

RA2017-2

# 鉄 道 事 故 調 査 報 告 書

I 長崎電気軌道株式会社 桜町支線 諏訪神社前停留場～公会堂前停留場間  
車両脱線事故

II 西日本旅客鉄道株式会社 山陽線 四辻駅～新山口駅間  
踏切障害事故

平成29年3月30日

本報告書の調査は、本件鉄道事故に関し、運輸安全委員会設置法に基づき、運輸安全委員会により、鉄道事故及び事故に伴い発生した被害の原因を究明し、事故の防止及び被害の軽減に寄与することを目的として行われたものであり、事故の責任を問うために行われたものではない。

運輸安全委員会  
委員長 中橋 和博

## 《参 考》

本報告書本文中に用いる分析の結果を表す用語の取扱いについて

本報告書の本文中「3 分 析」に用いる分析の結果を表す用語は、次のとおりとする。

- ① 断定できる場合  
・・・「認められる」
- ② 断定できないが、ほぼ間違いない場合  
・・・「推定される」
- ③ 可能性が高い場合  
・・・「考えられる」
- ④ 可能性がある場合  
・・・「可能性が考えられる」  
・・・「可能性があると考えられる」

I 長崎電気軌道株式会社 桜町支線  
諏訪神社前停留場～公会堂前停留場間  
車両脱線事故

# 鉄道事故調査報告書

軌道経営者名：長崎電気軌道株式会社

事故種類：車両脱線事故

発生日時：平成28年6月2日 22時50分ごろ

発生場所：長崎県長崎市

桜町支線 諏訪神社前停留場～公会堂前停留場間（複線）

長崎駅前停留場起点0k923m付近

平成29年3月13日

運輸安全委員会（鉄道部会）議決

委員長 中橋和博

委員 奥村文直（部会長）

委員 石田弘明

委員 石川敏行

委員 岡村美好

委員 土井美和子

## 要旨

### <概要>

長崎電気軌道株式会社の<sup>ほたるぢやや</sup>蛸茶屋停留場発<sup>あかさこ</sup>赤迫停留場行き1両編成の第362号車は、平成28年6月2日、諏訪神社前停留場を定刻（22時47分30秒）に出発した。運転士は、長崎駅前停留場方に向けて公会堂前交差点の分岐器を右曲線となる分岐線側に通過中、異音とともに車両が浮き上がるような異状を感じ、ブレーキ操作により車両を停止させた。運転士が降車して確認したところ、車両は、後台車の全2軸がレールの左に脱線していた。

車両には乗客1名、運転士1名が乗車していたが、死傷者はいなかった。また、事故現場は道路（併用軌道箇所）の交差点内であったが、脱線した車両は、脱線前及び脱線後において自動車等と接触や衝突はしなかった。

## <原因>

本事故は、交差点において電車が、右曲線となる分岐器内を後台車第1軸の右車輪背面と、ダイヤモンドクロッシング内のガードレールの機能を持つ部位の側面とを接触させながら走行していた際に、同車輪背面がノーズレール先端付近に乗り上がって脱線を開始し、車輪フランジが同部位の側面上部を走行した後、同軸左車輪が左レールに乗り上がって同軸が左に脱線し、続いて後台車第2軸も左に脱線したことにより発生したものと考えられる。

後台車第1軸の右車輪が乗り上がって脱線したことについては、変形したノーズレール先端部に車輪が急激に接触し、同車輪の背面横圧が増加するとともに、変形により車輪背面とノーズレール先端部の接触角が減少していたことの影響によるものと考えられる。

ノーズレール先端部が変形したことについては、車輪がノーズレール先端部に接触する構造となる曲線半径の非常に小さい曲線に存在するダイヤモンドクロッシング内で、設計変更によりノーズレール先端部の高さを低くした影響により、ノーズレール先端部が変形しやすい状態となったところに、複数の電車の各台車前軸右車輪の背面が繰り返し衝撃することにより発生したものと考えられる。

# 目 次

1	鉄道事故調査の経過	
1.1	鉄道事故の概要	1
1.2	鉄道事故調査の概要	1
1.2.1	調査組織	1
1.2.2	調査の実施時期	1
1.2.3	原因関係者からの意見聴取	1
2	事実情報	
2.1	運行の経過	2
2.1.1	乗務員の口述	2
2.1.2	運転状況の記録	3
2.1.3	監視カメラの記録動画に関する情報	3
2.2	人の死亡、行方不明及び負傷	3
2.3	軌道施設及び車両の損傷に関する情報	4
2.4	軌道施設に関する情報	4
2.4.1	概要	4
2.4.2	事故現場付近の軌道に関する情報	5
2.4.3	軌道の定期検査に関する情報	8
2.4.4	事故現場付近の軌道変位の状況	9
2.4.5	事故現場付近の軌道の形状の状況	11
2.4.6	レール等への塗油の状況	11
2.5	車両に関する情報	12
2.5.1	概要	12
2.5.2	車両の管理状況に関する情報	13
2.5.3	車輪への塗油の状況	15
2.6	乗務員に関する情報	15
2.7	運転取扱い等に関する情報	16
2.8	通過車両数に関する情報	16
2.9	事故現場及び車両における脱線の痕跡に関する情報	16
2.10	本件交差点で本事故以前に発生した3件の車両脱線事故に関する 情報	17
2.10.1	平成19年5月19日に発生した車両脱線事故	17
2.10.2	平成19年5月24日に発生した車両脱線事故	18
2.10.3	平成27年10月11日に発生した車両脱線事故	19

2.1.1	乗客の避難・誘導等に関する情報	20
2.1.2	気象に関する情報	21
2.1.3	同社における本事故の調査に関する情報	21
3	分析	
3.1	脱線の状況に関する分析	21
3.2	脱線時の走行速度に関する分析	22
3.3	脱線時の時刻に関する分析	23
3.4	運転に関する分析	23
3.5	軌道変位に関する分析	23
3.6	軌道の形状に関する分析	24
3.6.1	本件ノーズレール先端の変形に関する分析	24
3.6.2	本件ノーズレール先端と車輪の接触に関する分析	24
3.6.3	本件ノーズレールと車輪の接触角に関する分析	26
3.6.4	本件ノーズレールの設計変更に関する分析	27
3.6.5	本件ノーズレール先端が変形した原因に関する分析	27
3.7	車両に関する分析	30
3.8	レール等及び車輪への塗油に関する分析	31
3.9	脱線の原因に関する分析	32
3.1.0	本件分岐器で過去に発生した3件の車両脱線事故との関連性に関する分析	33
3.1.1	乗客の避難・誘導等に関する分析	34
3.1.2	気象に関する分析	34
4	結論	
4.1	分析の要約	34
4.2	原因	37
5	再発防止策	
5.1	必要と考えられる再発防止策	38
5.2	事故後に同社が講じた措置	38



## 添付資料

付図1	長崎電気軌道の路線略図	40
付図2	事故現場付近の地形図	40
付図3	事故現場の略図	41
付図4	事故現場の脱線の痕跡	42
付図5	車両の脱線の痕跡	43
付図6	車両の損傷状況	43
付図7	事故現場付近の軌道変位の状況	44
付図8	事故現場付近の軌道の断面形状	46
付図9	本件電車の車輪の断面形状	48
写真1	事故現場の状況	49
写真2	本件電車の脱線の状況	49
附属資料1	同社が行った本件電車等の走行試験結果の概要	50
附属資料2	輪重、横圧、脱線係数の推定計算結果	52

# 1 鉄道事故調査の経過

## 1.1 鉄道事故の概要

長崎電気軌道株式会社の<sup>ほたるぢやや</sup>螢茶屋停留場発<sup>あかさこ</sup>赤迫停留場行き1両編成の第362号車は、平成28年6月2日（木）、諏訪神社前停留場を定刻（22時47分30秒）に出発した。運転士は、長崎駅前停留場方に向けて公会堂前交差点の分岐器を右曲線となる分岐線側に通過中、異音とともに車両が浮き上がるような異状を感じ、ブレーキ操作により車両を停止させた。運転士が降車して確認したところ、車両は、後台車の全2軸がレールの左（以下、前後左右は車両の進行方向を基準とする。）に脱線していた。

車両には乗客1名、運転士1名が乗車していたが、死傷者はいなかった。また、事故現場は道路（併用軌道箇所）の交差点内であったが、脱線した車両は、脱線前及び脱線後において自動車等と接触や衝突はしなかった。

## 1.2 鉄道事故調査の概要

### 1.2.1 調査組織

本事故は、軌道事故等報告規則第1条第1項第2号の「車両脱線事故」に該当し、かつ、同一箇所でも2度以上繰り返し車両脱線事故が発生した事態であることから、運輸安全委員会は、「運輸安全委員会設置法施行規則第1条第5号の事故及び第2条第7号の事態を定める告示」の第1条第2号に定める「特に異例と認められるもの」として、調査対象とした。

運輸安全委員会は、平成28年6月3日、本事故の調査を担当する主管調査官ほか1名の鉄道事故調査官を指名した。

九州運輸局は、本事故調査の支援のため、職員を現場等に派遣した。

### 1.2.2 調査の実施時期

平成28年6月3日	現場調査及び口述聴取
平成28年6月4日	現場調査

### 1.2.3 原因関係者からの意見聴取

原因関係者から意見聴取を行った。

## 2 事実情報

### 2.1 運行の経過

#### 2.1.1 乗務員の口述

事故に至るまでの経過は、長崎電気軌道株式会社（以下「同社」という。）蛍茶屋停留場発赤迫停留場行き第362号車（以下「本件電車」という。）の運転士（以下「本件運転士」という。）の口述によれば、概略次のとおりであった。

事故当日は、6時07分ごろに出勤して6時17分に点呼を受け、複数の電車に乗務した後、再度15時43分ごろに点呼を受け、3号系統上り15時53分に浦上車庫前停留場発の電車に乗務した。

その後、3号系統上り20時50分発の浦上車庫前停留場から本件電車に乗務し、3号系統での乗務を繰り返した後、3号系統上り蛍茶屋停留場22時45分発の本件電車に乗務した。なお、本件電車は、本事故発生まで引継ぎを含め異状はなかった。

その後、諏訪神社前停留場を定刻（22時47分30秒）に発車した後、公会堂前停留場（以下「本件停留場」という。）に向かうため、蛍茶屋支線と桜町支線が分岐する公会堂前交差点（以下「本件交差点」という。）の第一停止線の手前（諏訪神社前停留場方）に停止した。本件交差点の進路選別表示機に右進行進路を示す黄色の「曲」文字灯が点灯したのを確認して前進し、第二停止線の手前に停止した。その時の交通信号機は赤色の停止信号を現示していた。

その後、本件交差点の軌道信号機の黄色の右矢印、交通信号機に付随する電车用交通信号の黄色の右矢印が点灯し、軌道信号機、交通信号機の現示及び公会堂前1号分岐器（蛍茶屋支線上り線から桜町支線上り線に至る部分）（以下「本件分岐器」という。）が分岐線側（桜町支線側）に開通していることを確認して発車した。

直接制御器を1ノッチまで投入し、約3秒後にノッチオフし、その後、桜町支線上り線と蛍茶屋支線下り線が平面交差するダイヤモンドクロッシング\*1（以下「本件ダイヤモンドクロッシング」という。）を抜けた付近で再度1ノッチまで投入し、本件分岐器を速度約6km/hで力行中、異音とともに車両が浮き上がるような異状を感じ、すぐに空気ブレーキを掛け停止した。

乗客1名にけががないことを確認し、降車して点検すると後台車全2軸が左側に脱線していた。

車内に戻り、携帯電話（支給物であるスマートフォン）で同社の安全推進係に連絡を取り、状況を報告した。その後、乗客の降車を確認し、降車して、後

---

\*1 「ダイヤモンドクロッシング」とは、2つの軌道が平面交差しているものをいう。

続で停止していた他の電車の運転士に状況を伝えた。

その後、警察及び同社の社員が現場に到着し、脱線した車両の確認を行った。

なお、本件運転士は、2.4.2(3)に後述する平成28年5月23日の営業運転再開から本事故発生まで同ルートを通過する乗務を複数回行っているが、いずれも異状は感じなかった。

(付図1 長崎電気軌道の路線略図、付図2 事故現場付近の地形図、付図3 事故現場の略図、付図4 事故現場の脱線の痕跡、写真1 事故現場の状況、写真2 本件電車の脱線の状況 参照)

### 2.1.2 運転状況の記録

本件電車には、GPS (Global Positioning System) を用いた測位により得られた時刻や速度等の記録機能を有するドライブレコーダーが搭載されていた。(以下、それらの記録を「ドライブレコーダー記録」という。)

本事故発生時の本件電車のドライブレコーダー記録は、表1のとおりであった。

なお、本件電車には運転状況記録装置は搭載されておらず、運転状況記録装置の記録により本事故発生時の時刻や速度を確認することはできなかった。また、本件電車には速度計が搭載されていたが、運転士の訓練等に用いるため助手席側に設置されているものであり、本件運転士が走行中の電車の速度を確認するための装置はなかった。

表1 本事故発生時の本件電車のドライブレコーダー記録

時刻 (平成28年6月2日)		速度 km/h
から	まで	
22:49:50	22:49:51	0
22:49:51	22:49:52	1
22:49:52	22:49:53	2
22:49:53	22:49:54	4
22:49:54	22:49:55	7
22:49:55	22:49:56	7
22:49:56	22:49:57	6
22:49:57	22:49:58	5
22:49:58	22:49:59	4
22:49:59	22:50:00	4
22:50:00	22:50:01	4
22:50:01	22:50:02	4
22:50:02	22:50:03	4
22:50:03	22:50:04	5
22:50:04	22:50:05	5
22:50:05	22:50:06	5
22:50:06	22:50:07	6
22:50:07	22:50:08	5
22:50:08	22:50:09	4
22:50:09	22:50:10	2
22:50:10	22:50:11	1
22:50:11	22:50:12	1
22:50:12	22:50:13	0

### 2.1.3 監視カメラの記録動画に関する情報

本件交差点には、同社により本件停留場の状況を確認するための監視カメラが取り付けられており、本事故を含む本件交差点を通過する車両の状況が動画(以下「監視カメラ動画」という。)で残されていた。

## 2.2 人の死亡、行方不明及び負傷

なし

## 2.3 軌道施設及び車両の損傷に関する情報

本件ダイヤモンドクロッシング付近の軌道ブロック\*2及びアスファルト舗装（以下「軌道ブロック等」という。）が損傷した。

また、本件電車の主な損傷状況は、次のとおりであった。なお、いずれも床下の機器である。

### (1) 車体

- ① ドアブレーキ排気弁配管の折損
- ② まくらばりの曲損

### (2) 前台車

- ① 第2軸の速度発電機ベルトの外れ

### (3) 後台車

- ① ブレーキ配管の折損
- ② ブレーキシリンダボルトの破損

(付図6 車両の損傷状況 参照)

## 2.4 軌道施設に関する情報

### 2.4.1 概要

桜町支線は、長崎駅前停留場と公会堂前停留場間を結ぶ複線の路線であり、軌間は1,435mm、動力は電気（DC600V）である。

鉄道施設の概要は図1のとおりである。本件分岐器及び本件ダイヤモンドクロッシングは、蛍茶屋支線上り線から桜町支線上り線及び桜町支線下り線から蛍茶屋支線下り線に分岐する「公会堂前1号分岐器」のうち、蛍茶屋支線上り線から桜町支線上り線に至る部分である。「公会堂前1号分岐器」は、片開き分岐器2組（うち、1組が本件分岐器）と蛍茶屋支線下り線と平面交差するダイヤモンドクロッシング1組（本件ダイヤモンドクロッシング）で構成されている。蛍茶屋支線上り線からは、同線のにぎわいばし賑橋停留場方に至る線路が基準線、桜町支線上り線の桜町停留場方に至る線路が右方向への分岐線となっている。

なお、「公会堂前三方分岐」（図1 参照）は、道路上（併用軌道箇所）に敷設されており、本件分岐器のトングレール先端におけるキロ程は長崎駅前停留場起点0k933mである。

---

\*2 「軌道ブロック」とは、併用軌道や踏切など軌道と道路が併設されている箇所を用いるレールが敷設されるコンクリートブロックをいう。

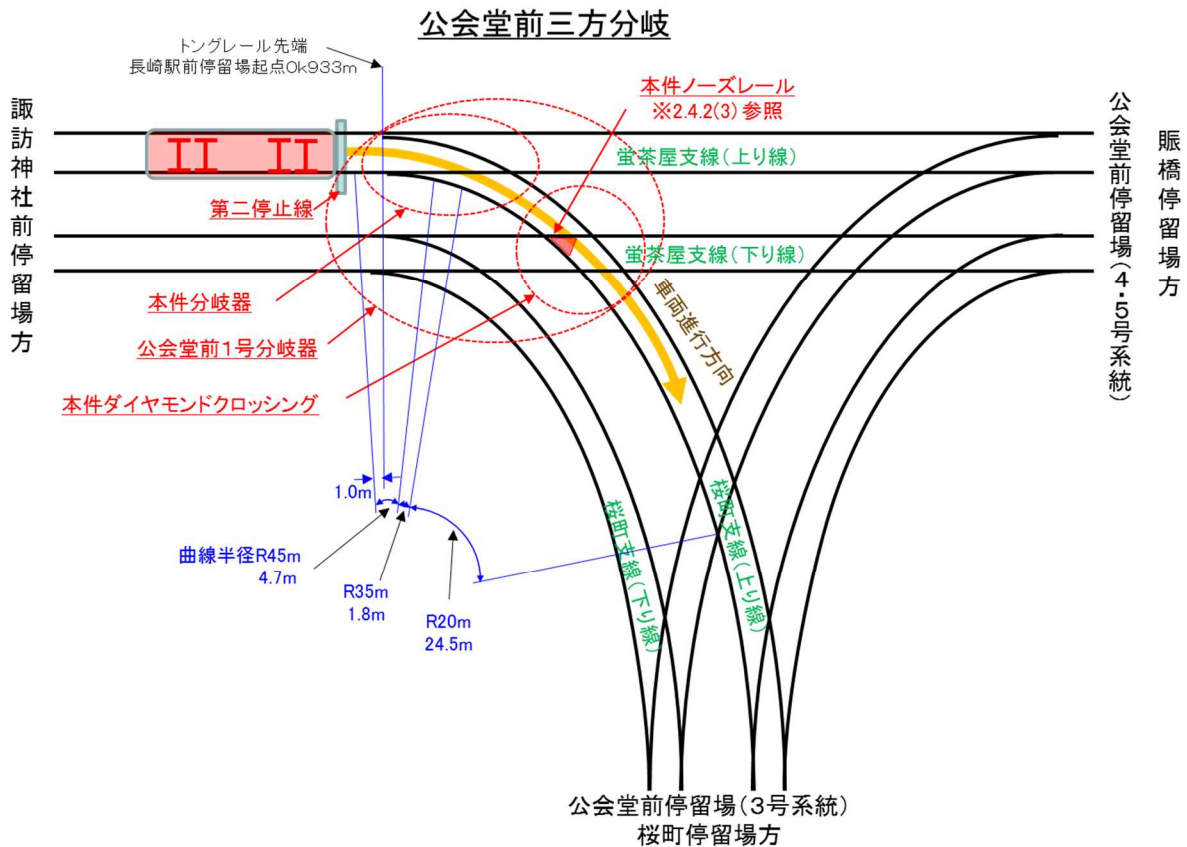


図1 軌道施設の概要

(付図1 長崎電気軌道の路線略図、付図3 事故現場の略図、写真1 事故現場の状況 参照)

## 2.4.2 事故現場付近の軌道に関する情報

### (1) 軌道線形に関する情報

本件分岐器は蛸茶屋支線上り線の基準線方向に約2.9‰の下り勾配となる区間に敷設されており、第二停止線からトングレール先端までは約1.5mである。トングレール先端の手前約1.0mから同先端の前方約3.7m（以下、本報告書においては、レール方向の距離はトングレール先端からの内軌に沿って測定される距離をいい、本事故発生時の本件電車の進行方向を正とし、同先端からの距離がXmの地点を表す場合には「Xm地点」と表す。）までの間は半径45m（以下、本報告書において示す曲線半径の値は、内軌の曲線半径とする。）、3.7～5.5m地点付近までの間は半径35m、5.5～30.0m地点付近までの間は半径20mの右複心曲線となるように設計されている。本件分岐器の分岐線のスラック<sup>\*3</sup>及びカント<sup>\*4</sup>の設計値は

\*3 「スラック」とは、曲線を円滑に走行するために、軌間を所定の大きさよりも広げていることをいう。

\*4 「カント」とは、曲線を走行する際の遠心力が走行安全性及び乗り心地に対して影響することを低減するように設定された、曲線外側のレールと内側のレールとの高低差をいう。

各々 6 mm、0 mmである。ただし、カントについては基準線方向に下りとなる道路勾配に応じて敷設されているため、分岐線においては、本件ダイヤモンドクロッシング付近で約 2 mmの逆カント（外軌よりも内軌が 2 mm高くなる状態）になる。

なお、同社によると、2.4.2(3)に後述する本事故発生前に実施した本件ダイヤモンドクロッシングの交換に際し、軌道パット下に鉄板を敷き込むことで逆カントを解消する調整を行ったとのことである。

## (2) 軌道構造に関する情報

本件分岐器及び本件ダイヤモンドクロッシング付近の軌道構造は接続軌道<sup>\*5</sup>であり、レールは 40 kgNレールが使用されている。なお、クロッシングは高マンガン鋼鑄鋼品で、溝付き構造によりガードレールの機能を持たせる設計（以下、ガードレールやクロッシング内のガードレールの機能を持つ部位を「ガード部」という。）となっている。

本件ダイヤモンドクロッシングは両端に位置する 2組のエンドクロッシング（ノーズレール及びウイングレールで構成される一般的な形のクロッシング）と間にある 2組の K字クロッシング（へ形レール、ノーズレール及びガードレールで構成される特殊な形のクロッシング）から構成されている。

本件分岐器の後端と本件ダイヤモンドクロッシングの前端は、内軌は直接、外軌は約 1.5 mのレールを介して接続される構成となっており、内軌側については、本件分岐器の右主レールに沿って敷設されているガードレールと、本件ダイヤモンドクロッシングのガード部も接続されている。

なお、本件分岐器及び本件ダイヤモンドクロッシングのガード部の基本寸法は、走行する車両の車輪内面間距離<sup>\*6</sup>にフランジ厚さを加えた寸法よりもバックゲージ<sup>\*7</sup>が大きくなるように設計されており、内軌側については全延長にわたって内軌側車輪をガード部で案内する構造となっている。

また、クロッシング部のフランジウェー<sup>\*8</sup>については、前後端がレールから 30 mmの深さとなっており、中心部に向かって 300 mmのスロープ状に底部が上昇し 25 mmの深さとなるように設計されている。

## (3) 本件ダイヤモンドクロッシングの設計変更に関する情報

同社によると、本件ダイヤモンドクロッシングは、平成 27 年 10 月 11

---

\*5 「接続軌道」とは、コンクリートブロックを連続的に敷設し、PC 鋼棒で連結した軌道構造である。

\*6 「車輪内面間距離」とは、輪軸の左右車輪内面（輪軸を構成する車輪の互いに向かい合った面）間の距離をいう。

\*7 ここでいう「バックゲージ」とは、左レール右側面とガード部右側面との距離のことである。路面電車の分岐器付近等の急曲線部では、内軌側車輪背面がガード部側面に接触しながら走行することで、内軌側車輪をガード部が案内することが一般的である。

\*8 「フランジウェー」とは、近接したレールの間を車輪フランジが通る場合のレール頭部間の空間をいう。

日に発生した車両脱線事故（以下「3回目事故」という。）後にとられた再発防止策の一環として、平成28年4月11日から同年5月12日にかけて交換され、同年5月18日から5月20日にかけて試運転を行った後、同年5月23日から営業運転を再開し、本事故発生時まで11日間使用しているということであった。

なお、本件ダイヤモンドクロッシングの交換に当たり、同社は従来の設計からの変更を行った。変更箇所は以下のとおりである（図2 参照）。

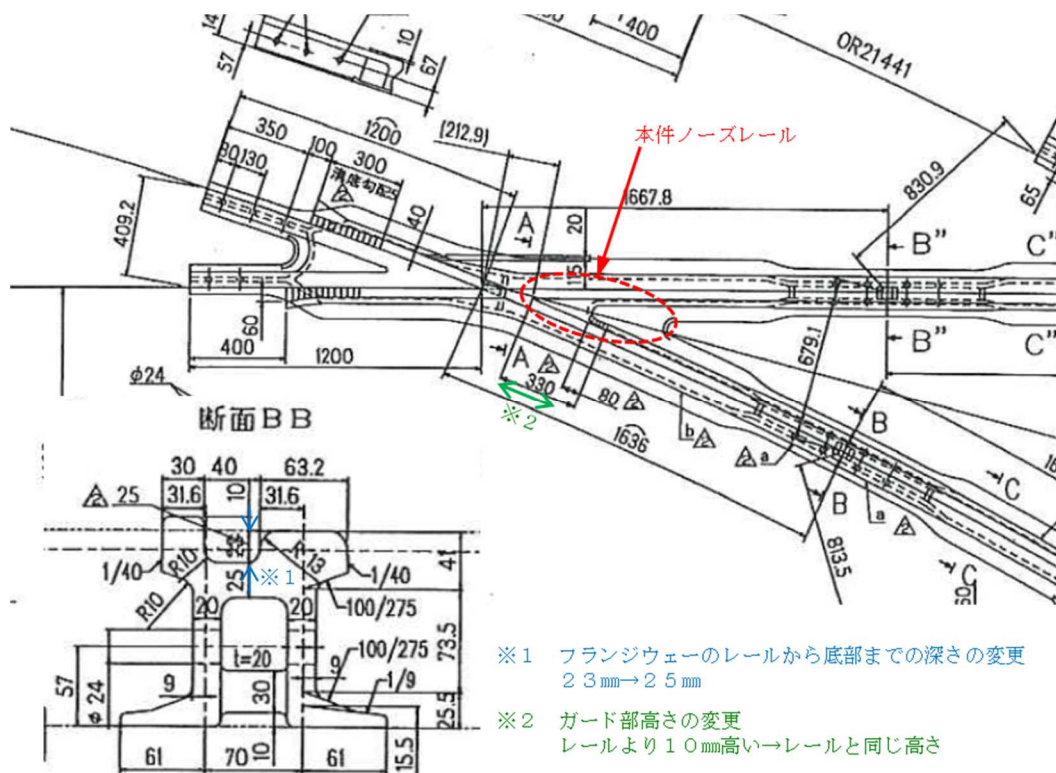


図2 本件ダイヤモンドクロッシングの設計変更

- ① フランジウェーのレールから底部までの深さの変更  
フランジウェーのレールから底部までの深さを、従来の2.3mmから2.5mmに変更した。
- ② ガード部の高さの変更  
本件ダイヤモンドクロッシング内で、車両進行方向において最初に先端部が向かい合う方向に進入する内軌（右側）のガード部であるノーズレール（以下「本件ノーズレール」という。）の高さを、従来はレールより10mm高かったものをレールと同じ高さに変更した。なお、本件ノーズレール先端から250～330mmの位置の範囲において、ガード部の高さは、レールと同じ高さから10mm高い位置まで徐々に高くなる形状となっている。



同社によると、それぞれの変更の理由は以下のとおりであった。

① フランジウェーのレールから底部までの深さの変更

なるべく車輪フランジ頂点をフランジウェー底部に接触させないで走行させることにより、ガード部と車輪背面の接触箇所を車輪の車軸中心寄りにするすることで、乗り上がり脱線を防止する効果を期待する目的とのことであった。

② ガード部の高さの変更

車輪が本件ノーズレール先端に接触することが、本件ノーズレールの変形や摩耗に影響していると判断し、ガード部である本件ノーズレール先端の高さを低くし、ノーズレール先端と接触する車輪の位置を、より車輪の後方にする（車輪とガード部が重なる弦を短くする）ことで、ガード部欠線部の仮想の導線と車輪の重なり量である接触量（以下「接触量」という。）（図3 参照）を軽減させる目的とのことであった。

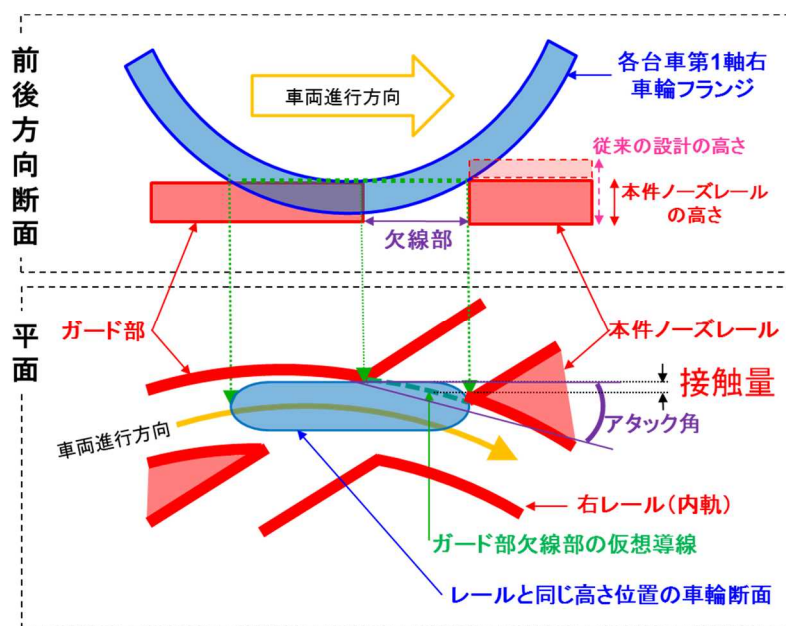


図3 ノーズレール先端と車輪の接触イメージ

(付図3 事故現場の略図、付図4 事故現場の脱線の痕跡 参照)

### 2.4.3 軌道の定期検査に関する情報

同社では、「軌道運転規則」に基づき、「実施細則として同社が九州運輸局長に届け出ている「軌道整備心得」（以下「軌道整備心得」という。）によって「線路検査基準」を定めており、軌道変位については1年に1回検査することとしていた。

同社では、これに基づき、線路方向に10m間隔で軌道変位（軌間変位、水準変位、高低変位及び通り変位 ※高低変位及び通り変位については10m弦での測定）

を測定（以下「一般区間軌道変位測定」という。）している。さらに、分岐器区間については分岐器各部位で軌道変位（軌間変位、バックゲージ、水準変位、高低変位及び通り変位 ※高低変位及び通り変位については各部位間の距離を弦長とした測定）を測定（以下「分岐器軌道変位測定」という。）している。また、軌道整備心得に示された軌道変位の許容値\*9（以下「許容値」という。）は、表2のとおりである。本事故現場付近については、2.4.2(3)に記述したように3回目事故後にとられた再発防止策の一環として、本件ダイヤモンドクロッシングを交換しているが、一般区間軌道変位測定については平成28年5月19日及び同年6月22日、分岐器軌道変位測定については平成28年5月17日と、いずれも交換後に実施している。なお、いずれの測定値についても許容値内であった。

また、本件分岐器及び本件ダイヤモンドクロッシングについては、交換を行った際に同社が確認を行った結果、材料の状態及び摩耗状態に異常はなかった。

表2 軌道変位許容値

(単位：mm)

項目	最小	最大	適用範囲
軌間（本件分岐器においてスラックを考慮した値）	1,438 (-3)	1,446 (+5)	クロッシング部
	1,437 (-4)	1,448 (+7)	クロッシング部以外
水準	-6	+6	
高低*	-7	+7	
通り*	-5	+5	直線部
	-8	+8	曲線部
バックゲージ	1,394	1,402	分岐器クロッシング部鼻端 軌条（ノーズレール）

※高低及び通りは10m弦の長さにおける変位置量。

(付図4 事故現場の脱線の痕跡、付図7 事故現場付近の軌道変位の状況 参照)

#### 2.4.4 事故現場付近の軌道変位の状況

本事故発生前の平成28年5月12日及び本事故発生後の同年6月2日に、事故現場付近における軌間変位、バックゲージ、水準変位を0.5m間隔、高低変位及

\*9 軌道変位の「許容値」とは、軌道整備心得に示された値で、この値の範囲内の変位については修正しなくともよいとされるものをいう。

び通り変位（高低変位及び通り変位については2 m弦での測定）を1.0 m間隔で測定した。なお、2.9に後述するとおり、本事故によるとみられる車輪の乗り上がり痕跡から推定される脱線が始まった点は、10.2 m地点付近の本件ダイヤモンドクロッシング内の本件ノーズレール先端付近であった。（以下、この地点を「脱線開始点」という。）

また、2.4.2(3)で記述したように、本件ダイヤモンドクロッシングは本事故発生前の直近に交換されており、交換前における直近の測定データは、3回目事故発生後の平成27年10月12日及び同年10月15日に測定したものである。

測定結果は次のとおりである。

- (1) 本事故発生後の脱線開始点付近における、軌間変位、バックゲージ、水準変位については、本事故発生前の直近の軌道変位測定結果と大きな差異はなかった。
- (2) 本件ダイヤモンドクロッシングの交換前における軌道変位測定（平成27年10月12日及び同年10月15日測定）では、8.3 m地点付近から11.3 m地点付近の約3.0 m間でバックゲージが1,393 mmから1,400 mmまで7 mm拡大し、同時に軌間変位とバックゲージから算定したフランジウエー幅は52 mmから41 mmまで11 mm縮小していた。  
一方、同箇所の本事故発生前の平成28年5月12日の測定では、バックゲージが1,399 mmから1,399 mmで差が0 mm、フランジウエー幅は42 mmから41 mmで1 mmの縮小、本事故発生後の同年6月2日の測定では、バックゲージが1,398 mmから1,399 mmで1 mmの拡大、フランジウエー幅は43 mmから41 mmで2 mmの縮小となり本件ダイヤモンドクロッシングの交換により、交換前のバックゲージ及びフランジウエー幅の軌道変位はほぼ解消されていた。
- (3) 本件電車の軸距（1.4 m）を考慮し、1.5 m平面性変位<sup>\*10</sup>を水準変位から算定すると、脱線開始点に近い10.3 m地点付近で本件ダイヤモンドクロッシングの交換前においては5 mm（後軸と比較して前軸の左車輪が低くなる状態）であったが、同箇所の本事故発生前の平成28年5月12日の測定では0 mm、本事故発生後の同年6月2日の測定では1 mmとなっており、平面性変位はほぼ解消されていた。
- (4) 高低変位及び通り変位は2 m弦による測定値と曲率の設計値から得られる2 m弦の設計値を比較すると、測定値は設計値に近い値であった。

（付図7 事故現場付近の軌道変位の状況 参照）

\*10 「平面性変位」とは、レールの長さ方向の2点間の水準変位の差をいい、平面に対する軌道のねじれ状態を表す。2点間の距離が1.5 mであれば1.5 m平面性変位という。なお、本文中では、左前方が下がる向きにねじれている場合の平面性変位をプラス側としている。

#### 2.4.5 事故現場付近の軌道の形状の状況

同社により、本事故発生後に、2.9に後述する本件脱線開始点付近である本件ノーズレール先端部付近の形状を測定した。

本件ノーズレールを含む本件ダイヤモンドクロッシングは、2.4.2(3)に記述したように、本事故発生の11日前から使用されており、各部の摩耗はほとんどない状態であった。ただし、本件ノーズレール先端に左に折れ曲がるような変形が見られた。

本件ノーズレール先端に見られた変形量（ここでは、ガード部上面から2mm下の位置におけるフランジウェー幅の拡大量とする。）は、先端部付近が大きく先端から離れるにつれ徐々に小さくなる傾向にあり、最大の変形量は、本件ノーズレール先端から15mmの位置において約6.5mmであった（図4 参照）。

また、本件ノーズレール先端から10mmの位置では、設計上の隅取り加工曲線の上部で断面が一定となる部分（フランジウェー底部から10mm上、ガード部上面から15mm下の位置）から折れ曲がるように変形していたことが確認できる。変形後の角度（ここでは、垂直の状態を90°とし、ガード部上面から2mm下から15mm下の位置における傾斜角度とする。）は、先端部付近が小さく先端から離れるにつれ徐々に大きくなる傾向にあり、本件ノーズレール先端から40mmの位置で約80°を超え、以降においては、ほぼ設計値である90°に近い値に漸近する傾向にあった。最小の変形後の角度は、本件ノーズレール先端から15mmの位置において約64.6°であった（図5 参照）。

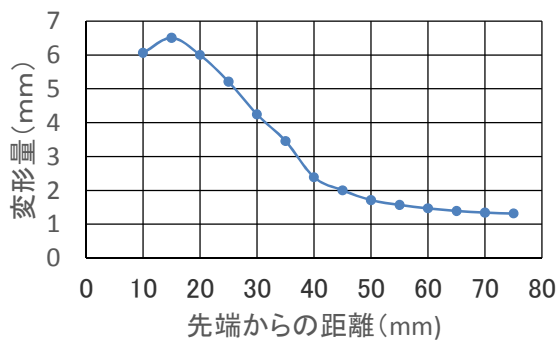


図4 本件ノーズレールの変形量

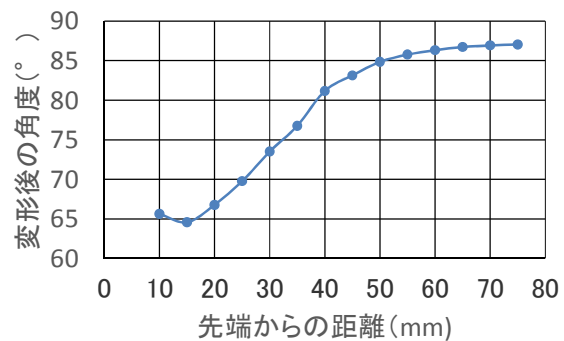


図5 本件ノーズレールの変形後の角度

(付図4 事故現場の脱線の痕跡、付図8 事故現場付近の軌道の断面形状 参照)

#### 2.4.6 レール等への塗油の状況

同社によると、本件分岐器及び本件ダイヤモンドクロッシングについては、人力によりガード部に2回/日の塗油を行うこととしており、本事故発生当日においても、11時00分ごろ及び14時00分ごろに塗油を行っていた。

なお、塗油に使用した油種は、潤滑性グリースである。これは、3回目事故後にとられた再発防止策の一環として、同社が塗油材を従前のマシン油から変更していたものである。

本事故の現場調査時においては、本件分岐器及び本件ダイヤモンドクロッシングのガード部に十分な油が付着している状況であった。

(付図4 事故現場の脱線の痕跡 参照)

## 2.5 車両に関する情報

### 2.5.1 概要

本件電車の編成を図6に示す。車両の主要諸元は次のとおりである。

・車種	直流電車 (DC 600V)
・編成両数	1両
・車両形式	360
・空車重量	15.0t <sup>*11</sup>
・軸距	1.4m
・台車中心間距離	5.4m
・最大けん引力	11.0kN
・主電動機制御方式	直接制御式
・台車型式	NK-25 (ボルスタ付き)
・駆動方式	片軸駆動、吊り掛け駆動方式 (台車内の片方の軸のみを、吊り掛け式支持装置を介して電動機で駆動する方式であり、かつ、電動機が車軸の外側に装架されている外吊り掛け駆動方式である。以下、このような駆動方式を「片軸外吊り掛け駆動方式」という。)
・製造年月	昭和36年11月

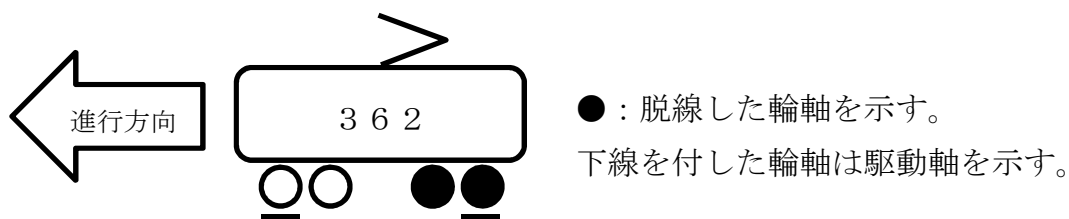


図6 本件電車の編成

本件電車の各諸元の値は、同社が保有する他の車両の各値と大きな差異はなかった。

\*11 [単位換算] 1t=1000kg (重量)、1kg (重量) : 1kgf、1kgf : 9.8N

本件電車の駆動方式は、前台車の第1軸及び後台車の第2軸が駆動軸（車両の1軸目及び4軸目に主電動機を配置している。）となっている片軸外吊り掛け駆動方式（図7 参照）であり、同様の電車は同社が保有する75両のうち14両存在する。75両のうち56両は、前台車の第2軸及び後台車の第1軸が駆動軸の片軸外吊り掛け駆動方式、5両は前台車の第1軸及び後台車の第2軸が駆動軸の直角カルダンユニバーサル継手方式である。

なお、2.10で後述する、本件交差点で過去に発生した3件の車両脱線事故と本事故を合わせた4件の車両脱線事故の全てが片軸外吊り掛け駆動方式の車両で発生している。さらに、そのうち3件が、前台車の第1軸及び後台車の第2軸が駆動軸となっている片軸外吊り掛け駆動方式の車両である。

片軸外吊り掛け駆動方式の電車は、主電動機を輪軸の外側に配置している（図7 参照）ため、主電動機の重量がかかりにくい従軸の軸重が小さくなる特徴がある。

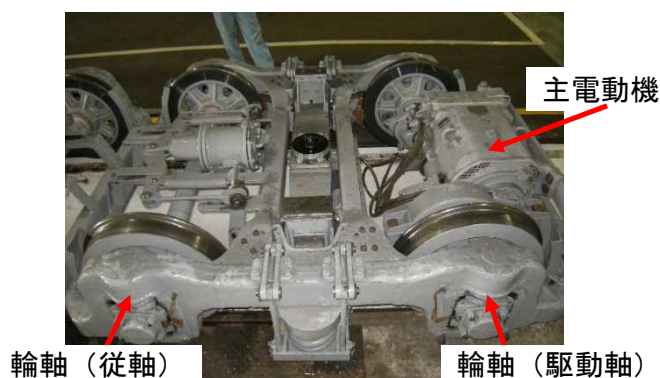


図7 片軸外吊り掛け駆動方式の台車

## 2.5.2 車両の管理状況に関する情報

### (1) 輪軸、車輪及び踏面形状

本件電車の輪軸各部の寸法について、同社から提出された本事故発生前直近の全般検査（8年を超えない期間ごとの検査、平成27年9月2日～同年9月19日実施）、三月検査（3か月を超えない期間ごとの検査、平成28年5月10日実施）の検査結果の記録、及び‘実施細則として同社が九州運輸局長に届け出ている「車両整備心得」’（以下「車両整備心得」という。）に基づく「車両検査限度表」に定められた標準値及び許容範囲<sup>\*12</sup>は、表3のとおりであった。各寸法については、いずれも標準値及び許容範囲内であった。なお、本事故発生前直近の全般検査時に車輪は新品と交換されていた。

さらに、同社により、本事故発生後に本件車両の各車輪断面を測定した結果、各車輪のフランジ厚さ、フランジ高さ及びフランジ角度（設定値68°）

\*12 同社における輪軸各部の寸法の「許容範囲」とは、管理対象の測定値がこの値の範囲内であれば直ちに修正しなくともよいとされているものである。

は設計値と同程度であった。また、本事故発生後の調査で表面粗さ及び台車の状態には、特に異常は認められなかった。

表3 輪軸各部寸法の測定値

(単位：mm)

	全般検査	三月検査
前台車 第1軸	1,366.0 左：25.5 右：25.5 左：23.0 右：23.0	1,366.5 左：24.5 右：24.0 左：23.0 右：23.0
前台車 第2軸	1,366.0 左：25.5 右：25.5 左：23.0 右：23.0	1,366.5 左：25.0 右：24.5 左：23.0 右：23.0
後台車 第1軸	1,366.0 左：25.5 右：25.5 左：23.0 右：23.0	1,366.5 左：24.5 右：24.0 左：23.0 右：23.0
後台車 第2軸	1,366.0 左：25.5 右：25.5 左：23.0 右：23.0	1,366.5 左：25.0 右：25.0 左：23.0 右：23.0

※上段：車輪内面間距離 (1,366：1,366～1,368： 同左 )

中段：フランジ厚さ (25.5： 25以上： 16～32)

下段：フランジ高さ (22.23： 22以上： 22～33)

( ) 内の数値は、設計値：(全般検査) 標準値：(三月検査) 許容範囲

※「左」は進行方向左車輪、「右」は進行方向右車輪を指す。

(付図9 本件電車の車輪の断面形状 参照)

(2) 静止輪重

本件電車の静止輪重について、同社から提出された本事故発生前直近の全般検査(平成27年9月17日実施)記録及び本事故発生後の測定(平成28年8月2日実施)結果記録は表4のとおりであった。

表4 静止輪重の測定値

	全般検査	本事故発生後
前台車 第1軸	左：19.3 右：20.5 3% 39.8	左：22.3 右：23.4 2% 45.7

前台車 第2軸	左：15.3 右：14.5 3% 29.8	左：18.3 右：15.9 7% 34.2
後台車 第1軸	左：16.4 右：16.1 1% 32.5	左：18.4 右：17.4 3% 35.8
後台車 第2軸	左：20.2 右：19.4 2% 39.6	左：22.3 右：24.2 4% 46.5

※上段：静止輪重（kN）、中段：静止輪重比、下段：軸重（kN）

※「左」は進行方向左車輪、「右」は進行方向右車輪を指す。

本事故発生前直近の全般検査で測定した静止輪重比（1軸の輪軸に対し、片側の車輪の輪重をその軸の平均輪重で除した値、100%との差の絶対値で表す。）について、脱線した後台車の第1軸は1%で右側（内軌側）が小さい状態であり、同軸について本事故発生後の測定では3%で右側（内軌側）が小さい状態であった。また、左右車輪の合計値である軸重は、従軸である前台車第2軸及び後台車第1軸が駆動軸である前台車第1軸及び後台車第2軸より小さかった。

なお、静止輪重比について、同社は、「急曲線における低速走行時の脱線防止策について」<sup>\*13</sup>の運用について（平成12年10月26日付け鉄保第149号、鉄施第154号）に基づき20%を基準値として管理を行っており、測定値と基準値を比較すると、全て基準値以内であった。

### 2.5.3 車輪への塗油の状況

同社によると、車輪背面への塗油は、本事故発生前直近の三月検査（平成28年5月10日実施）時に行ったが、以降、本事故発生までの間は行っていないとのことであった。

## 2.6 乗務員に関する情報

本件運転士 男性 48歳

乙種電気車運転免許

平成4年6月3日

\*13 「急曲線における低速走行時の脱線防止策について」とは、平成12年3月8日に発生した帝都高速度交通営団（現 東京地下鉄株式会社）日比谷線中目黒駅構内列車脱線衝突事故を受け、急曲線における低速走行時の脱線防止策について鉄軌道事業者を指導した鉄道局長通達である。



## 2.7 運転取扱い等に関する情報

同社では、‘実施細則として同社が九州運輸局長に届け出ている「運転取扱心得」’（以下「運転取扱心得」という。）において、本件分岐器進入時の運転方法及び運転速度について以下のように定められていた。

- (1) 自動転てつ器の設置箇所を通過するときには、停止線で一旦停止し、信号機の進行信号とポイントの開通を確認してから進行する。
- (2) ポイントを対向<sup>\*14</sup>で通過するときの運転速度は15km/h以下とする。また、半径40m以下の曲線での運転速度は15km/h以下とする。

さらに、同社では、2.10.3に後述する3回目事故に対する再発防止策として、本件交差点上り側の曲線通過に対して「曲線箇所を通過する際は10km/h未満を厳守し、特にクロッシング部を通過の際は惰行にて通過すること」とし、運転士への指導を行っていた。

(付図3 事故現場の略図 参照)

## 2.8 通過車両数に関する情報

本件分岐器の分岐線側を対向で通過する電車本数は、本事故当時の基本ダイヤでは、平日166本/日、土曜日152本/日、日曜日・祝日150本/日である。なお、2.4.2(3)に記述したように、本事故におけるルートは、3回目事故後、営業運転を停止し、平成28年5月23日に運転を再開した。

運転再開から本事故発生までに、本件分岐器の分岐線側を対向で通過した電車本数（試運転も含む。）は、1,823本であった。

また、本件電車である第362号車は、本事故発生当日、本件分岐器の分岐側を対向で6回通過した後、7回目の通過時に脱線した。

## 2.9 事故現場及び車両における脱線の痕跡に関する情報

- (1) 本事故発生後、本件電車は前部を進行方向の右に向けて停止し、後台車全2軸が左に脱線していた。脱線していない前台車については、第1軸の右車輪が本件分岐器のトングレール先端から約22.4m離れた地点、脱線した後台車については、第1軸の右車輪が同約17.4m離れた地点で停止していた。
- (2) 10.1m地点付近の本件ノーズレール先端付近に右車輪背面が強く接触し乗り上がり始めたと考えられる痕跡が見られた。（以下、この地点を「乗り上がり開始点」という。）
- (3) 乗り上がり開始点以降、12.8m地点付近まで、右（内軌側）ガード部の右

---

\*14 「対向」とは、分岐器の前端側から後端側への向きであり、本件分岐器では諏訪神社前停留場から桜町停留場への向きである。対語は「背向」である。

側側面の上部に、車輪フランジ頂点が接触しながら走行したと考えられる痕跡が見られ、対する左レール（外軌）には、レール踏面に走行した痕跡が見られた。なお、(8)に後述する車輪の脱線痕から、乗り上がり開始点から約0.1m走行した10.2m地点付近（脱線開始点）で右車輪のフランジがガード部に乗り上がった状態になった可能性が考えられる。

- (4) 12.8m地点付近の右（内軌側）K字クロッシングのガード部に、右車輪フランジが左に外れた痕跡が見られ、以降、軌道ブロック等の上に停止位置に向かって、後台車第1軸の右車輪が走行した痕跡が連続的に存在していた。
  - (5) 12.8m地点付近の左（外軌側）K字クロッシングのノーズレールに、左車輪フランジが左に乗り上がる痕跡が見られ、以降軌道ブロック等の上に停止位置に向かって、後台車第1軸の左車輪が走行した痕跡が続いていた。
  - (6) 14.6m地点付近の右（内軌側）ガード部に右車輪のフランジ背面が左に乗り上がる痕跡が見られ、さらに、軌道ブロック等の上に停止位置に向かって、後台車第2軸の右車輪が走行した痕跡が続いていた。
  - (7) 14.6m地点付近の左（外軌側）エンドクロッシングのウイングレールに左車輪フランジが左に乗り上がる痕跡が見られ、さらに、軌道ブロック等の上に停止位置に向かって、後台車第2軸の左車輪が走行した痕跡が連続的に存在していた。
  - (8) 本件電車後台車の全車輪のフランジ頂点付近には、脱線後に軌道ブロック等の上を走行したことによると考えられる痕跡があった。また、後台車第1軸右車輪背面及び後台車第1軸左車輪のフランジの表側には、ガード部及びレールに乗り上がったことによると考えられる痕跡があった。なお、後台車第1軸右車輪背面については、車両進行方向に約100mmの延長でレールに乗り上がる痕跡があった。
  - (9) 同社から提供された本事故発生時の監視カメラ動画による、第二停止線を出発してから脱線及び停止をするまでの本件電車の状況は、上記の脱線の痕跡とほぼ同じ挙動であった。
- (付図3 事故現場の略図、付図4 事故現場の脱線の痕跡、付図5 車輪の脱線の痕跡、写真2 本件電車の脱線の状況 参照)

## 2.10 本件交差点で本事故以前に発生した3件の車両脱線事故に関する情報

### 2.10.1 平成19年5月19日に発生した車両脱線事故

平成19年5月19日の18時50分ごろ、本件分岐器中の右曲線部を長崎駅前停留場方に向けて通過中の蛍茶屋停留場発赤迫停留場行き1両編成の第201号車の前台車全2軸が左に脱線する事故（以下「1回目事故」という。）が発生した。

事故現場付近における当時の天気は晴れであった。また、走行速度は約10～15 km/hであった。事故現場での電車の営業運転（桜町支線上り線）は、事故発生の翌日（同月20日）の朝（始発）に再開された。

事故の原因について、同社は、同月8日及び10日にリードレールの交換等を含む補修工事を実施した際に、本件分岐器のリードレール及びクロッシングの線形形状が不適切であったこと、並びにガードレール終端部が右車輪背面から横圧を受けた際に左に変位したために、ガードレール終端部に右への段差が生じ、右車輪背面が段差に衝突したことにより、変動横圧<sup>\*15</sup>（ここでは、衝撃的な背面横圧）が発生して脱線係数<sup>\*16</sup>が大きくなったことで、前台車第1軸の右車輪の背面がクロッシングのガード部に乗り上がったものと判断した。

これにより、同社は、事故後に本件分岐器の線形を整正するため、ガードレール終端部とそれに接続するクロッシングの溶接及び同クロッシングの肉盛溶接等の緊急補修（同月19日、22日及び23日）を実施した。

なお、1回目事故の脱線が始まった点と推定される箇所は、2.9に記述した本件電車の後台車第1軸の脱線開始点と推定される箇所の約1.6 m手前であった。

## 2.10.2 平成19年5月24日に発生した車両脱線事故

平成19年5月24日の21時30分ごろ、本件分岐器中の右曲線部を長崎駅前停留場方に向けて通過中の蛍茶屋停留場発赤迫停留場行き1両編成の第375号車の後台車全2軸が左に脱線する事故（以下「2回目事故」という。）が発生した。事故現場付近における当時の天気は晴れ又は曇りであった。また、走行速度は約12 km/hであった。

事故の原因は、本件分岐器中の右曲線部において、2回目事故の電車の後台車第1軸の右車輪背面を本件分岐器のガードレール等の右側面に接触させながら走行していた際に、同側面に右凸部が存在したことにより、変動横圧（ここでは、衝撃的な背面横圧）が発生して脱線係数が大きくなったとともに、同側面が粗い状態にあったことから右車輪背面と同側面の間の摩擦係数が大きくなっていったことにより、限界脱線係数<sup>\*17</sup>が低下したため、同軸右車輪の背面がクロッシングのガード部に乗り上がった後、同軸左車輪が左レールに乗り上がって同軸が左に脱線し、続いて第2軸も左に脱線したことによるものと考えられた。

---

\*15 「変動横圧」とは、通り変位による車体左右振動による慣性力である「通り変位横圧」やレール継目部での左右振動による衝撃力である「継目部衝撃横圧」のことである。

\*16 「脱線係数」とは、横圧を輪重で除した値で脱線に対する走行安全性の評価指標として用いられ、脱線係数の値が脱線限界（脱線が始まる限界値）を下回っているときは脱線が起こらず、限界値以上のとき脱線する可能性があることを示すものである。

\*17 「限界脱線係数」とは、車輪がレールに乗り上がって脱線が始まる限界の状態のときの脱線係数のことである。

同側面に右凸部が存在したこと及び同側面が粗い状態にあったことについては、1回目事故後の緊急補修において実施された肉盛溶接及び研磨作業の仕上がり状態が不適切であったことによるものと考えられた。

なお、2回目事故の脱線が始まった点の痕跡が見られた箇所は、前述した1回目事故より約0.5m前方であり、本件電車の後台車第1軸による同様の痕跡が見られた箇所の約1.1m手前であった。

同社は2回目事故の後、本件分岐器に対してガードレール等の交換及びガードレール終端付近が左に大きく変位することを防止するための金具の取付け等の措置を講じ、本件分岐器における走行試験を実施して安全を確認した後、平成19年7月19日に桜町支線での営業運転を再開した。

また、同社は1回目事故及び2回目事故の再発防止策として、「レールアーク溶接手順書」及び「軌道保守工事標準仕様書」を新たに作成し、これらを基本に軌道工事をより安全・確実に実施していく体制を整えた。さらに、車輪・レール間の摩擦力が過度に上昇しないための対策として、従来1日1回であった公会堂前1号分岐器のガード部への塗油を、1日2回に増加し実施することとした。加えて、本件交差点上り側の曲線通過速度を10km/h以下と定め、運転士への指導を行っていた。

### 2.10.3 平成27年10月11日に発生した車両脱線事故

平成27年10月11日の21時29分ごろ、本件分岐器中の右曲線部を長崎駅前停留場方に向けて通過中の蛍茶屋停留場発赤迫停留場行き1両編成の第375号車の後台車全2軸が左に脱線する事故（3回目事故）が発生した。事故現場付近における当時の天気は晴れであった。また、走行速度は約13km/hであった。

なお、3回目事故の脱線が始まった点と推定される箇所は、2.9に記述した本件電車の後台車第1軸の脱線開始点と推定される箇所の約2.0m前方であった。

事故の原因は、以下の(1)～(5)の要因が関与し、それらが複合したことによる可能性が考えられた。

- (1) 脱線開始点の手前で軌道変位（バックゲージやフランジウエー幅）が急激に変化していることで、内軌側背面横圧に衝撃的な変動が発生し、内軌側背面に対する脱線係数が大きくなったことが脱線の発生に影響していた可能性があると考えられた。
- (2) 脱線開始点付近でガード部の摩耗角度は約80°と新品の状態である90°よりも小さくなっていた。これにより限界脱線係数が小さくなったことが脱線の発生に影響していた可能性があると考えられた。
- (3) 脱線開始点付近の車輪背面とガード部との接触点における摩擦係数は、湿潤状態や十分な塗油が行われている状態と比較して大きかった可能性が考え

られた。これにより限界脱線係数が小さくなったことが脱線に影響していた可能性があると考えられた。

(4) 脱線した電車は脱線開始点付近を約13km/hで走行しており、速度に応じて内軌側輪重は小さくなり、内軌側背面横圧は大きくなっていったと考えられた。これらにより内軌側背面に対する脱線係数が大きくなったことが脱線の発生に影響していた可能性が考えられた。

(5) 事故が発生した箇所の曲線半径は20mであり、非常に小さい曲線半径の区間であった。また、本件電車の駆動方式が片軸外吊り掛け駆動方式であったことから、従軸であった後台車第1軸の軸重が比較的小さく、力行時には更に減少していた可能性があると考えられた。これらは路面電車としては特別なものではないが、脱線の発生に影響していた可能性があると考えられた。

同社は3回目事故の後、以下①～③の主な対策を実施して、平成28年5月18日から5月20日にかけて試運転を行い安全を確認した後、同年5月23日から営業運転を再開した。

① 軌道変位やガードの摩耗を解消する目的で本件ダイヤモンドクロッシングを平成28年4月11日から同年5月12日にかけて交換した。

② 車輪背面とガード部との接触点における摩擦係数を改善する目的で、塗油材をマシン油から潤滑性グリースに変更した。

③ 速度を極力抑える目的で、制限速度を10km/h未満と定め、運転士への指導を行った。

このように、本件交差点で過去に発生した車両脱線事故は、本事故と同一の曲線内における極めて近い位置で発生しており、本事故は4回目の車両脱線事故となる。

なお、2回目事故について、航空・鉄道事故調査委員会（現：運輸安全委員会）は鉄道事故調査報告書（RA2008-7-I、平成20年7月25日）を、3回目事故について、運輸安全委員会は鉄道事故調査報告書（RA2016-8-I、平成28年11月24日）を公表した。

（付図3 事故現場の略図、付図4 事故現場の脱線の痕跡 参照）

## 2.1.1 乗客の避難・誘導等に関する情報

2.1.1に記述した本件運転士の口述及び同社から提供された資料によると、本事故発生後から本件電車の乗客の避難・誘導を行うまでの時系列は、概略表5のとおりであった。

表5 本事故発生後から乗客の避難・誘導を行うまでの時系列

時刻	本事故発生後の乗客の救済に関する情報
22:50ごろ (本事故発生)	・本件運転士は、降車して、本件電車が脱線していることを確認。すぐに携帯電話（支給物であるスマートフォン）で同社の安全推進係に連絡を取り、本件電車が脱線していることを報告。
22:55ごろ	・車内に戻り、乗客（1名）のけが等の状況の把握（けが人はいなかった）。その後、乗客が降車。
22:57ごろ	・後続の電車の運転士が本件電車近くまで来たので、降車して状況を説明。
23:07ごろ	・警察が本事故現場に到着。
23:17ごろ	・同社の社員が本事故現場に到着。車輪への歯止め、パンタ下げ等を実施。

### 2.1.2 気象に関する情報

本事故現場の最寄りの気象台（長崎地方気象台）の記録によれば、本事故発生当日には、降水は観測されておらず、本事故発生当時の事故現場付近は晴れ又は曇りであった。また、本事故発生時間に近い本事故発生当日23時の気温は19.4℃、湿度は67%であった。

### 2.1.3 同社における本事故の調査に関する情報

同社は、本事故の原因究明及び再発防止策の検討を目的に、平成28年6月14日～15日に地上設備及び車両の調査を行った。

また、同社は、本件ノーズレール付近の走行状況を確認するため、本件電車及び比較のためその他の電車を使用して、平成28年8月17日に台車を手押しで通過させる試験を、同年8月19日に実車を走行させる試験を行った。その結果、いずれの車両も本件ノーズレール先端付近に車輪背面が接触していること、接触する車輪は各台車前軸の右車輪で後軸右車輪は接触していないことが確認できた。

（附属資料1 同社が行った本件電車等の走行試験結果の概要 参照）

## 3 分析

### 3.1 脱線の状況に関する分析

2.9(2)に記述したように、10.1m地点付近の本件ノーズレール先端付近に後台車第1軸の右（内軌側）車輪が左に背面側から乗り上がり脱線した痕跡が見られ、2.9(8)に記述したように、後台車第1軸右車輪背面については、車両進行方向に約100mmの延長でレールに乗り上がる痕跡があったことから、2.9(3)に記述したように、乗り上がり開始点から約0.1m走行した10.2m地点付近で右車輪のフランジがガード部に乗り上がった状態になった可能性が考えられる。内外軌とも、これよ

り手前に脱線の痕跡はないことから、10.2m地点付近の右側（内軌側、本件ノー  
ズレール先端付近）が脱線開始点と考えられる。

さらに、2.9(3)、(4)及び(5)に記述したように、脱線開始点以降12.8m地点  
付近まで、右ガード部（内軌）の右側側面の上部に、フランジ頂点が接触しながら走  
行したと考えられる痕跡が見られ、対する左レール（外軌）には、レール踏面を車輪  
フランジが走行した痕跡が見られ、12.8m地点付近以降は内外軌とも車輪が左に  
外れ軌道ブロック等の上に停止位置に向かって痕跡が連続的に存在していたことから、  
本件電車は、脱線開始点である10.2m地点付近から12.8m地点付近まで右（内  
軌側）車輪はフランジがガード部に乗り上がり、左（外軌側）車輪はフランジがレー  
ルに接触し案内される形で走行した後、12.8m地点付近で左（外軌側）車輪が  
レールに乗り上がり脱線し、左右車輪が左に外れたと考えられる。

また、2.9(6)及び(7)に記述したように、14.6m地点付近の内外軌に左右車輪  
がガード部及びレールに乗り上がる痕跡が見られ、さらに、軌道ブロック等の上に停  
止位置に向かって、後台車第2軸の左右車輪が走行した痕跡が連続的に存在していた。  
これにより、後台車第1軸が脱線した直後に後台車第2軸が続けて脱線したと推定さ  
れる。

以上により、本件電車は、次のとおり脱線したものと考えられる。

- ① 後台車第1軸の右（内軌側）車輪背面が10.2m地点付近において、本件  
ノーズレール先端付近のガード部に乗り上がって左に脱線（以下、このような  
脱線を「内軌側背面脱線」という。）。
- ② その後、約2.6mにわたり同軸左（外軌側）車輪フランジがレールに接触  
し案内される形で走行。12.8m地点付近で、同軸左（外軌側）車輪が左に  
乗り上がり脱線、台車第1軸の左右車輪が左に外れる。
- ③ その後、14.6m地点付近で、後台車第2軸の左右車輪がそれぞれ左に脱  
線。

### 3.2 脱線時の走行速度に関する分析

2.1.2に記述した本事故発生時のドライブレコーダー記録から算定される地点ごと  
の速度は図8のとおりである。

これにより、本件電車は、第二停止線から発車及び力行後、走行距離－5m地点付  
近で速度約6km/hとなった後、惰行運転となり、走行距離5m地点付近で速度約4  
km/hとなった後、再度力行し、2.9(3)に記述した脱線開始点付近（走行距離  
10.2m地点付近）を後台車第1軸が通過した時は、力行中で速度は約5km/hで  
あったと考えられる。

これは、2.1.1で記述した運転士の口述による速度とほぼ一致しており、走行速度

に関しては、2.7に記述した運転士への指導速度である10 km/hを十分に下回っていたと考えられる。なお、電車の運転特性上これ以下の速度を制限として走行することは困難であると考えられる。

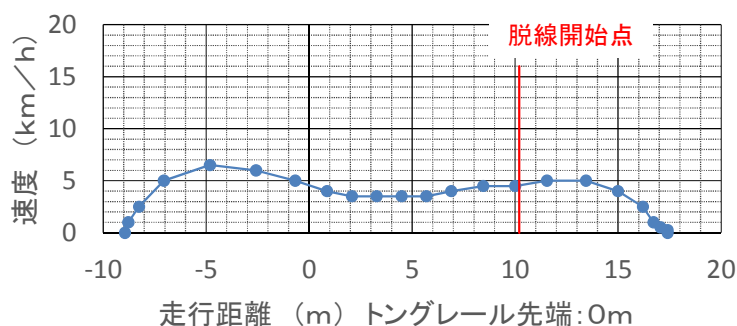


図8 本件電車の地点ごとの走行速度

### 3.3 脱線時の時刻に関する分析

2.1.2に記述した本件電車のドライブレコーダー記録から、3.2に記述した方法と同じ分析を行い、本件電車の地点ごとの時刻を算定すると、2.9(3)に記述した脱線開始点付近（走行距離10.2m地点付近）において、本件電車は22時50分05秒ごろ脱線したものと考えられる。

### 3.4 運転に関する分析

2.1.1に記述した本件運転士の口述及び3.2に記述した脱線時の走行速度から、本事故現場付近における本件運転士の運転の手順等は、2.7に記述した運転取扱心得及び同社の運転士への指導に基づく運転方法とほぼ合致していたと考えられる。

ただし、同社により指導していた「クロッシング部を通過の際は惰行にて通過すること」については、脱線開始点を通過した時点で力行中であったことから、指導内容どおりではなかった可能性が考えられる。クロッシング部を惰行により運転できなかったのは、本件運転士が本件分岐器及び本件ダイヤモンドクロッシングについて制限速度を確実に下回る速度で運転していたところ、クロッシング部であった脱線開始点手前で走行抵抗により速度が低下し、再力行が必要となったものと考えられる。よって、本件運転士が、指導されている運転方法を厳密に実行することが難しかった可能性があると考えられる。

### 3.5 軌道変位に関する分析

脱線開始点付近における軌道変位に関する分析は、以下のとおりである。

- (1) 2.4.4に記述したように、脱線開始点付近において、本事故発生後に測定された軌間変位、バックゲージ、水準変位については、2.4.3に記述した直前の



軌道変位測定結果と大きな差異はなく、本事故発生直前に軌道変位の急激な変化はなかったものと考えられる。

- (2) 2.4.3及び2.4.4に記述したように、脱線開始点付近の軌道変位については、許容値を逸脱する変位はなかった。これにより、本件電車が脱線に至るような大きな軌道変位はなかったものと考えられる。
- (3) 2.4.4(2)に記述したように、3回目事故時に存在した比較的大きな軌道変位（バックゲージやフランジウエー幅）は、本件ダイヤモンドクロッシングの交換後にほぼ解消されていた。これは、本件ダイヤモンドクロッシングの交換により、摩耗していた材料を摩耗のない新品の材料に適切に置き換えた効果によるものと考えられる。

以上により、脱線開始点付近には、直接脱線に影響を及ぼすような大きな軌道変位はなかったものと考えられる。

### 3.6 軌道の形状に関する分析

#### 3.6.1 本件ノーズレール先端の変形に関する分析

2.4.5に記述したように、本件ノーズレールを含む本件ダイヤモンドクロッシングは、本事故発生の日1日前から使用されており、各部の摩耗はほとんどない状態であったが、本件ノーズレール先端に左に折れ曲がるような変形が見られ、最大の変形量は、本件ノーズレール先端から15mmの位置において約6.5mm、最小の変形後の角度は、本件ノーズレール先端から15mmの位置において約64.6°であった。

また、2.1.3に記述した同社が実施した走行試験によると、本件電車以外の電車も含め、車両の各台車前軸の右車輪の背面が本件ノーズレール先端付近に急激に接触し、衝撃していることが確認できる。

運転再開から本事故発生までに本件ノーズレールを通過した車両は、2.8に記述したように1,823本であったことから、本件ノーズレール先端付近は、これらの電車の各台車前軸右車輪の背面と繰り返し衝撃することにより変形が発生したものと考えられる。

(附属資料1 同社が行った本件電車等の走行試験結果の概要 参照)

#### 3.6.2 本件ノーズレール先端と車輪の接触に関する分析

2.1.3に記述した同社が実施した調査による、本件電車の車輪と本件ノーズレールの設計上の断面を用いた接触位置の分析から、接触量、車輪フランジ先端から接触点までの距離（以下「車輪フランジ先端からの距離」という。）、アタック

角<sup>\*18</sup>に相当する車輪フランジと本件ノーズレールの平面上の接触角度（以下「平面接触角」という。）を図9に示す。

前軸は車輪背面と本件ノーズレール先端が接触、後軸は車輪フランジとレールが接触する条件とした場合の、接触量は2.0mm、車輪フランジ先端からの距離は11.5mm、平面接触角は12.3°であった（図9 参照）。

また、このときの外軌側のフランジ遊間は、2.5.2(1)に記述した後台車第1軸の車輪内面間距離及び同軸左車輪のフランジ厚さ、付図7に示す本件ノーズレール先端部付近のバックゲージ、附属資料2の表1に示すアタック角、及び上記の車輪背面と本件ノーズレール先端の接触量から算出すると約6.4mmであった。

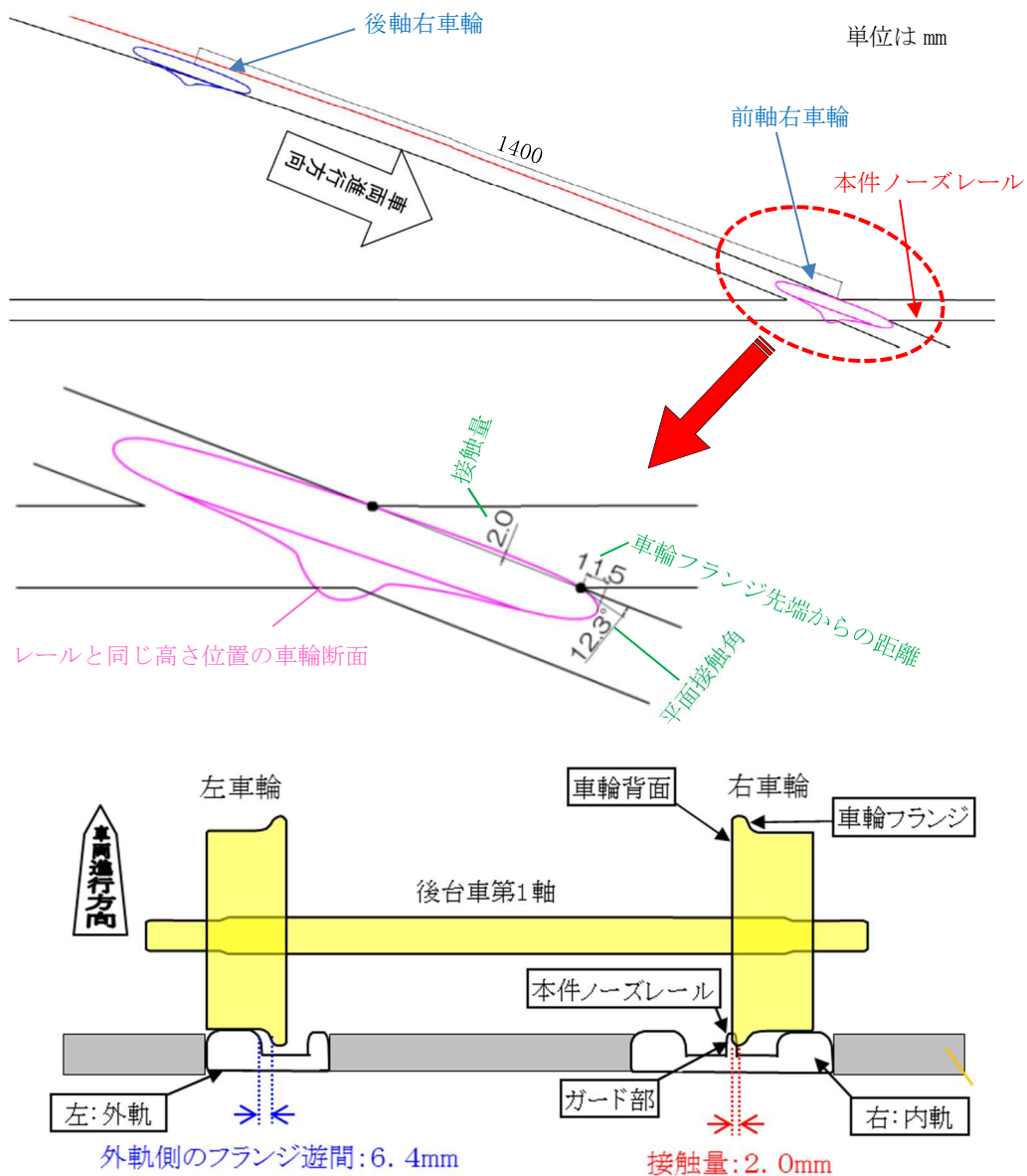


図9 本件ノーズレール先端と車輪の接触

\*18 「アタック角」とは、車輪とレールとの相対ヨー角（上下軸まわりの回転角）のことである。なお、曲線を走行する車輪とレールについては、外軌側車輪がレールに向かって進むときの角度を正にとる。

### 3.6.3 本件ノーズレールと車輪の接触角に関する分析

2.13に記述した同社が実施した調査による分析から、3.6.2に示した接触条件において、実測した本件ノーズレールの先端から10mmから25mmまでの範囲における断面と車輪のフランジ背面とノーズレールの垂直方向断面の接触角（以下「接触角」という。）は、最小で本件ノーズレール先端から15mmの位置において約50°であった（図10 参照）。

ノーズレールと車輪の接触角は、フランジ角度が68°であることから考えても非常に小さく、脱線に影響した可能性があると考えられる。

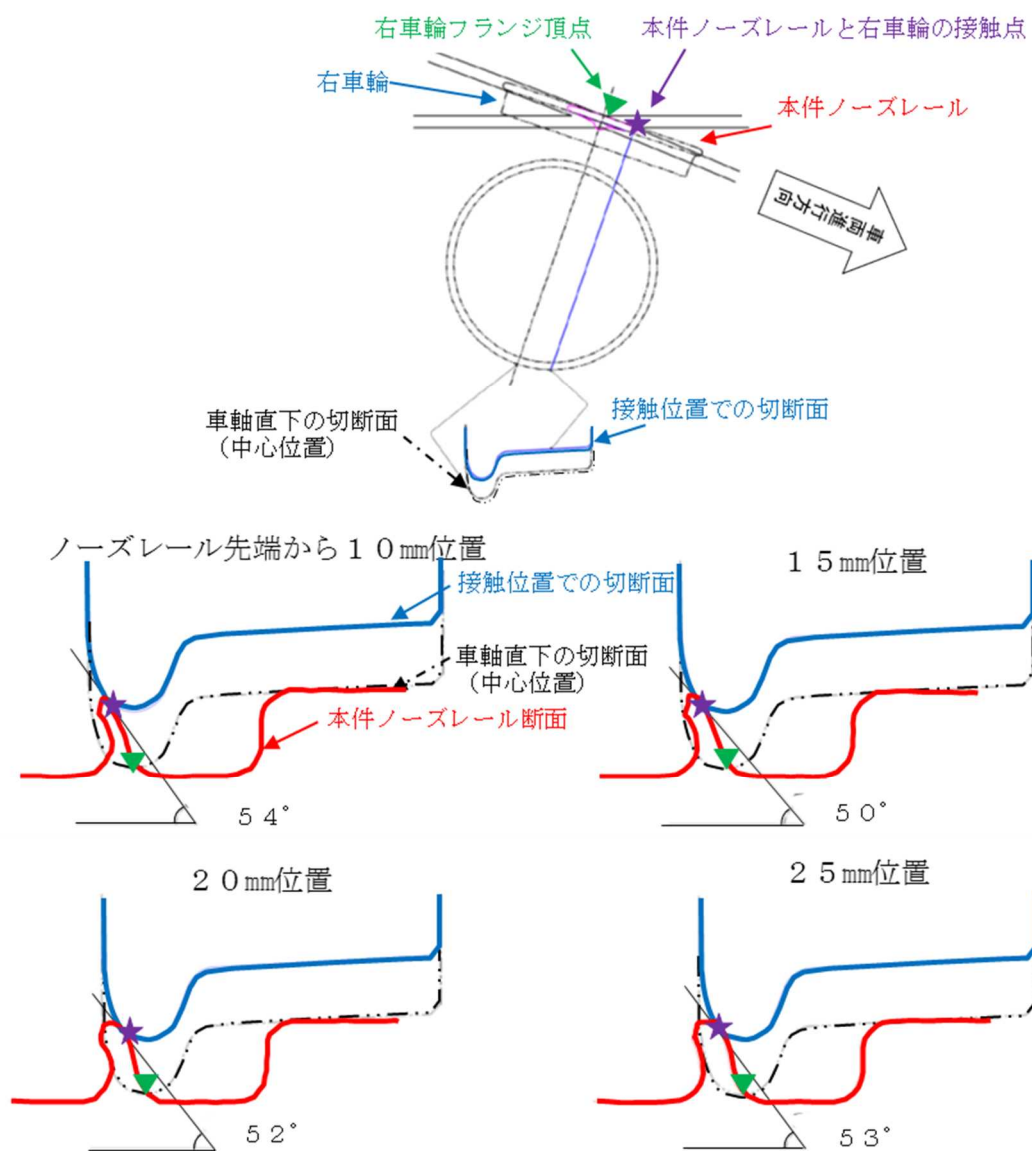


図10 本件ノーズレールと車輪の接触状況

(付図8 事故現場付近の軌道の断面形状、付図9 本件電車の車輪の断面形状参照)

### 3.6.4 本件ノーズレールの設計変更に関する分析

本件ダイヤモンドクロッシングは、2.4.2(3)②に記述したように、交換する際に、本件ノーズレールについてガード部の高さを、従来はレールより10mm高かったものをレールと同じ高さに変更した。

2.1.3に記述した同社が実施した調査による分析から、3.6.2に記述した方法と同条件で従来の設計（ガード部がレールより10mm高い）を想定した場合の各値は、接触量は2.7mm、車輪フランジ先端からの距離は9.0mm、平面接触角は16.6°であった（図11 参照）。

これにより、3.6.2に記述した本件ノーズレール先端と車輪の接触と比較して、従来の設計を想定した場合は接触量や平面接触角が大きく、2.4.2(3)に記述した設計変更の目的のとおり、本件ノーズレールの設計変更はノーズレール先端と車輪のフランジ背面の接触量をやや軽減することができていたと考えられる。

ただし、本件ノーズレールの設計変更は、3.6.5に後述するとおり、本件ノーズレール先端を变形しやすい状態とするとともに、ガード部であるノーズレールの高さが低くなることにより、一定の車輪上昇量に対して車輪背面から乗り上がり脱線しやすい状態となることから、本事故に影響した可能性があると考えられる。

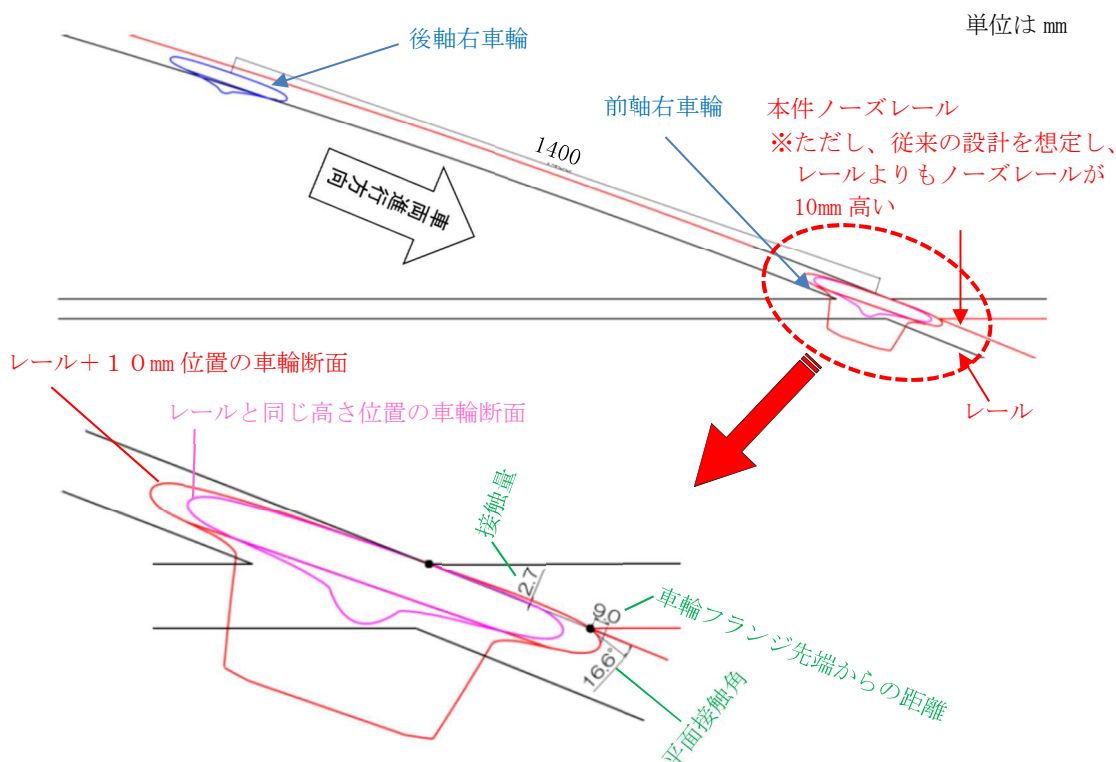


図11 従来の設計を想定した本件ノーズレール先端と車輪の接触

### 3.6.5 本件ノーズレール先端が変形した原因に関する分析

本件ノーズレール先端が変形したことについては、3.6.1に記述したように、複

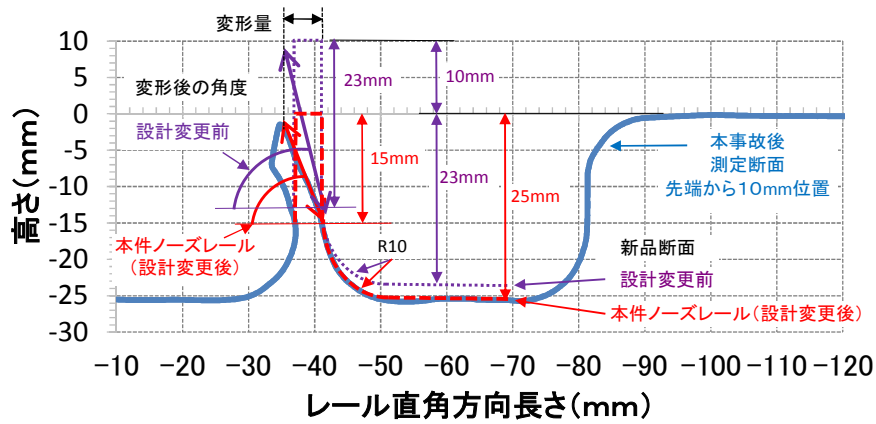
数の電車の前軸右車輪の背面と繰り返し衝撃したことが原因と考えられる。

ただし、

- ・従来の設計によるノーズレールでは、過去において大きな変形が原因の脱線が発生していないこと、
- ・今回の設計はノーズレール先端と車輪の接触をやや軽減することができていたことにもかかわらず、大きな変形が発生したこと

については、今回設計変更した本件ノーズレールの高さが低くなっていたこと（ガード部であるノーズレール先端部の高さをレール面+10mmからレール面+0mmに、フランジウエーのレールから底部までの深さを23mmから25mmに変更したことにより、ノーズレール先端部の高さは8mm低くなった。）による以下の事象が原因となっていた可能性があると考えられる（図12 参照）。

- (1) ガード部上面位置で同等の変形量が発生した場合において、従来の設計と比較して本件ノーズレールでは、変形後の角度が小さいこと。
- (2) 本件ノーズレールでは変形後の角度が小さくなることにより、ノーズレールを上方向から押しつぶし曲げる力が大きくなること。
- (3) 本件ノーズレールではノーズレールの高さが低くなったことで、従来よりも横方向の変形に対抗する断面積が減少（変形が発生していた設計上の隅取り加工曲線の上部の断面で比較すると、従来設計で高さ23mm、今回の設計で高さ15mm、ノーズレールの幅は変更がないことから、断面積は約35%の減少となる。）し、結果、同等の力に対して変形が発生しやすい状態になっていた可能性があること。



断面積の減少による変形のイメージ

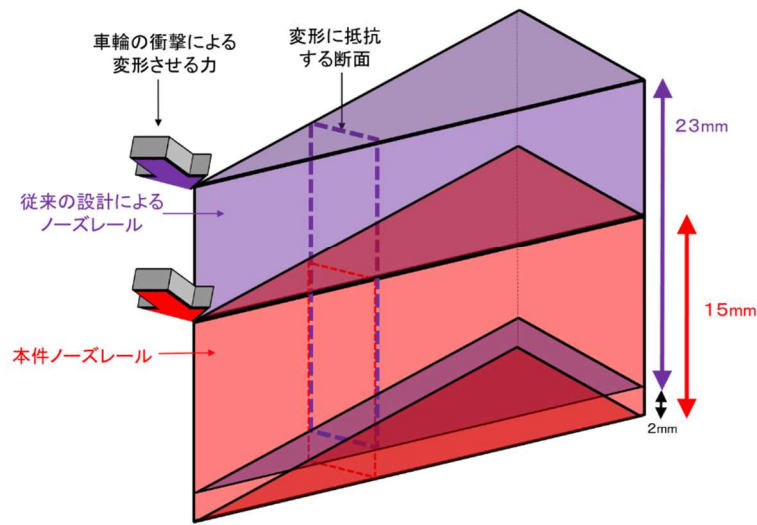


図 1 2 本件ノーズレール先端の変形の状態

なお、従来の設計によるノーズレールでは、上記の理由により車輪とノーズレール先端の衝撃は繰り返しあったが、脱線に至る大きな変形が発生する前に車輪との接触箇所が若干の変形と摩耗によりフランジの衝撃が弱まる方向に変化し、車輪とノーズレール先端の形状がいわゆるなじんだ状態になっていた可能性があると考えられ、その後、長期間にわたり繰り返し車輪背面とノーズレール先端が接触することにより、大きく摩耗したものと考えられる（図 1 3 参照）。

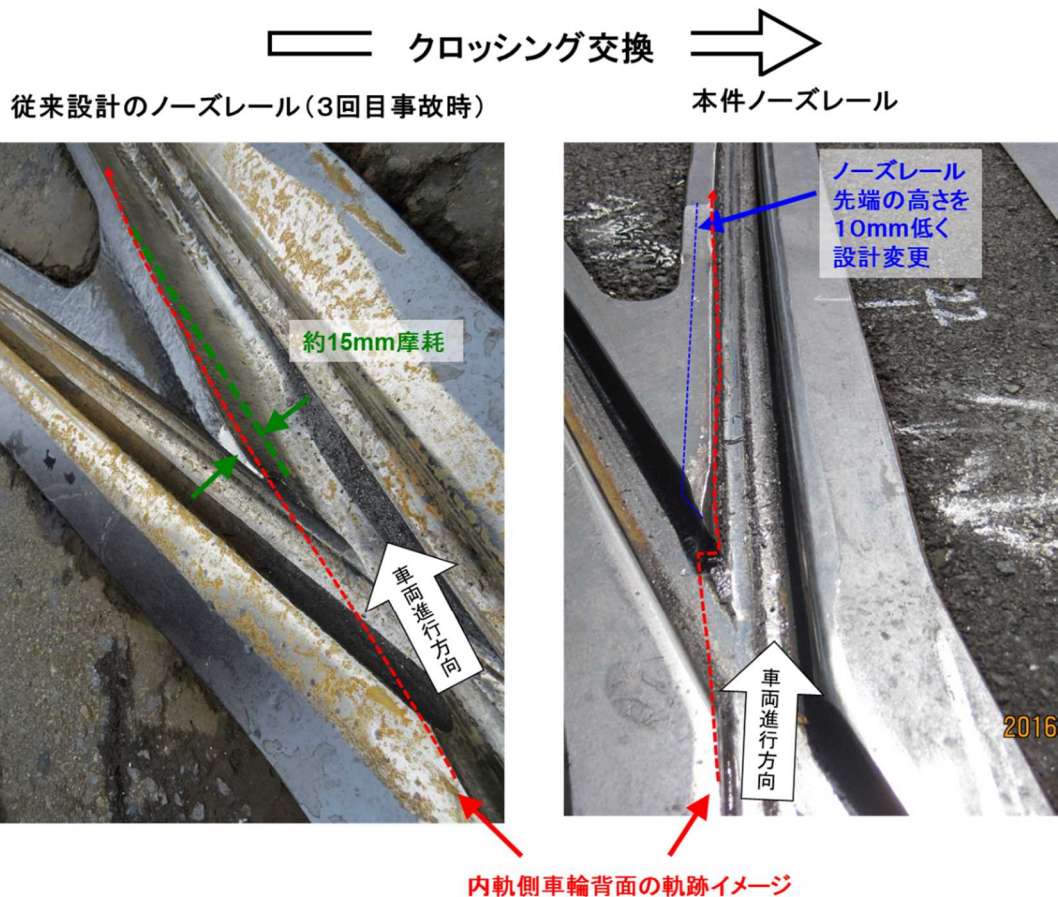


図 1 3 従来設計のノーズレールと本件ノーズレールの比較

これらにより、本件ノーズレール先端の変形に関しては、設計変更によりノーズレールの高さを低くしたことが影響している可能性があると考えられる。

このように、2.4.2(3)に記述したように、同社は、本件ダイヤモンドクロッシングの交換に当たり従来の設計からの変更を行ったが、当初の目的であるノーズレール先端と車輪のフランジ背面の接触量を軽減すること以外のところで、脱線に対する安全性を損なう可能性がある事象が発生する結果となった。よって、今後同社は、このような分岐器等の重要な部分の設計変更を行う際には、安定して長期間使用することを考慮し、変更する設計の十分な審査を行う、交換後の部材を運転再開後もよく観察するなど詳細な検討を行い実施することが望ましい。

### 3.7 車両に関する分析

2.5.1及び2.5.2に記述したように、本件電車の各諸元の値は、同社が保有する本事故と同様に本件分岐器を通過した車両の各値と大きな差異はなく、また、本件電車の輪軸各部の寸法、静止輪重等の測定値に異常は認められなかったことから、本事故発生当日において本件電車に脱線の要因となる異常はなかったものと考えられる。

ただし、2.5.1に記述したように、本事故を含め過去4件の車両脱線事故の全てが

片軸外吊り掛け駆動方式の車両において発生している。また、片軸外吊り掛け駆動方式の電車は、主電動機の重量が直接かからない従軸の軸重が小さくなる特徴があること、力行時に駆動トルクによって生ずるモーメントが台車枠を介して従軸の軸重が小さくなる方向に作用することから、走行時に従軸の軸重が小さくなる。曲線部において乗り上がり脱線が発生するのは、ほとんどが前軸であることから、従軸が前軸となった場合に脱線が発生しやすい傾向にあると言える。

以上により、片軸外吊り掛け駆動方式の車両は、国内の路面電車で使用されている車両としては一般的な構造であり、同社でも多数使用されているが、軸距が狭い特徴から、軸距が広く、電動機がその間に装架できるような車両と比較すると、従軸の軸重が小さくなり、特に力行時にその傾向が強まる可能性があると考えられる。

さらに、車両形式ごとに軸重への影響が異なる可能性も考えられる。本件電車は、2回目事故及び3回目事故の車両（第375号車）とほぼ同じ形式であり、前台車の第1軸及び後台車の第2軸が駆動軸となっている片軸外吊り掛け駆動方式の車両である。今回、本件電車の諸元において、他車両との明らかな差異はなく、脱線に影響を与える要因を見いだすことはできなかったが、本件電車の駆動方式の差や車両の個体差が脱線に影響を与えた可能性が考えられるため、同社が同車両形式の電車を使用する場合は、特に留意することが望ましい。

### 3.8 レール等及び車輪への塗油に関する分析

レール等への塗油について、2.4.6に記述したように、ガード部には、本事故発生当日において11時00分ごろ及び14時00分ごろに塗油を行っており、本件分岐器及び本件ダイヤモンドクロッシングのガード部に十分な油が付着している状況であった。

また、車輪への塗油について、2.5.3に記述したように、本事故発生前直近の三月検査（平成28年5月10日実施）時に行ったが、以降、本事故発生までの間は行っておらず、本事故発生時には塗油の効果はなかったものと考えられる。

3回目事故後においては、十分な油が付着している状況にはなかったが、レール等への塗油の回数・時間等の状況はほぼ同じにもかかわらず、本事故発生後においては十分な油が付着している状況であったことは、同社が3回目事故後にとられた再発防止策の一環として、塗油材を従前のマシン油から潤滑性グリースに変更した効果等による可能性があると考えられる。

ただし、脱線開始点である本件ノーズレールの先端部においては、3.6.1に記述したように複数の電車の車輪と繰り返し衝撃することにより油が剥がれ、油の付着が他部分と比較して少なくなっていた可能性があると考えられる。



### 3.9 脱線の原因に関する分析

3.1に記述したように、本件電車の後台車第1軸の脱線は、内軌側の本件ノーズレール先端付近で、車輪背面から乗り上がり脱線したものと考えられる（図14 参照）。

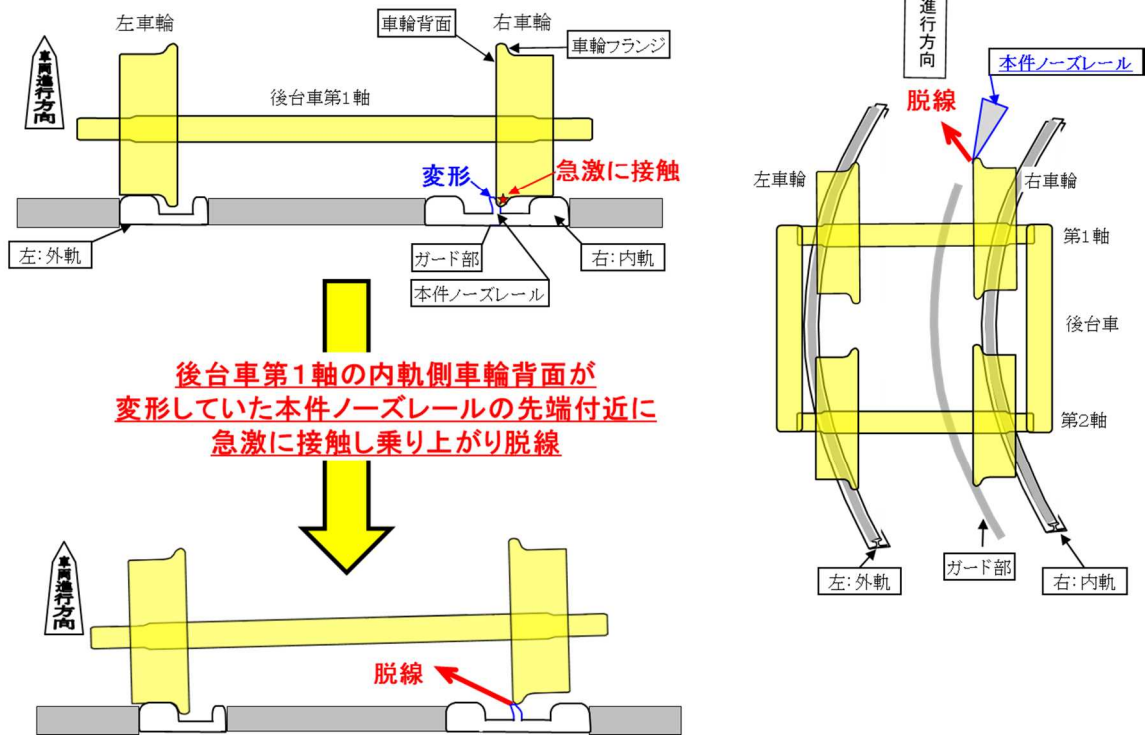
脱線に至った原因については、以下の事象により、脱線係数が限界脱線係数を超過し脱線に至った可能性があると考えられる。

- (1) 3.6.2に記述したように、複数の電車の車輪背面と繰り返し衝撃することにより変形が生じた本件ノーズレールと車輪の接触角が $50^{\circ}$ と小さくなっていたことにより、限界脱線係数が小さくなったこと。
- (2) 3.6.1に記述したように、本件ノーズレール先端付近に、本件電車の後台車第1軸右車輪の背面が急激に接触したことにより、著大な横圧が発生し、脱線係数が大きくなったこと。
- (3) 3.8に記述したように、車輪背面とガード部間の摩擦係数について、本件分岐器及び本件ダイヤモンドクロッシングのガード部に十分な油が付着している状況であり摩擦係数は比較的low、それに応じて限界脱線係数が大きくなる状態であったと考えられるが、脱線開始点である本件ノーズレールの先端部においては、他部分と比較して複数の電車の車輪と繰り返し衝撃することにより油の付着が少なくなり、塗油の効果が少なくなっていた可能性があること。

さらに、2.4.2(1)に記述したように、本事故発生箇所である本件ダイヤモンドクロッシングがある曲線は半径20mの非常に小さい曲線半径の区間であり、また、3.7に記述したように、本件電車は片軸外吊り掛け駆動方式の車両であり後台車第1軸が従軸であったため軸重が比較的小さく、力行時には更に減少していた可能性があると考えられる。これらは路面電車として特別なものではないが、脱線の発生に影響していた可能性があると考えられる。

なお、後台車第1軸左（外軌側）車輪が左に乗り上がり脱線したことについては、同軸右（内軌側）車輪のフランジ先端部がレール頭頂面上に乗ることで、同軸左（外軌側）の車輪とレールの接触角が減少、アタック角が増加、後台車が後軸左右と前軸右車輪の3点支持に近い状態となり前軸左車輪の輪重が小さくなる、などの原因により発生した可能性があると考えられる。

ガード部で車輪背面が誘導されて走行している



後台車第1軸の内軌側車輪背面が  
変形していた本件ノーズレールの先端付近に  
急激に接触し乗り上がり脱線

図14 本件電車の後台車第1軸の脱線のイメージ

(附属資料2 輪重、横圧、脱線係数の推定計算結果 参照)

### 3.10 本件分岐器で過去に発生した3件の車両脱線事故との関連性に関する分析

本件分岐器で過去に発生した3件の車両脱線事故と本事故の脱線の状況は、本件分岐器及び本件ダイヤモンドクロッシング内の同じ曲線区間で右車輪の背面がガード部に乗り上がり脱線したという点で共通している。

2.10.1及び2.10.2に記述したように、1回目事故及び2回目事故はいずれも、軌道を補修した際の仕上がり状態が不適切であったことが、主な原因であったと考えられる。これに対して、本事故発生時においては、2.4.3及び3.5に記述したように、脱線開始点付近において本件分岐器及び本件ダイヤモンドクロッシングの交換を行った際に施工の仕上がり状態は適切であったため、直接脱線に影響を及ぼすような大きな軌道変位等は解消されていたと考えられる。

また、2.10.3に記述したように、3回目事故は、バックゲージ等の軌道変位、ガード部の摩耗角度、車輪背面とガード部接触部における摩擦係数、走行速度の影響が要因となり、それらが複合したことにより発生した可能性が考えられる。これに対して、本事故発生時においては、2.4.3及び3.5に記述したように本件ダイヤモンドクロッシングの交換により軌道変位及びガード部の摩耗角度の改善、3.8に記述したよう

に塗油材の変更により車輪背面とガード部接触部における摩擦係数の改善、3.2に記述したように速度が運転士への指導速度を十分に下回っていたことから、3回目事故の要因は解消されていたと考えられる。

これらにより、本事故は、1回目事故、2回目事故及び3回目事故であった要因は解消されていたものの、3.6及び3.8に記述したように、本件ノーズレール先端付近が複数の電車の各台車前軸右車輪の背面と繰り返し衝撃することにより変形し、本件ノーズレールと車輪の接触角が小さくなるとともに車輪とガード部間の摩擦係数も他部分と比較して大きくなっていたことが脱線に影響した可能性があると考えられる。

さらに、全て同じ曲線内で事故が発生しており、2.4.2(1)に記述したように、本件ダイヤモンドクロッシングがある曲線は半径20mの非常に小さい曲線半径の区間であった。また、全ての事故における電車は、3.7に記述したように、片軸外吊り掛け駆動方式の車両であり従軸の軸重が比較的小さく、力行時には更に減少していた可能性があると考えられる。これらは、路面電車としては特別なものではないが、脱線の発生に影響していた可能性があると考えられる。したがって、本事故発生箇所における抜本的な脱線事故再発防止のために、曲線半径がより大きくなるような線形改良を検討することが望ましい。

### 3.1.1 乗客の避難・誘導等に関する分析

本事故発生後の乗客の避難・誘導等に関しては、2.2に記述したように負傷等の発生もなく、2.1.1に記述した本件運転士の口述並びに2.1.1に表5で示した乗客の避難の誘導までの時系列の情報から、本事故発生後の同社の関係者の措置に問題はなかったものと考えられる。

### 3.1.2 気象に関する分析

2.1.2に記述したように、本事故発生当日には、降水は観測されておらず、本事故発生当時の事故現場付近は晴れ又は曇りであったことから、脱線に直接関与するような気象状況ではなかったものと考えられる。なお、気象状況からレール及びガード部等は乾燥状態であった可能性が考えられる。

## 4 結 論

### 4.1 分析の要約

3.1～3.1.2に記述した分析を要約すると、それぞれ概略以下のとおりである。

(1) 脱線の状況

本件電車は、次のとおり脱線したものと推定される。

- ① 後台車第1軸の右（内軌側）車輪背面が10.2m地点付近において、本件ノーズレール先端付近のガード部に乗り上がって左に脱線。
- ② その後、約2.6mにわたり同軸左（外軌側）車輪フランジがレールに接触し案内される形で走行。12.8m地点付近で、同軸左（外軌側）車輪が左に乗り上がり脱線、台車第1軸の左右車輪が左に外れる。
- ③ その後、14.6m地点付近で、後台車第2軸の左右車輪がそれぞれ左に脱線。（3.1）<sup>\*19</sup>

(2) 脱線時の走行速度

脱線開始点付近を後台車第1軸が通過した時は、力行中で、速度は約5km/hであったと考えられる。これにより、走行速度に関しては、運転士への指導速度である10km/hを十分に下回っていたと考えられる。（3.2）

(3) 脱線時の時刻

脱線開始点付近において、本件電車は22時50分05秒ごろ脱線したものと考えられる。（3.3）

(4) 運転

本事故現場付近における本件運転士の運転の手順等は、運転取扱心得及び同社の運転士への指導に基づく運転方法とほぼ合致していたと考えられる。（3.4）

(5) 軌道変位

本件ダイヤモンドクロッシングを新品の材料に適切に交換した効果により、脱線開始点付近には、直接脱線に影響を及ぼすような大きな軌道変位はなかったものと考えられる。（3.5）

(6) 軌道の形状

① 本件ノーズレール先端の変形

本件ノーズレール先端に左に折れ曲がるような変形が見られ、最大の変形量は、本件ノーズレール先端から15mmの位置において約6.5mm、最小の変形後の角度は、本件ノーズレール先端から15mmの位置において約64.6°であった。

本件ノーズレール先端付近は、本件ダイヤモンドクロッシングを交換後に通過した1,823本の電車の各台車前軸右車輪の背面と繰り返し衝撃することにより変形が発生したものと考えられる。（3.6.1）

② 本件ノーズレール先端と車輪の接触

本件電車の車輪と本件ノーズレールの設計上の断面を用いた接触位置を分析

---

\*19 本項の各文章末尾に記載した数字は、当該記述に関連する3. 分析の主な項番号を示す。

した結果、接触量は2.0mm、車輪フランジ先端からの距離は11.5mm、平面接触角は12.3°であった。また、このときの外軌側のフランジ遊間は、約6.4mmであった。(3.6.2)

③ 本件ノーズレールと車輪の接触角

本件電車の車輪と本件ノーズレールの実測した断面を用いて、接触位置を分析した結果、ノーズレールと車輪の接触角は、最小で約50°と小さく、脱線に影響した可能性があると考えられる。(3.6.3)

④ 本件ノーズレールの設計変更

本件ダイヤモンドクロッシングは、交換する際に、本件ノーズレールについてガード部の高さを、従来レールより10mm高かったものをレールと同じ高さに変更した。従来の設計を想定した場合の接触量は2.7mm、車輪フランジ先端からの距離は9.0mm、平面接触角は16.6°であった。これにより、本件ノーズレールの設計変更はノーズレール先端と車輪のフランジ背面の接触量をやや軽減することができていたと考えられる。(3.6.4)

⑤ 本件ノーズレール先端が変形した原因

本件ノーズレール先端の変形に関しては、従来の設計によるノーズレールと本件ノーズレールを比較すると、

- ・本件ノーズレールは、変形後の角度が比較的小さくなり、ノーズレールを上方向から押しつぶし曲げる力が大きくなること、
- ・ノーズレールの高さが低くなったことで、従来よりも横方向の変形に対抗する断面積が減少し、同等の力に対して変形が発生しやすい状態になっていた可能性があること

から、設計変更によりノーズレールの高さを低くしたことが影響している可能性があると考えられる。(3.6.5)

(7) 車両

本件電車は、本事故発生当日において脱線の要因となる異常はなかったものと考えられる。

ただし、本件電車である片軸外吊り掛け駆動方式の車両は従軸の軸重が小さくなり、特に力行時にその傾向が強まる可能性があると考えられる。(3.7)

(8) レール等及び車輪への塗油

本事故発生時には、本件分岐器及び本件ダイヤモンドクロッシングのガード部に十分な油が付着している状況であった。

ただし、脱線開始点である、本件ノーズレールの先端部においては、複数の電車の車輪と繰り返し衝撃することにより油が剥がれ、油の付着が他部分と比較して少なくなっていた可能性があると考えられる。(3.8)

#### (9) 脱線の原因

本件電車の後台車第1軸は、内軌側の本件ノーズレール先端付近で、車輪背面から乗り上がり脱線したものと考えられる。

主な、脱線に至った原因については、複数の電車の車輪背面と繰り返し衝撃することにより変形が生じた本件ノーズレールと車輪の接触角が $50^{\circ}$ と小さくなっていたことにより、限界脱線係数が小さくなったこと、本件電車の後台車第1軸右車輪の背面が本件ノーズレール先端付近に急激に接触したことにより、著大な横圧が発生し、脱線係数が大きくなったことから、脱線係数が限界脱線係数を超過し脱線に至った可能性があると考えられる。(3.9)

#### (10) 本件分岐器で過去に発生した車両脱線事故との関連性

本事故は、1回目事故、2回目事故及び3回目事故であった要因は解消されていたものの、本件ノーズレール先端付近が複数の電車の各台車前軸右車輪のフランジと繰り返し衝撃することにより変形し、本件ノーズレールと車輪背面の接触角が小さくなり脱線に影響した可能性があると考えられる。

さらに、全て同じ曲線内で事故が発生しており、本件ダイヤモンドクロッシングがある曲線は半径20mの非常に小さい曲線半径の区間であったこと、全ての事故における電車は、片軸外吊り掛け駆動方式の車両であり従軸の軸重が比較的小さく、力行時には更に減少していた可能性があることが、路面電車としては特別なものではないが、脱線の発生に影響していた可能性があると考えられる。したがって、本事故発生箇所における抜本的な脱線事故再発防止のために、曲線半径がより大きくなるような線形改良を検討することが望ましい。(3.10)

#### (11) 乗客の避難・誘導等

本事故発生後の乗客の避難・誘導等に関しては、負傷等の発生もなく、本事故発生後の同社の関係者の措置に問題はなかったものと考えられる。(3.11)

#### (12) 気象

本事故発生当時の事故現場付近は晴れ又は曇りであったことから、脱線に直接関与するような気象状況ではなかったものと考えられる。なお、気象状況からレール及びガード部等は乾燥状態であった可能性があると考えられる。(3.12)

### 4.2 原因

本事故は、交差点において電車が、右曲線となる分岐器内を後台車第1軸の右車輪背面と、ダイヤモンドクロッシング内のガードレールの機能を持つ部位の側面とを接触させながら走行していた際に、同車輪背面がノーズレール先端付近に乗り上がって脱線を開始し、車輪フランジが同部位の側面上部を走行した後、同軸左車輪が左レールに乗り上がって同軸が左に脱線し、続いて後台車第2軸も左に脱線したことにより

発生したものと考えられる。

後台車第1軸の右車輪が乗り上がって脱線したことについては、変形したノーズレール先端部に車輪が急激に接触し、同車輪の背面横圧が増加するとともに、変形により車輪背面とノーズレール先端部の接触角が減少していたことの影響によるものと考えられる。

ノーズレール先端部が変形したことについては、車輪がノーズレール先端部に接触する構造となる曲線半径の非常に小さい曲線に存在するダイヤモンドクロッシング内で、設計変更によりノーズレール先端部の高さを低くした影響により、ノーズレール先端部が変形しやすい状態となったところに、複数の電車の各台車前軸右車輪の背面が繰り返し衝撃することにより発生したものと考えられる。

## 5 再発防止策

### 5.1 必要と考えられる再発防止策

本事故と同種の脱線事故を防止するためには、ノーズレールについて、車輪のフランジ背面のノーズレール先端部への接触量及び接触する場合においても変形する量をできるだけ少ない構造にすることが必要であると考えられる。なお、分岐器等の重要な部分の設計変更を行う際には、安定して長期間使用することを考慮し、詳細な検討を行い実施することが望ましい。

また、本事故発生箇所では、平成19年から本事故を含め計4回の脱線事故が発生している。脱線原因の詳細はそれぞれ異なっているが、本事故発生箇所が半径20mと非常に小さい曲線半径を持つ分岐器内であることが、事故の発生の背景にあると考えられる。これは、軌道法で許されている半径の範囲内ではあるが、当該箇所における脱線事故の抜本的な再発防止を図るために、曲線半径がより大きくなるように線形改良を行うことを検討することが望ましい。

### 5.2 事故後に同社が講じた措置

同社は、平成28年6月3日、国土交通省九州運輸局からの警告を受け、本事故の原因及び対策を記した改善報告書（中間）を、平成29年1月13日に九州運輸局に提出した。

同社による事故防止の対策は以下のとおりである。

#### (1) 本事故現場の曲線の線形変更

同社が道路管理者及び交通管理者と協議の上、本事故現場の曲線半径を大きくする線形変更を行う。

(2) 新設計での分岐器製作

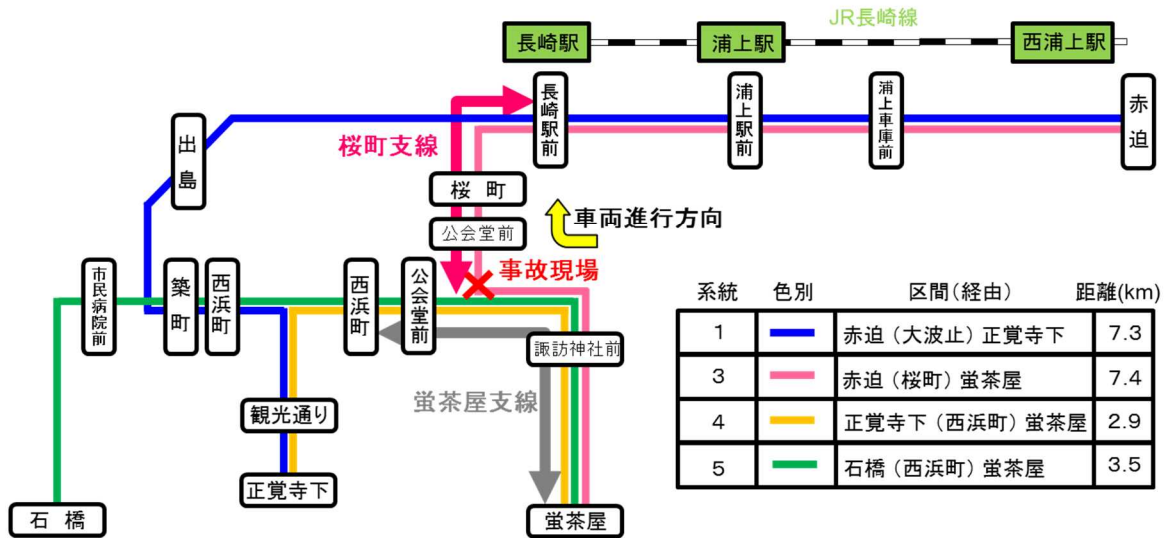
本事故発生前に設計変更したノーズレール先端部について、元の設計に近い形状にする等の再度の設計変更を行った上で、新たに分岐器を製作し敷設する。

なお、本事故のルートにおける営業運転は、上記対策工事完了後、試運転により走行安全性を確認の上、再開する予定とのことである。



# 付図1 長崎電気軌道の路線略図

桜町支線 長崎駅前停留場 ～公会堂前停留場間 0.9 km (複線)

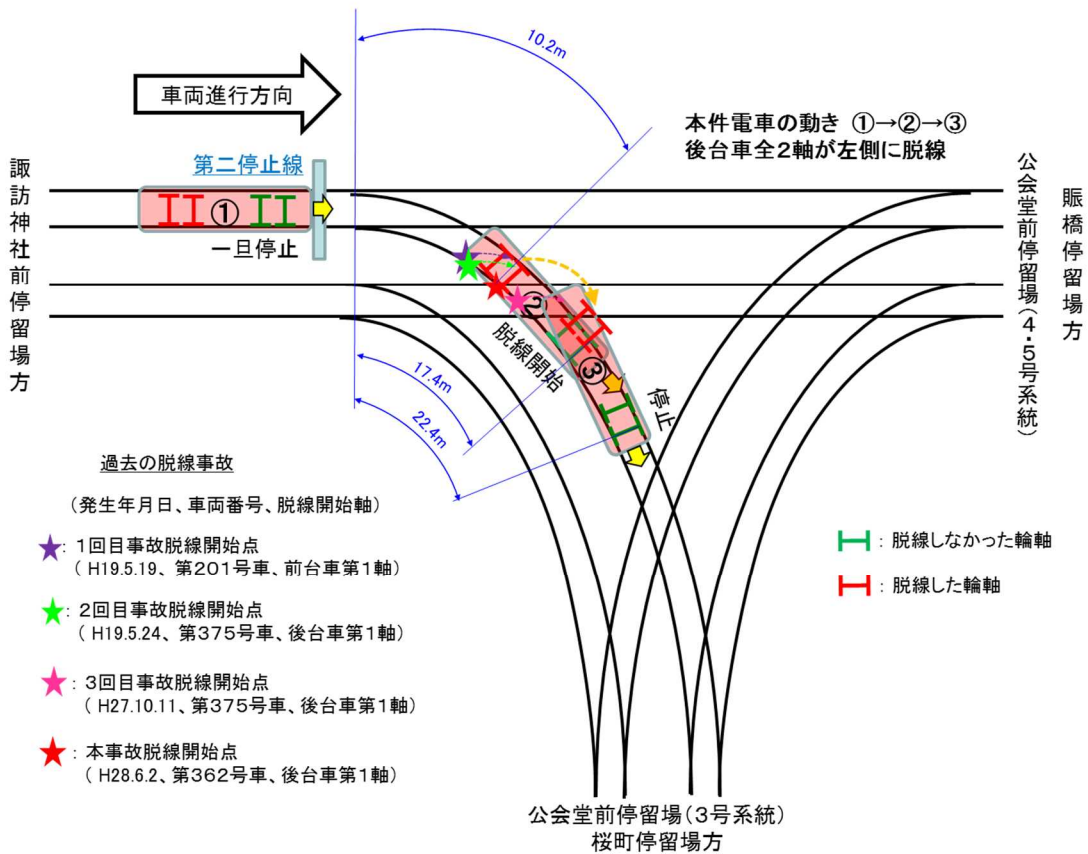
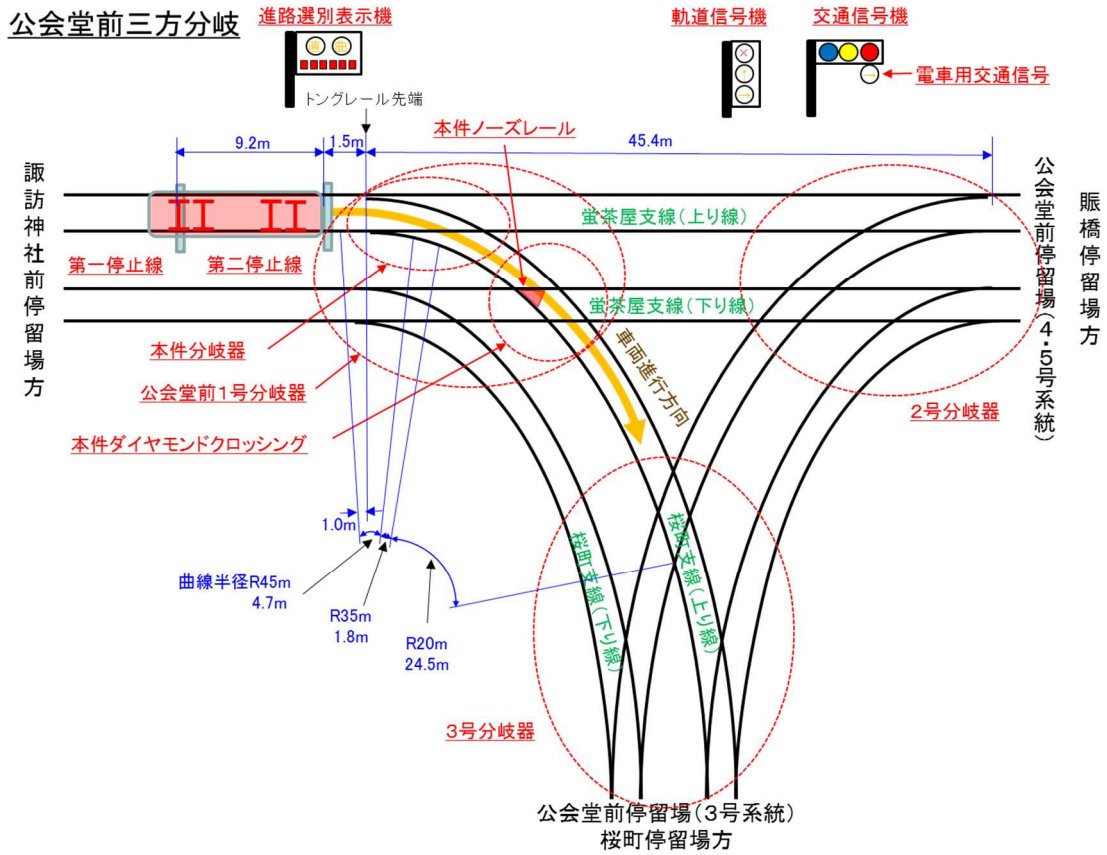


# 付図2 事故現場付近の地形図

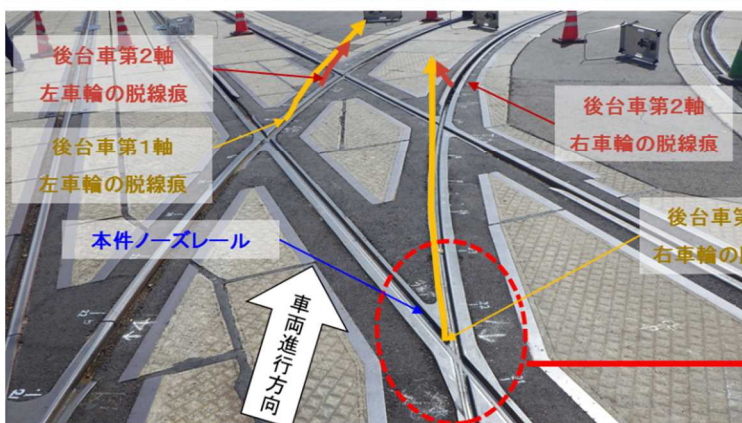
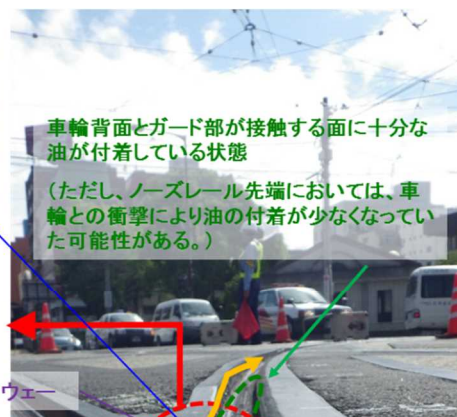
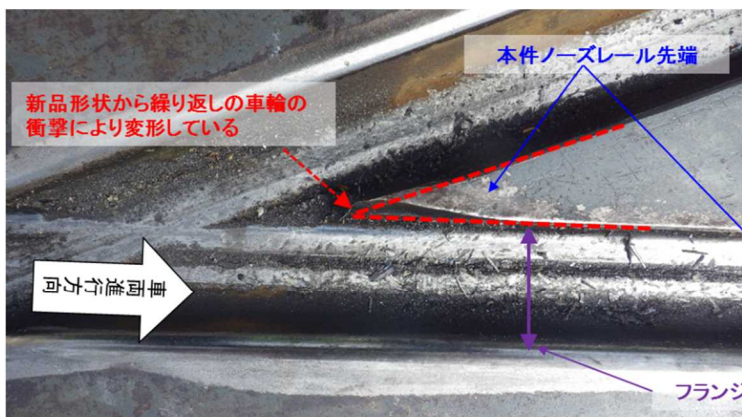
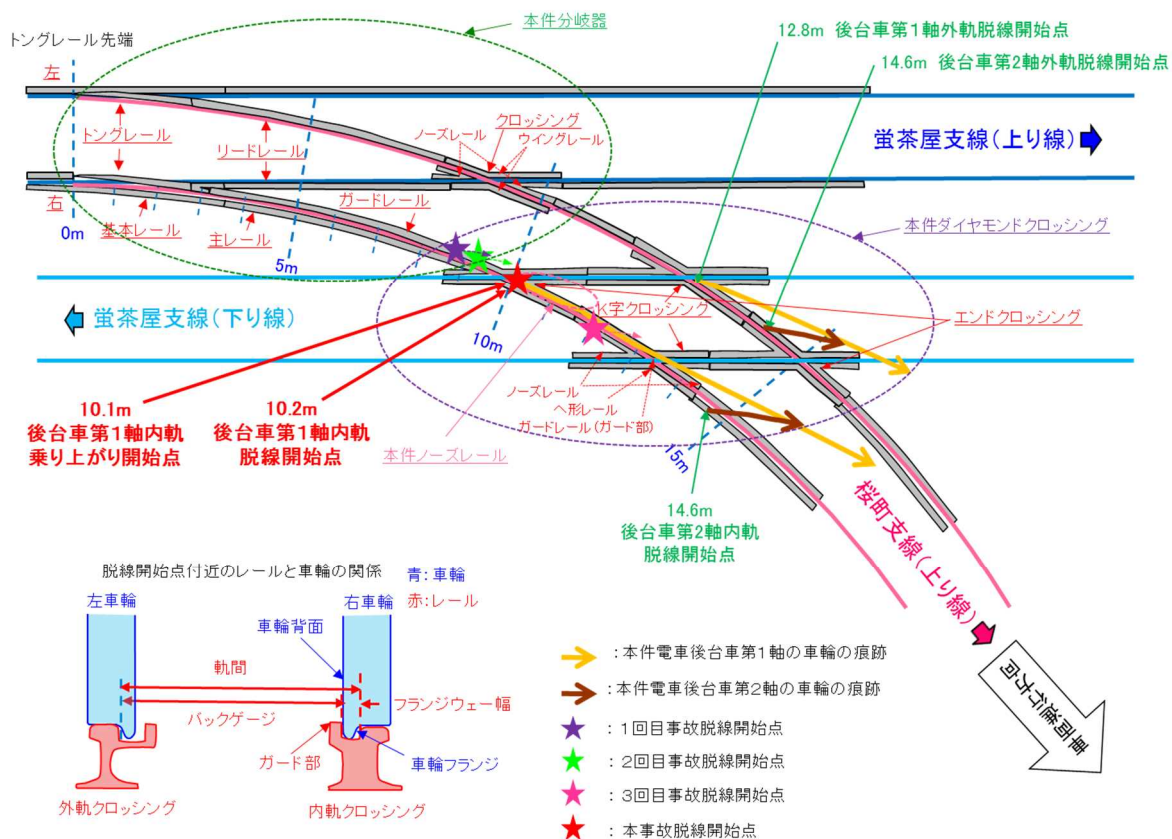


この図は、国土地理院の地理院地図（電子国土Web）を使用して作成

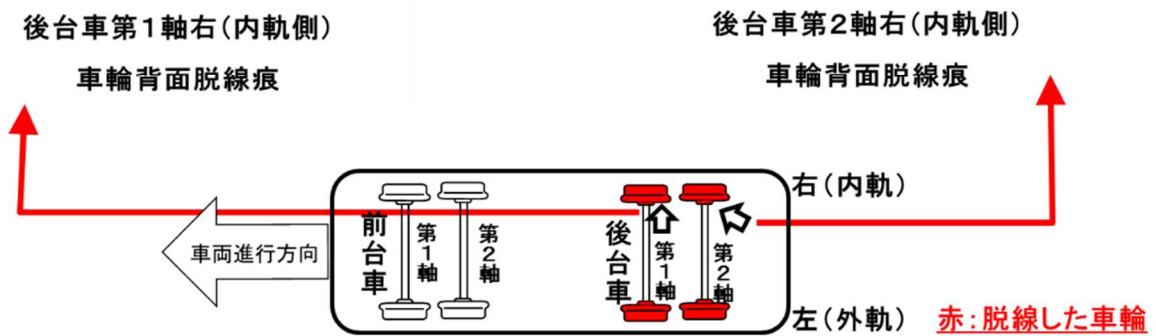
# 付図3 事故現場の略図



# 付図4 事故現場の脱線の痕跡




付図5 車輪の脱線の痕跡




付図6 車両の損傷状況

**車体**

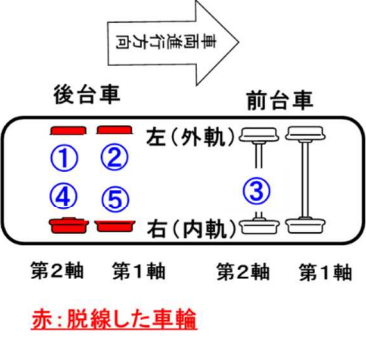
① ドアブレーキ排気弁配管の折損



② まくらはりの曲損



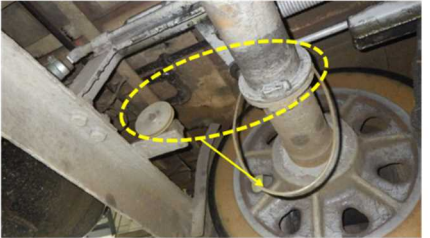
可外式降車梯



赤: 脱線した車輪


**前台車**

③ 第2軸速度発電機ベルトのはずれ




**後台区**

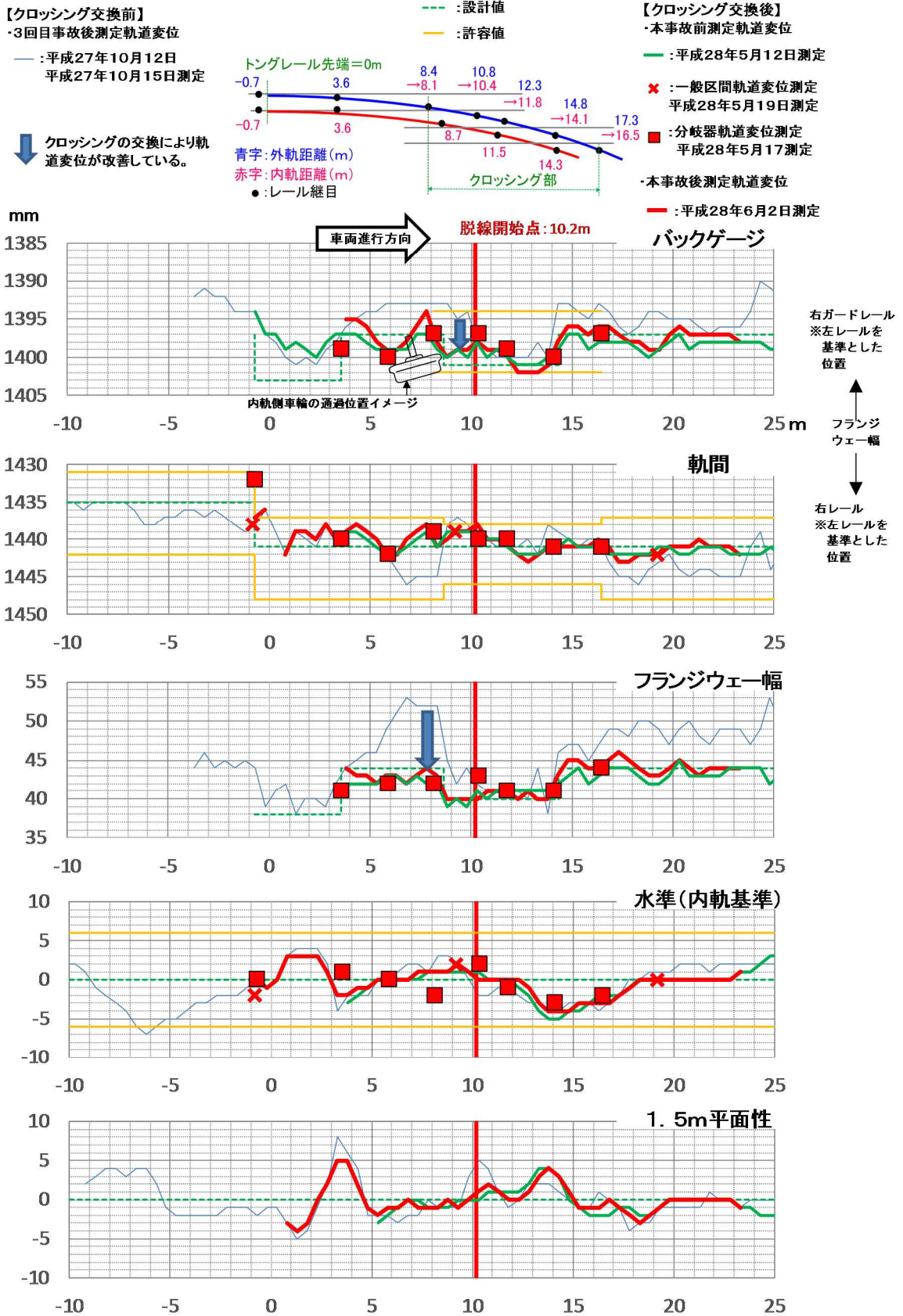
④ ブレーキ配管の折損



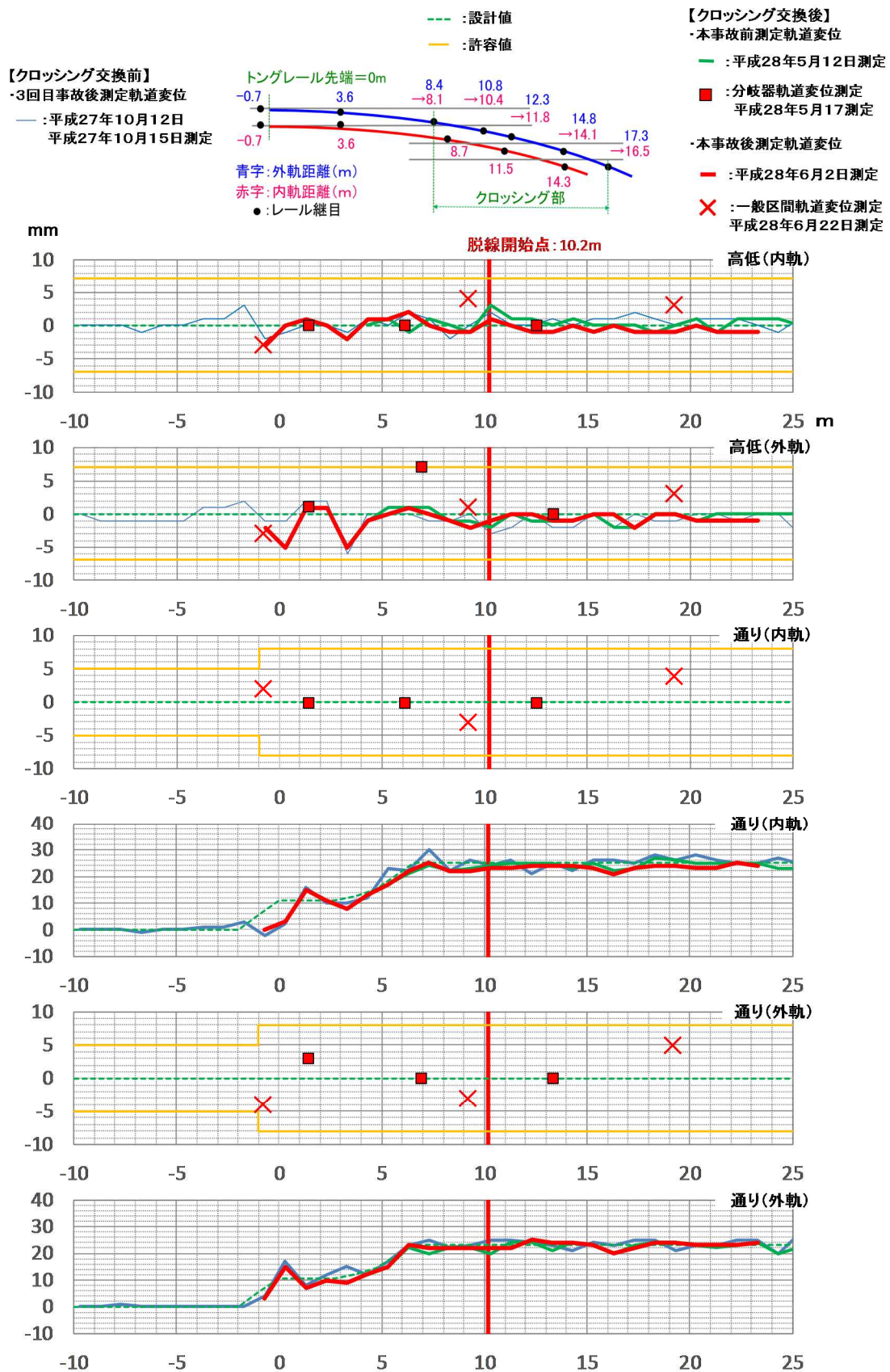
⑤ ブレーキシリンダボルトの破損



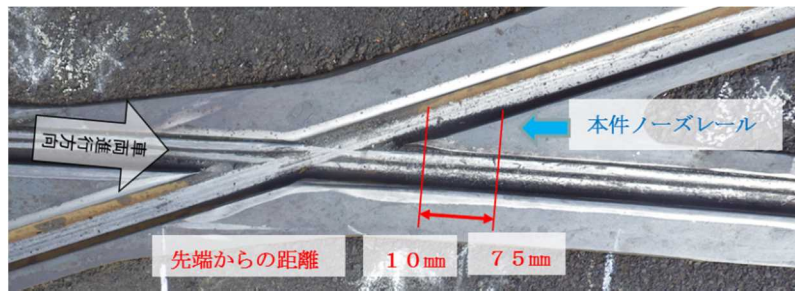
# 付図7 事故現場付近の軌道変位の状況 (その1)



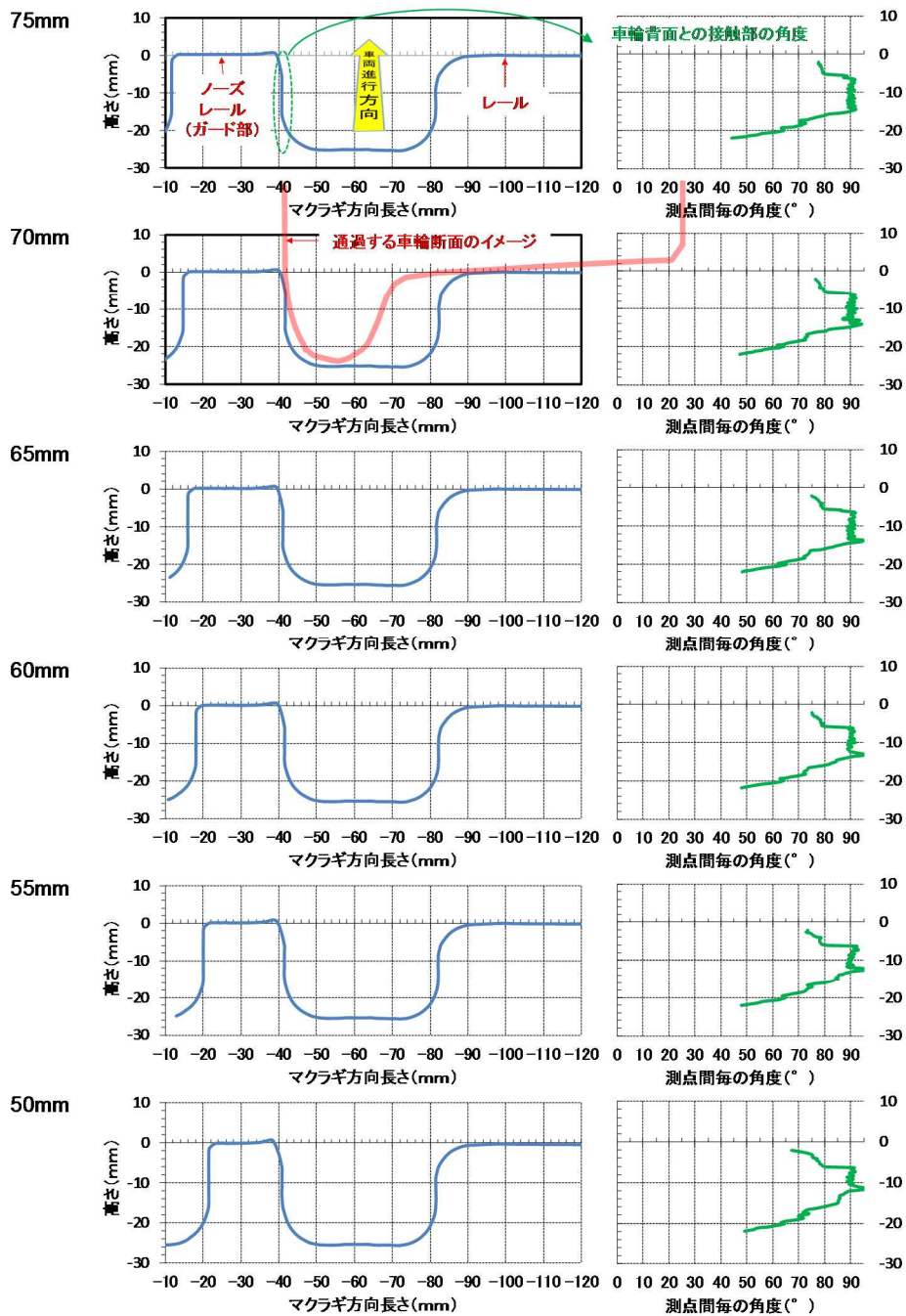
付図7 事故現場付近の軌道変位の状況（その2）



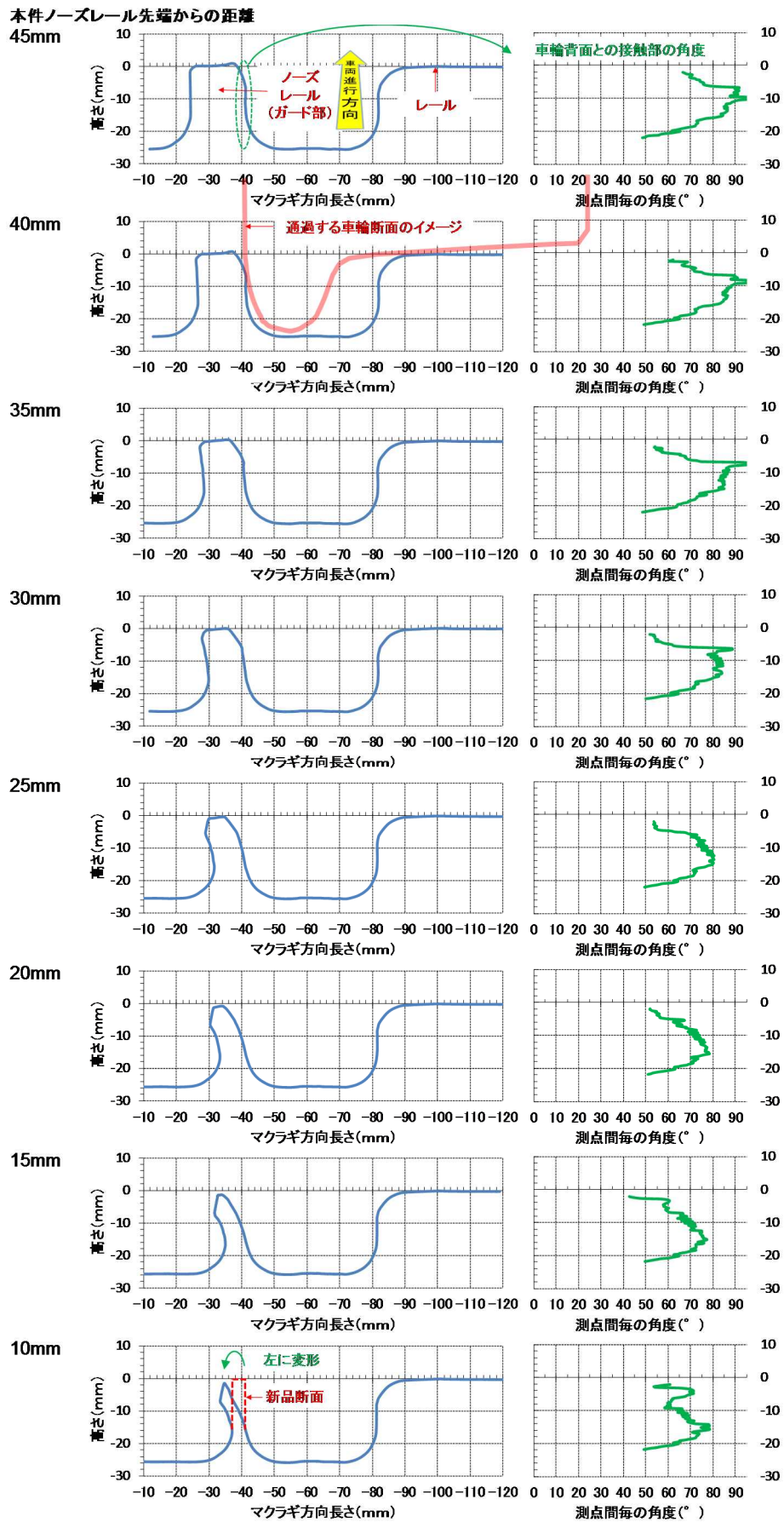
付図8 事故現場付近の軌道の断面形状（その1）



本件ノーズレール先端からの距離

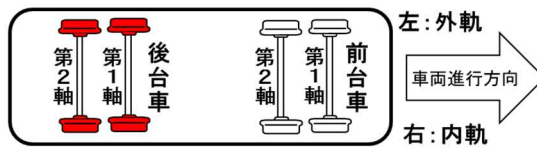


## 付図8 事故現場付近の軌道の断面形状（その2）

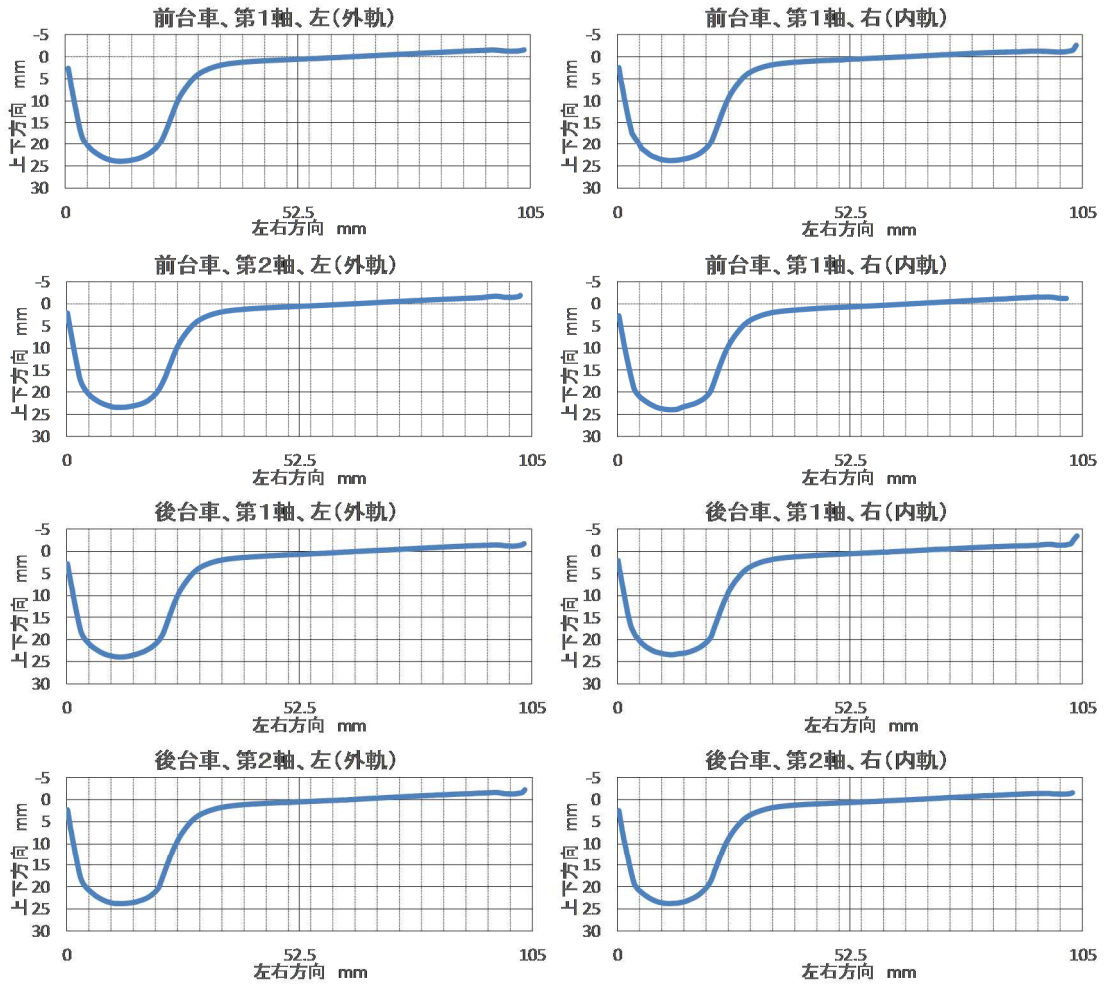




付図9 本件電車の車輪の断面形状



赤: 脱線した車輪



本件電車の車輪踏面形状(設計値)

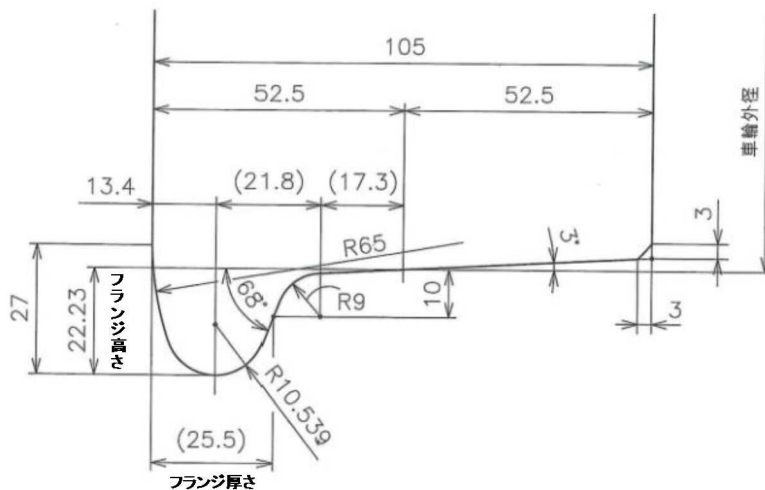


写真1 事故現場の状況

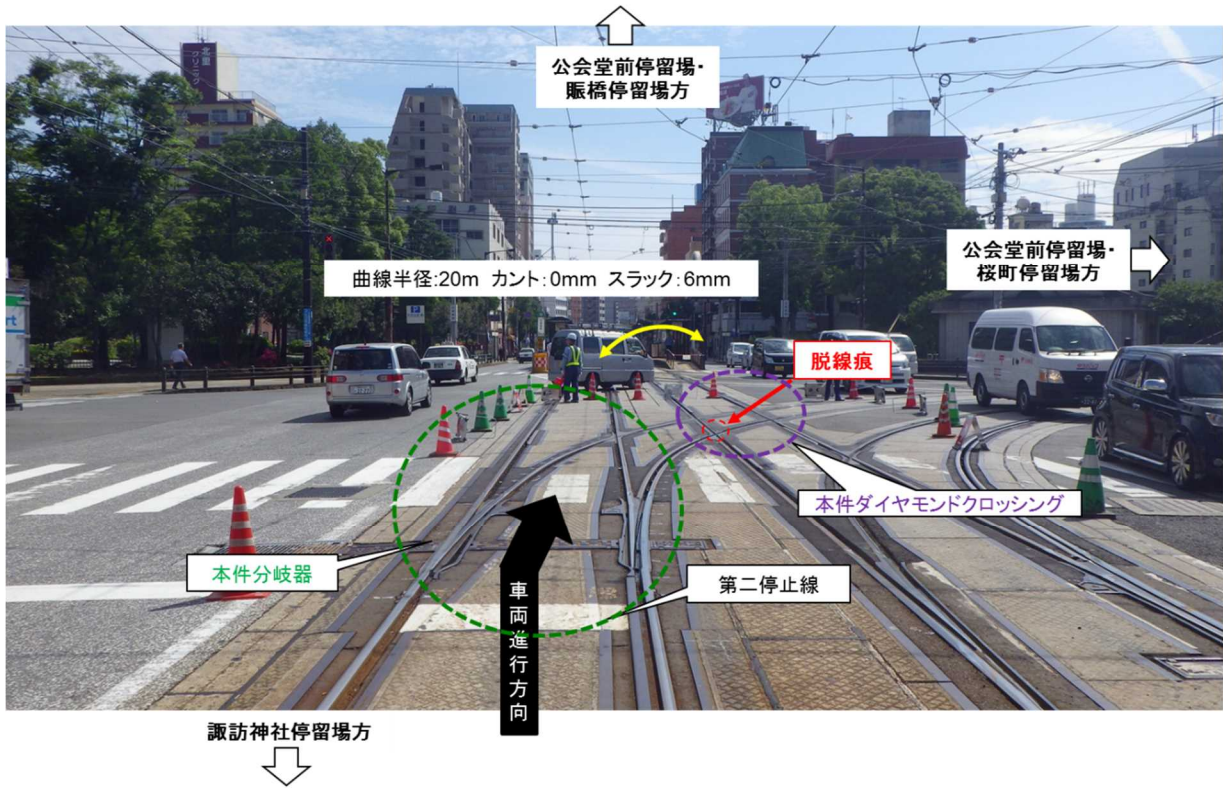


写真2 本件電車の脱線の状況



## 同社が行った本件電車等の走行試験結果の概要

2.13に記述したように、同社は、本件ノーズレール付近の走行状況を確認するため、本件電車及び比較のためその他の電車を使用して、平成28年8月17日に台車を手押しで通過させる試験を、同年8月19日に実車を走行させる試験を行った。

試験は、地上及び台車枠からレール・車輪の接触状況を動画で撮影する方法により行われた。概要は以下のとおりである。

### 1. 平成28年8月17日（夜） 台車試験

362号電車の台車（本件電車の脱線した台車）及び比較のために1204号電車の台車を手押しで本件分岐器及び本件ダイヤモンドクロッシングを通過させた（図1 参照）。本件ノーズレール先端付近における車輪とレールの接触状況（台車枠からの画像）を図2に示す。



図1 台車による試験

〈362号台車：内軌：前軸：従軸〉



〈1204号台車：内軌：前軸：駆動軸〉



図2 車輪とレールの接触状況（台車試験）

## 2. 平成28年8月19日(夜) 実車試験

362号電車(本件電車)及び比較のために1503号電車、5002号電車を本件分岐器及び本件ダイヤモンドクロッシングを通過させた(図3 参照)。

本件ノーズレール先端付近における車輪とレールの接触状況(台車枠からの画像)を図4に示す。また、362号電車の後台車の前軸及び後軸についての同接触状況(地上からの画像)を図5に示す。



図3 実車による試験



〈362号：後台車前軸：内軌：従軸〉



〈1503号：前台車前軸：内軌：従軸〉



〈362号：後台車前軸：内軌：従軸〉



〈362号：後台車後軸：内軌：駆動軸〉



〈5002号：後台車前軸：内軌：従軸〉

図4 車輪とレールの接触状況  
(実車試験)

図5 前軸と後軸の接触状況

## 3. 試験結果の考察

図2及び図4により、いずれの車両も本件ノーズレール先端付近に車輪背面が接触していることが確認できた。また、図5により、接触する車輪は各台車前軸の右車輪で後軸右車輪は接触していないことが確認できた。

## 輪重、横圧、脱線係数の推定計算結果

「3.9 脱線の原因に関する分析」では、本事故発生時に本件電車の後台車第1軸が脱線に至った可能性について分析を行った。

ここでは、分析の参考とすることを目的に、本事故発生時に本件電車の後台車第1軸で作用していた輪重及び横圧の値から算出する脱線係数及び限界脱線係数について、主に参考文献<sup>\*20</sup>に示されている推定脱線係数比<sup>\*21</sup>算定式の手法（以下「算定式」という。）を用い推定を行った（図1 参照）。

なお、今回の算定においては、車輪とレール及びガード部間の摩擦係数や本件ノーズレール先端付近と車輪のフランジ背面が衝撃したときの変動横圧など不確定な要素が多く、また、各パラメータも明確でない場合は概略値を入力としている。このため、今回算定した推定値は実際の現象との間に誤差を含む可能性があるが、各パラメータの感度を確認し、参考として用いることができるものと考えられる。以下に示す数値においては「約」を省略している。

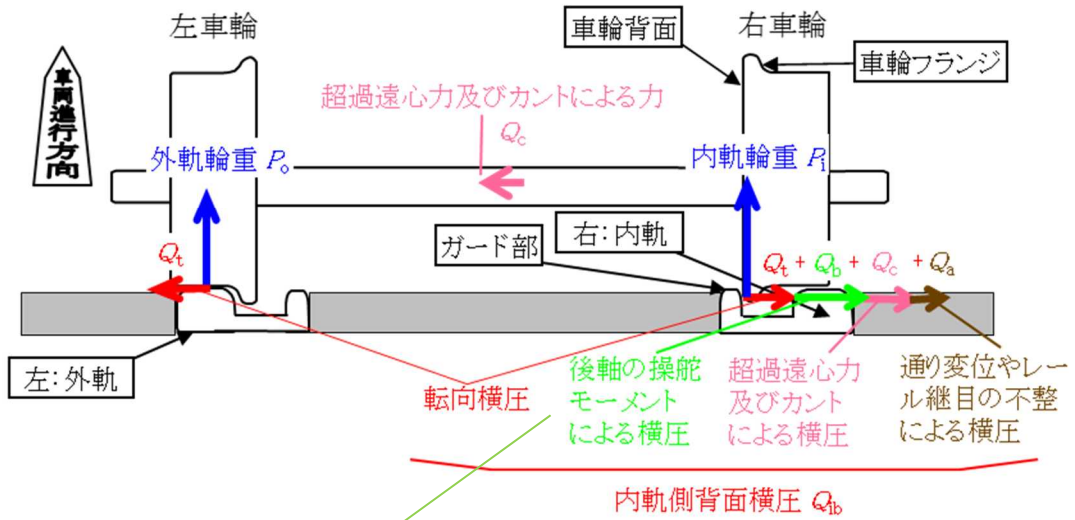
---

\*20 国土交通省鉄道局監修 土木関係技術基準調査研究会編：解説 鉄道に関する技術基準（土木編），日本鉄道施設協会，2002.3

\*21 「推定脱線係数比」とは、急曲線低速走行時の乗り上がり脱線防止対策として、脱線防止ガード等の設置を机上で検討する際に用いられる評価指標のことである。

# ガード部で車輪背面が誘導されている場合

※輪重及び横圧の矢印の向きは車輪に作用する力の方向



台車が曲線を通過するときの後軸に発生する縦クリープ力により発生するモーメントにより前軸に発生する横圧

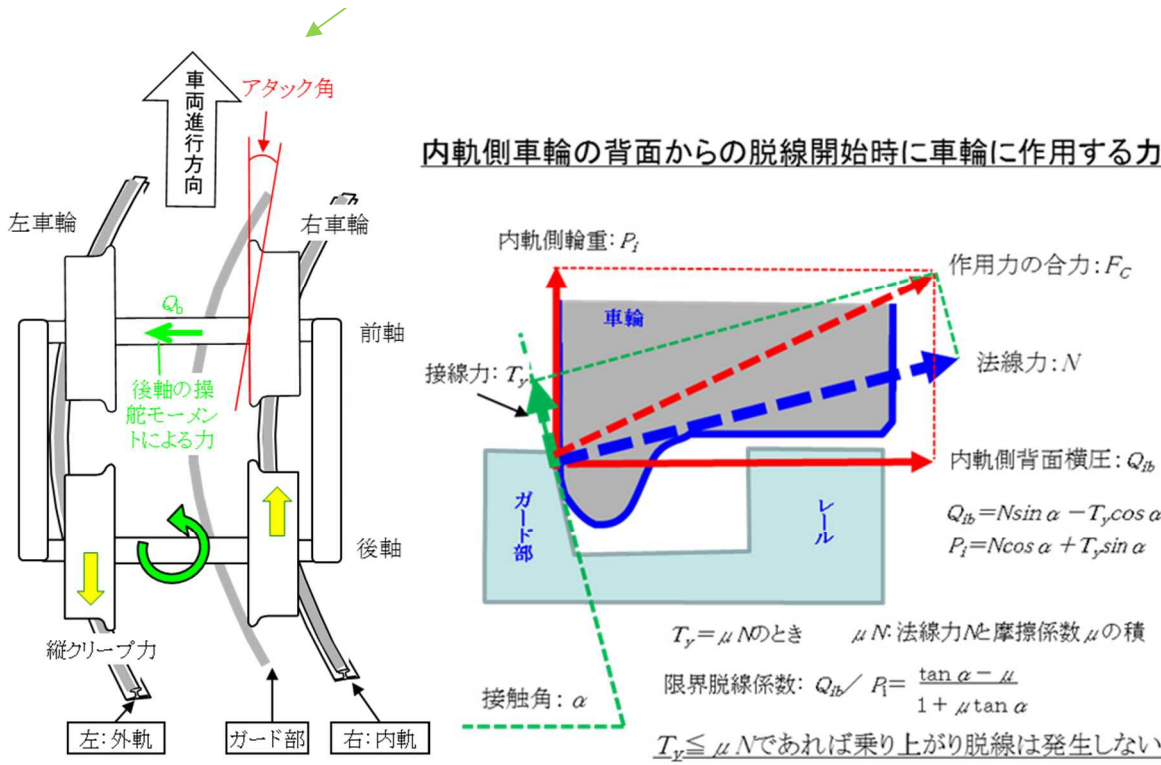


図1 車両・軌道間に作用する輪重及び横圧のイメージ

## 1. 推定値の算定方法

輪重、横圧、内軌側背面脱線係数、限界脱線係数、推定脱線係数比の算定式は、以下のとおりである。

$$P_o = \frac{W_o}{2} \left[ \left( \gamma + \frac{V^2 \cdot C}{gR \cdot G} \right) + \frac{H_G^*}{G/2} \cdot \left( \frac{V^2}{gR} - \frac{C}{G} \right) \right] \quad P_i = \frac{W_o}{2} \left[ \left( (2-\gamma) + \frac{V^2 \cdot C}{gR \cdot G} \right) - \frac{H_G^*}{G/2} \cdot \left( \frac{V^2}{gR} - \frac{C}{G} \right) \right]$$

$$Q_{ib} = Q_t + Q_b + Q_c + Q_a \quad Q_t = \kappa P_o \quad Q_c = W_o \left( \frac{V^2}{gR} - \frac{C}{G} \right)$$

$$Q_b = \mu_e' \cdot \min(P_{2i}, P_{2o}) \cdot b_W / a_T \quad Q_a = \frac{\varepsilon}{100} \left( \frac{2500}{R} + 4 \right) \frac{3.6V}{100}$$

$$\left( \frac{Q}{P} \right)_{cri} = \frac{\tan \alpha - \mu_e}{1 + \mu_e \tan \alpha} \quad \mu_e = \mu \frac{27.0 \times \psi}{\left\{ \mu^{1.5} + (27.0 \times \psi)^{1.5} \right\}^{2/3}} \quad \psi = \frac{a_T}{R} + \frac{\delta}{2a_T}$$

$$\left( \frac{Q}{P} \right)_{ib} = Q_{ib} / P_i \quad \text{推定脱線係数比} = \frac{\text{限界脱線係数}}{\text{内軌側背面脱線係数}}$$

ただし、

$P_o$  : 外軌側輪重定常分 [kN] ,  $P_i$  : 内軌側輪重定常分 [kN] ,  $W_o$  : 静的軸重[kN]

$\gamma$  : 外軌側車輪の静止輪重比 ,  $G$  : 軌間[m] ,  $R$  : 軌道中心線における曲線半径[m]

$V$  : 速度[m/s] ,  $C$  : カント[m] ,  $g$  : 重力加速度 [9.8m/s<sup>2</sup>] ,  $H_G^*$  : 車両有効重心高さ[m]

$Q_{ib}$  : 内軌側背面横圧 (ガード部で案内している場合) [kN]

$Q_t$  : 転向横圧 [kN] ,  $Q_c$  : カント横圧及び遠心横圧[kN]

$Q_b$  : 後軸の操舵モーメントによる横圧[kN]

$Q_a$  : 変動横圧 (ここでは、継目部衝撃横圧) [kN]

$\kappa$  : 外軌側横圧輪重比 (≒前軸の車輪踏面・レール間の摩擦係数)

$\mu_e'$  : 等価摩擦係数 (後軸の車輪踏面・レール間)

$P_{2i}$  : 後軸の内軌側輪重 [kN] ,  $P_{2o}$  : 後軸の外軌側輪重 [kN]

$2a_T$  : 軸距 [1.4m] ,  $2b_W$  : 後軸左右接触点間隔 [1.5m]

$\varepsilon$  : 変動横圧 (継目部衝撃横圧) の有効割合[%]

$(Q/P)_{ib}$  : 内軌側背面脱線係数

$P_i$  : 内軌側輪重 [kN] ,  $P_o$  : 外軌側輪重 [kN]

$Q_{ib}$  : 内軌側背面横圧 [kN] ,  $Q_o$  : 外軌側横圧 [kN]

$(Q/P)_{cri}$  : 限界脱線係数 ,  $\alpha$  : 車輪フランジ角 (車輪とレールの接触角) [rad]

$\mu$  : 車輪背面・ガード部間の摩擦係数 ,  $\mu_e$  : 等価摩擦係数 (車輪背面・ガード部間)

$\psi$  : アタック角 [rad]

$\delta$  : 前軸及び後軸位置における横動遊間 (左右合計) の平均 [m]

## 2. 各パラメータの設定

本事故発生時における車両・軌道間に作用する輪重及び横圧を推定し、その結果を用いて「推定脱線係数」を算定し、さらに、限界脱線係数と比較することで「推定脱線係数比」を求め、脱線に対する余裕度について考察した。入力した各パラメータの設定値は表1に示すとおりである。

表1 各パラメータ

項目		値	単位
前軸	左(外軌)	18.4	kN
	右(内軌)	17.4	kN
	静的軸重	35.8	kN
	外軌側車輪の静止輪重比	1.028	
後軸	左(外軌)	22.3	kN
	右(内軌)	24.2	kN
	静的軸重	46.5	kN
	外軌側車輪の静止輪重比	0.959	
軌間		1.435	m
車両重心高さ		1.4	m
車両有効重心高さ		1.75	m
軌道中心線における曲線半径		20.7	m
速度		5	km/h
カント		0	m
車輪・レール 摩擦係数	車輪背面・ガード部間	0.2	
	車輪踏面・レール間	0.3	
車輪・レール接触角度(ガード部)		50	°
軸距		1.4	m
横動遊間		0.016	m
アタック角		2.59	deg
変動横圧(継目部衝撃横圧)の有効割合		50%	

## 3. 推定値の算定結果

表1に示す各パラメータ値を用いて、内軌側車輪の背面からの乗り上がり脱線に関する値を算定した結果、以下のとおりであった。

- ・内軌側輪重 = 17.0 kN
- ・内軌側背面横圧 = 16.3 kN
- ・内軌側背面推定脱線係数 = 0.958
- ・内軌側背面限界脱線係数 = 0.814
- ・内軌側背面推定脱線係数比 = 0.850

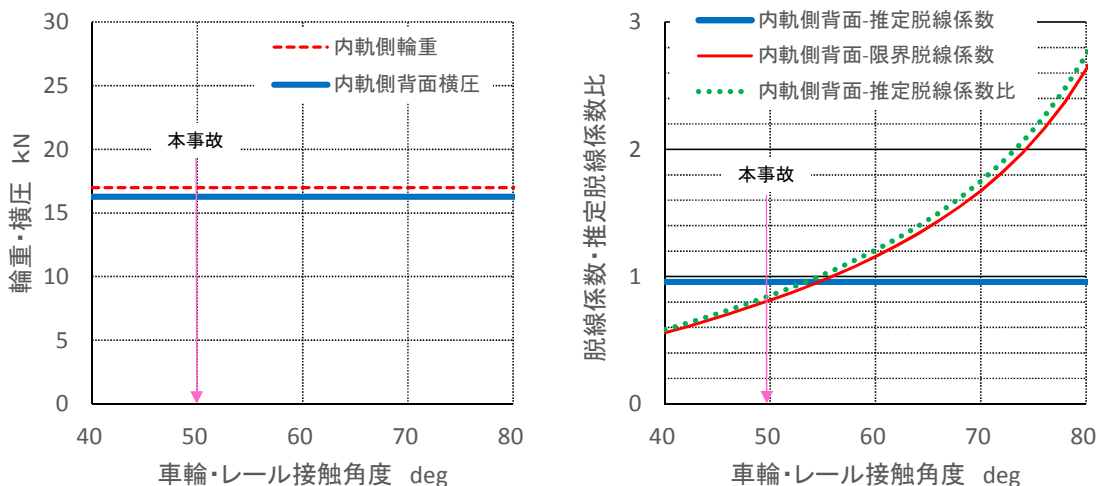
これにより、内軌側車輪背面の推定脱線係数比が1を下回ることから、表1の条件は、本事故で想定される脱線現象が発生する境界付近であった可能性があると考えられる。



#### 4. 各パラメータの影響度

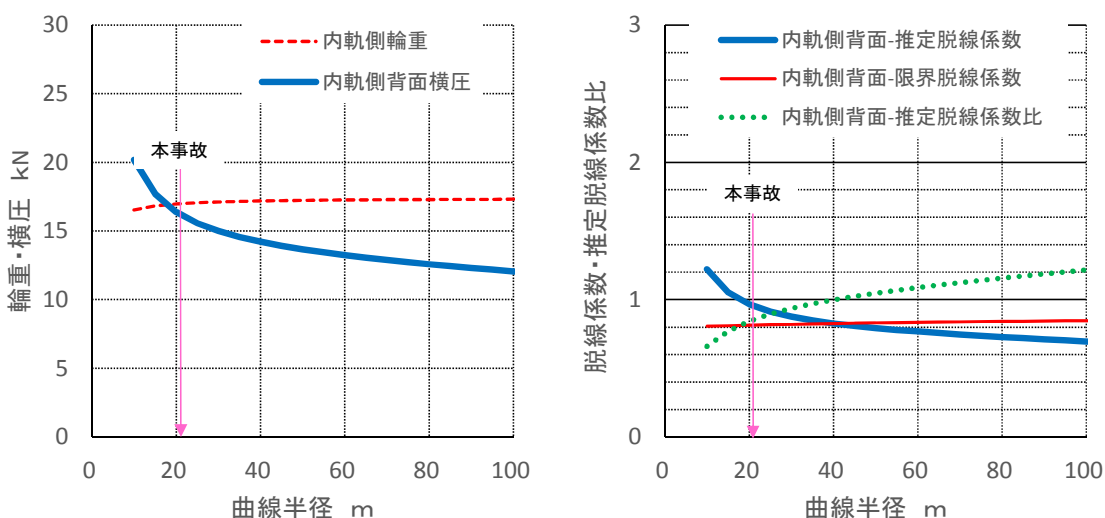
表1に示す各パラメータのうち、車輪・レール接触角及び曲線半径を変化させた場合の内軌側車輪のフランジ背面からの乗り上がり脱線に対しての影響度について考察を行った。なお、変化させるパラメータ以外は、表1の値を固定値として用いている。結果は以下のとおりである。

##### (1) 車輪・レール接触角



車輪・レール（車輪背面とガード部間）の接触角の増加により、限界脱線係数が増加する。よって、車輪・レール接触角の影響は大きいと考えられる。今回の算定結果からは、推定脱線係数比が1.0を超えるのは、車輪・レール接触角が55°以上の場合となった。また、普通鉄道における判断基準となっている1.2を超えるのは、60°以上の場合となった。

##### (2) 曲線半径



曲線半径は、アタック角の変化等により輪重・横圧及び限界脱線係数が増減するため影響が大きい。本事故の発生は路面電車特有の急曲線であったことが大きく影響していると考えられる。