

鐵道事故調查報告書

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

広島電鉄株式会社 宮島線広電西広島駅構内 列車脱線事故

平成20年7月25日

航空・鉄道事故調査委員会

本報告書の調査は、本件鉄道事故に関し、航空・鉄道事故調査委員会設置法に基づき、航空・鉄道事故調査委員会により、鉄道事故の原因を究明し、事故の防止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。

航空・鉄道事故調査委員会

委員長 後藤 昇 弘

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19年5月24日 21時30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

長崎駅前停留場起点933m付近

平成20年7月14日

航空・鉄道事故調査委員会（鉄道部会）議決

委員長 後藤昇弘

委員 楠木行雄（部会長）

委員 中川聡子

委員 松本陽

委員 宮本昌幸

委員 富井規雄

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^{あかきこ}蛍茶屋停留場発赤迫停留場行き1両編成の第375号車は、平成19年5月24日（木）、諏訪神社前停留場を定刻（21時28分）に出発した。公会堂前交差点の分岐器を長崎駅前停留場方に向けて通過中、運転士は車両前部が進行する方向と異なる方へ向いたのでブレーキにより停止し、降車して確認したところ、後台車（前後左右は進行方向を基準とする。）の全2軸が左に脱線していた。車両には乗客約15名、運転士1名が乗車していたが、死傷者はなかった。事故現場は道路との併用軌道上にあったが、脱線した車両は乗用車等と衝突しなかった。

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」であって、

本事故発生前の平成19年5月19日に本件分岐器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が発生し、同一箇所で2度繰り返し車両脱線事故が発生した事態であって、国土交通省告示¹の定める特に異例と認められるものとして調査対象となったことから、航空・鉄道事故調査委員会は、平成19年5月24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、職員を現場に派遣した。

1.2.2 調査の実施時期

平成19年5月25日、26日 現場調査、車両調査及び口述聴取

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 認定した事実

2.1 運行の経過

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375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。

第375号車には19時40分ごろに浦上車庫前停留場から乗務し、最初に赤迫停留場に向かった後、赤迫停留場と蛍茶屋停留場の間を1往復した。2往復目の復路の途中、蛍茶屋支線（以下「蛍茶屋線」という。）の諏訪神社前停留場を定刻（21時28分）に発車した後、桜町支線（以下「桜町線」という。）が分岐する公会堂前交差点（以下「本件交差点」という。）の第1停止線の手前（蛍茶屋停留場方）に停止した。本件交差点の進路選別表示機に本件電車の進路を示す「右」の文字が点灯したのを確認して前進し、第2停止線の手前に停止した。

本件交差点の交通信号機が青から黄に変わり、電車用交通信号の黄矢印（右）と軌道信号機の進行信号が示されたこと及び公会堂前1号分岐器（以下「本件分岐器」という。）が分岐線側（桜町線側）に開通していることを確認して発車した。3ノッチまで投入した後、本件分岐器に惰行で進入した。本件電車の前部が

¹ 「国土交通省告示」とは、「航空・鉄道事故調査委員会設置法第2条の2第4項の国土交通省令で定める重大な事故及び同条第5項の国土交通省令で定める事態を定める省令第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号を指す。

公会堂前停留場（以下「本件停留場」という。）の方を向いた後、再度3ノッチまで投入し、速度約12km/hで力行中、車両後部で「ガタガタッ」という音を聞いた後、車両前部が本件停留場より右の方を向いたため、急制動（空気ブレーキ最大）により停止した。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。

死傷者がいないことを確認し、本社の指導係に携帯電話で状況を報告した後、乗客を降車させて本件停留場に誘導して、本件電車のそばで社員の到着を待った。

第375号車に乗務してから事故発生までの間、車両の状態に異常はなかった。なお、本事故の発生時刻は21時30分ごろであった。

（付図1、2、3及び写真1、2参照）

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

本件分岐器付近の軌道ブロック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。

本件電車のパンタグラフ、床下配管及び主電動機等が損傷した。

（付図3及び写真2、3参照）

2.4 乗務員に関する情報

本件運転士 男性 44歳

乙種電気車運転免許

平成5年5月18日

2.5 平成19年5月19日に発生した事故に関する情報

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。

1回目事故で脱線した前台車第1軸の乗り上がり痕跡が見られた箇所は、本件電車の後台車第1軸の同様の痕跡が見られた箇所の約0.5m手前であった。

事故現場での電車の営業運転（桜町線上り線）は、事故発生の翌日（20日）の朝（始発）に再開された。

本件分岐器については、同社により同月8日及び10日にリードレールの更換等を含む補修工事（以下「計画補修」という。2.6.4(1)参照。）が実施されていた。

1回目事故が発生した後の同月19日、22日及び23日には、脱線の防止を目的

とし、線形を整正するための補修工事（以下「緊急補修」という。2.6.4(2)参照。）が同社により実施されていたが、同月24日に本事故が発生した。

2.6 軌道施設に関する情報

2.6.1 概要

桜町線（0.93km）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。

本件分岐器は、本件交差点において蛍茶屋線上り線から桜町線上り線が右に分岐する箇所にある片開き分岐器であり、蛍茶屋線上り線から同線起点の西浜町停留場方に至る線路が基準線、桜町線上り線に至る線路が分岐線となっている。この分岐線は、蛍茶屋線下り線と平面交差している。本件分岐器は、道路との併用軌道上に敷設されている。

2.6.2 事故現場付近の線路及び軌道に関する情報

(1) 線形に関する情報

本件分岐器は平坦部に敷設されており、第2停止線からトングレー先端までの約1.4mは直線、トングレー先端と同先端から4.5m付近（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先端からの軌道中心線における距離をいい、同先端からの距離が x mの地点を表す場合には x m地点と表す。）までの間は半径45.7m、4.5～6.4m地点付近までの間は半径35.7m、6.4～31.9m地点付近までの間は半径20.7mのそれぞれ右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及びカントの設計値は各々6mm、0mmである。

(2) 軌道に関する情報

本件交差点付近の軌道構造は接続軌道²である。レールは40kgNレールが使用され、トングレーを除いて軌道ブロックに締結されている。

分岐線のリード部³には、右主レールに沿って長さ約6.0mのガードレール（以下「本ガードレール」という。）が軌間内に敷設されている。本ガードレールには40kgNレールが使用され、間隔材により6箇所です主レールに締結されている。本ガードレールの形状は、その始端（蛍茶屋停留場方）の3.2m地点から3.8m地点付近までの間は半径45.1m、3.8～5.7m

² 「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。

³ 「リード部」とは、分岐器の一部であり、トングレーとクロッシング（リード部の先でレールが交差する箇所）をつなぐ部分をいう。

地点付近までの間は半径35.1m、5.7m～終端の9.4m地点付近までの間は半径20.1mの右曲線となるように設計されている。

本ガードレールの終端（長崎駅前停留場方）は、分岐線が蛍茶屋線下り線と交差する箇所にあるクロッシング（以下「右クロッシング」という。）のウィングレール（以下「右ウィングレール」という。）の始端に接続している。2.5に記述した1回目事故の際には、本ガードレールと右ウィングレールは不連続に敷設されていたが、1回目事故の後、これらのレール（以下「本ガードレール等」という。）の頭部及び右側部が同社により溶接され、一体となった（2.6.4(2)②参照。以下、この9.4m地点の溶接箇所を「溶接部」という。）。フランジウェー⁴深さについては、溶接部付近の手前の本ガードレールの敷設区間では間隔材の設置箇所では30mm、それ以外の箇所ではこの値以上であり、同地点より前方では30mmからスロープ状に底部が上昇し右クロッシングでは23mmとなるように設計されている。

分岐線の左リードレール（以下「本リードレール」という。）の終端は、分岐線の左レールと基準線の右レールが交差する箇所にあるクロッシング（以下「左クロッシング」という。）のウィングレール（以下「左ウィングレール」という。）の始端に接続している。溶接部付近の左レール側には、左ウィングレールと左クロッシングのノーズレール（以下「左ノーズ」という。）の間に車輪が左レールによって案内されない区間（以下、この箇所を「欠線部」という。）がある。フランジウェー深さについては、8.9m地点付近の前方では30mmからスロープ状に底部が上昇し、左クロッシングでは23mmに、同地点の手前では、この値より大きくなるように設計されている。

以上に記述した各箇所について、以下に距離順にまとめて示す。

- | | |
|--|--------|
| ① 本ガードレール始端 | 3.2m地点 |
| ② 左ウィングレール始端（本リードレール終端） | 8.2m地点 |
| ③ 欠線部始端及び右ウィングレール始端（本ガードレール終端） | 9.4m地点 |
| ④ 欠線部終端（左ノーズ先端〔ノーズの高さがレールの高さと同じになる位置〕） | 9.7m地点 |

（付図3、4参照）

2.6.3 軌道の定期検査に関する情報

⁴ 「フランジウェー」とは、一般には、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隙間のことである。路面電車の分岐器では、車輪フランジ先端がフランジウェー底部に接触して走行することがあるため、その形状の管理が重要である。

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⁵⁾」（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。

同社から提出された、本件分岐器を含む桜町線における本事故前直近の軌道保守検査表（①軌間、水準変位：平成18年7月20日実施 ②高低、通り変位：同年12月4日実施）には、線路方向に10m間隔で測定した軌道変位の測定値が記録されており、軌間、水準変位について、軌道整備心得に示された基準値⁶⁾（表1参照）を超えるような変位量はなかった。高低、通り変位については、10m弦正矢による測定値が記録されていたのに対し、同心得には10m弦正矢での基準値ではなく、レール1本あたりにおける基準値しか定められていなかったが、問題と考えられるような測定値は認められなかった。

本件分岐器の検査結果（同年12月11日実施）には、本リードレール、本ガードレール、左右クロッシングの摩耗量が大きいこと、左ノーズの一部に破損があること、軌間が小さいこと等が記録されていた。

表1 軌道変位基準値

	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	1,446	クロッシング部
	1,437	1,448	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 ⁷⁾	1,394	1,402	

単位は mm

※高低及び通りはレール1本あたりの変位量であり、所定の弦の長さにおける変位量ではない。

平面性変位については基準はない。

⁵⁾ 後述する2.7.2(1)の「電気車整備心得」及び2.8.1の「運転取扱心得」も、同社が九州運輸局長に届け出ている実施細則である。

⁶⁾ 同社における軌道変位の「基準値」とは、この値の範囲内の変位については整正しなくともよいとされているものである。

⁷⁾ ここでいう「バックゲージ」とは、本リードレール右側面と本ガードレール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、内軌側車輪のフランジ背面がガードレールやウィングレール等に接触し、案内されることが一般的であるため、バックゲージの管理は、車両の走行安全性を確保するために、特に重要である。

2.6.4 本件分岐器に係る軌道工事に関する情報

同社は、本件分岐器について、計画補修（平成19年5月8日及び10日）後に1回目事故が発生したことから、事故の原因について、同社は本リードレール及び左ウィングレールの線形形状が不適切であったこと、並びに本ガードレール終端部が右車輪のフランジ背面から横圧を受けた際に左に変位したために、右ウィングレール始端との間に右への段差が生じ、同始端の角部に右車輪のフランジが衝突したことによるものと判断し、事故後に本件分岐器の緊急補修（同月19日、22日及び23日）を実施していた。それぞれの補修の内容は以下のとおりであった。

(1) 計画補修

- ① 本リードレール及び本ガードレールの更換（8日）
- ② 左ウィングレールの頭部及び右側部の肉盛溶接と研磨（8、10日）
- ③ 右ウィングレール右側部の肉盛溶接と研磨（8、10日）

(2) 緊急補修

- ① 本ガードレールの終端付近の左に鉄板（長さ90mm×幅165mm×厚さ18mm）を挿入し、この鉄板の右端を本ガードレール、左端を軌道ブロックの鉄棒と溶接（19日）
- ② 本ガードレールの終端と右ウィングレール始端の頭部及び右側部を溶接して接合（22日）
- ③ 本ガードレール等の右側面の研磨（19、22、23日）
- ④ 右クロッシングのノーズレール（以下「右ノーズ」という。）の研磨（19日）
- ⑤ 右クロッシングのフランジウェーの肉盛溶接と研磨（23日）
- ⑥ 左ウィングレールの右側面の研磨（22日）
- ⑦ 左ノーズの肉盛溶接と研磨（23日）

なお、同社は、補修後には、溶接及び研磨作業により発生した金属粉を除去し、補修箇所付近の軌道変位や線形を測定することにより仕上がり状態を確認したとしており、2.6.5(1)～(3)で記述するように、一部の軌道変位については変位量の測定記録が残されていた。また、同社は肉盛溶接及び研磨作業の手順書や仕上がり状態の評価法等について示したマニュアル等は定めていなかった。

同社によれば、以上に示した各補修の他に、本ガードレール等の右側面には、1日に1回、同社係員が刷毛によって塗油を施しており、事故当日には13時50分ごろに同作業を実施したとしている。

（付図3、4参照）

2.6.5 事故現場付近の軌道変位の状況

(1) 計画補修前後での軌道変位

計画補修前後に本リードレール付近における軌間が測定されていた。計画補修前においては、軌間は5 m地点付近から前方で基準値より小さい値であったが、計画補修後の軌間は基準値の範囲内となっていた。

(2) 1回目事故後の軌道変位

1回目事故後に、本件分岐器付近における軌間及びバックゲージが測定されていた。

軌間は基準値の範囲内にあり、1回目事故においては、右ウィングレール上の9.5 m地点付近に脱線した車軸の右車輪の乗り上がり痕跡が見られたが、その位置に近い10 m地点付近における値は、1,439 mmであった。

バックゲージについては、5.5～9.5 m地点付近で基準値より小さいものとなっていた。また、9 m地点付近から前方約1 m間で急激に12 mm増加して基準値内の1,400 mmとなっていたが、そのさらに前方1 m間では急激に16 mm減少して基準値を下回っていた。

左レールの通り（10 m弦正矢）は、設計値に近いものであった。

(3) 緊急補修後の軌道変位

5月19日の緊急補修後に9.5～9.6 m地点付近の軌間及び水準変位が、22日の同補修後には9.0 m地点～溶接部付近、23日の同補修後には10.0～10.7 m地点付近の軌間、バックゲージ及び水準変位が測定されていた。

いずれの測定値についても、軌間及び水準変位は基準値の範囲内にあったが、バックゲージの一部は基準値より最大で4 mm程度小さかった。

(4) 本事故後の軌道変位

本事故後に、本件分岐器付近における軌間、バックゲージ、通り及び水準変位を、6.4～11.6 m地点間では20 cm間隔で、それ以外の区間では1 m間隔で測定した。なお、本事故によると見られる車輪の乗り上がり痕跡は、1回目事故において同様の痕跡があった箇所より0.5 m程度前方の10 m地点付近の右ウィングレール上にあった。

軌間は基準値の範囲内にあり、溶接部付近の手前では1,438～1,446 mmとなっていた。

バックゲージは、15 m地点付近までの区間において、2.7.2(1)に後述する脱線車軸の車輪内面間距離と左車輪フランジ厚さの和である1,390 mmより大きい状態となっていた。

左レールの通りは設計値に近いものであった。

水準変位については、溶接部付近より手前においては $-5 \sim 3$ mm（左レールが高い場合を+とする）で基準値の範囲内にあり、そのうち4.2 m地点～溶接部付近では負の値で右レールの方が高くなっていた。

本件電車の軸距（1.4 m）を考慮し、1.4 m平面性変位⁸を水準変位から算定すると、溶接部付近までは ± 2 mmの範囲にあった。また、本件電車の台車中心間距離（5.4 m）を考慮し、算定した5.4 m平面性変位は、8.6 m地点付近までは負の値であった（右レールが高い）が、その前方で増加し、9.6 m地点付近では $+6$ mm（右レールが低い）となった。なお、平面性変位については、同社は基準値を設定していなかった。

（付図5参照）

2.6.6 事故現場付近の軌道の形状の状況

(1) 右主レール

本事故後に、4.5～9.5 m地点付近の右主レール頭部の左側面の摩耗量を1 m間隔で測定した。摩耗量は軌道整備心得に示された基準値（15 mm）より小さく、4.5 m地点付近から前方で増加する傾向にあり、9.5 m地点付近では5 mmとなっていた。

(2) 本ガードレール

本事故後に、本ガードレールの両端間に張った糸と本ガードレール右側面との左右離隔距離を測定した。この測定値を用いて各測点における本ガードレールの曲線半径を算定すると、5.8 m地点付近から前方では約20.1 mとなった。

(3) 溶接部付近

本事故後に、溶接部付近を中心とする前後の5 m間に張った糸と本ガードレール等右側面との左右離隔距離を測定し、各測点における本ガードレール等の曲線半径を算定したところ、溶接部付近の手前では約20.0～20.5 mであった。

溶接部付近における本ガードレール等の右側面の形状を測定した。同側面にはフランジウェー側に膨らんだ部分（以下「右凸部」という。）が存在し、溶接部の手前（蛍茶屋停留場方）では頭部及び底部に比べて腹部が、その前方では腹部及び底部に比べて頭部が、最大で約2～3 mm厚くなっていた。

溶接部付近及びその前方における右クロッシングのフランジウェー断面を

⁸ 「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1.4 mであれば1.4 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マイナス側としている。

測定したところ、フランジウエーの幅は約40～44mmで設計値（クロッシング部では40mm、その他では44mm）に近く、右レール頭頂面からの深さは、溶接部付近及びその前方では約24～26mmであった。

(4) 本リードレール

本事故後、本リードレールの頭部及び右側面に摩耗は認められなかった。

(5) 左クロッシング

本事故後に、左ノーズを中心とする前後の10m間に張った糸と左レールとの左右離隔距離を測定し、各測点における左レールの曲線半径を算定したところ、溶接部付近の手前では約22.2～23.1mであった。また、フランジウエーの幅は約44～52mmで設計値（45mm）に近く、深さは約24～27mmであった。

(付図6、7参照)

2.7 車両に関する情報

2.7.1 概要

本件電車の編成と主要諸元を以下に示す。

←進行方向

>

3 7 5

○ ○ ● ●

● : 脱線した軸を示す。

下線を付した輪軸は駆動軸を示す。

車種

直流電車（DC600V）

編成両数

1両

空車質量

15.0t

軸距

1.4m

台車中心間距離

5.4m

最大けん引力

11kN（1.1tf）

本件電車の軸ばね定数及びまくらばね定数の値は、事故当日に本件分岐器を通過した車両（以下「他車両」という。）の各値と大きな差異はなかった。

2.7.2 車両の管理状況に関する情報

(1) 輪軸、車輪及び踏面形状

同社から提出された本事故前直近の重要部検査記録（平成19年4月18日実施）及び本事故後の測定結果によれば、本件電車の輪軸各部の寸法は「電気車整備心得」に定められた限度値⁹（表2参照）の範囲内であり、後台車第

⁹ 同社における輪軸各部の寸法の「限度値」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。

1軸の車輪のリム一对の内面距離（以下「車輪内面間距離」という。）は約1,366mm、フランジ高さは左右車輪とも約23mm、フランジ厚さは左車輪で約24mm、右車輪で約25mmであった。また、同軸各車輪のフランジ角は左右車輪とも約68°であった。これらの各数値は他車両の値と比較して大きな差異はなかった。

本事故後において、車輪の形状は正規のものに近く、また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。なお、本事故直近の車輪転削から本事故時までの走行距離は、4,469kmであった。

表2 輪軸各部寸法限度値

	最小	最大
車輪内面間距離	1,366	1,368
フランジ高さ	22	33
フランジ厚さ	16	32

単位は mm

(2) 静止輪重

同社が本事故後に後台車の静止輪重及び静止輪重比（左右車輪の輪重の平均値に対する比）を測定した結果は以下のとおりであり、第1軸では右車輪の方が輪重は小さかった。また、左右車輪の各輪重は、非駆動軸である第1軸の方が駆動軸である第2軸より小さく、前台車においては、第1軸が駆動軸であるため、非駆動軸である第2軸より第1軸の方が輪重は大きかった。

後台車 静止輪重（静止輪重比）

第1軸 右車輪：15.2kN（0.97） 左車輪：16.0kN（1.03）

第2軸 22.7kN（1.08） 19.3kN（0.92）

前台車（参考）

第1軸 右車輪：19.9kN（0.96） 左車輪：21.6kN（1.04）

第2軸 16.9kN（1.05） 15.4kN（0.95）

なお、1回目事故では、前台車の全2軸が脱線したが、この車両の駆動軸は前台車では第2軸、後台車では第1軸であり、第1軸の輪重は第2軸に比べて前台車では小さく、後台車では大きかった。

2.8 運転に関する情報

2.8.1 分岐器進入時の運転方法に関する情報

同社では、「運転取扱心得」において、以下のように分岐器進入時の運転方法等

が定められていた。

- (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¹⁰で通過するときの運転速度は15 km/h以下とする。また、半径40 m以下の曲線での運転速度は15 km/h以下とする。
- (3) 分岐器箇所における進路の選別は、進路選別表示機の現示にしたがって第1停止線の先へ進入することによって行う。

2.8.2 本件分岐器を通過した車両

緊急補修後、本事故前に本件分岐器の分岐線側を対向で通過した車両は延べ160両であり、このうち第375号車は3回通過した後、4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) 本事故後、本件電車は30 m地点付近で前部を右に向けて停止し、後台車全2軸が左に脱線していた。
- (2) 溶接部付近の本ガードレール等の右側面には、右車輪のフランジ背面が接触したと見られる痕跡が、2.6.6(3)に記述した右凸部に沿うように存在し、右凸部の形状が腹部から頭部に厚くなる箇所付近では、その向きが急激に前方斜め上方に変化して存在していた。この痕跡は、10 m地点付近の右ウィングレール上面を経て、その左の軌道ブロック等の上に右ノーズの左へ向かって連続的に存在していた痕跡に続いていた。また、右ノーズの左には車輪が衝突したと見られる痕跡があり、そこから後台車第1軸の右車輪の停止位置までの軌道ブロック等の上に車輪が走行したと見られる痕跡があった。
- (3) 本事故の現場調査時においては、本ガードレール等の右側面に油が付着している状況にはなく、一部に錆が見られ、同側面は粗い状態にあった。また、溶接部付近の右クロッシングのフランジウェー底面には、多数の金属粉が落下していた。
- (4) 右ノーズから右に延びるレールの前方左から後台車第2軸の右車輪の停止位置までの軌道ブロック等の上に車輪が走行したと見られる痕跡があった。
- (5) 左ノーズから右に延びるレールの前方左（10 m地点付近）から後台車第1軸の左車輪の停止位置までの軌道ブロック等の上、及び同レールのさらに前方のレール頭頂面上から同台車第2軸の左車輪の停止位置までの軌道ブロック等

¹⁰ 「対向」とは、分岐器の前端側から後端側への向きであり、本件分岐器では蛸茶屋停留場方から長崎駅前停留場方への向きである。

の上に、車輪が走行したと見られる痕跡があった。

- (6) 本件電車後台車の全車輪のフランジ先端部には、脱線後に軌道ブロック等の上を走行したことによると見られる痕跡があり、第1軸右車輪のフランジ背面には、右ウィングレールに乗り上がったことによると見られる痕跡があった。

(付図3、4、7及び写真2、3参照)

2.10 気象に関する情報

当時の事故現場付近の天気（緊急補修後から本事故発生時まで） 晴れまたは曇り

3 事実を認定した理由

3.1 脱線の状況等に関する解析

- (1) 2.9(2)に記述したように、溶接部付近の本ガードレール等の右側面に痕跡が存在しており、この痕跡は右凸部付近で急激に前方斜め上方に向きが変化し、溶接部前方の10m地点付近の右ウィングレールの上面等を経て本電車の後台車第1軸の右車輪の停止位置まで続いていたことから、溶接部付近で同軸右車輪はフランジ背面を本ガードレール等の右側面に接触させながら急激に上昇し、右ウィングレールに乗り上がって左へ脱線したものと推定される。したがって、2.9(6)に記述した右車輪フランジ背面の傷は、この脱線によるものと考えられる。また、2.9(3)に記述した右クロッシングのフランジウェー底面に落下していた金属粉は、ここを通過する車輪のフランジ背面と溶接部を含む本ガードレール等の右側面が接触して、これらが相互に削られたことにより発生したものと考えられる。
- (2) 2.9(4)に記述したように、右ノーズから右に延びるレールの前方左から本電車の後台車第2軸の右車輪の停止位置までの軌道ブロック等の上には、車輪が走行したと見られる痕跡があったことから、同軸右車輪はこの位置で左へ脱線したものと推定される。
- (3) 2.9(5)に記述したように、左ノーズから右に延びるレールの前方左から本電車の後台車第1軸の左車輪の停止位置までの軌道ブロック等の上には車輪が走行したと見られる痕跡があり、また同レールのさらに前方のレール頭頂面上から同台車第2軸の左車輪の停止位置までの軌道ブロック等の上にも同様の痕跡があったことから、同台車全2軸の各左車輪は、左ノーズから右に延びるレールの前方で、それぞれ左へ脱線したものと推定される。

3.2 車両に関する解析

2.7.1及び2.7.2に記述したように、本件電車の車輪各部の寸法等に異常は認められず、また、本件電車の軸ばね定数、まくらばね定数、車輪内面間距離及びフランジ厚さの各値は他車両に比べて大きく異なるものではなかったことから、本件電車に脱線の要因となる異常は、事故当日にはなかったものと考えられる。

3.3 線形に関する解析

2.6.5(4)及び2.6.6(3)に記述したように、溶接部付近の手前での軌間は1,438～1,446mmであったこと、及び本ガードレール等の曲線半径は約20.0～20.5mであったことから、同付近の手前での軌道中心における曲線半径を算定すると、約20.9mとなった。

3.4 運転方法及び走行速度に関する解析

2.1に記述した本件運転士の口述から、事故現場付近における本件運転士の運転方法は、2.8.1に記述した運転取扱心得に基づく運転方法に合致しており、問題はなかったものと考えられる。また、本件運転士は事故発生時の速度は約12km/hであったと口述している。さらに、付属資料1に示すように、2.7.1に記述した本件電車の空車質量及び最大牽引力から、鉄道車両における列車抵抗及び加速力等の算定式を準用して、本件運転士が力行を続けたとして脱線地点付近における本件電車の走行速度を試算すると、約12km/hであった。これらのこと及び2.1に記述したように、本件運転士が一時惰行したと口述していることを勘案すれば、事故現場付近における本件電車の速度は12km/h程度か、それ以下であった可能性が考えられる。

3.5 車輪・軌道間に作用していた輪重及び横圧に関する解析

2.6、2.7、2.10、3.1、3.3及び3.4に記述した軌道施設に関する情報、車両に関する情報、気象に関する情報、脱線の状況等に関する解析、線形に関する解析、並びに運転方法及び走行速度に関する解析から、本件電車の後台車第1軸の輪重及び横圧について解析する。輪重の値の具体的な試算方法については、付属資料2に示す。

3.5.1 輪重に関する解析

本事故時における輪重の作用状況及び値は、試算結果から、具体的には以下のようであった可能性が考えられる。

(1) 輪重の作用状況

① 右車輪

2.7.2(1)に記述したように、右車輪のフランジ高さは約23mmであり、2.6.2(2)に記述した溶接部付近の手前におけるフランジウェー深さ(30mm以上)より小さかったことから、同付近の手前では、右車輪の輪重は踏面から右レール頭頂面に作用する状態にあった。ここで、3.1(1)に記述したように、右車輪は同付近でフランジ背面を本ガードレール等の右側面に接触させながら上昇したと推定されることから、上述の状態にあった輪重は、同付近では踏面から右レール頭頂面に作用する状態から、車輪背面から本ガードレール等の右側面に作用する状態に推移し、さらに同付近の前方では、車輪背面のフランジ先端付近から本ガードレール等の右側面に作用する状態に推移していった。

② 左車輪

2.7.2(1)に記述したように、左車輪のフランジ高さは約23mmであり、2.6.6(5)に記述した左クロッシングのフランジウェー深さ(約24～27mm)より小さかったことから、溶接部付近の手前では、左車輪の輪重は、主に踏面から左レール頭頂面に作用する状態にあったが、左レールによって車輪が案内されない欠線部付近においては、フランジ先端からフランジウェー底部に作用していた。

(2) 輪重の値

本検討に際しては、静止輪重に加えて、左方向への加速度に伴う輪重の増減を考慮する。なお、この外に平面性変位に伴う増減が重畳すると考えられるが、ここでは乗り上がり開始前において定常的に発生していた輪重の算定を目的とすることから、考慮しないこととした。

① 静止輪重

2.7.2(2)に記述したように、静止輪重は右車輪では約15.2kN、左車輪では約16.0kNであった。

② 左方向への加速度に伴う増減

3.3に記述した溶接部付近の手前における曲線半径(約20.9m)、2.6.5(4)に記述した同付近の手前における水準変位(-5[右レールが高い]～3mm)及び3.4に記述した本件電車の速度(約12km/h)から、本件電車が同付近を通過した際のカント不足量を算定すると約75～83mmとなり、本件電車に作用した左方向への加速度は約0.51～0.57m/s²(左への加速度を正とする。以下同じ。)となった。(付属資料2(2)①及び②参照)

この左方向への加速度、3.3に記述した曲線半径、上述した水準変位及び①に記述した静止輪重から、同加速度に伴う輪重の増減を試算すると、

右車輪では約1.9～2.1 kNの減少、左車輪では約2.0～2.3 kNの増加となった。(付属資料2(2)③参照)

③ 左右車輪の輪重の値

①及び②に記述した静止輪重及び左方向への加速度に伴う増減を考慮して溶接部付近の手前における輪重を試算すると、右車輪は約13.1～13.3 kN、左車輪は約18.0～18.3 kNとなり、右車輪では静止輪重より小さかった。(付属資料2(3)参照)

3.5.2 横圧に関する解析

本事故時における横圧の作用状況及び値については、具体的には以下のような可能性が考えられる。

- (1) 2.6.5(4)に記述したように、15 m地点付近までの区間におけるバックゲージは、2.7.2(1)に記述した第1軸の車輪内面間距離と左車輪のフランジ厚さの和(1,390 mm)に比べて大きかったことから、溶接部付近及びその手前では、左車輪のフランジは左レールに接触せず、右車輪はフランジ背面を本ガードレールに接触させた状態で走行していた。また、2.6.6(5)に記述した左クロッシングのフランジウェー幅(約44～52 mm)は、2.7.2(1)に記述した左車輪のフランジ厚さ(約24 mm)に比べて十分に大きかったことから、右車輪のフランジ背面が本ガードレール等に接触した状態においては、左車輪のフランジは欠線部の手前では左ウィングレールに接触していなかった。
- (2) 3.1(1)に記述した、右車輪が上昇したと推定される溶接部付近より手前及び同付近においては、左車輪には曲線半径と軸距に依存したアタック角¹¹が生じていたことによって、左向きの大きな転向横圧¹²が発生(左レールに対しては軌間内向きの力が作用)していた。さらに、2.6.5(1)に記述した計画補修後の軌間は、同補修前に比べて増加していたことから、軌間に依存した分のアタック角は、同補修前に比べて同補修後及び本事故時においては増加していたため、転向横圧は左車輪の踏面と左レール頭頂面間の摩擦力に近い状態にまで増加した。(1)に記述したように、右車輪のフランジ背面は本ガードレール等の右側面に接触していたことから、同フランジ背面から本ガードレール等に対しては、この分の横圧が作用していた。なお、この摩擦力につい

¹¹ 「アタック角」とは、車輪がレール上を転動するときの車輪とレールとの相対角度のことであり、この角度が大きいほど乗り上がり脱線に対する安全性が低下するものである。

¹² 「転向横圧」とは、台車が曲線を通る際に、その進行方向を変えようとするために発生する、軌道面水平方向の荷重のことである。

ては、2.10に記述した事故時までの天気から、乾燥状態における摩擦係数に基づく大きさであった。

- (3) 溶接部付近より手前及び同付近においては、3.5.1(2)②に記述した左方向への加速度により発生する超過遠心力による横圧が輪軸に発生し、右車輪のフランジ背面から本ガードレール等の右側面に対しては、この分の横圧が作用していた。
- (4) 溶接部付近では、2.6.6(3)に記述した右凸部の存在により、右車輪において衝撃的な横圧が瞬間的に発生し、上記(2)及び(3)に記述したような、正常な状態においても発生する左方向の加速度による横圧及び転向横圧に重畳したことから、正常な状態より大きな横圧が右車輪のフランジ背面から本ガードレール等の右側面に作用していた。
- (5) 3.1(1)に記述したように、10m地点付近で右車輪は右ウィングレールに乗り上がったものと推定されることから、同付近の前方では、左車輪のフランジが左ノーズから右に延びるレールの右側面に接触し、横圧が作用する状態に推移していった。

(付図8参照)

3.6 乗り上がりに関する解析

2.6、2.7、2.9、2.10及び3.5に記述した軌道施設に関する情報、車両に関する情報、事故現場に関する情報、気象に関する情報、並びに車輪・軌道間に作用していた輪重及び横圧に関する解析から、本事故時における本件電車の後台車第1軸の限界脱線係数、脱線係数及び脱線の過程について解析する。

3.6.1 右車輪の乗り上がりに関する解析

右車輪における限界脱線係数及び脱線係数については、以下のようであった可能性が考えられる。

(1) 限界脱線係数に関する解析

① アタック角

本ガードレール等と右車輪の間には、曲線半径と軸距に依存したアタック角が生じていた。また、3.5.2(2)に記述したのと同様に、軌間に依存した分のアタック角は、右車輪においても、同補修前に比べて同補修後及び本事故時においては増加していた。

② 車輪・レール間の摩擦係数

2.6.4に記述したように、緊急補修において本ガードレール等の右側面が研磨されたこと、2.9(3)に記述したように、本ガードレール等の右側面は粗い状態にあり、また油が付着している状況がなく、2.6.4に記述した塗

油作業による右車輪フランジ（背面）・レール間摩擦係数の低減効果は本事故時まで持続していなかったものと考えられること、及び2.10に記述した事故時までの天気から、溶接部付近の本ガードレール等の右側面は粗く乾燥した状態にあったと考えられることから、本事故時における同摩擦係数は、正常な状態より大きかった。

以上に記述したアタック角及び右車輪フランジ（背面）・レール間摩擦係数の増大により、右車輪フランジ・レール間の等価摩擦係数¹³が増大し、本事故時における溶接部付近での右車輪の限界脱線係数は、正常の状態より低下していた。

(2) 脱線係数に関する解析

3.5.1(1)①に記述した右車輪のフランジ背面から本ガードレール等の右側面に作用していた輪重、3.5.2(4)に記述した同フランジ背面から本ガードレール等に作用していた横圧から、右車輪における脱線係数（横圧と輪重の比）は、右凸部が存在した溶接部付近では正常な状態より増加していた。

以上のことから、右車輪は溶接部付近で急激に上昇し、10m地点付近で右ウィングレールに乗り上がった。

3.6.2 左車輪の乗り上がりに関する解析

左車輪については、3.6.1に記述したように、右車輪が右ウィングレールに乗り上がったことによって、左ノーズから右に延びるレールに乗り上がったものと考えられる。

（付図7、8参照）

3.7 脱線原因に関する解析

本件電車の後台車第1軸の脱線には、以下の(1)～(3)の要因が関与した可能性が考えられる。

- (1) 3.5.2(4)に記述したように、右凸部の存在により右車輪の横圧が瞬間的に大きくなったことから、右車輪における脱線係数は大きくなった。
- (2) 3.6.1(1)②に記述したように、本ガードレール等の右側面が粗い状態にあり、右車輪フランジ（背面）・レール間摩擦係数が大きくなったことから、右車輪に対する限界脱線係数は正常な状態より低下したため、右車輪は乗り上がりやすい状態となった。

¹³ 「等価摩擦係数」とは、車輪フランジ・レール間において作用する左右方向の力とその法線力の比であり、車輪フランジ・レール間摩擦係数とアタック角の増加に伴って増加し、最大値は摩擦係数となる。

- (3) なお、2.7.2(2)に記述したように、前台車においては第1軸が駆動軸であったため、同軸右車輪の輪重は第2軸に比べて大きく、横圧が大きくても右車輪における脱線係数は第2軸ほどは大きくならなかった。それに対し、後台車においては第1軸は駆動軸でなかったために同軸右車輪の輪重が小さかったことから、後台車の方が前台車に比べて脱線係数が大きくなりやすい状態にあった。

なお、2.8.2に記述したように、緊急補修後、第375号車は本事故前に本件分岐器を脱線することなく3回通過し、4回目の通過時に脱線したが、このように、3回目の通過時まで脱線せず、4回目の通過時に脱線した理由については、明らかにすることはできなかった。

3.8 軌道工事に関する解析

2.6.6(3)及び3.6.1(1)②に記述した右凸部が存在したこと及び本ガードレール等の右側面が粗い状態にあったのは、2.6.4に記述した緊急補修において行わ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と考えられる。2.6.4に記述したように、同社はこれら作業の手順書や仕上がり状態の評価マニュアル等は定めていなかったことから、良好な仕上がり状態とするための管理が不十分となった可能性が考えられる。したがって、今回のように本ガードレール等のレール形状を変化させる可能性があるような作業を行う際には、2回の事故とも工事後に脱線が発生したことを考えれば、その手順や仕上がり状態の評価法を適切に定めて、良好な軌道状態を維持できるように努めるべきである。

なお、3.6.1(1)②に記述したように、本ガードレール等の右側面への塗油による右車輪・レール間摩擦係数の低減効果が、本事故時まで持続していなかったものと考えられることから、摩擦係数が過度に上昇しないような対応についても検討することが望まれる。

4 原因

本事故は、本件分岐器中の右曲線部において、本件電車の後台車第1軸の右車輪がフランジ背面を本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、大きな横圧が瞬間的に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フランジ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、限界脱線係数が低下したため、同軸右車輪が右ウィングレールに乗り上がった後、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る。

なお、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、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る。

5 所見

路面電車の分岐器敷設箇所における急曲線部では、内軌側車輪のフランジ背面がガードレール等に接触した状態で車両が走行するのが一般的であるので、このような箇所において脱線を防止するためには、車輪が接触するクロッシングやガードレールの形状及び寸法を車輪が円滑に通過できる状態に維持、管理することが極めて重要である。

したがって、これらの形状等を変化させる可能性がある作業を行う際には、その手順や仕上がり状態の評価法を適切に定めて、適正な軌道状態が維持できるように努めるべきである。

なお、車輪・レール間の摩擦力が過度に上昇しないように努めることについても、対応が望まれる。

6 参考事項

6.1 同社が講じた措置

同社は本事故の後、本件分岐器に対して次の措置を講じ、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日に桜町線での営業運転を再開した。

- (1) 本ガードレール及び右主レールを更換するとともに、本ガードレールと右ウィングレールを溶接するのではなく、本ガードレールの終端付近が左に大きく変位するのを防止するための金具を同付近に取り付けた。
- (2) 本件分岐器の寸法及び形状を適正なものとするために、軌間及びバックゲージの寸法を整正した。

同社は、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を同年7月4日に九州運輸局に提出した。また、リードレール及びガードレールの敷設状態の点検を分岐器検査項目に追加して検査結果を記録すること、軌道工事の規模に関係なく工事前後に高低、通り、軌間及び水準の各変位量とバックゲー

ジ及びフランジウェー幅を測定して管理表に記録することとした。

6.2 国土交通省が講じた措置

国土交通省九州運輸局は、平成19年5月30日に同社に対して警告書を発出した。同年6月28日には同局による保安監査が実施され、同月29日には安全管理体制を再構築すること、運転事故等の原因を究明して効果的な再発防止策を講じること等、事故防止に係る取り組みを強化することを記した改善指示文書を同社に発出した。

脱線地点付近における本件電車の速度の試算

「3.4 運転方法及び走行速度に関する解析」における本件電車の脱線地点付近での速度の試算は、参考文献¹⁾の方法によった。試算方法及び試算結果について下記に示した。なお、以下に示す数値においては「約」を省略した。

(1) 曲線抵抗力 (r_c) の算定式

$$r_c = (800/R) \cdot M \cdot g \quad (\text{N})$$

R : 曲線半径 (m)、 M : 車両質量 (t)、 g : 重力加速度 (=9.8m/s²)

本件電車の空車質量 (15.0 t) 及び溶接部付近における曲線半径 (20.9 m) から、曲線抵抗力を試算すると、次のように5,627 Nとなった。

$$r_c = (800/20.9) \cdot 15 \cdot 9.8 = 5627\text{N}$$

(2) 出発抵抗力 (r_d) の算定式

$$r_d = 3 \cdot M \cdot g \quad (\text{N}) \quad [\text{電車列車に準じる}]$$

本件電車の空車質量から出発抵抗力を算定すると、次のように441 Nとなった。

$$r_d = 3 \cdot 15 \cdot 9.8 = 441\text{N}$$

(3) 走行抵抗力 (r_a) の算定式

$$r_a = (1.32 + 0.0164V + 0.028V^2/M) \cdot M \cdot g \quad (\text{N})$$

[1両編成の電車列車に準じる]

V : 速度 (km/h)

速度を算定する区間は、停止位置から20 m程度の長さであり、本件電車の速度は比較的低速であったと考えられること、また抵抗力を小さく算定することは以下の(4)～(6)において速度を大きく算定することとなり、速度の上限値を検討するという本試算の目的に照らして問題ないと考えられることから、上記算定式の第2項以下を無視し、本件電車の空車質量から走行抵抗力を試算すると、次のように194 Nとなった。

$$r_a = 1.32 \cdot 15 \cdot 9.8 = 194 \quad (\text{N})$$

(4) 引張力 F の算定式

$$F = T - (r_c + r_d + r_a) \quad (\text{N})$$

T : けん引力 (N)

(1)、(2)及び(3)に記述した曲線抵抗力、出発抵抗力及び走行抵抗力、本件電車の最大けん引力 (11 kN) から、引張力を試算すると、次のように4,738 Nとなった。

$$F = (11 \cdot 1000) - (5627 + 441 + 194) = 4738 \text{ (N)}$$

(5) 加速度 α の算定式

$$\alpha = F / (1.09 \cdot M \cdot 1000) \quad (\text{m/s}^2)$$

[慣性係数¹⁴を在来線電車に準じて1.09とする]

本件電車の空車質量及び(4)に記述した引張力から、加速度を試算すると、次のように 0.29 m/s^2 となった。

$$\alpha = 4738 / (1.09 \cdot 15 \cdot 1000) = 0.29 \text{ (m/s}^2)$$

(6) 速度 V の算定式

$$V = \sqrt{2 \cdot \alpha \cdot L} \quad (\text{m/s})$$

L : 走行距離 (m)

本件電車が第2停止線の手前(1mと仮定)に停止した後、本件分岐器に進入したとし、脱線地点(後台車第1軸の位置が10m地点の箇所)までの走行距離を試算すると、次のように20mとなった

$$\begin{aligned} L &= 1.0 \text{ (第2停止線まで)} + 2.1 \text{ (同停止線} \sim \text{トングレール先端)} + 9.4 \text{ (同先端} \sim \text{溶接部)} \\ &\quad + 7.5 \text{ (車両前部} \sim \text{後台車第1軸)} \\ &= 20 \text{ (m)} \end{aligned}$$

したがって、脱線地点付近における本件電車の速度を試算すると、約 12.3 km/h となった。

$$V = \sqrt{2 \cdot 0.29 \cdot 20} = 3.40 \text{ (m/s)} \quad \rightarrow \quad 12.3 \text{ (km/h)}$$

参考文献

- 1) 運転理論研究会：運転理論(改訂版)，日本鉄道運転協会，2002.3

¹⁴ ここでいう「慣性係数」とは、鉄道車両の加速力の算定において用いられ、車両には車輪、歯車、電機子等の回転部分があり、車両が加速するためには、これらの回転も加速されなければならないため、さらに余分な力が必要であることから、この割増分を含めた質量換算値と原質量値との比のことをいう。

車輪・軌道間に作用していた輪重及び横圧に関する解析 に用いた輪重の試算

「3.5 車輪・軌道間に作用していた輪重及び横圧に関する解析」における輪重の試算は、参考文献¹⁾の方法によった。試算方法及び試算結果について下記に示した。なお、以下に示す数値においては「約」を省略した。

(1) 静止輪重

右 (P_r) : 15.2 kN、左 (P_l) : 16.0 kN

(2) 左方向への加速度に伴う増減

① カント不足量 (C_d) の算定式

$$C_d = \{GV^2/(127R)\} - c \quad (\text{mm})$$

G : 軌間 (mm)、 V : 速度 (km/h)、 R : 曲線半径 (m)、 c : 水準変位 (mm)

軌間 (1,435 mm)、本件電車の速度 (12 km/h)、溶接部付近の手前における曲線半径 (20.9 m) 及び同付近における水準変位 (-5 ~ 3 mm) から、本件電車が同付近を通過時のカント不足量を算定すると、次のように75 ~ 83 mmとなった。

$$C_d = \{1435 \cdot 12^2 / (127 \cdot 20.9)\} - [-5 \sim 3] = 75 \sim 83 \quad (\text{mm})$$

② 左方向への加速度 (α) の算定式

$$\alpha = 9.8 C_d / G \quad (\text{m/s}^2)$$

軌間及びカント不足量 (75 ~ 83 mm) から、本件電車に作用した左方向への加速度を算定すると、次のように0.51 ~ 0.57 m/s²となった。

$$\alpha = 9.8 \cdot [75 \sim 83] / 1435 = 0.51 \sim 0.57 \quad (\text{m/s}^2)$$

③ 輪重の増減分

左方向への加速度による輪重増減 (ΔP_{Ai} 、 ΔP_{Ao}) の試算式¹⁾

$$\text{減少量 (右)} \quad \Delta P_{Ai} = P_i \left[\left\{ (V \cdot 1/3.6)^2 / (gR) \right\} \cdot (c/G) \right] - \{ H_G^* / (0.001G/2) \} \cdot (\alpha / g) \quad (\text{kN})$$

$$\text{増加量 (左)} \quad \Delta P_{Ao} = P_o \left[\left\{ (V \cdot 1/3.6)^2 / (gR) \right\} \cdot (c/G) \right] + \{ H_G^* / (0.001G/2) \} \cdot (\alpha / g) \quad (\text{kN})$$

H_G^* : 有効重心高さ (m)

ここで、同社は重心高さを把握していなかったため、一般的な鉄道車両の諸元 (車両高さ3.9 m 重心高さ1.5 m) と本件電車の高さ3.56 mを用いて1.4 mと仮定 (=1.5 · 3.56/3.9) し、その1.25倍を有効重心高さ (1.75

m) として、軌間、溶接部付近における曲線半径、同付近における水準変位及び静止輪重から、同加速度に伴う輪重の増減を試算すると、次のように右車輪では1.9～2.1 kNの減少、左車輪では2.0～2.3 kNの増加となった。

$$\begin{aligned} \text{減少量 (右)} \Delta P_{Ai} &= 15.2 \left[\left\{ \frac{(12 \cdot 1/3.6)^2}{9.8 \cdot 20.9} \cdot \frac{[-5 \sim 3]}{1435} \right\} - \left\{ \frac{1.75}{1.435/2} \right\} \cdot \frac{[0.51 \sim 0.57]}{9.8} \right] \\ &= -2.14 \sim -1.93 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{増加量 (左)} \Delta P_{Ao} &= 16.0 \left[\left\{ \frac{(12 \cdot 1/3.6)^2}{9.8 \cdot 20.9} \cdot \frac{[-5 \sim 3]}{1435} \right\} + \left\{ \frac{1.75}{1.435/2} \right\} \cdot \frac{[0.51 \sim 0.57]}{9.8} \right] \\ &= 2.04 \sim 2.25 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

(3) 左右車輪の輪重

(1) 及び(2)に記述した静止輪重及び左方向への加速度に伴う増減を考慮して溶接部付近の手前における輪重を試算すると、次のように右車輪は13.1～13.3 kN、左車輪は18.0～18.3 kNとなった。

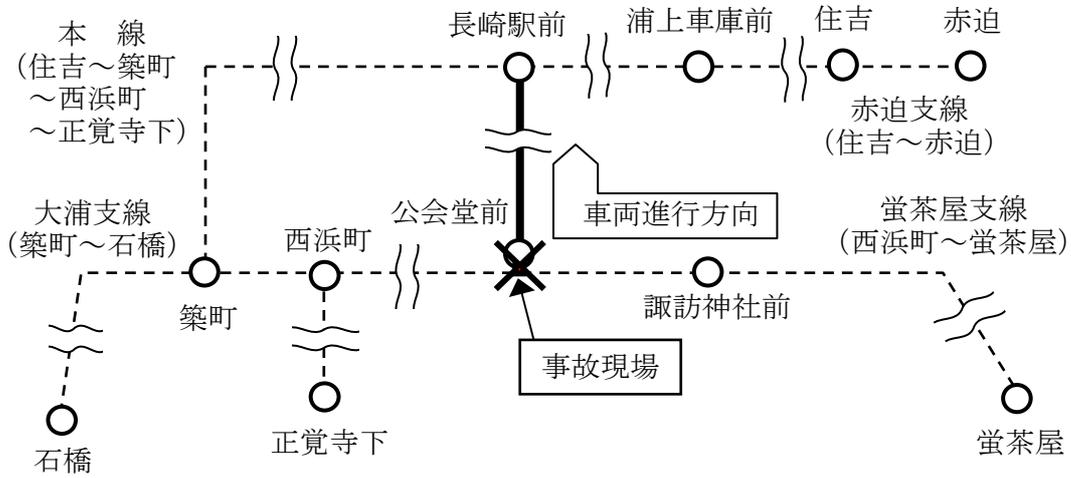
$$\begin{aligned} \text{輪重 (右)} P_i' &= P_i + \Delta P_{Ai} = 15.2 - [1.9 \sim 2.1] = 13.1 \sim 13.3 \text{ (kN)} \\ \text{(左)} P_o' &= P_o + \Delta P_{Ao} = 16.0 + [2.0 \sim 2.3] = 18.0 \sim 18.3 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

参考文献

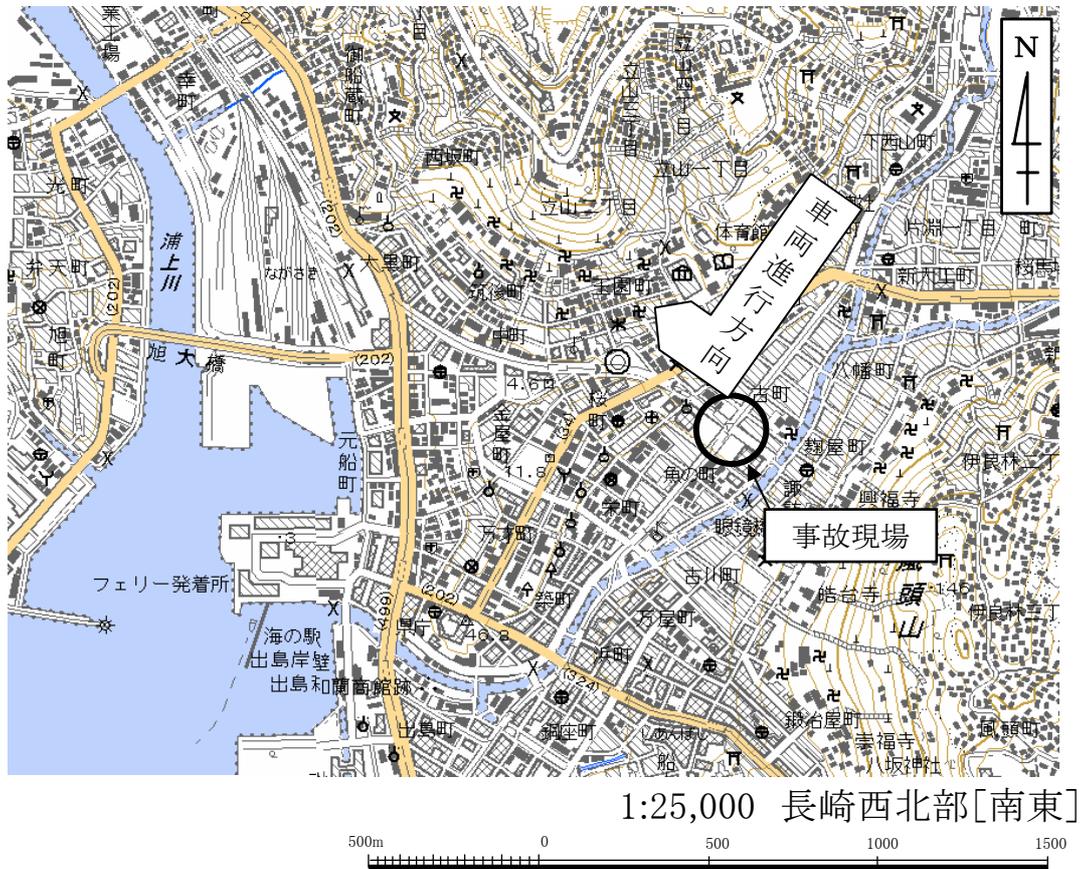
- 1) 国土交通省鉄道局監修 土木関係技術基準調査研究会編：解説 鉄道に関する技術基準（土木編），日本鉄道施設協会，2002.3

付図1 桜町支線路線図

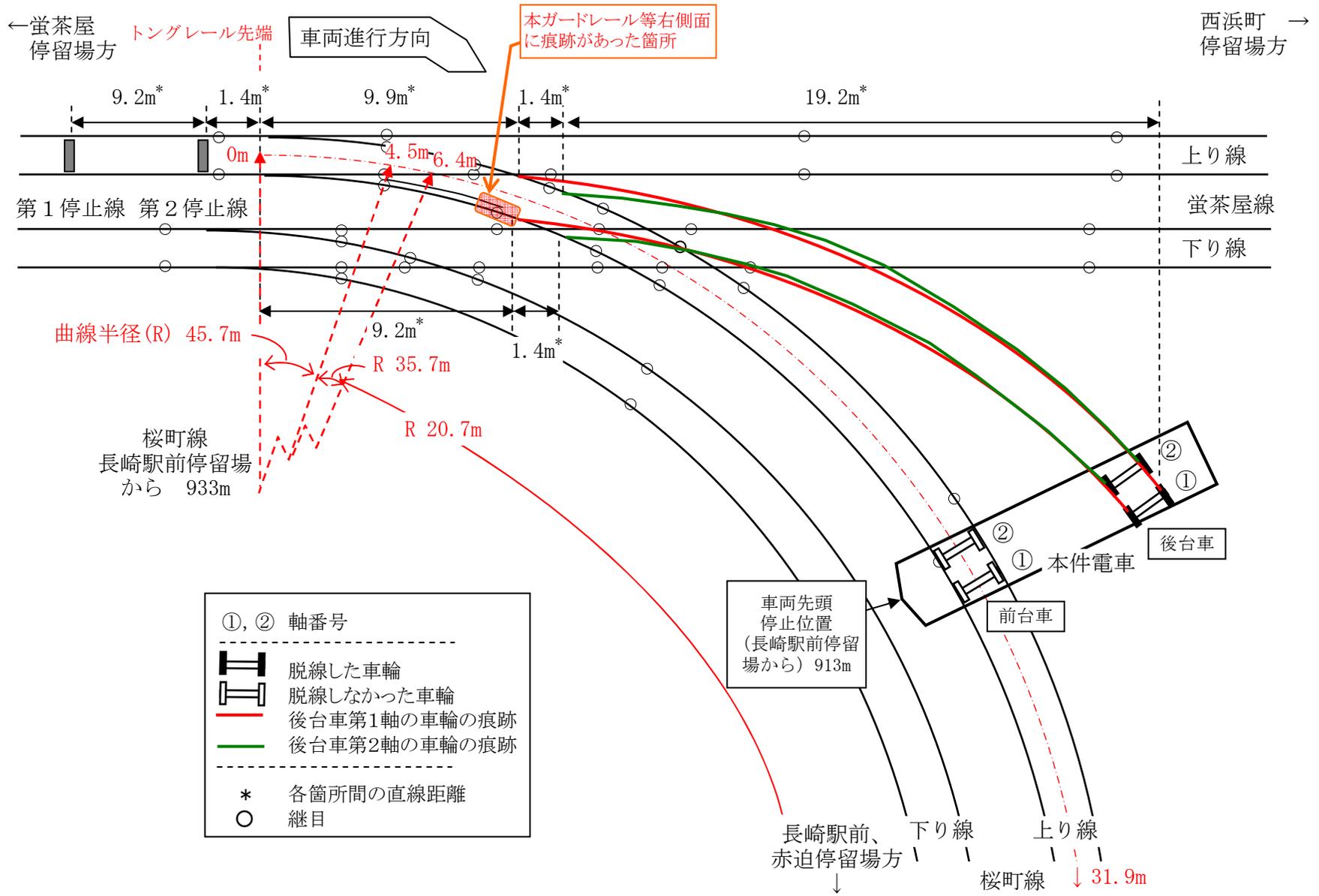
桜町支線 長崎駅前～公会堂前間 0.9 km (複線)



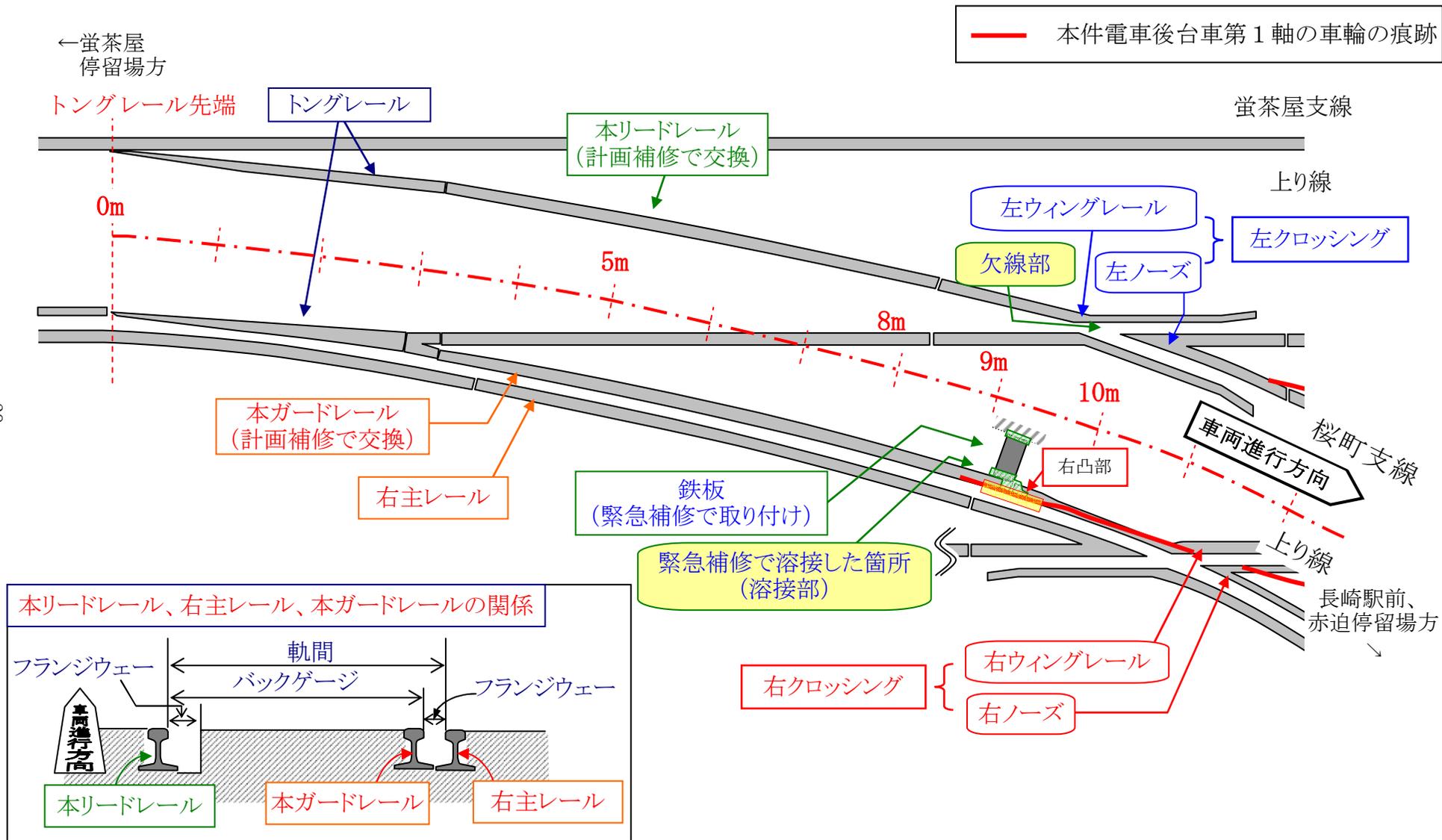
付図2 事故現場付近の地形図



付図3 事故現場略図

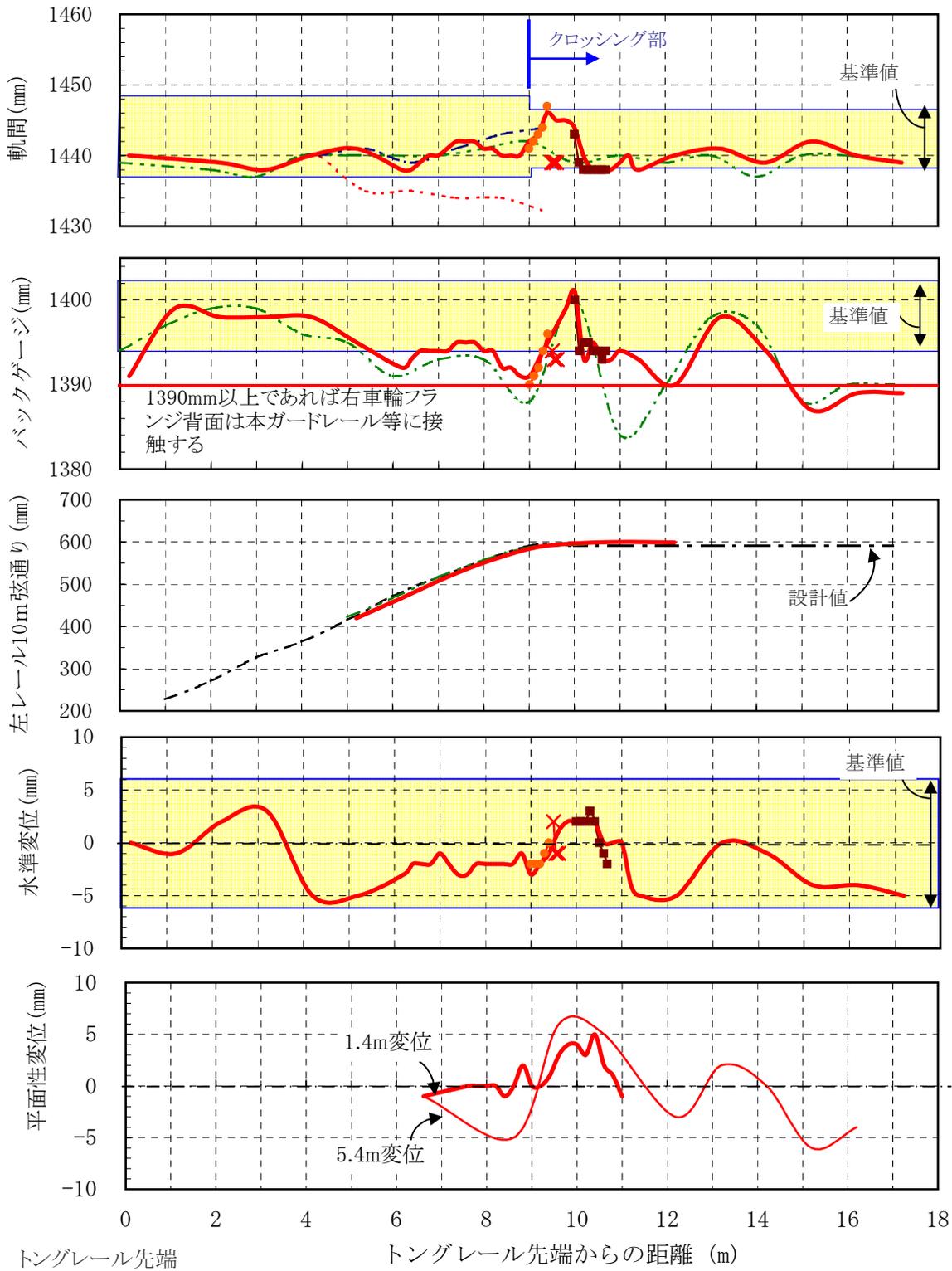


付図4 本件分岐器及び脱線の痕跡



付図5 事故現場付近の軌道検測結果

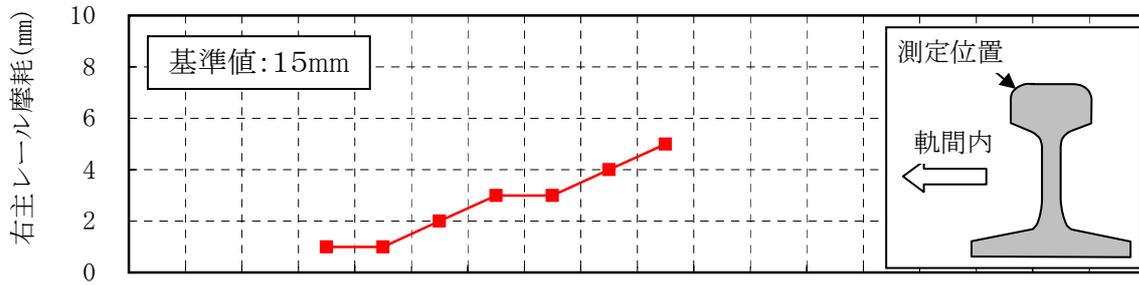
凡例	----- 計画補修前	× 緊急補修後(5/19)	—— 本事故後
	- - - 計画補修後	● 緊急補修後(5/22)	
	- · - · 1回目事故後	■ 緊急補修後(5/23)	



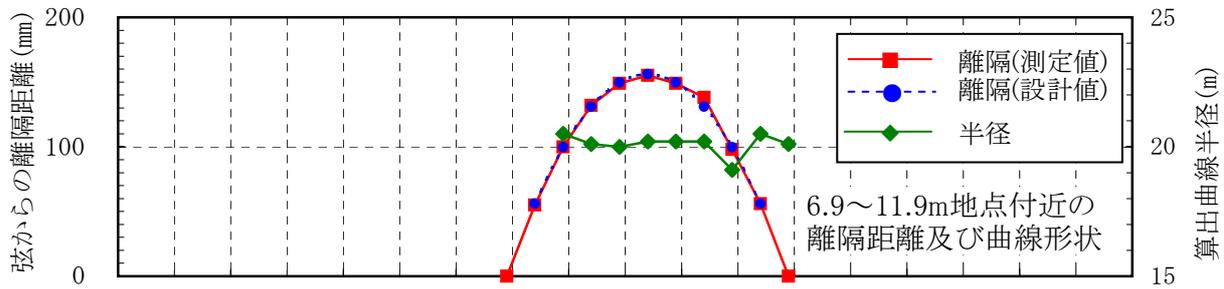
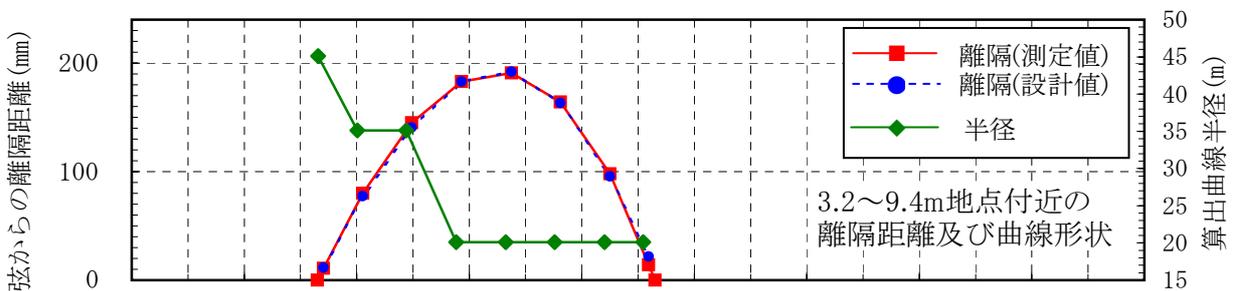
※本図は離散値のデータを用いて作図したものである。

付図6 事故現場付近の軌道形状 (1 / 2)

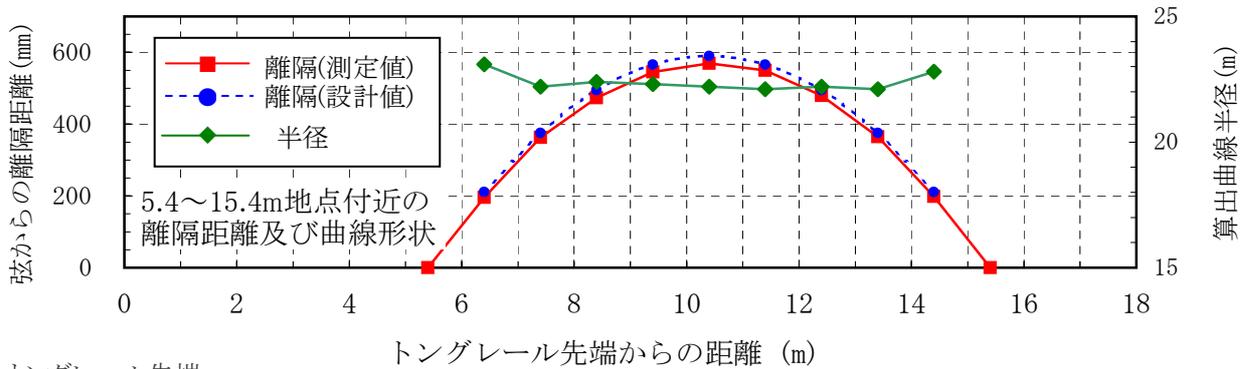
- ・右主レールの摩耗状態



- ・本ガードレール及び右ウィングレールの弦からの離隔距離及び曲線形状



- ・左レールの弦からの離隔距離及び曲線形状

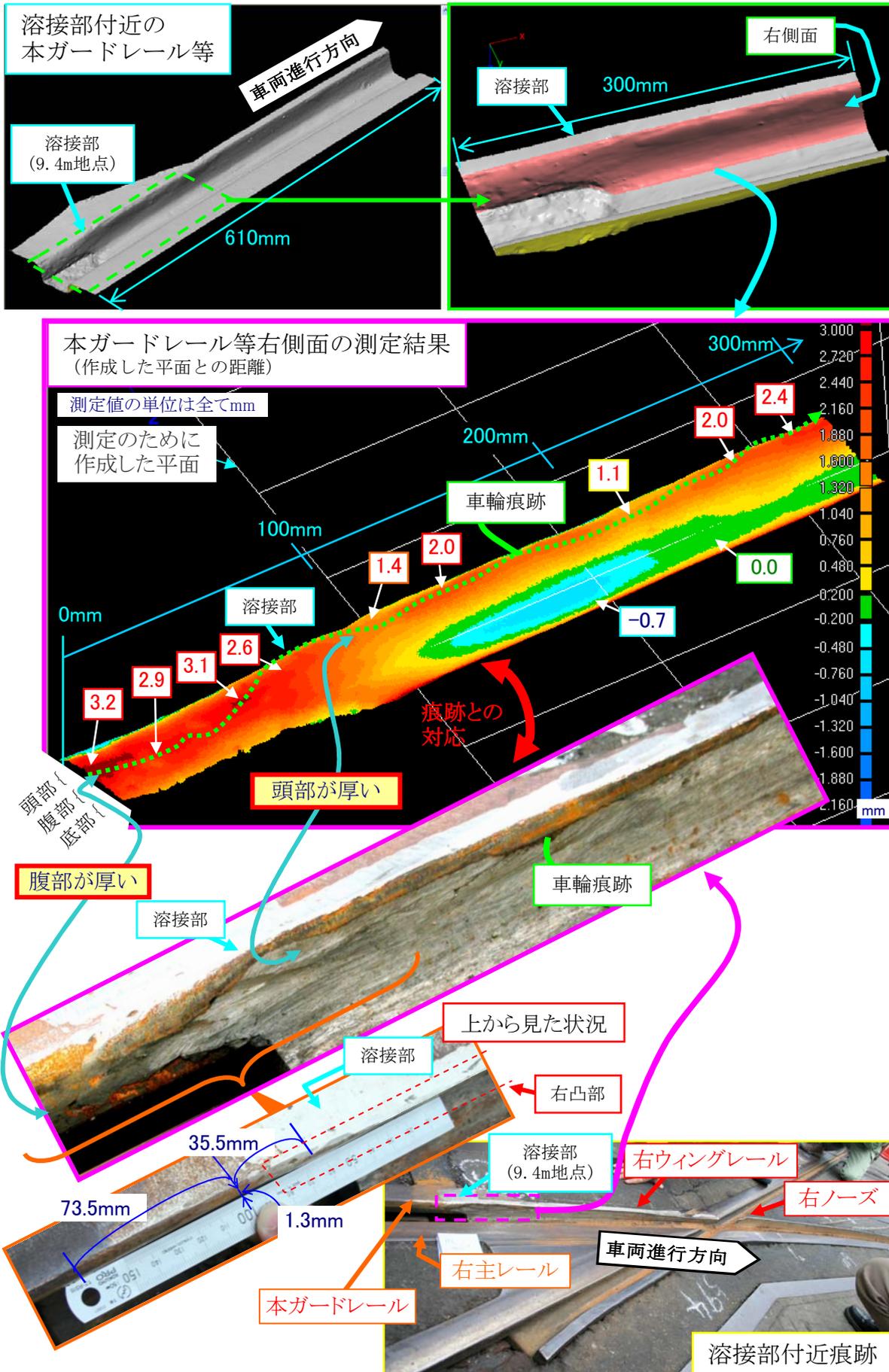


トングレール先端



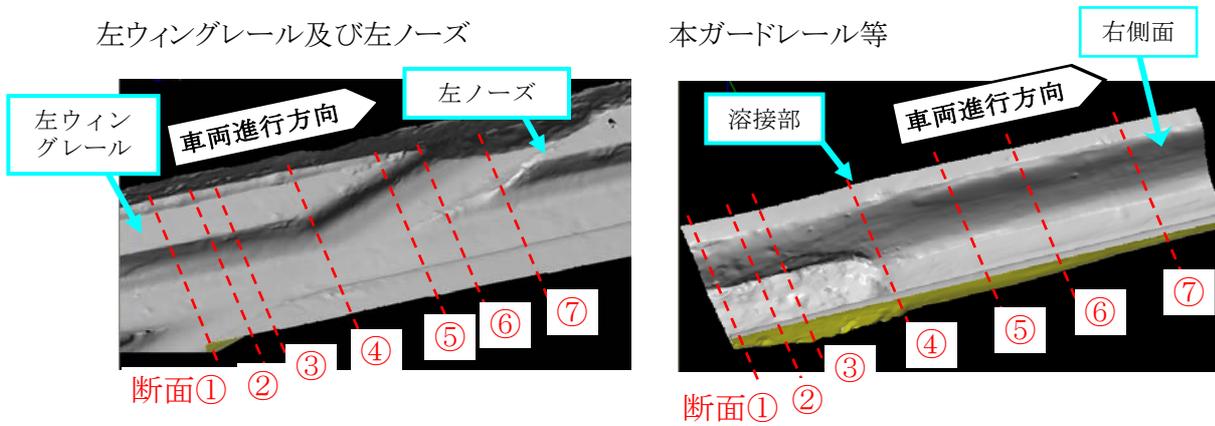
※本図は離散値のデータを用いて作図したものである。
30

付図6 事故現場付近の軌道形状 (2 / 2)

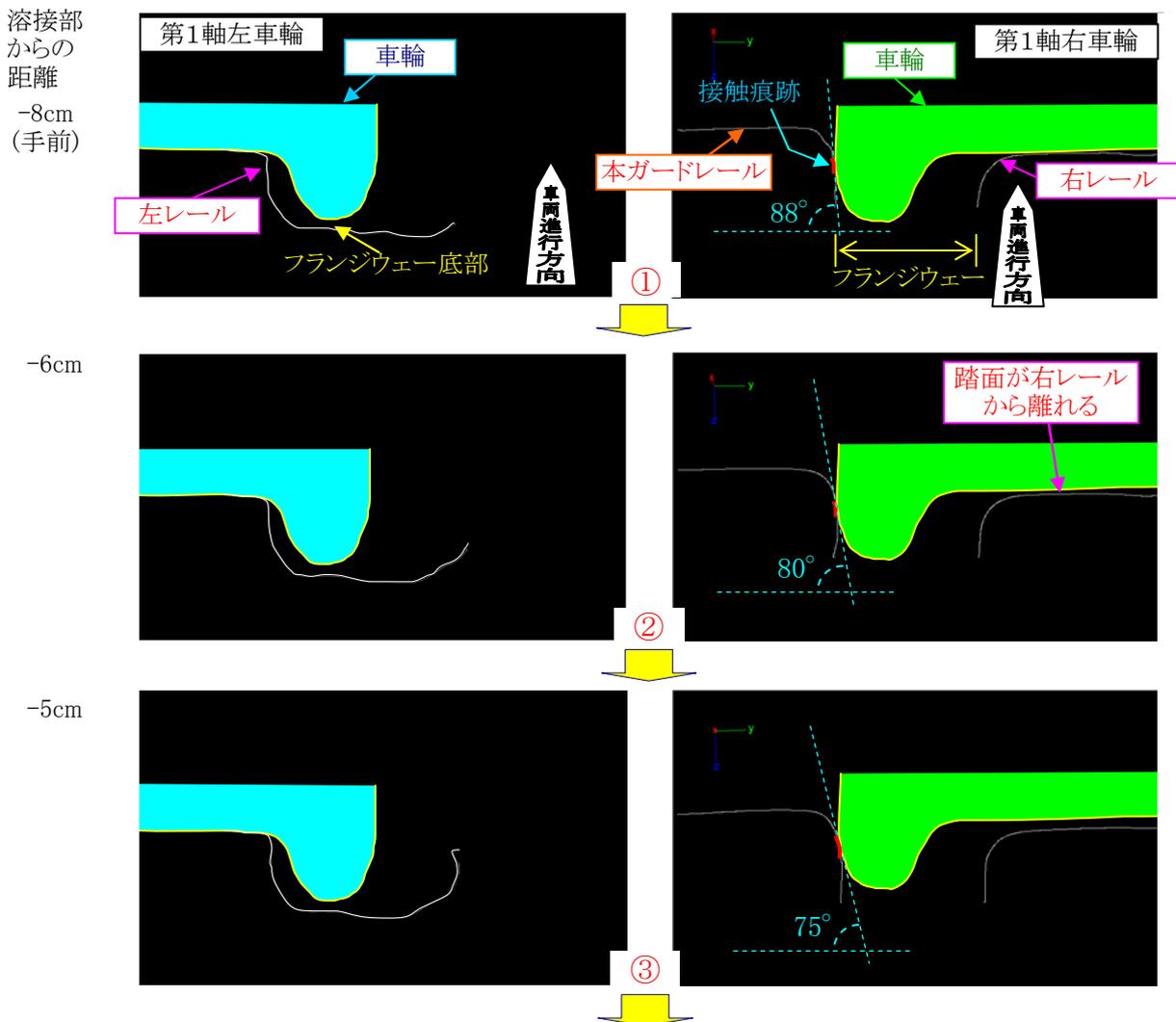


付図7 溶接部付近の断面と車輪の形状 (1 / 2)

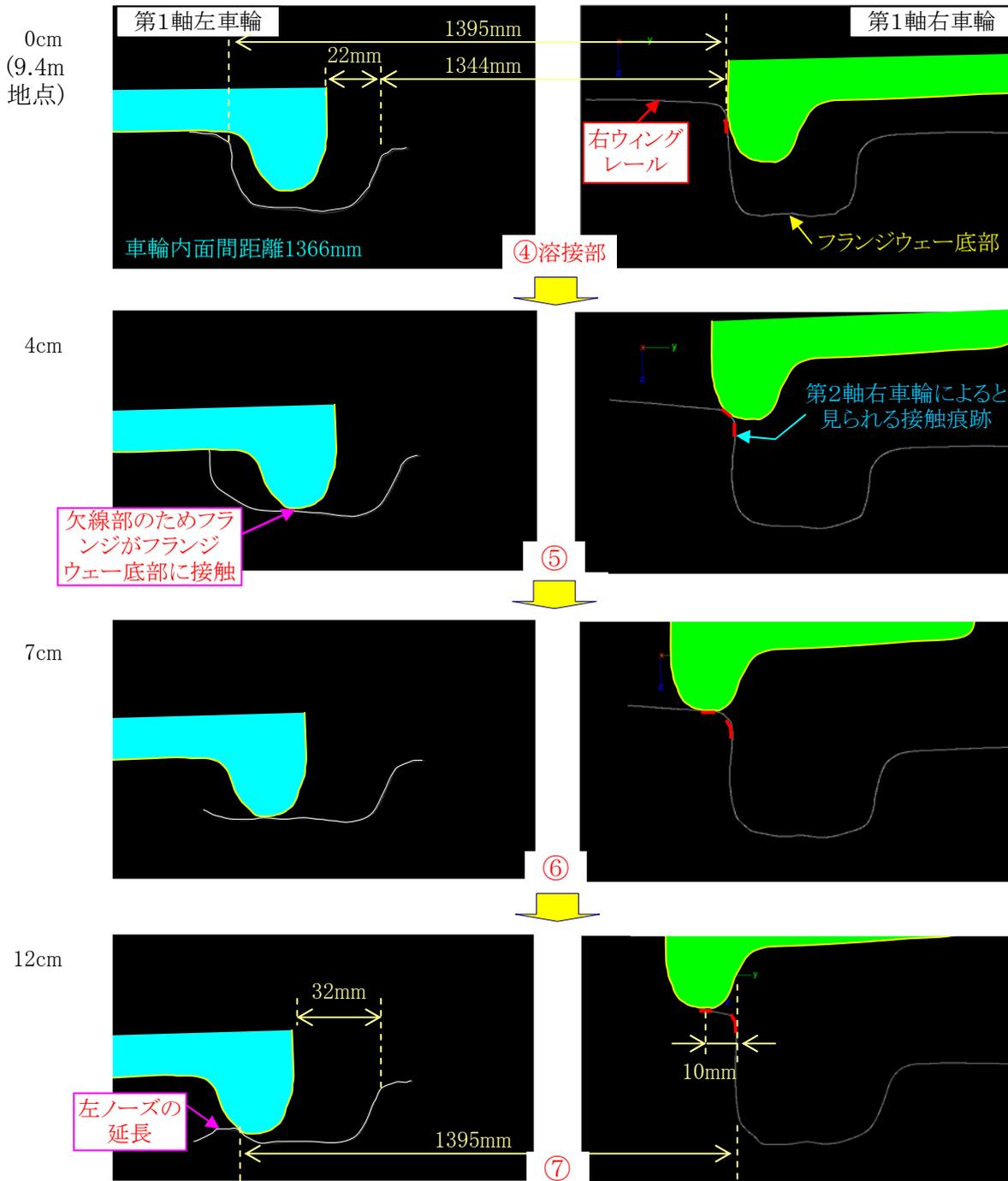
断面測定位置(溶接部付近)



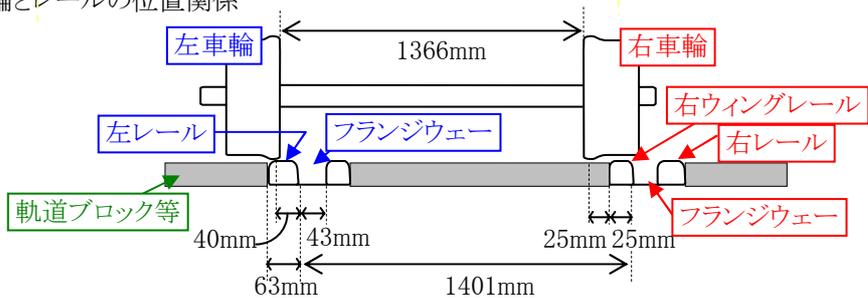
溶接部付近の断面と車輪の断面の関係



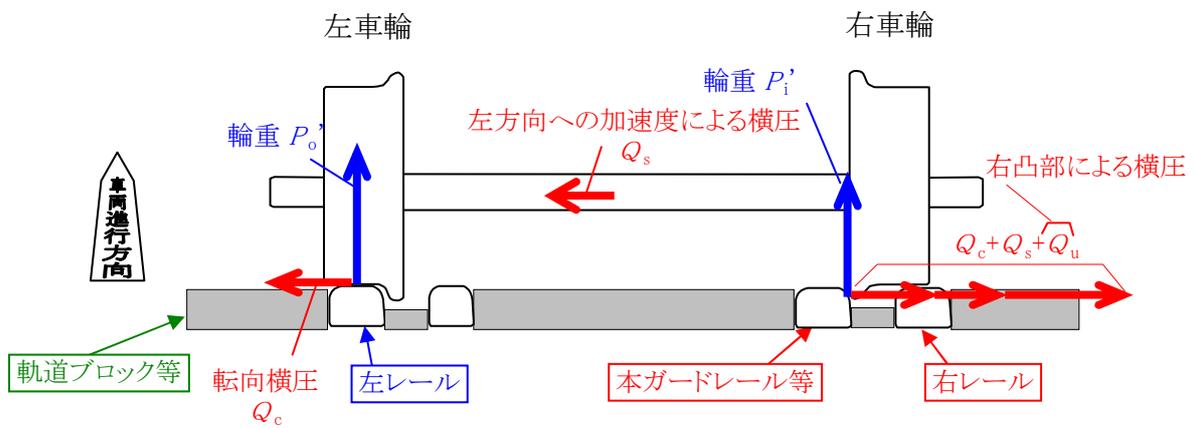
付図7 溶接部付近の断面と車輪の形状 (2 / 2)



10m地点付近の車輪とレールの位置関係



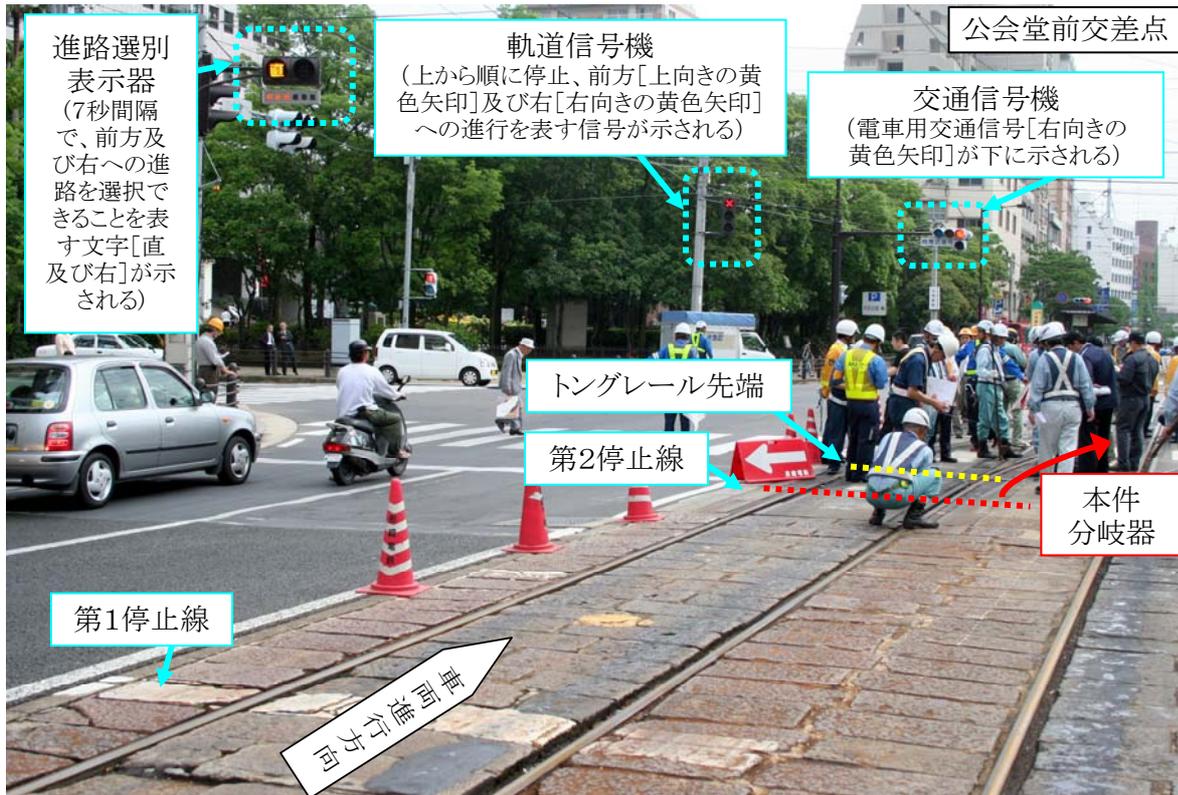
付図8 溶接部付近で輪軸に発生する輪重及び横圧



- 本図は、付図の断面③の状況において、本件電車の後台車第1軸に発生する輪重及び横圧のイメージである。
- 右車輪のフランジ背面で発生する横圧は、轉向横圧(Q_c)と左方向への加速度による横圧(Q_s)の反力、及び右凸部による横圧(Q_u)の和($Q_c + Q_s + Q_u$)となる。

写真1 事故現場の状況

・ 停止線と信号機の配置



・ 本件分岐器と脱線痕跡箇所

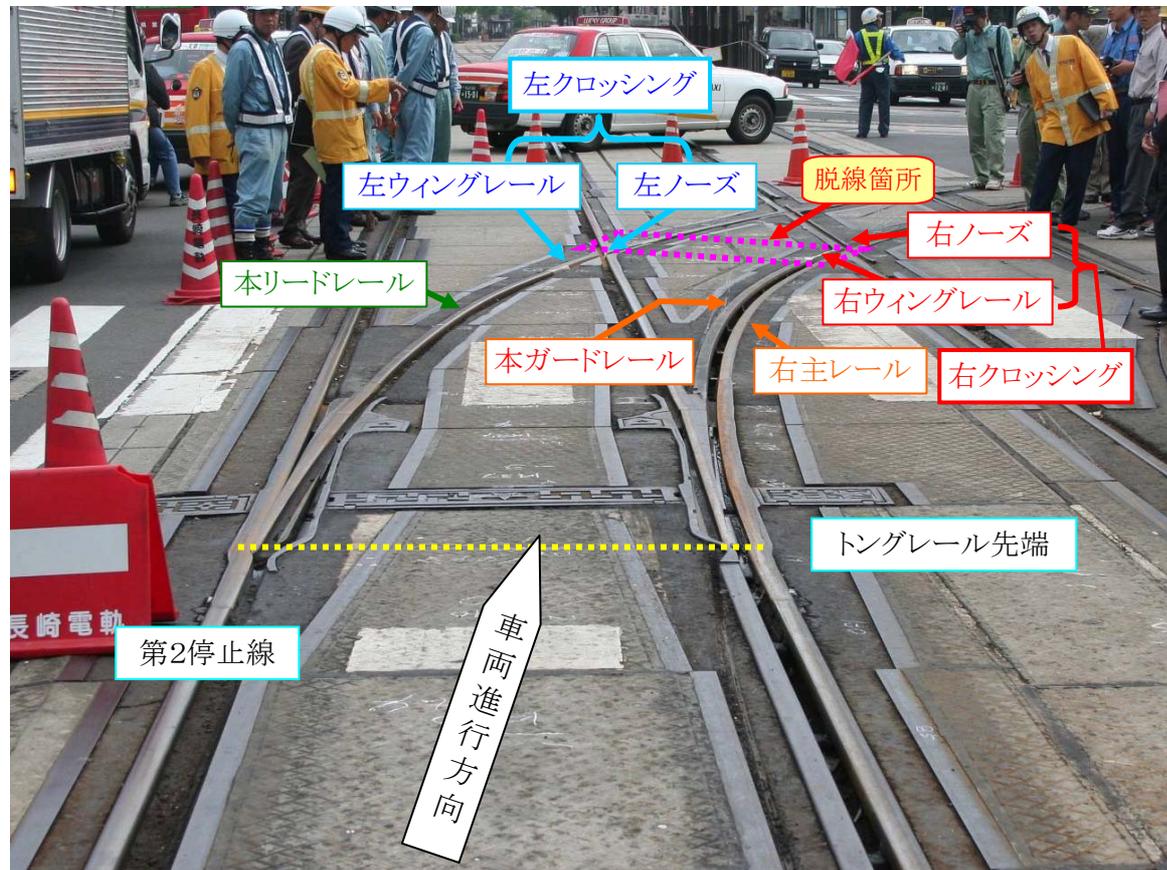


写真2 本件電車の脱線及び損傷状況

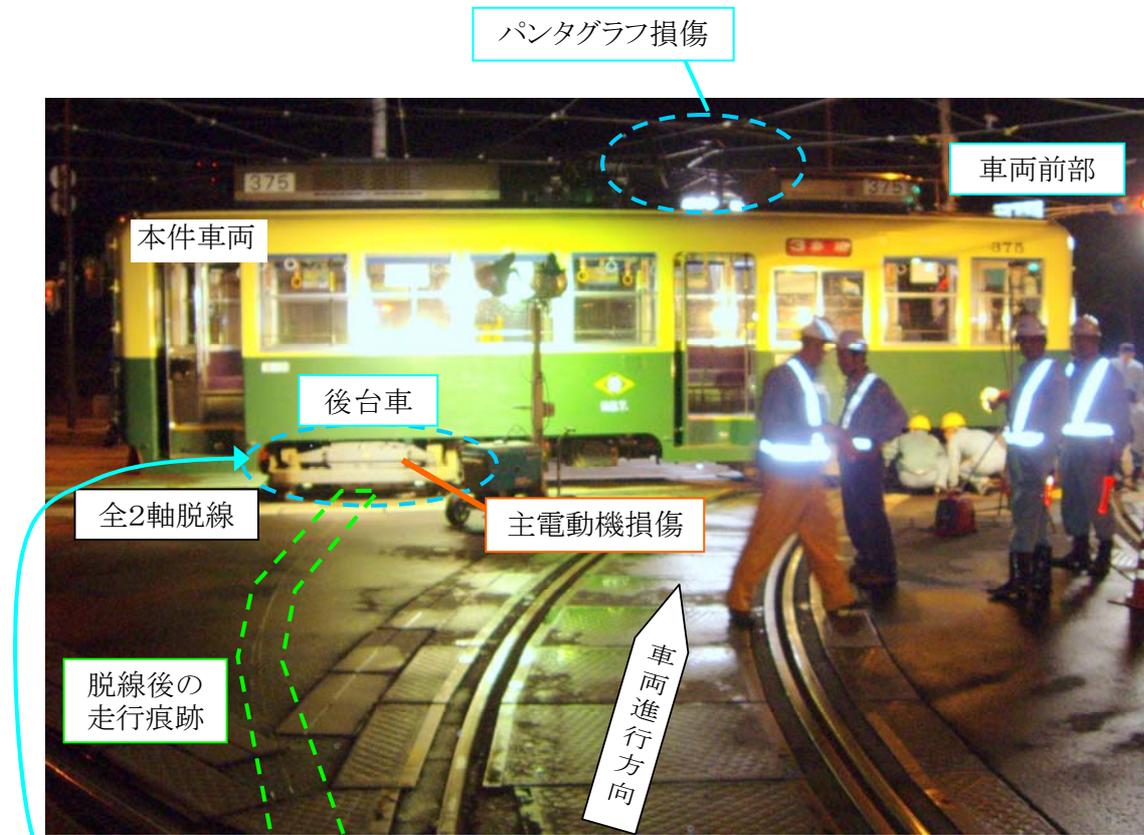
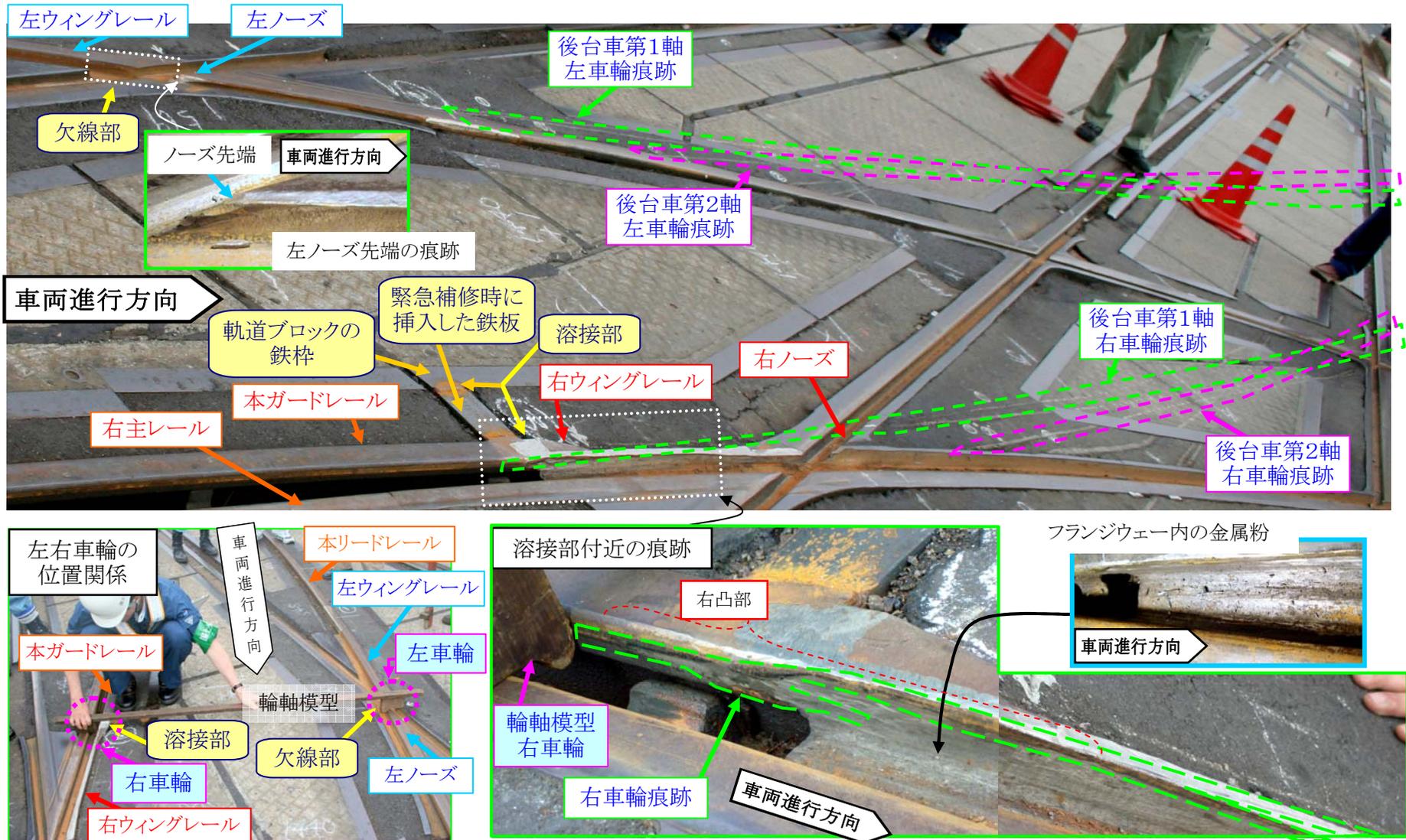


写真3 脱線の痕跡



《参 考》

本報告書本文中に用いる解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 事実を認定した理由」に用いる解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」