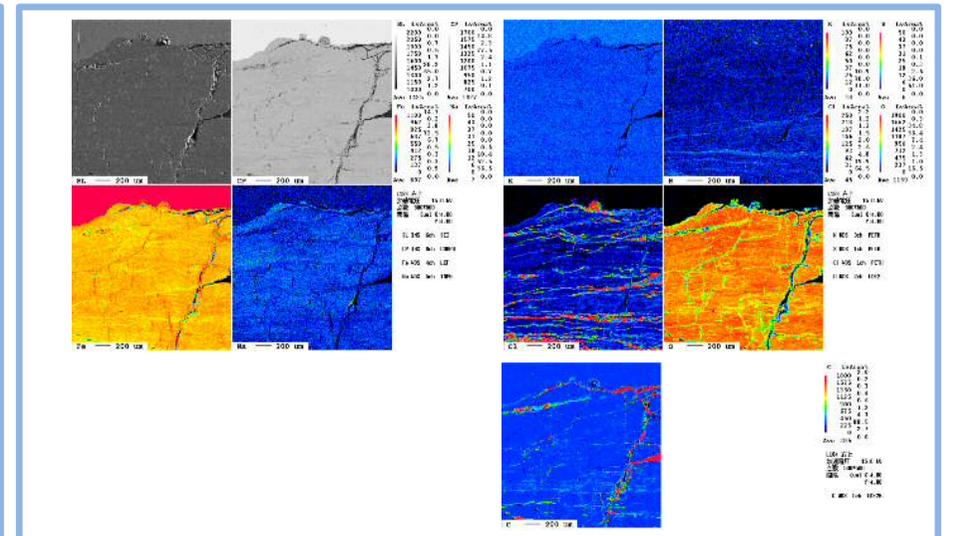


図 2-1-9 電子線マイクロアナライザ (EPMA) マッピング

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SEM（走査型電子顕微鏡）により観察

【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。

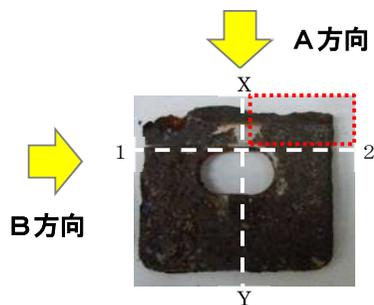


図 2-2-1 取り外した取付脚

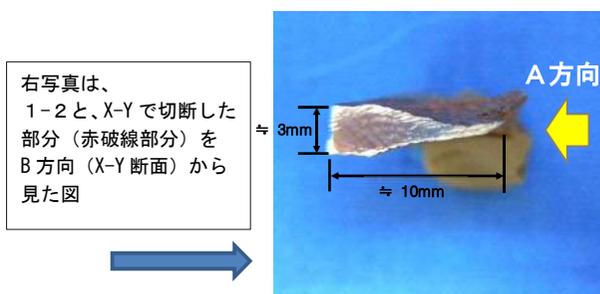


図 2-2-2 B方向から見た X-Y 断面

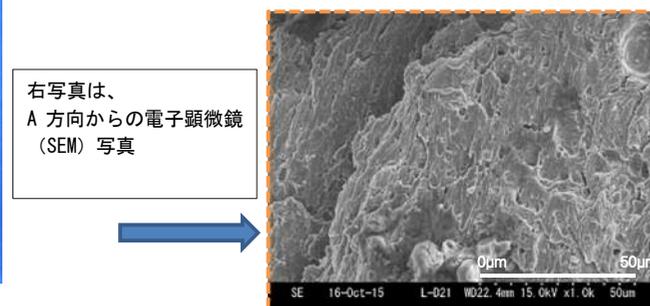


図 2-2-3 破断面の SEM 拡大写真

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】

- ・ 上下線共、入口から 0m、50m、100m、150m、200m、250m、300m、以降 900m まで 100m 間隔で調査
- ・ これに加えて、落下した照明灯具及び点検で撤去した照明灯具も調査
- ・ 照明灯具裏面（トンネル壁面側）の最下部の中央 40cm×10cm の範囲の付着物質を拭き取り、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_2^- 、 NO_3^- ）、硫黄酸化物（ SO_4^{2-} ）の量を測定

【調査結果】

■ 上り線

- ・ 塩化物（ Cl^- ）については、トンネル縦断方向で一様に観察された
- ・ トンネル入口付近では、窒素酸化物（ NO_2^- 、 NO_3^- ）及び硫黄酸化物（ SO_4^{2-} ）が相対的に高い

■ 下り線

- ・ 塩化物（ Cl^- ）については、トンネル入口付近と比較し、トンネル内の方が高い
- ・ 窒素酸化物（ NO_2^- 、 NO_3^- ）及び硫黄酸化物（ SO_4^{2-} ）は、トンネル縦断方向で一様に観察された

照明灯具の付着物質分析結果

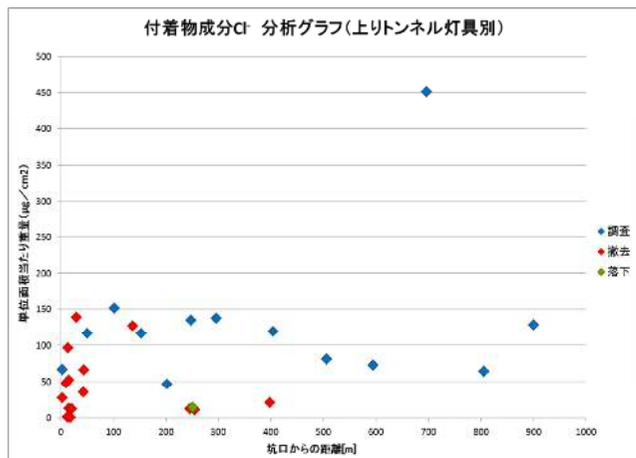


図 3-1 付着物質分析結果 (上り線 Cl⁻)

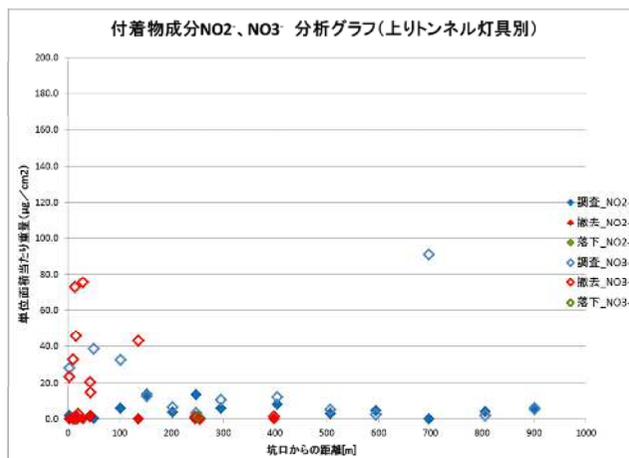


図 3-2 付着物質分析結果 (上り線 NO₂⁻、NO₃⁻)

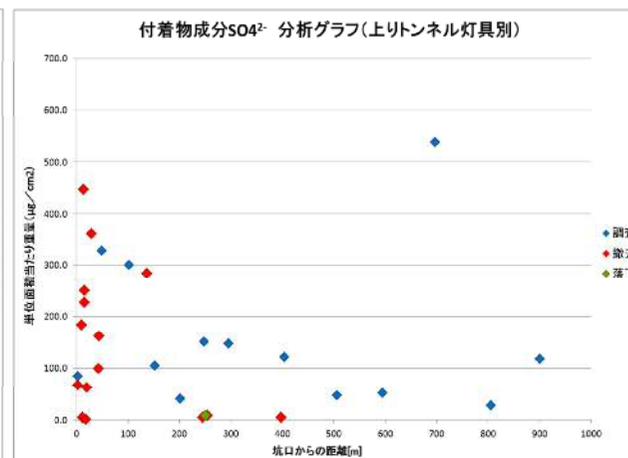


図 3-3 付着物質分析結果 (上り線 SO₄²⁻)

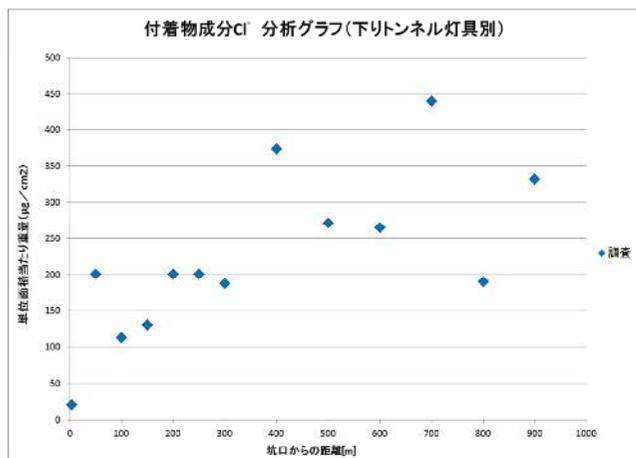


図 3-4 付着物質分析結果 (下り線 Cl⁻)

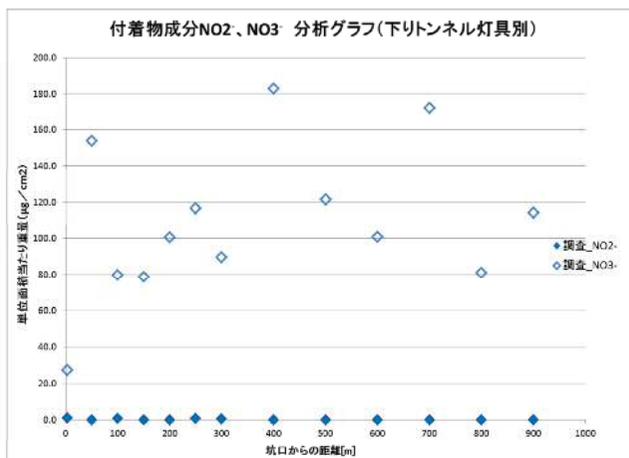


図 3-5 付着物質分析結果 (下り線 NO₂⁻、NO₃⁻)

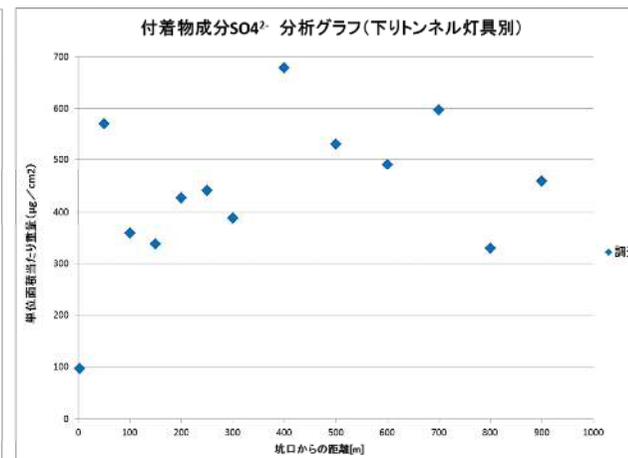


図 3-6 付着物質分析結果 (下り線 SO₄²⁻)

トンネル内温度・湿度の調査

【調査項目】

トンネル内温度・湿度の調査

【調査目的】

照明灯具の腐食状態との相関を確認する目的で、トンネル内の温度（℃）・湿度（相対湿度：％）を定間隔で観測

【調査概要】

- ・ 入口付近、50m、100m、150m、200m、250m、300m、以降 900m まで 100m 間隔で、13 箇所温度・湿度を連続して計測（2015 年 10 月 3 日に設置）

【調査結果】

- ・ トンネル外の温度・湿度と比較して、トンネル内の環境に特異な点は見られない。
- ・ 入口から出口に向かい、温度は 2℃程度上昇、それに伴い湿度も 13pcp（％ポイント）程度減少していた

※ 参考 浜松の平均湿度と平均気温の月別の平均値（1981 年～2010 年）

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
平均湿度 [%]	58	57	60	65	71	78	80	77	75	70	66	61	68
平均気温 [℃]	5.9	6.5	9.7	14.7	18.7	22.0	25.7	27.0	24.1	18.8	13.5	8.4	16.3

図4-1-1 宇利トンネル（上り線） 温度・湿度データ（2015/10/4～26）

- ① トンネル内温度・湿度と浜松气象台とのデータを比較すると、近似している。
- ② 雨天時、10月10日夜～11日にかけては湿度が80%以上。

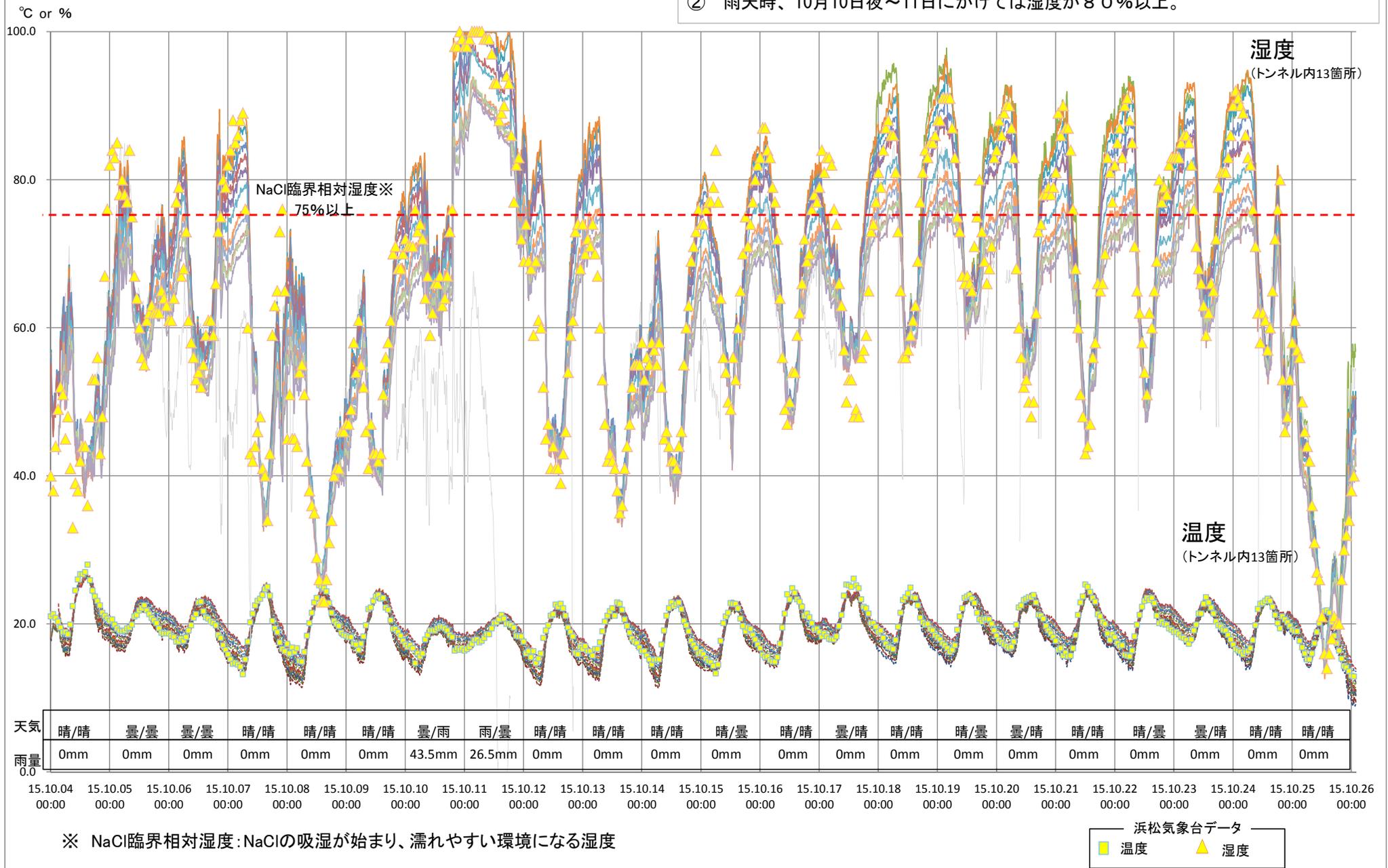
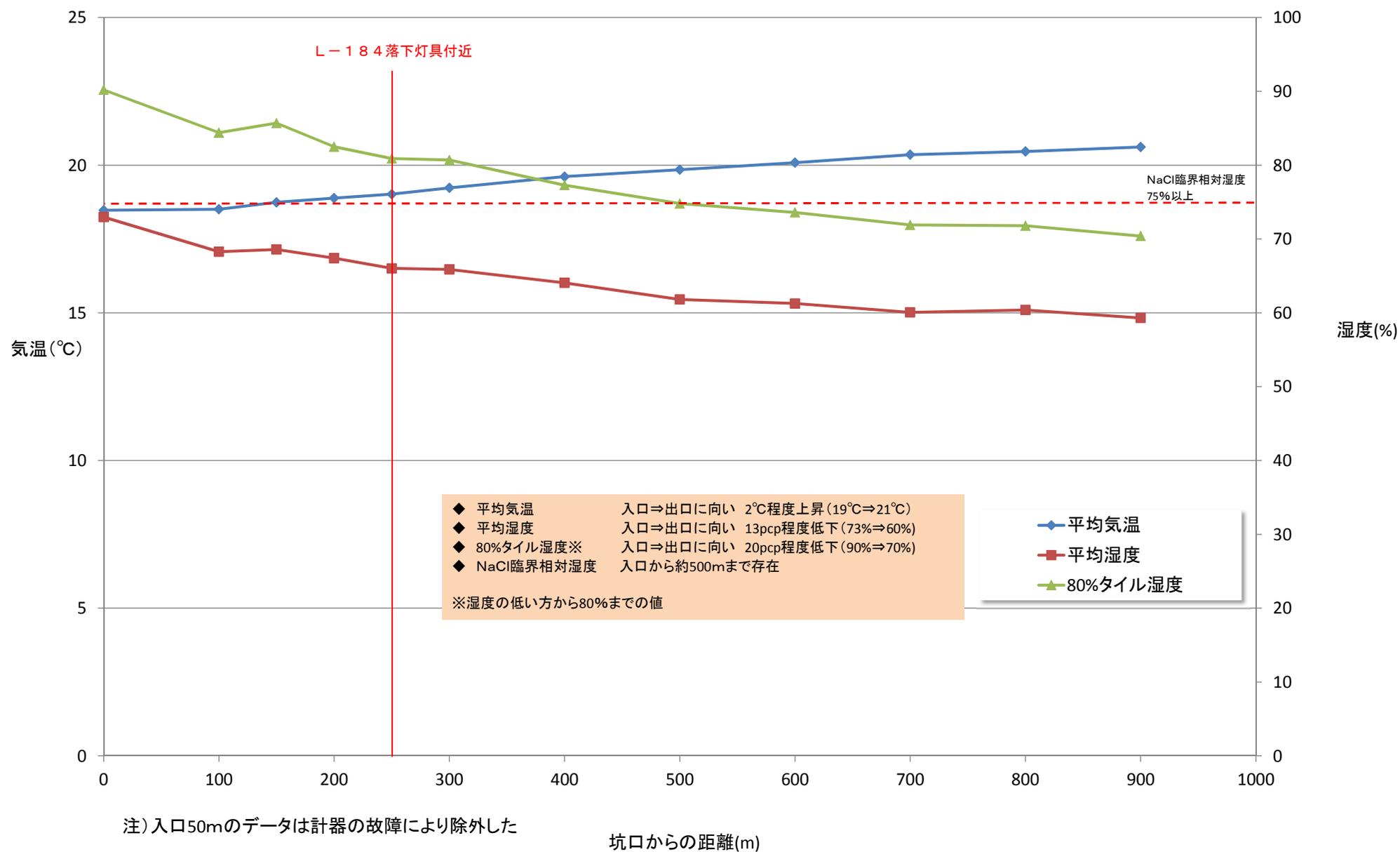


図4-1-2 宇利トンネル（上り線）縦断方向の温度・湿度データ（2015/10/4～26）



落下灯具付近の漏水状況

調査検討会
資料-4-2

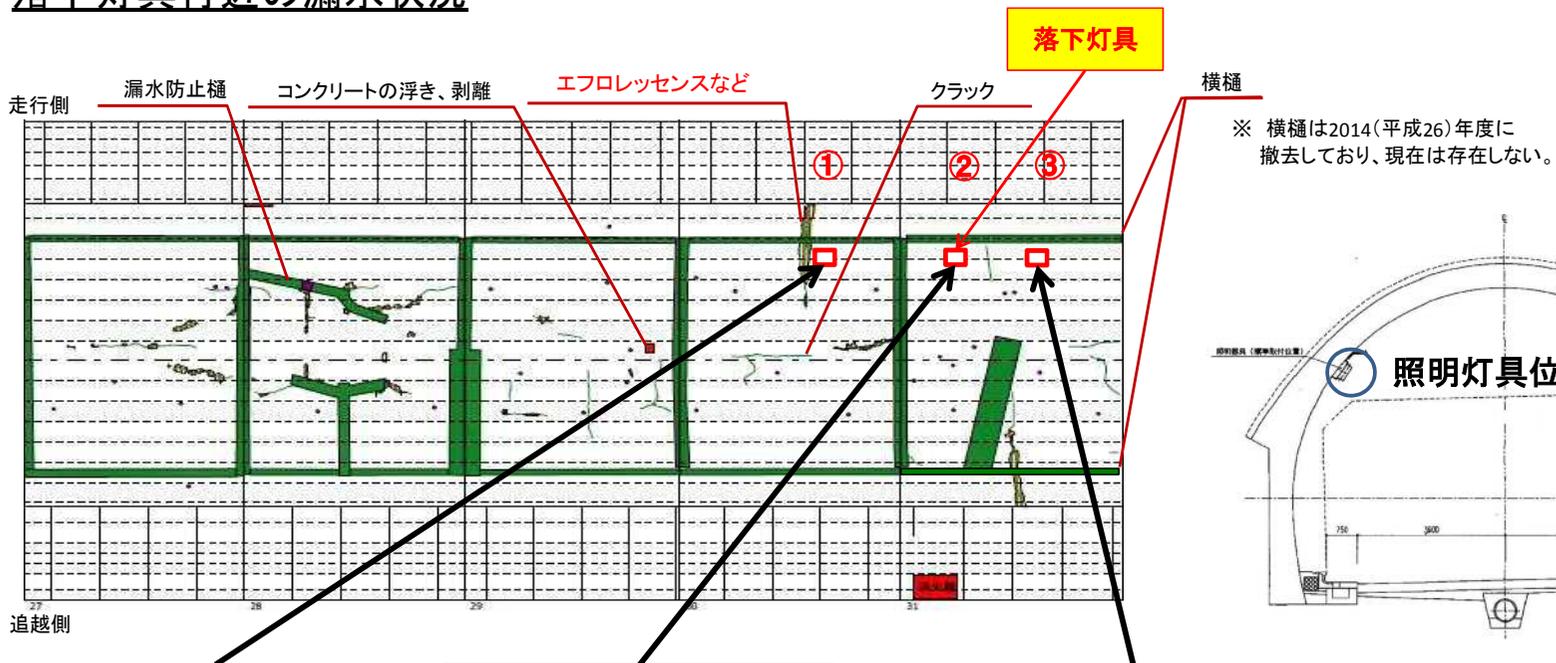


図4-2-1 写真①
2015(平成27)年8月23日撮影
【撤去灯具 L 182】



図4-2-2 写真②
2015(平成27)年8月23日撮影
【落下灯具 L 184】



図4-2-3 写真③
2015(平成27)年8月23日撮影
【撤去灯具 L 185】

エフロレッセンスとは、コンクリート中の可溶成分であるセメント水和物(Ca(OH)₂)やアルカリ成分等が、ひび割れ等の空隙から水分と共に溶出し、ひび割れ表面で蒸発して結晶化した、もしくは炭素ガスと反応して炭酸カルシウム(CaCO₃)や炭酸塩(NaCO₃)などに結晶化した物質である。

⋯⋯ : 落下及び撤去した照明灯具 位置イメージ

※写真は撤去照明灯具付近の壁面を撮影

破断経緯推定

調査結果から、照明灯具取付脚と灯具本体との接合部に存在する隙間部に水分・塩分等が浸入し、腐食進行によって破断落下に至ったと推定される

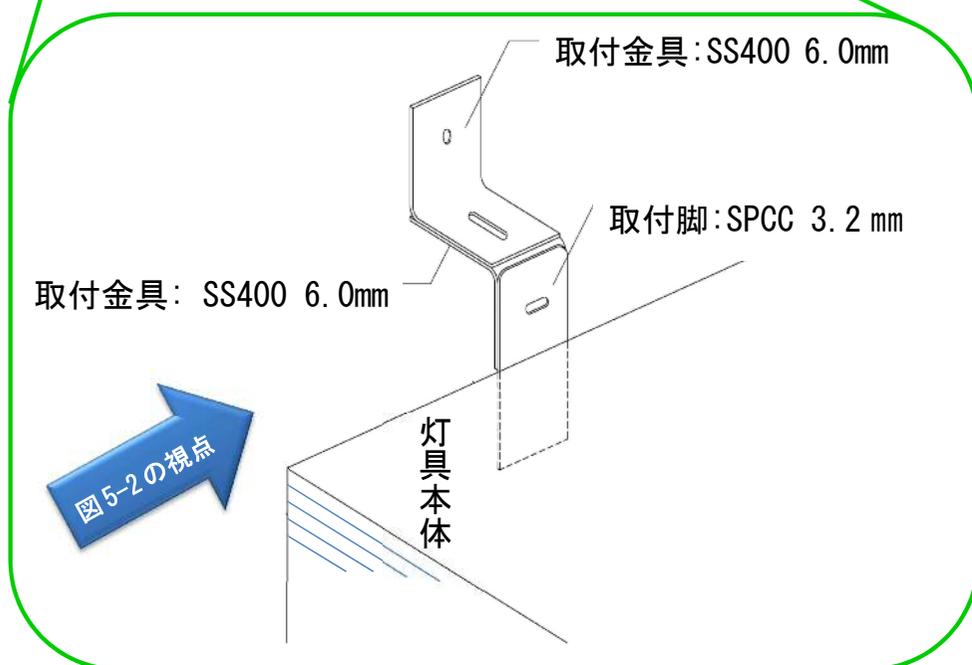


図5-1 取付金具の接続構造図

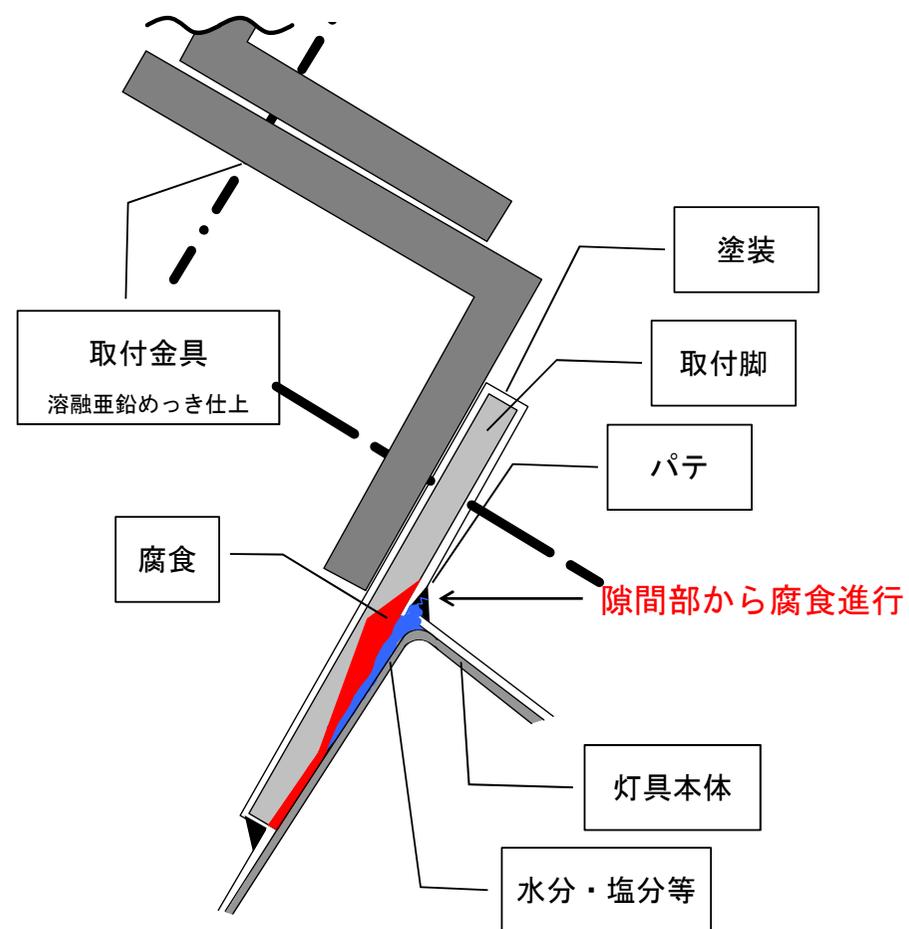


図5-2 取付金具の腐食進行イメージ図

今後のトンネル照明における維持管理手法（案）

今後のトンネル照明における維持管理手法について、次の内容で検討整理する。

- (1) トンネル照明の点検を行うにあたり、仕様毎に応じた留意点等の強化を検討する

- (2) 宇利トンネルと同種仕様における照明灯具の更新目安等について検討する

調査検討会スケジュール（案）

■ 検討内容とスケジュール

	内 容	2015（平成27）年度				備 考
		1/四半期	2/四半期	3/四半期	4/四半期	
第1回	<ul style="list-style-type: none"> ・ 経緯の整理 ・ 原因究明のための調査方針の検討 		9/11 開催 ◎			
第2回	<ul style="list-style-type: none"> ・ 調査結果の分析、落下原因の検証方針の検討 ・ 今後の対応方針の検討 			11/18 開催 ◎		
第3回	<ul style="list-style-type: none"> ・ 落下原因のまとめ ・ 今後の対応方針 				◎	

凡例
◎：調査検討会

【第1回検討会資料の修正】

第1回検討会において、資料-5、資料-5-1及び資料-5-2で説明させていただきました内容について、一部誤りがありましたので、修正させていただきます。

<修正箇所>※黄色着色部

照明灯具本体の材質 (誤) SPCC (正) SECC

宇利トンネル（上り線）照明灯具の仕様

照明灯具の本体、取付脚について

【厚さ仕様】

- ・照明灯具本体板厚：SECC 1.2mm ※SECCとは、電気亜鉛めっき鋼板（SPCCを原板）
- ・取付脚板厚：SPCC 3.2mm ※SPCCとは、冷間圧延鋼板

【塗装仕様】

- ・照明灯具本体、取付脚の塗装は、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。

【灯具本体の寸法・重量】

- ・照明灯具寸法：縦 420 mm × 横 700 mm × 奥行 150 mm
- ・照明灯具重量：18.5 kg

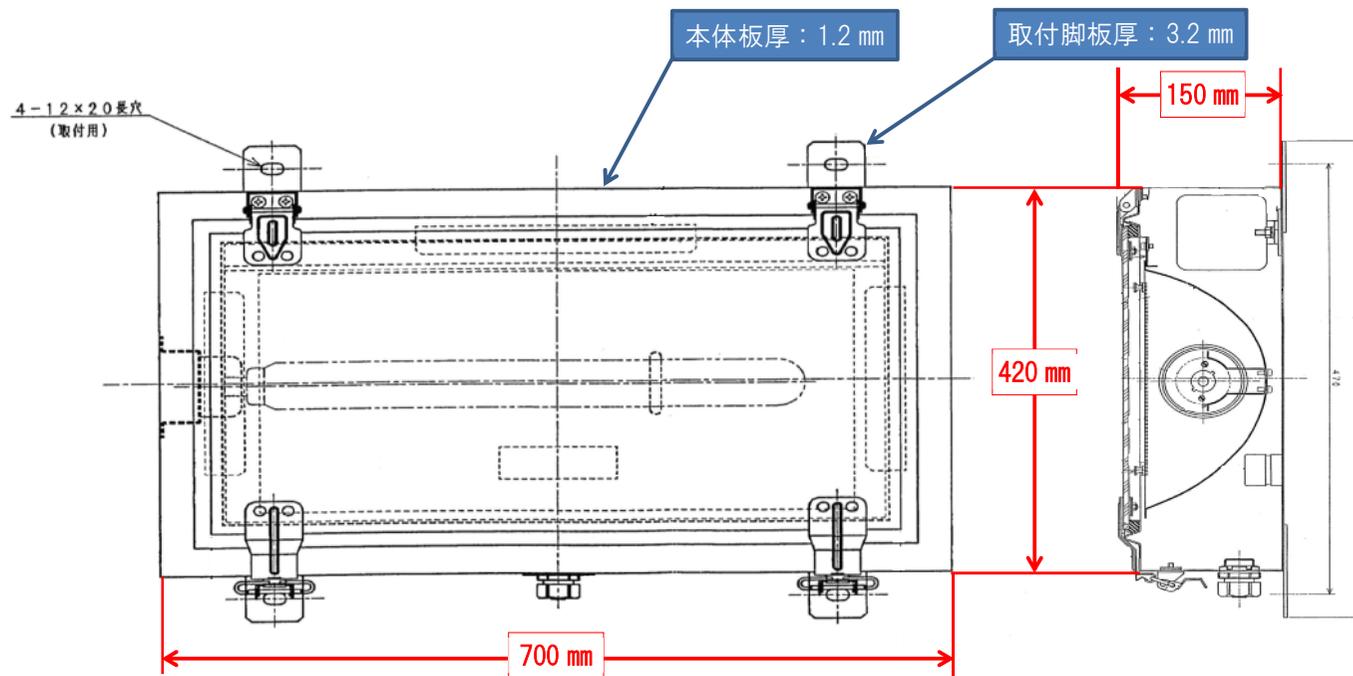


図5-1 照明灯具の外形図