

鉄道事故調査報告書

鉄道事業者名：弘南鉄道株式会社

事故種類：列車脱線事故

発生日時：令和5年8月6日 11時31分ごろ

発生場所：青森県南津軽郡大鰐町

大鰐線 大鰐駅～宿川原駅間（単線）

大鰐駅起点0 k 5 2 6 m付近

令和7年2月10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	早田久子
委員	鈴木美緒
委員	新妻実保子

要旨

<概要>

弘南鉄道株式会社の大鰐線大鰐駅発中央弘前駅行き2両編成（ワンマン運転）の下り第11列車の運転士は、令和5年8月6日（日）、11時31分ごろ、大鰐駅～宿川原駅間の半径190mの右曲線（以下、車両は前から数え、前後左右は列車の進行方向を基準とする。）を速度約25km/hで走行中に後方から異音を感じたため、非常ブレーキを使用して列車を停止させた。

停止後に運転士が降車して確認したところ、後部車両の前台車の第1軸及び第2軸が左側に脱線していた。

列車には、乗客18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190mの右曲線を通過中に、後部車両の前台車第1軸の左

側（外軌側）の輪重が小さい状態で、横圧及びアタック角が増加し、車輪がレールに乗り上がったことにより、左に脱線したものと考えられる。

外軌側の輪重が小さくなったことについては、列車がカント超過状態で走行していたことで定常的な輪重が減少していたことに加え、車体ローリングが大きくなりやすい特徴を有する車両であったこと及び、軌道に大きな通り変位と周期的な水準変位があったことにより、車体ローリングによる動的な輪重の減少が発生していたことが影響していた可能性があると考えられる。

外軌側の横圧及びアタック角が増加したことについては、車輪がレールに乗り上がった地点付近に大きな通り変位が存在したことが影響したと考えられる。

大きな通り変位が存在したことについては、通り変位の算出方法として基準線の設定に設計値を用いていたため、実際の曲線線形に対応した通り変位が把握できていなかったこと、通り変位の補修効果が少なかったことにより、必要な軌道の補修ができていなかったことが関与しているものと考えられる。

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	経過報告	1
1.2.4	原因関係者からの意見聴取	1
2	事実情報	2
2.1	運行の経過	2
2.1.1	運転士の口述	2
2.1.2	運転状況の記録	2
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	3
2.3.1	事故現場に関する情報	3
2.3.2	鉄道施設に関する情報	3
2.4	車両に関する情報	11
2.4.1	車両の概要	11
2.4.2	台車	12
2.4.3	車体支持装置	13
2.4.4	車両の整備に関する情報	14
2.4.5	車両の定期検査等に関する情報	15
2.4.6	本事故発生後の本件車両前台車の車輪形状及び車輪のフランジ角度	17
2.5	線路及び車両の損傷状況等に関する情報	18
2.5.1	鉄道施設の損傷、痕跡の状況	18
2.5.2	車両の損傷、痕跡の状況	19
2.6	乗務員に関する情報	19
2.7	運転取扱いに関する情報	19
2.8	気象に関する情報	20
3	分 析	20
3.1	本事故の状況に関する分析	20
3.1.1	脱線地点に関する分析	20
3.1.2	本事故発生時の走行速度に関する分析	20
3.1.3	本事故発生時の時刻に関する分析	20

3.1.4	脱線の状況に関する分析.....	20
3.2	軌道に関する分析.....	21
3.2.1	軌道変位.....	21
3.2.2	カント.....	23
3.2.3	レールの摩耗.....	23
3.2.4	軌道部材（レールの摩耗を除く）.....	24
3.3	車両に関する分析.....	24
3.3.1	台車.....	24
3.3.2	車体支持装置の制御.....	24
3.3.3	静止輪重比に関する分析.....	25
3.3.4	車輪フランジ角度について.....	25
3.4	気象に関する分析.....	25
3.5	脱線メカニズムに関する分析.....	26
3.5.1	急曲線部低速走行時の乗り上がり脱線の可能性.....	26
3.5.2	車体ローリングが関与する乗り上がり脱線の可能性.....	27
3.5.3	カント超過の影響.....	27
3.6	軌道の維持管理に関する分析.....	28
3.6.1	通り変位の管理.....	28
3.6.2	カントの補正工事.....	29
3.6.3	レールの摩耗管理.....	29
3.6.4	線路の保守体制.....	29
4	原因.....	29
5	再発防止策.....	30
5.1	必要と考えられる再発防止策.....	30
5.2	事故後に講じられた措置.....	30
5.2.1	事故後に同社が講じた措置.....	30
5.2.2	事故後に国土交通省が講じた措置.....	31

添付資料

付図1	大鰐線の路線図.....	32
付図2	事故現場付近の地形図.....	32
付図3	事故現場の略図.....	33
付図4	脱線の状況.....	33
付図5	脱線の痕跡.....	34

付図 6	事故現場付近の軌道変位等の状況.....	35
付図 7	車両の損傷と痕跡.....	36
附属資料 1	軌道変位の種類と定義.....	37

1 鉄道事故調査の経過

1.1 鉄道事故の概要

弘南鉄道株式会社のおおわに大鰐線大鰐駅発ちゅうおうひろさき中央弘前駅行き2両編成(ワンマン運転)の下り第11列車の運転士は、令和5年8月6日(日)、11時31分ごろ、大鰐駅～宿川原しゅくがわら駅間の半径190mの右曲線(以下、車両は前から数え、前後左右は列車の進行方向を基準とする。)を速度約25km/hで走行中に後方から異音を感じたため、非常ブレーキを使用して列車を停止させた。

停止後に運転士が降車して確認したところ、後部車両の前台車の第1軸及び第2軸が左側に脱線していた。

列車には、乗客18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、令和5年8月6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。また、令和6年4月1日、1名の鉄道事故調査官を追加指名した。

東北運輸局は、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

令和5年8月7日～8日	現場調査、口述聴取及び車両調査
令和5年11月8日～9日	車両調査及び軌道調査
令和5年11月27日～29日	車両調査及び軌道調査

1.2.3 経過報告

令和6年7月25日、その時点までの事実調査結果に基づき、国土交通大臣に対して経過報告を行い、公表した。

1.2.4 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 運転士の口述

事故に至るまでの経過は、弘南鉄道株式会社（以下「同社」という。）の大鰐駅発中央弘前駅行き下り第11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、06時35分ごろに中央弘前駅に出勤して点呼を受け、06時50分中央弘前駅発大鰐駅行き上り第2列車に乗務した。その後、本件列車と同じ編成を使用した列車に乗務し、中央弘前駅と大鰐駅間を2往復して、大鰐駅11時30分発の中央弘前駅行き本件列車に乗務した。なお、当日は本事故が発生するまでの間、本件列車と同じ車両を使用した列車で、本件事故現場を複数回乗務したが、特に異常は感じなかった。

本件列車は大鰐駅（大鰐駅起点0k000m、以下「大鰐駅起点」は省略する。）を定刻（11時30分）に出発した。その後、半径190mの右曲線（0k481m～0k635m、以下「本件曲線」という。）を速度約25km/hの惰行^{*1}運転中、後方から「ドン」というふだんと違う大きな音が聞こえたため、直ちに非常ブレーキを使用して本件列車を停止させた。停止した時刻は、運転台の時計で11時32分ごろであった。

列車停止後、業務用携帯電話で運転指令にふだんと違う音が聞こえたため、本件列車を停止させたこと及び点検することを連絡し、降車した。点検したところ、本件列車の後部車両（以下「本件車両」という。）の前台車の第1軸及び第2軸がレールから左側へ外れ脱線していた。直ちに運転指令に脱線の状況を報告した後、車内に戻り乗客のけがの有無を確認したところ、乗客にけがはなかった。

その後、現場に到着した同社の社員と共に全ての乗客を降車させた。

（付図1 大鰐線の路線図、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 脱線の状況、付図5 脱線の痕跡 参照）

2.1.2 運転状況の記録

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。

2.2 人の死亡、行方不明及び負傷

なし。

*1 「惰行」とは、列車が動力装置の駆動力、ブレーキ装置のブレーキ力のいずれをも使用せずに走行することをいう。

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、先頭車両の前端が本件曲線内の0 k 5 7 7 m付近に停止していた。本件車両の前台車の第1軸及び第2軸の左車輪は左レールと安全レール^{*2}の間に脱線していた。

また、第1軸及び第2軸の右車輪は、右レールの内側の軌間内に脱線している状態で、同台車第1軸の位置は0 k 5 5 7 m付近であった。

(付図3 事故現場の略図、付図4 脱線の状況、付図5 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

同社の大鰐線は、大鰐駅と中央弘前駅を結ぶ営業キロ^{*3}13.9kmの単線で電化された路線であり、軌間は1,067mmである。

同社には、大鰐線の他に弘前駅と黒石駅を結ぶ営業キロ16.8kmの単線で電化された路線である弘南線があり、同社の営業キロの合計は30.7kmである。

なお、大鰐駅から宿川原駅における1日当たりの列車の運行本数は、上り及び下り列車がそれぞれ17本の合計34本であり、いずれも2両編成である。

(付図1 大鰐線の路線図 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次のとおりである。

- (1) 本件曲線は、半径190mの右曲線で、0 k 5 0 6 m～0 k 6 0 9 mが円曲線、円曲線の前後の0 k 4 8 1 m～0 k 5 0 6 m及び0 k 6 0 9 m～0 k 6 3 5 mが緩和曲線である。本件曲線の円曲線には、カント^{*4}71mm及びスラック^{*5}20mmが設定され、これらは緩和曲線区間で逡減^{ていげん}されている。

また、本件曲線の大鰐駅方の0 k 2 7 6 m～0 k 4 3 5 mは、半径300mの左曲線である。

- (2) 線路の勾配は、0 k 2 8 7 m付近～0 k 6 2 0 m付近は平坦(0%)である。

- (3) 軌道構造はバラスト軌道であり、まくらぎは主に木まくらぎで、一部がP

*2 「安全レール」とは、脱線した車両が軌間外に逸脱し、転倒又は転落することによる大事故を防ぐことを目的とし、本線レールに沿って敷設する誘導用のレールをいう。危険の大きい側の反対側のレールの軌間内方に敷設するが、落石又は降雪の多い場所では、危険の大きい側のレールの軌間外方に敷設する。

*3 「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。

*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いう。

Cまくらぎである。

- (4) レールは40kgNレールであり、レール継目は相互式継目^{*6}である。

3.1.1に後述する最初に脱線した地点である0k526m付近（以下「脱線開始地点」という。）のレール継目位置は、左レールが、0k488m、0k512m、0k536m及び0k559m、右レールが0k500m、0k524m、0k548m及び0k571mである。

- (5) 本件曲線の全長にわたり、左レールの外側に37kgレールの安全レールが設置されている。安全レールは、おおよそまくらぎ1本おきに内外1本ずつの犬くぎで締結されている。

同社によると、本事故現場を含む地域は冬期の積雪が多いことから、脱線そのものを防止する脱線防止ガードや脱線防止レールを軌間内に敷設することが適さないため、軌間外へ安全レールを敷設しているとのことであった。

(付図3 事故現場の略図 参照)

2.3.2.3 軌道の定期検査等

「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、同社が東北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。）の一部である軌道施設実施基準及び同社の社内規程である軌道整備心得で定められている軌道の定期検査等は、次のとおりである。

(附属資料1 軌道変位の種類と定義 参照)

- (1) 軌道変位の定期検査

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平面性変位の整備基準値（静的軌道変位^{*7}）は表1のとおりである。また、軌道変位の定期検査の基準期間は1年である。

表1 軌道変位の整備基準値（静的軌道変位）

(単位：mm)

軌道変位の種別	本線
軌間変位	直線及び半径600mを超える曲線 : +14
	半径200m以上600mまでの曲線 : +14
	半径200m未満の曲線 : +9

*6 「相互式継目」とは、左右レールの継目位置を互い違いに配置するものをいう。これに対し、左右レールの継目位置をそろえるものを相対式継目という。

*7 「静的軌道変位」とは、手検測（人力による糸張り検測）や軌道検測装置による検測等により測定される、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、軌道検測車による検測等により測定される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。

水準変位	平面性に基づき整備を行う
高低変位	± 2 2
通り変位	± 2 2
5 m平面性変位	± 1 8 (カントの逓減量を含む)

整備基準値に達した場合の整備については、「整備基準値に達した軌道変位並びに整備基準値未満の軌道変位の場合であって、急進性のもの及び列車の動揺に特に大きな影響を与えるものについては、早急に整備を行うものとする。」と定められている。

整備基準値に達した場合の早急に整備を行う期限については、同社が定める軌道整備心得において、次のとおりとなっている。

軌道整備心得

第5条 軌道は一年に少なくとも一回検査しなければならない。

(1) 軌道変位に係る補修時期

軌 間：概ね1ヶ月以内に補修する。

水 準：概ね1ヶ月以内に補修する。

高 低：概ね3ヶ月以内に補修する。

通 り：概ね3ヶ月以内に補修する。

平面性：概ね1ヶ月以内に補修する。

(2) 整備基準値を著しく超過している場合は、早急に補修する。

同社によると、軌道変位の定期検査は、外部業者に作業を委託し、軌道検測装置を使用して静的軌道変位を測定しており、軌道変位の測定結果は、5 m間隔の測定値に取りまとめられ、検査実施からおおむね1か月後に同社に提出される。また、補修時期の起算日は、委託先業者から測定データを受領した日としているとのことであった。

なお、軌道検測値から軌道変位を算出する際の基準線*8は、高低、平面性については0とし、軌間、水準及び通りについては、各軌道変位項目の設計値と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の定期検査は、令和5年7月4日に実施されていたが、本事故発生時点において、同社は、委託先業者より測定結果を受け取っていない。同社が測定結果を受け取っていない

*8 ここでいう「基準線」とは、軌道変位を算出する際に基準となる値で、軌道検測値から基準線の値を差し引いた値が軌道変位となるものをいう。

た本事故発生前直近の軌道変位の定期検査は令和4年7月21日に実施されていた。

(2) 軌道変位の検査結果

① 令和4年7月21日検測の軌道変位

令和4年7月21日に実施された軌道検測の検測結果（以下「令和4年軌道変位」という。）について、同社は委託先業者から令和4年8月26日に検測結果を受け取った。

本件曲線についての結果は、次のとおりであった。なお以下、軌間変位以外の軌道変位の大小は絶対値で評価している。

a スラックを含む軌間変位は、0 k 5 7 3 m付近が最も大きく+28.2 mmであり、同地点のスラック20 mmを除くと軌間変位は+8.2 mmで整備基準値（+9 mm）未満であった。

b 水準変位は、0 k 5 3 6 m付近が最も大きく-19.1 mmであった。

c 通り変位は、0 k 5 6 4 m付近が最も大きく-34.7 mmで整備基準値（±22 mm）を超えていた。また、0 k 5 0 0 m付近で+22 mm、0 k 5 0 9 m付近～0 k 5 1 4 m付近までの間は-22.4 mm～-29.3 mm、0 k 5 2 3 m付近～0 k 5 2 5 m付近までの間は+22.5 mm～+24.5 mm、0 k 5 6 2 m付近～0 k 5 6 6 m付近までの間は-25.8 mm～-34.7 mm、0 k 5 7 2 m付近～0 k 5 7 6 m付近までの間は+22.3 mm～+29.1 mmの範囲で連続して整備基準値を超えていた。

d 高低変位は、0 k 5 8 2 m付近が最も大きく+13.8 mmで整備基準値（±22 mm）未満であった。

e 5 m平面性変位は、0 k 6 2 7 m付近が最も大きく+20.9 mmで整備基準値（±18 mm）を超えていた。また、0 k 5 0 0 m付近は-20.5 mmであった。

② 令和5年7月4日検測の軌道変位

令和5年7月4日に実施された軌道検測における検測結果（以下「令和5年軌道変位」という。）は、次のとおりであった。

a スラックを含む軌間変位は、0 k 5 7 3 m付近が最も大きく+29.9 mmであり、同地点のスラック20 mmを除くと軌間変位は+9.9 mmで整備基準値（+9 mm）を超えていた。

b 水準変位は、0 k 5 2 2 m付近が最も大きく-14.4 mmであった。

なお、本件曲線は2.3.2.2(4)に記述したように相互式継目であり、片側のみにあるレール継目の位置で、片側の継目落ちによる水準変位が発生していた。

- c 通り変位は、0 k 5 6 4 m付近が最も大きく -40.2 mm で整備基準値 ($\pm 22\text{ mm}$) を超えていた。また、0 k 4 9 7 m付近 \sim 0 k 5 0 4 m付近までの間は $-22.3\text{ mm}\sim-36.5\text{ mm}$ 、0 k 5 0 6 m付近 \sim 0 k 5 1 5 m付近までの間は $-22.3\text{ mm}\sim-34.7\text{ mm}$ 、0 k 5 2 3 m付近 \sim 0 k 5 2 4 m付近までの間は $+22.9\text{ mm}\sim+36.5\text{ mm}$ 、0 k 5 6 1 m付近 \sim 0 k 5 6 7 m付近までの間は $-23.0\text{ mm}\sim-40.2\text{ mm}$ 、0 k 5 8 1 m付近 \sim 0 k 5 8 9 m付近までの間は $-24.8\text{ mm}\sim-35.9\text{ mm}$ の範囲で連続して整備基準値を超えていた。
- d 高低変位は、0 k 5 8 2 m付近が最も大きく $+12.5\text{ mm}$ で整備基準値 ($\pm 22\text{ mm}$) 未満であった。
- e 5 m平面性変位は、0 k 6 2 8 m付近が最も大きく $+20.3\text{ mm}$ で整備基準値 ($\pm 18\text{ mm}$) を超えていた。また、0 k 5 0 0 m付近は -20.0 mm であった。

(付図6 事故現場付近の軌道変位等の状況 参照)

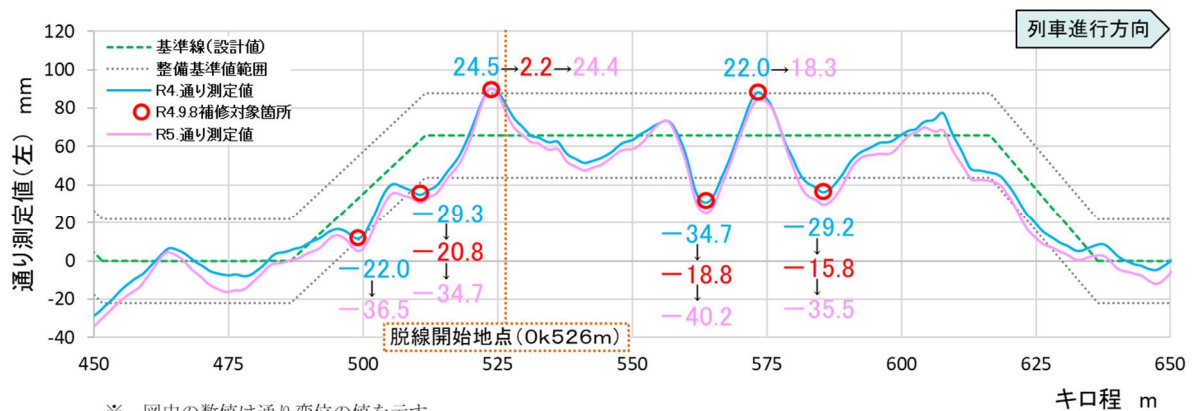
(3) 軌道整備

① 本件曲線の軌道整備状況

図1に本件曲線の通り変位の検査結果及び補修の経過を示す。

同社は、令和4年軌道変位を踏まえた通り変位の補修を令和4年9月8日に行った。これは、2.3.2.3(1)に記述した通り変位の整備時期（おおむね3か月以内）の範囲内であった。ただし、本件曲線内の補修対象箇所は6か所であったが、うち2か所の補修をしていなかった。

また、補修からおおよそ10か月が経過した令和5年軌道変位では、補修した箇所が、ほぼ令和4年軌道変位と同等の状態まで戻っており、補修の効果がほぼなくなっている状態であった。



※ 図中の数値は通り変位の値を示す。

図1 本件曲線の通り変位の検査結果及び補修の経過

② 大鰐線の通り変位の補修状況

同社の大鰐線全線について、令和4年軌道変位の結果に基づく通り変位の補修作業は、令和4年9月8日、9日及び12日の3日間で行われていた。通り変位の補修実施状況を表2に示す。

同社によると、一部の未補修箇所があるのは、補修対象箇所が非常に多く、作業能力的に全ての補修ができないためであり、また、補修した箇所についても通り変位がある箇所の軌きょう^{*9}をバールやジャッキで押して動かすのみの簡易な補修としているとのことであった。

表2 整備基準値の超過数及び補修実施状況（大鰐線）

令和4年軌道変位	補修対象	補修実績	未補修
通り変位	129か所	104か所	25か所

※ 補修対象は、通り変位における10m間の絶対値の最大値が整備基準値に達している箇所としている。

※ 補修を行った作業記録が確認できなかった箇所を未補修として計上している。

(4) 列車動揺の定期検査

列車動揺の定期検査は、軌道施設実施基準により月1回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列車動揺の定期検査は、令和5年7月12日に列車添乗により列車動揺測定駒^{*10}を使用して測定が行われており、本件曲線の測定結果に異常は見られなかった。

(5) 軌道部材の定期検査

レール、まくらぎ、道床路盤等の軌道材料について、軌道施設実施基準により基準期間を1年として定期検査を行うこととしている。本件曲線における本事故発生前直近の主な軌道部材の定期検査の結果は次のとおりであった。

① レールの検査

レールの検査は、レールの摩耗や損傷及び安全レール等の状況を確認し、異常の有無又は良否を検査台帳に記録していた。本件曲線内は、令和5年5月4日に実施されており、材料交換等の対応を必要とする異常は記録されていなかった。

なお、同社の軌道整備心得に定められているレールの交換基準（本線路の40kgNレールの摩耗限度値）は1.4mmである。レールの摩耗の検査は、原則目視で行うが、必要によりレール摩耗定規を使用して測定することと

*9 「軌きょう」とは、レールやまくらぎをはしご状に組み合わせたものをいう。

*10 「列車動揺測定駒」とは、走行する車両の動揺を測定するもので、厚さの違う駒の転倒により動揺加速度を把握するものをいう。

している。

② まくらぎの検査

まくらぎの検査は、木まくらぎの腐食等の有無、まくらぎ位置間隔の状況を確認し、異常の有無又は良否を検査台帳に記録していた。本件曲線内は、令和5年7月12日に実施されており、材料交換の対応を必要とする異常は記録されていなかった。

③ 道床及び路盤の検査

道床及び路盤の検査は、道床の断面形状及び路盤の排水等の保守、材料の状態を確認し、状態の良否で検査台帳に記録していた。本件曲線内は、令和4年8月19日に実施されており、道床交換等の対応を必要とする異常は記録されていなかった。

(6) 線路の巡視

本線の巡視を毎週1回以上、徒歩又は列車添乗等により行うこととされており、本事故発生前直近の事故現場付近の巡視は、令和5年8月2日に徒歩により行われていた。巡視の結果、本件曲線内において異常は記録されていなかった。

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（令和5年8月7日）に、事故現場付近の0k475m～0k602m間の静的軌道変位を手検測により測定した結果’（以下「本事故発生後の軌道変位」という。）は次のとおりであった。

- ① スラックを含む軌間変位は、0k523m付近及び0k602mが最も大きく+29.0mmであった。脱線開始地点は+27.0mmであった。
- ② 水準変位は、0k536m付近が最も大きく-17.0mmであった。
- ③ 通り変位（左、外軌）は、0k523m付近が最も大きく+24.2mmであった。
- ④ 高低変位（右、内軌）は、0k544m付近が最も大きく-21.0mmであった。

(2) レール摩耗の状況

本事故発生後（令和5年11月8日）に、本件曲線に敷設されていたレールの摩耗を調査した結果は次のとおりであった。

- ① 最大値は0k523m付近で19.3mmであった。
- ② 脱線開始地点（0k526m付近）の左レール（外軌）の側摩耗は図2に示すように、18.3mmであった。

- ③ 0 k 5 1 6 m付近から0 k 5 3 4 m付近の左レール（外軌）の側摩耗は連続して、2.3.2.3(5)①に記述したレール交換基準である14mmを超過していた。また、同区間では図3に示すようにレール頭部の下側に大きなレールフロー*11があった。
- ④ 脱線開始地点付近の左レール（外軌）の摩耗角度は約71°であった。図4に、レール側摩耗と通り測定値の関係を示す。同図が示すとおり、通り測定値が大きい（曲率が大きくなる方向）ところで、局所的に側摩耗が大きい傾向にあった。



図2 事故現場付近のレール断面図



図3 事故現場付近のレール

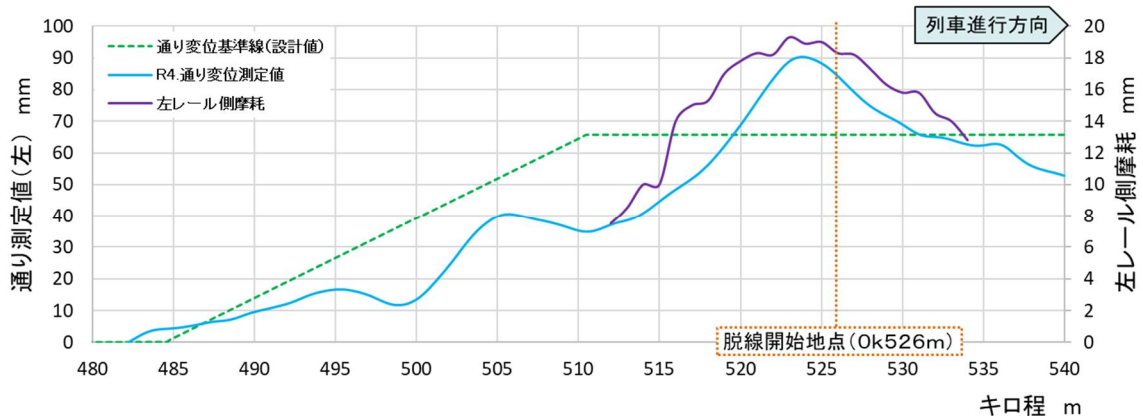


図4 レール側摩耗と通り測定値

*11 「レールフロー」とは、車輪が繰り返し通過して大きな接触圧が生じることにより、レール表面の金属が塑性流動してはみ出したものをいう。

2.3.2.5 線路の保守体制

本事故発生時点の同社における線路の保守体制は、保線を担当する現業機関である工務区の区長を筆頭に総勢7名の工務区員によって、大鰐線13.9km及び弘南線16.8kmの合計30.7kmの線路の保守を行うものであった。

工務区の主な作業内容は、軌道・土木構造物等の検査及び軌道工事（補修作業）である。なお、検査については、ほぼ直轄で行っているが、2.3.2.3(1)に記述した軌道変位検査は、外部業者に作業を委託している。また、軌道工事については、長延長のレール交換及び道床交換等の比較的大規模な工事は、外部業者に作業を委託しているが、小規模な軌道変位の補修作業やレール及びまくらぎの交換作業等については直轄で行っている。

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。本件列車の車両の主要諸元は表3のとおりである。

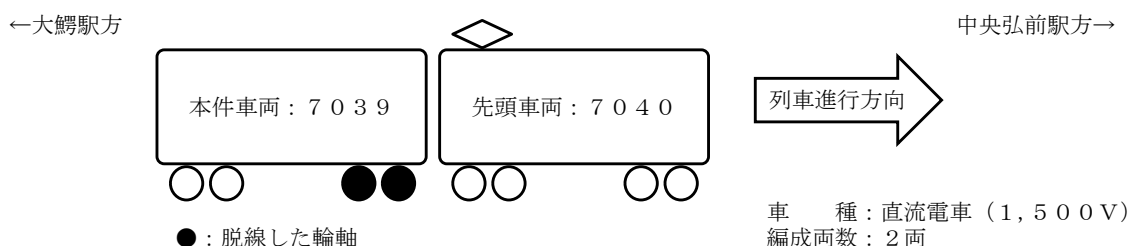


図5 本件列車の編成

表3 本件列車各車両の主要諸元

車両諸元	車両	
	本件車両（7039）	先頭車両（7040）
車両形式	デハ7000M2C	デハ7000M1C
編成定員	140名	←
空車重量	28.0 t	28.2 t
車両長	18.0 m	←
台車中心間距離	12.0 m	←
台車形式	PⅢ-701 軸箱支持：防振ゴム 車体支持：空気ばね（ダイレクトマウント）	←
固定軸距	2.1 m	←
車輪踏面形状	基本踏面	←
車輪フランジ角度	60°	←
車輪径	860mm	←
車輪幅	125mm	←
製造年	昭和40年（1965年）	←

←：左に同じ

2.4.2 台車

台車は、パイオニアⅢ台車（PⅢ-701台車）を使用している。その構造の概要は次のとおりとなっている。

- (1) 台車枠は、左右に分割され、その中心部に設けられたジョイントにより結合している。これにより、左右に分割された台車枠は独立して動くことができ、軌道面のねじれに追従可能な構造となっている。（図6参照）

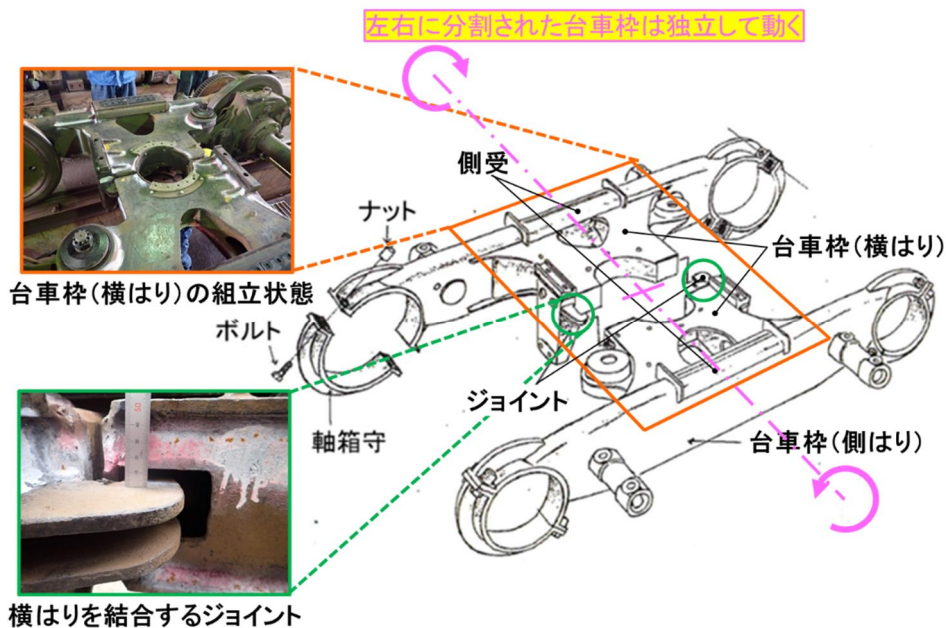


図6 パイオニアⅢ台車の台車枠の組立及び構造

- (2) 軸箱支持装置は、軸箱守に防振ゴムを挿入して側はりと直結している。（図7参照）

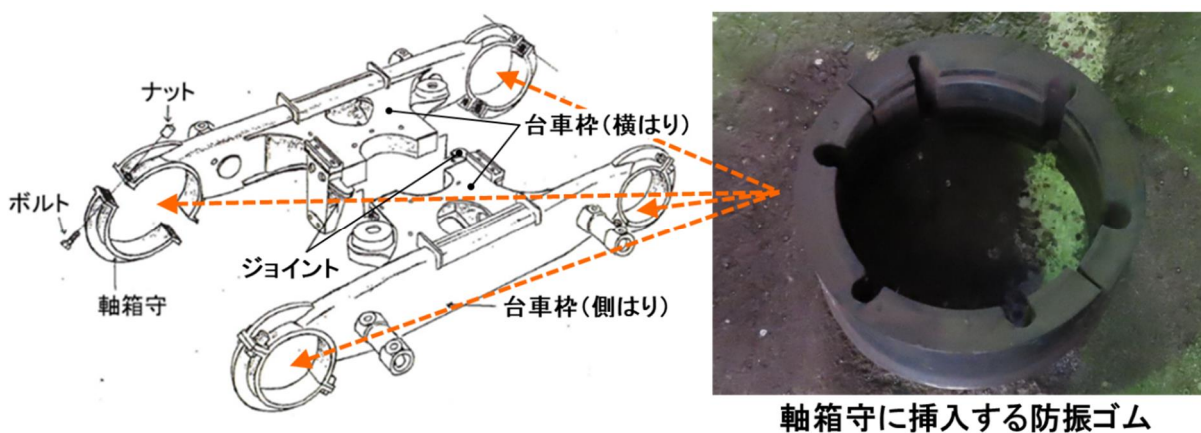


図7 パイオニアⅢ台車の軸箱支持装置

実車を用いて前台車第1軸の軸箱を持ち上げた際の輪重変化を測定し、パイオニアⅢ台車の軌道のねじれに対する追従性を調査した結果、軸距平面性10mmに対する先頭軸外軌側の輪重減少量は1.55kNと小さかった。

2.4.3 車体支持装置

車体支持装置は、空気ばねを用いたダイレクトマウント方式^{*12}である。本件列車の車体支持装置の構造は次のとおりである。

- (1) 左右動ストッパ間隔は、15mmである。
- (2) ボルスタアンカ^{*13}は、車軸中心より255mm高い位置に設置されている。
- (3) 空気ばねは、ベローズ形で各台車の左右に一つずつ取り付けられている。
 - ① 先頭車両後台車及び本件車両前台車には差圧弁^{*14}があり、左右の空気ばねにはそれぞれ自動高さ調整弁^{*15}（以下「LV」という。）が取り付けられている。これらは、それぞれに取り付けられたLVの作用により、空気ばねの高さを調整し2点で車体を支持（以下「2点支持台車」という。）する。
 - ② 先頭車両前台車及び本件車両後台車には差圧弁がなく、左右の空気ばねが空気管路で連絡され、左右の空気ばねの圧力は等しくなるようにして、1点で車体を支持（以下「1点支持台車」という。）する。

また、運転席側の空気ばねに一つLVを取り付け、これにより左右の空気ばねの高さを調整し構造上1点で車体を支持する。

以上のことから、本件列車に使用される車両は、空気ばねによる2点支持台車と1点支持台車を組み合わせて、車体を3点で支持（以下「3点支持方式^{*16}」という。）するものである。（図8参照）

なお、一般的な鉄道車両は、ほとんどが、前後両台車に2点支持台車を装備し、車体を4点で支持（以下「4点支持方式」という。）する方式である。（図9参照）

- (4) まくらばり（ボルスタ）と台車枠（側はり）の間に側受ゴムが挿入されている。

*12 「ダイレクトマウント方式」とは、まくらばねを車体の直下に置き、まくらばりや心皿及び側受等をまくらばねより下に配置した、台車枠と車体との間に用いる緩衝用のばねの方式をいう。

*13 「ボルスタアンカ」とは、まくらばりと車体又は台車枠との間に介在して、駆動力や制動力など前後方向の力を伝える棒状の部品のことをいう。

*14 「差圧弁」とは、左右の空気ばねの圧力差を一定値以下に抑えるために設けられた弁のことをいう。（DPV : Differential pressure valve）左右の内圧差がある値より大きくなると、圧力の大きい方から小さい方へ空気を移動させて左右の圧力差をなくし、輪重抜けなどを防止する。

*15 「自動高さ調整弁」とは、空気ばねの高さを一定の範囲に保つため、負荷変動により生じる空気ばねの高さ変化を検出して空気の吸排気を行う弁のことをいう。（LV : Leveling Valve）

*16 「3点支持方式」とは、空気ばねによる車体支持方式の一つである。4個の空気ばねで車体を支持するとき、一方の台車の空気ばねにはそれぞれ自動高さ調整弁を取り付け、左右の空気ばねを差圧弁で結合するが、他方の台車の空気ばねは、左右を連通させて1個の自動高さ調整弁を取り付けて車体を支持するものをいう。

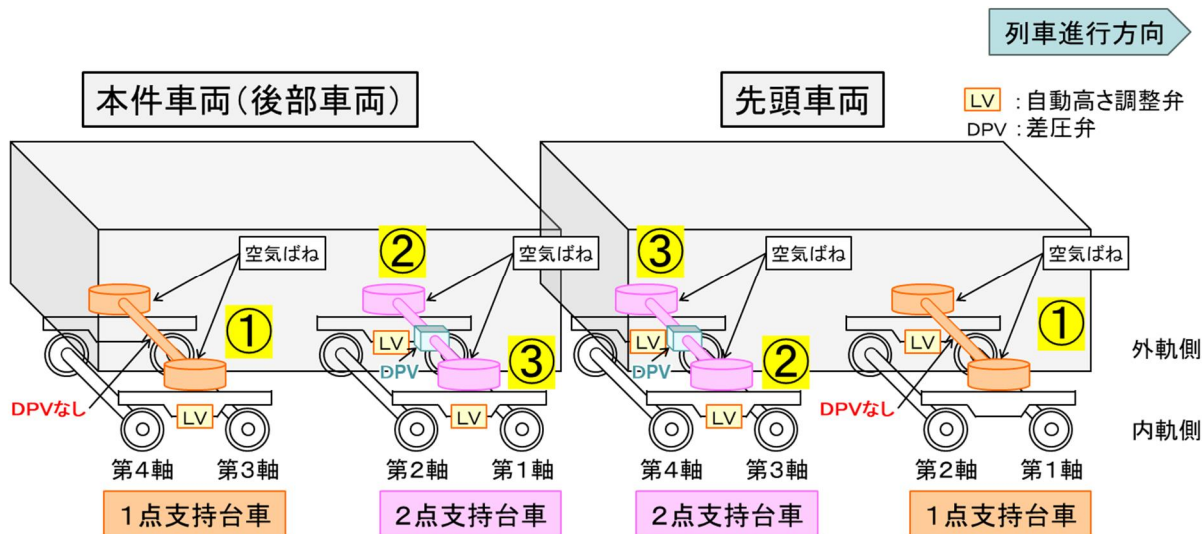


図8 本件列車の編成（車体の3点支持方式）

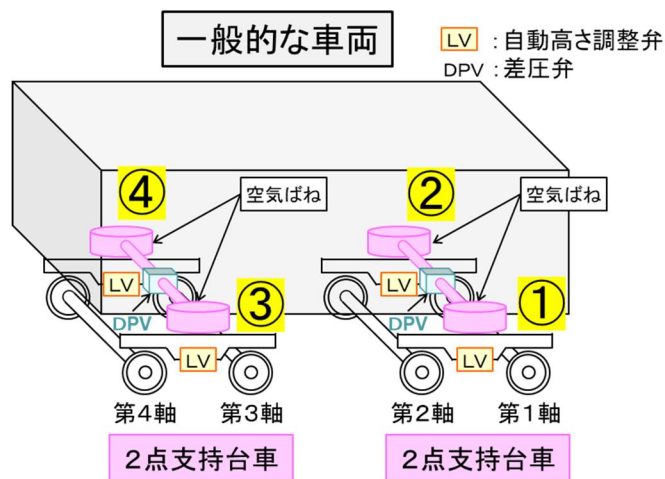


図9 一般的な車両（車体の4点支持方式）

2.4.4 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^{*17}、重要部検査^{*18}、状態・機能検査^{*19}があり、検査種類ごとに定められた期間又は車両の走行距離によって定期的に行われている。

また、車両の使用状況に応じ、車両の消耗品の状態及び主要部分の機能について

*17 「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。

*18 「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km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。

*19 「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。

14日を超えない期間ごとに列車検査を行っている。

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、車輪内面距離、フランジ高さ、フランジ厚さ及び車輪径の検査を行っている。

各項目の使用限度値は表4のとおりである。

車両の静止輪重^{*20}の管理については、全般検査及び重要部検査時に静止輪重の測定を行い、静止輪重比^{*21}10%以内を目標値とし、20%を限度として管理することとされている。

表4 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
フランジ厚さ	2.1mm以上
車輪径	790mm以上

なお、LVについては、状態・機能検査、重要部検査及び全般検査で、車体とLVのレバーを接続する連結棒の損傷及び変形、各部の取付け状態の検査を行うこととされている。

2.4.5 車両の定期検査等に関する情報

2.4.5.1 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30年5月24日
重要部検査	令和4年4月27日
状態・機能検査	令和5年7月27日
列車検査	令和5年7月25日

2.4.5.2 輪軸の検査状況

本事故発生前直近の状態・機能検査の検査結果及び本事故発生後に測定した結果を表5に示す。これによれば、本件列車の車輪内面距離、フランジ高さ、フランジ厚

*20 「静止輪重」とは、直線でカントのない区間で静止状態にて鉛直方向に作用する輪重のことをいう。

*21 「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。

さ及び車輪径は、いずれも表4に示す使用限度値内で、異常は見られなかった。

表5 輪軸各部の寸法測定結果

項目	検査種類	先頭車両 (7040)							
		後台車				前台車			
		第2軸		第1軸		第2軸		第1軸	
		左	右	左	右	左	右	左	右
車輪内面距離 (mm)	状態・機能検査	992		991		991		991	
	本事故発生後測定	992		991		991		991	
フランジ高さ (mm)	状態・機能検査	26.5	26.9	27.3	26.5	26.5	26.9	26.7	26.2
	本事故発生後測定	26.9	27.4	27.4	27.1	27.8	27.7	27.2	26.6
フランジ厚さ (mm)	状態・機能検査	31.5	31.0	31.3	31.2	31.4	31.4	30.5	30.6
	本事故発生後測定	28.2	28.1	28.2	28.8	28.7	29.3	29.6	28.4
車輪径 (mm)	状態・機能検査	835	835	835	835	834	834	834	834
	本事故発生後測定	835	834	835	835	836	833	833	832

項目	検査種類	本件車両 (7039)							
		後台車				前台車			
		第2軸		第1軸		第2軸		第1軸	
		左	右	左	右	左	右	左	右
車輪内面距離 (mm)	状態・機能検査	991		991		992		993	
	本事故発生後測定	991		991		992		993	
フランジ高さ (mm)	状態・機能検査	26.7	27.4	27.0	26.7	26.6	26.8	26.6	26.4
	本事故発生後測定	26.9	27.3	27.4	26.9	26.5	27.1	26.9	26.9
フランジ厚さ (mm)	状態・機能検査	32.0	32.3	31.5	31.0	30.8	31.6	31.2	31.3
	本事故発生後測定	29.4	28.4	28.6	27.6	28.1	28.4	28.4	28.3
車輪径 (mm)	状態・機能検査	836	836	835	835	835	835	835	835
	本事故発生後測定	836	836	836	835	836	835	837	837

※ 「左」は進行方向左車輪、「右」は進行方向右車輪を示す。

※ 状態・機能検査 : 令和5年7月27日

※ 本事故発生後測定 : 令和5年8月9日

2.4.5.3 静止輪重及び静止輪重比の状況

本事故発生前直近の静止輪重の測定結果及び本事故発生後の測定結果を表6に示す。表6より、静止輪重比はいずれも目標値(10%)以内で、異常は見られなかった。

なお、同社によると、静止輪重の測定は、空気ばねの高さ調整をした後、空気ばね内の圧縮空気を全て排気してから測定するとのことであった。

表6 静止輪重の測定結果

検査種類	項目	先頭車両（7040）							
		後台車				前台車			
		第2軸		第1軸		第2軸		第1軸	
		左	右	左	右	左	右	左	右
重要部検査	静止輪重（kN）	39.0	34.0	35.0	37.0	40.0	38.0	39.0	40.0
	静止輪重比（%）	6.8		2.8		2.6		1.3	
本事故発生後測定	静止輪重（kN）	40.0	34.0	38.0	36.0	38.0	42.0	38.0	44.0
	静止輪重比（%）	8.1		2.7		5.0		7.3	

検査種類	項目	本件車両（7039）							
		後台車				前台車			
		第2軸		第1軸		第2軸		第1軸	
		左	右	左	右	左	右	左	右
重要部検査	静止輪重（kN）	39.0	40.0	40.0	39.0	39.0	34.0	38.0	38.0
	静止輪重比（%）	1.3		1.3		6.8		0.0	
本事故発生後測定	静止輪重（kN）	40.0	34.0	40.0	36.0	35.0	38.0	33.0	40.0
	静止輪重比（%）	8.1		5.3		4.1		9.6	

※「左」は進行方向左車輪、「右」は進行方向右車輪を示す。

※重要部検査：令和4年4月27日

※本事故発生後測定：令和5年8月9日

2.4.5.4 LVの検査状況

本事故発生前直近のLVの定期検査は、令和5年7月27日に状態・機能検査が行われ、その結果に異常に関する記録はなかった。

2.4.6 本事故発生後の本件車両前台車の車輪形状及び車輪のフランジ角度

2.4.1の表3に示したように、本件列車の車両の車輪フランジ角度は60°に削正される。本事故発生前直近の車輪削正は、令和3年11月に実施され、その後、本事故発生までの走行距離は56,433.6kmであった。

本事故発生後に、脱線した本件車両前台車の第1軸及び第2軸の車輪の形状を測定した結果を図10に示す。図10のとおり、本件車両前台車の車輪フランジ角度は、約71°～約72°であった。

なお、脱線した輪軸の先頭となる本件車両前台車の第1軸左側車輪のフランジ角度は、約71°であった。

凡例： — 設計値、 — 本件車両測定値

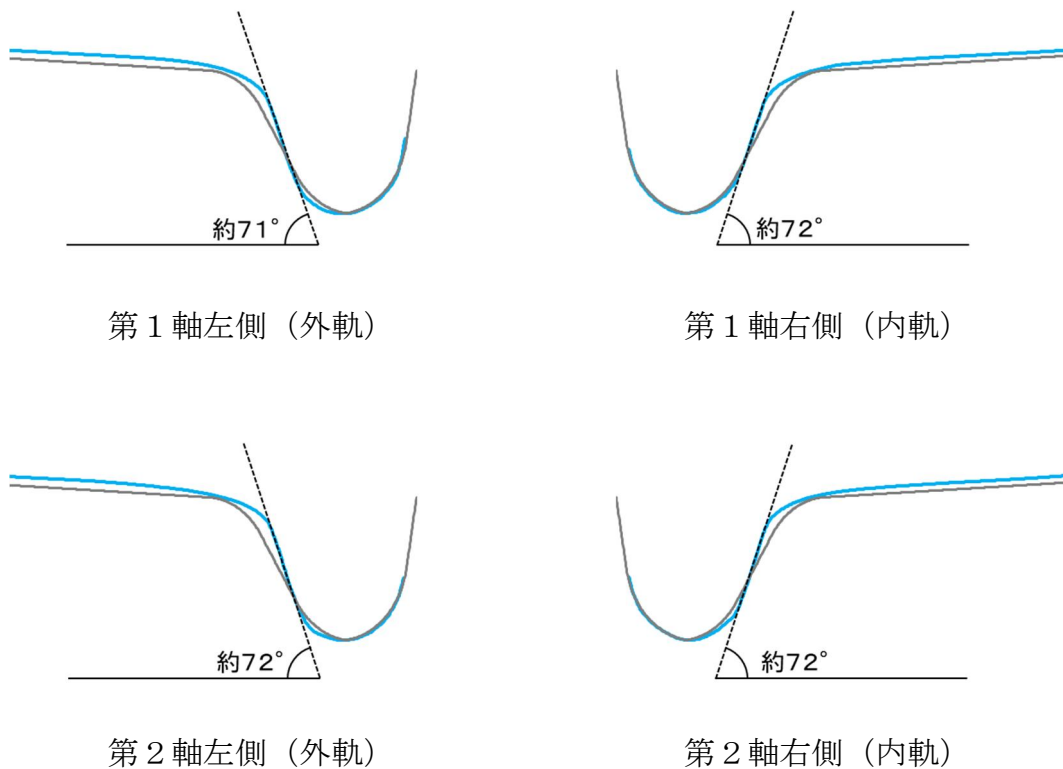


図10 本事故発生後の本件車両前台車の車輪形状及びフランジ角度

2.5 線路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、痕跡の状況

- (1) 脱線開始地点（0 k 5 2 6 m付近）の左レール（外軌）のゲージコーナー側の頭部側面からレール頭頂面にかけて、左車輪のフランジが乗り上がり、レール頭頂面を走行し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右レール（内軌）には、脱線の痕跡は確認されなかった。

- (2) 脱線開始地点（0 k 5 2 6 m付近）から0 k 5 2 9 m付近まで及び0 k 5 2 9 m付近から0 k 5 3 2 m付近までには、左レール（外軌）上に軌間内側から外側へ斜めに横切る、車輪フランジの先端が走行したことによるものと見られる痕跡があった。

- (3) 0 k 5 2 9 m付近から列車が停止した0 k 5 7 7 mまでの左レール（外軌）の軌間外には、左車輪が軌間外に落下して車輪のフランジがまくらぎ及びレール締結装置の上を走行したと見られる痕跡及び損傷があった。また、同区間の軌間内には、右車輪が落下して車輪のフランジがまくらぎ及びレール締結装置の上を走行したと見られる痕跡及び損傷があった。

なお、これらの痕跡は、0 k 5 2 9 m付近からは1本、0 k 5 3 2 mから

は2本の車輪が走行した痕跡であった。

- (4) 脱線開始地点（0 k 5 2 6 m付近）から列車が停止した0 k 5 7 7 mまでの左レールの左側面には車輪の裏リム面及び安全レールの右側面には車輪の表リム面が交互に擦ったと見られる痕跡があった。

安全レールの締結状態及び道床については、特に異常はなかった。

(付図5 脱線の痕跡 参照)

2.5.2 車両の損傷、痕跡の状況

- (1) 本件車両前台車の第1軸左車輪の表リム面には、安全レールとの接触によるものと見られる痕跡があった。

また、同車輪の裏リム面には、軌間外の左レール左側面との接触によるものと見られる痕跡があった。

なお、同台車の第2軸左車輪の表リム面には、安全レールとの接触によるものと見られる痕跡はなかった。

- (2) 本件車両前台車の第1軸及び第2軸左右の車輪フランジ、車輪踏面には、脱線して走行したと見られる擦過痕及び打痕があった。
- (3) 本件車両前台車の第1軸歯車箱底部に破損があった。
- (4) 本件車両前台車の第2軸主電動機通風口に打痕があった。

(付図7 車両の損傷と痕跡 参照)

2.6 乗務員に関する情報

本件運転士 50歳

甲種電気車運転免許 平成21年12月18日

2.7 運転取扱いに関する情報

運転取扱いについては、届出実施基準の一部である「運転実施基準」で定められている。本件曲線の運転速度については、次のように定められている。

- ① 列車の最高速度（大鰐駅～宿川原駅間）：45 km/h
- ② 曲線の制限速度（曲線半径190 m）：40 km/h

また、本件曲線には、運転速度30 km/hの速度制限が設定されている。

なお、同社が本件列車の運転に適用している運転曲線図によると、運転曲線に沿って運転した場合、大鰐駅から3.1.1に後述する脱線開始地点を通過するまでに約1分25秒掛かり、脱線開始地点付近の速度は25 km/hである。

2.8 気象に関する情報

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、事故現場の最寄りの青森地方気象台碓ヶ関^{いかりがせき}地域気象観測所の記録によれば、本事故発生当日の11時から12時までの間、降水はなかった。また、11時30分の気温は31.5℃、湿度は70%、風向・風速は北北西1.8m/sであった。

3 分析

3.1 本事故の状況に関する分析

3.1.1 脱線地点に関する分析

2.5.1(1)に記述したように、0k526m付近の左レール（外軌）のゲージコーナー側の頭部側面からレール頭頂面にかけて、左車輪が軌間内から乗り上がり走行したと見られる痕跡があり、これより手前及び同地点の右レール（内軌）には、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（脱線開始地点）は、0k526m付近の左レール（外軌）であると考えられる。

3.1.2 本事故発生時の走行速度に関する分析

2.1.1に記述した本件運転士の口述によると、本事故現場付近を速度約25km/hで走行していたこと、2.7に記述したように本件列車の運転に適用している運転曲線図によると、本事故現場付近の速度は25km/hであることから、本事故発生時の走行速度は約25km/hであったと考えられる。

また、2.7に記述したように、本件曲線は30km/hの速度制限区間であったことから本事故現場付近では速度超過はなかったものと考えられる。

3.1.3 本事故発生時の時刻に関する分析

2.1.1に記述したように、本件運転士の口述によると、本件列車が停止した時刻は11時32分ごろであったこと、本件列車は大鰐駅を定刻の11時30分に出発し、2.7に記述したように脱線開始地点までの所要時間は約1分25秒であることから、本件列車が脱線した時刻は、11時31分ごろであったと考えられる。

3.1.4 脱線の状況に関する分析

3.1.1及び2.5.1に記述した脱線開始地点及び鉄道施設の痕跡から、本件車両前台区の第1軸は、0k526m付近で左車輪が左レール（外軌）に乗り上がり、0k529m付近で左に脱輪し、0k557m付近に停車したのものと考えられる。

なお、同台車の第2軸は、本件曲線を走行する場合後軸となり、大きなアタック角^{*22}を有した状態で走行する第1軸（前軸）と比較して、乗り上がり脱線を起こす可能性は極端に低いことから、第1軸の脱輪の影響により、0 k 5 2 9 m付近から追従するように左レール（外軌）に乗り上がり、0 k 5 3 2 m付近で左に脱線したものと考えられる。

3.2 軌道に関する分析

3.2.1 軌道変位

(1) 通り変位

2.3.2.3(2)②に記述したように、令和5年軌道変位においては、通り変位が整備基準値を超過していた。この通り変位については、脱線開始地点付近において、曲率が大きくなる（曲線半径が小さくなる）方向に非常に大きな変位が存在していたことから本件列車の脱線に関与があったと考えられる。

ここで、通り変位については、2.3.2.3(1)に記述したように、同社は基準線を設計値として算出しているが、一般的に曲線全体が設計値から大きくずれている軌道の通り変位を算出する方法の一つとしては、測定値の移動平均により基準線を設定する方法（以下「移動平均法」という。）がある^{*23}。本件曲線の通り変位を移動平均法により算出した結果を図11の下図に示す。

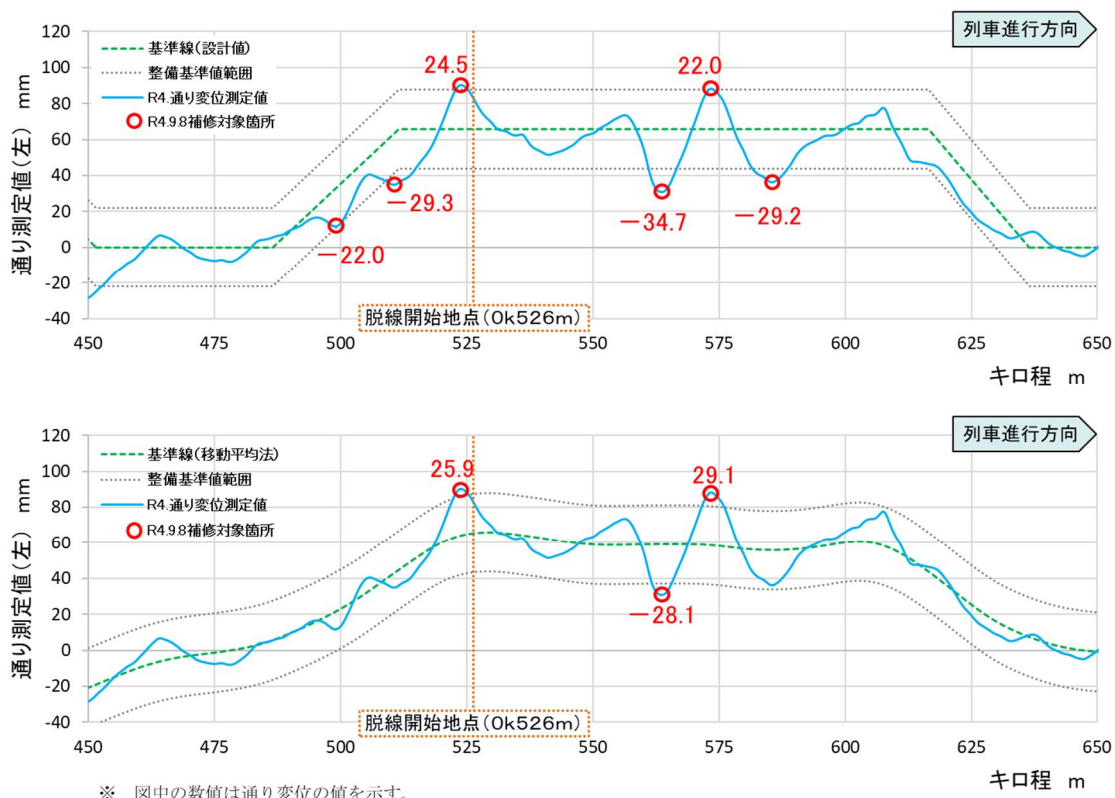
図11より、移動平均法により算出した通り変位は、0 k 5 2 2 m付近で+25.9 mm、0 k 5 6 2 m付近で-28.1 mm、0 k 5 7 2 m付近で+29.1 mmであった。

なお、これらの値は、基準線を設計値とした場合の通り変位と比較して、プラス側にやや大きくなっており、整備基準値を超過する箇所数は減少するものの、5.2.1(3)に後述する列車の運転規制（25 km/h以下の徐行）を行う必要のある非常に大きなものであった。

非常に大きな通り変位が存在したことについては、2.3.2.3(3)②に記述したように、通り変位の補修を簡易な補修としていたため、十分な補修ができておらず通り変位の進みが速くなっていたことが関与している可能性があると考えられる。

*22 「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、この角度が大きいか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。

*23 参考文献：「鉄道構造物等維持管理標準（軌道編）の手引き」（財団法人鉄道総合技術研究所、平成19年、pp20-21）



※ 図中の数値は通り変位の値を示す。

図 1 1 基準線の算出方法と通り変位

また、表 7 に大鰐線全線における令和 4 年軌道変位の通り変位の基準線を設計値とした場合と移動平均法とした場合の補修対象箇所数を示す。基準線を設計値とした場合の補修対象箇所数は、移動平均法とした場合と比較して大幅に多い。

このことから、同社が補修を簡易な方法で行っていたことや、未補修箇所があったことについては、通り変位の基準線を設計値としていたことで、補修対象数が多数となったことが関与していたと考えられる。

表 7 基準線の算出方法による補修対象及び補修状況（大鰐線）

令和 4 年軌道変位	補修対象	補修実績	未補修
通り変位(設計値)	129 箇所	104 箇所	25 箇所
通り変位(移動平均)	24 箇所	16 箇所	8 箇所

※ 補修対象は、通り変位における 10m 間の絶対値の最大値が整備基準値に達している箇所としている。
 ※ 補修を行った作業記録が確認できなかった箇所を未補修として計上している。

(2) 平面性変位

2.3.2.3(2)②に記述したように、令和 5 年軌道変位においては、2 か所で

5 m平面性変位が整備基準値を超過していた。しかし、これらの平面性変位については、脱線開始地点付近から25 m以上離れていることから、本事故の発生への関与はほぼないと考えられる。

(3) 水準変位

2.3.2.3(2)②に記述したように、水準変位については、片側のみにあるレール継目の継目落ちによる水準変位が発生している傾向が見られることから、本件車両の車体ローリングの発生に影響していた可能性があると考えられる。

3.2.2 カント

本件曲線の半径は190 mであり、3.1.2に記述した本件列車の本事故発生時の速度約25 km/hにおける均衡カント*24は約28 mmである。本件曲線の設定カントは71 mmであることから、カント不足量は-43 mmとなり、本事故発生時において本件列車はカント超過の状態であったと考えられる。

なお、2.7②に記述した本件曲線の制限速度である40 km/hでの均衡カントは71 mmで、本件曲線の設定カントと一致する。

3.2.3 レールの摩耗

2.3.2.4(2)に記述したように、脱線開始地点の左レール（外軌）の摩耗量は、本事故発生時において約18.3 mmであり、レールの交換基準14 mmを超えていた。脱線開始地点の左レール（外軌）と2.4.6に記述した本件車両前台車第1軸の左車輪の断面が接触している状況を図12に示す。

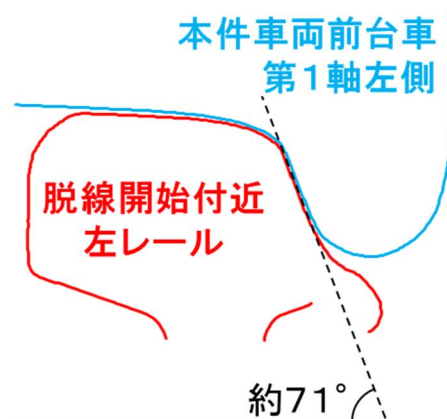


図12 脱線開始地点のレールと本件車輪の断面状況

図12から、脱線開始地点のレールの摩耗角度と、本件車輪のフランジ角度は同

*24 「均衡カント」とは、曲線通過速度と曲線半径に応じて発生する遠心力と重力の合力が、軌道面に対して垂直となる時のカントをいう。

程度であり、車輪・レールの接触角度は約 71° であったと考えられる。

これは、本件車両の車輪削正時の車輪フランジ角度である 60° 以上であり、乗り上がり脱線は車輪・レールの接触角度が大きいほど発生しづらいことから、本事故時における脱線開始地点付近のレール及び車輪の摩耗が直接脱線に及ぼした影響は小さかったと考えられる。

ただし、レールの締結状態の悪化によるレール小返りの発生等の条件によっては、車輪・レールの接触角度が現状より極端に小さくなり脱線に影響を与える可能性が考えられる。

また、2.3.2.4(2)に記述したように、脱線開始地点付近においては、局所的なレール側摩耗が発生しており、その摩耗量が通り変位に影響を与えていることから、レール交換等により通り変位を改善する効果もあると考えられる。

さらに、局所的なレール側摩耗が発生していたことは、通り変位が大きくなり、実質の曲率が大きくなると、レール側摩耗の発生に影響を与える横圧も大きくなることから^{*25}、同地点の通り変位が長期にわたって大きい状態が続いていたことによる可能性があると考えられる。

3.2.4 軌道部材（レールの摩耗を除く）

2.3.2.3(5)に記述した軌道部材の定期検査の結果より、レール・まくらぎ・道床等の軌道材料に脱線に直接影響を与える異常はなかったと考えられる。

3.3 車両に関する分析

3.3.1 台車

2.4.2に記述したように、本件列車の各車両に使用されている台車は、台車の左右部分の独立した動きが可能な構造であることから、中心部で相互にねじれ、一定程度の軌道の平面性変位に対する追従性が確保されており、実車を用いた調査結果からみて、軌道のねじれによる輪重減少量は小さい^{*26}と考えられる。

3.3.2 車体支持装置の制御

2.4.3に記述した本件車両の車体支持装置の制御に関する特徴は、前台車に2点支持台車、後台車に1点支持台車を設備し、車体を3点で支持しているもので、車体ローリングに対する復元力は、2点支持の前台車側でのみ負担する構造である。そのため、カント超過の状態では車体のロール変位が4点支持方式の車両より大きく

*25 参考文献：「軌道構造と材料 ー軌道・材料の設計と維持管理ー」（株式会社交通新聞社、平成13年、p57）

*26 参考文献：「鉄道電気車両 台車 ー構造、機能と設計ー」（一般社団法人日本鉄道車両機械技術協会、平成30年、p71）

なる傾向があるほか、走行する軌道にローリングを励起する軌道変位があった場合等に車体ローリングが大きくなりやすい特徴を有する^{*27}と考えられる。

また、大きなカント超過の状態が継続すると、車体のロール変位を戻すために2点支持台車の外軌側LVが排気、内軌側LVが給気するため、1点支持台車より外軌側車輪の輪重減少量が大きくなる場合があると考えられる。

3.3.3 静止輪重比に関する分析

2.4.5.3に記述したように、本件列車の静止輪重比はいずれも目標値（10%）以内に管理されており、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。

ただし、同社による静止輪重測定は、空気ばね内の圧縮空気を全て排気して測定したものであり、一般に正確な静止輪重を測定するためには、空気ばね内の圧縮空気を排気しない運転整備状態で測定する方がより正確な値が測定できるため、同社は測定方法を改善することが望ましい。

3.3.4 車輪フランジ角度について

2.4.1表3で示したとおり、本件車両の車輪フランジ角度は60°に整正することとされていた。3.2.4に記述したように、本事故の発生に車輪フランジ角度が直接影響したわけではないと考えられるが、側摩耗が進んでいないレールでは、一般的にフランジ角度が大きいほど脱線しにくいと考えられる。^{*28}

したがって、車輪フランジ角度を大きくすることは、脱線を防止するうえでは重要であることから、同社は、車輪フランジ角度の設計値を現状より大きくすることを検討することが望ましい。

3.4 気象に関する分析

2.8に記述したように、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、降水量はなく、気温は31.5℃、湿度は70%、風向・風速は北北西1.8m/sであった。このことから、脱線の発生に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。

*27 参考文献：「鉄道車両のダイナミクス－最新の台車テクノロジー」（日本機械学会編、株式会社電気車研究会、平成8年、pp54-55）

*28 参考文献：「台車・輪軸―保守のポイント―」（一般社団法人日本鉄道車両機械技術協会、平成31年、p36）

3.5 脱線メカニズムに関する分析

本事故は、

- (1) 2.5.1に記述したように、0 k 5 2 6 m付近の左レール(外軌)のゲージコーナー側の頭部側面にフランジが乗り上がった痕跡があり、これより手前及び同地点の右レール(内軌)には、脱線の痕跡は確認されなかったこと、
- (2) 3.2.2に記述したように、レール・まくらぎ・道床等の軌道材料に脱線に直接影響を与える異常はなかったと考えられること、
- (3) 3.2.1(1)に記述したように、脱線開始地点付近に大きな通り変位があり、脱線に関与した可能性があると考えられること

から、0 k 5 2 6 m付近で左車輪がレールに乗り上がったことによる乗り上がり脱線が発生したものと考えられる。乗り上がり脱線に至ったメカニズムについては、車両及び軌道の状況から次のとおり分析を行った。

3.5.1 急曲線部低速走行時の乗り上がり脱線の可能性

乗り上がり脱線に至ったメカニズムとして、急曲線をカント超過の状態で行き列車が走行する際、車両の輪重アンバランスや軌道の平面性変位等により外軌側車輪の輪重が減少し、軌道の通り変位等により横圧やアタック角が増加して乗り上がり脱線(以下「急曲線部低速走行時の乗り上がり脱線」という。)が発生することが想定される。

急曲線部低速走行時の乗り上がり脱線の可能性を検証するため、本事故発生時における本件車両及び脱線開始地点付近の軌道の諸元による推定脱線係数比^{*29}を算出した。

その結果、脱線開始地点付近の推定脱線係数比は1.8となり、目安値の1.2と比較して余裕があった。

推定脱線係数比に余裕があったことについては、3.3.1に記述したように、本件車両に使用している台車が平面性変位への追随性が良く、軌道ねじれによる輪重減少量が小さいことが関与しているとともに、脱線開始地点付近の整備基準値を超える通り変位による前台車第1軸外軌側車輪のアタック角や横圧の増加、3点支持方式が車両有効重心高さに及ぼす影響等を推定脱線係数比の計算に考慮しきれていない可能性が考えられる。

*29 「推定脱線係数比」とは、平成12年3月に営団日比谷線中目黒駅構内において発生した列車脱線衝突事故の再発防止策として提案されたもので、急曲線低速走行時の乗り上がり脱線防止対策として用いられる評価指標で限界脱線係数を推定脱線係数比で除して算定するものをいう。限界脱線係数は先頭軸のアタック角に応じてナダルの式で計算される値、推定脱線係数はモデル式により計算される脱線係数の値で、車両と軌道の組合せを考慮した安全性評価が可能である。

3.5.2 車体ローリングが関与する乗り上がり脱線の可能性

本件車両は、3.3.2に記述したように、前台車に2点支持台車、後台車に1点支持台車を設備している3点支持方式の車両で、車体ローリングが大きくなりやすい特徴を有すること、また、脱線開始地点付近では、3.2.1(1)及び(3)に記述したように大きな通り変位及びレール継目の継目落ちに起因した周期的な水準変位が存在し、車体ローリングを励起する傾向であったと考えられることから、本件列車が乗り上がり脱線に至ったメカニズムについては、

- (1) 3.5.3に後述するように、カント超過の影響により外軌側の輪重が減少していたことに加え、
- (2) 脱線開始地点付近で車体ローリングによって、後部車両の前台車第1軸の左側（外軌側）の輪重が変動し小さくなり、
- (3) 更に大きな通り変位により横圧及びアタック角が増加し、前台車第1軸の外軌側車輪がレールに乗り上がることで脱線した可能性があるものと考えられる。

3.5.3 カント超過の影響

3.2.3に記述したように、本事故発生時において本件列車はカント超過の状態であったと考えられる。図13に示すように、カント超過の状態では、遠心力と重力の合力が左右車輪の中心から内軌寄りに向くため、曲線通過中における内軌側の定常的な輪重が増加し、外軌側の輪重が減少することで、乗り上がり脱線が発生しやすくなると考えられる。

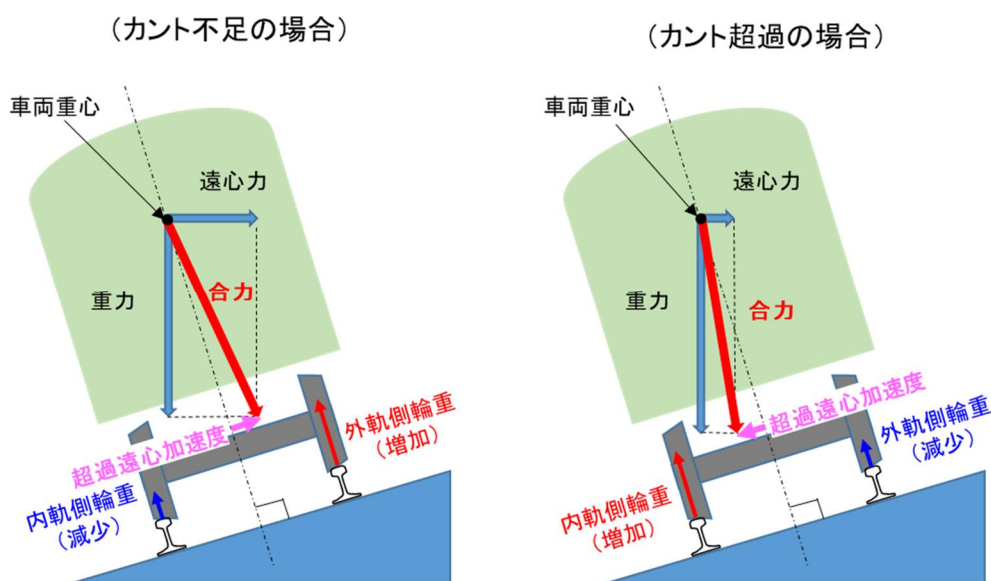


図13 カントの状態による輪重の増減

なお、本件曲線を、3.1.2に記述した本事故発生時の走行速度である25 km/hで走行した場合の超過遠心加速度^{*30}を、2.3.2.3(2)②に記述した本件曲線の通りと水準の測定値から算定した結果を図14に示す。図14から本事故発生時において脱線開始点付近では内軌方向に約0.35 m/s²の超過遠心加速度が作用していたと考えられる。

また、0k475m～0k575mにかけて一定波長12.5mの超過遠心加速度の変動がみられることから、3.5.2に記述した車体ローリングを更に誘起した可能性が考えられる。

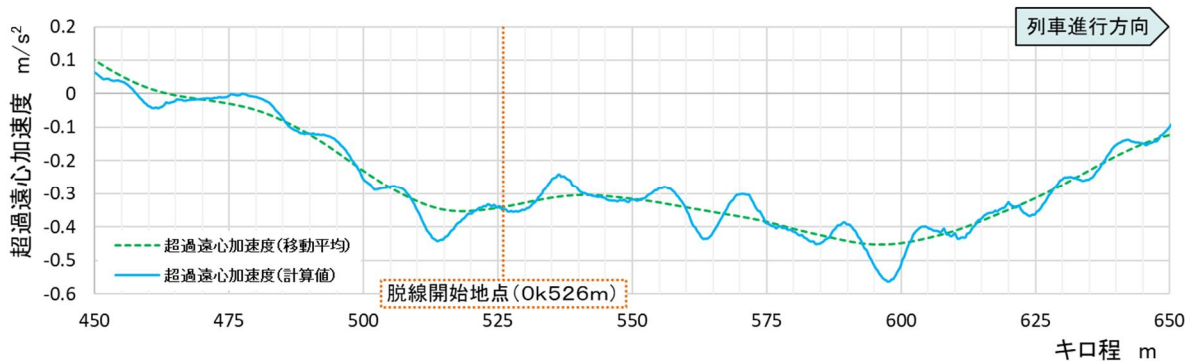


図14 本事故発生時における超過遠心加速度（列車走行速度：25 km/h）

3.6 軌道の維持管理に関する分析

3.6.1 通り変位の管理

2.3.2.3(3)に記述したように、同社は軌道変位の定期検査において、軌道整備基準値を超過していた箇所を対象に補修を行っていたが、通り変位について、未補修の箇所があり、さらに補修した箇所も簡易な補修で補修効果が少なかったと考えられることから、十分な通り変位の管理を行っていなかった可能性があると考えられる。

よって、同社は、通り変位の軌道整備基準値を超過した箇所については速やかに補修を行い、かつ、より効果的な補修を行うなど、通り変位の管理についてのレベルアップを図る必要がある。

また、通り変位の軌道整備基準値を超過していた箇所について、適切な補修を行っていなかった理由の一つとして、3.2.1(1)に記述したように、同社が基準線の設定に設計値を用いていたため、通り変位の整備基準値超過箇所が必要以上に多くなっていたと考えられる。同社は、同社が管理する軌道状態を鑑み、移動平均法等の方法により基準線を設定し、本来修繕が必要な箇所を適切に選出し、必要な修繕が行えるよう合理的な通り変位の管理を行うことが望ましい。

*30 「超過遠心加速度」とは、曲線を走行する際に車両に働く軌道面に平行な平面内の左右方向の加速度をいう。

3.6.2 カントの補正工事

3.5.3に記述したように、カント超過での走行は、外軌側の輪重が減少することで、乗り上がり脱線が発生しやすくなるため、同社は、本件曲線を含むカント超過が大きな曲線については、極力カント超過状態での走行を避けるため、走行する列車の速度を考慮したカントを曲線に設定することが望ましく、カントが大き過ぎる場合は、カント量を減らす補正工事を実施することが望ましい。

3.6.3 レールの摩耗管理

2.3.2.3(5)①に記述したように、同社はレールの摩耗の検査を原則目視で行い、必要によりレール摩耗定規を使用して行っていたが、2.3.2.4(2)に記述したように本件曲線の外軌はレール交換基準を超えていたにもかかわらず交換されていなかった。

3.2.3に記述したように、本事故時における脱線開始地点付近のレールの摩耗が直接脱線に及ぼした影響は小さかったと考えられるが、レール摩耗によりレールの断面積が減少すると、レールに発生する応力などの関係からレールの損傷等が起こる可能性があると考えられることから、同社は、レールの検査における技術・技能の向上に努めると共に、レールの交換基準に達するまでに、計画的にレール交換をすることが必要である。

3.6.4 線路の保守体制

2.3.2.5に記述したように同社の線路の保守は少人数で行われており、十分な技術継承や新たな技術の導入等が難しい状況にあったと考えられる。これは、同社に類する地域鉄道に共通する課題ではあるが、今後、組織としての技術力の不足を補い、継続して健全な線路保守を行っていくためには、自社内で各担当者の研修や訓練により社員教育を実施することや、適任者を増員すること等に限らず、それに加え、各法人が行っている技術支援や技術開発等を積極的に活用し、社外の知見等を取り入れていくことが望ましい。

4 原因

本事故は、列車が半径190mの右曲線を通過中に、後部車両の前台車第1軸の左側（外軌側）の輪重が小さい状態で、横圧及びアタック角が増加し、車輪がレールに乗り上がったことにより、左に脱線したものと考えられる。

外軌側の輪重が小さくなったことについては、列車がカント超過状態で走行してい

たことで定常的な輪重が減少していたことに加え、車体ローリングが大きくなりやすい特徴を有する車両であったこと及び、軌道に大きな通り変位と周期的な水準変位があったことにより、車体ローリングによる動的な輪重の減少が発生していたことが影響していた可能性があると考えられる。

外軌側の横圧及びアタック角が増加したことについては、車輪がレールに乗り上がった地点付近に大きな通り変位が存在したことが影響したと考えられる。

大きな通り変位が存在したことについては、通り変位の算出方法として基準線の設定に設計値を用いていたため、実際の曲線線形に対応した通り変位が把握できていなかったこと、通り変位の補修効果が少なかったことにより、必要な軌道の補修ができていなかったことが関与しているものと考えられる。

5 再発防止策

5.1 必要と考えられる再発防止策

「3 分析」において示したように、本事故は軌道の維持管理が不十分であったことにより発生したものと考えられる。よって、同社は、軌道変位の管理について、軌道の補修方法を見直すとともに、整備基準値を超過した箇所に対して、速やかに極力効果が持続する補修方法を選定し実施するなど厳正に対応し、軌道の維持管理を適切に行う必要がある。

特に、通り変位の管理については、現場実態に応じた基準線の設定を行うなどして、適切な通り変位を算出するよう手法の見直しを検討することが望ましい。

また、曲線部において極力カント超過状態での走行を避けるため、設定しているカントが大き過ぎる場合は、走行する列車の速度を考慮したカントに補正することが望ましい。

5.2 事故後に講じられた措置

5.2.1 事故後に同社が講じた措置

本事故発生後に同社が講じた措置は、次のとおりである。

- (1) 事故発生箇所において、摩耗した外軌及びまくらぎの交換を実施した。
- (2) 事故現場を含む曲線半径200m以下の曲線について、走行する列車の速度を考慮して設定カントを見直し、カント補正工事を実施した。
- (3) 軌道の定期検査において著大な軌道変位を認めた場合の運転規制（徐行及び運転中止）に係る軌道整備心得の一部改正を実施した。

表8 軌道変位と運転規制の取扱い

変位の種類	軌道変位	運転規制
軌間	+34mm以上 -10mm以下	運転中止
平面性	24mm以上	
高低	34mm以上	
通り	30mm以上	
高低	29mm以上 34mm未満	徐行25km/h以下
通り	28mm以上 30mm未満	

※上記の軌道変位を確認したときは、直ちに関係箇所に手配を行い軌道整備等の補修を行い、軌道整備基準値を下回ったことを確認した後、運転規制を解除する。

- (4) 保線分野における技術力の向上及び健全な線路の維持管理を目的とし、東日本旅客鉄道株式会社から技術支援及び係員教育を受けることとした。
- (5) 通り変位について、現場実態に応じた基準線の設定方法として、移動平均法を用いて算出することとした。

5.2.2 事故後に国土交通省が講じた措置

国土交通省東北運輸局は、令和5年12月13日から15日まで保安監査を実施し、監査の結果、改善を要する事項が認められたことから、令和6年1月23日付東鉄監第49号、東鉄技第179号、東鉄安第151号「保安監査の結果について」を発出し、改善指示を行った。

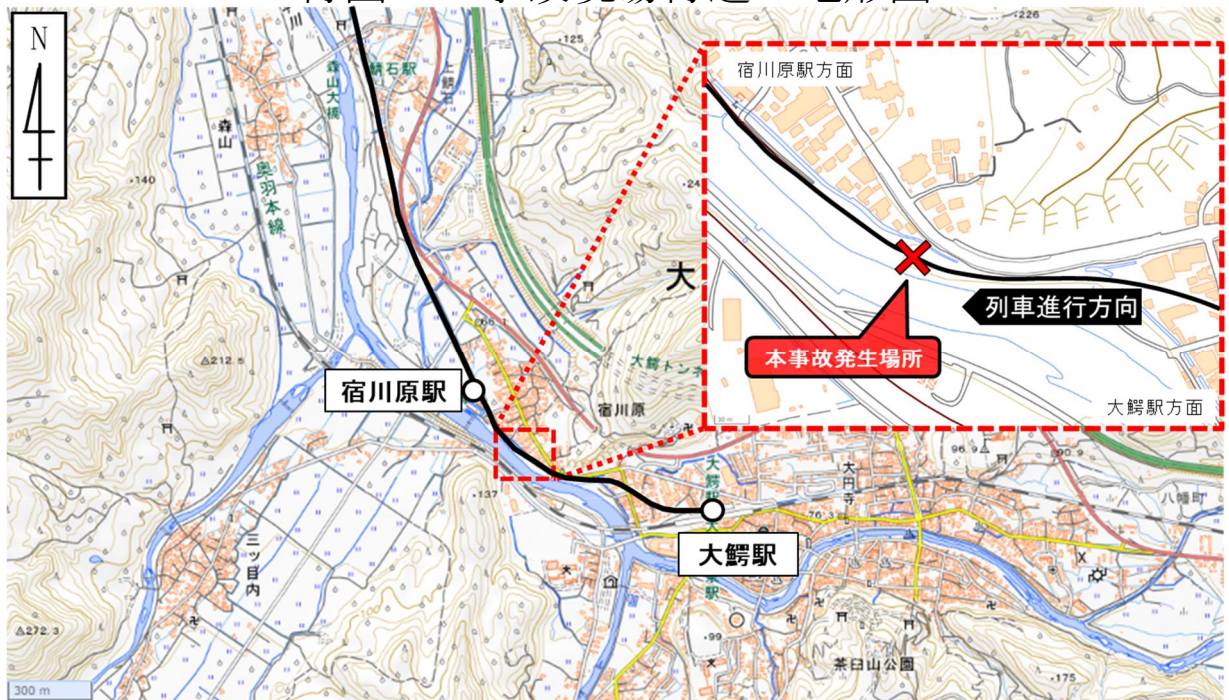
付図1 大鰐線の路線図

大鰐線 大鰐駅～中央弘前駅間 13.9 km (単)



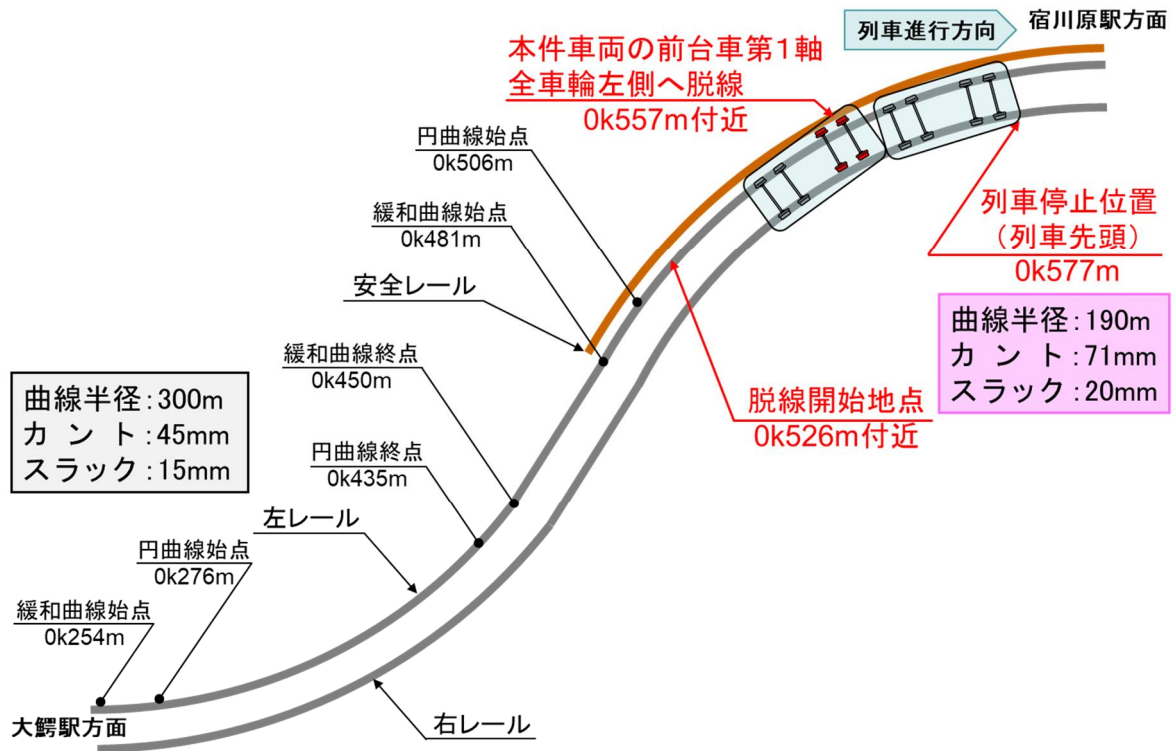
この図は、国土地理院の地理院地図（電子国土Web）を使用して作成

付図2 事故現場付近の地形図

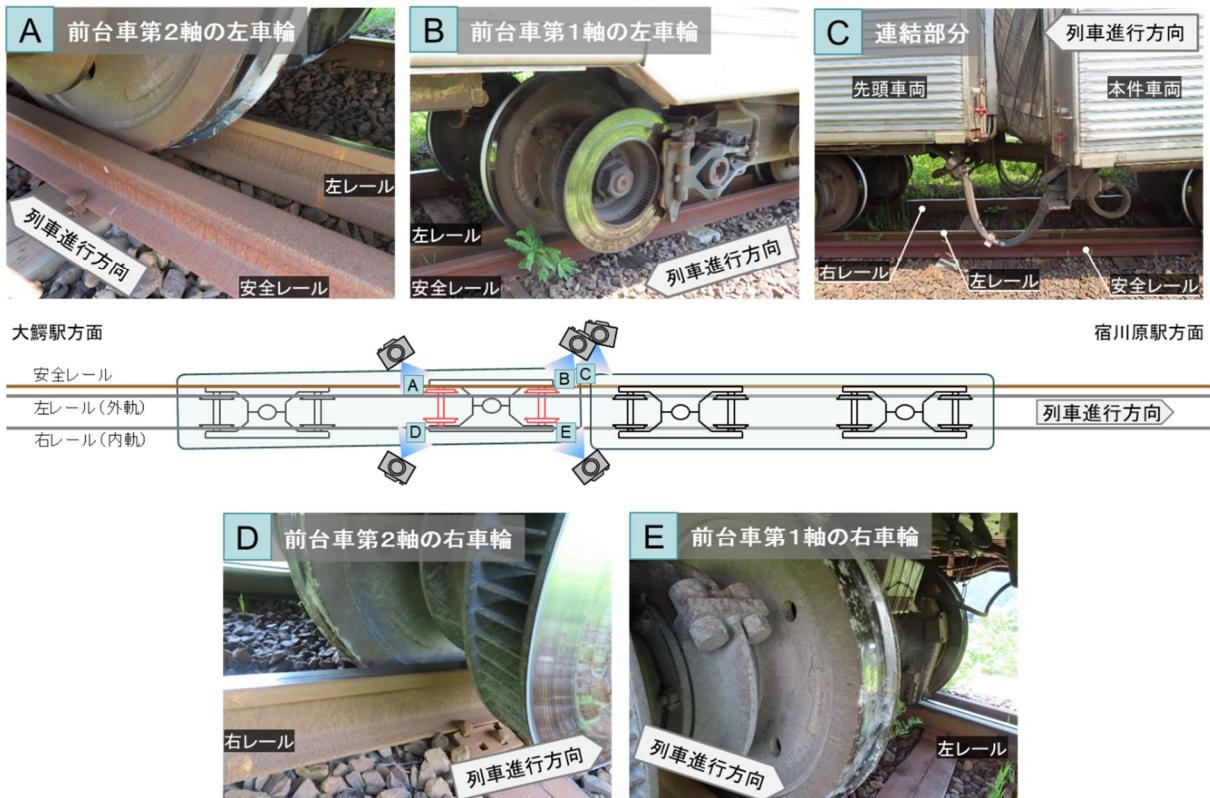


この図は、国土地理院の地理院地図（電子国土Web）を使用して作成

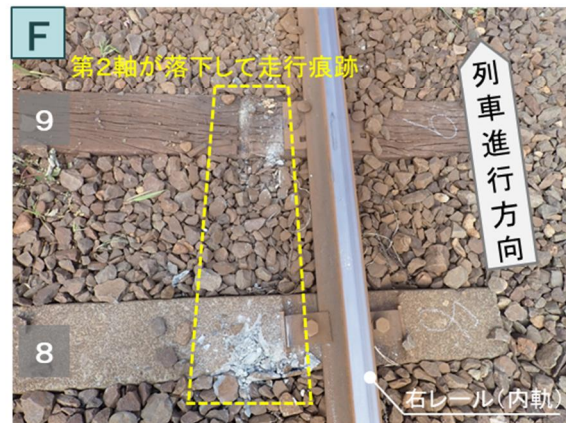
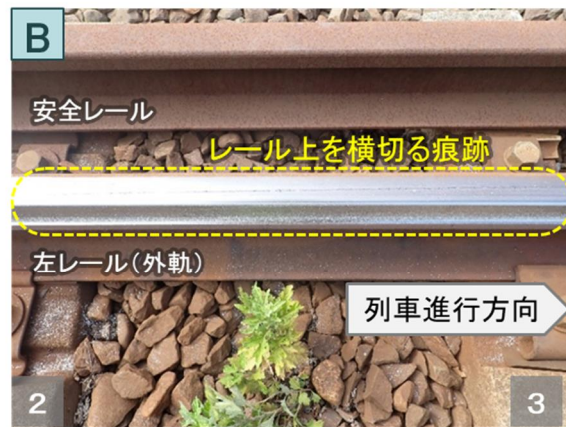
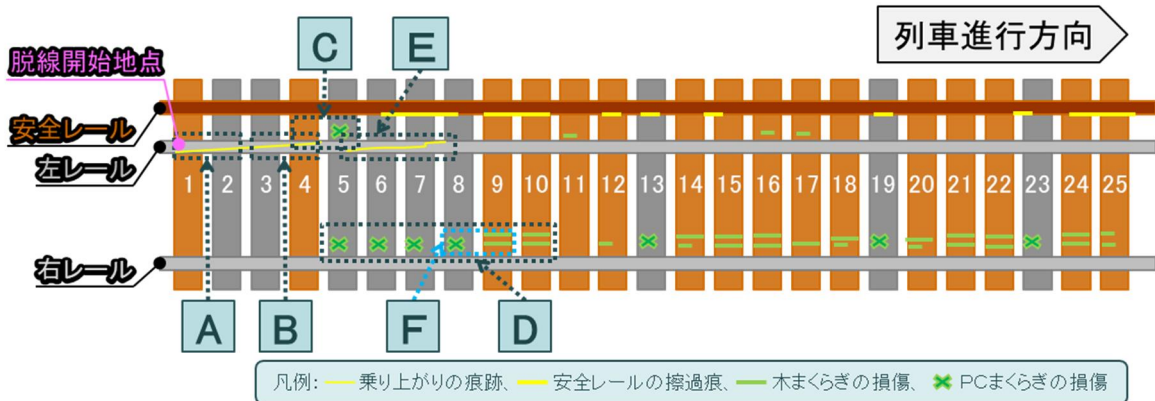
付図3 事故現場の略図



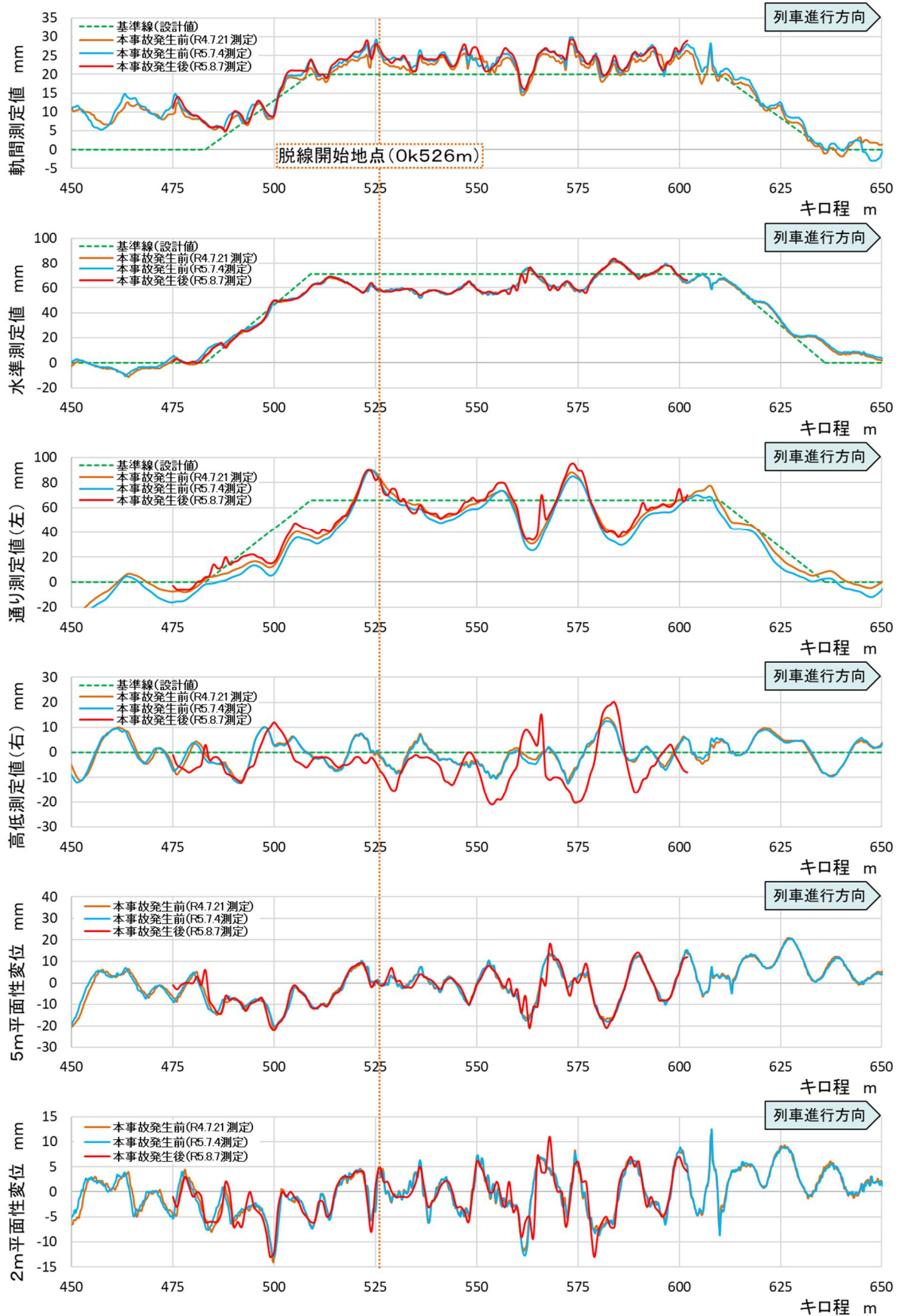
付図4 脱線の状況



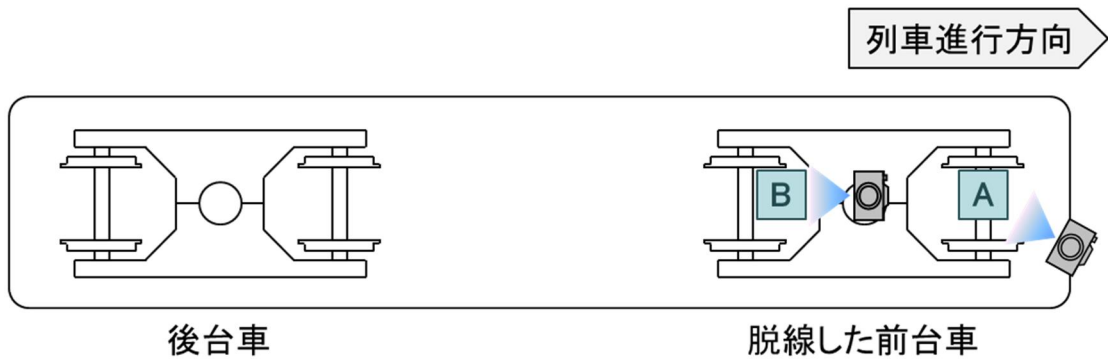
付図5 脱線の痕跡



付図6 事故現場付近の軌道変位等の状況

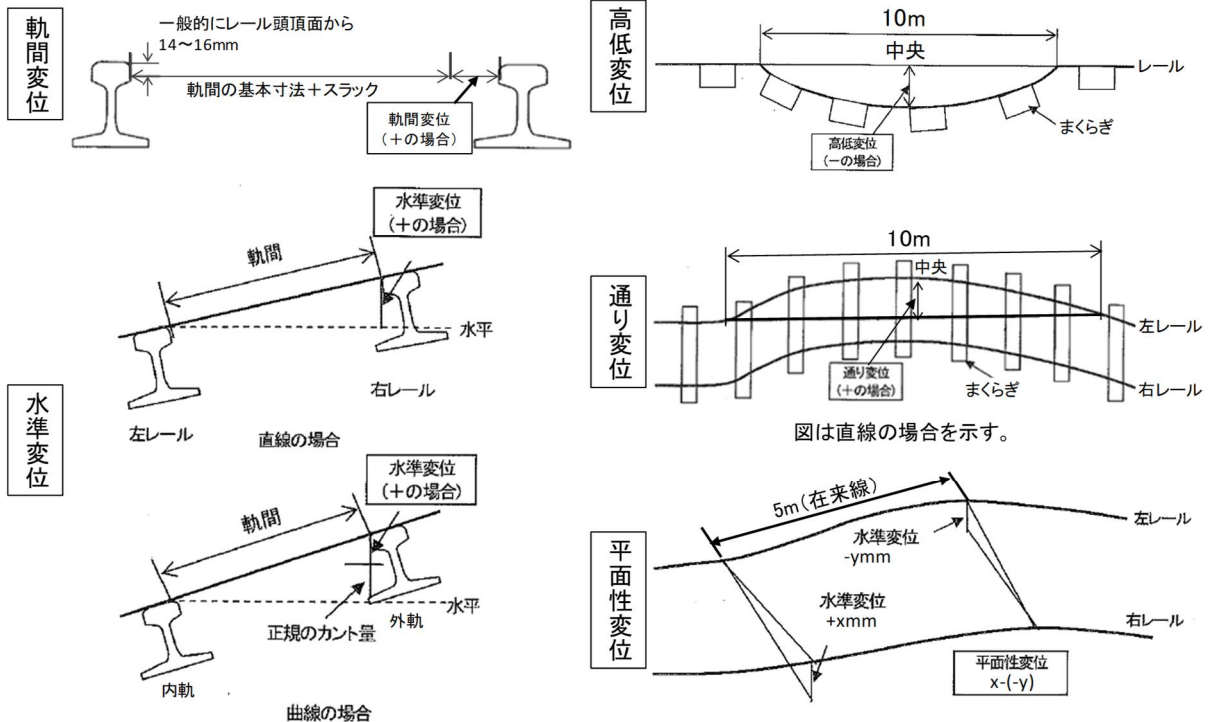


付図7 車両の損傷と痕跡



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。 ^{*31}
	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。
	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。



*31 参考文献：解説 鉄道に関する技術基準（土木編）第四版（国土交通省鉄道局監修、一般社団法人 日本鉄道施設協会、令和5年、pp331-332）