

鉄 道 事 故 調 査 報 告 書

I 長良川鉄道株式会社 越美南線 母野駅～洲原駅間
列車脱線事故

II 秩父鉄道株式会社 秩父本線 広瀬川原駅構内
踏切障害事故

III 九州旅客鉄道株式会社 指宿枕崎線 穎娃駅～入野駅間
踏切障害事故

IV 津軽鉄道株式会社 津軽鉄道線 津軽飯詰駅～毘沙門駅間
踏切障害事故

平成29年2月23日

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

運輸安全委員会
委員長 中橋 和博

《参 考》

本報告書本文中に用いる分析の結果を表す用語の取扱いについて

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

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

I 長良川鉄道株式会社 越美南線
母野駅～洲原駅間
列車脱線事故

鉄道事故調査報告書

鉄道事業者名：長良川鉄道株式会社

事故種類：列車脱線事故

発生日時：平成28年4月15日（金） 19時25分ごろ

発生場所：岐阜県美濃市

えつみなん 越美南線 ほんの 母野駅～すはら 洲原駅間（単線）
美濃太田駅起点25k608m付近

平成29年2月13日

運輸安全委員会（鉄道部会）議決

委員長	中橋和博
委員	奥村文直（部会長）
委員	石田弘明
委員	石川敏行
委員	岡村美好
委員	土井美和子

要旨

<概要>

長良川鉄道株式会社の越美南線北濃駅発美濃太田駅行き1両編成の上り1020列車は、平成28年4月15日、ワンマン運転により母野駅を定刻（19時23分）に出発した。

その後、列車の運転士は母野駅から洲原駅間を速度約50km/hで惰行運転中、須原トンネル内で異音とともに大きな揺れを感じたため、直ちに非常ブレーキを使用し、列車を停止させた。列車の停止後、運転士が降車して列車の周囲を確認したところ、後台車にある全2軸が左側に脱線していた。

列車には、乗客2名及び運転士1名が乗車しており、この事故により運転士が負傷した。

<原因>

本事故は、本件列車がトンネル内の円曲線区間を走行している際、

- (1) 曲線中で定常的に発生する外軌側の横圧が、比較的大きな通り変位の存在により更に増加していたこと、
- (2) 輪重減少を助長する比較的大きな水準変位が存在していた軌道において、レール締結装置の締結ボルトの緩み及び軌道パッドの脱落が連続していたことにより、列車走行時に軌道的水準変位が更に大きくなったこと、

これらに加えて、

- (3) 本件列車の後台車の通過時に、左レール（外軌）が折損していたため軌道的水準変位が更に増加したこと

により、後台車にある第3軸の左車輪において輪重が大きく減少して脱線係数が大きくなったため、同車輪がレールを乗り越えて脱線に至った可能性があると考えられる。

トンネル内のレールが折損したことについては、同社が定期的に行っている軌道検査において、腐食によるレール断面積の減少率がレール更換の判断基準を大幅に超過した状態となっていたことに気付くことができずに、更にはレールの腐食から生じたと考えられる亀裂や連続したレール締結装置の締結ボルトの緩み及び軌道パッドの脱落を見落とし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	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	3
2.2	人の死亡、行方不明及び負傷	3
2.3	鉄道施設及び車両に関する情報	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	4
2.3.3	鉄道施設の整備に関する情報	5
2.3.4	車両に関する情報	13
2.4	鉄道施設及び車両の損傷状況等に関する情報	17
2.4.1	鉄道施設の損傷及び痕跡等の状況	17
2.4.2	車両の損傷及び痕跡等の状況	18
2.5	乗務員に関する情報	18
2.6	運転取扱いに関する情報	18
2.7	気象に関する情報	18
2.8	その他必要な情報	19
2.8.1	本事故現場付近のレール更換計画の経緯に関する情報	19
2.8.2	本事故当日の同社内での情報伝達に関する情報	19
2.8.3	本事故時の状況	20
2.8.4	本事故現場において運転士間で共有されていた情報	21
3	分析	21
3.1	脱線地点に関する分析	21
3.1.1	脱線地点	21
3.1.2	脱線時の時刻及び走行速度	22
3.2	車両に関する分析	22
3.3	軌道に関する分析	23

3.3.1	軌道保守に関する分析	23
3.3.2	レールの折損に関する分析	24
3.4	脱線に関する分析	27
3.4.1	軌道変位の関与	27
3.4.2	レール締結装置及び軌道パッドの関与	28
3.4.3	レールの折損の関与	28
3.5	レールの折損時期に関する分析	28
3.6	同社の情報伝達に関する分析	29
4	原因	30
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	本事故発生後に同社が講じた措置	31

添付資料

付図1	越美南線路線図	33
付図2	本事故現場付近の地形図	33
付図3	本事故現場の略図	34
付図4	レール折損位置付近の軌道の損傷状況（まくらぎ・締結装置の損傷箇所）	34
付図5	レール折損位置付近のトンネル内の状況	35
付図6	トンネルの損傷状況	35
付図7	レール折損位置付近の左レール（外軌）の断面形状変化	36
付図8	レール折損位置付近の左レール（外軌）のイメージ図とレール締結装置の状態	37
付図9	レール折損位置の破断面分析結果	38
付図10	X線回折法によるレール折損位置から採取したさびの分析結果	39
付図11	本事故現場付近の軌道変位の状況	40
付図12	車両の損傷状況	41
付図13	ボルトキャップの取付状況（須原トンネル）	41

1 鉄道事故調査の経過

1.1 鉄道事故の概要

長良川鉄道株式会社の越美南線北濃駅発美濃太田駅行き1両編成の上り1020列車は、平成28年4月15日（金）、ワンマン運転により母野駅を定刻（19時23分）に出発した。

その後、列車の運転士は母野駅から洲原駅間を速度約50km/hで惰行運転中、須原トンネル内で異音とともに大きな揺れを感じたため、直ちに非常ブレーキを使用し、列車を停止させた。列車の停止後、運転士が降車して列車の周囲を確認したところ、後台車（以下、前後左右は列車の進行方向を基準とする。）にある全2軸が左側に脱線していた。

列車には乗客2名及び運転士1名が乗車しており、この事故により運転士が負傷した。

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28年4月16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。

中部運輸局は、本事故調査の支援のため、職員を現場等に派遣した。

本事故に関し、国立研究開発法人物質・材料研究機構に「長良川鉄道事故調査に係る破面解析等」を委託した*1。

1.2.2 調査の実施時期

平成28年4月16日及び17日	現場調査、車両調査
平成28年5月13日及び14日	口述聴取、現場調査
平成28年7月12日	軌道調査
平成28年9月20日～12月22日	委託調査

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。

*1 国立研究開発法人物質・材料研究機構：長良川鉄道（株）のレール破断事故調査に係る調査報告書、2016.12

2 事実情報

2.1 運行の経過

2.1.1 運転士の口述

本事故に至るまでの経過は、長良川鉄道株式会社（以下「同社」という。）の北濃駅発美濃太田駅行き1両編成の上り1020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。

本件列車は、沿線にある高校に通学する生徒が帰宅で利用することが多く、途中駅で何回か乗客の入れ替わりがあったが、おおむね列車ダイヤどおりに運行していた。途中の大矢駅からは乗客が2名となり、しばらく下車する乗客がいなかったため、発車時刻まで時間に余裕をもって母野駅に到着した。母野駅では、運転台にある懐中時計と時刻表を照らし合わせ、定刻（19時23分30秒）になったことを確認してから出発した。

母野駅を出発後、力行ノッチを徐々に上げながら加速し、運転台にある変速機の動作状況を示すランプが「変速1」から「変速2」に切り替わり、速度計の針が50km/hに近づいたのを確認したので、力行ノッチをオフとし、惰行運転に切り替えた。ちょうどこのときが、須原トンネル入口付近を走行しているときであった。

本件列車が須原トンネルに入ったときはいつもどおりであったが、しばらくすると、本件列車の後方から、突然「ゴン」という大きな音と同時に車体を突き上げるような衝撃を感じた。慌てて非常ブレーキを使用した。その後は、上下左右にガタガタという振動で揺さぶられ、何が起きているのか分からず、停車するまで列車につかまっているのがやっとの状態であった。

本件列車がトンネル内で停止し、乗客2名にけががないことが確認できたので、車外の状態を確認するため、本件列車の後方運転台に行き、後方の前照灯を点灯させてトンネル内の様子を見た。そこには、線路のまくらぎが割れ、気笛が線路内に落下し、トンネル左側の側壁には接触痕があり、本件列車の左側のバックミラーも割れていることが確認できた。このとき初めてトンネル内で脱線したことが分かった。

線路内に本件列車の気笛が脱落していたことから、他の部分にも損傷があるかもしれないと考え、まず、火災防止のためエンジンを止め、手ブレーキで本件列車の転動防止を行った。その後、列車から降りて後台車全2軸が脱線していることを確認した。トンネル内で列車無線が使用できなかったことから、業務用携帯電話が通じるトンネル出口付近まで歩いていき、運転指令に連絡を取

り、トンネル内で脱線したことを報告し、救援要請などを行った。

事故当日の天候は晴れで、須原トンネル内で脱線するまで、本件列車に異常は感じなかった。

(付図1 越美南線路線図、付図2 本事故現場付近の地形図 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

本件列車に乗車していた乗客2名及び乗務員1名のうち、負傷者数は次のとおりであった。

本件運転士 軽傷1名

2.3 鉄道施設及び車両に関する情報

2.3.1 事故現場に関する情報

- (1) 本事故現場は、美濃太田駅起点25k600m（以下「美濃太田駅起点」は省略する。）付近であり、母野駅と洲原駅の間にある須原トンネル内で、線路線形は半径300m、カント50mmの右円曲線、縦断線形は15%の下り勾配の区間であった。
- (2) 25k610m付近の左レール（外軌）のレール継目部には、約4mmの遊間が認められた。
- (3) 25k608m付近の左レール（外軌）が、まくらぎ間で折損していた。
- (4) 25k608m付近のトンネル天井には、漏水対策を行ったとみられる改修工事の痕跡が認められ、トンネル天井からの漏水及びトンネル側壁に設置された水抜きパイプから排出された水により、トンネル側壁及びレールの際のバラストがぬれていた。
- (5) 須原トンネル内のレールには、レール底部及びレール腹部の表面に腐食によるとみられる凹凸が散見され、特に、25k608m付近の左レール（外軌）の底部は、その厚さが他のレールより明確に薄くなっていた。
- (6) 25k571m付近のトンネル左側の側壁に、本件列車が接触したとみられる痕跡が認められた。
- (7) 25k562m付近の軌間内に、本件車両の後方運転台の下に装架していた気笛が落下していた。
- (8) 本件列車は、須原トンネル内の25k523m付近に車両の先頭部がある状態で停止しており、後台車にある第3軸と第4軸の左車輪が左レール（外

軌)の軌間外側に脱線していた。また、同右車輪は右レール(内軌)から約0.4m、いずれも軌間内側に脱線していた。なお、左車輪と左レール(外軌)間の距離は、本件車両と須原トンネル側壁の間に隙間がなく測定することはできなかった。

(付図3 本事故現場の略図、付図4 レール折損位置付近の軌道の損傷状況(まくらぎ・締結装置の損傷箇所)、付図5 レール折損位置付近のトンネル内の状況、付図6 トンネルの損傷状況 参照)

2.3.2 鉄道施設に関する情報

(1) 越美南線の概要

同社の越美南線は、日本国有鉄道改革法により昭和61年12月に日本国有鉄道(以下「国鉄」という。)越美南線が第三セクターである同社に移管されたものである。

越美南線は、美濃太田駅から北濃駅に至る72.1kmの単線、非電化路線で、軌間は1,067mmである。また、同線には38か所の駅、12か所のトンネル、15か所の橋りょう(40m以上)がある。

(2) 線路等の構造

越美南線には、合計6種類のレール種別及び複数の種類のまくらぎが使用されている。本事故現場付近は、50kgPSレールとPCまくらぎ(レール継目付近は木まくらぎ)が敷設されたバラスト軌道である。まくらぎはレール25m当たり34本敷設されており、このうち、PCまくらぎは、NC53型締結装置(以下「レール締結装置」という。)で50kgPSレールと締結されていた。

(3) 須原トンネルの構造

須原トンネルは、全長約281m、高さ約5.5m、幅約4.8mの馬てい形で、照明設備のない単線トンネルである。トンネル内面はコンクリートで覆工^{ふっこう}されており、作業用の待避所が約40m間隔で左側に設置されている。同社が管理する須原トンネルの図面によると、須原トンネル坑壁^{こうへき}には、漏水防止工が施された箇所が2か所(須原トンネルの洲原駅方と母野駅方のそれぞれ出口近傍)あり、特に、須原トンネルの母野駅方の出口近傍は、^{たてはिसすいこう} 堅排水溝^{ためます}*2や溜柵^{りゅうさく}*3などの排水設備が約10m間隔で3か所設けられていることから、建設当時の設計においてもトンネルに多くの水が集まることが懸念され、この対策が強化されていたものとみられる。また、軌間中央には線

*2 「堅排水溝」とは、構造物やその付帯設備を健全に維持管理するため、勾配を利用して地表水や伏流水を自然流下させる溝のことをいい、トンネル壁面の裏側に上下方向に設けられている。

*3 「溜柵」とは、トンネルの排水溝において一定間隔ごとに設ける柵のことをいう。

路に沿って排水溝が埋設されており、溜枡からの漏水はこの排水溝を通り、須原トンネルの洲原駅方のトンネル坑外にある排水路から、近くを流れる長良川に排水する構造となっている。

本事故における現地調査の際、須原トンネルの母野駅方の天井から漏水が認められたが、軌道に水たまりは生じていなかった。

(4) 信号保安設備

同社によると、越美南線の閉そく方式は、特殊自動閉そく式（軌道回路検知方式）^{*4}であるため、閉そく扱い駅間となる須原トンネル付近には軌道回路は設けられていないとのことであった。なお、本事故現場付近の閉そく扱い駅は美濃市駅と大矢駅である。

(5) 第1種踏切道の動作状況の記録

母野駅と須原トンネルの間には、浅木踏切道（第1種踏切道）が設けられているが、この踏切道の踏切動作を記録する装置は設置されていない。

2.3.3 鉄道施設の整備に関する情報

2.3.3.1 鉄道施設の保全に関する情報

(1) 軌道及びトンネルの保全

軌道及びトンネルの保全については、「鉄道構造物等の維持管理標準の制定について」（平成19年1月16日付、国鉄技第73号）の通達に基づき、同社が中部運輸局に届け出ている軌道土木施設実施基準（以下「軌道土木実施基準」という。）により実施することとなっている。

軌道の保全については、軌道の定期検査が定められており、1年の基準期間ごとに行うこととされている。

また、トンネルの保全については、鉄道構造物等維持管理標準（構造物編）に準拠し、通常全般検査は初回全般検査を除き、2年の基準期間ごとに行うこととされている。検査は、目視を主体とし、過去の検査結果及び目視検査結果に基づき、必要な箇所については打音検査も行うこととされている。さらに、これに加えて20年以内に1回の周期で、トンネルの至近距離での目視検査及び必要な箇所に対する打音検査も行うこととされている。

なお、それぞれの検査はその検査基準日を経過した日の属する月の前後1か月の許容期間において実施することとなっている。

(2) 検査記録の保管

同社の軌道土木実施基準によると、鉄道施設の定期検査の記録については、

*4 「特殊自動閉そく式（軌道回路検知方式）」とは、停車場構内に軌道回路を設け、停車場間については1閉そく区間としてその両端にそれぞれ2種類の列車検知用軌道回路を設けることで、列車の進出入を検知して信号現示を自動的に制御する閉そく方式のことをいう。単線区間に適用される。

次に定める期間保管することとされている。(抜粋)

(記録の保管)

第86条

施設の定期検査及び改造、改築、修理の記録は、その実施年月日と結果を記録し整理の上、5年間保存するものとする。また、橋りょう、トンネルその他の構造物の変状記録は、当該構造物の変状履歴が把握できるよう保存するものとする。

2.3.3.2 軌道変位検査に関する情報

同社の軌道土木実施基準によると、軌間変位、水準変位、高低変位、通り変位、平面性変位について、1年の基準期間ごとに、軌道検測車、簡易高低通り測定器、糸張り式による静的な軌道変位検査を行うこととなっており、これらの軌道変位が軌道土木実施基準に定められた一般軌道の整備基準値に達した場合並びに整備基準値未満の軌道変位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、整備を行うこととされている。なお、整備基準値は表1のとおりである。

表1 軌道変位の整備基準値 (単位：mm)

種別	整備基準値	仕上基準値
軌間	直線及び半径600mを越える曲線 14	+1 -3
	半径200m以上600mまでの曲線 19	
	半径200m未満の曲線 14	
水準	平面性に基づき整備を行う	4
高低	22	4
通り	22	4
平面性	18 (カントの逡減量含む)	4 (カントの逡減 <small>原文ママ</small> 含まない)

2.3.3.3 事故現場付近の軌道変位の情報

平成27年7月29日、同社は、可搬式軌道検測装置^{*5}を使用して本事故直近の軌道変位測定を行っている。軌道土木実施基準に基づく同社の記録によると、須原トンネル付近の軌道変位は、本事故現場である25k608m付近の左レール(外軌)の通り変位が整備基準値に近い比較的大きな値であったが、いずれも整備基準

*5 「可搬式軌道検測装置」とは、作業者がレール上を転がすだけで高低変位、通り変位、水準変位、軌間変位、平面性変位を測定することができる小型の軌道検測装置のことをいう。

値内であった。

(付図 1 1 本事故現場付近の軌道変位の状況 参照)

2.3.3.4 レールの交換^{*6}に関する情報

同社の軌道土木実施基準によると、レールなどの損傷、摩耗、腐食などの状態について、1年の基準期間ごとに検査を行うこととなっている。なお、レールの交換に関する判断基準は、次のとおりである。(抜粋)

(レールの交換)

第70条

レールは、次の各号のいずれかに定める状態に達したものは、新レール又は適当なレールと交換するものとする。

- (1) レール頭部の最大摩耗高が、軌間内側において次の程度に達し、軌間外側でも相当の摩耗を有するもの。

表2 レールの交換基準 (単位：mm)

レール種別	本線	側線
30kg	11	13
37kg	15	16
40kgN	15	16
50kgPS、50kgN、 50kgT	16	19

- (2) レール摩耗、腐食等により断面積の減少が次の程度に達したもの。

表3 レールの交換基準 (単位：%)

レール種別	本線	側線
30kg	18	20
37kg	26	28
40kgN	26	28
50kgPS、50kgN、 50kgT	28	30

- (3) 波状摩耗の波高が3mm程度に達したもの。

- (4) その他運転保安上危険のおそれがあると認められるもの。

*6 「交換」とは、線路の材料を交換するときに用いる軌道工事に関する専門用語である。

2.3.3.5 本事故現場付近のレールの履歴に関する情報

同社のレール管理台帳によると、須原トンネル内のレールの敷設時期は、洲原駅方の出口から同トンネル内に入った位置までの約125mの区間が、最も古い昭和42年12月で、それ以外の区間は昭和51年2月であった。なお、同社によると、このとき敷設されたレールが新品レールであったかどうかについては、当時が国鉄時代で記録が残っていないため不明とのことであった。その後、軌道を強化するため、平成16年度に木まくらぎからPCまくらぎに更换しているが、このときには、レールの更换は行っていない。

また、本事故現場付近で折損したレールの洲原駅方に連続して敷設されていた2本の左レール（外軌）を、平成26年3月に更换しているが、同社に移管された昭和61年12月以降では、これら以外に須原トンネル内のレールを更换した記録はない。

2.3.3.6 本事故現場付近のレール検査に関する情報

同社のレール検査台帳によると、本事故直近では平成26年9月に、それぞれの直線区間及び曲線区間ごとにレールの1断面を任意に選び、レール頭部の摩耗検査を行っている。須原トンネル内の曲線区間では、レール頭部の摩耗量は左右レールともに7.5mmで、レールの更换基準である16mmに対して余裕のある値であった。また、レール損傷についても、異常と判断される記録は認められなかった。しかしながら、レールに発生する応力及び軌道負担力などの関係から定められている、レールの摩耗や腐食等による断面積の減少でレールの更换を判断することについては、軌道土木実施基準第70条第1項（2）の規定により判断した記録はなかった。

これについて同社は、レール断面積を測定する専用の測定器がなく断面積を計算することが煩雑なため、同社の開業以降、レールの腐食状態は目視で確認するのみでレール断面積の減少を定量的に確認したことはなかったとのことであった。

2.3.3.7 本事故現場付近のレール断面積の減少に関する情報

2.3.3.6に記述したように、同社はレール断面積の減少に関する定量的な判断を行っていなかったことから、後日、約3mの長さに切断した25k608m付近の左レール（外軌）を折損した位置から約0.5m間隔で輪切りにし、当委員会でその断面積の減少率を求めた。その結果、新品50kgPSレール（64.3cm²）に対するレール断面積の減少率は、レールが折損した位置付近で最大55%程度（概算値）となっており、この折損位置付近を挟んで、母野駅方の約2.0mと洲原駅方の約1.0mの区間がレールの更换基準である28%を超過していた。特に、レールの折損位置に近いほどレール底部の腐食が激しく、その断面積の減少率が大きい

傾向にあった。

(付図7 レール折損位置付近の左レール(外軌)の断面形状変化 参照)

2.3.3.8 本事故現場付近のレールの締結状態に関する情報

本事故翌日、左レール(外軌)のレール締結装置について調査したところ、レールが折損した位置付近において、少なくとも連続した4か所のレール締結装置の締結ボルトが緩んでおり、レールが折損した位置直近のレール締結装置では軌間外側のばね受台が脱落していた。さらに、軌道パッドが連続してレールとまくらぎの間から脱落又は一部脱落した状態であった。

これらが認められた位置は、2.3.1に記述したように、レール底部の腐食が激しかった位置とおおむね一致していた。

(付図8 レール折損位置付近の左レール(外軌)のイメージ図とレール締結装置の状態 参照)

2.3.3.9 レール折損位置の破断面に関する情報

本事故後にレール折損位置の破断面を目視で確認したところ、レールの底部は明確に腐食していたが、その一方で、レールの頭部は金属色で腐食が認められず、レールの底部と頭部で折損時期が異なっているような状態であった。このことから、レールの亀裂の進展メカニズムなどを調べるため、レール破断面の近傍から試料を採取し、これを詳細に分析した。

分析方法及びその結果は、次のとおりである。

(1) 材質調査

ビッカース硬さ^{*7}の計測については、組織観察を行った破断面と同じ面に98Nの荷重条件で剛体を押し込む方法により行い、成分分析については、炭素と硫黄は高周波燃焼赤外線吸収法^{*8}で、その他の元素はICP発光分光分析法^{*9}により行った。

その結果、レール破断面の組織は一般的なレール鋼と同等であり、特に異常は認められなかった。また、ビッカース硬さは一般的なレール鋼と同等の241で、化学成分もJIS規格の範囲内であった。

*7 「ビッカース硬さ」とは、物質の硬さを表す尺度の一つで、物質の表面に剛体を押し込む方法により永久くぼみをつくり、そのときの押し込み荷重及びくぼみの対角線の長さから求めた硬さのことをいう。

*8 「高周波燃焼赤外線吸収法」とは、高周波誘導加熱炉で酸素気流中に置いた試料を高温に加熱して燃焼させ、試料に含まれる炭素及び硫黄を酸化物として取り出し、これの赤外線吸収量をあらかじめ求めた検量線から換算することにより、炭素又は硫黄の量を求める方法のことをいう。

*9 「ICP発光分光分析法」とは、高周波誘導結合プラズマ(Inductively Coupled Plasma)を光源とし、分光器で高温の熱エネルギーによって励起された原子の発光スペクトルを調べ、試料中に含まれている元素の種類やその含有量を定量的に測定する分析法のことをいう。

(2) レール破断面の観察

ナイタール^{*10}を用いたエッチング^{*11}処理を試料に施し、光学顕微鏡及び走査型電子顕微鏡を用いてその表面の観察を行った。その結果、観察位置ごとの特徴は、次のとおりであった。なお、A点、B点、C点、D点の位置は付図9に示す。

A点：さび取り処理を行ったことにより観察面が溶解しているように見える部分もあるが、疲労により破断した面で観察されるストライエーション^{*12}状の様相が確認された。

B点：観察面の全てが脆性破面^{ぜいせい}で観察されるへき開破面となっており、リバーパターン^{*13}の方向から、亀裂の進展方向は、SEM画像^{*14}の左側から右側であることが確認された。

C点：SEM画像の黄矢印で示す部分に、へき開破面及びリバーパターンと見られる様相が確認された。

D点：観察面の全てがへき開破面となっており、リバーパターンの方向から、亀裂の進展方向は、下側から上側に向けて放射状になっていることが確認された。

(3) 腐食形態の分析

レールの腐食形態の分析については、折損位置付近のレール底部及び腹部の計4か所からさびを採取するとともに、X線回折法^{*15}により、その成分分析を行った。

その結果、軌間内側のレール腹部以外で採取したさびから、酸素のない厚いさびの下層やぬれ時間が長い場所で検出される腐食生成物であるマグネタイトが検出された。

さらに、折損位置付近のレールを観察したところ、レールの表面は腐食による粗さが大きい状態で、レール腹部中央付近の板厚は、新品50kgPSレールと比べて半分以下になっており、レール底部の方がレール頭部より減肉量がやや多い状態であった。

(付図9 レール折損位置の破断面分析結果、付図10 X線回折法によるレール折損位置から採取したさびの分析結果 参照)

*10 「ナイタール」とは、エタノールに少量の硝酸を混ぜた腐食液のことをいう。

*11 「エッチング」とは、化学薬品や腐食作用を利用した表面加工の方法のことをいう。

*12 「ストライエーション」とは、疲労により破断した面に見られる規則的な縞模様のことをいう。

*13 「リバーパターン」とは、脆性破面に見ることができる川状の様相のことをいう。川の流れと同様に、幾つかの支流が合流する方向に亀裂が進展したと判断することができる。

*14 「SEM画像」とは、走査型電子顕微鏡(Scanning Electron Microscope)により撮影された画像のことをいう。

*15 「X線回折法(XRD:X Ray Diffraction)」とは、試料にX線を照射させ、X線が原子の周りにある電子によって散乱、干渉する際の回折X線を検出し、試料に含まれる成分などを分析する方法をいう。

2.3.3.10 トンネル検査に関する情報

同社の軌道土木実施基準によると、トンネル検査は、覆工の状態を詳細に把握するとともにコンクリートの剥離のおそれのある箇所に対して必要な対策を行うことを目的に、目視検査及び必要に応じて打音検査により行うこととされ、変状の程度を機能障害に対する判定区分により評価することとされている。機能障害に対する判定区分は表4のとおりである。

表4 外力、劣化、漏水等による機能障害に対する判定区分

判定区分	運転保安等に対する影響	変状の程度	措置
AA	危険	重大	直ちに措置
A1	早晚脅かす 異常外力作用時危険	変状が進行し、 機能低下も進行	早急に措置
A2	将来脅かす	変状が進行し、 機能低下のおそれ	必要な時期に措置
B	進行すれば Aランクになる	進行すれば Aランクになる	監視 (必要に応じて措置)
C	現状では影響なし	軽微	重点的に検査
S	影響なし	なし	—

2.3.3.11 トンネル検査結果に関する情報

同社が実施した定期検査の記録によると、須原トンネルは、平成21年度と平成23年度に漏水が認められ「B」と判定され監視対象となり、平成25年度には漏水と欠損が認められたことから「A2」と判定され、必要な時期に対策を講じることが求められた。

なお、同社によると、少なくとも平成21年度ごろから、25k608m付近ではトンネル天井からの漏水がレール付近に直接滴下し続けている状態であったが、軌道に水たまりが生じるほどではなかったとのことであった。

2.3.3.12 須原トンネルの改修工事に関する情報

2.3.3.11に記述したように、平成25年度の定期検査において「A2」と判定されたことを受け、同社は、トンネルの漏水対策・剥落防止を目的とした、須原トンネルの改修工事を平成26年度に実施している。本事故現場付近では、トンネル天井から染み出た漏水をトンネル側壁に伝えて線路際のバラスト上に排水する改修を行っており、トンネルからの漏水がレールに直接滴下しにくくなった。

また、本事故現場付近のトンネル天井には、まくらぎ方向に約2.5m、レール長手方向に約2.4mの範囲にモノドレン^{*16}が貼り付けられており、同トンネル内の改修工事を行った中で最も広範囲であったことから、本事故現場付近は過去にトンネル天井から広範囲にわたって漏水があったものとみられる。なお、本事故翌日はレールの際のバラストが排水された水でぬれている状況であった。

2.3.3.13 須原トンネルで採取した漏水の成分に関する情報

本事故現場付近のトンネルで採取した漏水の成分分析を行った結果は、次のとおりであった。

- (1) 腐食の促進成分とされる塩化物イオン、硫酸イオンの濃度はそれぞれ2.1mg/lと2.5mg/lと低く、アニオン（マイナスイオン）としては炭酸水素イオンが主体であった。
- (2) カチオン（プラスイオン）としては、ナトリウムイオン、カリウムイオンがそれぞれ2.5mg/lと0.7mg/lと少なく、カルシウムイオンが6.2mg/lで主体であった。
- (3) 水温25℃における導電率は、各種イオン濃度が低いため、68 μ S/cmと小さく、純水（約1 μ S/cm）と水道水（約100～200 μ S/cm）の間程度の濃度であった。

2.3.3.14 本線の巡視及び監視に関する情報

同社の軌道土木実施基準によると、車両を所定の速度で運転することができる状態に保持するため、線区の状況、列車の運行状況に応じて、本線の巡視及び監視を次に定める頻度を標準として行うこととされている。（抜粋）

（本線の巡視及び監視）

第73条 （略）

- (1) 本線路は7日毎に1回、列車、軌道モーターカー又は徒歩等により行わなければならない。

（以下略）

本線の徒歩による巡視及び監視（以下「徒歩巡回」という。）と本線の列車添乗による巡視及び監視（以下「列車添乗巡回」という。）に関する同社の記録によると、本事故直近では、次のとおり本事故現場付近で巡回を実施していた。

徒歩巡回 平成28年4月8日

*16 「モノドレン」とは、前田工織株式会社の登録商標で、ポリエステルモノフィラメントをチューブ状に編み、透水フィルターなどで包んだ暗渠排水管のことをいう。

列車添乗巡回 平成28年4月13日

- (1) 同社の徒歩巡回記録簿によると、平成28年4月8日午後、本事故現場を含む22k～26kの区間を対象に徒歩巡回が行われており、軌道の通り変位の整正は行っていたが、レール締結装置の緩んだ締結ボルトの締め直しやレール下に敷くゴム製の軌道パッドの位置調整などを行った記録はなかった。この直近では同年2月1日に徒歩巡回を行っているが、このときにも同様に締結ボルトの締め直しや軌道パッドの調整を行った記録はなかった。

同社によると、通常1回の徒歩巡回で不具合箇所の修繕及び20か所程度のレール締結装置の締結ボルトの締め直しなどを行っているが、その場で修繕できたものについては、同社の徒歩巡回記録簿に記入していないため、記録としては残っていないとのことであった。

- (2) 同社の列車巡回記録簿によると、平成28年4月13日、前回の列車添乗巡回で動揺が大きかった場所、継続的に調査を行っている場所、運転士から要請があった場所のそれぞれの軌道の状態を確認するため、全線で列車添乗巡回を実施しているが、本事故現場付近については、運転士からの要請はなく、その他の場所についても異常は認められていない。

2.3.4 車両に関する情報

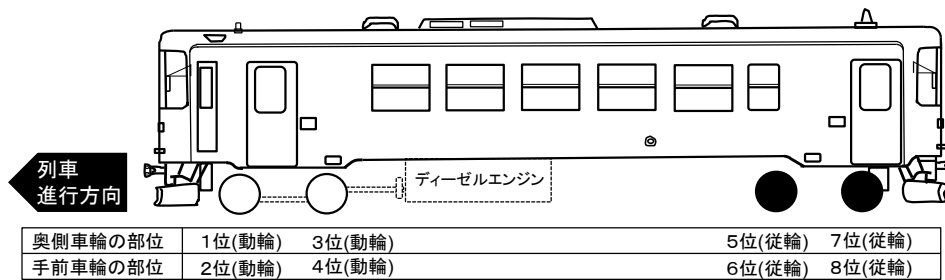
2.3.4.1 本件列車の概要

本件列車は、内燃動車（ディーゼルカー）ナガラ303（以下「本件車両」という。）の1両編成で運行されていた。本事故により脱線した輪軸の部位を図1に示す。本件車両の主要諸元は次のとおりである。

編成定員	102名（座席定員47名）
空車重量	26.8 t ^{*17} （新製時）
車両長	16,500mm
台車中心間距離	11,000mm
台車方式	空気ばねインダイレクトマウント方式ボルスタ式台車
軸箱支持方式	ペデスタル式
軸距	1,800mm
車輪踏面形状	修正円弧踏面
車輪フランジ角度 ^{*18}	65度（設計形状の場合）
製造年月日	平成11年8月20日

*17 〔単位換算〕 1 t = 1,000 kg（重量）、1 kg（重量）：1 kgf、1 kgf：9.8 N

*18 「車輪フランジ角度」とは、車輪のフランジ面が車軸の中心軸となす最大角度をいう。一般にフランジ角度が大きいほど脱線しにくい。



<凡例> ●：脱線した輪軸

図1 本件列車と本事故により脱線した輪軸の部位

2.3.4.2 車両の定期検査に関する情報

車両の整備については、同社が中部運輸局に届け出ている車両整備実施基準（以下「車両実施基準」という。）で定められている。車両検査の種類は、列車検査^{*19}、月検査^{*20}、重要部検査^{*21}、全般検査^{*22}等があり、検査ごとに定められた期間又は車両の走行距離を超えない範囲で定期的に行われている。

輪軸については、重要部検査及び全般検査において、車輪径、フランジ高さ、タイヤ厚さ、フランジ外側面距離^{*23}及び車輪内面距離^{*24}の検査を行うこととされている。各項目の使用限度値は表5のとおりである。

また、同社では、重要部検査及び全般検査において車両の全ての車輪に対して静止輪重測定を行い、輪軸ごとに片側の輪重とその輪軸の平均輪重との差を平均輪重で除した割合（以下「静止輪重比」という。）が18.0%以下となるよう管理することとされている。

表5 輪軸に関する使用限度値

項目	使用限度値
車輪径	682mm
フランジ高さ	25～36mm
タイヤ厚さ	23mm
フランジ外側面距離	517～527mm
車輪内面距離	990～996mm

*19 「列車検査」とは、同社における定期検査のことで、72時間を超えない期間で行う検査をいう。

*20 「月検査」とは、同社における定期検査のことで、3か月を超えない期間で行う検査をいう。

*21 「重要部検査」とは、同社における定期検査のことで、車両の使用状況に応じて4年又は当該車両の走行距離が50万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。

*22 「全般検査」とは、同社における定期検査のことで、車両の使用状況に応じて8年を超えない期間ごとに行う検査をいう。

*23 「フランジ外側面距離」とは、車輪一对の中心線から、車輪踏面基準点の10mm下方位置までの水平距離をいう。

*24 「車輪内面距離」とは、輪軸の左右車輪内面（フランジ背面）間の距離のことをいう。

2.3.4.3 本件車両の定期検査の実施状況

本件車両の本事故直近の定期検査の実施状況は、次のとおりである。なお、それぞれの検査記録に異常を示すものは認められなかった。

列車検査	平成28年4月14日（同社検修区）
月検査	平成28年3月13日（同社検修区）
重要部検査	平成23年7月30日（新潟トランスス(株)）
全般検査	平成27年9月18日（新潟トランスス(株)）

※（ ）内は、検査実施場所を示す。

2.3.4.4 輪軸の検査記録

本件車両の輪軸は、直近の全般検査（平成27年9月18日）で新品に交換されており、その後、本事故が発生するまでの間に車輪削正は行われていない。

本件車両に関して、本事故直近に行われた全般検査及び本事故後に同社の^{せき}関機関区で測定した検査記録を表6に示す。車輪径、フランジ高さ、タイヤ厚さ、フランジ外側面距離及び車輪内面距離は、いずれも表5に示す使用限度値内の値で、本事故後においても全般検査のときと比べて状態が大きく変化するような値は認められなかった。

また、平成28年5月13日に本件車両の車輪踏面形状（断面形状）の測定を行ったが、修正円弧踏面の設計形状と大きな違いは認められなかった。

表6 直近の全般検査時及び本事故後に測定した輪軸の寸法（単位：mm）

車輪位置 検査項目	前台車（第1軸）		前台車（第2軸）	
	1位	2位	3位	4位
車輪径	763.0 (762.0)	763.0 (762.0)	763.0 (762.0)	763.0 (762.0)
フランジ高さ	26.5 (27.7)	27.0 (27.8)	26.5 (28.1)	26.5 (27.9)
タイヤ厚さ	29.0 (27.3)	29.0 (27.5)	29.0 (28.0)	29.0 (27.9)
フランジ 外側面距離	524.0 (523.0)	524.0 (523.2)	524.0 (523.7)	524.0 (523.4)
車輪内面距離	991.5 (991.5)		991.5 (991.5)	

車輪位置 検査項目	後台車（第3軸）		後台車（第4軸）	
	5位	6位	7位	8位
車輪径	763.0 (762.0)	763.0 (762.0)	763.0 (762.0)	763.0 (762.0)
フランジ高さ	26.5 (28.0)	26.5 (27.7)	26.5 (27.8)	27.0 (27.7)
タイヤ厚さ	28.5 (28.6)	28.5 (28.1)	29.0 (27.7)	29.0 (27.4)
フランジ 外側面距離	523.5 (524.1)	523.5 (523.6)	524.0 (523.4)	524.0 (523.1)
車輪内面距離	991.0 (991.0)		991.5 (991.5)	

※（）内の数値は、本事故後に測定した値を示す。

2.3.4.5 本件車両の左右の輪重バランスの状態

本事故直近の全般検査及び本事故翌日に同社の関機関区で測定した本件車両の静止輪重及び静止輪重比を表7に示す。

輪軸ごとに静止輪重から求めた静止輪重比は、最大でも全般検査時の6.0%であり、同社の管理値18.0%より小さい値であった。

表7 全般検査時及び本事故翌日に測定した静止輪重とこれから算出した静止輪重比

車輪位置 項目	前台車（第1軸）		前台車（第2軸）	
	1位	2位	3位	4位
輪重（kN）	36.2 (36.4)	35.8 (38.6)	36.0 (37.1)	40.6 (40.1)
静止輪重比（%）	0.6（2.9）		6.0（3.9）	

車輪位置 項目	後台車（第3軸）		後台車（第4軸）	
	5位	6位	7位	8位
輪重（kN）	33.3 (32.4)	33.0 (32.1)	32.3 (32.4)	33.6 (30.9)
静止輪重比（%）	0.5（0.5）		2.0（2.4）	

※（）内の数値は、本事故後に測定した値を示す。

2.3.4.6 本件車両の修繕履歴に関する情報

同社の車両検査履歴によると、記録として残っている平成21年以降、本件車両

の台車やブレーキに係る装置に大規模な修繕を行った記録はなかった。

2.4 鉄道施設及び車両の損傷状況等に関する情報

2.4.1 鉄道施設の損傷及び痕跡等の状況

- (1) 左レール（外軌）の主な損傷及び痕跡等の状況は、次のとおりであった。
 - ① 25k608m付近のまくらぎ間で左レール（外軌）が折損し、折損した位置のレール頭部が一部欠損していたが、左レール（外軌）の開口部の幅は1mm程度で大きくなかった。その他、特に、左レール（外軌）底部は、腐食によりその厚さがレール長手方向に対して大きく変化しており、レール断面積が小さい位置で折損していた（付図7 参照）。
 - ② 25k608m付近から列車進行方向に約0.23m離れた位置で、本件列車の左車輪が左レール（外軌）のゲージコーナ^{*25}から頭部にかけて約4.8m走行し、左レール（外軌）の軌間外側に脱輪する痕跡が認められた。
 - ③ 25k608m付近から列車進行方向に約0.23m離れた位置の左レール（外軌）のゲージコーナには、左車輪がレール頭部まで乗り上がった痕跡の他に、左車輪が左レール（外軌）に少し乗り上がり、再び元に戻った痕跡も認められた。
 - ④ 25k600m付近に、左車輪が左レール（外軌）から軌間外側に脱輪し、まくらぎ及びレール締結装置の上を走行したとみられる痕跡があった。
 - ⑤ 25k592m付近から25k590m付近にかけて、左レール頭部には左車輪と左レール（外軌）間に大きな滑りが生じたとみられる擦傷痕が認められ、25k590m付近で左レール（外軌）の軌間外側に脱輪する痕跡が認められた。
- (2) 右レール（内軌）の主な損傷及び痕跡等の状況は、次のとおりであった。
 - ① 25k601m付近に、右車輪が右レール（内軌）から軌間内側に脱輪し、まくらぎ及びレール締結装置の上を走行したとみられる痕跡があった。
 - ② 25k597m付近から25k590m付近にかけて、第4軸の右車輪と右レール（内軌）間に大きな滑りが生じたことによりできたとみられる擦傷痕が認められ、その後、第4軸の右車輪が軌間内側に脱輪し、まくらぎ上を左レール（外軌側）の方向に向かって斜めに走行した痕跡が認められた。
- (3) 25k571m付近のトンネル左側の側壁には、本件列車が接触したとみ

*25 「ゲージコーナ」とは、軌間内側にあるレール頭部の肩部のことをいう。半径の小さい曲線では、車輪のフランジがこの部分に接触する。

られる接触痕が認められた。

- (4) 脱輪した後台車にある車輪が軌道上を走行したことにより、PCまくらぎ及びレール継目付近に敷設されていた木まくらぎの合計88本が損傷した。
(付図4 レール折損位置付近の軌道の損傷状況(まくらぎ・締結装置の損傷箇所参照))

2.4.2 車両の損傷及び痕跡等の状況

本件車両の主な損傷等の状況は、次のとおりであった。

- (1) 後台車にある第3軸及び第4軸の合計4車輪の車輪踏面及びフランジには、まくらぎやバラストの上を走行したことにより生じたと思われる打痕や擦傷痕が多数認められた。しかしながら、空気ばね及び軸ばねには、目視検査において異常は認められなかった。
- (2) 後台車左側の台車枠に設置されているブレーキシリンダには擦傷痕が認められた。しかしながら、ブレーキ系統の配管類から空気の漏れは認められず、本件車両のブレーキ装置は正常に動作していた。
- (3) 車体後方の床下に装架されていたスノープラウには、レール等との接触により生じたと思われる接触痕が認められた。
- (4) 車体後方の床下に装架されていた気笛が、25k562m付近のレール間に落下していた。
- (5) 車体の後方左側面の下部には、トンネル側壁との接触により生じたと思われる接触痕が認められた。
- (6) 車体後方の左側に設置しているバックミラーが損傷していた。

(付図12 車両の損傷状況 参照)

2.5 乗務員に関する情報

本件運転士 男性 35歳

甲種内燃車運転免許

平成20年6月18日

2.6 運転取扱いに関する情報

同社が中部運輸局に届け出ている運転実施基準によると、本事故現場付近の曲線での最高運転速度は、上下線ともに60km/hとのことである。

2.7 気象に関する情報

本事故発生当時の事故現場付近の天候は晴れであった。また、同社によると、越美南線全線において本事故発生時刻ごろに運転規制は発令されていないとのことであっ

た。

2.8 その他必要な情報

2.8.1 本事故現場付近のレール更換計画の経緯に関する情報

同社によると、本事故現場付近のレールの更換計画について、次の経緯があるとのことであった。

- (1) 平成26年3月、2.3.3.5に記述したように、本事故で折損していたレールに連続する2本の左レール（外軌）の頭部の摩耗量が多いことから、これらの中古レールと更換している。このとき、須原トンネル内で漏水がない位置に敷設されたレールと比較して、本事故で折損していたレールは腐食が進行しており状態が良くなかったことから、同時にレール更換することを検討したが、同社で更換用のレールを入手することができなかつたため、別の機会に更換することに決めた。
- (2) 平成26年4月、本事故現場より美濃太田駅方にある天神トンネル内で、レール折損（本事故とは破壊形態が異なる「レールの破端^{*26}」）が発生したが、列車が走行する前に気付くことができたため、事故には至らなかった。
- (3) 平成27年12月、越美南線の他の場所でレールを更換したことにより発生した中古レールを、本事故で折損したレールの更換用レールとして再使用するため、同社工務区に保管した。
- (4) 平成28年2月、同社が直轄で、同年3月から4月ごろに、本事故で折損していたレールを同社工務区で保管していた上記(3)の中古レールに更換することを決定し、この準備作業として、作業要員の確保、線路閉鎖手続、レールの寸法調査などを平成27年度の年間作業計画を遂行する合間に行った。
- (5) 平成28年4月、本事故で折損したレールの更換を同年4月25日に同社が直轄で実施することを決めていたが、同年4月15日、更換を予定していたレールが折損して本事故が発生した。

同社によると、「まさかこんなに早く、腐食によりレールが折損するとは考えていなかった」とのことであった。

2.8.2 本事故当日の同社内での情報伝達に関する情報

同社によると、本事故当日の上り始発列車（北濃駅発、美濃太田駅行き）の運転士から、須原トンネル内の25k600m付近で、乗務していた列車が左側（外軌

*26 「レールの破端」とは、レールの継目部付近で発生する損傷の一種である。列車の走行により継目部で発生する衝撃荷重と継目ボルト孔周辺の応力集中や腐食などにより、ボルト孔周辺から亀裂が伝ばすることが多く、レール端部の上首部、下首部から水平方向に亀裂が伝ばすることもある。

側)に激しく揺れ、「ズドン」という異音を聞いたとの申告を、本事故当日の午前9時ごろ、終了点呼の際に機関区の当直が書面で受け取ったとのことであった。通常であれば、機関区の当直がこの情報を速やかに本社に報告し、必要に応じて、関係部署が適切に対処することになっている。しかし、このときは、本事故当日の上り始発列車の運転士が勘違いをし、書面に、本事故発生4日前である4月11日と誤って記載していた。さらに、上り始発列車の通過後から本件列車の脱線事故が発生するまでの間、上下線で合計18本の列車が須原トンネルを走行しているが、これらの運転士から異常な車両動揺や異音に関する申告はなかったため、機関区の当直は緊急性がないと判断し、結果的に本社に報告するのが遅れた。このため、本社技術部がこの事実を知ったのは、本事故当日の17時ごろであったとのことであった。

本社技術部は、この報告を受け、就業時間までに点検を終えることができないことから、週明けの4月18日に須原トンネル内のレールを点検するよう技術部社員に指示を出していた。

2.8.3 本事故時の状況

本件列車に乗車していた乗客2名の口述内容をまとめると、次のようになった。

- (1) 本件列車が母野駅を発車したとき、乗客は2名とも、列車進行方向の前方右側にある異なるボックスシートにそれぞれ座っていた。
- (2) 本件列車は、いつもどおりの列車ダイヤで運転していたと思う。
- (3) 通常、列車が走行しているときには、明かり区間^{*27}、トンネル区間ともによく揺れるが、本件列車の揺れはいつもと同じで、異状を感じるほどではなかった。
- (4) 本件列車は、母野駅を出発してから須原トンネルに入るまで、いつもどおりの速度で走行していたと思う。
- (5) 本件列車は、須原トンネルに入ってしばらくしてから、ガタガタとした振動があり、トンネル内で停止したが、乗客2名にけがはなかった。
- (6) 本事故発生後、本件運転士が乗客のけがの有無を確認した。その後、乗客2名は、本件運転士の誘導により本件列車前方の乗務員扉から降車し、須原トンネルの洲原駅方出口から外に出た。乗客2名は、トンネル出口付近にある国道まで迎えにきた乗客1名の家族の自家用車に便乗し、それぞれ帰宅した。

*27 「明かり区間」とは、トンネル区間以外の高架橋又は土路盤区間の総称である。

2.8.4 本事故現場において運転士間で共有されていた情報

同社によると、列車を安全、快適に運行するため、様々な路線情報を運転士間で自主的に共有し、列車の運行に活用しているとのことであった。その一つの情報として、本事故現場付近では「須原トンネル内の曲線のレール継目付近で、特に激しい揺れや異音ではないが、車輪フランジがレールと衝突するような揺れを感じる」との情報があり、運転士の一部は、須原トンネル内では衝撃を和らげるために速度を抑えて運転していたとのことであった。

なお、2.3.3.14(2)に記述したように、同社は、「運転士から要請があった場所」については、軌道の状態を確認しているが、本事故現場付近については、運転士から特に要請はなかったとのことであった。

3 分析

3.1 脱線地点に関する分析

3.1.1 脱線地点

2.3.1及び2.4.1に記述したように、

- (1) 25k608m付近から25k603m付近までの間に、左レール（外軌）のゲージコーナから頭部を通り軌間外側へと連続する車輪によるものとみられる痕跡があったこと、
- (2) 25k601m付近の右レール（内軌）の軌間内側のまくらぎ上に車輪の走行により生じたとみられる痕跡があり、同位置付近の左レール（外軌）の軌間外側のレール締結装置に損傷があったこと、
- (3) 25k592m付近から約1.5mの間の左レール（外軌）の頭部に擦傷痕が、25k590m付近の左レール（外軌）にレール頭部から軌間外側へとまくらぎ方向に横切る車輪の走行により生じたとみられる痕跡があったこと、
- (4) 25k590m付近の右レール（内軌）の軌間内側のまくらぎ及びレール締結装置上に車輪の走行により生じたとみられる損傷があり、同位置付近から須原トンネルの洲原駅方へ約85mにわたって、まくらぎ及びレール締結装置に車輪の走行により生じたとみられる損傷が続いていたこと

から、25k608m付近で、本件列車の後台車にある第3軸の左車輪が左レール（外軌）に乗り上がり始め、25k603m付近で軌間外側に脱線した。次に、第3軸が左レール（外軌）からトンネルの左側側壁の方向に向かって走行する過程において、後台車にある第4軸が、台車枠を介して同第3軸に左（外軌側）の

方向に引っ張られる形態となり、25k592m付近から同左車輪と左レール（外軌）間に大きな滑りをもった状態で約1.5m滑走した後、25k590m付近で左レール（外軌）を乗り越えて脱線した。その後、25k571m付近で車体の後方左側面下部及び後方スノープラウなどがトンネル左側の側壁と接触し、この衝撃で後台車の走行する向きを軌間中央方向に変えながら、約85mにわたってまくらぎ及びレール締結装置の上を走行し、本件列車の先頭部が25k523m付近で停止したものと考えられる。

3.1.2 脱線時の時刻及び走行速度

2.1.1に記述したように、運転士の口述によると、本件列車は、母野駅を定刻（19時23分30秒）に出発し、須原トンネルの入口付近まで徐々に加速し、そのときの速度が約50km/hであった。その後、2.3.1(1)に記述した曲線区間を列車が惰行で走行したと仮定すると、25k608m付近では列車の速度は、勾配や走行抵抗を考慮すると約53km/hとなり、そのときの時刻は19時24分40秒ごろとなる。

このことから、本件列車は19時25分ごろ、須原トンネル内の25k608m付近で、速度約53km/hで脱線した可能性があると考えられる。

3.2 車両に関する分析

2.3.4.4及び2.3.4.5に記述したように、本事故直近に行われた全般検査及び本事故翌日に測定した輪軸の寸法に同社の使用限度値を超過するような値は認められず、本件車両の静止輪重比も全般検査時が最大6.0%、本事故後が最大3.9%で、それぞれ同社が定める管理値である18.0%より小さかった。

また、2.4.2に記述したように、本事故後の目視検査で車両の左右の輪重バランスに影響を及ぼす空気ばね、軸ばねに異常が認められなかったこと、2.3.4.4に記述したように、本事故翌日に測定した車輪踏面形状は修正円弧踏面の設計形状に近い形状であったこと、2.4.2に記述したように、本事故後においても本件車両のブレーキ系統の配管類からの空気漏れがなく正常に動作していたこと、さらに、2.3.4.6に記述したように、本件車両には台車やブレーキに係る装置に大規模な修繕を行った履歴もなかったことから、本件車両には脱線を誘発させる異常な状況はなかったものと推定される。

3.3 軌道に関する分析

3.3.1 軌道保守に関する分析

(1) 軌道の定期検査に関する分析

2.3.3.3及び2.3.3.6に記述したように、同社は、軌道土木実施基準に定められた周期で軌道検査を行っており、レール等の検査において摩耗や腐食等によるレール断面積の減少でレールの更換を判断する基準を除くと整備基準値内の値であったことから、これを除く検査項目については、軌道の定期検査が適切に行われていたものと推定される。また、その他の定期検査項目についても、同社の記録によると、徒歩巡回の機会を捉えて行っていた可能性があると考えられる。なお、レール等の腐食の状態については長年目視のみで検査を行っていたものと考えられ、腐食の程度が進んだと感じた場合は、同社の軌道土木実施基準第70条第1項(2)の規定によりレール更換の有無を判断する必要があったものと考えられる。

(2) 軌道の定期検査の正確性に関する分析

2.3.2(3)に記述したように、本事故現場は照明設備のないトンネル内であったことから、軌道土木実施基準に基づく目視による定期検査において不備を見落としやすい環境であったことが関与した可能性も考えられるが、2.3.3.6に記述したように、レール等の検査で摩耗や腐食等によるレール断面積の減少でレールの更換を判断していなかったことを除くと、軌道土木実施基準によって明確な整備基準値が設けられている軌道変位や更換基準が定められているレール頭部の摩耗量については、このような環境においても、その整備基準値内の適切な値に整備されていた。その一方で、整備基準値が明確に設けられていないレール締結装置の締結ボルトの締結状況や軌道パッドの取付状況などについては、2.3.3.8に記述したような連続した不備が認められる状況であった。

このことから、同社の軌道の定期検査は検査項目によって実施の程度が異なり、軌道土木実施基準で整備基準値が設けられていない検査項目については、検査が粗雑になっていた可能性があると考えられる。

(3) 連続した締結ボルトの緩み及び軌道パッドの脱落に関する分析

2.3.3.7に記述したように、本事故現場で折損したレール底部は腐食により局所的に激しく減肉していたことから、レール底部とPCまくらぎ間に隙間が生じ、まくらぎがレールを支持する間隔が、レール底部とまくらぎ間に隙間がない正常な場合より長くなっていた可能性があると考えられる。このことが、列車走行時の荷重変動によるレールの曲げ変位を増大させ、そのレールの曲げ振動が、2.3.3.8に記述したように、連続した締結ボルトの緩

み及び軌道パッドの脱落を生じさせた可能性が考えられる。

3.3.2 レールの折損に関する分析

(1) 本事故現場付近のレールの状況

2.3.1(1)に記述したように、本事故現場付近はトンネル内で直射日光の当たる場所ではなく気温変動が小さいと考えられること、2.3.1(2)に記述したように、折損した位置の直近のレール継目部に遊間が認められたこと、2.4.1(1)に記述したように、左レール（外軌）の折損した位置付近は、局所的に腐食が激しく、折損後の開口部の隙間は1mm程度であったことから、本事故現場付近で認められた左レール（外軌）の折損は、気温変動によるレールの伸縮によるものではなく、レールの局所的な腐食に起因するものと推定される。

(2) レールの折損メカニズム

2.3.3.9に記述したレール破断面の分析結果から考えられるレール折損までの過程は、次の3つである。

① 腐食減肉過程

2.3.3.9(3)に記述したように、レールから採取したさびを分析した結果、レール底部のさび成分からマグネタイトが検出されたことから、本事故で折損したレールは、湿潤環境に敷設されていた可能性が考えられる。また、レール腹部を観察すると底部の減肉量が頭部に比べてやや多く、腐食により表面の粗さも大きかった。一般的に、水が滴下する環境に置かれた金属の表面に生じるさびは、一様ではなく、その粗さが大きくなることが知られている。

これらのことから、本事故で折損したレールは、トンネルから滴下した漏水によるぬれと周辺環境による乾燥の繰り返しにより、レールが腐食して断面積が減少した可能性があると考えられる。

② 疲労亀裂の発生及び進展過程

2.3.1に記述したように、本事故で折損したレールは、円曲線中の左レール（外軌）であったことから、列車通過時の輪重と横圧により作用する曲げ荷重が軌間外側のレール底部に作用するものと考えられる。また、2.3.3.9(2)に記述したように、破断面観察結果によると、付図9のA点付近は疲労破面の特徴を示していた。

これらのことから、レールの腐食減肉により列車通過時の曲げ荷重が疲労強度を超過したことで、軌間外側のレール底部に疲労亀裂が生じ、さらに、列車通過時による曲げ荷重の繰り返しにより、A点付近の疲労亀裂が

レールの他の部位に進展した可能性が考えられる。

③ 急速脆性破壊過程

2.3.3.9(2)に記述した破断面観察結果によると、A点以外の破断面には、脆性破壊によって生じたへき開破面と考えられる特徴が認められたことから、亀裂はB点からD点の方向に、すなわちレール底部からレール頭部の方向に巨視的な亀裂が進展した可能性が考えられる。このことから、軌間外側のレール底部に生じた疲労亀裂の進展に伴って増加した応力が材料の破壊靱性値に達し、脆性破壊による急速破壊によりレール折損が生じた可能性があると考えられる。

これらの過程に基づき、本事故のレール折損メカニズムをまとめると、次のとおりとなる。

トンネルから滴下した漏水によりレール底部が局所的に腐食、減肉してレールの機械的強度が低下するとともに、その進展過程において、列車走行時のレールの曲げ振動が大きくなったことにより、レール底部が局所的に減肉していた付近のレール締結装置の締結ボルトが緩み、軌道パッドが脱落したものと考えられる。このような状況下にあるレール上を、列車が繰り返し走行したことにより、列車走行時のレールの曲げ変位が増大するとともにレールに作用する応力が大きくなり、軌間外側のレール底部に疲労亀裂が生じ、列車の更なる繰り返し走行により、レールの疲労亀裂が進展し、ここを起点として脆性破壊によりレールが完全に折損したものと考えられる。

これらのことから、本事故におけるレールの折損は、腐食によるレールの機械的強度の低下のみならず、連続したレールの締結装置の締結ボルトの緩み及び軌道パッドの脱落がレールの折損に関与した可能性があると考えられる。

(3) レールが局所的に激しく腐食していたことに関する分析

2.3.3.7に記述したように、左レール（外軌）が折損した位置ではレール断面積が最大約55%（概算値）減少しており、この位置から母野駅方の約2.0m、洲原駅方が約1.0mの区間のレール断面積の減少率が、レールの更換基準である28%を超過した状態であった。これらのレール断面積が減少していた位置は、2.3.3.12に記述したように、漏水対策として須原トンネル天井の改修工事が行われた位置とおおむね一致しており、左レール（外軌）が折損した位置付近は、当委員会が調査を行った日においてもレール際のバラスタがトンネルからの漏水によりぬれていた。

一方、本事故発生位置付近の漏水環境については、2.3.3.13に記述したよ

うに、本事故現場付近で採取された漏水の成分分析結果によると、腐食の促進因子とされる塩化物イオン及び硫酸イオンの濃度が低く、導電率も低いことから、漏水そのものの腐食性は弱いと考えられる。このことから、トンネルからの漏水が短期間でレールの腐食を促進させた可能性は低いと考えられる。

これらのことから、同一レールで腐食の進行の程度を漏水有無の位置別に、すなわち、レール折損位置から母野駅方に2.5m離れた位置とレール折損位置付近を比較すると、レール折損位置付近では、少なくとも、平成21年度にトンネル定期検査で「B」と判定されてから約7年間にわたりトンネル天井からの漏水が局所的にレール及びその周辺に滴下し続けたことにより、レールの腐食が進行するとともにこれが減肉したことで、2.5m離れた位置よりレール断面積が4割程度多く減少したものと推定される。

なお、漏水の成分が腐食性の弱い一般的な水であったことから、本事故現場と同様の条件となるトンネル内の漏水箇所においては、同社以外の鉄道事業者においても、本事故のようなレール折損が発生する可能性があると考えられる。

(付図5 レール折損位置付近のトンネル内の状況、付図7 レール折損位置付近の左レール(外軌)の断面形状変化 参照)

(4) レール腐食からレール折損の危険性を判断することができなかったことに関する分析

2.3.3.4及び2.3.3.6に記述したように、同社の軌道土木実施基準にはレールの更替に関する判断が4つあり、このうち、レール摩耗、腐食等による断面積の減少に関する判断基準については、同社はレールの状態を目視で判断していたが、レールの状態が良くない場合でも、軌道土木実施基準第70条第1項(2)の規定によりレール更替の必要性の有無を定量的に判断することは行っていなかった。このことが、同社が腐食したレールの更替に関する緊急性を認識することができなかったこと及びレールの折損を未然に防止することができなかったことに関与した可能性がある。

さらに、2.8.1(2)に記述したように、本事故とは破壊形態は異なるが、本事故の約2年前に本事故発生場所とは異なる別のトンネル内においても、レール折損が発生しており、そのときに原因を明確にするとともに社内で情報共有を適切に行っていたら、本事故の発生を未然に防止することができた可能性があったと考えられる。

(5) 折損したレールの更替工事の体制に関する分析

2.8.1に記述したように、同社は、本事故で折損したレールの更替用レー

ルの入手に約1年9か月を、更替用レールの入手から更替に着手する予定日まで更に約4か月を要しており、この間に本事故が発生している。

このように、同社が速やかにレールの更替作業を実施することができなかったことについては、2.3.2(2)に記述したように、同社では経年の長い6種類のレールを使用しており、更替用レールを速やかに入手することが困難な状況にあったことに加え、2.8.1(4)に記述したように、同社がレール更替工事に着手するまでに時間を要する実施体制であったことが関与した可能性が考えられる。

これらのことから、同社にとって更替用レールの入手が困難であったことを考慮しても、少なくとも、更替用レールを入手した段階で、速やかにレール更替作業が実行できる実施体制にしておく必要はあったものと考えられる。

(6) 本事故前に同社がレール折損を予見できた可能性に関する分析

2.3.3.6に記述したように、同社の開業以降、同社の軌道土木実施基準で規定された更替基準に基づき定量的な判断を行っていなかったこと、及び2.8.1に記述したように、同社は、少なくとも平成26年3月には、本事故で折損したレールの腐食が進行し状態が良くないことを理解していたが、腐食によりこんなに早くレールが折損するとは考えていなかったことから、本事故前にレール折損を予見することは困難な状況であったものと考えられる。

3.4 脱線に関する分析

3.4.1 軌道変位の関与

2.3.3.3に記述したように、平成27年7月29日に可搬式軌道検測装置により測定した軌道変位には、左レール（外軌）が軌間外側に張り出すような形態で基準値に対して比較的大きい+20mm程度の通り変位と、左レール（外軌）が設定カント量より下がる形態で-10mm程度の水準変位が認められた。また、この位置における水準変位の波長は約15mであった。この条件の軌道上を本件列車が50km/hで走行した場合、本件列車は水準変位により約0.9Hzの周波数で励起されロール振動するものと考えられる。

一般的な鉄道車両の場合、車両のロール振動の固有振動数は約1.0Hzであることが知られており、軌道変位により励起される車体のロール振動の周波数がこれに近い場合、共振状態に近くなるので車体のロール振動の変位が大きくなり、輪重減少を助長させる可能性がある。同時に、軌道に大きな通り変位があった場合、車輪に作用する横圧が大きくなり脱線係数が大きくなるため、車輪がレールを乗り上げる可能性が高くなる。

これらのことから、本事故現場には脱線にまでは至らないが、本件列車の左車輪

を左レール（外軌）に乗り上げさせる軌道変位があった可能性が考えられる。

3.4.2 レール締結装置及び軌道パッドの関与

2.3.3.7及び2.3.3.8に記述したように、25k608m付近の軌道には、まくらぎ4本程度の連続した範囲でレール底部が腐食により減肉していたことから、レール底部とまくらぎの間に隙間が生じていた可能性があること、及びレールが折損した位置付近ではレール締結装置の締結ボルトが連続して緩み、レールの下に敷くゴム製の軌道パッドが連続又は一部脱落していたことから、列車の走行による荷重変動により軌道の水準変位が定期検査で測定した静的な値より大きい状態となっていた可能性が考えられる。

このことから、本事故当時の軌道変位は、同社の軌道土木実施基準に基づく軌道の静的な整備基準値を満足していたが、レール締結装置及び軌道パッドの不備により、列車走行時に静的な水準変位の値より大きい状態となっていた可能性があり、本件列車の左車輪（外軌側）の脱線係数の増加を更に助長させた可能性があると考えられる。

3.4.3 レールの折損の関与

2.4.1(1)に記述したように、25k608m付近の左レール（外軌）は、まくらぎ間で折損していた。一般的に、2本のまくらぎで支持されたレール上を列車が走行すると、その荷重変動によりまくらぎ間のレールが上下方向にたわむ。このとき、レールがまくらぎ間で折損した場合、レールはそれぞれのまくらぎに支持された片持ち梁^{はり}の形態となるため、レールの折損位置の前後でレールの曲げ剛性が不連続となるとともに段差が生じ、ここを通過する車輪には上下方向の更なる変位及び衝撃力が作用することから、本件列車の車輪がレールの折損位置を通過した際に水準変位が更に大きくなっていた可能性が考えられる。

これらのことから、25k608m付近の軌道には、3.4.2に記述したように、整備基準値以下であるが車両のロール振動を誘発する波長の静的な水準変位があり、これに、上述したように、本件列車が走行したことによる荷重変動に起因する水準変位及び左レール（外軌）が折損したことによる水準変位が加わったことで、本件列車の左車輪（外軌側）の輪重減少が大きく助長され、本件列車の脱線に至った可能性があると考えられる。

3.5 レールの折損時期に関する分析

- (1) 2.8.2に記述したように、本事故発生日の上り始発列車の運転士が25k600m付近を通過した際、異音とともに列車が左側（外軌側）に激しく揺

- れたことを申告しているが、その後、本件列車の運転士が乗務した列車も含め、18本の列車の運転士からは軌道に関する異常の申告はなかったこと、
- (2) 2.1.1に記述したように、本件運転士は、車両の後方から突然大きな音とともに、車体を突き上げるような衝撃を感じたと口述しており、これは3.4.3で記述したように、折損により段差が生じたレール上を列車が走行したときの特徴に似ていると考えられること、
 - (3) 2.3.3.9に記述したように、本事故後のレールの折損部の破断面を目視で確認したところ、底部とは対照的に頭部に明確な腐食が認められなかったこと、
 - (4) 3.3.2(2)に記述したように、破断面観察の結果から、左レール（外軌）は軌間外側のレール底部の疲労亀裂を起点にレール頭部に向けて急速に折損に至った可能性があること

から、25k608m付近のレールは、本事故以前から軌間外側のレール底部に腐食による亀裂が生じていた可能性があり、ここを列車が繰り返し走行したことで、レールが脆性破壊により急速に折損に至ったものと考えられ、少なくとも、本件列車の後台車がこの位置付近を走行したときにはレールが折損していたものと考えられる。

しかしながら、始発列車通過時から本件列車の通過までの間のレールの状態を推測する情報がないことから、レール折損時期を明確に特定することはできなかった。

一方、25k608m付近を通過する際に18本の列車の運転士から異音の申告がなかったことは、2.8.3(3)に記述したように、これまでも列車は全線にわたり走行中はよく揺れていたとの口述があったこと、2.8.4に記述したように、車輪フランジがレールと衝突するような揺れを感じた場所が全線で多数あったことにより、それぞれの運転士が列車動揺を日常的なものと思い、軌道の異状に気付くことができなかった可能性があると考えられる。

3.6 同社の情報伝達に関する分析

2.8.2に記述したように、本事故当日の始発列車の運転士は、25k600m付近のレールの異状に気づき、2.8.4に記述した運転士の情報共有にとどまらず、同日の終了点呼で書面により申告しているが、ここに記載した申告日を間違えたことにより、社内でのレールの異常に関する情報の伝達が結果的に遅れた可能性がある。

一方、機関区の当直が終了点呼で当該運転士からこの書面を受理したとき、本事故当日ではない申告日を書面に記載していたことについて、始発列車の運転士にその真偽を確認することができていれば、本事故発生前に本社技術部の社員を現場確認に行かせることができたことから、本事故を未然に防止することができた可能性があると考えられる。

4 原因

本事故は、本件列車がトンネル内の円曲線区間を走行している際、

- (1) 曲線中で定常的に発生する外軌側の横圧が、比較的大きな通り変位の存在により更に増加していたこと、
- (2) 輪重減少を助長する比較的大きな水準変位が存在していた軌道において、レール締結装置の締結ボルトの緩み及び軌道パッドの脱落が連続していたことにより、列車走行時に軌道の水準変位が更に大きくなったこと、

これらに加えて、

- (3) 本件列車の後台車の通過時に、左レール（外軌）が折損していたため軌道の水準変位が更に増加したこと

により、後台車にある第3軸の左車輪において輪重が大きく減少して脱線係数が大きくなったため、同車輪がレールを乗り越えて脱線に至った可能性があると考えられる。

トンネル内のレールが折損したことについては、同社が定期的に行っている軌道検査において、腐食によるレール断面積の減少率がレール更換の判断基準を大幅に超過した状態となっていたことに気付くことができず、更にはレールの腐食から生じたと考えられる亀裂や連続したレール締結装置の締結ボルトの緩み及び軌道パッドの脱落を見落とし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) レールの折損対策について

- ① 本事故は、トンネルからの漏水による局所的なレールの腐食と減肉に起因してレールが折損したことが原因であることから、同社は、トンネルからの漏水位置等においては、重点的にレールの腐食状態を確認するとともに、必要に応じて、レールの更換も含めレールの機械的強度の減少を適切に管理することが必要である。

また、レールの腐食を防止するため、トンネルから滴下する漏水を抑止すること、レールに防腐剤などを塗布する防食工法を取り入れることも再発防止に有効である。

- ② 本事故は、同社が実施基準に規定された更換基準に基づき定量的な判断を行っていなかったことが、レールの腐食が進んでいたにもかかわらず、緊急に更換する必要性を認識することができなかったことなどに関与して

いる。その一方で、同社の定めたレール断面積の減少率によりレール更換を判断する方法は、実務上、頻繁に実施することが難しい側面もあることから、同社においては、本事故で折損したレールを断面積の減少に関する標本として補助的に活用するなどして、同社が実施基準で規定しているレール更換に関する判断基準に達する前に、計画的にレール更換を行うことが必要である。

- ③ 本事故は、同社がレールの腐食の進行を懸念していたにもかかわらず、更換用のレールを入手してからレールを更換する予定日まで約4か月も要し、この間に本事故が発生している。このことから、同社はレール更換計画から実際にレールを更換するまでの着手期間を可能な限り短縮するか、これが難しい場合には、徒歩巡回などでレールの変状を注視するとともに、必要に応じてレールを補強する必要がある。

また、同社では新品で入手することが困難な種類のレールを使用していたことが、更換用レールを速やかに入手できなかったことに関与した可能性が考えられることから、容易に入手できる種類のレールに統一するなど計画的に軌道の更新を図ることが望まれる。

- (2) 丁寧な軌道検査の実施について

本事故は、連続したレール締結装置の締結ボルトの緩み及び軌道パッドの脱落が、列車の走行による動的な荷重変動によるレールの曲げ変位を大きくし、急速な脆性破壊を生じさせてレールを折損させたことに関与した可能性がある。このことから、連続したレール締結装置の締結ボルトの緩み及び軌道パッドの脱落など、整備基準値が設けられていない軌道の検査項目においても、徒歩巡回で見落とさないよう丁寧に検査を行う必要がある。

- (3) 情報伝達の迅速化について

本事故当日の始発列車の運転士は、本事故現場付近を走行中に異音を感じ、終了点呼において書面で申告したが、申告日を間違えて記載したことにより、結果的に同社内での情報伝達が遅れた可能性がある。このことから、異状を感知したら速やかに本社に報告するよう、情報伝達の仕組みを改善することが望まれる。

5.2 本事故発生後に同社が講じた措置

同社は、本事故発生後、次の再発防止策を講じた。

- (1) トンネル区間における老朽レールの更換について

トンネル内のレール底部を含めたレールの状態検査を実施し、5か所のトンネルで合計25本のレールを更換対象にするとともに、平成28年7月

23日に、対象とする全てのレールの更替を完了した。

(2) トンネル区間での確実な軌道検査の実施について

徒歩巡回で視認しにくいトンネル区間で確実な軌道検査を行うため、レール締結装置の締結ボルトを確実に締結した後に、締結ボルトの緩みの状態を一本線の向きで判断することができるボルトキャップ（頭部に白色一本線の入ったキャップ）の取付け、又は締結ボルトと締結ばね間にマジックで合いマークを付けることをそれぞれ新規に採用し、照明装置の照度向上と併せて、トンネル区間での軌道検査でレール締結装置の緩んだ締結ボルトを目視で発見しやすくするよう改善した。

（付図13 ボルトキャップの取付状況（須原トンネル） 参照）

(3) トンネル区間でのレールの折損対策について

トンネル区間の漏水箇所又は過去に漏水が認められた箇所のレールの腐食状態を把握するための測定ポイントを新規に設けるとともに、徒歩巡回において、従来の検査項目に加えてレールの状態確認を実施することとした。さらに、摩耗や腐食が懸念されたレールについては直ちにレール断面測定を行い、早急な対策を心掛けることとした。

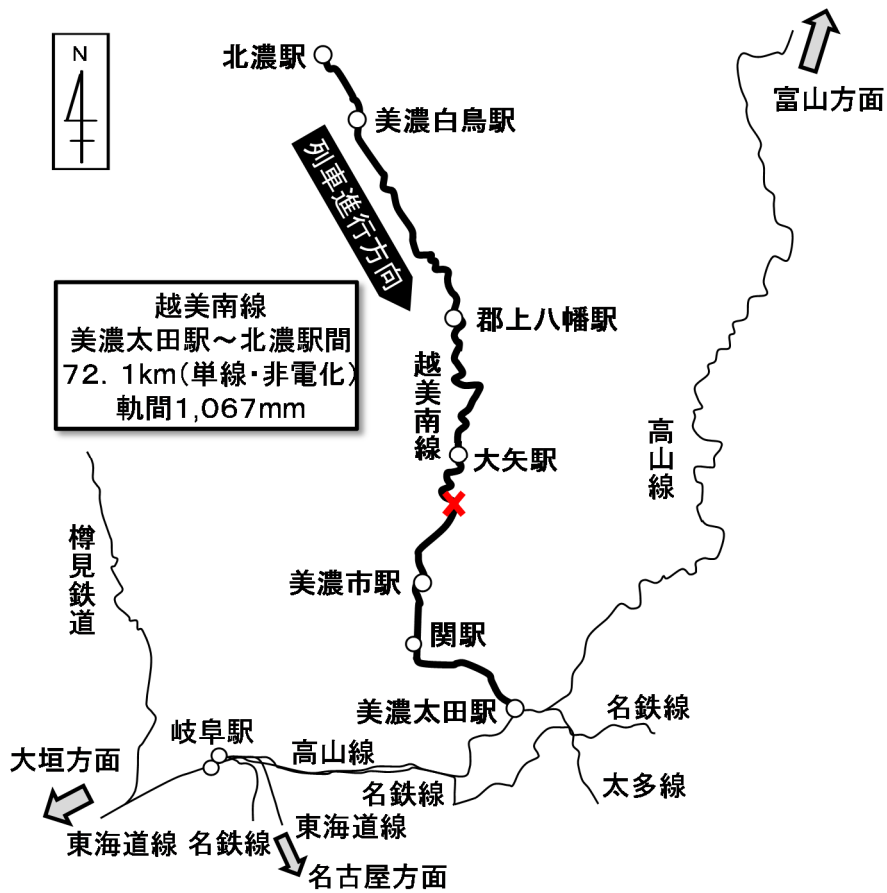
(4) 明かり区間でのレールの折損に対する対策について

明かり区間のレールについては、頭部に傷が認められたレールを対象に、必要に応じて、レールを補強することとした。

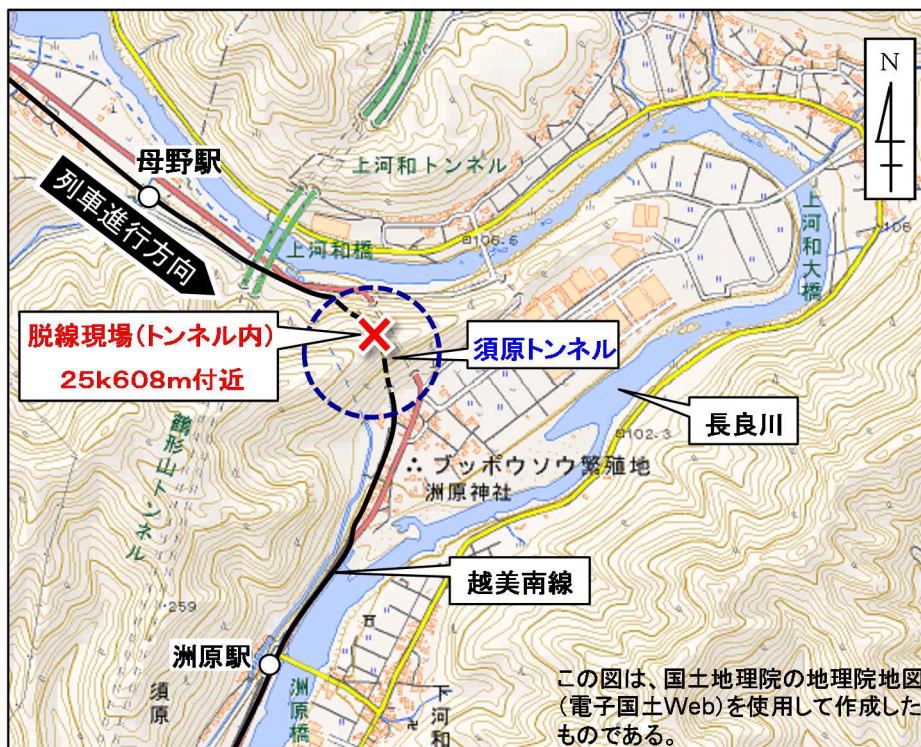
(5) 教育訓練の実施

実践的な教育訓練の機会を増やすとともに、過去の事件事例や他社の取組などを参考に検査方法の標準化及び検査精度の向上を図ることとした。

付図1 越美南線路線図



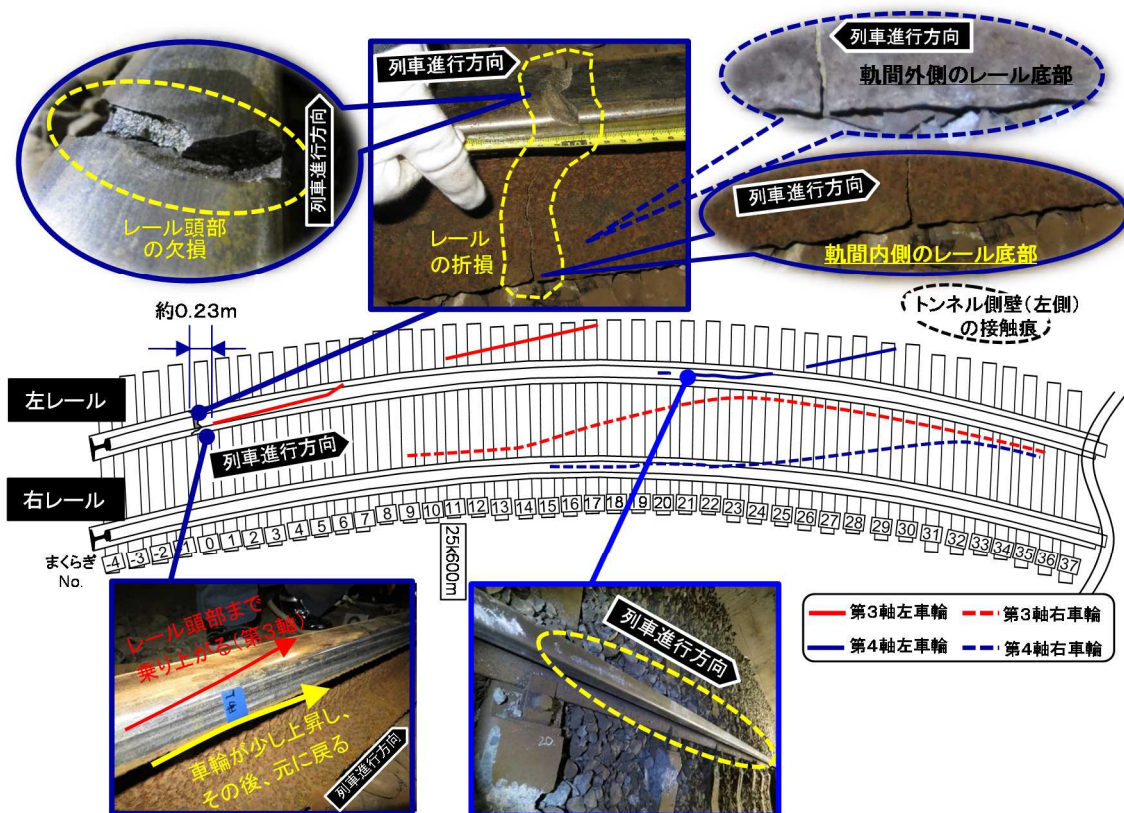
付図2 本事故現場付近の地形図



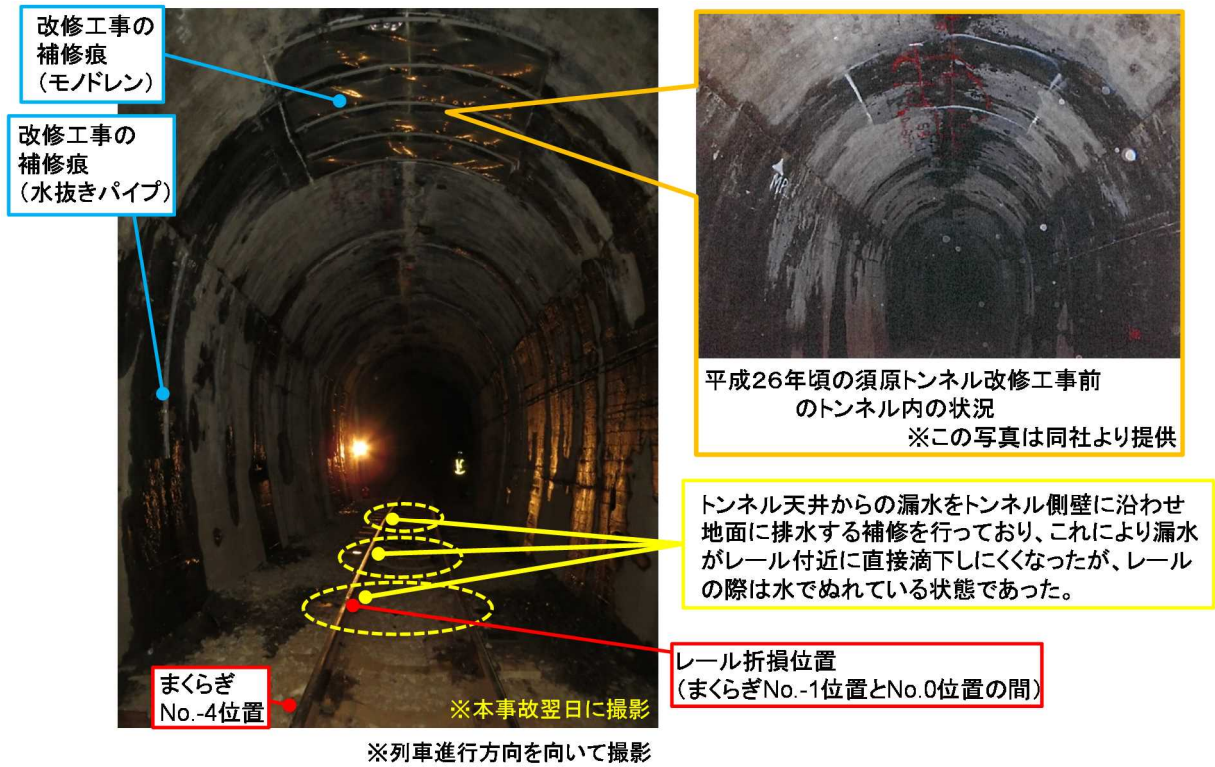
付図3 本事故現場の略図



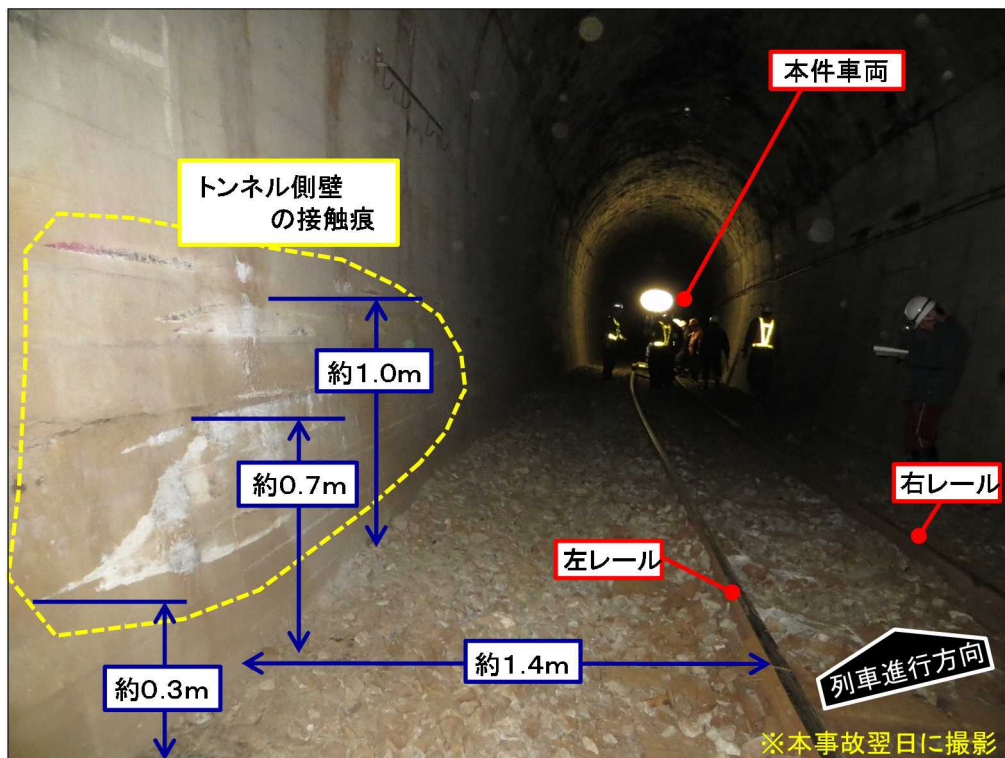
付図4 レール折損位置付近の軌道の損傷状況 (まくらぎ・締結装置の損傷箇所)



付図5 レール折損位置付近のトンネル内の状況

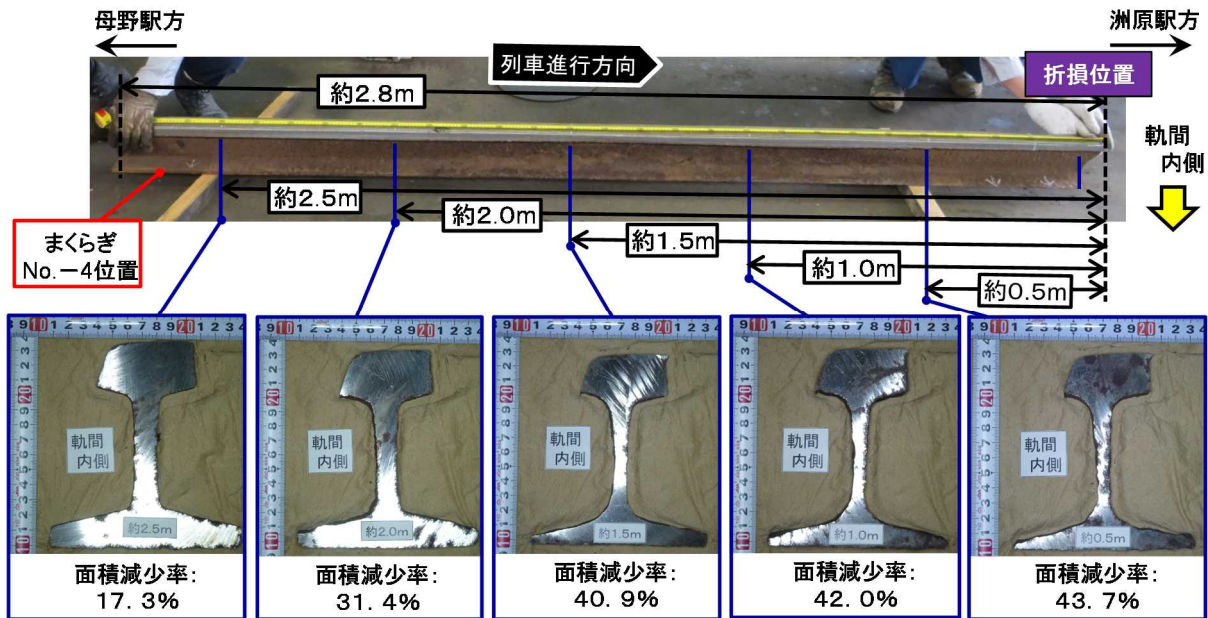


付図6 トンネルの損傷状況

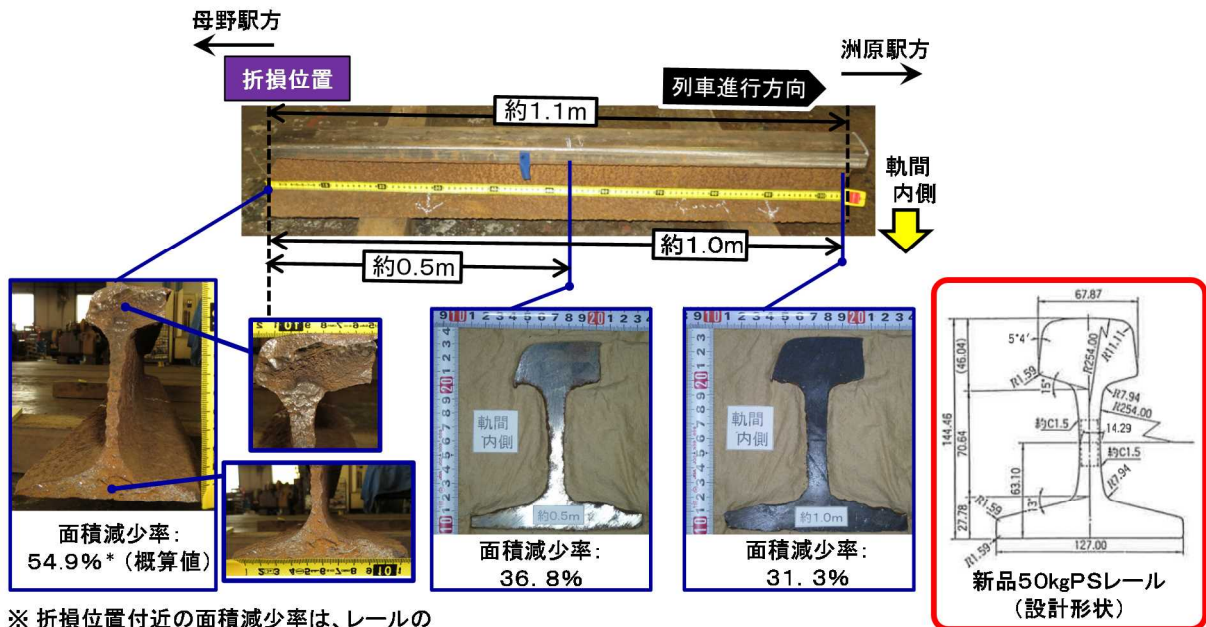


付図7 レール折損位置付近の左レール（外軌）の断面形状変化

(a) レール折損位置から母野駅方の左レール（外軌）

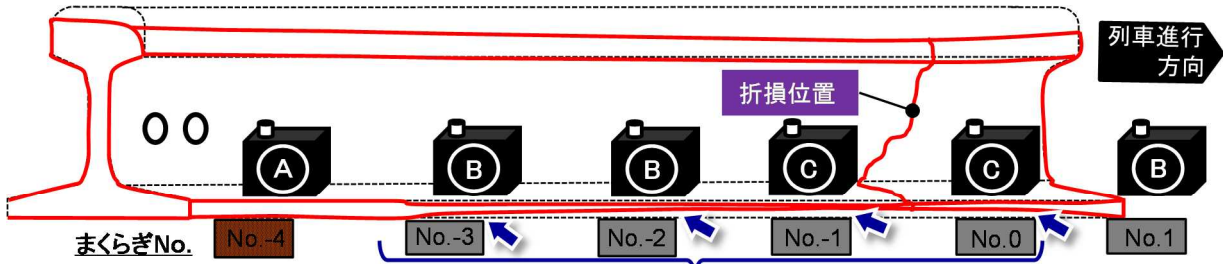


(b) レール折損位置から洲原駅方の左レール（外軌）

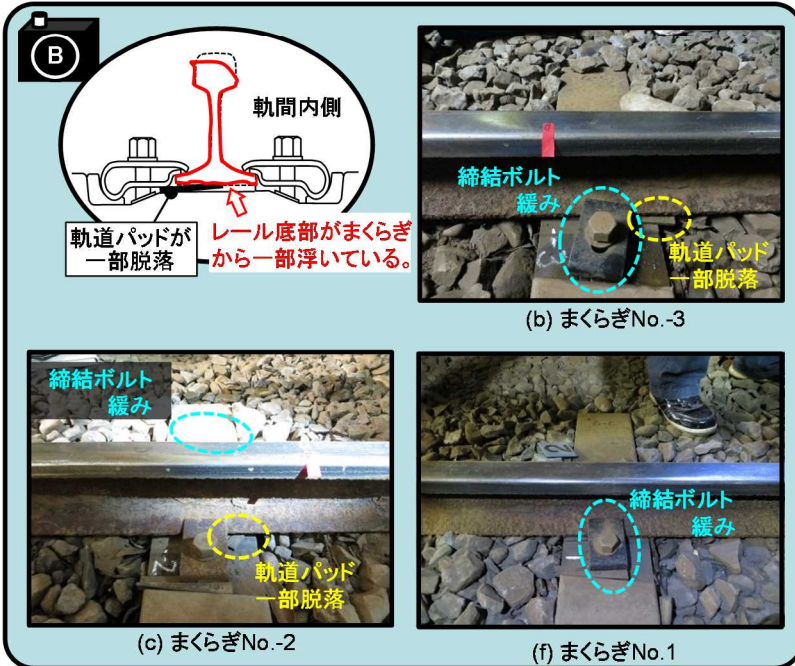
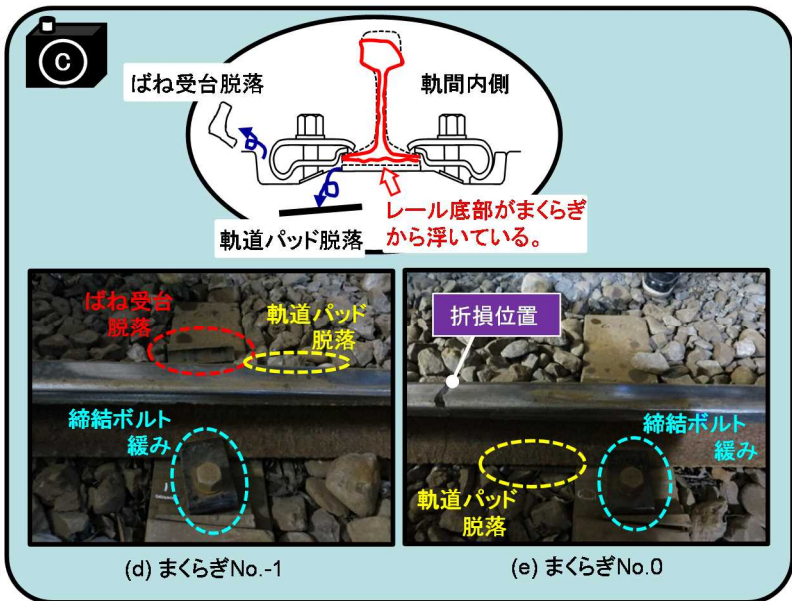
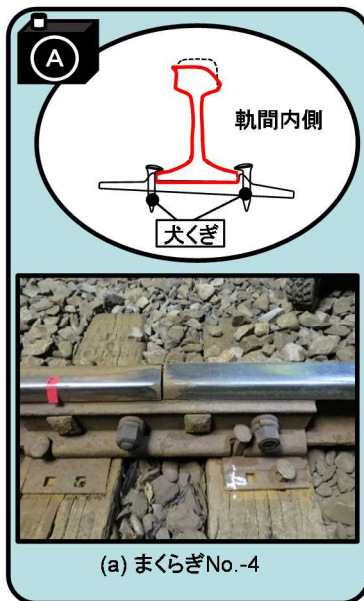


※ 折損位置付近の面積減少率は、レールの破面解析などの調査を行う必要があったため、レールを輪切りにして調べることができなかった。このため、レール折損位置付近の面積減少率は概算値とした。

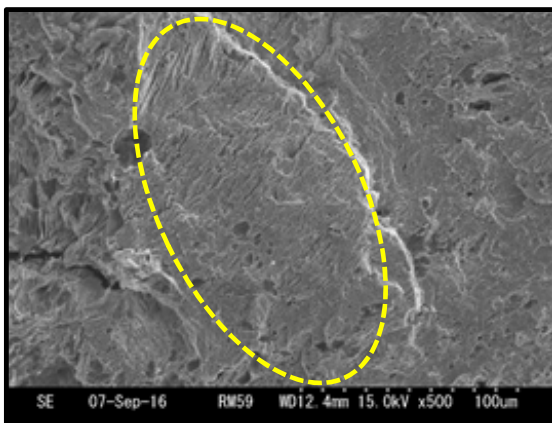
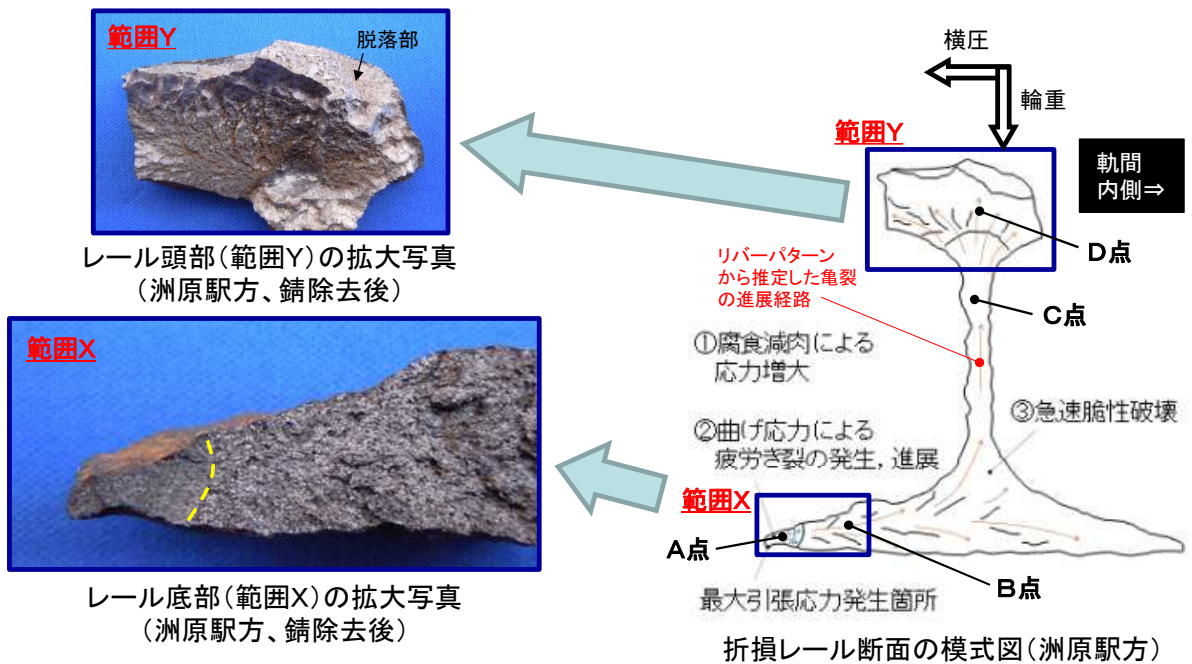
付図8 レール折損位置付近の左レール（外軌）のイメージ図とレール締結装置の状態



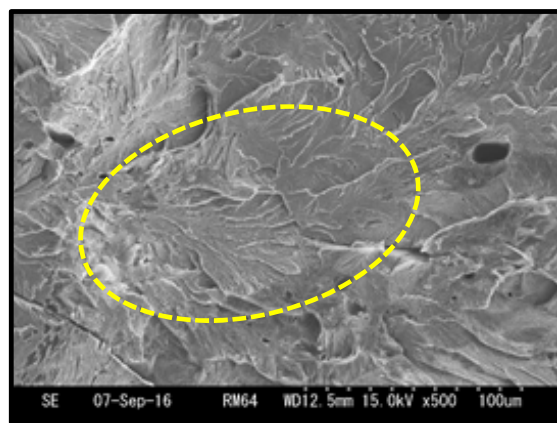
レール底部の局所的な腐食により、まくらぎから浮いた状態となり、レールが両端のまくらぎに支持された状態となっていた可能性がある。



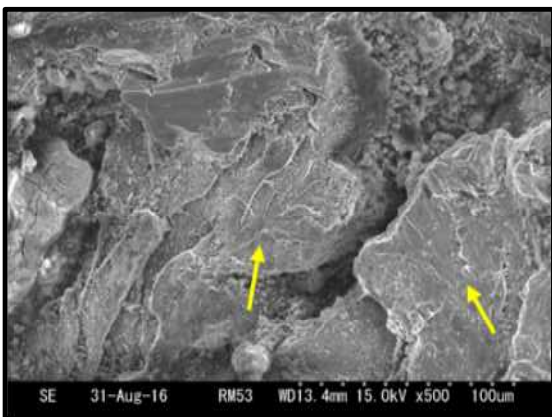
付図9 レール折損位置の破断面分析結果



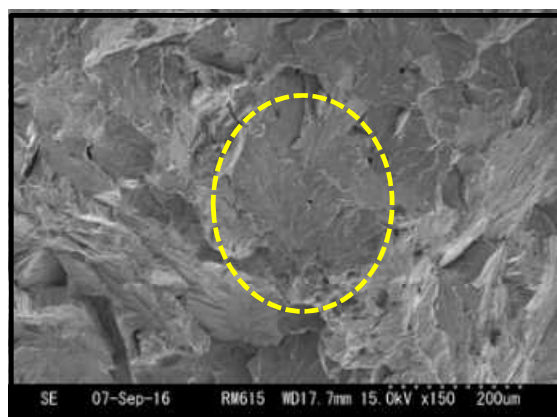
A点のSEM画像



B点のSEM画像



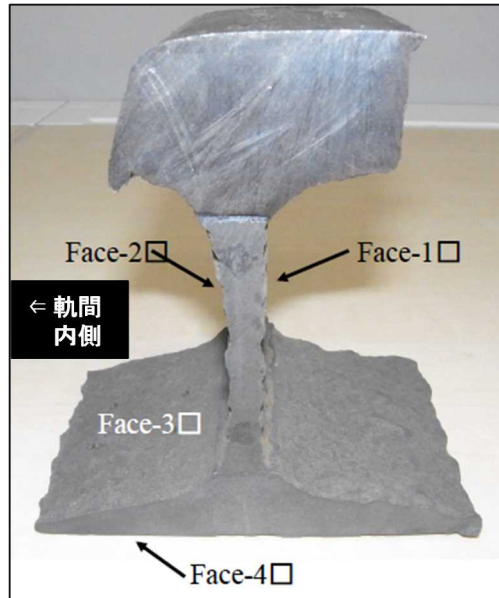
C点のSEM画像



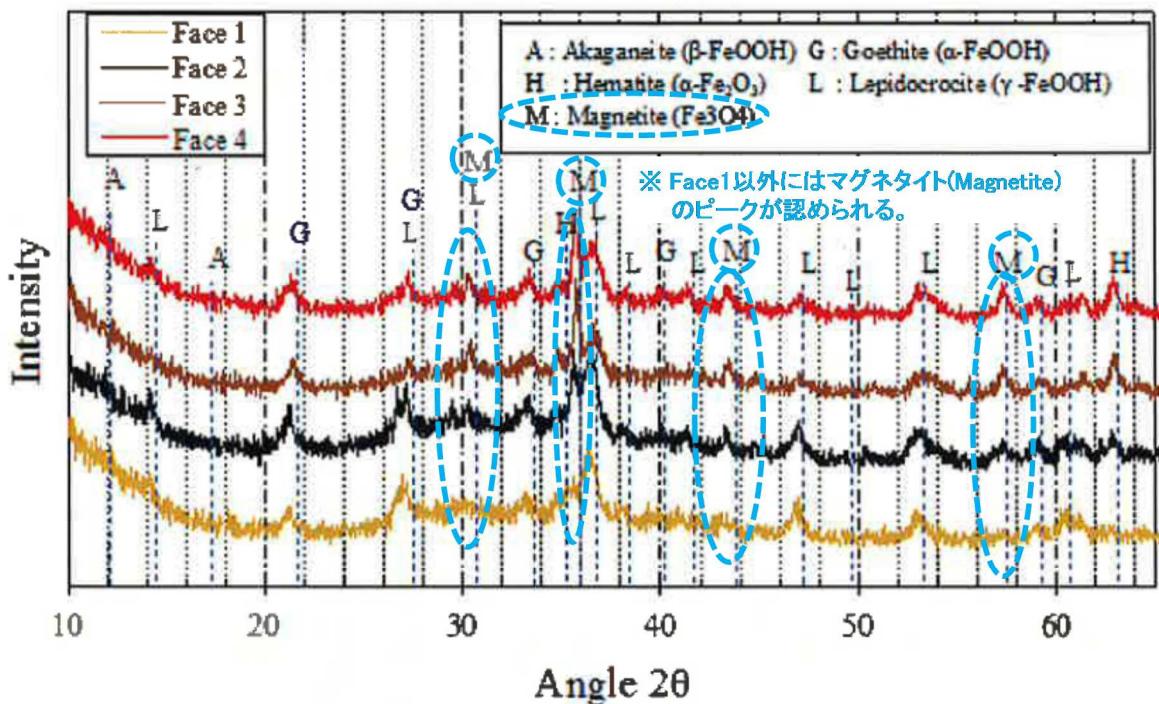
D点のSEM画像

付図 1 0 X線回折法によるレール折損位置から採取したさびの分析結果

(a) さびの採取位置

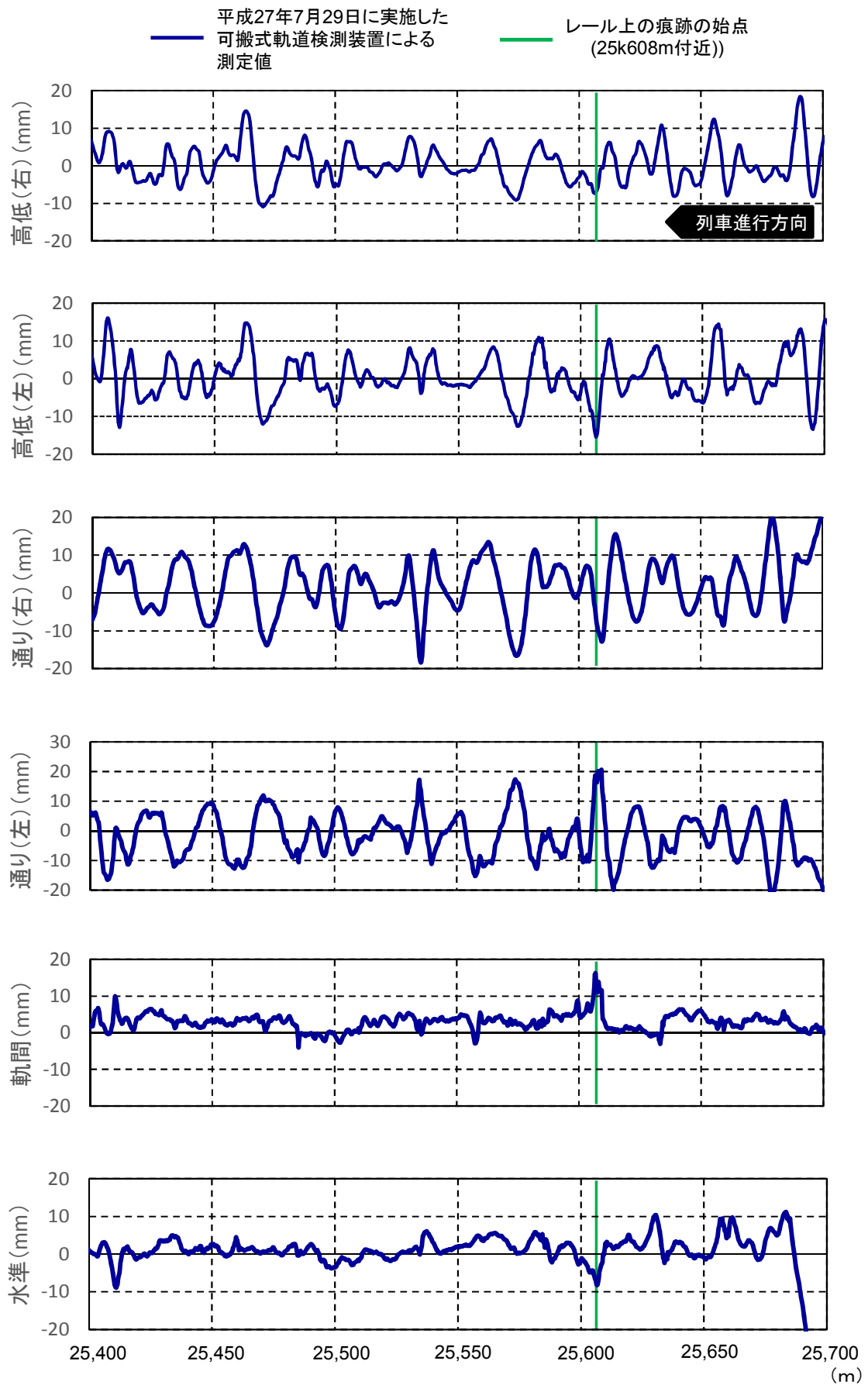


(b) さびのX線回折法による分析結果

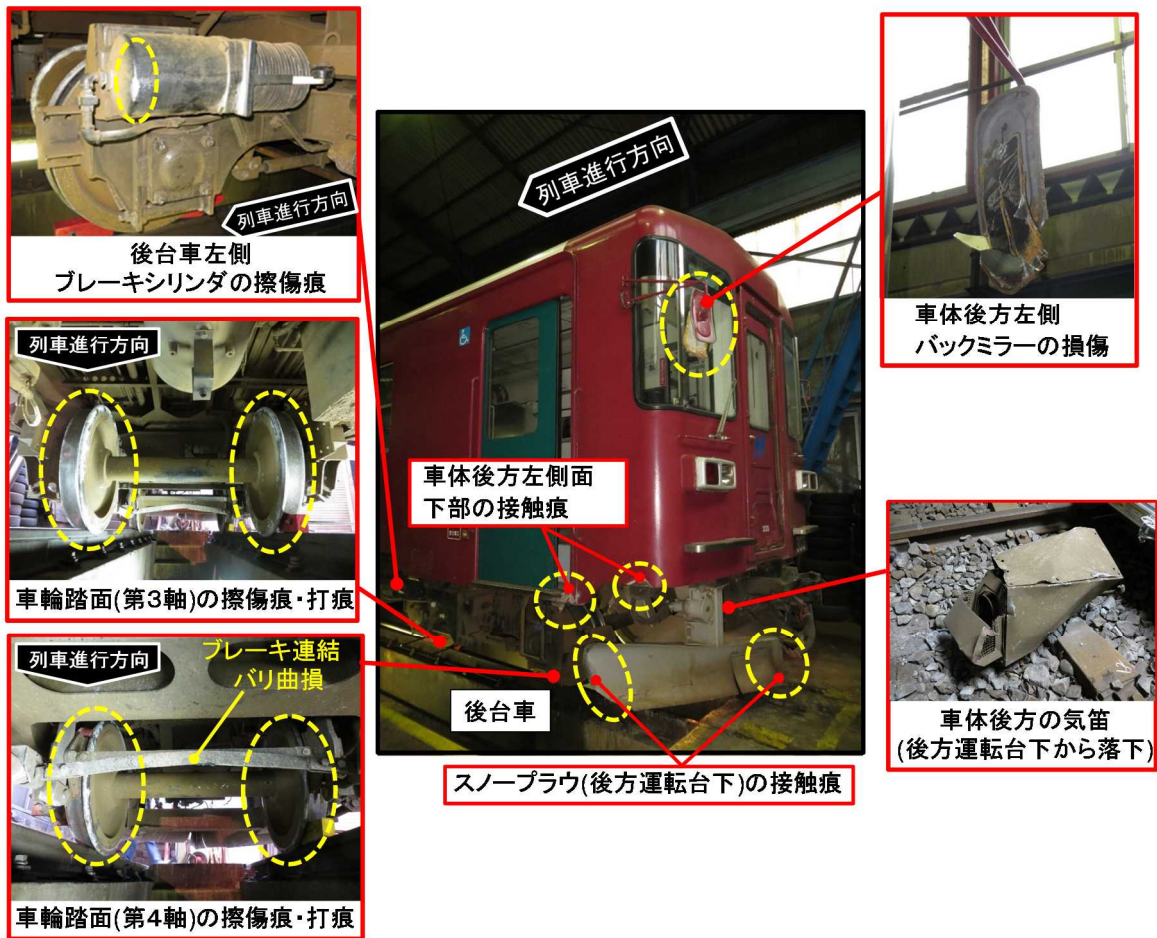


※ X線回折装置により検出した回折X線のピーク角度の組合せパターンと一致する物質を、結晶物質全般に関するデータ集から探索して同定する。

付図 1 1 本事故現場付近の軌道変位の状況



付図 1 2 車両の損傷状況



付図 1 3 ボルトキャップの取付状況 (須原トンネル)

