

全軽合金製電車

1964

山陽電鉄3000系廃アルミ車両調査

アルミニウム車両委員会委員長
(公財)鉄道総合技術研究所
石塚弘道

山陽電鉄3000系電車(1次車)の概要

☆3000形3000、3001、3600

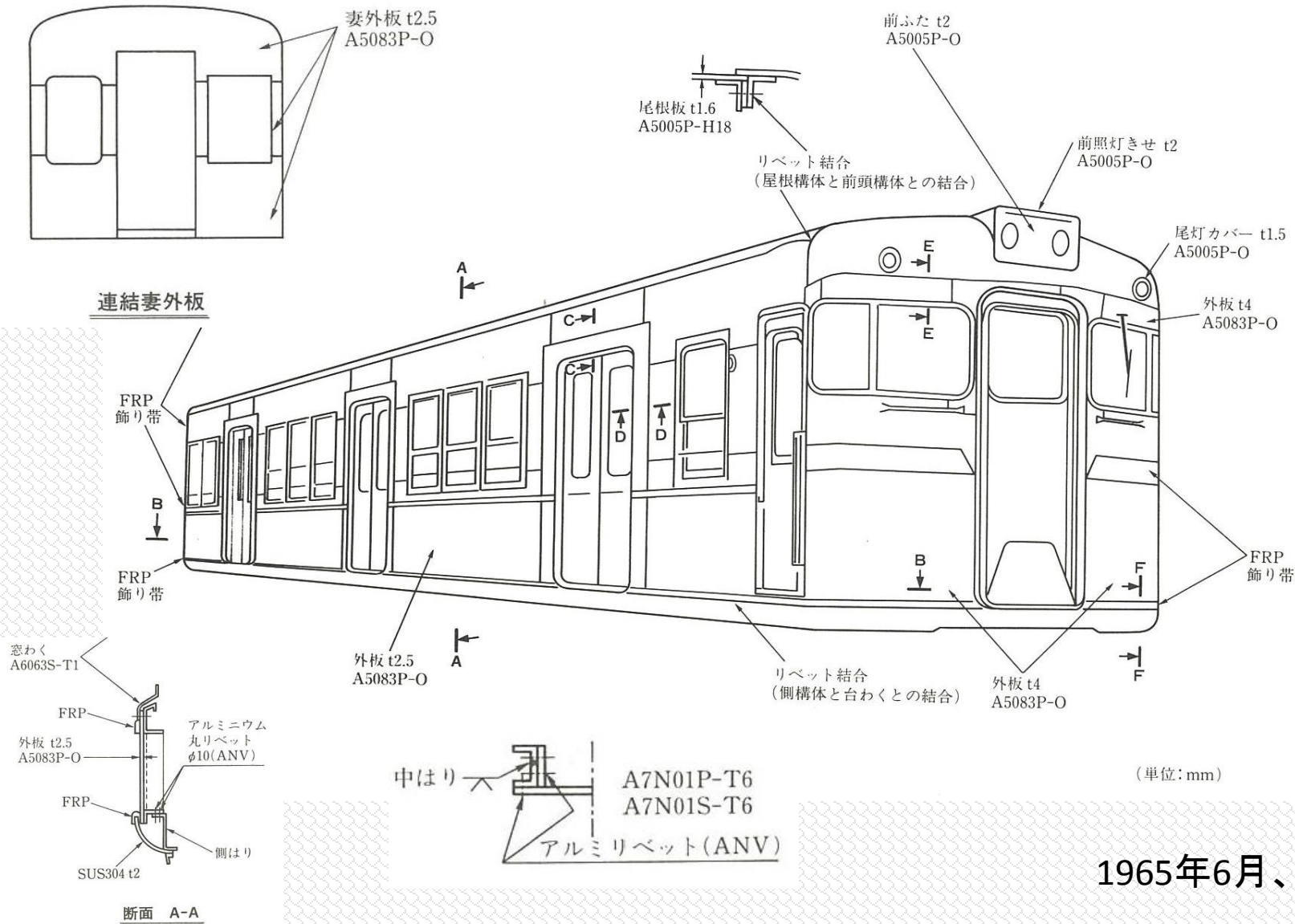
- ・1964年12月24日:竣工
- ・1965年1月1日:営業運転開始
- ・2017年11月23日:最終運行
- ・総走行距離:6,472,000km



☆走行区間



山陽電鉄3000系電車(1次車)の特徴



特徴

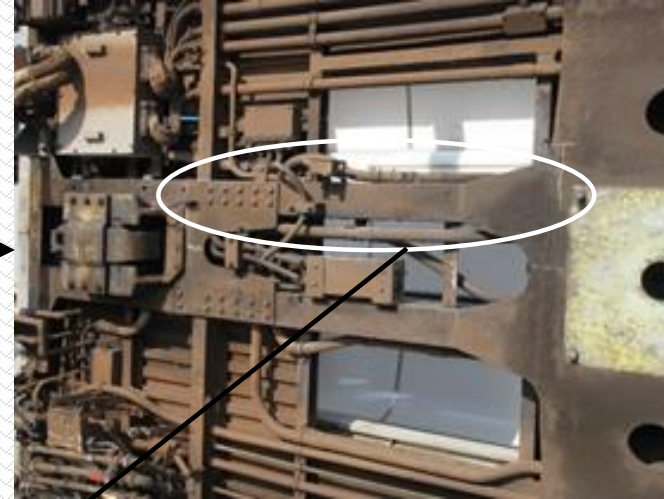
- ・台枠、側構体、妻構体、屋根を各々溶接により製作し、アルミニウム合金リベットにより結合
- ・台枠の枕はりとは中はりに、我が国で初めて7N01(現7204)合金を使用

1965年6月、鉄道友の会よりローレル賞受賞

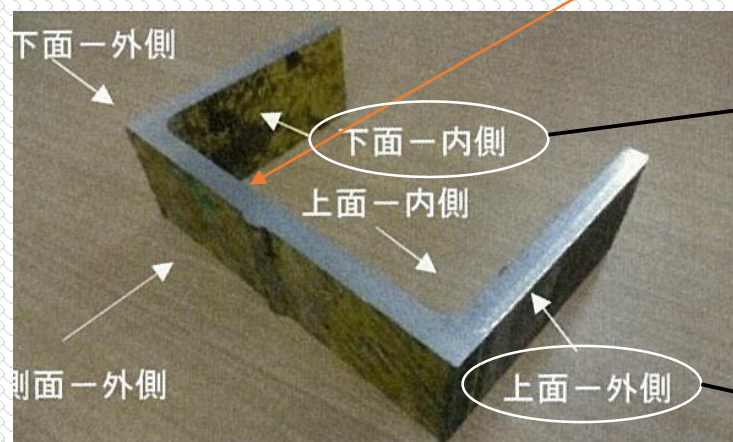
調査部位の材料と調査項目

調 査 部 位		材 料	引張 試験	疲労 試験	化学成 分分析	断面マク ロ観察	腐食 調査	備 考
(1)台枠(3001号車)								
①中はり		7N01*S-T6	○	○	○	○	○	初の7N01、リベット接合部
②側はり	㊦抵抗器上部	6061S-T4	○	○	○	○	○	温度の影響の有無
	㊧一般部		○	○	—	○	○	
(2)側構体(3001号車)								
①側板	㊦板材	5083P-O	○	○	○	○	—	ミグスポット溶接部
	㊧押出材	5083S-H112	○	○				
②出入口隅部		5083P-O	—	—	—	○	○	溶接部、リベット接合部
(3)妻構体								
①妻板上部(3600号車)		5083P-O	—	—	—	—	○	パンタグラフすり板銅粉付着
②妻板下部(3001号車)			○	○	—	—	○	腐食生成物付着
(4)雨とい中央部(3001号車)		6063S-T1	—	—	—	○	○	腐食生成物
* : 現7204								

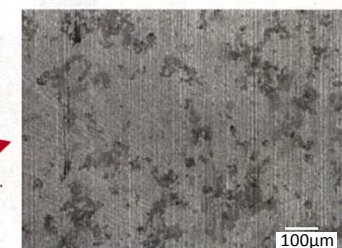
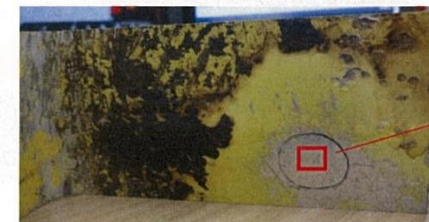
(1)台枠中はり(3001号車後位)



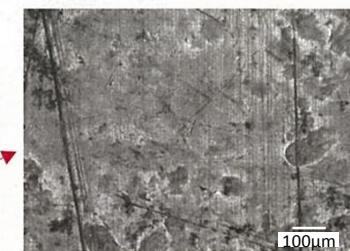
☆外觀觀察—2



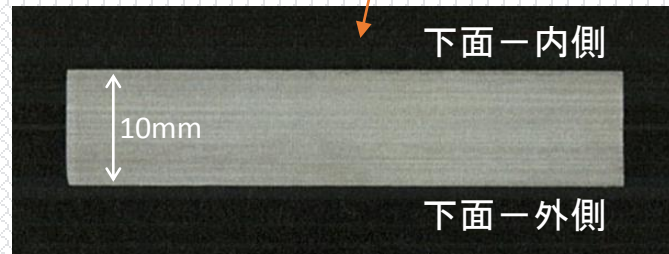
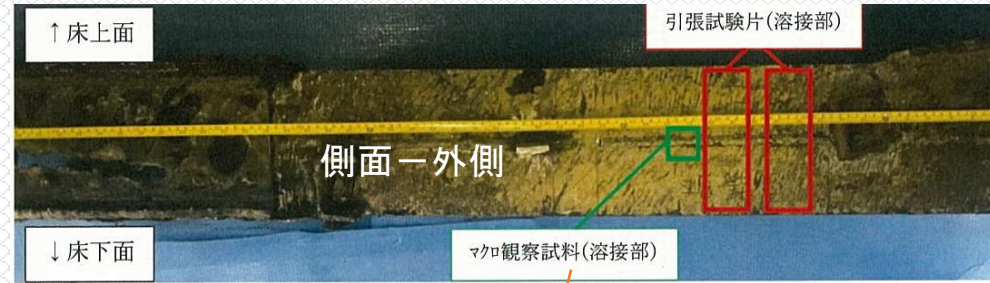
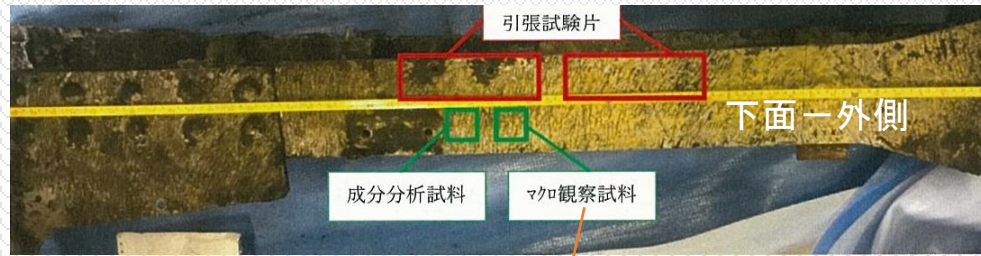
赤枠：表面觀察位置



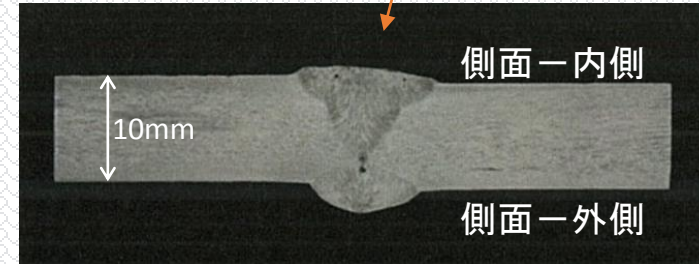
赤枠：表面觀察位置



☆断面マクロ観察－1



一般部

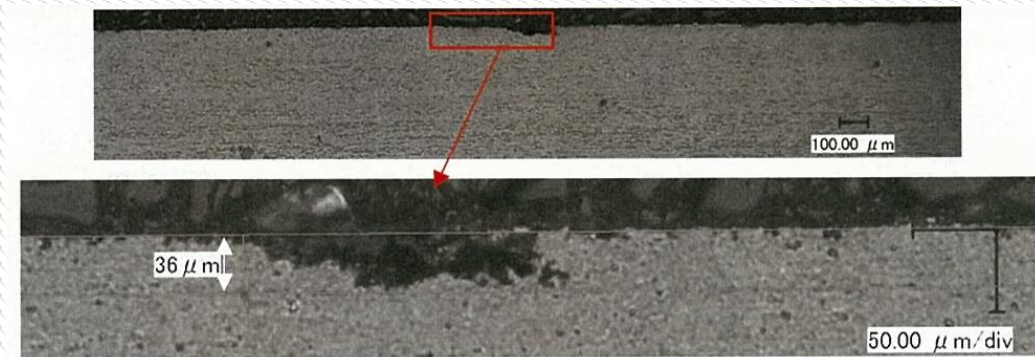
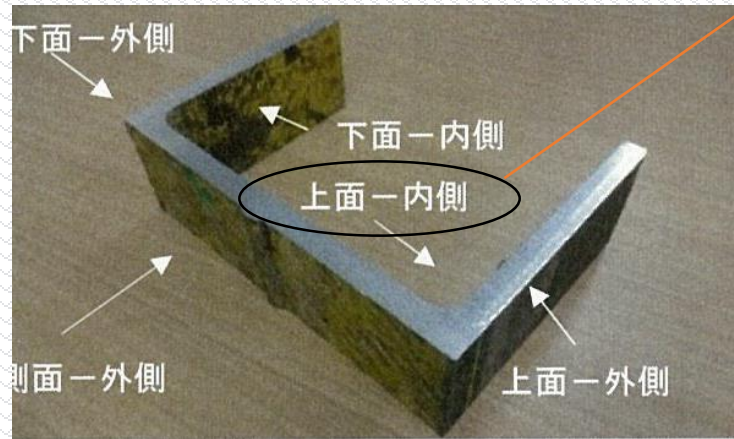


溶接部

☆断面マクロ観察－2

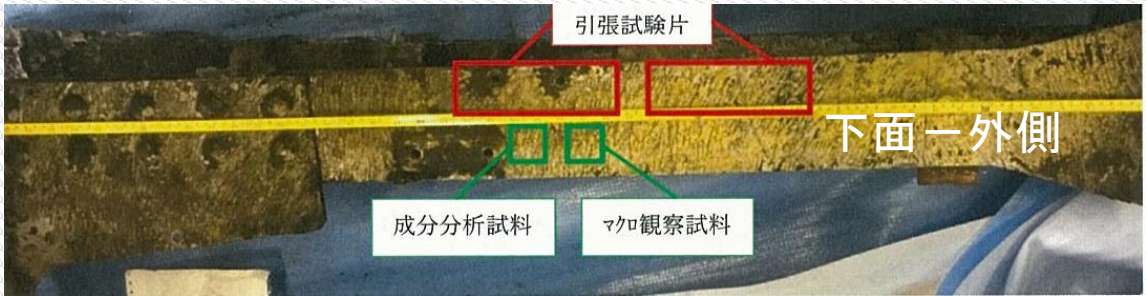
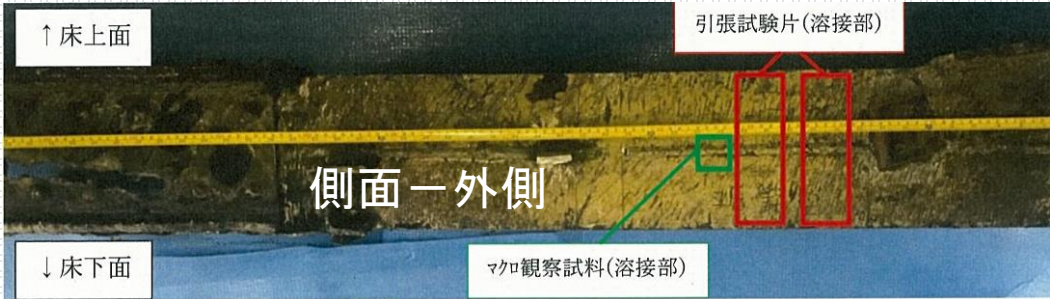


上面－内側の表面



断面マクロ観察結果

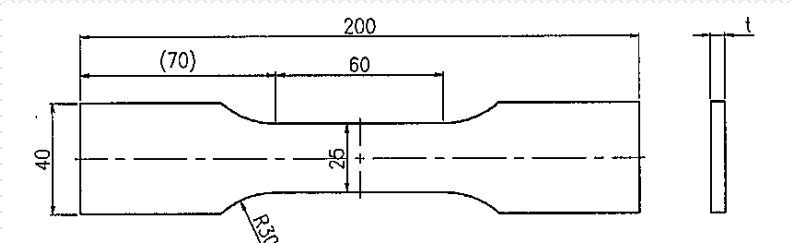
☆機械的性質



試験片切出し位置

引張試験条件

試験装置		島津製オートグラフAG-250kNIC
測定項目		引張強度、耐力、伸び
試験片	数量	一般部:2、溶接部:2
	形状	別図参照(一般部:t=8.560、8.545mm 溶接部:t=9.801、6.831mm)
	表面	全面研削加工
測定方法	耐力	伸び計を使用したオフセット法(0.2%耐力)
	伸び	突合せ法



試験片形状(JIS5号)

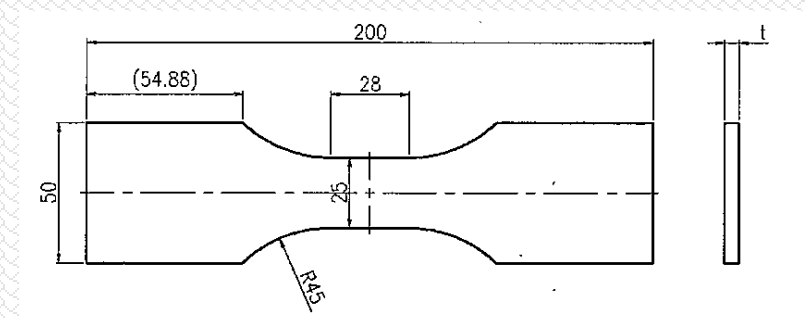
引張試験結果

中梁部	No.	肉厚 (mm)	幅 (mm)	引張強さ (MPa)	耐力 (MPa)	伸び (%)	備考
一般部	1	8.560	24.98	427	355	15.5	—
	2	8.545	24.98	431	362	16.6	—
	平均値	—	—	429	358	16.1	—
溶接部	1	9.801	24.98	283	283	0.5	—
	2	6.831	24.97	324	—	1.0	※降伏前に破断
	平均値	—	—	303	283	0.8	—
参考	JIS H4100 (7N01S-T6)	—	—	335 以上	275 以上	10 以上	—

☆疲労強度



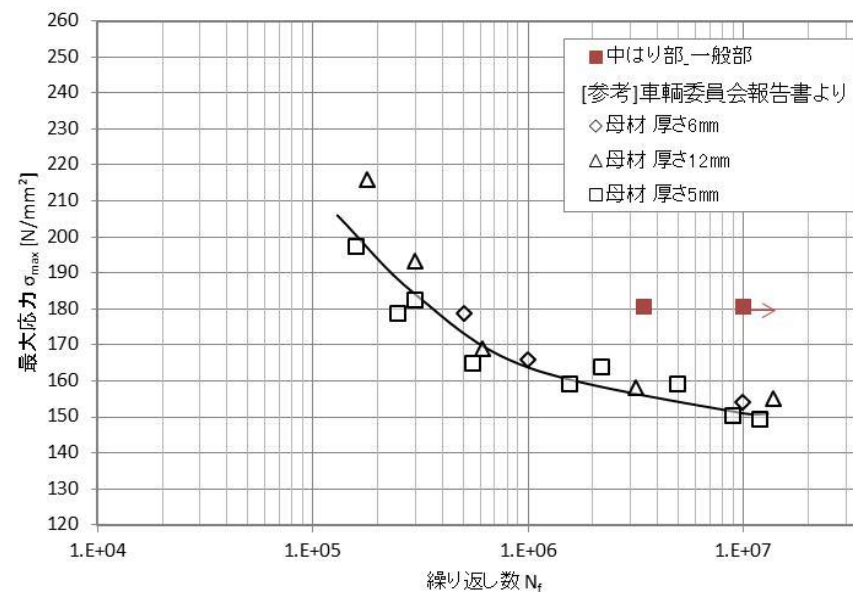
試験片切出し位置



試験片形状

疲労試験条件

試験装置		インストロン製8801型疲労試験機
周波数		30～50Hz
試験片	数量	2
	形状	別図参照 (t=8.65、8.72mm)
	表面	全面研削加工
荷重条件		(1) 完全片振り(応力比 $R=0$)
		(2) 過去の試験結果(10^6 回での疲労限度=163.8MPa)と同じ荷重
		(3) 最大応力=180MPa



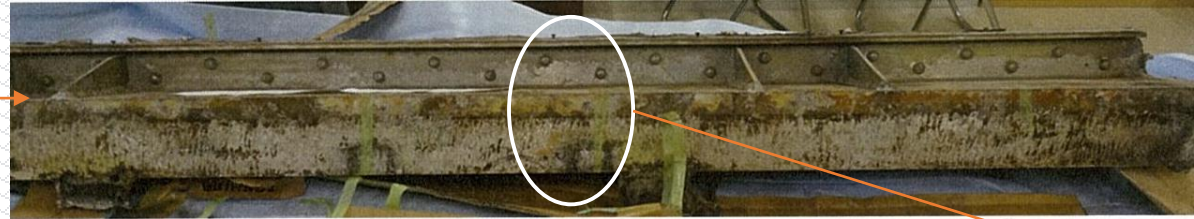
疲労試験結果

台枠中はり(3001号車後位)調査結果のまとめ

- (1) 外観上、アンダーシール塗膜は健全であり、腐食はほとんど認められなかった
- (2) 表面詳細観察の結果、孔食などの軽微な腐食(深さ測定例:0.036mm)は認められたが、全面腐食や深い腐食孔は認められなかった
- (3) リベット接合部では、リベットとアルミ板との隙間が、リベット首下部で最大0.46mm、中央部で最大0.29mm観察されたが、水の侵入は確認できなかった
- (4) 一般部の機械的性質はJIS規格値を十分に満足した。溶接部の引張強さは一般部の70%であった
- (5) 一般部の疲労強度は、1988年頃に実施した結果と比較して同等以上であった

(2)台枠側はり(3001号車)

㊦抵抗器上部



㊧抵抗器から2m位置(一般部)



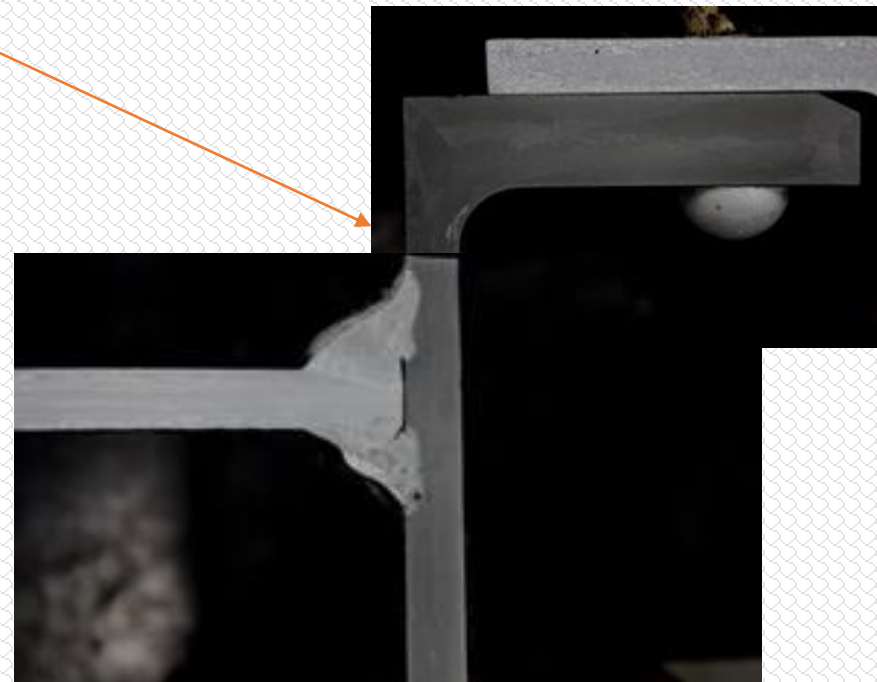
☆断面マクロ観察



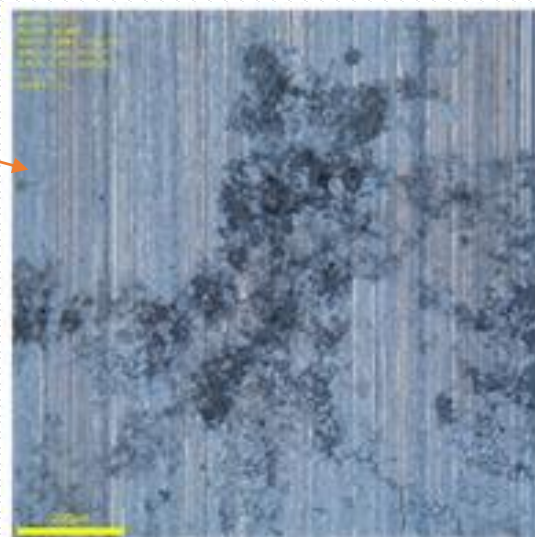
㊦抵抗器上部



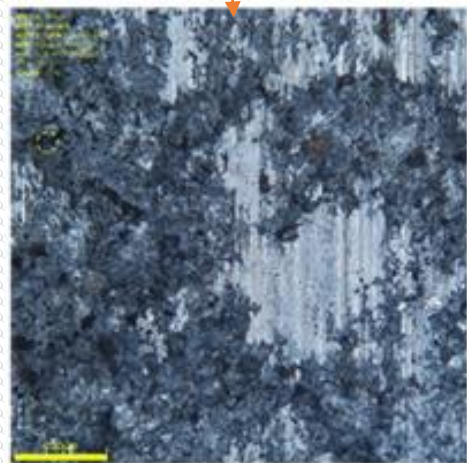
㊦抵抗器から2m位置(一般部)



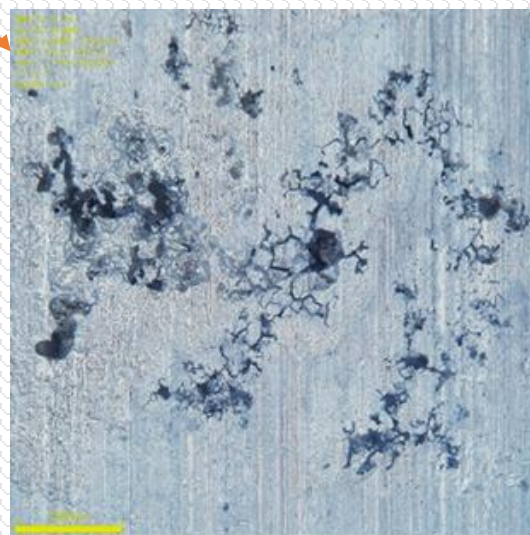
☆腐食部観察



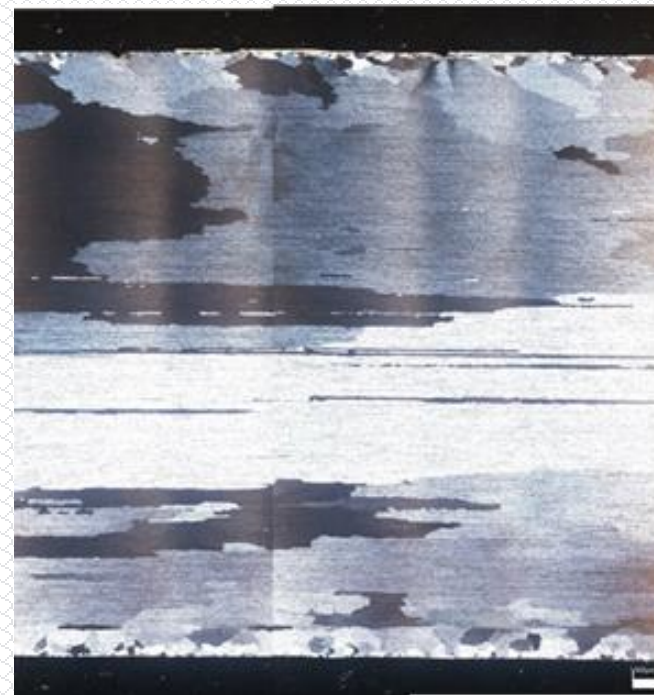
上部下面



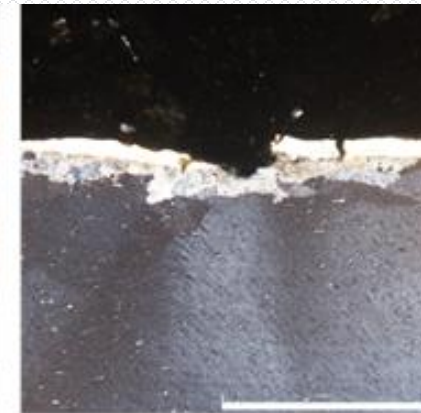
下部下面



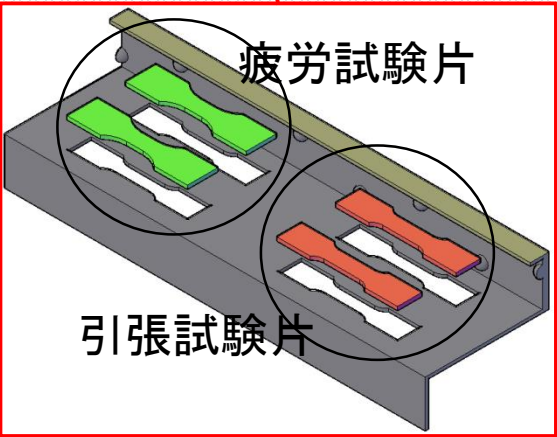
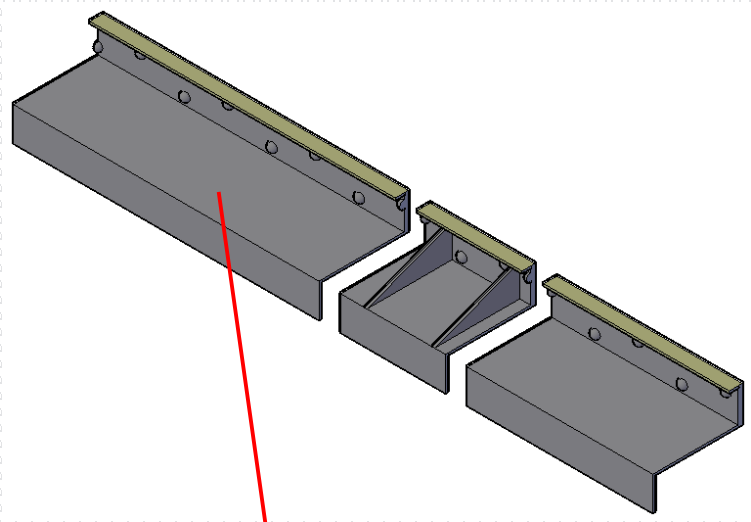
側部内面



下部断面



☆機械的性質



引張試験結果

側梁部	No.	肉厚 (mm)	幅 (mm)	引張強さ (MPa)	耐力 (MPa)	伸び (%)	備考
一般部	1	6.529	24.99	281	192	24.0	—
	2	6.167	24.99	285	194	21.5	—
	平均値	—	—	283	193	22.8	—
抵抗機 上部	1	6.320	24.93	286	190	25.1	※N=1での評価
参考	JIS H4100 (6061S-T4)	全て	—	175以上	110以上	16以上	—

疲労試験結果

側梁部	No.	肉厚 (mm)	幅 (mm)	荷重 条件	試験応力 (N/mm ²)	サイクル数 (回)	備考
一般部	1	6.313	25.01	R=0	171	1.00×10⁷	10 ⁷ 回打切り
	2	—	—	R=0	171	1.00×10⁷	10 ⁷ 回打切り

台枠側はり(3001号車)調査結果のまとめ

- (1) いずれの面についても腐食が著しい状況ではなかった。
- (2) 腐食形態については、粒界腐食又はそれを含んだ状況であったが、腐食深さについては、焦点深度法による測定結果においても最大130 μ m程度に留まっていた。また、材料の深さ方向に対する粒界腐食の進行については、進行は確認されなかった
- (3) 腐食は軽度な状況であった。全面に塗装が施されていた形跡があったことから、塗膜の防食効果が発揮されたことによると考えられる
- (4) 抵抗器直上の台枠側はりと2m離れた位置での台枠側はりの機械的性質はいずれもJIS規格値を満足しており、両者に差異は認められなかった
- (5) 一般部の疲労試験において、応力171N/mm²では、2本とも10⁷回で非破断であった

(3)側構体(3001号車海側)出入口隅部



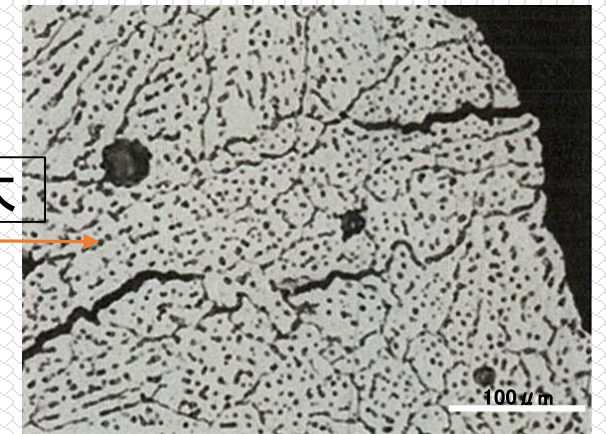
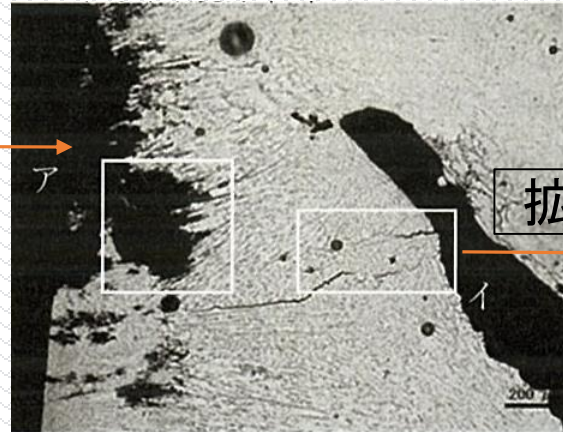
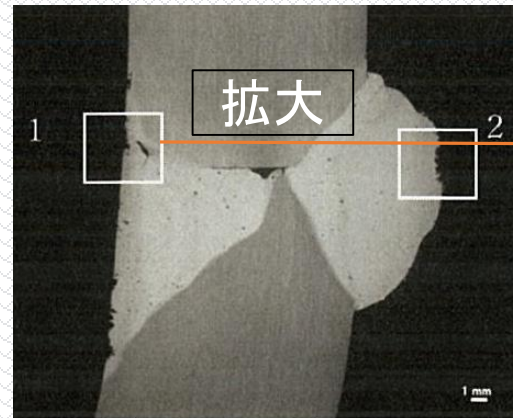
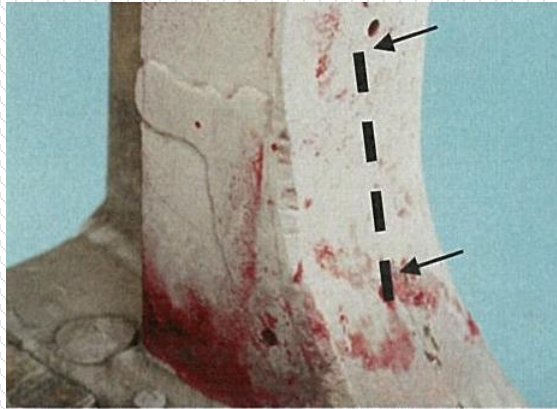
ドアマスク撤去前



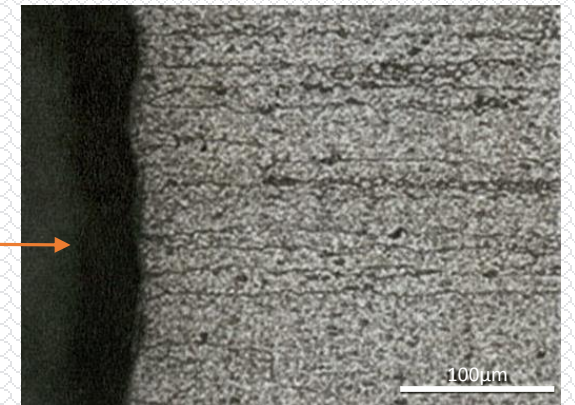
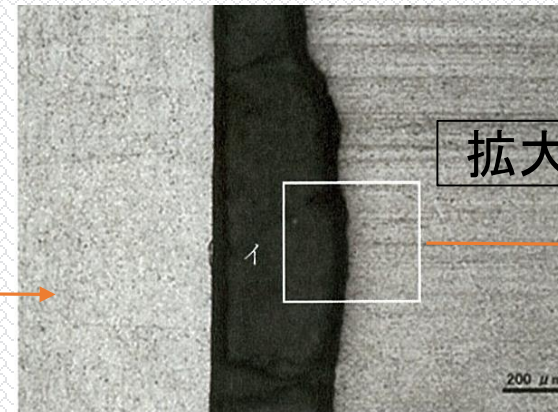
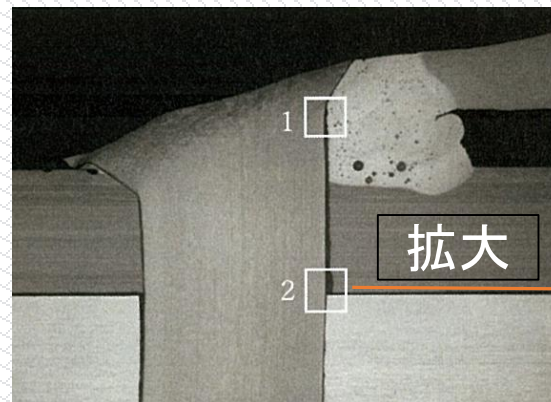
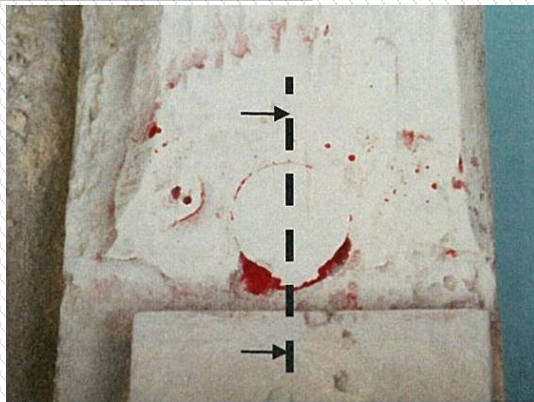
ドアマスク撤去後

☆断面観察

溶接部



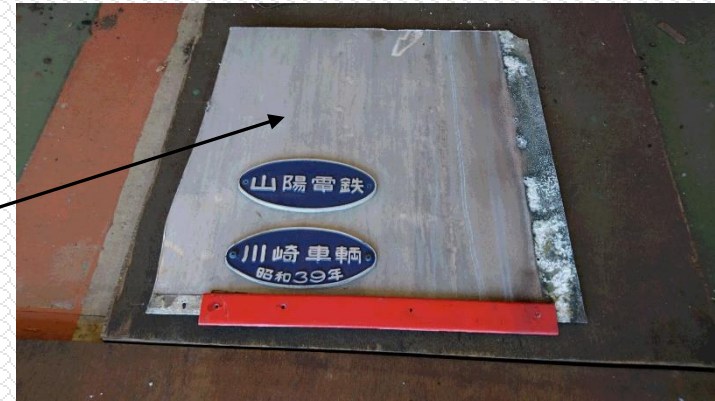
リベット接合部



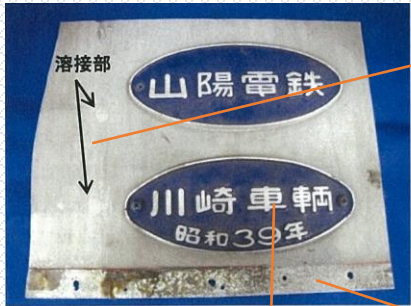
側構体出入口隅部(3001号車)調査結果のまとめ

- (1) 溶接部およびリベット接合部を浸透探傷した結果、き裂は検出されなかった
- (2) 溶接部およびリベット接合部について断面を観察した結果、溶接部では、若干の未溶込み部と短いき裂状模様が観察された
- (3) 表面付着物(腐食生成物)について蛍光X線による化学成分分析を行った結果、白色付着物はアルミ系酸化物、茶色付着物には炭酸カルシウム、砂埃、鉄系酸化物、アルミ系酸化物が混在していた

(4)妻構体妻板下部3001号車3位(3600号車寄り)



☆腐食調査



銘板“川崎車輛”下部

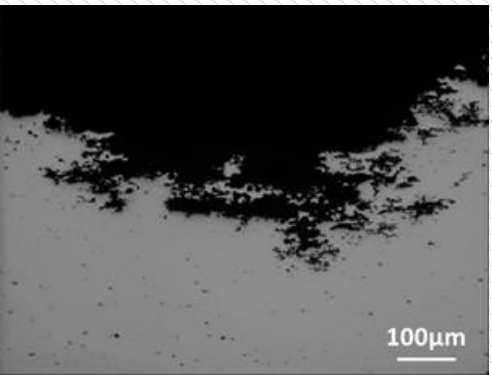


表面状況

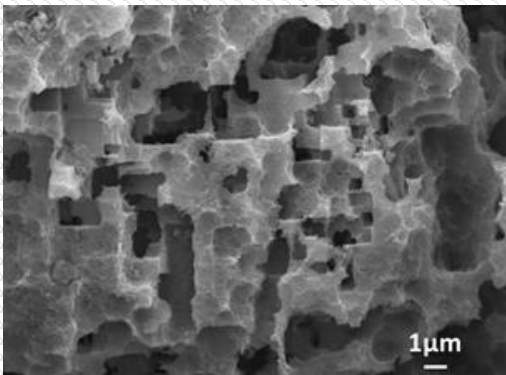


溶接部間

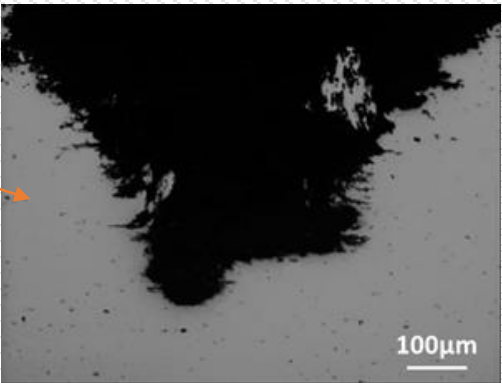
飾り帯下



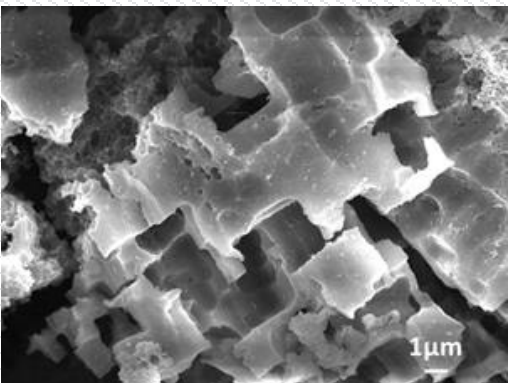
腐食形態



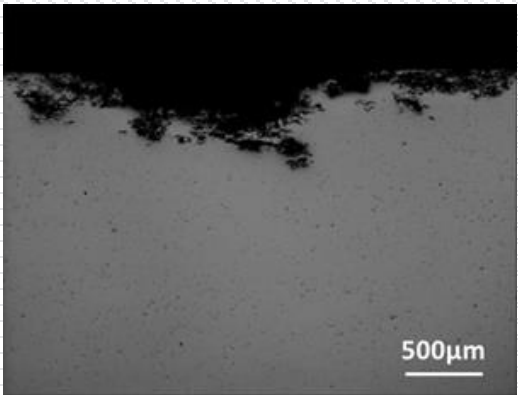
腐食底面のSEM像



腐食形態



腐食底面のSEM像

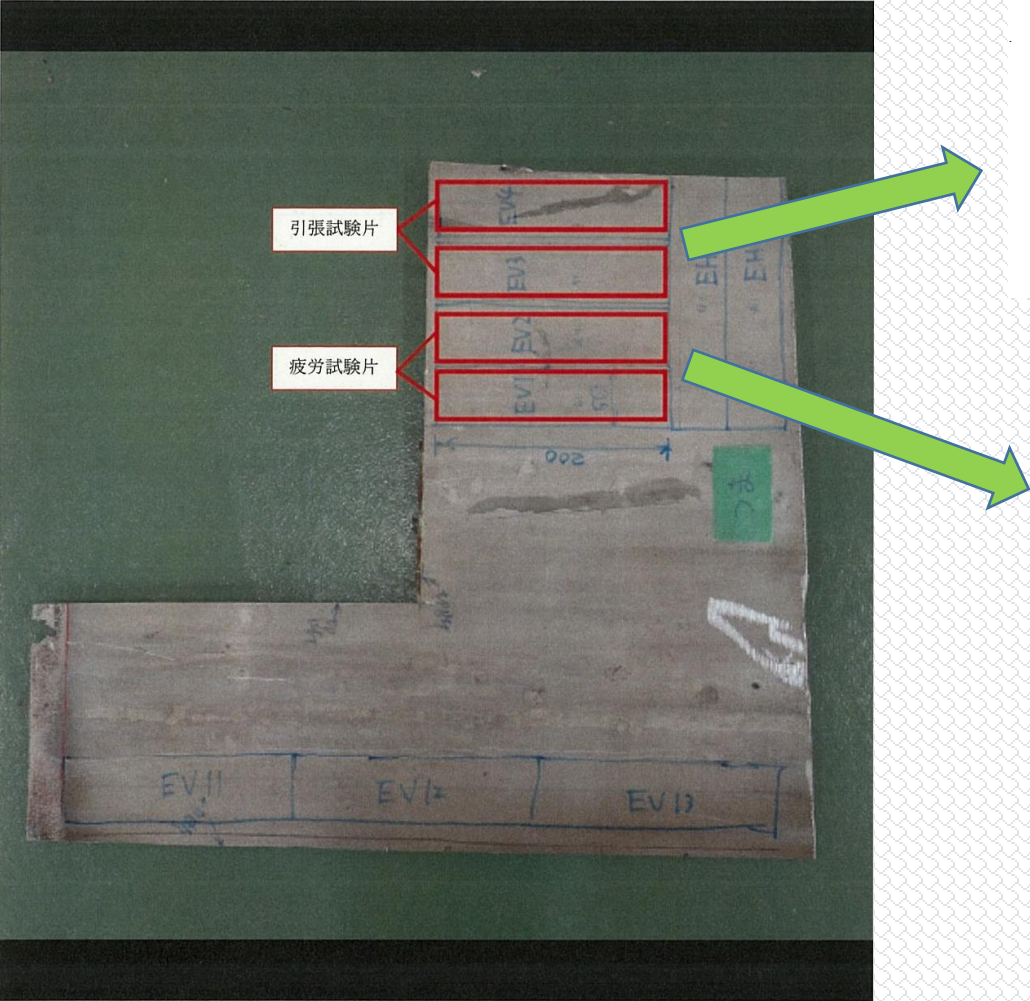


腐食形態

蛍光X線分析結果(質量%)

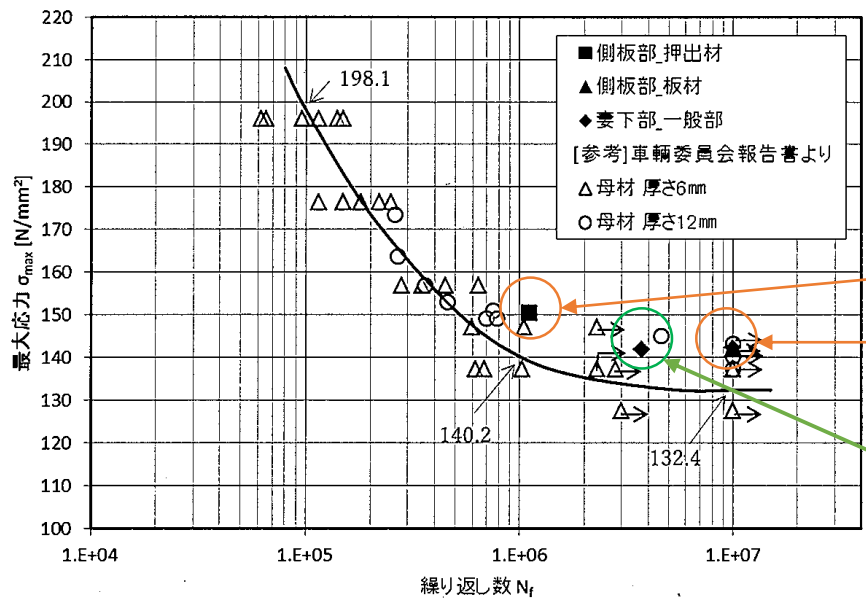
元素	飾り帯下	溶接部間
C	20	13
N	2	
O	48	12
Na	0.1	0.2
Mg	0.2	4.1
Al	19	67
Si	3.1	1.3
P	0.11	0.02
S	2.1	0.5
Cl	0.1	0.5
K	0.13	0.04
Ca	1.3	0.2
Ti	0.10	0.03
V	—	0.01
Cr	0.1	0.2
Mn	0.1	0.3
Fe	1.7	0.2
Ni	0.012	0.04
Cu	1.34	0.02
Zn	0.06	0.01
Ga	0.005	0.007
Zr	0.003	—
Sn	0.1	—
In	—	0.01
Pb	0.01	—

☆機械的性質、疲労強度



引張試験結果

妻下部	No.	肉厚 (mm)	幅 (mm)	引張強さ (MPa)	耐力 (MPa)	伸び (%)	備考
一般部	1	6.529	24.99	281	192	24.0	—
	2	6.167	24.99	285	194	21.5	—
	平均値	—	—	283	193	22.8	—
参考	JIS H4000 5083P-0	0.8を超え 40.0以下	—	275以上 350以下	125以上 200以下	16以上	—



側板部押出材

側板部板材

妻板下部

疲労試験結果

妻構体妻板下部(3001号車3位)調査結果のまとめ

- (1) 妻板下部表面では孔食が観察され、飾り帯下での最大深さは1.05mm、溶接部間では0.473mm、一般部では0.16mmであった
- (2) 飾り帯下での元素分析では、Fe、Cuが検出された。これらは、架線やパンタグラフ部材などからの飛散粉に起因すると考えられ、これらが雨水や洗淨水などと共に飾り帯下と外板との間に流れ込み、堆積したと考えられる
- (3) 銘板“川崎車輛”下には腐食が認められ、最大腐食深さは0.665mmであった。銘板下部にて、外板との間で接着層の剥がれがあり、そこから水が浸入したためと考えられる
- (4) 機械的性質はJIS規格値を十分に満足し、疲労強度も、1988年頃に実施した結果と比較して同等以上であった

山陽電鉄3000系廃アルミ車両経年調査結果のまとめ

- (1) 機械的性質および疲労強度を調査したすべてのアルミ材において、経年による劣化は認められなかった
- (2) 抵抗器直上の台枠側はりと2m離れた位置での台枠側はりの機械的性質に、差異は認められなかった
- (3) 調査したすべての溶接部およびリベット接合部について、一部の溶接部に短いき裂状模様が観察された他は、き裂は認められなかった
- (4) 調査した中はり、外板、妻板などの表面に、特に異常な腐食は観察されなかった
- (5) 雨とい外面の腐食は軽微であったが、内面は、堆積物が厚く堆積し、堆積物除去後の表面には深い孔食が多数観察され、板厚を貫通している箇所もあった。雨とい本体と踏段との溶接部には、深さ1mm程度の小さなき裂が認められた