

RA2019-7

鉄 道 事 故 調 査 報 告 書

I 熊本電気鉄道株式会社 藤崎線 黒髪町駅～藤崎宮前駅間
列車脱線事故

令和元年10月31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 武田展雄

《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 熊本電気鉄道株式会社 藤崎線
黒髪町駅～藤崎宮前駅間
列車脱線事故

鉄道事故調査報告書

鉄道事業者名：熊本電気鉄道株式会社

事故種類：列車脱線事故

発生日時：平成31年1月9日 6時50分ごろ

発生場所：熊本県熊本市

藤崎線 黒髪町駅くろかみまち～藤崎宮前駅ふじさきぐうまえ間（単線）
北熊本駅起点1k660m付近

令和元年9月30日

運輸安全委員会（鉄道部会）議決

委員長	武田展雄
委員	奥村文直（部会長）
委員	石田弘明
委員	柿嶋美子
委員	岡村美好
委員	土井美和子

要旨

<概要>

熊本電気鉄道株式会社の御代志みよし駅発藤崎宮前駅行き2両編成（ワンマン運転）の上り302列車は、平成31年1月9日、6時50分ごろ、黒髪町駅～藤崎宮前駅の半径100mの右曲線を通過中、急に速度が低下し停止した。

停止後に運転士が確認したところ、後部車両の後台車全2軸が左へ脱線していた。列車には、乗客約25名及び運転士1名が乗車していたが、負傷者はいなかった。

<原因>

本事故は、列車が半径100mの右曲線を通過中に、軌間が大きく拡大したため、後部車両後台車第1軸の右車輪が軌間内に落下し、軌間を広げながら走行した後、同軸左車輪のフランジが左レールを乗り越えて左に脱輪し、続けて同台車第2軸も左に脱輪したことによるものと考えられる。

軌間が大きく拡大したことについては、同曲線中でレール締結装置の不良が連続していたため、列車走行時の横圧によるレール小返り等で軌間が動的に拡大したことによるものと考えられる。

レール締結装置の不良が連続していたことについては、レール上面高さまで敷かれたバラストでまくらぎが覆われていたため、まくらぎやレール締結装置の検査が十分にできていなかったこと、平成29年に発生した同種事故の再発防止策であるPCまくらぎへの交換や犬くぎの増し打ちができていなかったことによるものと考えられる。

また、本事故の発生については、曲線中のスラックが比較的大きかったため軌間内への脱線に対する余裕が小さくなっていたこと、脱線防止レールがまくらぎに十分に締結されていなかったため、右車輪からの背面横圧等による脱線防止レールの小返り等が発生し、動的にフランジウェー幅が拡大したことにより、脱線防止の機能が十分に発揮できなかったことが関与した可能性があると考えられる。

目 次

1	鉄道事故調査の経過.....	1
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.....	1
2.1	運行の経過.....	1
2.2	人の死亡、行方不明及び負傷.....	2
2.3	鉄道施設等に関する情報.....	2
2.3.1	事故現場に関する情報.....	2
2.3.2	鉄道施設に関する情報.....	2
2.4	車両に関する情報.....	12
2.4.1	車両の概要.....	12
2.4.2	車両の整備に関する情報.....	13
2.4.3	車両の定期検査等に関する情報.....	14
2.5	鉄道施設及び車両の損傷状況等に関する情報.....	16
2.5.1	鉄道施設の損傷及び痕跡等の状況.....	16
2.5.2	車両の損傷及び痕跡の状況.....	17
2.6	乗務員に関する情報.....	17
2.7	運転取扱い等に関する情報.....	17
2.8	気象に関する情報.....	18
2.9	同社で過去に発生した列車脱線事故に関する情報.....	18
2.9.1	概要.....	18
2.9.2	原因.....	18
2.9.3	必要と考えられる再発防止策.....	19
2.9.4	同社が講じた措置とその後の経過.....	19
3	分 析.....	21
3.1	脱線の状況に関する分析.....	21
3.1.1	脱線開始地点について.....	21
3.1.2	本件車両の後台車の脱線について.....	21
3.1.3	脱線開始地点の脱線の状況について.....	23
3.2	脱線時の走行速度等に関する分析.....	24

3.3	脱線時の時刻に関する分析	24
3.4	軌道に関する分析	24
3.4.1	軌道変位について	24
3.4.2	まくらぎについて	25
3.4.3	レールの締結について	26
3.4.4	脱線防止レールの締結について	27
3.4.5	まくらぎ等の検査方法について	28
3.4.6	軌間拡大及びフランジウェー幅の拡大について	28
3.4.7	スラックについて	30
3.4.8	軌道変位の管理手法について	31
3.4.9	線路の保守体制について	32
3.5	車両に関する分析	33
3.6	気象に関する分析	33
3.7	同社で過去に発生した列車脱線事故の再発防止策に関する分析	33
3.8	脱線の原因に関する分析	34
4	原因	35
5	再発防止策	35
5.1	必要と考えられる再発防止策	35
5.2	事故後に同社が講じた措置	37
5.3	事故後に国土交通省が講じた措置	38

添付資料

付図1	熊本電気鉄道の路線略図	40
付図2	事故現場付近の地形図	40
付図3	事故現場の略図と脱線の痕跡	41
付図4	事故現場付近の軌道変位等の状況	44
付図5	車両の主な損傷状況	45
付図6	列車脱線事故の関与要因	46
附属資料1	軌道変位の種類と定義	47
附属資料2	軌間変位の限度値の考え方	48

1 鉄道事故調査の経過

1.1 鉄道事故の概要

熊本電気鉄道株式会社の御代志^{みよし}駅発藤崎宮前駅行き2両編成（ワンマン運転）の上り302列車は、平成31年1月9日（水）、6時50分ごろ、黒髪町駅～藤崎宮前駅の半径100mの右曲線（以下、前後左右は列車の進行方向を基準とする。）を通過中、急に速度が低下し停止した。

停止後に運転士が確認したところ、後部車両の後台車全2軸が左へ脱線していた。列車には、乗客約25名及び運転士1名が乗車していたが、負傷者はいなかった。

1.2 鉄道事故調査の概要

1.2.1 調査組織

運輸安全委員会は、平成31年1月9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、職員を事故現場等に派遣した。

1.2.2 調査の実施時期

平成31年 1 月 9 日 現場調査及び口述聴取

平成31年 1 月 10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

事故に至るまでの経過は、熊本電気鉄道株式会社（以下「同社」という。）の御代志駅発藤崎宮前駅行き上り302列車（以下「本件列車」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、5時35分ごろに出勤して点呼を受け、6時01分に北熊本駅発御代志駅行き下り201列車に乗務し、御代志駅で折り返し6時26分発の本件列車に乗務した。なお、本事故当日の本事故発生までの間、本件列車の車両について異状は感じなかった。

黒髪町駅（北熊本駅起点1k150m、以下「北熊本駅起点」は省略する。）

を定刻（6時49分）に出発、半径100mの右曲線（1k625m～1k715m、以下「本件曲線」という。）に速度約20km/hで入り、本件曲線中にある黒髪・藤崎間3号踏切道（1k687m、以下「本件踏切道」という。）の手前で惰行運転に切り替えて走行中、本件踏切道を通り過ぎた辺りで急に本件列車の速度が低下し、本件列車が停止した。この時に音や振動等の異状は感じなかった。なお、停止した時刻は6時50分ごろであった。

停止後、再力行したが列車が動かなかったため、確認のために降車したところ、本件列車の後部車両（以下「本件車両」という。）の後台車が左側に脱線していた。すぐに、列車無線で運転司令に連絡するとともに乗客のけがの状況を確認したところ、乗客にけがはなかった。

その後、7時08分ごろ、現場に到着した同社の社員とともに全乗客を補助しながら降車させた。

なお、本件列車には、運転状況を記録する装置は装備されていない。

（付図1 熊本電気鉄道の路線略図、付図2 事故現場付近の地形図、付図3 事故現場の略図と脱線の痕跡 参照）

2.2 人の死亡、行方不明及び負傷

なし。

2.3 鉄道施設等に関する情報

2.3.1 事故現場に関する情報

本件列車は、最前部が1k723m付近で停止し、本件車両の後台車第1軸の左車輪が1k687m付近で左レールから約540mm左に脱線していた。さらに同台車第2軸の左車輪が1k685m付近で左レールから約440mm左に脱線していた。

なお、本件車両の後台車が停止した場所は、本件踏切道上であった。

（付図3 事故現場の略図と脱線の痕跡 参照）

2.3.2 鉄道施設に関する情報

2.3.2.1 路線の概要

同社の藤崎線は、北熊本駅と藤崎宮前駅を結ぶ営業キロ^{*1}2.3kmの単線で電化された路線であり、軌間は1,067mmである。なお、藤崎線は、大正2年に開業し、昭和17年に軌道^{*2}から鉄道^{*3}に変更された。

*1 「営業キロ」とは、旅客・貨物を運送する発着区間に対する駅間のキロ数をいう。

*2 ここでいう「軌道」とは、軌道法で定める路面電車等の道路交通を補助することを目的とした鉄道をいう。

*3 ここでいう「鉄道」とは、地方鉄道法（現：鉄道事業法）で定める鉄道をいう。

同社には、藤崎線の他、上熊本駅と御代志駅を結ぶ営業キロ10.8kmの単線で電化された路線である菊池線があり、同社の路線の合計は13.1kmである。

なお、黒髪町駅～藤崎宮前駅における列車の運行本数（平日）は、全て2両編成で44往復である。

（付図1 熊本電気鉄道の路線略図 参照）

2.3.2.2 線路の概要

本事故現場である本件曲線の線路に関する情報は以下のとおりである。

- (1) 本件曲線は、半径100mの右曲線で、1k640m～1k700mが円曲線、円曲線の前後の1k625m～1k640m及び1k700m～1k715mが緩和曲線である。また、カント^{*4}34mm及びスラック^{*5}25mmが設定され、これらは緩和曲線区間で^{ていげん}遮滅されている。なお、本件曲線は、同社の本線で最も半径の小さい曲線である。
- (2) 線路の勾配は、1k480mから1k672mまではレベル、1k672mから1k863mまでは上り勾配3.3%である。
- (3) 本件踏切道は、1k687mにある。踏切幅員は6.5mで、踏切舗装は連接軌道^{*6}である。
- (4) 軌道構造は、バラスト軌道で、まくらぎは、曲線始点（1k625m）から1k667mまでが木まくらぎ、1k667mから曲線終点（1k715m）までがPCまくらぎである。なお、レールは50kgNレール^{*7}である。
- (5) 3.1.1に後述する脱線開始地点付近の1k660mの左右レールには掛け継ぎ法^{*8}によるレール継目がある。
- (6) 本件曲線中のまくらぎ間隔は約680mmである。

*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悪影響を及ぼさないよう設定された、曲線外側のレールと内側のレールとの高低差をいう。

*5 「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ることを用いる。

*6 「連接軌道」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。

*7 「50kgNレール」とは、昭和37年から国鉄で新たに設計された1m当たり50.4kgfのレールをいう。

*8 「掛け継ぎ法」とは、レール継目の支持方法の一つで、まくらぎとまくらぎの間にレール継目を設ける方法をいう。

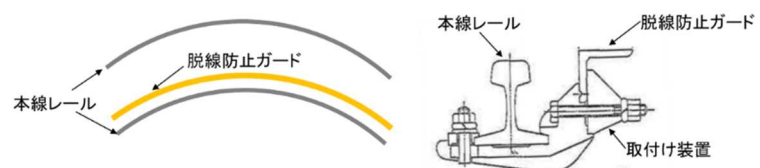
- (7) 木まくらぎの区間は曲線始点（1 k 6 2 5 m）から1 k 6 6 7 mまで内外軌に50kgNレールの脱線防止レール^{*9}が設置されている。また、PCまくらぎの区間は、1 k 6 6 7 mから曲線終点（1 k 7 1 5 m）まで内軌側に、1 k 6 6 7 mから1 k 6 7 9 mまで外軌側にそれぞれ脱線防止ガード^{*10}が設置されている。
- (8) 木まくらぎ区間のレール締結装置は、E形タイプレートを用いている（図2 参照）。なお、脱線防止レールを取り付けるために、タイプレートについては軌間内側（ゲージコーナー^{*11}側）のレール締結用の犬くぎ穴付近で切断加工されている。PCまくらぎのレール締結装置は線ばね^{*12}方式である。
- (9) レールはタイプレート1枚当たり3本の犬くぎによって、まくらぎに締結されている（図1 参照）。なお、「軌道の維持管理マニュアル」^{*13}に示されるE形タイプレートの犬くぎ打込み標準の例は、図2のとおり、タイプレート1枚当たり5本の犬くぎによって締結されている。したがって、本件曲線中のタイプレート1枚当たりの犬くぎ打込み本数は、標準の本数よりもタイプレート1枚当たり2本少なかった。

同社によるとタイプレート使用時の犬くぎ打込み方法に関する規定等はないが、慣例的にこのように行っているとのことであった。

*9 「脱線防止レール」とは、脱線による重大事故を防止するために、本線レールと並行して軌間内に設けられるレールである。



*10 「脱線防止ガード」とは、脱線による重大事故を防止するために、本線レールと並行して軌間内に設けられるL形鋼のガード装置である。



*11 「ゲージコーナー」とは、敷設されたレールの頭部の軌間内側で、車輪のフランジと接触する部分をいう。

*12 「線ばね」とは、まくらぎ等にレールを固定するために使用するレール締結装置の部品で、棒状の加工ばねをいう。

*13 「軌道の維持管理マニュアル」（一般社団法人 日本鉄道施設協会、平成26年、p. 115）

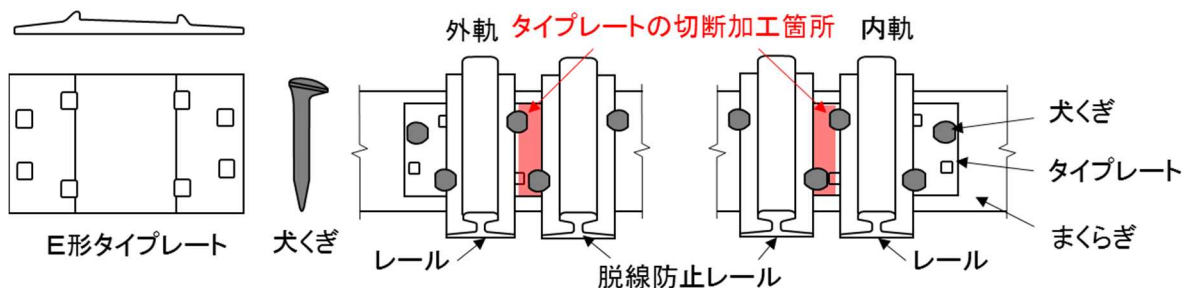
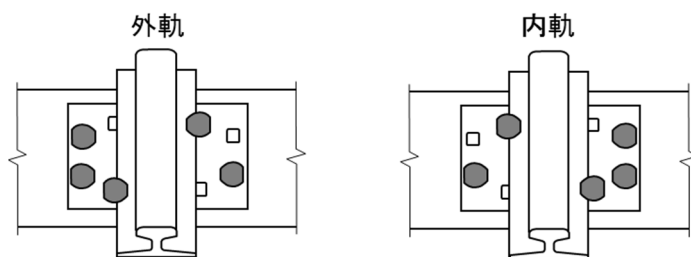


図1 本件曲線の主なレール締結装置



E形タイププレート:半径500m未満の曲線の場合

図2 タイプレートの犬くぎ打込み標準

(10) 脱線防止レールは、ほぼ、まくらぎ1本おきに各脱線防止レールの内外1本ずつの犬くぎで締結され、タイププレート高さ（レール中心で約15.5mm）分、本線レールよりも低く敷設されている。ただし、本事故発生後の調査時には、本線レール上面の摩耗、タイププレートのまくらぎへの食い込み、脱線防止レールのまくらぎからの浮きにより、本線レールと脱線防止レールがほぼ同高となっていた（図3 参照）。

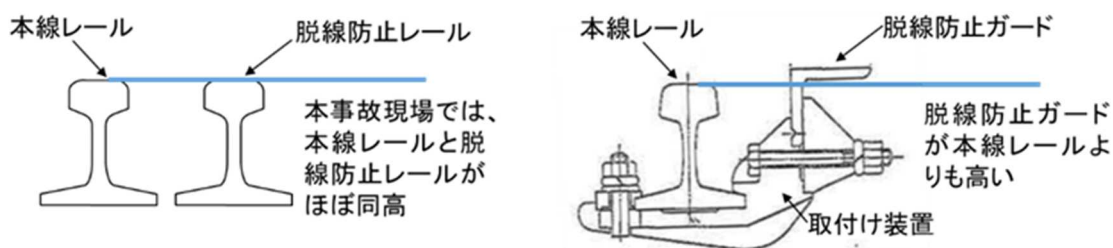


図3 脱線防止レールと脱線防止ガード

なお、「写真で見る線路管理の手引き」^{*14}によると脱線防止レールの敷設方法として、まくらぎへの締結方法は「犬くぎ類により各まくらぎに締結する」とされ、高さは「本線レールに対して同高またはこれより高いものとす

*14 「写真で見る線路管理の手引き」（一般社団法人 日本鉄道施設協会、平成28年、p. 232）

る」とされている。

同社によると脱線防止レールの締結方法に関する規定等はないが、慣例的にこのように行っているとのことであった。

(11) 脱線防止ガードは、まくらぎ間のレール底部に取り付けられた取付け装置により締結されている。脱線防止ガードは、本線レールよりも10mm高く設置されている。

(12) 1k625mから1k667mまでの木まくらぎの区間は、‘レールと脱線防止レール間のフランジウェー^{*15}を除き、レール上面高さまで敷かれたバラストでまくらぎが覆われている’（以下「バラストでまくらぎが覆われている」という。）。

同社によると、これは、線路内の通行をなるべく容易にするための構造であり、日常的に沿線住民の線路内の通行があるという実態、及び2.3.2.1に記述したように本事故現場付近は過去に軌道（路面電車）であった経緯を踏まえた措置であるとのことであった。当該箇所において、バラストでまくらぎを覆うという、踏切や路面電車では通常行わない舗装としている理由は、アスファルト舗装等にすると、線路方向に人や車両が通行（縦断）し、危険性が増すためであるとのことであった。

ただし、鉄道では踏切以外の箇所において人や車両の通行は禁止されているため、本事故現場付近においては、線路両側の道路上に引かれた白線及び黄線、並びに線路内の通行禁止を表示する看板により、線路立入りに対しての注意喚起を行っていたとのことであった。

なお、同社のバラストでまくらぎが覆われている区間は、本件曲線付近の、1k557mから1k667mまでの110m間のみであった。

(13) 線路と並行している道路は、熊本市が管理する市道であり、本事故現場付近の線路は、熊本市所有の「公衆用道路」（法定外公共物）である。

（付図3 事故現場の略図と脱線の痕跡 参照）

2.3.2.3 軌道の定期検査等

(1) 軌道変位の定期検査

「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」（平成13年国土交通省令第151号）に基づき、同社が九州運輸局長へ届け出ている実施基準（以下「届出実施基準」という。）の一部である軌道整備実施基準で定められている本線における軌間変位、水準変位、通り変位、高低変位及び5m平面性変

*15 「フランジウェー」とは、近接したレール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をいう。

位の整備に関する基準値は表1のとおりである。

表1 軌道変位の整備基準値

(単位：mm)

軌道変位の種別	本線
軌間変位	-4 ~ +7
水準変位	±8
通り変位	±7
高低変位	±8
5 m平面性変位	±20

なお、同社における軌道変位の定期検査の基準期間は1年である。また、同社によると、整備基準値を超過した場合には、整正する期限は定めてはいないが、必要な場合は測定した年度内に整正を行うようにしているとのことであった。

事故現場付近における本事故発生前直近の軌道変位検査は、‘平成30年10月25日に、軌道検測装置により静的軌道変位^{*16}が測定された結果’（以下「本事故発生前の軌道変位測定値」という。）が線路検査表としてとりまとめられていた。本件曲線についての結果は次のとおりであった。軌間変位以外の軌道変位の大小は絶対値で評価する。なお、同社においては、これらの軌道変位について整備の必要性はないと判定していた。

- ① スラックを含む軌間変位は、1 k 6 5 5 m付近が最も大きく+32mmであり、同地点のスラック量25mmを除くと軌間変位は7mmで整備基準値(+7mm)以内であった。また、その前後についても軌間が比較的広がっており、1 k 6 4 5 m付近～1 k 6 6 5 m付近の範囲において+30mm(軌間変位は5mm)以上であった。
- ② 水準変位は、1 k 6 2 5 m付近及び1 k 7 1 5 m付近が最も大きく7mmであり、整備基準値(±8mm)以内であった。
- ③ 通り変位は、1 k 6 3 5 m付近、1 k 6 4 0 m付近及び1 k 6 6 0 m付近が最も大きく7mmで、整備基準値(±7mm)以内であった。
- ④ 高低変位は、1 k 6 4 5 m付近、1 k 6 6 5 m付近、1 k 6 8 0 m付近、1 k 6 9 0 m付近及び1 k 7 0 0 m付近が最も大きく8mmで、整備基準値

*16 「静的軌道変位」とは、人力による糸張りや軌道検測装置等により、列車荷重(又はそれに準ずる荷重)を載荷しない状態における軌道変位をいう。一方、軌道検測車等により列車荷重等を載荷した状態における軌道変位を「動的軌道変位」という。また、静的軌道変位の測定値を「静的値」、動的軌道変位の測定値を「動的値」という。

(±8mm) 以内であった。

- ⑤ 5m平面性変位は、1k705m付近が最も大きく15mmで、整備基準値(±20mm) 以内であった。

(付図4 事故現場付近の軌道変位等の状況、附属資料1 軌道変位の種類と定義参照)

(2) 軌道部材の定期検査

軌道整備実施基準では、レール、まくらぎ等の軌道部材について、保守及び材料の状態について、基準期間を1年として、全数の定期検査を行うこととしている。3.1.1に後述する脱線開始地点付近における本事故発生前直近の軌道部材の定期検査は以下のとおりであった。

① まくらぎの検査

まくらぎ検査は、平成30年5月24日に実施されており、腐食やひび割れが発生しているまくらぎ(以下「不良まくらぎ」という。)の状況を確認した検査記録には、不良まくらぎはなかった。

② レール締結装置の検査

レール締結装置である犬くぎ等の検査は、平成30年5月24日に実施されており、

- ・犬くぎが抜け上がり、犬くぎの頭部がレール底部から浮き接触していない状態(以下「犬くぎ浮き」という。)
- ・犬くぎが軌間の外方向に押し出され、タイプレートがまくらぎからずれ、犬くぎ頭部のレール底部への掛かりが少なくなっている、又はレール底部から離れている状態(以下「犬くぎ離れ」という。)

について確認した検査記録には、犬くぎ浮きや犬くぎ離れ(以下「レール締結装置の不良」という。)はなかった。

③ 脱線防止レールの検査

脱線防止レールの検査は、平成30年9月13日に実施されており、フランジウェー及び材料の状態について確認した検査記録には、不良と判定されたものはなかった。

④ レール摩耗の検査

レール摩耗の検査は、平成30年9月13日に実施されており、摩耗量の最大値は左レール(外軌)が12mm、右レール(内軌)が2mmであった。これは軌道整備実施基準に定めるレール頭部の摩耗量の整備基準値である16mm以内であった。

ただし、同社によるとこれらの検査のうち、上述①～③のまくらぎ、レール締結装置、脱線防止レールの検査(以下「まくらぎ等の検査」という。)

については、目視及び点検ハンマーによる打音検査等により行うが、2.3.2.2(12)に記述したように、バラストでまくらぎが覆われているため、まくらぎ10本に1本程度の割合でまくらぎ上のバラストを取り除き、抜取検査^{*17}を行っていたとのことであった。

なお、まくらぎ上のバラストを取り除いていない箇所については、フランジウェー付近等の見える範囲のみの検査により判定していたとのことであった。また、このような検査方法を取った理由は、2.3.2.3(1)に記述したように軌道変位が整備基準値以内であり、詳細なまくらぎ等の検査は必要ないと判断したためであるとのことであった。

(3) 線路の巡視

軌道整備実施基準では、本線の巡視を徒歩巡回又は列車添乗により、15日に1回以上行うこととしている。

本事故発生前直近の事故現場付近の巡視は、平成31年1月7日に徒歩巡回及び列車添乗により行われており、その結果は記録簿に「異状なし」と記録されていた。

2.3.2.4 本事故発生後の軌道の状況

(1) 軌道変位の状況

‘本事故発生直後（平成31年1月9日）に、事故現場付近の静的軌道変位の測定を手測りにより行った結果’（以下「本事故発生後の軌道変位測定値」という。）は次のとおりであった。軌間変位以外の軌道変位の大小は絶対値で評価する。

- ① スラックを含む軌間変位は、1 k 6 5 3 m付近及び1 k 6 5 4 m付近が最も大きく+51mmであった。また、1 k 6 3 5 m付近～1 k 6 7 0 m付近の範囲で本事故発生前の軌道変位測定値より大きく拡大していた。
- ② カントを含む水準変位は、1 k 6 6 5 m付近が13mmで、設定されているカント34mmよりも21mm小さくなっていた。また、1 k 6 6 0 m付近～1 k 6 7 5 m付近の範囲で本事故発生前の軌道変位測定値より小さくなっていた。
- ③ 曲線半径による正^{せいや}変位を含む通り変位（左、外軌）は、1 k 6 6 4 m付近が最も大きく182mmであった、これは曲線半径に換算すると約69mとなる。また、1 k 6 5 5 m付近～1 k 6 7 5 m付近の範囲で本事故発生前の軌道変位測定値より大きくなっていた。

*17 「抜取検査」とは、対象となるもの全体の一部を抜き取って検査することをいう。一方、全体を抜けなく検査することを「全数検査」という。

- ④ 高低変位（右、内軌）は、1 k 6 3 5 m付近及び1 k 6 6 5 m付近が最も大きく14 mmであった。
- ⑤ 5 m平面性変位は、1 k 6 6 5 m付近が最も大きく25 mmであった。また、1 k 6 6 0 m付近～1 k 6 8 0 m付近の範囲で本事故発生前の軌道変位測定値より大きく正負に変化していた。
- ⑥ 脱線防止レール及び脱線防止ガードのフランジウェー幅は、以下のとおりであった。
- ・ 同社によると本件曲線における脱線防止レールのフランジウェー幅の設計値は、90 mmであった。
 - ・ 本件曲線の円曲線の開始点である1 k 6 4 0 m付近のフランジウェー幅は90 mmであった。
 - ・ 左側（外軌側）については、1 k 6 4 9 m付近及び1 k 6 6 5 m付近が最も大きく96 mmであった。
 - ・ 右側（内軌側）については、脱線防止レールが敷設されていた1 k 6 5 3 m付近から110 mm以上となり、1 k 6 6 6 m付近では125 mmであった。また、脱線防止ガードが敷設されていた1 k 6 7 3 m付近が最も大きく152 mmであった。

(2) 軌道部材の状況

本事故発生直後（平成31年1月9日～10日）に、事故現場付近について、レール、まくらぎ及びレール締結装置等の軌道部材について調査した結果は次のとおりであった。なお、調査時に1 k 6 5 6 m～1 k 6 6 7 m間のまくらぎ上のバラストを撤去し、敷設されていた16本の木まくらぎについて確認を行った。

- ① レールの摩耗量は、1 k 6 6 7 m付近の左レール（外軌）のゲージコーナーが最大で10 mmであった。これは同社の軌道整備実施基準に定めるレール摩耗量の整備基準値である16 mm以内であった。
- ② 1 k 6 5 6 m～1 k 6 6 7 m間の木まくらぎについて、交換を要する程度の不良まくらぎは確認されなかった。
- ③ 1 k 6 5 6 m～1 k 6 6 7 m間の内外軌のレール及び脱線防止レールの締結装置には、犬くぎ浮き及び犬くぎ離れ等の連続した不良が多数見られた（図4 参照）。不良の状態について、内外軌に明確な差異は見られなかった。

また、右側（内軌側）脱線防止レールの頭部右側に車輪の裏リム面と接触したと見られる痕跡があったが、多数の車輪の接触により摩耗に至るような状況ではなかった。

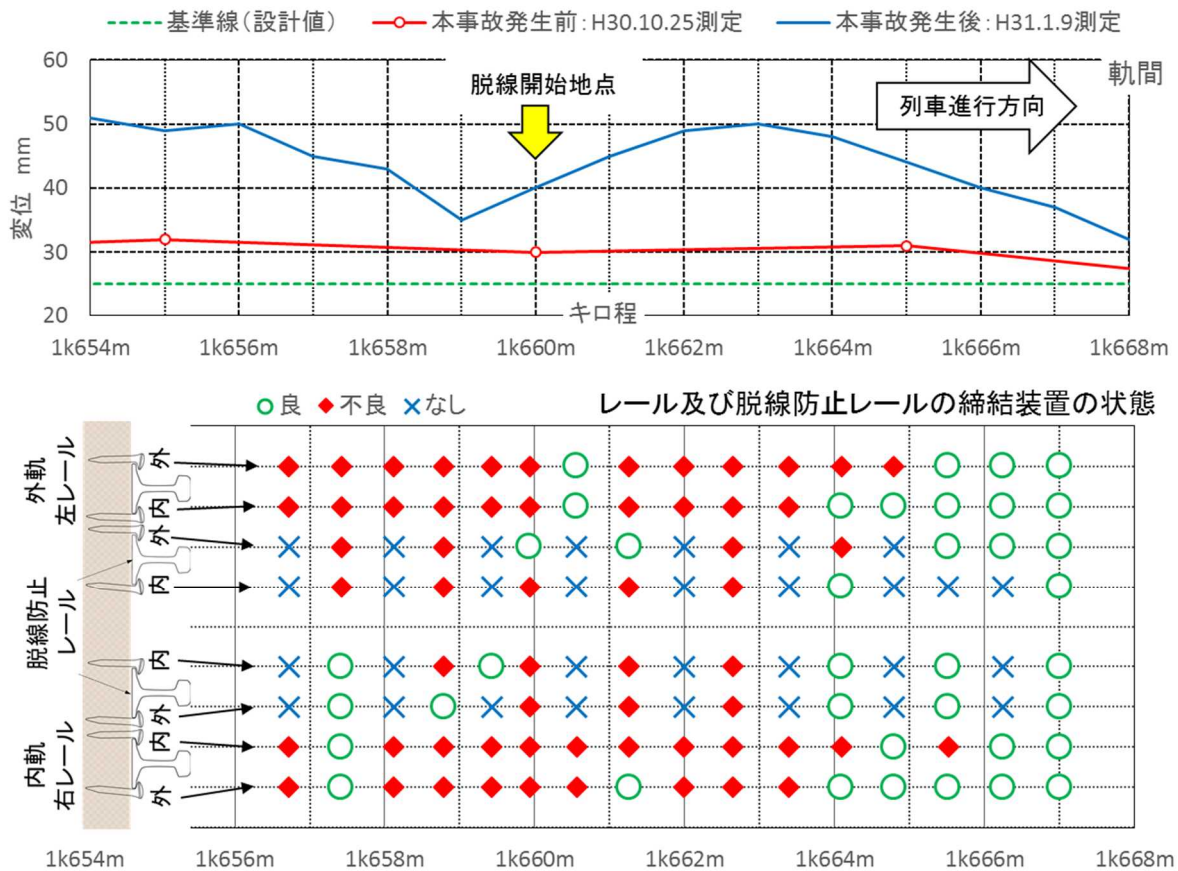


図4 軌間変位とレール及び脱線防止レールの締結装置の状態

- ④ 1k667m付近より前方については、本事故で脱線して本件列車が走行したことによる損傷以外に、PCまくらぎ、レール締結装置及び脱線防止ガードに脱線の発生に関与するような異常はなかった。

(付図4 事故現場付近の軌道変位等の状況 参照)

2.3.2.5 まくらぎ交換の実施状況

本事故発生時の同社の本線における、まくらぎ本数は17,153本で、このうち木まくらぎは8,898本、PCまくらぎは8,255本である。

(1) 木まくらぎの交換

同社によると、平成20年度から平成30年度までの木まくらぎ交換本数は、1,324本で、年間の平均交換本数は約120本であった。

なお、同社によると、事故現場付近の木まくらぎについては、本事故発生時の約15年前に交換したとのことであった。

(2) 木まくらぎからPCまくらぎへの交換

同社は、国、熊本県等から補助金を受けて、木まくらぎからPCまくらぎへの交換（以下「PCまくらぎ化」という。）を行っており、平成24年度から平成30年度までの交換本数は、6,085本で、年間の平均交換本数は約869本であった。

PCまくらぎ化の本数には、平成29年2月22日に発生した列車脱線事故の再発防止策の2,069本も含まれ、さらに、令和12年度（2030年度）までに同社管内全線のPCまくらぎ化を計画していた。詳細については、2.9.4に後述する。

2.3.2.6 線路の保守体制の状況

同社における線路の保守体制は、本事故時において総勢3名の保線担当者により行っていた。なお、保線担当者の通常の作業内容は、検査や比較的簡易な補修作業であり、それ以外の比較的大規模な補修作業等については軌道業者への外注により実施している。

2.4 車両に関する情報

2.4.1 車両の概要

本件列車の編成を図5に示す。先頭車両のモハ6238A及び、本件車両（後部車両）のモハ6231Aの主要諸元は表2のとおりである。

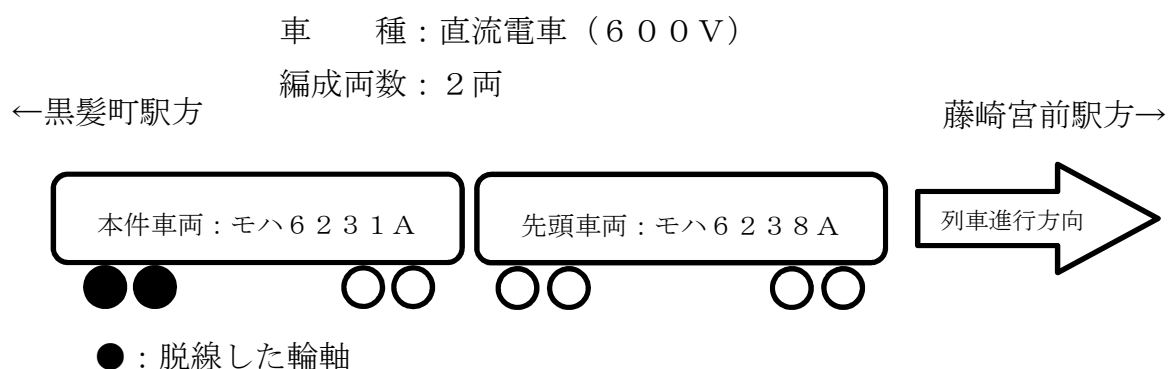


図5 本件列車の編成

表2 本件列車の車両の主要諸元

諸元	車両	
	先頭車両	本件車両（後部車両）
車両形式	モハ6238A	モハ6231A
編成定員	148名	←
空車重量	37.6 t ^{*18}	38.2 t
車両長	20.0 m	←
台車中心間距離	13.6 m	←
台車型式	T-6 (KD70) ダイレクトマウント方式	←
軸距	2.2 m	←
車輪踏面形状	基本踏面	←
車輪フランジ角度	60°	←
車輪径	860 mm	←
車輪幅	125 mm	←
製造年月	昭和46年6月	昭和47年6月

←：左に同じ

2.4.2 車両の整備に関する情報

車両の整備については、届出実施基準の一部である車両構造実施基準で定められている。車両の定期検査の種類は、全般検査^{*19}、重要部検査^{*20}、状態・機能検査^{*21}があり、検査ごとに定められた期間又は車両の走行距離によって行われている。また、要部検査として、車両の使用状況等を考慮して、車両の主要部分について7日を超えない期間ごとに検査を行っている。

輪軸については、全般検査、重要部検査及び状態・機能検査で、車輪径、フランジ高さ、フランジ厚さ、フランジ外側面距離及び車輪内面距離の測定を行っている。

各項目の使用限度値は表3のとおりである。

また、車両の静止輪重の管理については、全般検査及び重要部検査時に輪重の測定を行い、静止輪重比^{*22}を15%以内となるように管理することとされている。

*18 [単位換算] 1 t = 1,000 kg (重量)、1 kg (重量) : 1 kgf、1 kgf = 9.8 N

*19 「全般検査」とは、同社における定期検査の一つで、車両全般について、8年を超えない期間ごとに行う検査をいう。

*20 「重要部検査」とは、同社における定期検査の一つで、車両の動力発生装置、走行装置、ブレーキ装置その他の重要な装置の主要部分について、4年又は当該車両の走行距離が60万キロメートルを超えない期間のいずれか短い期間ごとに行う検査をいう。

*21 「状態・機能検査」とは、同社における定期検査の一つで、車両の状態及び機能について、3か月を超えない期間ごとに行う検査をいう。

*22 「静止輪重比」とは、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をいう。管理値は、単位を%とし、100%との差の絶対値で表す。

表3 輪軸に関する使用限度値

項目	使用限度値
車輪内面距離	989mm以上 994mm以下
フランジ高さ	25mm以上 35mm以下
フランジ外側面距離	517mm以上 527mm以下
フランジ厚さ	19mm以上
車輪径	680mm以上

2.4.3 車両の定期検査等に関する情報

2.4.3.1 定期検査等の実施状況

本件列車の本事故発生前直近の定期検査等の実施状況は、次のとおりである。車両及び台車の組立寸法は整備基準値以内であり、各検査の記録に異常を示すものは見られなかった。

全般検査	平成29年11月14日から平成30年3月11日まで
状態・機能検査	平成30年12月21日
要部検査	平成31年1月4日

2.4.3.2 輪軸の状況

本件列車の輪軸については、本事故発生前直近の全般検査時（先頭車両は平成29年12月26日、本件車両は平成30年2月14日）に車輪削正が行われている。

全般検査、状態・機能検査時の検査結果及び本件車両の後台車を本事故発生後（平成31年1月15日）に測定した結果は表4に示すとおりである。

本件列車の車輪内面距離、フランジ高さ、フランジ外側面距離、フランジ厚さ及び車輪径は、いずれも表3に示す使用限度値内で、異常は見られなかった。

2.4.3.3 静止輪重及び静止輪重比の状況

本事故発生前直近の全般検査時の検査結果及び本事故発生後（平成31年1月16日）に測定した結果は表5に示すとおりである。いずれも静止輪重比は管理値（15%）以内で、異常は見られなかった。

表4 輪軸各部の寸法測定結果

※「左」は進行方向左車輪、「右」は進行方向右車輪を示す。 単位：mm

項目	検査種類	先頭車両 モハ6238A							
		前台車				後台車			
		第1軸		第2軸		第1軸		第2軸	
		左	右	左	右	左	右	左	右
車輪内面距離	全般検査	990.5		991.5		991.5		991.5	
	状態・機能検査	990.0		991.0		991.0		991.0	
フランジ高さ	全般検査	26.8	26.7	26.8	26.8	26.7	26.8	26.9	26.8
	状態・機能検査	26.5	26.5	26.0	27.0	27.5	26.5	26.5	26.5
フランジ外側面距離	全般検査	526.5	526.6	526.1	526.1	526.1	526.1	526.3	526.2
	状態・機能検査	525.0	524.5	525.0	524.0	525.0	524.5	525.0	524.5
フランジ厚さ	全般検査	31.3	31.4	30.4	30.4	30.4	30.4	30.6	30.5
	状態・機能検査	30.0	29.5	29.5	28.5	29.5	29.0	29.5	29.0
車輪径	全般検査	834.0	834.0	834.0	834.0	834.0	834.0	834.0	834.0

※ 全般検査 : 平成29年12月26日(車輪削正後)

※ 状態・機能検査 : 平成30年12月21日

単位：mm

項目	検査種類	本件車両(後部車両) モハ6231A							
		前台車				後台車			
		第1軸		第2軸		第1軸		第2軸	
		左	右	左	右	左	右	左	右
車輪内面距離	全般検査	991.7		991.3		991.4		991.8	
	状態・機能検査	991.0		991.0		991.0		991.0	
	本事故発生後測定	—		—		991.0		991.0	
フランジ高さ	全般検査	26.8	26.9	26.8	26.6	26.7	26.9	26.8	26.6
	状態・機能検査	26.5	26.5	26.5	26.0	27.0	26.5	26.5	26.0
	本事故発生後測定	—	—	—	—	26.5	26.5	26.5	26.5
フランジ外側面距離	全般検査	526.0	526.7	526.4	526.2	526.3	526.5	526.4	526.4
	状態・機能検査	525.0	524.5	525.0	523.5	525.0	524.0	524.5	524.0
	本事故発生後測定	—	—	—	—	522.5	520.5	522.5	520.5
フランジ厚さ	全般検査	30.2	30.9	30.8	30.6	30.6	30.8	30.5	30.5
	状態・機能検査	29.5	29.0	29.5	28.0	29.5	28.5	29.0	28.5
	本事故発生後測定	—	—	—	—	27.0	25.0	27.0	25.0
車輪径	全般検査	829.0	829.0	829.0	829.0	829.0	829.0	829.0	829.0

※ 全般検査 : 平成30年2月14日(車輪削正後)

※ 状態・機能検査 : 平成30年12月21日

※ 本事故発生後測定 : 平成31年1月15日

表5 静止輪重の測定結果

※「左」は進行方向左車輪、「右」は進行方向右車輪を示す。

項目	検査種類	先頭車両 モハ6238A								合計
		前台車				後台車				
		第1軸		第2軸		第1軸		第2軸		
		左	右	左	右	左	右	左	右	
静止輪重 (kN)	全般検査	51.0	46.0	47.0	50.0	46.0	46.0	50.0	42.0	378.0
	本事故後測定	45.0	47.0	45.0	46.0	46.0	49.0	45.5	49.0	372.5
静止輪重比	全般検査	5.2%		3.1%		0.0%		8.7%		-
	本事故後測定	2.2%		1.1%		3.2%		3.7%		-

項目	検査種類	本件車両 (後部車両) モハ6231A								合計
		前台車				後台車				
		第1軸		第2軸		第1軸		第2軸		
		左	右	左	右	左	右	左	右	
静止輪重 (kN)	全般検査	50.0	48.0	49.0	47.0	46.0	54.0	45.0	51.0	390.0
	本事故後測定	51.5	49.0	48.0	49.0	48.0	46.5	46.0	48.0	386.0
静止輪重比	全般検査	2.0%		2.1%		8.0%		6.3%		-
	本事故後測定	2.5%		1.0%		1.6%		2.1%		-

※ 全般検査 : 平成30年3月6日

※ 本事故後測定 : 平成31年1月16日

2.5 鉄道施設及び車両の損傷状況等に関する情報

2.5.1 鉄道施設の損傷及び痕跡等の状況

- (1) 1k660m付近の右レール(内軌)のゲージコーナー側の頭部側面には、右車輪が軌間内に落下して車輪の表リム面が擦ったと見られる痕跡があった。なお、これより手前及び同地点の左レール(外軌)には、脱線の痕跡は確認されなかった。
- (2) 1k660m付近～1k667m付近の間で、連続して右レール(内軌)の頭部側面及び脱線防止レール頭部の内軌側側面に右車輪と接触したと見られる痕跡があった。
- (3) 1k667m付近の右側(内軌側)脱線防止ガード端部に右車輪が衝撃したと見られる打痕があり、続けて車輪フランジ頂点が脱線防止ガード上を走行し左側に落下したと見られる痕跡があった。なお、脱線防止レールと脱線防止ガードは、その間を接続できる構造となっていない。
- (4) 1k669m付近の右側(内軌側)脱線防止ガード上に右車輪が乗り上がり、続けて車輪フランジ頂点が脱線防止ガード上を走行し左側に落下したと見られる痕跡があった。
- (5) 1k673m付近の右側(内軌側)脱線防止ガードに車輪が上部を走行したと見られる損傷があった。
- (6) 1k673m付近の左レール(外軌)の頭部に左車輪が乗り上がり、車輪

フランジ頂点がレール上を走行し左側に落下したと見られる痕跡があり、続けて、1 k 6 8 7 m付近（本件車両の後台車第1軸停止位置）までの間、まくらぎ等に車輪が走行したと見られる痕跡があった。

(7) 1 k 6 7 5 m付近の左レール（外軌）の頭部に左車輪が乗り上がり、車輪フランジ頂点がレール上を走行し左側に落下したと見られる痕跡があり、続けて1 k 6 8 5 m付近（本件車両の後台車第2軸停止位置）までの間、まくらぎ等に車輪が走行したと見られる痕跡があった。

(8) 1 k 6 8 5 m付近の本件踏切道の端部に左右車輪が衝撃したと見られる損傷があり、また、左側の落輪防止壁^{*23}が損傷していた。

(付図3 事故現場の略図と脱線の痕跡 参照)

2.5.2 車両の損傷及び痕跡の状況

本件車両の主な損傷等の状況は、次のとおりであった。

(1) 本件車両の後台車全2軸には、左右車輪のフランジの先端部等に多数の擦過痕があった。なお、本件列車の他の車輪には同様の擦過痕はなかった。

(2) 本件車両の後台車第1軸左側には、軸箱吊り金具に曲損及び軸箱下部に打痕があり、同軸右側の下制動棒^{したせいどうぼう}が曲損していた。

(3) 本件車両の後台車第2軸右側の軸箱下部制動棒受が曲損していた。

(付図5 車両の主な損傷状況 参照)

2.6 乗務員に関する情報

本件運転士 男性 36歳

甲種電気車運転免許

平成23年3月4日

2.7 運転取扱い等に関する情報

運転取扱いについては、‘届出実施基準の一部である「運転取扱実施基準」’（以下「運転取扱基準」という。）で定められている。本件曲線の運転速度については、以下のように定められている。

① 列車の最高速度（藤崎宮前駅～黒髪町駅間）：30 km/h

② 曲線の制限速度（曲線半径100 m）：20 km/h

また、同社が本件列車の運転に適用している運転曲線図においては、黒髪町駅を出発し、速度30 km/hまで加速後減速し、1 k 5 0 0 m付近から速度20 km/hでの運転となっている。

*23 「落輪防止壁」とは、踏切道を通行する自動車等が踏切道の外に落輪することを防止する目的で設置されているコンクリートブロック等の壁をいう。

2.8 気象に関する情報

事故現場の最寄りの熊本地方気象台の記録によれば、本事故発生当時の事故現場付近における天気は晴れであり、本事故発生当日の6時から7時にかけての降水量はなかった。6時50分の気温は4.4℃、湿度は52%、風向・風速は北2.6m/sであった。

2.9 同社で過去に発生した列車脱線事故に関する情報

2.9.1 概要

‘平成29年2月22日の21時26分ごろ、藤崎宮前駅発御代志駅行き2両編成の下り第59列車が、半径200mの右曲線を走行速度約20km/hで通過中に、先頭車両の前台車全2軸が右に脱線する事故’（以下「平成29年発生 of 列車脱線事故」という。）が発生した。事故現場付近における当時の天気は雨であった。列車には、乗客約50名及び運転士1名が乗車していたが、負傷者はいなかった。

平成29年発生 of 列車脱線事故の脱線開始地点は、藤崎宮前駅～黒髪町駅間のキロ程が2k227m付近で、3.1.1に後述する本事故の脱線開始地点である1k660m付近の約567m藤崎宮前駅寄りであった。

なお、平成29年発生 of 列車脱線事故について、運輸安全委員会は鉄道事故調査報告書（RA2018-1-6、平成30年1月25日）（以下「平成29年発生 of 列車脱線事故報告書」という。）を公表した。

2.9.2 原因

平成29年発生 of 列車脱線事故報告書に記載されている原因は、以下のとおりであった。

本事故は、列車が半径200mの右曲線を通過中に、軌間が大きく拡大したため、1両目前台車第1軸及び後台車全軸の左車輪が軌間内に落下し、軌間を押し広げながら走行した後、後台車全軸については踏切ガードにより復線したものの、前台車第1軸は右に脱線し、続けて前台車第2軸も右に脱線したものと考えられる。

軌間が大きく拡大したことについては、同曲線中でレール締結装置の不良が連続していたことにより、列車走行時の横圧によるレール小返り等で動的に拡大した可能性があると考えられる。

なお、脱線に至る大きな軌間の拡大が発生したことについては、定期検査等で脱線の危険性がある連続したレール締結装置の不良や動的に軌間拡大が増大する危険性を十分に把握できず、それに応じた軌道整備が行われていなかったこと、曲線中のスラックが比較的大きかったことにより軌間内への脱線に対する余裕が少なく

なっていたことが関与した可能性があると考えられる。

2.9.3 必要と考えられる再発防止策

平成29年発生の列車脱線事故報告書に記載されている必要と考えられる再発防止策は、以下のとおりであった。

(1) 軌道整備の着実な実施

軌道部材の検査時や線路巡視時等において、まくらぎの腐食や犬くぎの浮き上がり等を確認し、状況に応じて犬くぎの打ち替えや増し打ち、まくらぎ交換又はゲージタイ（軌間保持金具）の設置等を実施する必要がある、それらを着実に実行できるように体制を整備しておくことが望ましい。

なお、これらについては、連続又はスラックの大きい急曲線で発生している場合は軌間内脱線に対する危険性が特に増加するため、優先して整備を行うよう配慮する必要がある。また、曲線部のまくらぎやレール締結装置の管理については、内軌側についても外軌側と同様に注意して管理する必要がある。

(2) まくらぎの材質の変更

軌間を保持するために、まくらぎについては、木まくらぎよりも耐久性、保守の容易性が優れているコンクリート製のまくらぎに交換（数本に1本程度の割合で置き換える部分交換（以下「部分PCまくらぎ化」という。）を含む。）をしていくことが望ましい。

(3) スラックの縮小についての検討

スラックについては、軌間内脱線への余裕を高めるため、軌道の改良等に合わせて、可能な範囲で縮小することが望ましい。

2.9.4 同社が講じた措置とその後の経過

平成29年発生の列車脱線事故報告書に記載されている同社が講じた主な再発防止策及びその後の経過は以下のとおりであった。

(1) 事故現場付近のまくらぎの材質の変更等

事故現場付近の曲線及び直線の損傷したまくらぎについて、平成29年3月6日までにコンクリート製まくらぎに交換した。また、水はけの改善対策として、道床を交換した。さらに、同社管内の半径250m以下の曲線で現在木まくらぎの箇所について、今後優先的にコンクリート製まくらぎに交換する計画を策定した。

同社は平成29年発生の列車脱線事故の再発防止策として、令和4年度(2022年度)までに全線の部分PCまくらぎ化を実施し、令和12年度(2030年度)までに全数PCまくらぎ化を実施する計画としていた。計画されたPCまくらぎの総数は11,269本であり、2.3.2.5(2)に記述したように、この内2,069本については既に施工されていた。

PCまくらぎ化は、半径250m以下の急曲線を優先して行われ、‘本件曲線の一部である1k625m～1k667m間の42m’（以下「本件曲線のPCまくらぎ未施工区間」という。）を除き、平成30年10月19日に半径250m以下の曲線のPCまくらぎ化を完了していた。

なお、本件曲線のPCまくらぎ未施工区間は、令和2年度(2020年度)に約4本に1本の部分PCまくらぎ化を実施し、令和9年度(2027年度)に全数のPCまくらぎ化を行う計画としていた。

同社によると、本件曲線のPCまくらぎ未施工区間が他の半径250m以下の曲線区間よりもPCまくらぎ化の計画が遅い時期となっていたのは、2.3.2.2(12)に記述したように、バラストでまくらぎが覆われている本件曲線のPCまくらぎ未施工区間は、日常的に沿線住民の線路内の通行があるという実態があり、この状態のまま、PCまくらぎ化すると、自動車等が線路横断する時の荷重によりレール上面より10mm高く設計されている脱線防止ガードが損傷する可能性があり、その対応策を検討していたためであるとのことであった。

(2) 犬くぎの増し打ち

同社管内の半径250m以下の曲線で現在木まくらぎの箇所について、外軌ゲージコーナー側のレールを締結する犬くぎ本数を現在の1本から2本に増やした。

同社は、図6に示す犬くぎの増し打ちを、同社管内の半径250m以下の曲線について平成29年3月5日までに行った。ただし、本件曲線のPCまくらぎ未施工区間については行っていなかった。

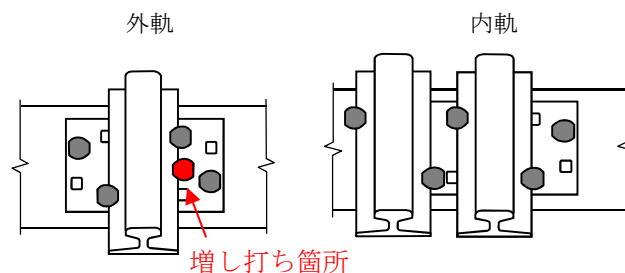


図6 平成29年発生の列車脱線事故後の同社による犬くぎ増し打ち

同社によると、本件曲線のPCまくらぎ未施工区間の犬くぎの増し打ちを行っていなかったのは、施工を行うようにしていたが、2.3.2.2(12)に記述したように、本件曲線のPCまくらぎ未施工区間は、バラストでまくらぎが覆われており、他箇所と比較して施工が困難であったため後回しにしていたところ、明確な施工計画が立てられないまま保留とされ、また施工完了の確認もできていなかったためとのことであった。

(3) まくらぎ検査の徹底

木まくらぎの検査時には水はけの状態に注意するなど、まくらぎ検査について、係員を教育して徹底した。

同社は、平成29年発生の列車脱線事故後に同社の担当者に対して施設の保全について教育を行った。教育内容には、まくらぎ等の検査についても含まれていたが、本件曲線のPCまくらぎ未施工区間のようなバラストでまくらぎが覆われている箇所について、検査方法等の具体的な指示はなかった。

3 分析

3.1 脱線の状況に関する分析

3.1.1 脱線開始地点について

2.5.1(1)に記述したように、1k660m付近の右レール（内軌）のゲージコーナー側の頭部側面に右車輪が軌間内に落下して車輪の表リム面が擦ったと見られる痕跡があり、これより手前及び同地点の左レール（外軌）に脱線の痕跡は確認されなかったことから、最初に脱線した地点は、1k660m付近（以下「脱線開始地点」という。）の右レール（内軌）と考えられる。

3.1.2 本件車両の後台車の脱線について

2.3.1に記述したように、本件車両の後台車については、全2軸が脱線し、第1軸は1k687m付近に、第2軸は1k685m付近に停止していた。また、2.5.2(1)に記述したように、本件車両の後台車全2軸には、左右車輪のフランジの先端部等に多数の擦過痕があり、本件列車の他の車輪には同様の擦過痕はなかった。

したがって、脱線した輪軸は本件車両の後台車全2軸であると推定される。本件車両の後台車が脱線し停止するまでの経緯は、以下のとおりであったものと考えられる。

(1) 本件車両の後台車第1軸

本件車両の後台車第1軸が脱線し停止するまでの経緯は、

- ・ 2.5.1(1)に記述したように、脱線開始地点（1 k 6 6 0 m付近）の右レール（内軌）のゲージコーナー側の頭部側面には、右車輪が軌間内に落下して車輪の表リム面が擦ったと見られる痕跡があったこと、
- ・ 2.5.1(2)に記述したように、1 k 6 6 0 m付近～1 k 6 6 7 m付近の間で、右レール（内軌）の頭部側面及び脱線防止レール頭部の内軌側側面に右車輪と接触したと見られる痕跡が連続してあったこと、
- ・ 2.5.1(3)に記述したように、1 k 6 6 7 m付近の右側（内軌側）脱線防止ガード端部に右車輪が衝撃したと見られる打痕があり、続けて車輪フランジ頂点が脱線防止ガード上を走行し左側に落下したと見られる痕跡があったこと、
- ・ 2.5.1(6)に記述したように、1 k 6 7 3 m付近の左レール（外軌）の頭部に左車輪が乗り上がり、車輪フランジ頂点がレール上を走行し左側に落下したと見られる痕跡があり、続けて、1 k 6 8 7 m付近（本件車両の後台車第1軸停止位置）までの間、まくらぎ等に車輪が走行したと見られる痕跡があったこと、
- ・ 2.5.1(8)に記述したように、1 k 6 8 5 m付近の本件踏切道の端部に左右車輪が衝撃したと見られる損傷があり、また、左側の落輪防止壁が損傷していたこと

から、

- ① 1 k 6 6 0 m付近で、右車輪が右レール（内軌）の軌間内に落下し、右レールと脱線防止レールの間に入り、
- ② その後、第1軸の輪軸が軌間を押し広げながら走行して、1 k 6 6 7 m付近で右車輪が脱線防止ガード端部に車輪が衝撃し、脱線防止ガード上を左に乗り越え、
- ③ 1 k 6 7 3 m付近で左車輪が左レールを乗り越え脱輪し、脱線した状態でまくらぎ上等を走行し、本件踏切道の端部に衝撃し、踏切舗装に乗り上がり1 k 6 8 7 m付近まで走行した

ものと考えられる。

(2) 本件車両の後台車第2軸

本件車両の後台車第2軸が脱線し停止するまでの経緯は、

- ・ 2.5.1(4)に記述したように、1 k 6 6 9 m付近の右側（内軌側）脱線防止ガード上に右車輪が乗り上がり、続けて車輪フランジ頂点が脱線防止ガード上を走行し左側に落下したと見られる痕跡があったこと、

- ・2.5.1(7)に記述したように、1 k 6 7 5 m付近の左レール（外軌）の頭部に左車輪が乗り上がり、車輪フランジ頂点がレール上を走行し左側に落下したと見られる痕跡があり、続けて1 k 6 8 5 m付近（本件車両の後台車第2軸停止位置）までの間、まくらぎ等に車輪が走行したと見られる痕跡があったこと

から、

- ① 1 k 6 6 9 m付近で、同台車第1軸の脱線の影響により脱線防止ガード上を左に乗り越え脱輪し、
- ② 1 k 6 7 5 m付近で左車輪が左レールを乗り越え脱輪し、脱線した状態でまくらぎ上等を走行し、1 k 6 8 5 m付近まで走行したものと考えられる。

(付図3 事故現場の略図と脱線の痕跡 参照)

3.1.3 脱線開始地点の脱線の状況について

3.1.2に記述した本件車両の後台車第1軸が1 k 6 6 0 m付近で、右車輪が右レールの軌間内に落下した事象（以下「軌間内脱線」という）は、3.4.3(1)に後述するように、列車走行時の横圧による「レール小返り^{*24}やレールの横移動」（以下「レール小返り等」という。）で動的な軌間拡大^{*25}が発生したことによるものと考えられる。

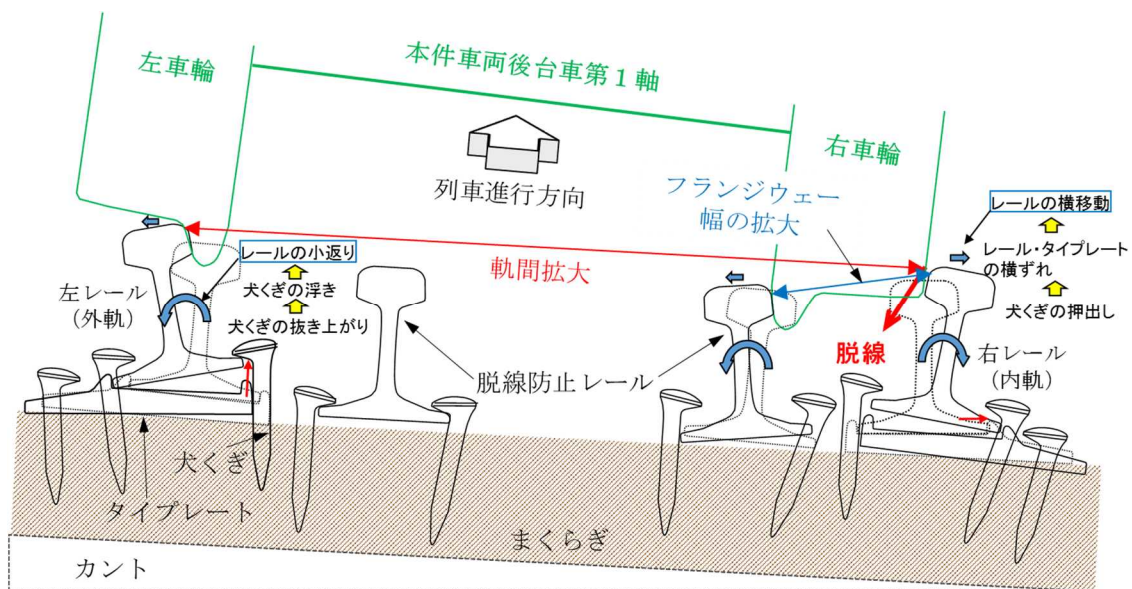


図7 本事故における軌間内脱線のイメージ

*24 「レール小返り」とは、車輪がレールに及ぼす荷重によってレールが傾く現象をいう。

*25 「軌間拡大」とは、横圧（車輪がレールを横方向に押す力）によるレール締結装置の損傷やレール摩耗の増大により軌間が広がった状態をいう。軌間がある程度以上に広がると、左右いずれかの車輪をレール頭部で支持できない状態になり、脱線に至る。なお、ここでは、列車走行に伴う横圧による軌間拡大を「動的な軌間拡大」という。

本事故における軌間内脱線のイメージは図7のとおりである。なお、軌間拡大及びフランジウェー幅の拡大についての詳細は3.4.6に後述する。

3.2 脱線時の走行速度等に関する分析

2.1に記述した本件運転士の口述によると、本件曲線に速度約20 km/hで入り、惰行運転に切り替えて走行中、急に列車の速度が低下したことから本事故時の走行速度は20 km/h弱であったと考えられる。

なお、2.7に記述したように、本件曲線の制限速度は20 km/hであったことから、速度超過はなかったものと考えられる。

3.3 脱線時の時刻に関する分析

2.1に記述した本件運転士の口述から、脱線時の時刻は、本件列車が本件踏切道を通り過ぎた辺りで急に速度が低下し停止した6時50分ごろであったものと考えられる。

3.4 軌道に関する分析

3.4.1 軌道変位について

(1) 本事故発生前の軌道変位測定値について

2.3.2.3(1)に記述したように、本事故発生前の軌道変位測定値については、すべて整備基準値以内であった。したがって、同社が整正する必要がないとした判定について問題はなかったと考えられる。

ただし、軌間変位については、整備基準値(+7 mm)以内ではあったが、脱線開始地点付近において最大値は7 mmで、その前後についても5 mm以上と比較的広がっていた。これは本件曲線のスラック25 mmと合わせて30 mmとなり、全体的に軌間の基本寸法と比較して大きくなっていた状態で、レール小返り等の動的な変位と相まって軌間拡大による軌間内脱線が発生しやすい状態にあった可能性があると考えられる。

なお、軌間変位以外の軌道変位については、本事故の脱線の原因に直接関与することはなかったものと考えられる。

(2) 本事故発生後の軌道変位測定値について

2.3.2.4(1)に記述した本事故発生後の軌道変位測定値については、2.3.2.3(1)に記述した本事故発生前の軌道変位測定値からの軌道変位の進み及び「本事故の脱線発生時に脱線開始地点の前後で大きなレール小返り等が発生し軌間が拡大した影響」（以下「本事故の脱線の影響」という。）が混在しているものと考えられるが、それらの影響度合を明確に区別することは

できなかった。

しかしながら、一般的に数ヶ月程度で大きく軌道変位が進むことは少ないと考えられることから、本事故発生後の軌道変位測定値は、本事故の脱線の影響を大きく受けているものと考えられる。

各軌道変位項目については以下のとおりである。

- ① 軌間変位は、脱線開始地点の前後で大きく広がっていた。これは本事故の脱線の影響が残存しているものと考えられる。
- ② 水準変位、高低変位、通り変位及び5 m平面性変位については、脱線開始地点付近及びそれ以降で、本事故の脱線の影響を受けて変位が拡大したものと考えられる。
- ③ フランジウェー幅については、3.1.2に記述したように、本事故の脱線により本件車両の後台車第1軸の右車輪が右レールと脱線防止レールの間に入り、軌間を押し広げながら走行した影響を受けて、右側のフランジウェー幅が拡大したものと考えられる。

なお、脱線開始地点付近における本事故発生時の拡大する前のフランジウェー幅については、

- ・2.3.2.4(1)⑥に記述したように、本件曲線における脱線防止レールのフランジウェー幅の設計値は90mmであり、本件曲線の円曲線の開始点である1k640m付近のフランジウェー幅は本事故発生後の測定値で90mmであったこと、
- ・2.3.2.4(2)③に記述したように、右側（内軌側）脱線防止レールの頭部右側に車輪の裏リム面と接触したと考えられる痕跡があったが、多数の車輪の接触により摩耗に至るような状況ではなかったこと、
- ・2.3.2.3(2)③に記述したように、本事故発生前直近の脱線防止レールの検査で不良と判定されていなかったこと

から、おおよそ90mmであったと考えられる。

3.4.2 まくらぎについて

2.3.2.3(2)①に記述したように、脱線開始地点付近のまくらぎについては、平成30年5月24日に定期検査としてまくらぎの検査を行っており、検査記録には、不良まくらぎはなかった。また、2.3.2.4(2)②に記述したように、本事故発生後の調査において、交換を要する程度の不良まくらぎは確認されなかった。これらより、本事故発生時のまくらぎの状態については、おおむね良好であったと考えられる。

3.4.3 レールの締結について

(1) レールの締結状態について

2.3.2.3(2)②に記述したように、脱線開始地点付近におけるレール締結装置については、平成30年5月24日に実施されたレール締結装置の検査では、検査記録にレール締結装置の不良はなかった。また、2.3.2.3(3)に記述したように、平成31年1月7日に実施された徒歩巡回による線路巡視でも、異状は記録されていなかった。

しかしながら、2.3.2.4(2)③に記述したように、本事故発生後の調査により、脱線開始地点付近で連続したレール締結装置の不良が多数見られた。

このような状態は、本事故の脱線の影響もあると考えられるが、一般的に列車走行時の横圧によるレール小返り等で、犬くぎの抜け上がり及び押し出しが発生し、それらが繰り返されることで、レール締結装置の不良が増大していくことから、本事故発生時には、脱線開始地点付近においてレール締結装置の不良が、ある程度連続して存在する状態であった可能性があると考えられる。

以上により、3.1.2に記述したように、1k660m付近で、本件車両の後台車第1軸の右車輪が右レール（内軌）の軌間内に落下したことについては、脱線開始地点付近においてレール締結装置の不良が、ある程度連続して存在する状態であったところに、本件列車走行時の横圧によるレール小返り等で軌間が動的に拡大したことによるものと考えられる。

したがって、同社は、軌道材料検査時や線路巡回時等において、まくらぎの腐食や犬くぎの浮き上がり等を確認し、状況に応じて犬くぎの打ち替えや増し打ち、まくらぎ交換、ゲージタイ（軌間保持金具）の設置等を実施する必要がある。

なお、これらについては連続的に発生している場合やスラックの大きい急曲線で発生している場合は、軌間内脱線に対する危険性が特に増大するため優先して整備を行うよう配慮する必要がある。

(2) レールの締結方法について

2.3.2.2(9)に記述したように、本件曲線中のタイプレート1枚当たりの犬くぎ打込み本数は、一般的に標準とされる本数よりも少なかった。犬くぎ打込み本数を増加させることは、レール小返り等の防止に効果があると考えられる。

したがって、同社は、急曲線等の軌間拡大が懸念される箇所を優先的に犬くぎの増し打ち等の対策を行い、レールの締結力を向上させることが望ましい。また、曲線半径ごとの標準的な犬くぎ打込み本数をあらかじめ定めてお

くことが望ましい。

3.4.4 脱線防止レールの締結について

(1) 脱線防止レールの締結状態について

2.3.2.3(2)③に記述したように、脱線開始地点付近における脱線防止レールについては、平成30年9月13日に実施された脱線防止レールの検査記録には、不良と判定されたものはなかった。

しかしながら、2.3.2.4(2)③に記述したように、本事故発生後の調査により、脱線開始地点付近の脱線防止レールには、犬くぎ浮き及び犬くぎ離れ等の連続した不良が多数見られた。

さらに、脱線開始地点付近における脱線防止レールについては、2.3.2.2(10)に記述したように、各まくらぎに締結することが望ましいが、まくらぎ約1本おきに内外1本ずつの犬くぎで締結されており、脱線防止レールの小返り等に対する抵抗が比較的小さい状態であった。

ここで、脱線防止レールは、2.4.1に記述したように本件車両の車輪幅が125mmなのに対し、2.3.2.4(1)⑥に記述したように本件曲線における標準的な脱線防止レールのフランジウェー幅は90mmであり、寸法上は脱線が防止できるものである。また、3.4.1(2)③に記述したように、脱線開始地点付近における本事故発生時の拡大する前のフランジウェー幅は、およそ90mmであったと考えられ、本事故の脱線の影響を受けて拡大したものと考えられる。

以上により、3.1.2に記述したように、本件車両の後台車第1軸の右車輪が右レールと脱線防止レールの間に入り走行し、脱線防止レールで脱線を防止できなかったことについては、右レール及び右側の脱線防止レールに、列車の走行に伴い発生する横圧及び車輪裏リム面から受ける背面横圧により、レール小返り等が発生し、フランジウェー幅が動的に拡大したためと考えられる。また、本事故発生後に測定されたフランジウェー幅は、本事故発生後にその影響が残留していたものと考えられる。

したがって、脱線防止レールについては、犬くぎ類により各まくらぎに締結するなどにより、脱線した場合にその効果が発揮されるよう適切に敷設し、定期検査や線路巡視により材料や保守の状態について検査、確認を行い、状態に応じ補修することが必要である。また、保守性等を考慮すると脱線防止レールに替えて脱線防止ガードを敷設することが望ましい。

(2) 脱線防止レールの高さについて

脱線開始地点付近における脱線防止レールについては、2.3.2.2(10)に記

述したように、本事故発生時には本線レールとほぼ同高となっていたものの、敷設時には本線レールよりも低かった。

脱線防止レールが本線レールより低い場合、車輪の裏リム面が接触した際に、裏リム面に対する掛かり量が小さく、車輪が乗り越え易くなり、脱線防止の機能を十分発揮できない可能性があると考えられるため、脱線防止レールは、本線レールに対して同高又はより高いものとするのが望ましい。

3.4.5 まくらぎ等の検査方法について

2.3.2.3(2)に記述したように、同社による本事故現場付近のまくらぎ等の検査については、抜取検査により行われ、ほぼバラストでまくらぎが覆われている状態で検査されていたため、材料の確認が十分にできていなかったと考えられる。

一般的にまくらぎ等の検査は、まくらぎの上面を十分に目視で確認できる状態での全数検査が必要である。したがって、同社はバラストでまくらぎが覆われている箇所について、できる限り速やかに改善することが望ましい。

また、2.3.2.3(2)に記述したように、同社によると、まくらぎ等の検査が不十分であったことは、同箇所の軌間変位が整備基準値以内であったため、まくらぎ等の詳細な検査は必要ないと判断していたためとのことであった。

同社の軌間変位の測定は2.3.2.3(1)に記述したように静的な測定であり、まくらぎ等に不良がある場合、列車荷重が載荷されることにより大きな軌間拡大が発生することが懸念される。したがって、静的軌間変位の測定は、まくらぎやレール締結装置がある程度健全であることを前提に適正に行えるものであり、軌間変位の検査とまくらぎ等の検査はそれぞれ独立して判断を要するものである。

以上より、同社が、静的軌間変位の結果から、まくらぎ等の詳細な検査は必要ないと判断していたことは、適正なまくらぎ等の検査方法ではなく、是正する必要がある。

3.4.6 軌間拡大及びフランジウェー幅の拡大について

(1) 軌間拡大について

軌間内脱線は、レールの摩耗や車輪端部の面取りの影響を考慮しない条件で、軌間の基本寸法（本線路では1,067mm）、軌間変位及びスラックの合計値（以下「軌間寸法」という。）を、落下する反対側の車輪（本事故の場合は左車輪）のフランジ厚さ、輪軸の車輪内面距離及び落下する側の車輪（本事故の場合は右車輪）の車輪幅の合計値（以下「輪軸寸法」という。）が下回る（車輪のレールへの掛かり量がマイナスとなる）ことで発生する可能性がある（図8 参照）。

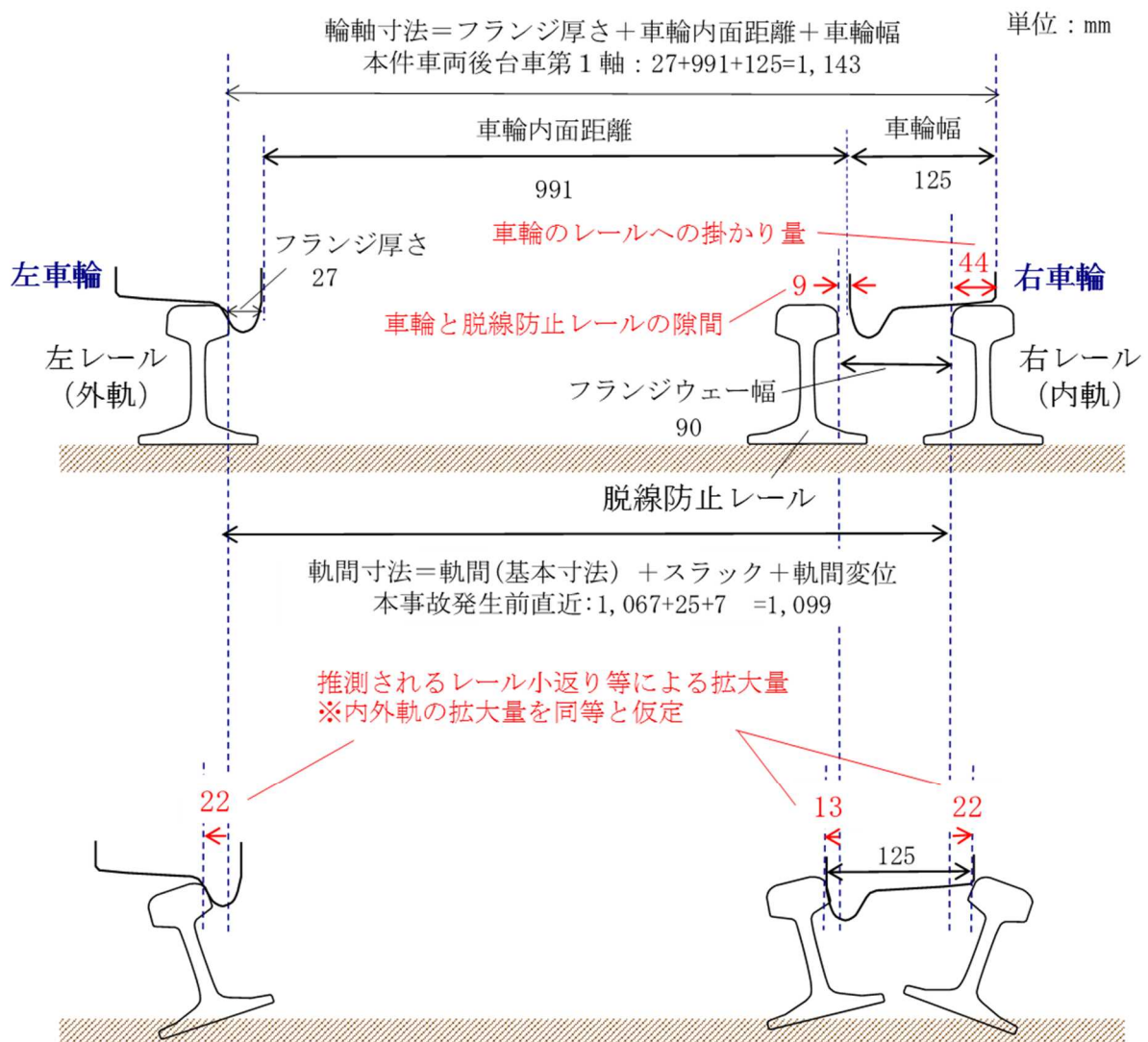


図8 推測される軌間拡大及びフランジウェー幅の拡大の状態

2.3.2.3(1)①に記述した本事故発生前直前に静的に測定されたスラックを含む軌間変位から算出される軌間寸法は、脱線開始地点の手前で最も大きく+32mm(スラック量25mm、軌間変位7mm)であったことから、1,099mm(=1,067+32)となる。

また、2.3.2.4(1)①に記述した本事故発生後のスラックを含む軌間変位から算出される軌間寸法は、脱線開始地点の手前で最も大きく+51mmであったことから、1,118mm(=1,067+51)となる。

輪軸寸法については、2.4.3.2に記述した、本事故発生後に測定された本件車両の後台車第1軸の輪軸寸法から、1,143mm(=27+991+125)となる。

これより、本事故発生時の脱線開始地点付近の車輪のレールへの掛かり量の推測値は、本事故発生前直近の測定値で44mm、本事故発生後の測定値で

25mm となりいずれも軌間内脱線に至らない寸法であることから、本事故発生時の脱線開始地点付近では、本事故発生前直近の測定日（平成30年10月25日）から本事故発生日（平成31年1月9日）までの軌間変位の進み量及び本事故発生時のレール小返り等による動的な軌間拡大の内外軌の合計値が約44mmを超過し、本件列車の通過後にそのうちの約19mm（ $44 - 25$ ）が残留していたものと考えられる。

(2) フランジウェー幅の拡大について

フランジウェー幅の拡大により、脱線防止レールとレールの間に車輪が落下することは、フランジウェー幅が車輪幅（125mm）よりも大きくなった場合に発生する可能性がある（図8 参照）。

本事故が発生する直前の脱線開始地点付近のフランジウェー幅については、3.4.1(2)③に記述したように、おおよそ90mmであったと考えられることから、脱線時のフランジウェー幅の拡大量は、約35mm（ $125 - 90$ ）であったと考えられる。

なお、軌間拡大及びフランジウェー幅の拡大が発生していない状態の車輪と脱線防止レールの隙間は、約9mm（ $(27 + 991) - (1099 - 90)$ ）となり、脱線防止レールと車輪は接触していない。

また、3.4.6(1)に記述したように、動的な軌間拡大の内外軌の合計値は約44mmであったと考えられる。内外軌それぞれの拡大量は不明であるが、2.3.2.4(2)③に記述したように本事故発生直後の脱線開始地点付近のレールの締結の状態に内外軌の明確な差異がなかったこと等から、ほぼ同等の拡大量であったと仮定すると、内外軌の拡大量はそれぞれ22mm（ $44 / 2$ ）であった可能性があると考えられる。

これらより、右側（内軌側）の脱線防止レールのレール小返り等によるフランジウェー幅の拡大量の推測値は約13mm（ $35 - 22$ ）であった可能性があると考えられる。

（附属資料2 軌間変位の限度値の考え方 参照）

3.4.7 スラックについて

2.3.2.2(1)に記述したように、本件曲線において設定されていたスラックは25mmであった。

ここで、3.4.6に記述した軌間内脱線が発生する条件から、軌間（基本寸法）、スラック、及び軌間変位の合計値が小さいほど、軌間内脱線に対する安全性が向上する。したがって、スラックについては、軌間内脱線を発生させないために許容できる軌間変位の範囲を拡大し、軌間内脱線への余裕を増大させるため、可能な範囲

で縮小について検討することが望ましい。

「解説 鉄道に関する技術基準（土木編）第三版」^{*26}に示される、旧国鉄の曲線におけるスラックについては、車両構造の変遷及び軌間拡大による脱線に対する余裕を増大させるため、順次縮小されており、昭和62年には、半径170m未満の曲線の場合は20mm（専ら2軸車が走行する区間以外）とされている。この値よりも本件曲線のスラックは5mm大きく、軌間内への脱線に対する余裕が小さくなっていたと考えられる。

なお、スラック量の変更は、比較的大規模な工事を伴うため、対象の曲線の改良工事等を行う際に合わせて施工するなどにより、順次整備することが望ましい。

3.4.8 軌道変位の管理手法について

3.4.1(1)に記述したように、本事故発生前の軌道変位測定値を同社が整正する必要がないとした判定について問題はなかったと考えられる。

しかし、3.1.3に記述したように、本事故発生時に脱線開始地点付近において、動的な軌間拡大が発生し脱線したものと考えられることから、同社の軌道変位管理においては以下の課題があり、改善することにより、今後、本事故と同様の軌間内脱線に対する安全性をより向上することができると考えられる。

(1) 軌道整備基準値について

2.3.2.3(1)に記述したように、同社の軌道整備実施基準には軌道変位の整備基準値が定められていたが、整備基準値を超過した場合における軌道変位を整正する期限は定めていなかった。

同社の軌道変位整備基準値は、一般的には軌道整備目標値^{*27}として定められているものに近い値である。軌道整備目標値は、保守の発動を行う値であり、安全上の基準ではない。

今後、軌道変位に対しての安全性をより向上させるために、期限を定めて緊急に保守を行う軌道変位の整備基準値を設定することが望ましい。

(2) 軌間変位の整備基準値について

2.3.2.3(1)に記述したように、同社の軌間変位の整備基準値の正側の値は、スラック量にかかわらず一律+7mmであった。

軌間変位の正側の整備基準値は、軌間内脱線に対する安全性を考慮し、レールから車輪が落下しないように、車輪のレールへの掛かり量を管理するものである。したがって、3.4.8(1)に記述した、期限を定めて緊急に保守を行う「整備基準値」を設定する際には、軌間変位の整備基準値について、ス

*26 「解説 鉄道に関する技術基準（土木編）第三版」（国土交通省鉄道局監修、平成26年、p.119）

*27 「軌道整備目標値」とは、一定レベルの乗り心地を維持しつつ、緊急の軌道整備作業量を抑制するために設定された軌道変位の値のことをいう。

ラック量に合わせて変動させ、一定の車輪のレールへの掛かり量を確保するよう管理することが望ましい。

(附属資料2 軌間変位の限度値の考え方 参照)

(3) 軌間変位の測定方法について

2.3.2.3(1)に記述したように、同社の軌道変位の定期検査は静的軌道変位(列車荷重を載荷しない状態での軌道変位)を測定している。

本事故については、3.1.3に記述したように、動的な軌間拡大が発生し脱線したものと考えられることから、動的軌間変位の測定により、異常を事前に発見し、事故を未然に防げた可能性があると考えられる。

したがって、木まくらぎやレール締結装置の整備状態等により、動的な軌間拡大が懸念される場合は、軌道検測車等により動的軌間変位の測定の実施を検討することが望ましい。また、動的軌道変位の測定が困難で、静的軌道変位測定のみで軌道変位の管理を行う場合は、レールの小返り等により動的な軌間拡大が発生する危険性に注意を払い、まくらぎやレール締結装置の管理を十分に行う必要がある。

なお、現在、地域鉄道向けに簡易な動的軌道変位(軌間変位及び平面性変位)を測定する装置の開発^{*28}が進められている。

(附属資料1 軌道変位の種類と定義 参照)

3.4.9 線路の保守体制について

2.3.2.6に記述したように、同社における線路の保守体制は、本事故時において保線担当者3名であった。同社の軌道延長(本線:13.1km)を考慮すると、同社の保線担当者を大幅に増員することは難しいと考えられ、また、規定に従った一定の線路の保守ができていたことから、保線担当者個人ごとの業務遂行能力に顕著な問題はなかったと考えられる。

しかしながら、3.4.5に記述したように、まくらぎ等の検査について、バラストでまくらぎが覆われている状態で検査されていたため十分な検査ができていなかったこと、3.7に後述するように、同社で過去に発生した列車脱線事故に対する再発防止策について、半径100mの本件曲線は優先順位を上げて実施すべきであるが実施されていなかったこと等、技術力の不足も見受けられた。

これは、同社に類する地域鉄道に共通する課題として、修繕費等の経費を十分に確保することが難しいことに加え、鉄道事業が小規模であるために、組織としての技術力の維持、向上が困難であることが考えられ、同社においては、そのような状

*28 「車両走行時の軌道の変形を診る」(坪川洋友、石川智行、公益財団法人鉄道総合技術研究所、RRR、Vol.76、平成31年、pp.20-23)

況が継続していた可能性があると考えられる。

このような組織としての技術力の不足を補うためには、各担当者の研修や訓練による社員教育を実施することや、適任者を増員すること等も有効であるが、即効性・確実性を考えると、木まくらぎに比べて耐久性に優れ容易な保守が可能であるコンクリート製等のまくらぎに交換（部分PCまくらぎ化を含む。）していくこと等ハード対策を更に実施していくとともに、各法人が行っている技術支援や技術開発等^{*29}を積極的に活用していくことが望ましい。

3.5 車両に関する分析

2.1に記述した本件運転士の口述及び2.4.3に記述した本件車両の定期検査の結果より、本件車両に脱線の要因となるような異常はなかったものと考えられる。なお、2.5.2に記述した車両の損傷及び痕跡は、2.5.1に記述した軌道の損傷及び痕跡から本件車両の脱線後の走行により生じたものと考えられる。

3.6 気象に関する分析

2.8に記述したように、事故現場の最寄りの熊本地方気象台の記録によれば、本事故発生当時の天気は晴れで、6時50分における風速は2.6m/sであった。これより、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、本事故現場付近のレールは乾燥状態であったと考えられる。

3.7 同社で過去に発生した列車脱線事故の再発防止策に関する分析

2.9.2に記述したように、平成29年発生 of 列車脱線事故の原因は、レール小返り等により軌間が大きく拡大していたためであり、軌間拡大が発生したことは定期検査等で締結装置の状態が十分に把握できていなかったこと、スラックが比較的大きかったことが関与しており、これらのことについて本事故と共通していた。

また、2.9.4に記述したように、平成29年発生 of 列車脱線事故に対して事故後に同社が講じた主な再発防止策は、PCまくらぎ化、犬くぎの増し打ち及びまくらぎ検査の徹底の3点である。これらの再発防止策は、本事故の発生を防止するのに有効であり、実施されていれば本事故の発生が未然に防止できていたと考えられる。

しかしながら、この内PCまくらぎ化については令和2年度以降の施工計画はあったものの、いずれも、本事故発生時において本事故現場付近で実施されておらず、その理由は、バラストでまくらぎが覆われていたためであった。

本件曲線は、2.3.2.2(1)に記述したように、半径が100mであり、同社管内の本線で最も半径の小さい曲線で、スラックも25mmと大きいことから、軌間拡大につ

*29 「運輸安全委員会ダイジェストNo.28」（運輸安全委員会、平成30年、pp.11-13）

いては最も懸念されるべき箇所であり、半径250m以下の急曲線の対策を優先的に
行う中でも、本件曲線については優先順位を上げて再発防止策を実施すべきであつた
と考えられる。

したがって、同社は、再発防止策について、優先順位を考慮した適切な実施計画を
立てるとともに、その実施状況を定期的に確認すること等により、再発防止策を確実に
実施していくことが必要である。

なお、本事故現場付近の長延長にわたってバラストでまくらぎが覆われている箇所
については、定期検査時にバラストを取り除く必要があるなど軌道保守が困難となる
状況であるため、覆っているバラストを撤去する、軌道を強化する等、極力早期に改
善を実施することが望ましい。

3.8 脱線の原因に関する分析

- (1) 本事故は、3.1.2及び3.1.3に記述したように、本件列車が半径100mの右
曲線を通過中に1k660m付近で、軌間が大きく拡大したため本件車両の後
台車第1軸の右車輪が右レール（内軌）の軌間内に落下し、右レールと脱線防
止レールの間に入り、その後、第1軸の輪軸が軌間を押し広げながら走行し、
1k673m付近で左車輪が左レールを乗り越え脱輪したことによるものと考え
られる。

また、本件車両の後台車第2軸は、1k669m付近で、同台車第1軸の脱
線の影響により脱線防止ガード上を左に乗り越え脱輪したものと考えられる。

- (2) 軌間が大きく拡大したことについては、3.4.3(1)に記述したように、脱線開
始地点付近においてレール締結装置の不良が連続して存在する状態であつたと
ころに、本件列車走行時の横圧によるレール小返り等で軌間が動的に拡大した
ことによるものと考えられる。

また、軌間が動的に拡大したことにより軌間内脱線が発生するに至ったこと
については、3.4.6(1)に記述したように、脱線開始地点付近のスラックを含む
動的軌間変位により、本事故発生時の軌間寸法が輪軸寸法を超過したことによ
るものと考えられる。

- (3) レール締結装置の不良が連続していたことについては、3.4.5に記述したよ
うに、バラストでまくらぎが覆われていたため、本事故現場付近のまくらぎ等
の検査が十分にできていなかったこと、3.7に記述したように、平成29年
発生 of 列車脱線事故に対する再発防止策であるPCまくらぎへの交換や犬くぎ
の増し打ちができていなかったことによるものと考えられる。

- (4) また、本事故の発生については、3.4.7に記述したように、曲線中のスラッ
クが比較的大きかったため軌間内脱線に対する余裕が小さくなっていたこと、

3.4.4(1)及び3.4.6(2)に記述したように、脱線防止レールが、まくらぎ約1本おきに締結されており、各まくらぎに十分に締結されていなかったため、右車輪からの背面横圧等によるレール小返り等が発生し、動的にフランジウェー幅が拡大したことにより、フランジウェー幅が車輪幅を超過し、脱線防止の機能が十分に発揮できなかったことが関与した可能性があると考えられる。

(付図6 列車脱線事故の関与要因 参照)

4 原因

本事故は、列車が半径100mの右曲線を通過中に、軌間が大きく拡大したため、後部車両後台車第1軸の右車輪が軌間内に落下し、軌間を広げながら走行した後、同軸左車輪のフランジが左レールを乗り越えて左に脱輪し、続けて同台車第2軸も左に脱輪したことによるものと考えられる。

軌間が大きく拡大したことについては、同曲線中でレール締結装置の不良が連続していたため、列車走行時の横圧によるレール小返り等で軌間が動的に拡大したことによるものと考えられる。

レール締結装置の不良が連続していたことについては、レール上面高さまで敷かれたバラストでまくらぎが覆われていたため、まくらぎやレール締結装置の検査が十分にできていなかったこと、平成29年に発生した同種事故の再発防止策であるPCまくらぎへの交換や犬くぎの増し打ちができていなかったことによるものと考えられる。

また、本事故の発生については、曲線中のスラックが比較的大きかったため軌間内への脱線に対する余裕が小さくなっていたこと、脱線防止レールがまくらぎに十分に締結されていなかったため、右車輪からの背面横圧等による脱線防止レールの小返り等が発生し、動的にフランジウェー幅が拡大したことにより、脱線防止の機能が十分に発揮できなかったことが関与した可能性があると考えられる。

5 再発防止策

5.1 必要と考えられる再発防止策

(1) 軌道整備の着実な実施

まくらぎの腐食や犬くぎ浮き等が、連続的に発生している場合やスラックの大きい急曲線で発生している場合は、軌間内脱線に対する危険性が特に増加するため、優先して整備を行う必要がある。

また、まくらぎ等の検査においてはその全数を確認し、状況に応じて犬くぎの打ち替えや増し打ち、まくらぎ交換、ゲージタイ（軌間保持金具）の設置等を実施する必要がある、それらを着実に行えるように管理体制を整備しておくことが必要である。

(2) まくらぎの材質の変更

まくらぎは、木まくらぎよりも耐久性、保守の容易性が優れているコンクリート製等のまくらぎに交換（部分PCまくらぎ化を含む。）していくことが望ましい。

(3) スラックの縮小についての検討

スラックについては、軌間内脱線への余裕を増大させるため、軌道の改良等に合わせて、可能な範囲で縮小することを検討する必要がある。

(4) 脱線防止レール等の適切な取付けと保守

脱線防止レールについては、犬くぎ類により各まくらぎに締結するなどにより、脱線した場合にその効果が発揮されるよう適切に敷設し、定期検査や線路巡視により材料や保守の状態について検査、確認を行い、状態に応じ補修することが必要である。さらに、保守性等を考慮すると脱線防止ガードを敷設することが望ましい。

(5) 動的軌間変位の測定

同社の軌道測定方法は、静的測定によるものである。これは列車走行により発生する動的な荷重の影響による軌道変位は測定できないため、軌道検測車等による動的な軌間変位の測定の実施を検討することが必要である。

なお、現在、地域鉄道向けに簡易な動的軌道変位（軌間変位及び平面性変位）を測定する装置の開発が進められており、実用化された場合には有効な管理ツールになるものと考えられる。

以上の再発防止策については、平成29年発生の列車脱線事故に対して事故後に同社が講じた措置として一部実施しているところではあるが、今後、本事故現場を含め急曲線を優先的に確実に実施していくことが必要である。

また、本事故現場付近の長延長にわたってバラストでまくらぎが覆われている箇所については、定期検査時にバラストを取り除く必要があるなど軌道保守が困難となる状況であるため、覆っているバラストを撤去する、軌道を強化する等、極力早期に改善を実施することが望ましい。

なお、本事故と同様の軌間拡大による列車脱線事故の防止については、運輸安全委員会が国土交通大臣に発出した、平成30年6月28日付運委参第43号「軌間拡大による列車脱線事故の防止に係る意見について」を参考とされたい。

5.2 事故後に同社が講じた措置

同社は、5.3に後述する平成31年1月11日付九運鉄技第150号「輸送の安全確保について」に対して、平成31年2月1日、本事故の原因及び対策を記した「輸送の安全確保に関する改善報告について（中間）」を国土交通省九州運輸局に提出した。

また、同社は、5.3に後述する平成31年4月24日付九運鉄監第1号「保安監査の結果について」に対して、令和元年5月23日に「保安監査の結果について」に基づく改善報告について及び、令和元年7月4日に「鉄道の安全輸送の確保に対する今後の取り組みについて」を同運輸局に提出した。

同社による主な事故防止の対策は以下のとおりである。

(1) 本事故現場付近のPCまくらぎ化

本事故現場付近のバラストでまくらぎが覆われている箇所（1k557mから1k667mまでの110m間）について、平成31年1月29日までにPCまくらぎに交換した。

なお、同区間中の曲線部においては、内外軌側にそれぞれ脱線防止レールを設置しており、脱線防止レールのまくらぎへの締結は、PCまくらぎ2本ごとのまくらぎ間に木まくらぎを挿入し、各脱線防止レールを内外2本ずつの犬くぎで締結し、さらに内軌側の脱線防止レールには、チョック^{*30}を取り付けた。

(2) 全線のPCまくらぎ化計画の見直し

2.9.4に記述したように、平成29年発生 of 列車脱線事故の再発防止策として、令和4年度（2022年度）までに全線の部分PCまくらぎ化を実施し、令和12年度（2030年度）までに全数PCまくらぎ化を実施する計画であったが、それぞれ、令和元年度（2019年度）及び令和10年度（2028年度）までに前倒しして実施する計画に見直した。

(3) まくらぎ等の検査の徹底

まくらぎ等の定期検査について、2.9.4に記述したように、平成29年発生 of 列車脱線事故の再発防止策として、係員に対して教育を行っていたが、まくらぎ等の検査を徹底するため、本事故の発生後に再度教育を行った。

本事故現場付近のバラストでまくらぎが覆われている箇所のまくらぎ等の検査は、定期検査時にまくらぎ上のバラストを取り除き全数検査を行うように改めることとした。

なお、同社は本事故現場付近のPCまくらぎへの変更等の再発防止策を実施した後、平成31年2月3日に本事故現場を含む区間の運転を再開した。

*30 「チョック」とは、急曲線でレールの軌間外方への傾斜及び軌間変位などを防ぐため、レール押さえとして急曲線部軌間外側に取り付ける木片をいう。ここでは、フランジウェー幅の拡大を防ぐために脱線防止レールに取り付けている。

5.3 事故後に国土交通省が講じた措置

本事故発生後に国土交通省が講じた措置は以下のとおりである。

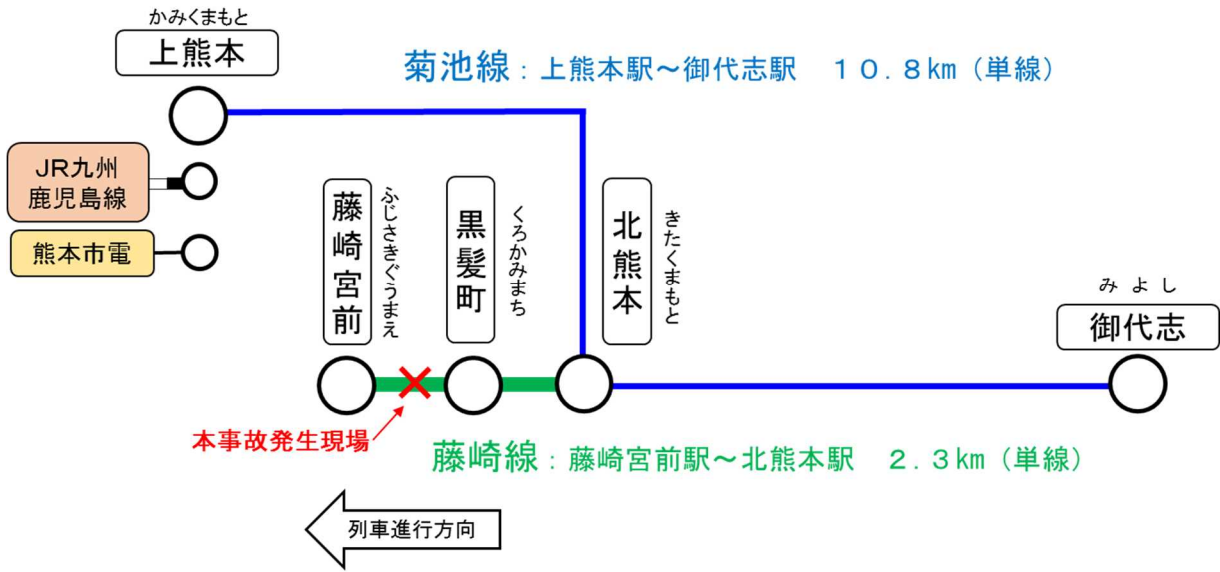
- (1) 平成31年1月11日、国土交通省九州運輸局は、同社に対して、九運鉄技第150号「輸送の安全確保について」を発出し、従前より実施している軌間拡大による列車脱線事故の対策の検証も含めて再発防止対策を検討し、必要な措置を講じて、安全輸送の確保に万全を期すよう警告した。また、その結果として平成31年2月1日、同社より「輸送の安全確保に関する改善報告について（中間）」の提出があったことから、職員を現地に派遣し、報告書のとおり再発防止対策が実施されていることを確認した。
- (2) 平成31年2月12日～15日、同運輸局は同社に対して、保安監査（現地調査）を実施し、その結果、安全管理体制等に改善を要する事項が認められたことから、平成31年4月24日付九運鉄監第1号「保安監査の結果について」を発出し、改善措置を講じるよう指示した。また、その結果として同社より、令和元年5月23日に「保安監査の結果について」に基づく改善報告について」及び、令和元年7月4日に「鉄道の安全輸送の確保に対する今後の取り組みについて」の提出があり、改善措置が進捗していることを確認した。

なお、国土交通省によると、指示を行った改善措置の概要は以下のとおりである。

- 1) 熊本電気鉄道藤崎線では、平成29年2月22日に軌間拡大を原因とする列車脱線事故（以下「1回目の脱線事故」）が発生し、これを受けた軌間拡大防止対策として、急曲線部のPCまくらぎ化等を実施することとしていたにもかかわらず、平成31年1月9日に、再度、軌間拡大が原因と考えられる列車脱線事故（以下「2回目の脱線事故」）が発生。保安監査では、これら2回の脱線事故に関して調査を行い、以下の事実を確認
 - ・ 1回目の脱線事故を受けた再発防止対策（PCまくらぎ化）が、2回目の脱線事故が発生した箇所近傍の半径100mの曲線の一部で実施されていなかった。
 - ・ 当該箇所の対策は、工事計画に記載がなく、今後の実施予定（平成32年度にPCまくらぎ化を実施）等についても、当局への具体的な説明等が行われていなかった。
 - ・ これら一連の当該箇所のPCまくらぎ化に関する事項の判断や意思決定等は、安全統括管理者のみで行われていた。また、これらの判断や意思決定を行った際の具体的な記録を確認できなかった。
- 2) 上記の保安監査結果を踏まえ、今後の安全管理体制を改善し輸送の安全を確保するため、以下のとおり改善措置を講じるよう指示

- ① 国土交通省からの情報提供や指示事項に対しては、その趣旨や背景等を踏まえ、計画的に対応すること。
 - ② 安全投資等に係る意思決定やそれに至るまでの経緯等について、適切に記録を残し保存すること。
 - ③ 申請・報告等の各種手続きを行う際の書類には、関連する必要な情報についても記載すること。
 - ④ 組織内の情報共有を含め、安全統括管理者を中心とした安全管理体制を改めて構築すること。
 - ⑤ 脱線箇所の軌道構造について、関係者との協議・調整を行い、できる限り早期に改善すること。
- 3) 上記以外にも、以下の事項が確認されたことから、併せて改善措置を講じるよう指示
- ① 鉄道運転事故等報告書に記載された脱線事故防止対策が、一部の箇所で未実施であった。
 - ② 鉄道施設変更認可申請の工事計画に記載されていない工事が実施されていた。
 - ③ 実施基準の規定通りに施設の整備や検査が行われていないものがあつた。
- 4) これらの指示に従わず、安全管理体制の改善が確認できない場合や、再び違反行為があつた場合には、事業の改善を命ずる場合があることを通知
- (3) 平成31年4月16日、全国の鉄軌道事業者に対して、国鉄技第16号、国鉄施第22号、国鉄安第4号「軌間拡大による列車脱線事故の防止について（再徹底）」及び事務連絡「地域鉄道等における軌間拡大防止策の徹底について」を発出し、軌間拡大による列車脱線事故の防止に係る通達等を改めて確認するとともに、これらに基づく対策（軌間拡大防止策の徹底）を確実に講じるよう指示した。
- (4) 令和元年7月5日、急曲線における軌間拡大の防止を図るため、全国の鉄軌道事業者に対して、事務連絡「急曲線における軌間拡大防止対策に係る指導について」を発出し、コンクリート製まくらぎへの交換又はゲージタイもしくは木まくらぎの同等交換を適切に実施するよう指示した。

付図1 熊本電気鉄道の路線略図

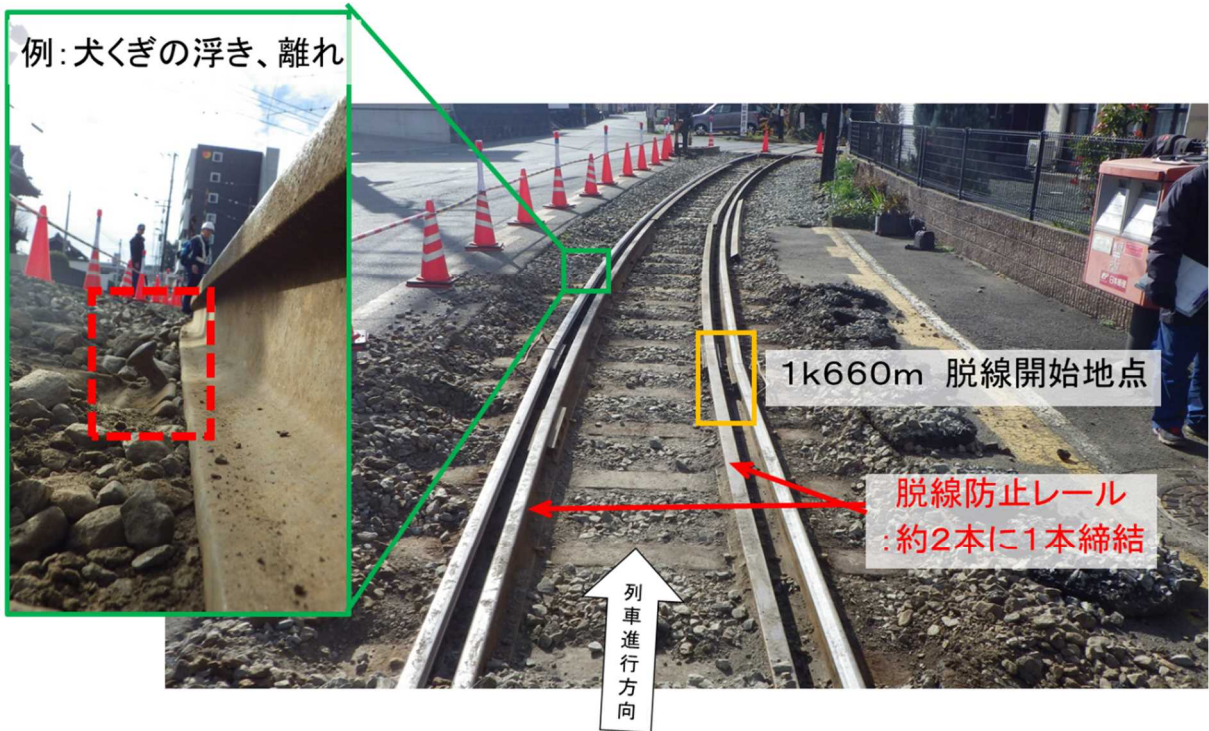
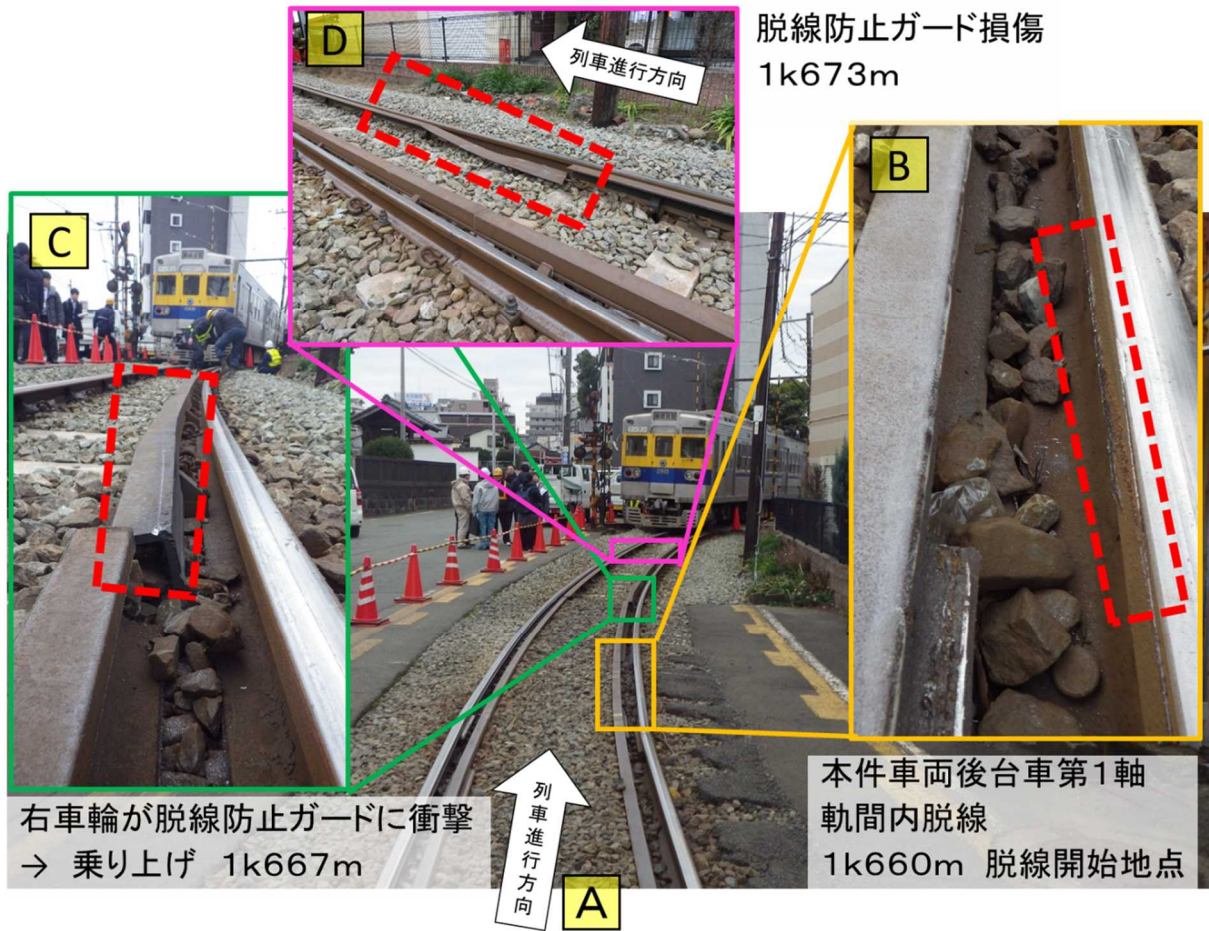


付図2 事故現場付近の地形図



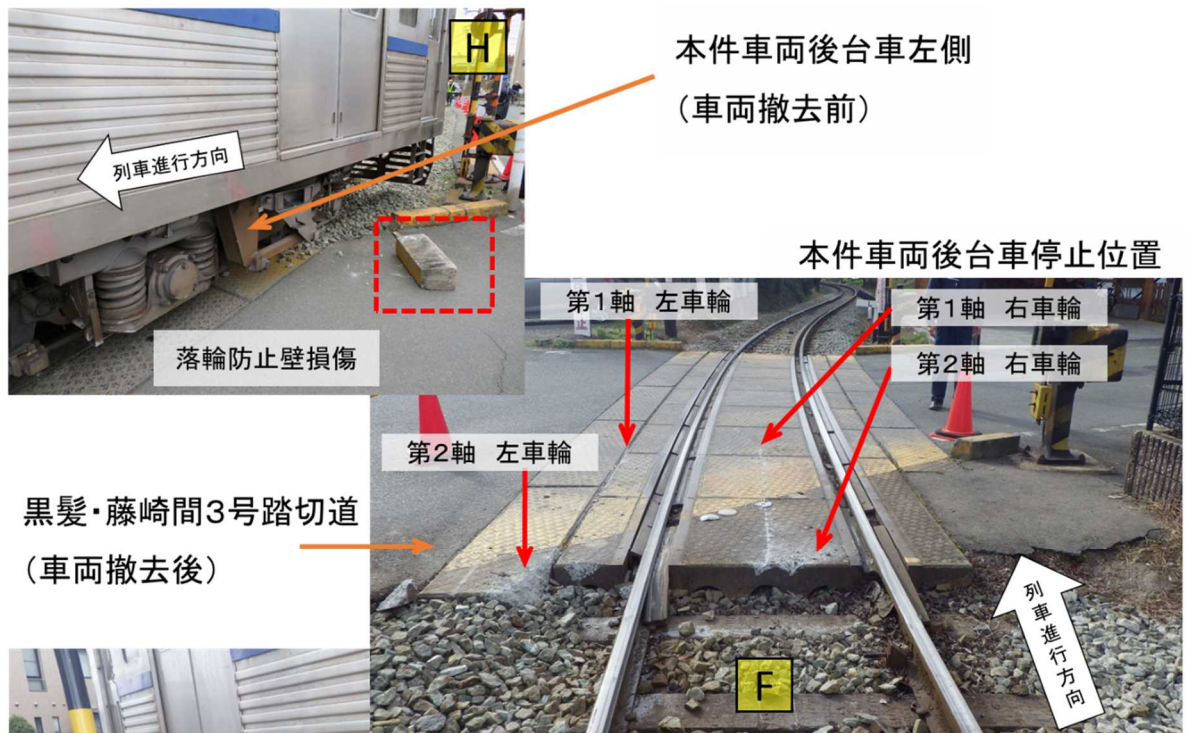
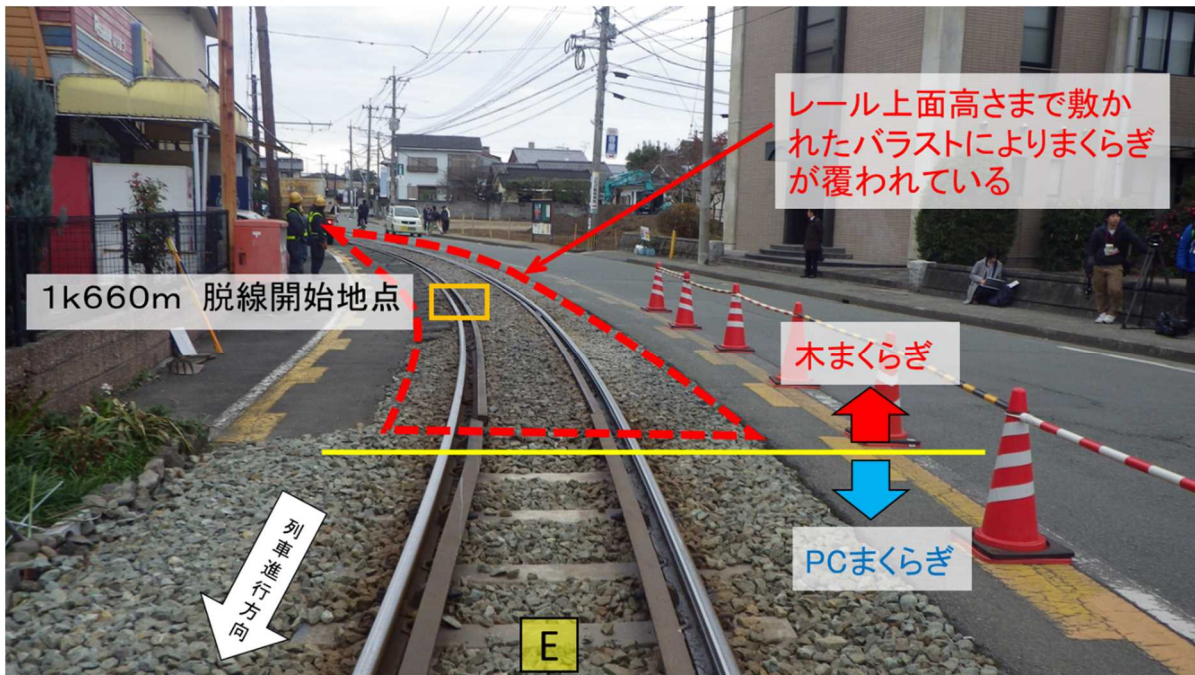
※この図は、国土地理院の地理院地図(電子国土Web)を使用して作成

付図3 事故現場の略図と脱線の痕跡（その2）



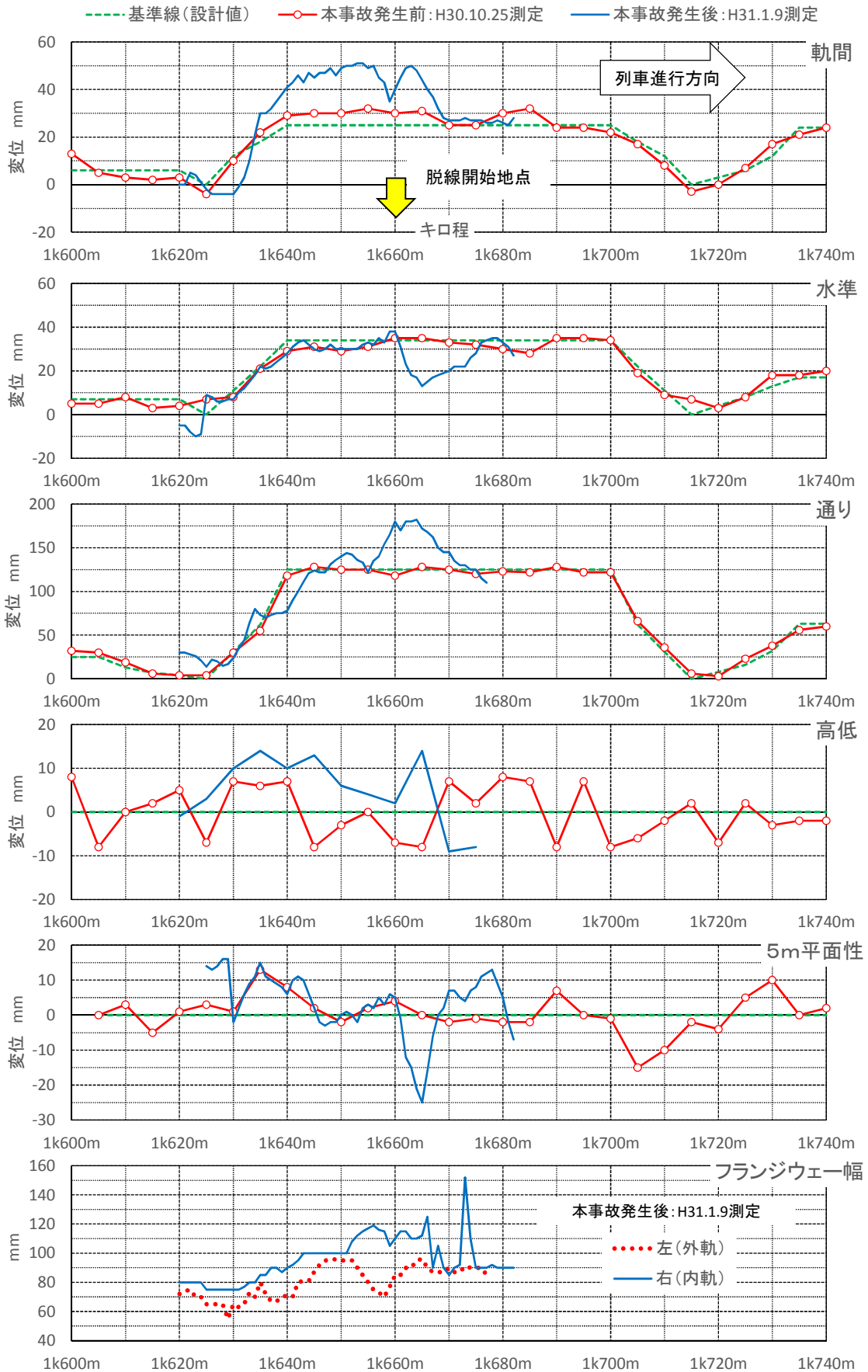
A まくらぎ上のバラスト撤去後

付図3 事故現場の略図と脱線の痕跡（その3）

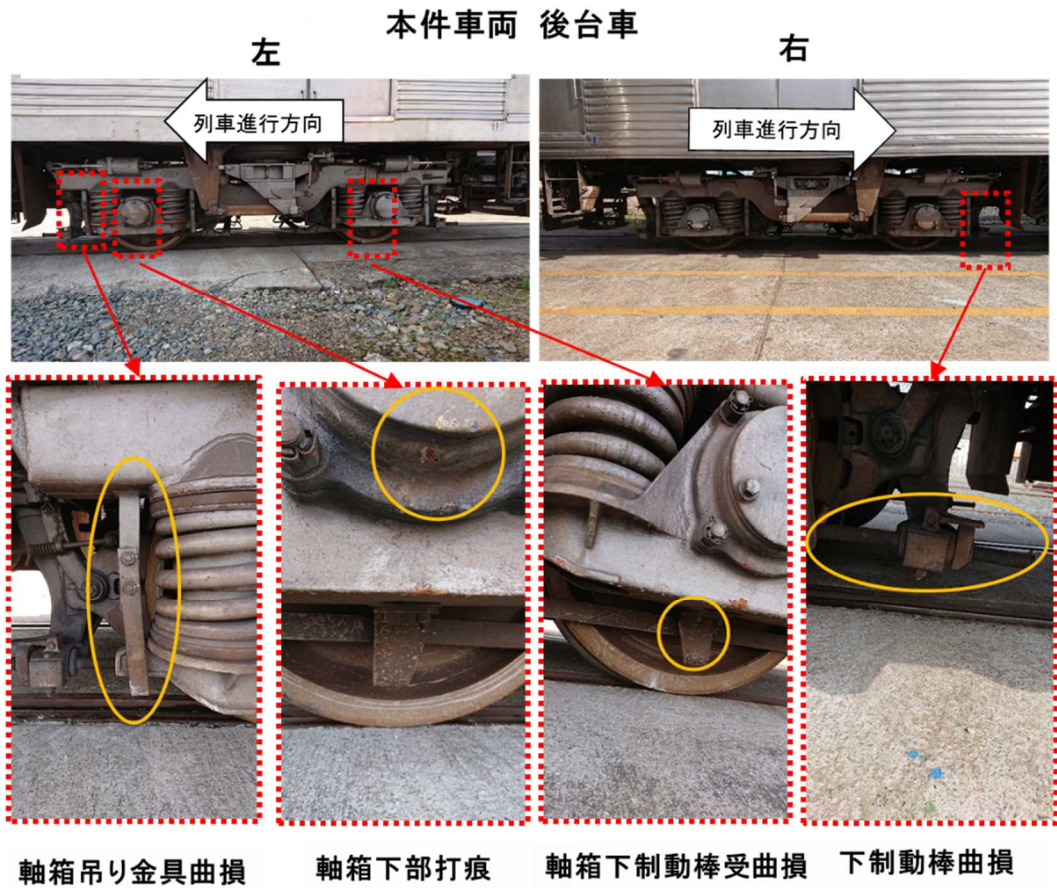
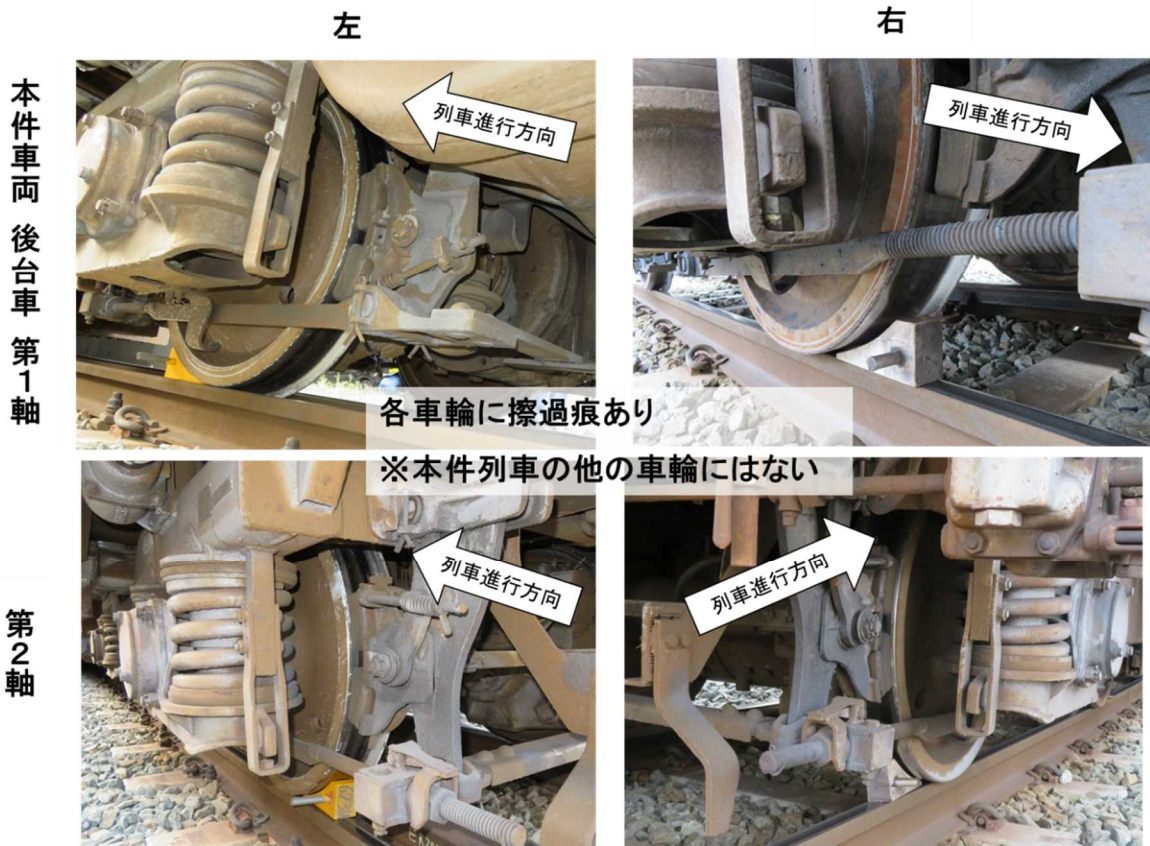


本件車両後台車右側
(車両撤去前)

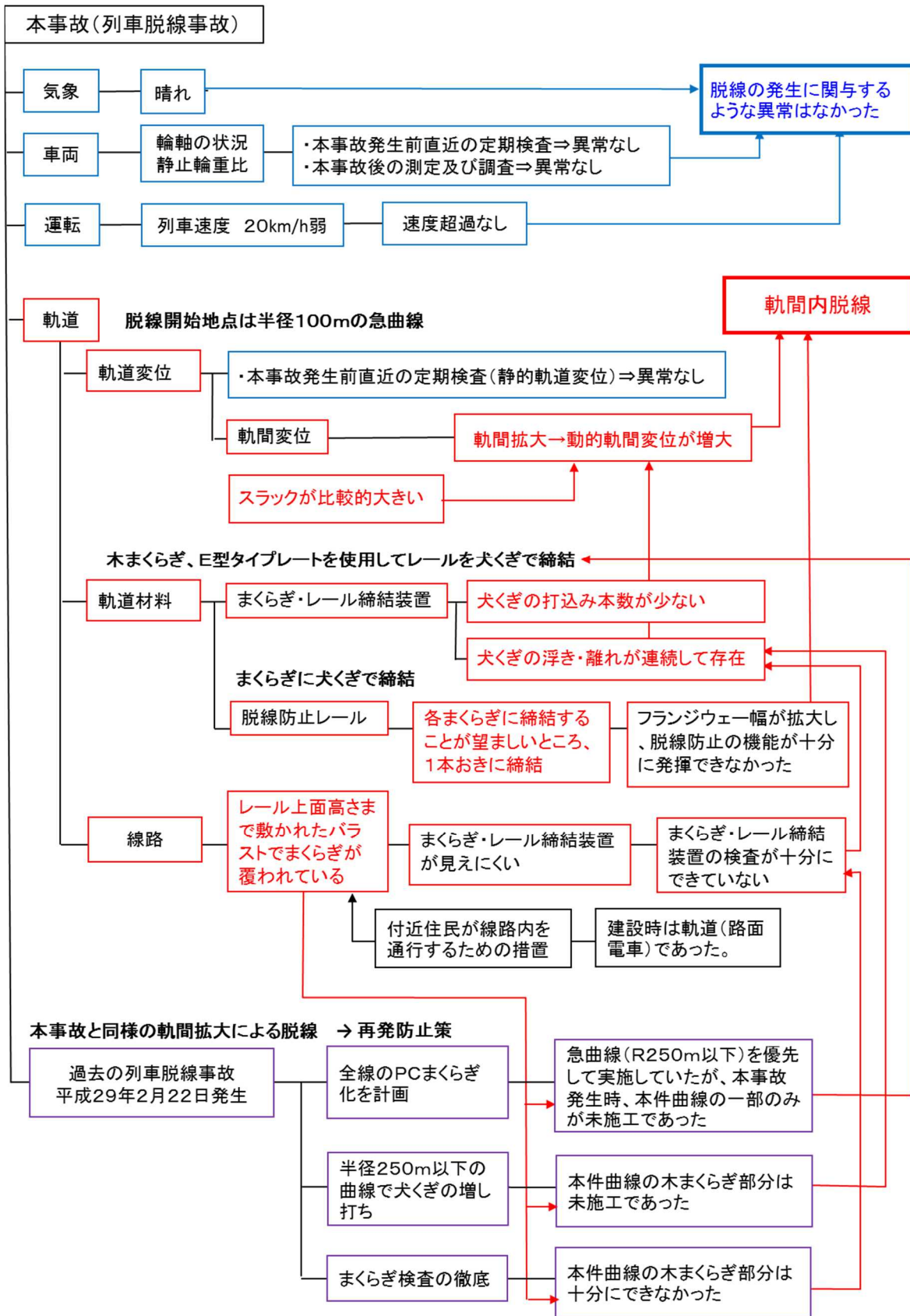
付図4 事故現場付近の軌道変位等の状況



付図5 車両の主な損傷状況



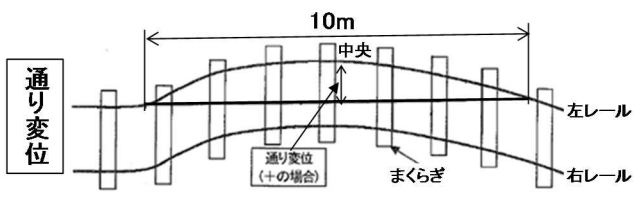
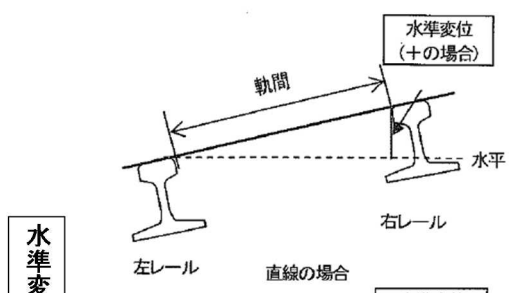
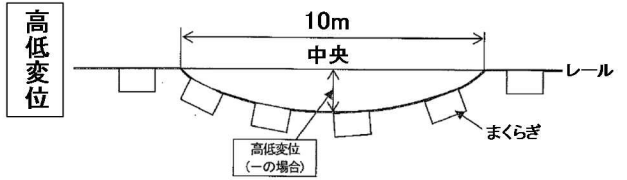
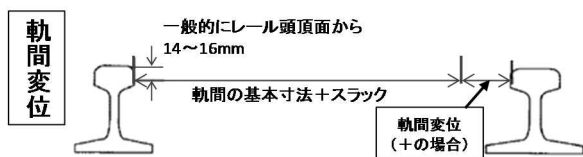
付図6 列車脱線事故の関与要因



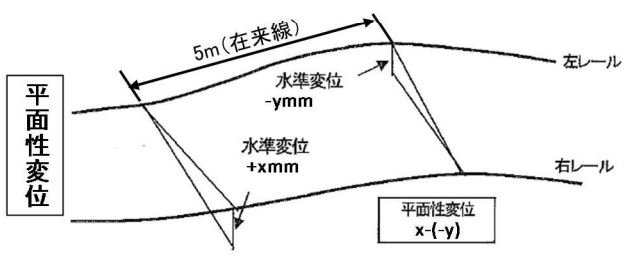
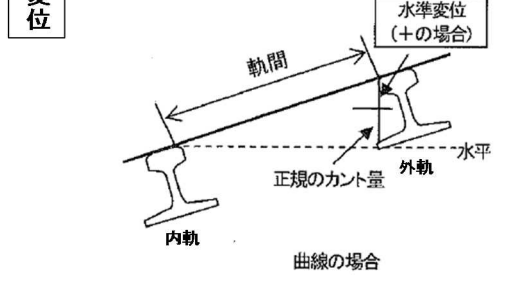
※本資料は、本事故の原因の分析に関する概要を図示したものであり、内容の詳細については「3 分析」を参照

附属資料 1 軌道変位の種類と定義

軌道変位		列車の繰り返し通過や自然現象により、軌道の各部に生じる変位や変形のことをいう。軌道変位には、一般的に軌間変位、水準変位、高低変位、通り変位、平面性変位の5種類がある。
	軌間変位	軌間内側面間の距離から左右レールの基本寸法（1,067mm）及びスラックを除いたものである。軌間変位の限度値の考え方については、「附属資料2 軌間変位の限度値の考え方」を参照のこと。
	水準変位	左右レールの高さの差のことをいう。また、曲線部でカントが設定されている場合には、カントを差し引いた値のことをいう。
	高低変位	レール頭頂面の長さ方向での凹凸をいい、一般的には長さ10mの糸をレール頭頂面に張ったときの、その中央部における糸とレールとの距離で表す。
	通り変位	レール側面の長さ方向での凹凸をいい、一般的には長さ10mの糸をレールの軌間内側面に張ったときの、その中央部における糸とレールとの距離(通り ^{せい} 正矢)で表す。また、曲線部においては、通り正矢から曲線半径による正矢量を差し引いた値で表す。
	平面性変位	レールの長さ方向の2点間の水準の差をいい、平面に対する軌道のねじれ状態を表す。2点間の距離が5mであれば、5m平面性変位という。

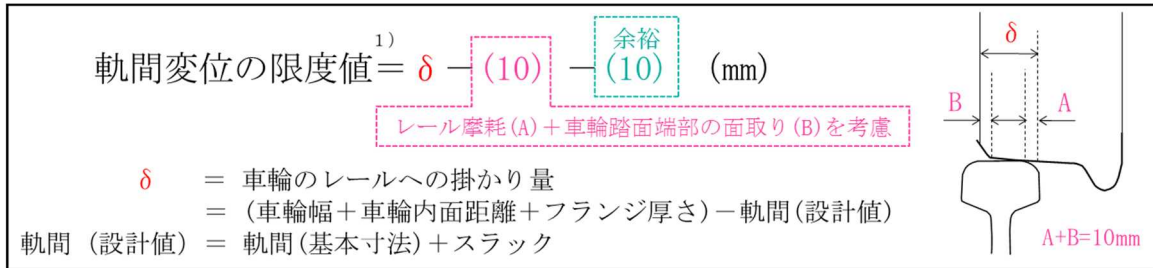


図は直線の場合を示す。

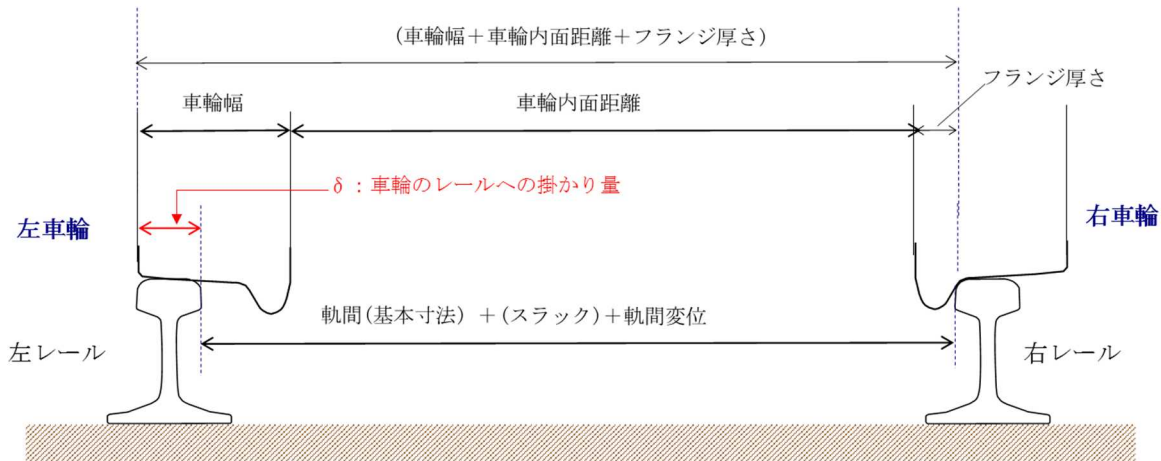


附属資料2 軌間変位の限度値の考え方

鉄道車両の走行安全上の判定目標の一つとして、軌間内に車輪が脱線しないための軌間変位の限度値は、一般的にレールと輪軸の関係から次のように考えられる。



ここで、輪軸の寸法(最小値)、軌間(基本寸法)1,067mm及びスラック0mmとすると、
 軌間変位の限度値 = (車輪幅 + 車輪内面距離 + フランジ厚さ) - 軌間(設計値) - 10 - 10
 = (120+988+22) - 1,067 - 10 - 10 = 43 ≒ **40(mm)**



軌道整備基準値(JR在来線の例)²⁾では、軌間の拡大量の限度値40mmより、整備基準値の上限を、

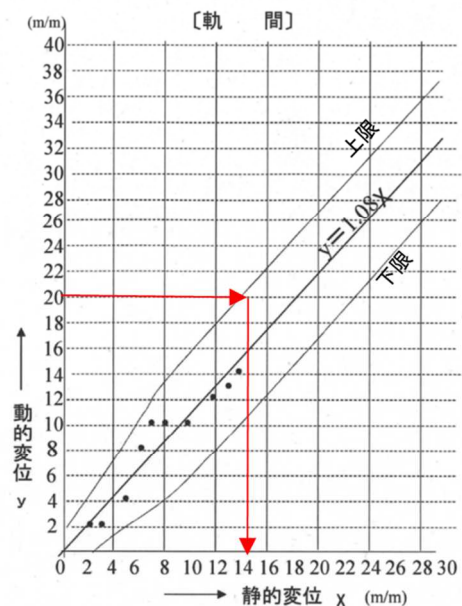
整備基準値の上限 = 軌間の拡大量の限度値 - スラック

として、例えばスラック20mmの曲線の動的軌間変位の整備基準値は、40 - 20 = 20mmとしている。

また、静的軌間変位の整備基準値は、動的軌間変位と静的軌間変位の関係³⁾から求め、動的軌間変位の整備基準値が20mmの場合、静的軌間変位の整備基準値を14mmとしている。

参考文献

- 1) 鉄道構造物等維持管理標準(軌道編)の手引き、H19.3、p.31、財団法人鉄道総合技術研究所
- 2) 解説 鉄道に関する技術基準(土木編)第三版、H26.12、p.661、国土交通省鉄道局監修
- 3) 解説 鉄道に関する技術基準(土木編)第三版、H26.12、p.118、国土交通省鉄道局監修



動的軌間変位と静的軌間変位の関係