

鉄 道 事 故 調 査 報 告 書

- I 長崎電気軌道株式会社 桜町支線 諏訪神社前停留場～公会堂前停留場間
車両脱線事故
- II 流鉄株式会社 流山線 幸谷駅～小金城趾駅間
踏切障害事故
- III 九州旅客鉄道株式会社 豊肥線 赤水駅構内
列車脱線事故

平成28年11月24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」

Ⅲ 九州旅客鉄道株式会社 豊肥線
赤水駅構内
列車脱線事故

鉄道事故調査報告書

鉄道事業者名：九州旅客鉄道株式会社

事故種類：列車脱線事故

発生日時：平成28年4月16日 1時25分ごろ

発生場所：熊本県阿蘇市

豊肥線 赤水駅構内

平成28年11月9日

運輸安全委員会（鉄道部会）議決

委員長	中橋和博
委員	松本陽（部会長）
委員	横山茂
委員	石川敏行
委員	富井規雄
委員	岡村美好

要旨

<概要>

九州旅客鉄道株式会社の豊肥線熊本駅発宮地駅行き2両編成の下り気第443D列車は、平成28年4月16日、赤水駅を1時24分ごろ出発した。

列車の運転士は、列車が赤水駅の大分駅方分岐器を通過直後、突き上げられるような激しい揺れを感じるとともに、携帯電話からの緊急地震速報を示す音を認めたことから、非常ブレーキをかけて列車を停止させた。

列車は、1両目の前台車全軸が右側に、2両目の前台車全軸が左側に、後台車全軸が右側に脱線していた。

列車には、運転士1名が乗務していたが、負傷はなかった。また、列車は回送扱いとしていたことから、旅客は乗車していなかった。

なお、同日1時25分ごろ、「平成28年（2016年）熊本地震」のうちの、熊本県熊本地方を震源とするマグニチュード7.3の地震が発生し、熊本県益城町で最大震度7の揺れが観測された。

<原因>

本事故は、列車が赤水駅構内を走行中に、「平成28年（2016年）熊本地震」のうちの、4月16日1時25分ごろに発生した地震による、大きな地震動を受けたため、1両目前台車全軸及び2両目後台車全軸の右車輪がほぼ同時に右レールに乗り上がって右側に脱線し、その後、2両目前台車全軸の左車輪が左レールに乗り上がって左側に脱線したことにより、発生したものと推定される。

2両目前台車全軸の脱線については、1両目前台車第1軸が、脱線後に走行しながら踏切のコンクリートブロック製の舗装に乗り上げた衝撃により、列車が水平座屈し、2両目前台車によってレールに大きな左方向の荷重がかかり、レールを変形させたことから発生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	乗務員の口述	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	4
2.3	鉄道施設及び車両等に関する情報	4
2.3.1	事故発生箇所等に関する情報	4
2.3.2	鉄道施設に関する情報	5
2.3.3	本件列車の状況	6
2.4	鉄道施設及び車両の損傷、痕跡等に関する情報	7
2.4.1	鉄道施設の損傷及び痕跡等の状況	7
2.4.2	車両の損傷及び痕跡等の状況	9
2.5	乗務員に関する情報	10
2.6	運転取扱いに関する情報	10
2.7	地震発生時及び発生後の運転取扱いに関する情報	10
2.7.1	地震を感知又は緊急地震速報を受信した場合の運転に関する情報	10
2.7.2	地震による運転規制に関する情報	11
2.7.3	前震から本事故発生までの地震と運転規制、線路点検に関する情報	13
2.8	気象に関する情報	14
2.9	地震に関する情報	14
2.9.1	概要	14
2.9.2	地震動	15
3	分析	18
3.1	車両に関する分析	18
3.2	事故発生箇所付近の軌道に関する分析	18
3.3	脱線発生箇所付近で見られたレールの大きな変形に関する分析	19
3.4	走行速度に関する分析	20

3.5	地震波が到達した時刻の分析	20
3.6	脱線に関する分析	21
3.6.1	レール上の痕跡と列車の輪軸の位置について	21
3.6.2	脱線した時刻について	21
3.6.3	脱線開始の原因について	22
3.7	踏切の損傷に関する分析	22
3.8	前震以降の運転規制に関する分析	22
3.9	気象に関する分析	23
4	原因	23

添付資料

付図1	豊肥線の路線図	24
付図2	事故発生箇所付近の地形図	24
付図3	事故発生箇所の概況	25
付図4	本件列車停止箇所の概況	26
付図5	事故発生前後の運転状況グラフ	27
付図6	線路上の痕跡	28
付図7	A地点から列車停止位置までの痕跡	29
付図8-1	地上施設の損傷状況	30
付図8-2	地上施設の損傷状況	31
付図9	事故後の軌道変位の状況（事故による変形を含む）	32
付図10	車両の損傷状況	33
付図11	震央と事故発生箇所及び地震計位置	34

1 鉄道事故調査の経過

1.1 鉄道事故の概要

九州旅客鉄道株式会社の豊肥線熊本駅発宮地駅行き2両編成の下り気第443D列車は、平成28年4月16日（土）、赤水駅を1時24分ごろ出発した。

列車の運転士は、列車が赤水駅の大分駅方分岐器を通過直後、突き上げられるような激しい揺れを感じるとともに、携帯電話からの緊急地震速報を示す音を認めたことから、非常ブレーキをかけて列車を停止させた。

列車は、1両目（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。）の前台車全軸が右側に、2両目の前台車全軸が左側に、後台車全軸が右側に脱線していた。

列車には、運転士1名が乗務していたが、負傷はなかった。また、列車は回送扱いとしていたことから、旅客は乗車していなかった。

なお、同日1時25分ごろ、「平成28年（2016年）熊本地震」のうちの、熊本県熊本地方を震源とするマグニチュード7.3の地震が発生し、熊本県益城町^{ましきまち}で最大震度7の揺れが観測された。

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26日、本事故の調査を担当する主管調査官ほか2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28年4月26日	口述聴取
平成28年4月27日	現場調査

1.2.3 原因関係者からの意見聴取

原因関係者から意見聴取を行った。

2 事実情報

2.1 運行の経過

2.1.1 乗務員の口述

事故に至るまでの経過は、九州旅客鉄道株式会社（以下「同社」という。）の下り気第443D列車（以下「本件列車」という。）の運転士によると、概略次のとおりであった。

本件列車に乗務する前に、熊本車両センターで本件列車となる前の回気第443D列車の出区点検^{*1}を実施したところ、車両に異状はなかった。その後、同列車を熊本車両センターから熊本駅まで運転し、熊本駅から、本件列車として折り返して宮地駅行として出発した。

本件列車は、熊本駅（同社の記録によると、熊本駅を4月16日0時20分に出発している。）から赤水駅2番線の所定位置（熊本駅起点40k197m、以下「熊本駅起点」は省略する。）までは異状なく運転できた。

その後、出発信号機の進行信号現示を確認し、列車を出発させた。同駅の大分方の分岐器（赤水駅21号）を、約35km/hで通過した直後、今までに経験したことのないような、突き上げられて運転席から体が浮くぐらい強い縦揺れを感じ、ほぼ同時に業務用携帯電話から緊急地震速報を示す音が鳴ったため、地震だと思い、直ちに非常ブレーキを扱ったが、そのまま数十メートル進んで停止した。

運転室の窓から確認したところ、1両目先頭が右に脱線し、小割1号踏切道（40k378m）をまたぐ形で停止していた。

同社の博多総合指令所（以下「指令所」という。）に、地震のため、脱線した模様である旨を列車無線で連絡した後、降車して列車の状況を確認したところ、1両目の前台車全軸が脱線、後台車全軸はレールに載っており、2両目の前台車、後台車の全軸が脱線していることを確認し、その旨を指令所に業務用携帯電話で連絡した。

なお、同社によると、本件列車は通常であれば、熊本駅20時35分発、宮地駅22時09分着の普通列車であり、宮地駅に到着後、同駅に留置され、明朝の宮地駅発熊本駅行きの上り列車となるものであるとのことであった。

また、豊肥線は4月14日21時26分ごろに発生した地震（以下「前震」という。）の影響で、4月15日は運休とされていたが、4月16日の朝から運転を再開するため、本件列車を4月15日の深夜に、回送扱いの列車として運転したとの

*1 「出区点検」とは、運転士が車両基地などから列車を出発させる前に、車両状態の確認（各機器類の動作確認、搭載用品の確認、車内点検、ブレーキ試験など）を行うことをいう。

ことであった。

(付図1 豊肥線の路線図、付図2 事故発生箇所付近の地形図、付図3 事故発生箇所の概況、付図4 本件列車停止箇所の概況 参照)

2.1.2 運転状況の記録

本件列車には、時刻、速度、力行^{りっこう}ノッチ、ブレーキの操作、戸閉め表示灯及び車掌スイッチ（以下「ドアスイッチ」という。）の状況等を、0.2秒ごとに記録することができる装置（以下「運転状況記録装置」という。）が設置されている。また、本件列車に設置されている自動列車停止装置（ATS-SK/DK、以下「ATS車載器」という。）には、時刻、速度情報とATS信号の受信状況等が0.1秒ごとに記録されている。

これらの記録によれば、本事故発生前後の運転状況は、表1及び付図5のグラフに示すとおりであった。なお、時刻については、記録された時刻から実際の時刻への補正を行った。速度は車輪の回転数から算出しており、車輪の滑走等による誤差を内在する可能性がある。走行距離は、速度から算出したが、これについても車輪の滑走等による誤差を内在する可能性がある。

なお、3.6.2に後述するように、1時25分ごろに発生した地震（以下「本震」という。）により、1時25分17秒ごろ脱線が発生したと推定される。

(付図5 事故発生前後の運転状況グラフ 参照)

表1 本事故発生前後の運転状況

時刻	速度 (km/h)	力行 ノッチ	ブレーキ	列車の状態等
1時24分52秒8	0	切り	ゆるめ	赤水駅2番線列車停止目標付近 (40k197m付近)
1時24分53秒4	0	1ノッチ	ゆるめ	赤水駅を出発
1時25分02秒8	9	5ノッチ	ゆるめ	○ATS進行信号を受信(40k209m付近)
1時25分16秒0	38	5ノッチ	ゆるめ	力行中にもかかわらず、加速が鈍る (40k311m付近)
1時25分17秒4	36	5ノッチ	ゆるめ	2両目後台車第2軸が、赤水駅 21号分岐器から進出 (40k326m付近)

1時25分17秒8	41	5ノッチ	ゆるめ	車両の性能以上に加速する (40k330m付近)
1時25分20秒6～ 1時25分21秒4	31	切り	非常	力行ノッチ切り、非常ブレーキ扱い (40k361m付近)
1時25分22秒2～ 1時25分23秒8	22	切り	非常	戸閉め表示灯回路が瞬間的に2回 切れる(40k375m付近) 同時刻に、左右いずれかのドアス イッチを、ドアを開く側に扱われ た記録はなかった
1時25分25秒0	0	切り	非常	停止(40k382m付近。 実際の停止位置は、40k388 m付近)

※ ○は、ATS車載器による記録。それ以外は、運転状況記録装置の記録を示す。

※ 括弧内のキロ程は、運転状況記録装置の記録より算出した、本件列車の1両目先頭での位置を示す。

2.2 人の死亡、行方不明及び負傷

なし。

2.3 鉄道施設及び車両等に関する情報

2.3.1 事故発生箇所等に関する情報

(1) 本件列車の停止位置

本件列車は、1両目先頭が40k388m付近に停止しており、2両目後端は40k346m付近に停止していた。

なお、本件列車の1両目は、小割1号踏切道(40k378m、幅員6.5m)をまたぐ形で停止していた。

(2) 本件列車の脱線の状況

1両目前台車第1軸は右に約930mm、第2軸は右に約1,015mm、2両目前台車第1軸は左に約40mm、第2軸は左に約60mm、2両目後台車第1軸は右に約450mm、第2軸は右に300mm、それぞれレールから外れて脱線していた。

なお、1両目後台車第1軸と第2軸については、脱線していなかった。

(付図3 事故発生箇所の概況、付図4 本件列車停止箇所の概況、付図6 線路上の痕跡 参照)

2.3.2 鉄道施設に関する情報

2.3.2.1 路線の概要

同社の豊肥線は、熊本駅～大分駅間、延長148.0km、軌間1,067mmの単線の路線であり、このうち、熊本駅～肥後大津駅間（延長22.6km）は交流20,000Vの電化区間で、それ以外は非電化区間である。事故発生箇所は非電化区間であった。

なお、事故発生箇所である赤水駅と熊本駅寄りの立野駅の間において、本震後に大規模な土砂崩れが発生し、その影響により豊肥線の線路も寸断され、その後、長期間の運休となった。

（付図1 豊肥線路線図、付図2 事故発生箇所付近の地形図 参照）

2.3.2.2 線路に関する情報

(1) 軌道の状況

事故発生箇所付近の軌道は、50kgNレールが使用されたバラスト軌道（道床厚200mm以上、肩幅350mm以上）である。まくらぎには、木まくらぎとおよそ4本おきにPCまくらぎ1本が使用されている。

(2) 線路の状況

赤水駅から大分駅方面行きについては、赤水駅2番線の40k197mに列車停止位置目標があり、側線（保材線）への分岐器（赤水駅31号、8番片開き分岐器）の直線側、本線と合流する分岐器（赤水駅21号、12番片開き分岐器）の左曲線を経て、40k286m付近で本線に至る。そこから40k319mまでは直線で、40k319mから40k394mまでが半径1,250mの左曲線である。このうち、40k329mから40k384mまでが円曲線であり、その前後のそれぞれ10mは緩和曲線である。本円曲線中のカントは9mmに設定されており、緩和曲線全長で逡減ていげんされている。スラックは0mmで設定されている。

(3) 線路勾配の状況

事故発生箇所付近の本件列車の進行方向を基準とした線路の勾配は、赤水駅の2番線を含み、40k318mまでが平坦へいたんで、以降本件列車停止位置に至るまで2.3‰の上り勾配である。

（付図3 事故発生箇所の概況 参照）

2.3.2.3 軌道の定期検査に関する情報

「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）の実施に関する基準として、同省令に基づき、同社が九州運輸局長に届け出て

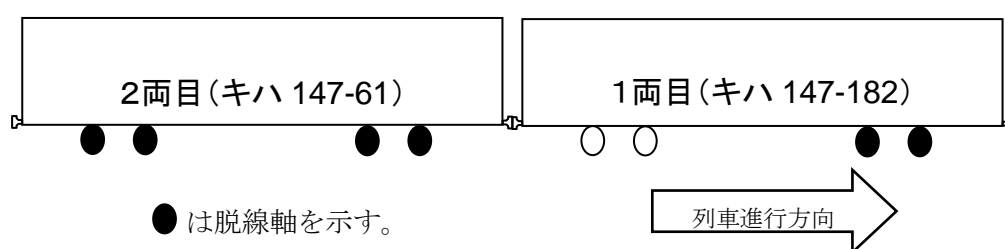
いる施設設備実施基準では、線路設備の検査として年1回以上、軌道変位検査を実施することとされている。

事故発生箇所付近の線路は、本事故直近では平成28年2月28日に軌道検測車による測定が行われており、測定された数値に異常を示すものは見られなかった。

2.3.3 本件列車の状況

(1) 車両の概要

車種	内燃動車（ディーゼルカー）
編成両数	2両
記号番号	下図のとおり



(2) 定期検査等の状況

本件列車の車両の製造年と本事故直近の定期検査の実施状況は、次のとおりであり、各検査の記録に異常を示すものは見られなかった。

1両目 キハ147-182

新製	昭和56年
全般検査	平成22年5月11日
重要部検査	平成26年10月24日
交番検査	平成28年1月21日
仕業検査	平成28年4月12日

2両目 キハ147-61

新製	昭和54年
全般検査	平成27年4月9日
交番検査	平成28年3月25日
仕業検査	平成28年4月12日

(3) 静止輪重値及び静止輪重比の状況

同社によると、本件列車の車両の静止輪重値の調整及び測定については、

全般検査時及び重要部検査時に実施しているとのことである。本事故直近の輪重測定検査記録によると、静止輪重値及び静止輪重比*2は表2のとおりであった。これによると、静止輪重比は同社が設定している管理値*3である15%以内（静止輪重比では、0.85から1.15の範囲）に対し、全軸とも、その範囲内であった。

表2 本事故直近の静止輪重値及び静止輪重比記録

		前台車				後台車			
		第1軸		第2軸		第1軸		第2軸	
		静止輪重値(kN)	静止輪重比	静止輪重値(kN)	静止輪重比	静止輪重値(kN)	静止輪重比	静止輪重値(kN)	静止輪重比
1両目	右車輪	48.5	1.01	51.1	1.03	43.6	1.01	44.2	0.99
	左車輪	49.1		54.0		44.3		43.6	
2両目	右車輪	44.8	0.98	45.6	0.96	54.5	0.96	50.5	0.98
	左車輪	42.7		42.2		50.6		47.4	

※ 静止輪重比は、左車輪の値を示す。

2.4 鉄道施設及び車両の損傷、痕跡等に関する情報

2.4.1 鉄道施設の損傷及び痕跡等の状況

2.4.1.1 線路上の痕跡

線路上の主な痕跡は次のとおりであった。

なお、各痕跡の位置関係を図1に示す。2.4.1.2(4)で後述する、40k354m付近を含め、主な痕跡が見られた地点を、それぞれ「A地点」から「F地点」とする。

- (1) 40k288m付近（以下「A地点」という。）から40k292m付近までの約4mの間に右レール頭頂面を軌間内側から外側へと斜めに横切る車輪フランジによるものとみられる痕跡があった。40k293m付近から、右レールの軌間外側のまくらぎ上及び左レールの軌間内のまくらぎ上に断続的に痕跡があった。

また、40k290m付近（以下「B地点」という。）を始点として、右

*2 「静止輪重比」とは、1軸の輪軸に対し、片側の車輪の輪重（静止輪重値）をその軸の平均輪重で除した値をいう。

*3 ここでいう「管理値」とは、静止輪重比の管理限度を表す数値であり、静止輪重比を百分率表示した値と100%との差の絶対値が、この管理値内にあるように管理することとしている。

レール頭頂面上に、軌間内側から外側へと斜めに横切る車輪フランジによるものとみられる痕跡があった。

(2) 40k305m付近（以下「C地点」という。）を始点として、左レール頭頂面を軌間内側から外側に向け斜めに横切る車輪フランジによるものとみられる痕跡があったが、この痕跡については、40k320m付近で急激に軌間内側へと戻っていた。

(3) 40k324m付近（以下「D地点」という。）の右レール軌間内側側面に車輪フランジと接触し、乗り上がったとみられる痕跡があった。40k327m付近のまくらぎの右レール軌間外側に、落下した車輪によるとみられる損傷があった。

また、40k326m付近（以下「E地点」という。）の右レール軌間内側側面に車輪フランジと接触し、乗り上がったとみられる痕跡があった。

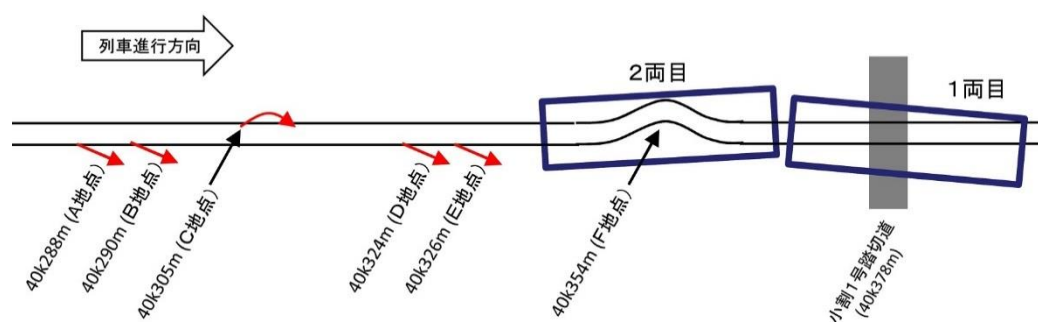


図1 線路上の痕跡の位置関係

(付図6 線路上の痕跡、付図7 A地点から列車停止位置までの痕跡 参照)

2.4.1.2 鉄道施設の損傷

鉄道施設の主な損傷は次のとおりであった。

- (1) 40k313m付近の軌間中央に設置されている、地上子（小割2号踏切道（40k519m）の警報開始用バックアップ地上子）が破損していた。
- (2) 40k315m付近にあるレール継目板を固定しているボルトが破損し、左のレール継目に80mm、右のレール継目に75mmの隙間が空いていた。
- (3) 本事故発生後の現場調査時に、40k287mから本件列車の終端位置手前まで、手動による軌道変位測定（10m弦）を行ったところ、40k320m付近で、同社が整備基準値（静的値）とする22mmを超える27mmの通り変位が、また、40k327mから40k333mにかけて、最大で47mmの通り変位が見られた。水準変位については、40k314mで、41mmが見られた。同社によると、水準変位については、整備基準値は設定

されておらず、平面性変位での管理とされている。平面性変位については、測定された水準変位の値から平面性変位に換算したところ40k319m付近で最大29mmとなり、同社が整備基準値（静的値）として設定している18mmを超えていた。

- (4) 40k354m付近（以下「F地点」という。）の左右のレールに、大きな軌道変位（左右、上下方向の変形。以下「変形」という。）が見られた。また、この部分のまくらぎ3本は、左レール直下で折損していた。

本件列車を撤去した後に同箇所を測定したところ、左右レールがF地点を頂点として、軌道中心から左に約400mm変形していた。変位値としては、通り変位で最大388mm、軌間はF地点から約3m終点寄りである40k357m付近を最大として、車輪幅（125mm）を超える約230mmの拡大が見られた。水準変位は軌間の拡大が大きかったため、測定器が使えない箇所があったが、測定可能な箇所では左側レールが右側レールより45mm高くなる方向の水準変位が見られた。

- (5) 小割1号踏切道のコンクリートブロック製の舗装に車輪によるとみられる痕跡があった。また、同踏切の大分駅寄りにある水路と道路を隔てる落輪防止壁が破損し、水路に落下していた。

- (6) 同踏切に4基ある踏切遮断機のうち、右奥側にある踏切遮断機本体が、基礎に固定されている部分の少し上で折損していた。また、本体側面には本件列車の前面にある足かけと同形状とみられる痕跡があった。

なお、倒された遮断機の遮断かんについては、降下完了した位置で止まっており、踏切の動作状況が記録にも、本事故前に同踏切が動作し、遮断したことが記録されていた。

- (7) 同踏切の大分駅寄りにある水路のコンクリート製の壁の一部が損傷していた。

- (8) その他、脱線の痕跡の位置から列車の停止位置まで、多数の犬くぎ及びレール締結装置のボルト等が破損していた。

(付図7 A地点から列車停止位置までの痕跡、付図8-1及び付図8-2 地上施設の損傷状況、付図9 事故後の軌道変位の状況（事故による変形を含む）参照）

2.4.2 車両の損傷及び痕跡等の状況

本件列車の車両の主な損傷及び痕跡の状況は次のとおりであった。

- (1) 1両目の先頭下部に取り付けられているスノープラウの前端及び下辺が、後方に巻き込まれるように変形していた。また、1両目前台車第1軸車輪の

前方に取り付けられている排障器が、上方に曲損していた。さらに、同台車第2軸車輪後方に取り付けられている砂撒き装置（セラジェット）のノズルの先端が落失していた。

(2) 2両目後端に取り付けられているスノープラウが割損していた。

(3) 進行方向に向いた座席の座面が外れ、床面に落下していた。（1両目で2か所、2両目で9か所）

(4) 1両目右前面の足かけに、踏切遮断機本体のものとみられる黄色の塗料の痕跡があった。

(5) 床下機器や台車下面に、多数の擦過痕や損傷が見られた。

(付図10 車両の損傷状況 参照)

2.5 乗務員に関する情報

運転士 男性 52歳

甲種内燃車運転免許 平成6年3月2日

甲種電気車運転免許 平成9年9月24日

2.6 運転取扱いに関する情報

「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」の実施に関する基準として、同省令に基づき、同社が九州運輸局長に届け出ている列車運転速度表によると、赤水駅の大分方の分岐器（赤水駅21号、12番片開き分岐器）の分岐側制限速度は45km/hとされている。また、豊肥線内では、直線路等、特に制限を設けていない場合については、最高運転速度は95km/hとされている。

2.7 地震発生時及び発生後の運転取扱いに関する情報

2.7.1 地震を感知又は緊急地震速報を受信した場合の運転に関する情報

同社の社内規定である「気象異常時運転規制手続（規程）」（以下「運転規制手続」という。）によると、運転中に地震を感知した場合の取扱いについて、以下のとおりとされている。（抜粋）

第4章 地震

（地震を感知した運転士及び車掌の取扱い）

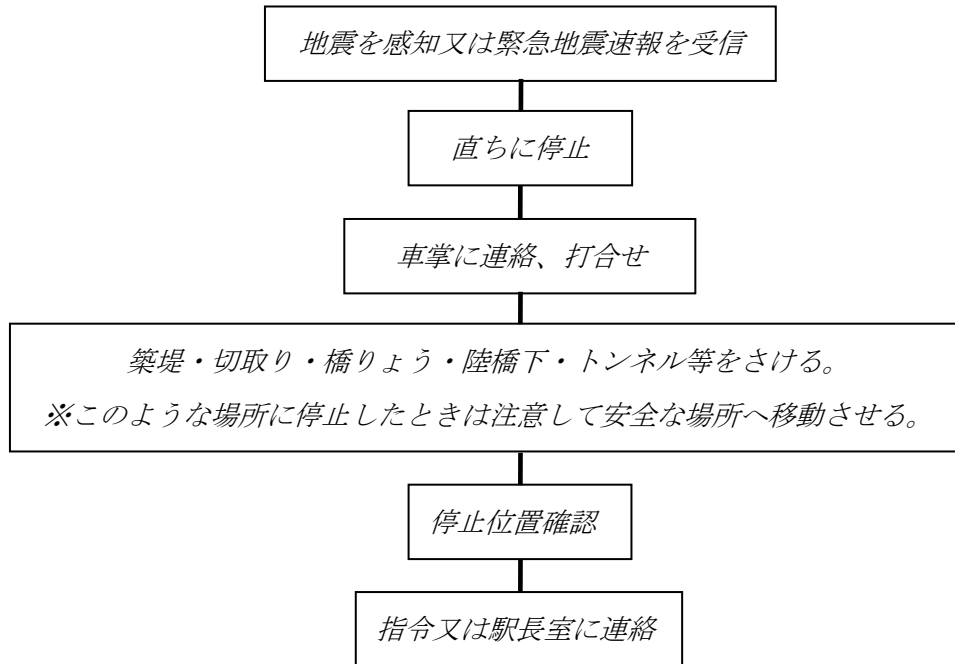
第22条

運転士及び車掌は、運転中に地震を感知して列車の運転に危険があると思われる場合は、直ちに列車を停止させる。

2 この場合、列車の停止位置が築堤、切取り、橋梁上、陸橋下、トンネル

等の場合は、進路の安全を確認のうえ、安全と認められる場所に列車を移動させる。

また、同社の社内規定である「異常時取扱いマニュアル」では、運転中に地震を感知したとき又は緊急地震速報を受信したときの取扱いについて、以下のとおりとされている。(抜粋)



2.7.2 地震による運転規制に関する情報

運転規制手続によると、地震時の対応について、以下のとおりとされている。(抜粋)

第4章 地震

(地震警報器)

第20条 地震警報器の動作及びその取扱いは、次のとおりとする。

(1) 40ガル^{*4}以上のとき

赤色灯点灯ブザー鳴動

(2) 輸送指令員等又は駅長は、当該運転規制区間を運転する全列車に対し一斉停止の指示をする。その後の運転規制については、計測震度による。

*4 「ガル (Gal)」とは、主に地震の分野で用いられている加速度の単位で1 Galは1 cm/s²である。

(計測震度による運転規制等)

第21条 地震のため運転規制を行う場合の運転規制は次による。

計測震度*5 (震度)	運転速度等
3.9以下	規制なし
4.0～4.4 (震度4に相当)	25km/h以下
4.5以上 <small>原文ママ</small> (震度5以上*6に相当)	列車の運転中止

2 人体に強い地震を感じた場合も前項の規定を適用する。

また、運転規制手続の「附則 別表第3」によると、豊肥線の運転規制区間と参照する地震計を設置する停車場の関係は、以下のとおりとされている。(抜粋)

別表第3

地震に対する運転規制区間等

運転規制区間	地震計設置停車場	指定保守区長
熊本～肥後大津	熊本	熊本鉄道事業部長
肥後大津～赤水	立野	
赤水～滝水	宮地	
滝水～菅尾	豊後竹田	熊本鉄道事業部長 大分鉄道事業部長
菅尾～大分	大分	大分鉄道事業部長

※ 豊肥線以外の線区については記載を省略

*5 「計測震度」とは、地震発生時に計測震度計で観測された地震による振動加速度を、機器内部で数値処理し得られる値のことで、10段階の震度階級と計測震度は以下の対応となっている。

震度階級	計測震度	震度階級	計測震度
0	0.5未満	5弱	4.5以上5.0未満
1	0.5以上1.5未満	5強	5.0以上5.5未満
2	1.5以上2.5未満	6弱	5.5以上6.0未満
3	2.5以上3.5未満	6強	6.0以上6.5未満
4	3.5以上4.5未満	7	6.5以上

*6 「震度5以上」とは、平成8年まで用いられていた7段階の震度階級における表現によるもので、平成28年現在用いられている10段階の震度階級では、「震度5弱以上」に相当する。

なお、同社によると、運転規制の手続を行った後については、指定保守区長が、担当区域内の巡回等必要な手配を行い、運転規制の必要の要否について輸送指令員に報告し、輸送指令員が、その報告に基づいて運転規制の解除又は継続の取扱いを行うとのことである。

2.7.3 前震から本事故発生までの地震と運転規制、線路点検に関する情報

同社によると、前震から本事故発生時までの豊肥線の赤水駅付近における列車の運転規制の対象となった計測震度4.0以上の地震と運転規制、線路点検に関する時系列は表3のとおりであった。

表3 前震発生から本事故発生までの時系列

日付	時刻	内容
4月14日	21:26	前震発生（計測震度：立野駅5.1、宮地駅3.4） 地震警報器赤色灯点灯、ブザー鳴動 肥後大津駅～赤水駅 列車運転中止（指令所）
	22:07	余震発生（計測震度：立野駅4.6、宮地駅2.8）
4月15日	00:03	余震発生（計測震度：立野駅4.0、宮地駅2.9）
	05:30	肥後大津駅～赤水駅 軌道自転車による線路点検 着手
	09:50	肥後大津駅～赤水駅 軌道自転車による線路点検 終了 軌道に異状なしを確認
	14:07	肥後大津駅～赤水駅 運転規制を解除（指令所）
	17:29	確認列車が宮地駅を発車 （施設社員添乗。地震による異状（踏切動作、動揺）の有無確認。）
	18:41	確認列車が肥後大津駅に到着 異状なしを確認
4月16日	01:25	本震発生（計測震度：熊本駅5.9、立野駅不明（通信線切断）、宮地駅5.5） 本件列車が脱線 肥後大津駅～赤水駅 列車運転中止（指令所）

また、同社によると、前震以降の対応の詳細は、以下のとおりだったとのことであった。

事故発生箇所である赤水駅構内は、運転規制区間「肥後大津駅～赤水駅」に含まれており、4月14日に発生した前震で立野駅設置の地震計にて計測震度5.1を

観測したため、列車の運転を中止した。

このため、翌4月15日に軌道自転車による線路点検を行ったところ、異状は認められなかったため、運転規制（列車の運転中止）を解除した。これを受けて、踏切の動作や、列車の動揺等の異状の確認を目的とした確認列車を同運転規制区間で運転したが、異状は認められなかったとのことである。なお、この確認列車の運転後に事故発生箇所を走行した最初の列車は、本件列車であった。

また、同区間を監視する立野駅の地震計は、本震発生時も、測定部と処理部については内蔵バッテリーで機能し続け、通信系統については商用電源が停電したため一時的に機能を停止したが、直後に、立野駅に設置している非常用発電機による電力で機能する状態となった。しかしながら、立野駅近傍で発生した、本震による土砂崩れにより、同地震計と指令所を結ぶ通信線が切断されたため、警報が指令所に伝わらなかった。そのため、隣接する区間の熊本駅、宮地駅の地震計の警報によって、指令所から運転中止指示の連絡をするところであったが、運転士からの、脱線した旨の連絡が先（1時27分ごろ）に入ったとのことである。

2.8 気象に関する情報

本事故発生当時の降水量・風速等については、事故発生箇所から北東5kmに位置する気象庁の阿蘇乙姫地域気象観測所（アメダス）の記録によると、本事故発生当日0時～1時の降水量は0.0mm、1時の風向・風速は、南東に0.5m/sであった。

また、事故発生箇所から西南西29kmに位置する熊本地方気象台の観測記録によると、4月15日21時の天気は快晴、4月16日3時の天気は晴れであった。

2.9 地震に関する情報

2.9.1 概要

気象庁が公表している資料によると、平成28年4月16日1時25分05秒4（震源）に、マグニチュード*7 7.3、最大震度7の本震が発生した。震央は、北緯32°45.2'、東経130°45.7'（熊本県熊本地方）であり、震源の深さは12kmであった。また、震央は事故発生箇所である赤水駅の南西約28.9kmの距離にある。

また、本震による地震波は、1時25分10秒1に検知され（検知観測点：熊本泉）、1時25分14秒0に、緊急地震速報（警報）が熊本県阿蘇地方を含む地域に出されたとのことである。

（付図11 震央と事故発生箇所及び地震計位置 参照）

*7 「マグニチュード」とは、地震の規模を表し、地震が発散したエネルギーの大きさを表す指標の一つである。

2.9.2 地震動

同社によると、事故発生箇所付近では、立野駅及び宮地駅に在来線地震情報監視システム用の地震計が設置されている。当該地震計で測定された震度と最大加速度（水平2方向合成加速度）、検知時刻（初期微動^{*8}（以下「P波」という。）の検知時刻）は、表4のとおりである。

表4 立野駅、宮地駅地震計観測データ（本震時）

測定点	事故発生箇所からの位置	震度	最大加速度 (水平2方向合成) (Gal, cm/s ²)	検知時刻 (初期微動検知)	震央からの位置
立野駅	南南西 約4.9km	6強	1,098	1時25分10秒	北東 24.5km
宮地駅	東北東 約11.9km	6弱	363	1時25分15秒	北東 40.0km

(※ 1Gal=1cm/s²、重力による加速度1G=約980Gal)

また、上記2箇所のうち、事故発生箇所に近い、立野駅の地震計で記録された振動加速度波形（1時25分0秒からの60秒間）を図2に、そのうちP波の前5秒からの25秒間（1時25分5秒から同30秒）を拡大したものを図3に示す。この波形から、1時25分10秒0ごろにP波が到達し、同14秒5ごろに主要動^{*9}（以下「S波」という。）が到達したと見られる。

振動加速度波形から数値計算により、南北、東西、上下方向の変位を算出したグラフを図4に示す。また、グラフ脇に、事故発生箇所での本件列車の進行方向を参考として示す。なお、本件列車の事故発生箇所における進行方向はほぼ北、右はほぼ東、左はほぼ西にあたる。

*8 「初期微動」とは、地震の初期の小さな地震動のこと。これに続く主要動よりも伝搬速度が速い。

*9 「主要動」とは、初期微動に続く大きな地震動のこと。振動の加速度、振幅が大きく建物等が破壊に至ることがある。

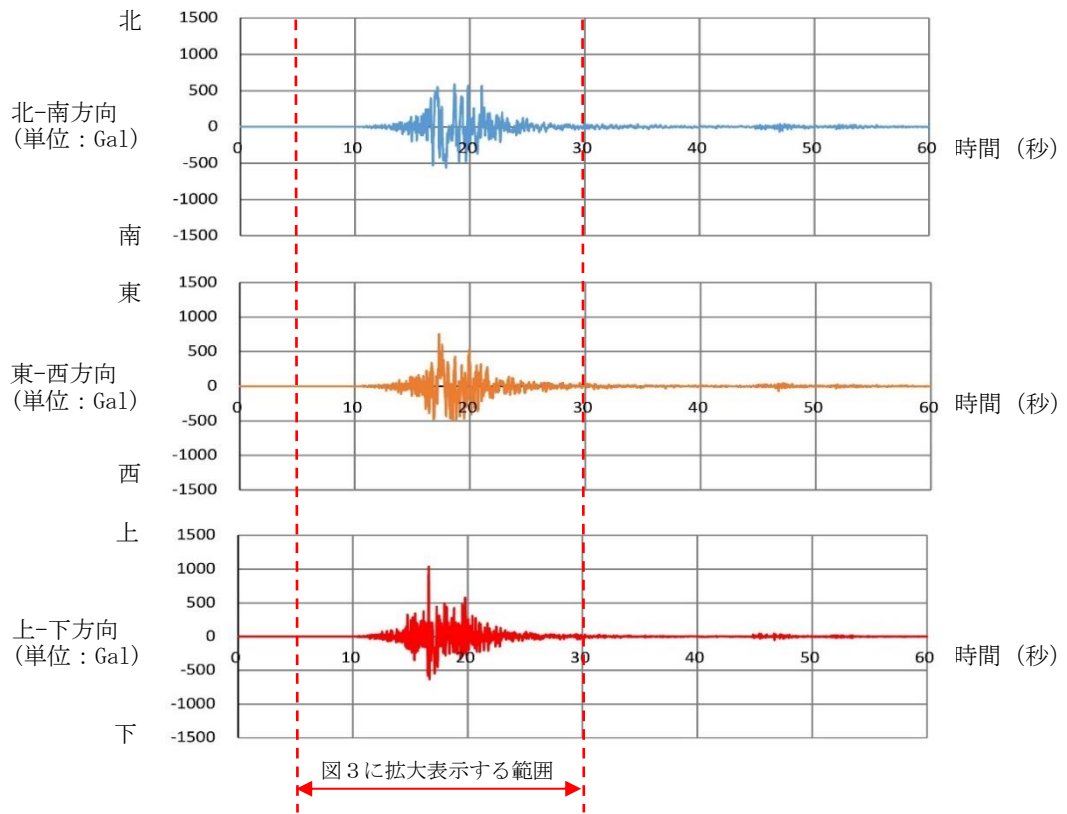


図2 振動加速度波形（立野駅） 1時25分0秒～1時26分0秒

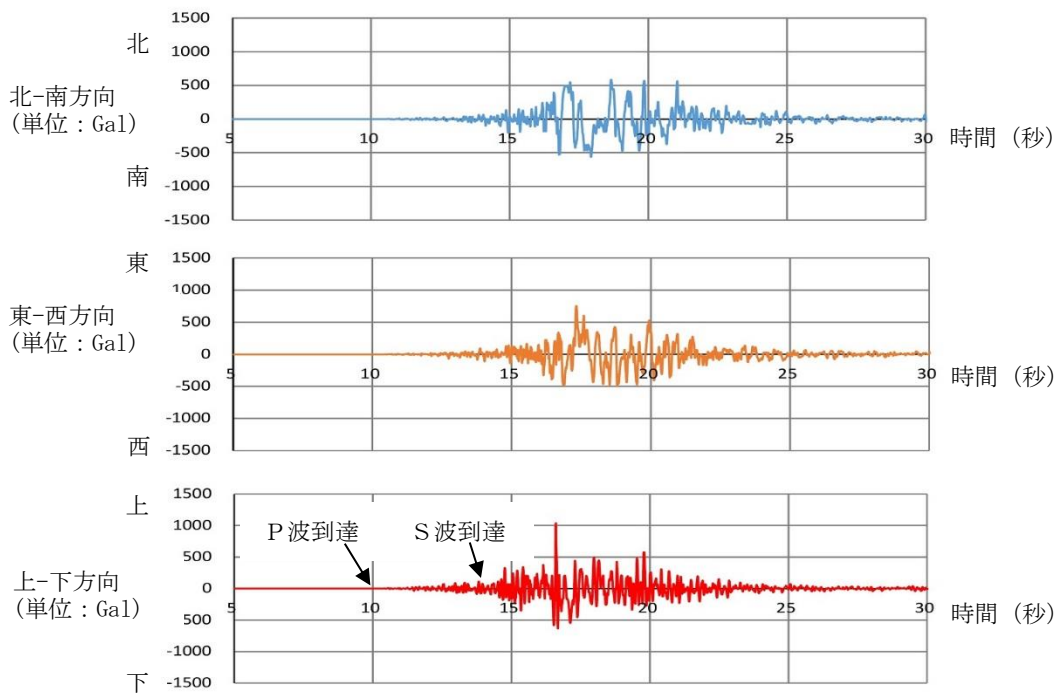


図3 振動加速度波形（図2の拡大） 1時25分5秒～1時25分30秒

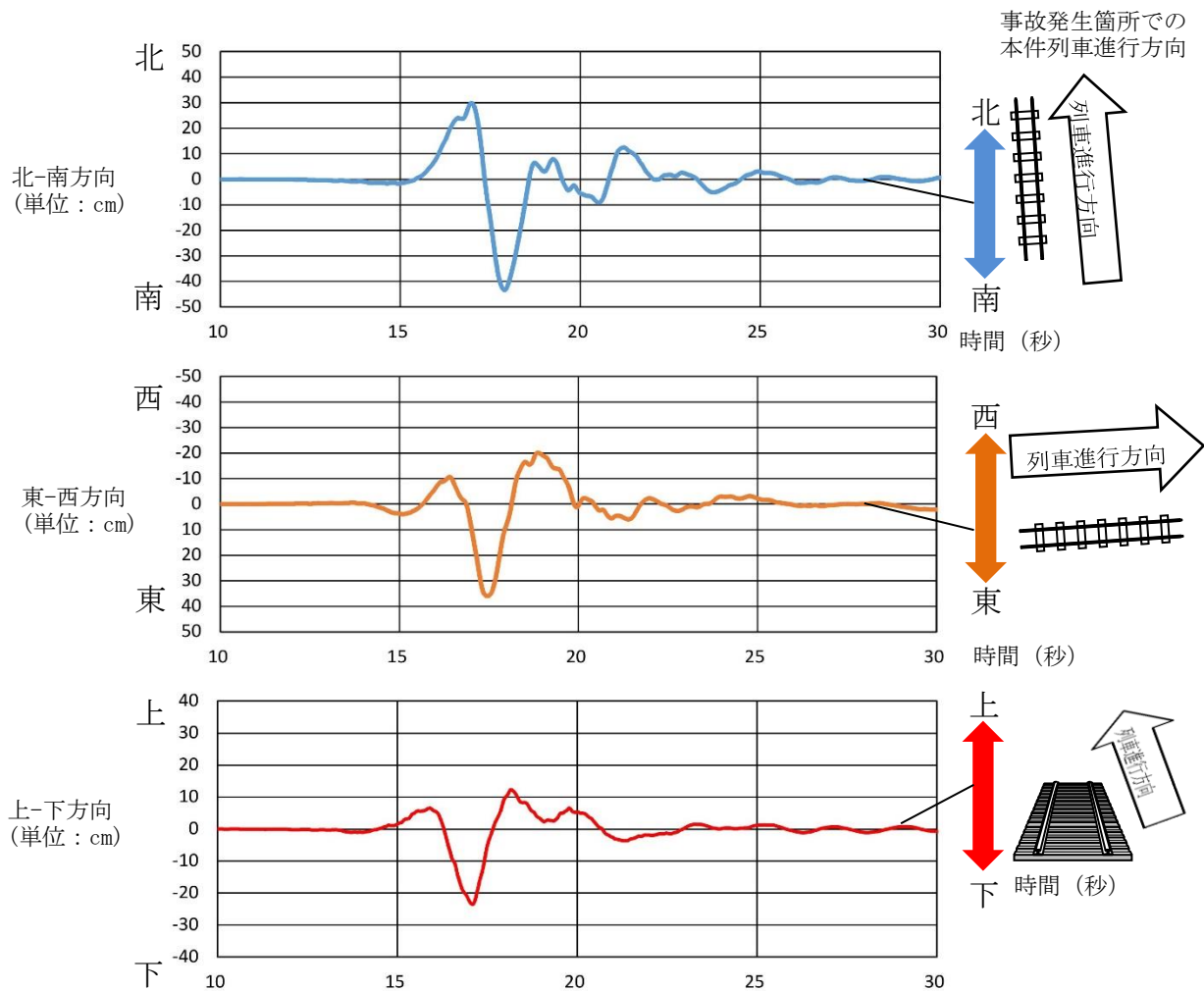


図4 変位波形（立野駅） 1時25分10秒～1時25分30秒

気象庁が公表している資料によると、赤水駅から南東に約8.4 km離れ、震央からは東北東約32.3 kmに位置する阿蘇山特別地域気象観測所に設置された地震計（以下「南阿蘇村中松地震計」という。）では、図5に示す振動加速度波形が記録されている。波形から、P波は1時25分11秒9ごろに到達し、S波は同16秒5ごろに到達したと見られる。

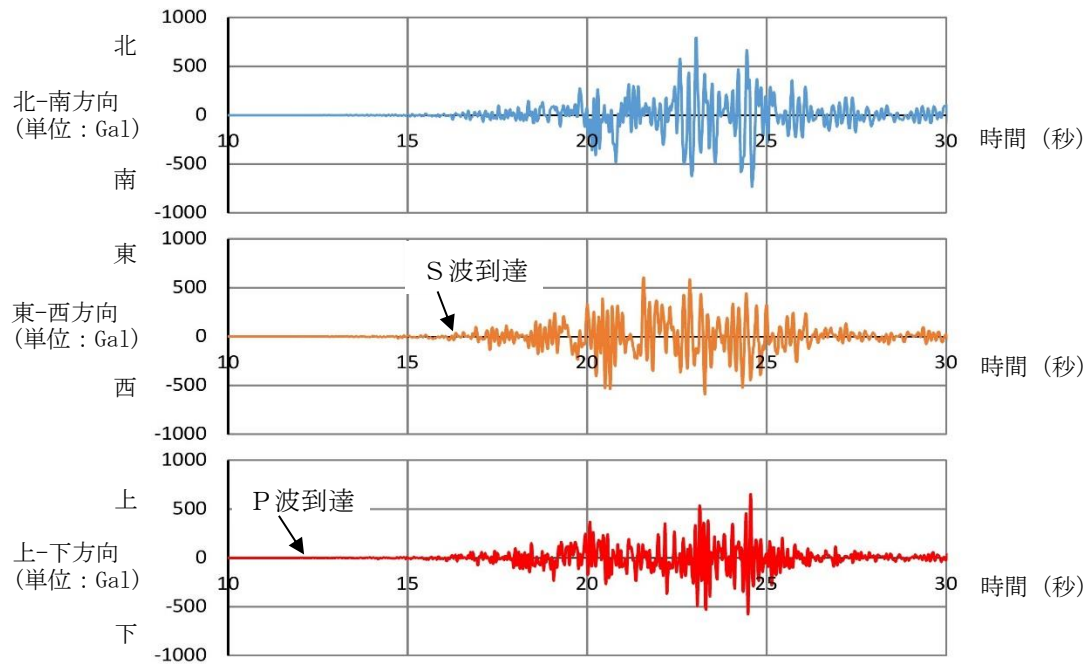


図5 振動加速度波形（気象庁 南阿蘇村中松地震計）1時25分10秒～1時25分30秒

（付図1.1 震央と事故発生箇所及び地震計位置 参照）

3 分析

3.1 車両に関する分析

車両については、2.1.1に記述したように、運転士は、運行前に熊本車両センターにて本件列車となる前の車両に対し、出区点検を実施したところ、特に異状はなく、事故発生箇所直前の赤水駅2番線までは問題なく本件列車を運転できたと口述していること、2.3.3(2)及び2.3.3(3)に記述したように、本件列車の車両の検査記録及び静止輪重比の記録に異状が見られなかったことから、事故発生前には車両に異状はなかったものと推定される。

3.2 事故発生箇所付近の軌道に関する分析

事故発生箇所付近の軌道については、2.4.1.2(3)で記述したように、40k320m付近、40k327mから40k333mにかけて、同社の整備基準値を超える通り変位が、40k319m付近で同社の整備基準値を超える平面性変位が見られた。

これについては、2.3.2.3に記述したように、本事故直近の軌道検測結果に異状は認められなかったこと、2.7.3に記述したように、4月14日の前震の後、4月15日に実施された軌道自転車及び確認列車による点検では線路に異状は見られなかった

ことから、本事故発生前の軌道には異状はなかったものと推定される。

このような状況から、整備基準値を超える軌道変位については、脱線した本件列車が同箇所を走行したことによる荷重や本震による地震動、及び現地調査時までには発生した余震による地震動の影響により、発生した可能性があると考えられる。

3.3 脱線発生箇所付近で見られたレールの大きな変形に関する分析

2.4.1.2(4)に記述したように、F地点（40k354m付近）を頂点として、左右のレールに左方向に約400mmの変形、及びF地点から約3m大分駅方寄りである40k357m付近を最大とした約230mmの軌間拡大が見られた。

3.6に後述するように、1両目の前台車については、同変形の箇所に至る前のE地点から脱線し始めたと考えられる。

また、2.1.1及び2.3.1(2)に記述したように、1両目後台車全軸については、列車が停止するまでに、上記の変形及び軌間拡大が見られる箇所を走行したにもかかわらず最終的に脱線はしておらず、また、停止に至る途中で脱線し復線したような痕跡もなかったことから、同変形及び軌間の拡大は1両目が当該地点を通過した後に発生したもので、本件列車の脱線の原因となるものではないと推定される。

同変形が発生した理由としては、図6に示すように、1両目前台車全軸及び2両目後台車全軸がレールの右側に脱線し、「く」の字の状態で行っていた本件列車の1両目前台車第1軸の車輪が、小割1号踏切道のコンクリートブロック製の舗装に乗り上げた際に、前後方向の衝撃がかかり、列車を水平座屈^{*10}させるような状態となり、その時点でF地点を通過中の2両目前台車によってレールに大きな左方向の荷重がかかり、レールを変形させた可能性があると考えられる。なお、2両目前台車全軸については、その後、レールの左側に脱線したものと考えられる。

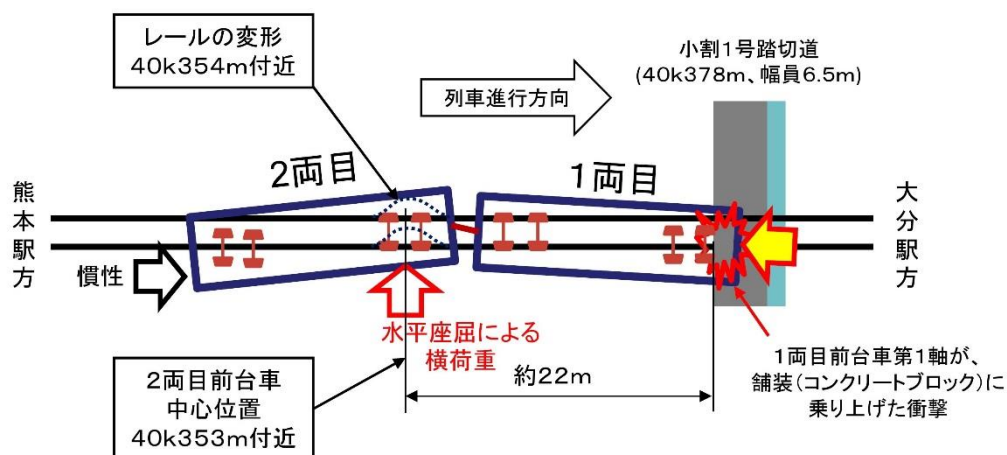


図6 レールの変形が発生したと考えられる状況

*10 「水平座屈」とは、列車の前後方向に過大な荷重が作用したときに、車両同士が連結面部分において大きくずれる列車座屈という現象のうち、左右方向にずれるものをいう。

2.1.2表1に記述したように、運転状況記録装置の記録には、1時25分22秒から23秒にかけて、戸閉め表示灯回路が瞬間的に切れたことが2回記録されている。

同回路は、本件列車に8か所ある旅客用乗降口の扉（以下「側扉」という。）のいずれかの開扉を検知すると切れるが、2.1.2表1に記述したように、同時刻にドアスイッチが扱われた記録はないため、通常は空気圧により閉じる方向に押しつけられている側扉が、車輪がコンクリートブロック製舗装に乗り上げた衝撃で瞬間的に開いたか、検知スイッチ内部の接点と同衝撃により瞬間的に離れたものと考えられる。

また、2.4.2(3)に記述したように、進行方向を向いた座席の座面が多数落下していた。進行方向を向いた座席の場合、座面は先端を少し持ち上げ、前方にずらすことで外せる構造である。本事故発生時には、座席には1両目前台車及び2両目後台車が脱線し、まくらぎ上を走行したことによる上下の振動を受けつつ、車輪がコンクリートブロック製舗装に乗り上げたことにより、座面を前方にずらされるような大きな減速度がかかったものと考えられる。

3.4 走行速度に関する分析

2.6に記述したように、赤水駅の大分駅方に分岐側制限速度を45km/hとされている分岐器（赤水駅21号）がある。

2.1.2表1に記述したように、運転状況記録装置の記録から、本件列車の2両目後台車第2軸が同分岐器から進出した時点での走行速度は、約36km/hと考えられることから、脱線に至るような速度超過はなかったと考えられる。

3.5 地震波が到達した時刻の分析

事故発生箇所への地震波の到達時刻を以下のように推定した。

(1) 地震計の記録から地震波到達時刻を推定

地震波について、2.9.2に記述したように、立野駅と宮地駅に設置された地震計のP波検知時刻が、それぞれ1時25分10秒と1時25分15秒であり、5秒の差があったこと、及び立野駅、宮地駅、赤水駅（事故発生箇所）における震央からの距離の差を考えると、事故発生箇所である赤水駅付近には1時25分11秒4ごろにP波が到達した可能性があると考えられる。

また、S波の到達時刻については、震央から24.5kmの立野駅地震計の記録では、P波からS波までの時間が約4.5秒、震央から32.3kmの距離にある南阿蘇村中松地震計の記録では同約4.6秒とみられることから、震央からの距離が28.9kmである赤水駅でのP波からS波の時間差も、4.5秒程度であったと考えられる。

このような状況から、事故発生箇所へのS波到達は1時25分16秒ごろ

であったと考えられる。

(2) 運転状況記録装置の記録から地震波到達時刻を推定

運転状況記録装置に記録された速度情報には、2.1.2の表1に記述したように、赤水駅を出発してから、変わらず5ノッチで力行状態であった本件列車が、1時25分16秒0ごろから、加速が緩慢となり、その後、車両の性能を超えて加速したりしたことが記録されている。

これは列車が実際に加減速しているのではなく、線路がレール方向を含む地震動を受けて前後方向に動いたことにより、車輪の回転を緩慢にしたり急激に回転させたりしたものと考えられ、それを車両の速度発電機にて検出したものと考えられる。よって、S波到達は、1時25分16秒0ごろであったと考えられる。

3.6 脱線に関する分析

3.6.1 レール上の痕跡と列車の輪軸の位置について

2.4.1.1に記述したように、A地点、B地点、D地点及びE地点の右レール、並びにC地点の左レールに車輪によるとみられる痕跡が見られた。そのうちA地点のものとD地点のものについては、その地点以降のまくらぎ上にも脱線した車輪が走行したとみられる痕跡が見られた。

A地点で見られた痕跡を2両目後台車2軸目によるものと仮定し、本件列車のそれぞれの輪軸の位置とレールの痕跡とを比較したところ、付図6に示すように、B地点のものは2両目後台車1軸目と、C地点のものは2両目前台車1軸目と、D地点及びE地点のものは1両目前台車の2軸目及び1軸目の位置と一致する。

このことより、本件列車の1両目前台車の全軸と2両目後台車の全軸の右車輪については、ほぼ同時刻に右レールに乗り上がって脱線し、2両目前台車のいずれかの軸の左車輪は左レール上に乗り上がり、フランジで走行する状態になったと考えられる。

3.6.2 脱線した時刻について

本件列車の脱線位置について、3.6.1に記述したように、A地点の痕跡を2両目後台車2軸目によるものと考え、本件列車は赤水駅2番線の列車停止位置目標から約131m走行した位置で脱線し始めたと推定される。

2.1.2に記述した運転状況記録装置の記録から、本件列車が赤水駅を出発後、131m走行した位置での時刻を確認したところ、1時25分17秒6ごろであったと推定される。

3.6.3 脱線開始の原因について

本件列車の脱線開始の原因については、3.6.1に記述したように、レールに見られた痕跡から、本件列車の1両目前台車の全軸と2両目後台車の全軸の右車輪が、ほぼ同時刻に右レールに乗り上がって脱線し、それと同時に2両目前台車のいずれかの軸の左車輪は左レール上に乗り上がり、フランジで走行する状態になったと考えられ、その時刻については、3.6.2に記述したように、レール上の痕跡と運転状況記録装置の記録による、本件列車が脱線した時刻の分析から、1時25分17秒6ごろと推定される。

また、3.5に記述したように、地震計の記録及び運転状況記録装置の記録による地震波の到達時刻の分析から、本件列車は赤水駅を出発後、走行中、1時25分16秒0ごろにS波を受けたと考えられ、これは、前述した本件列車が脱線開始したと推定される時刻の直前であったと推定されることから、本件列車は本震による地震動を受けたため、脱線したものと推定される。

3.7 踏切の損傷に関する分析

2.4.1.2(6)に記述したように、小割1号踏切の踏切遮断機1台の損傷については、遮断機本体側面に1両目の車両前面の足かけと同形状とみられる痕跡があったこと、2.4.2.(4)に記述したように、本件列車の1両目前面の足かけには遮断機本体のものとみられる黄色の塗料の痕跡があったことから、脱線した本件列車の前面足かけと衝撃して基礎部から分離し、破損したものと推定される。

3.8 前震以降の運転規制に関する分析

前震後の運転規制については、2.7.3に記述したように、4月14日に前震が発生し、立野駅で計測震度5.1が観測されたため、同社の運転規制手続きに基づき、列車の運転を中止した。その後、4月15日に軌道自転車を使い、軌道に問題がないことを確認した上で規制を解除していることから、運転が再開されたことについて、問題はなかったと考えられる。

また、本震後の運転中止の連絡については、2.7.3に記述したように、本件列車が走行していた区間を監視する立野駅にある地震計から指令所までの通信線が、本震による土砂崩れにより切断されたため、警報が指令所に伝わっていないものの、隣接区間である熊本駅、宮地駅の地震計の警報を見て、指令所から運転中止指示の連絡をしようとしていた。しかしながら、本件列車は本震のS波を受けた直後に地震動により脱線したため、脱線する前に連絡することは不可能であったと考えられる。

3.9 気象に関する分析

気象については、2.8に記述したように、異常と思われる数値は記録されていないことから、脱線事故に関与するような気象状況はなかったと考えられる。

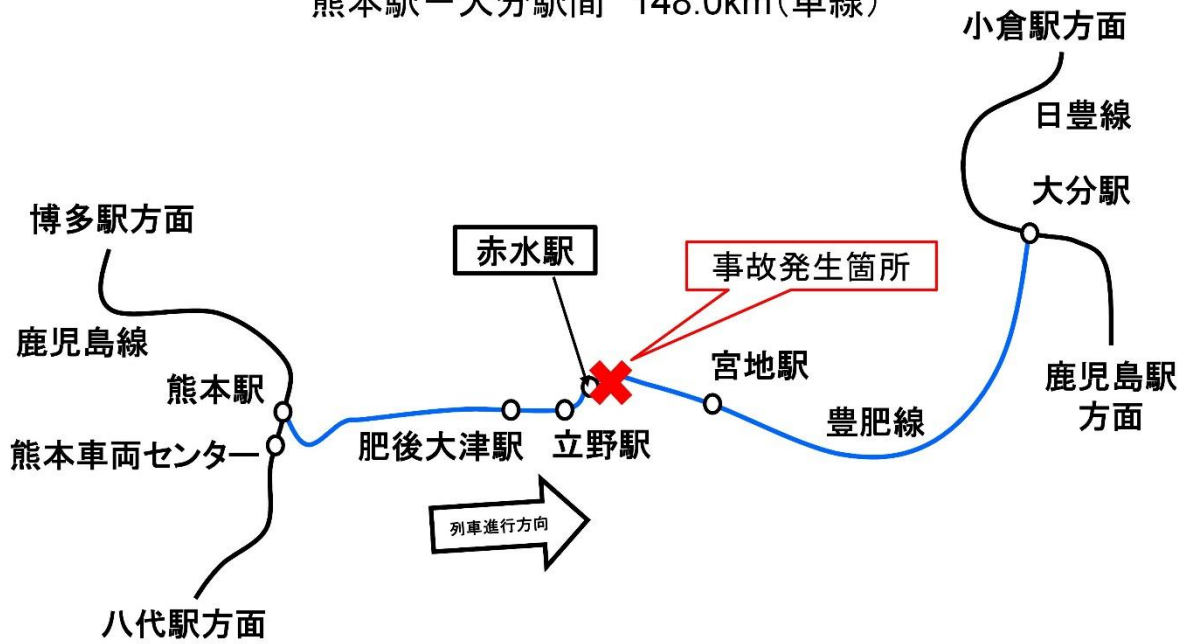
4 原因

本事故は、列車が赤水駅構内を走行中に、「平成28年（2016年）熊本地震」のうちの、4月16日1時25分ごろに発生した地震による、大きな地震動を受けたため、1両目前台車全軸及び2両目後台車全軸の右車輪がほぼ同時に右レールに乗り上がって右側に脱線し、その後、2両目前台車全軸の左車輪が左レールに乗り上がって左側に脱線したことにより、発生したものと推定される。

2両目前台車全軸の脱線については、1両目前台車第1軸が、脱線後に走行しながら踏切のコンクリートブロック製の舗装に乗り上げた衝撃により、列車が水平座屈し、2両目前台車によってレールに大きな左方向の荷重がかかり、レールを变形させたことから発生した可能性があると考えられる。

付図1 豊肥線の路線図

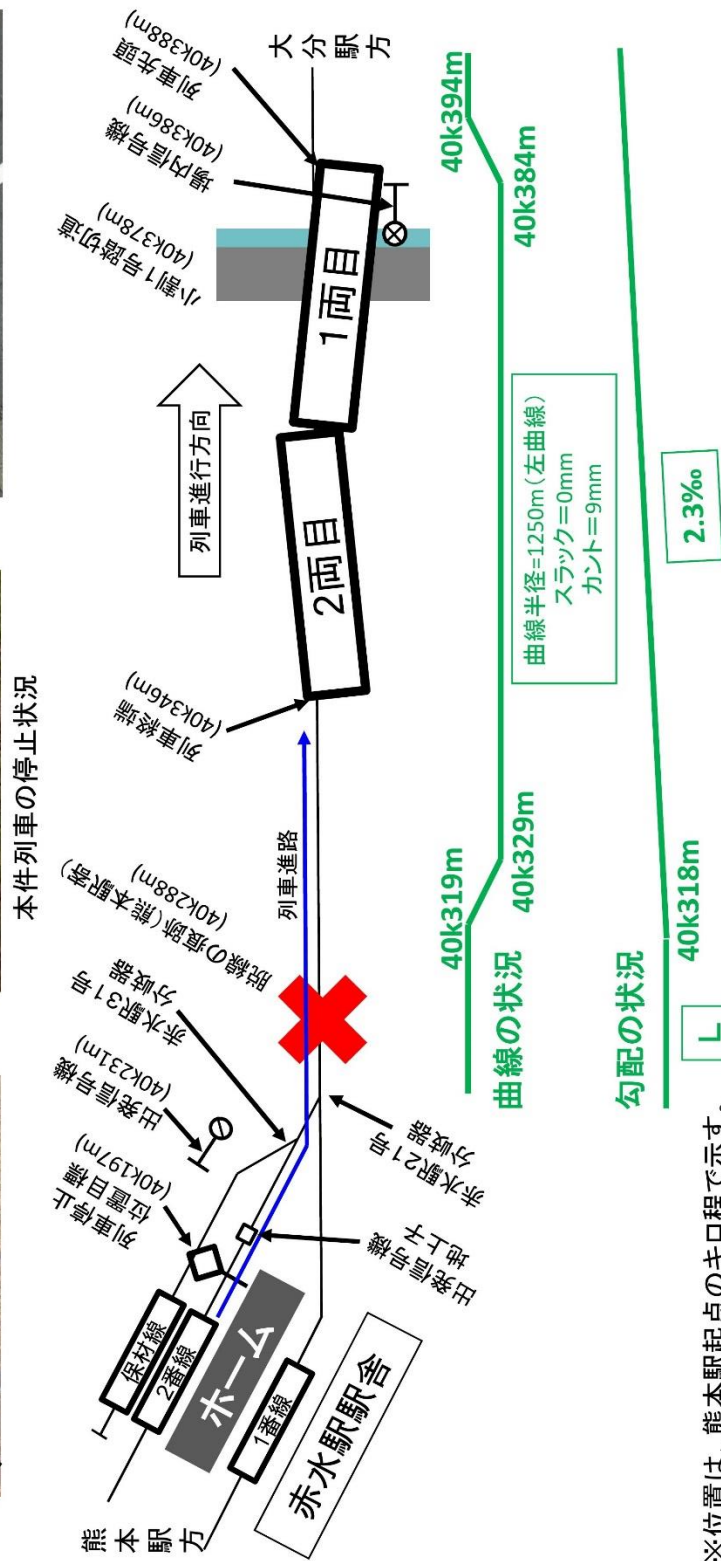
熊本駅—大分駅間 148.0km(単線)



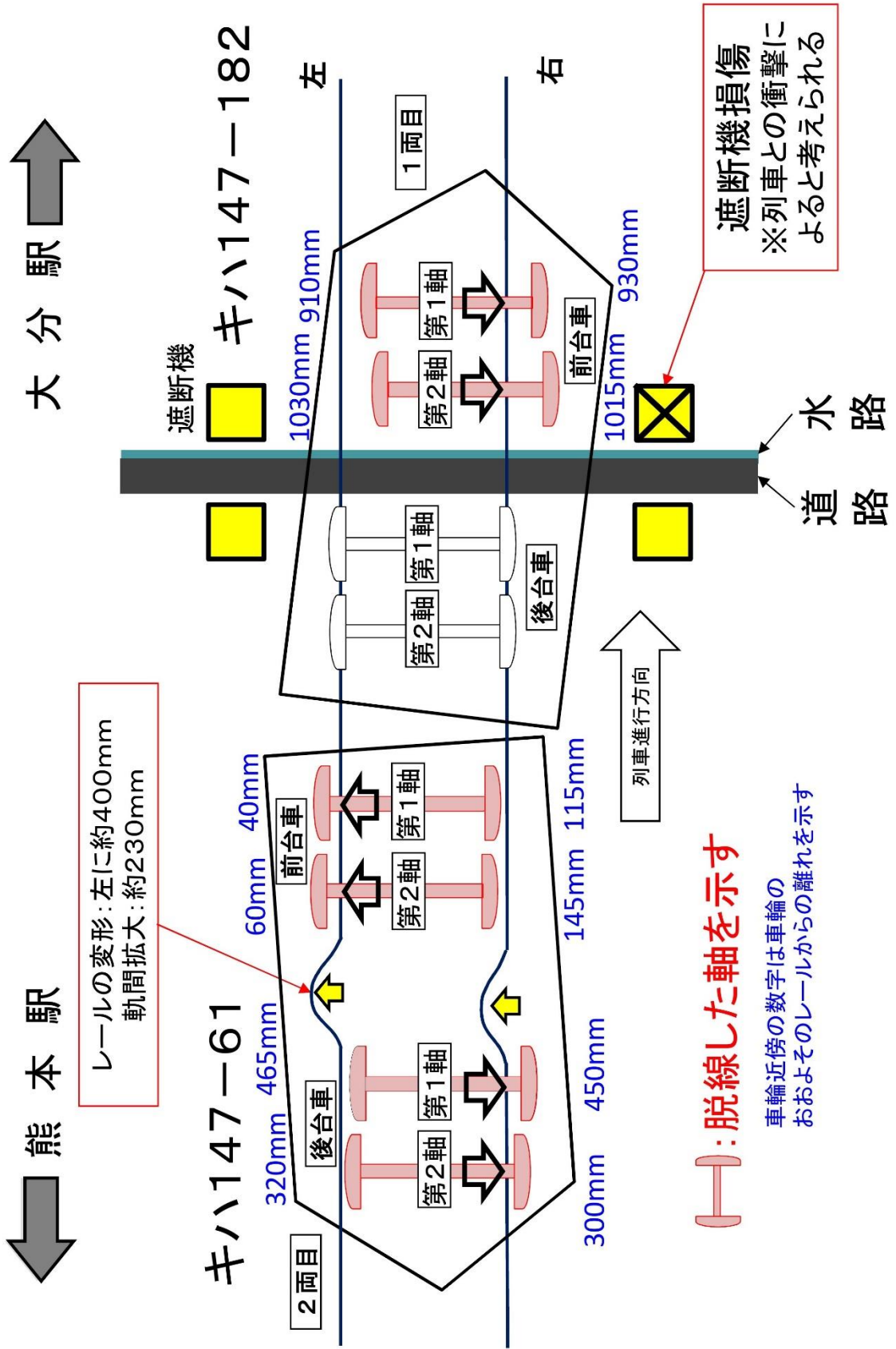
付図2 事故発生箇所付近の地形図



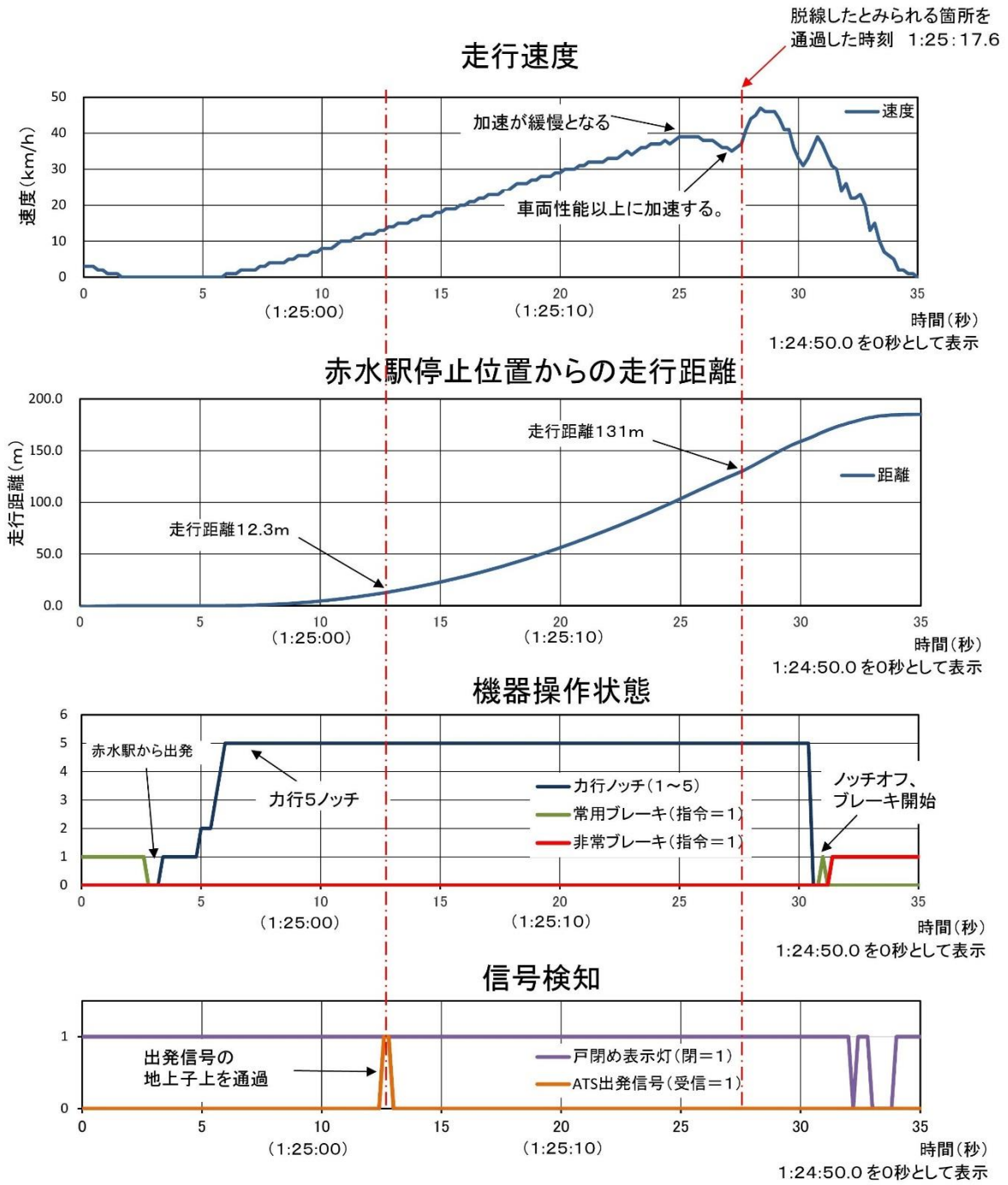
付図3 事故発生箇所の概況



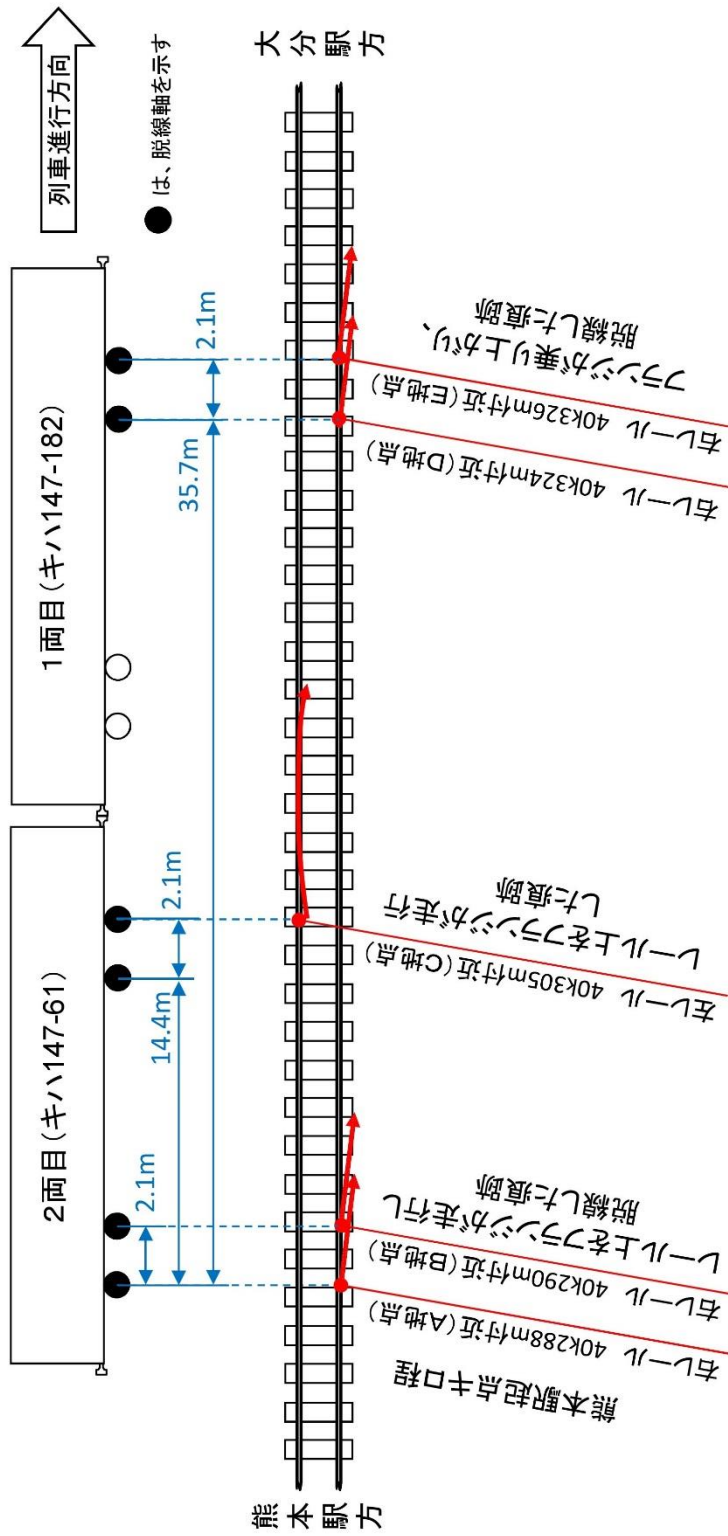
付図4 本件列車停止箇所概況



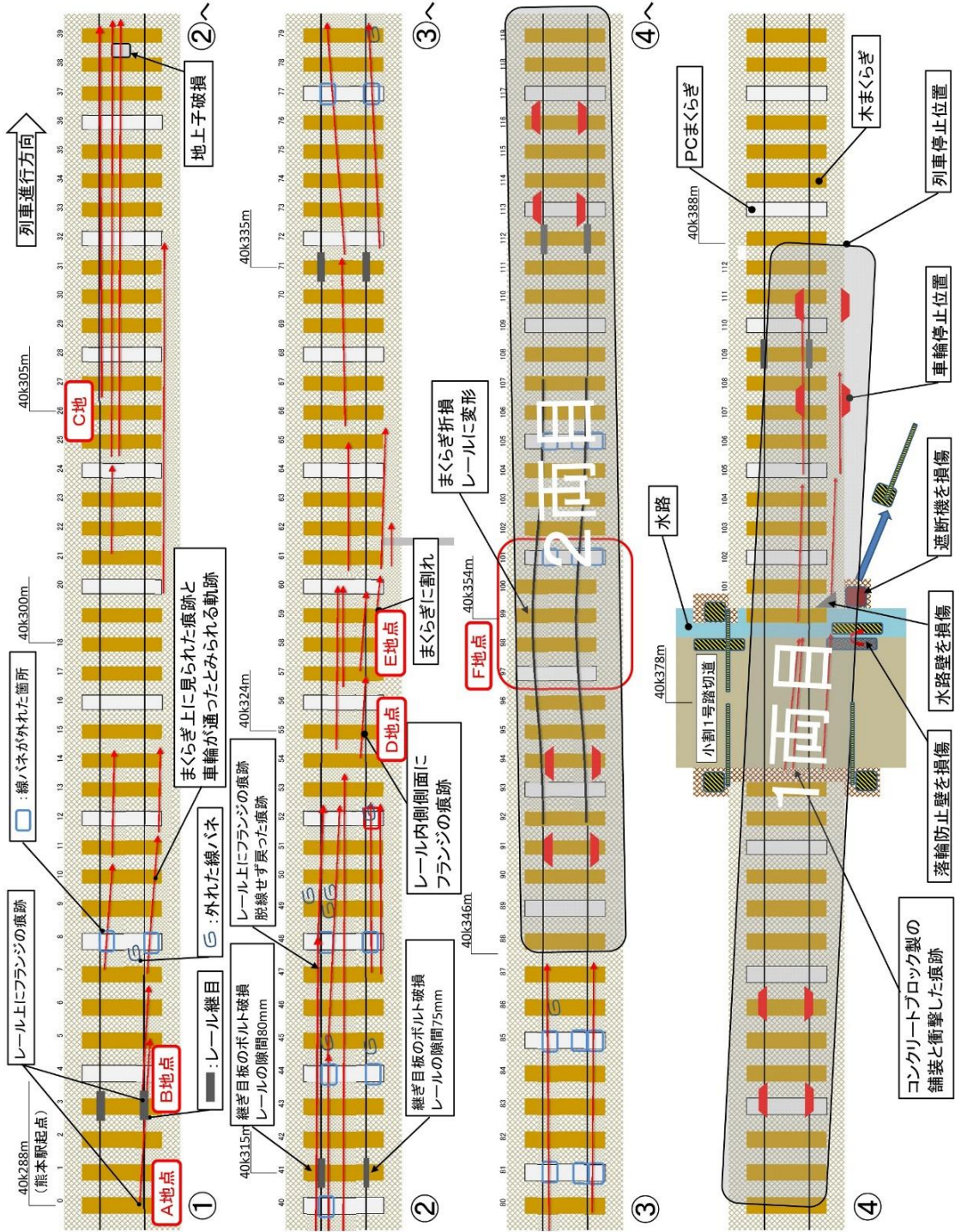
付図5 事故発生前後の運転状況グラフ



付図6 線路上の痕跡



付図7 A地点から列車停止位置までの痕跡



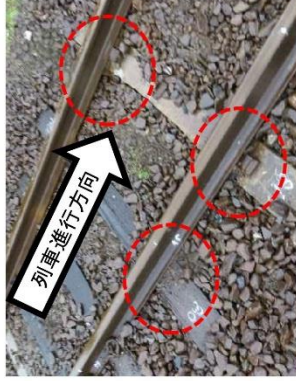
付図8-1 地上施設の損傷状況



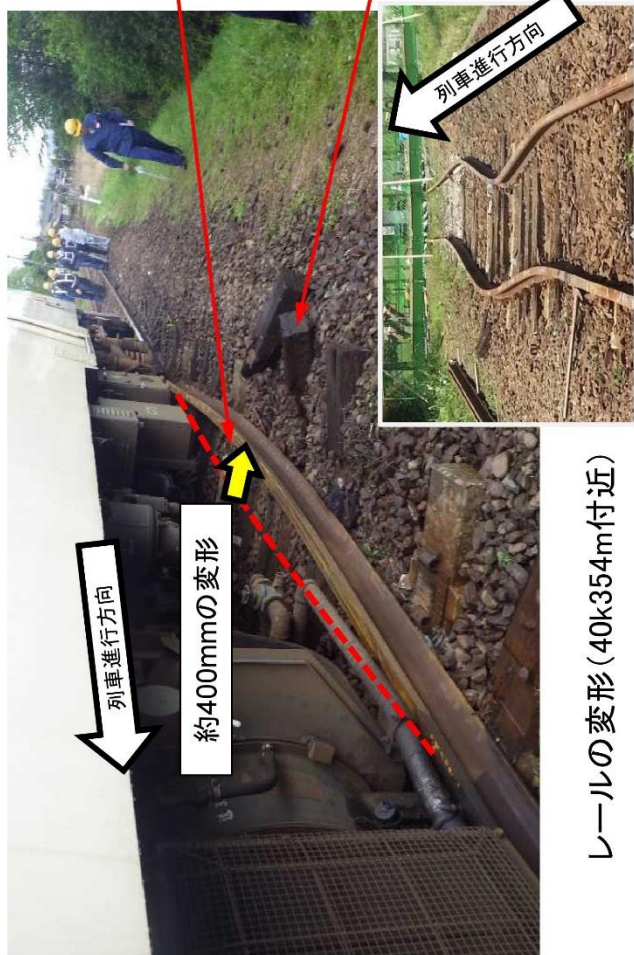
地上子破損
(40k313m付近)



レール継ぎ目板
ボルト破損
(40k315m付近・左右とも)



レール締結装置の
犬くぎ抜け・線ばね抜け
(脱線位置から停止位置まで多数)

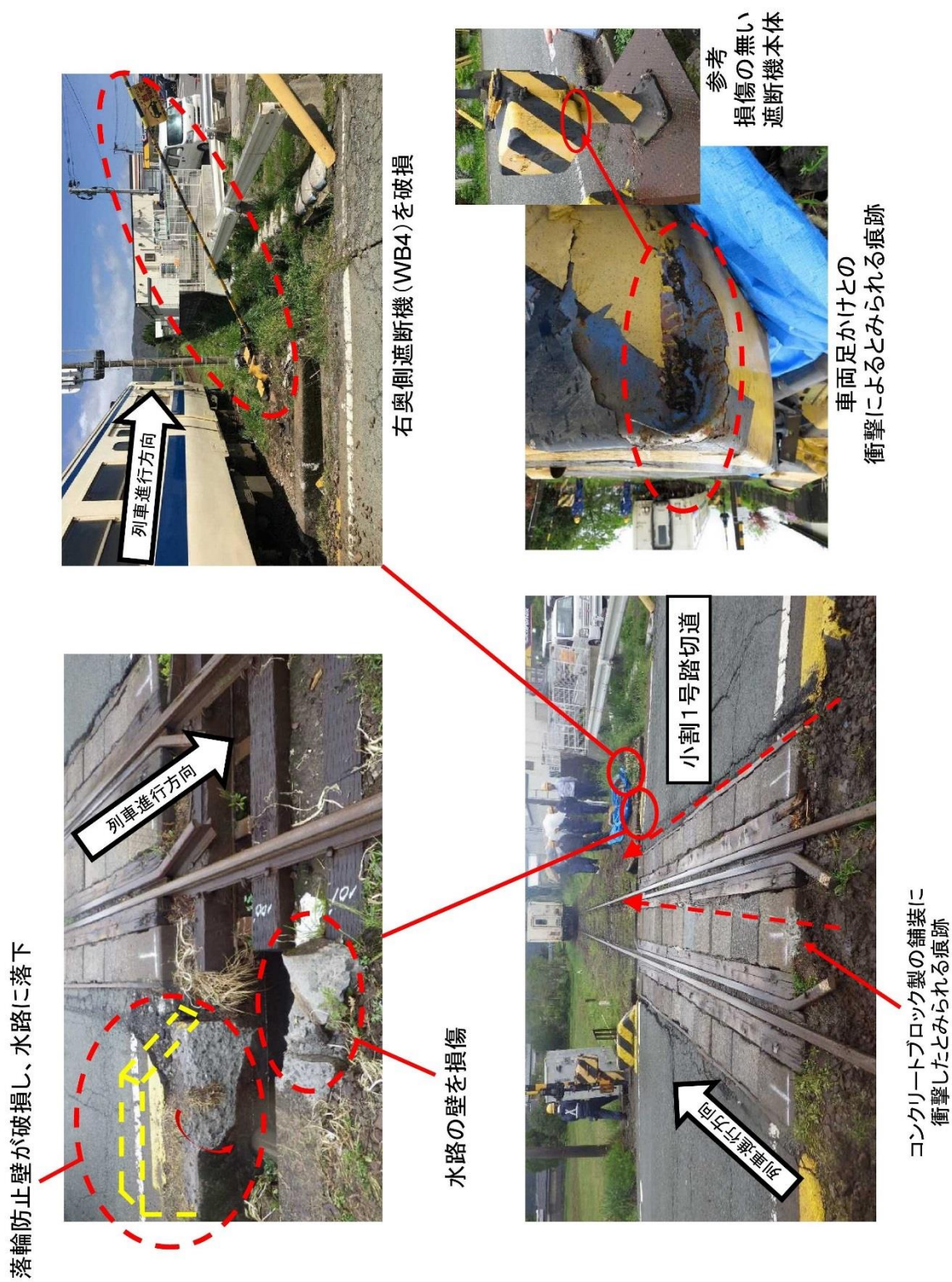


レールの変形(40k354m付近)

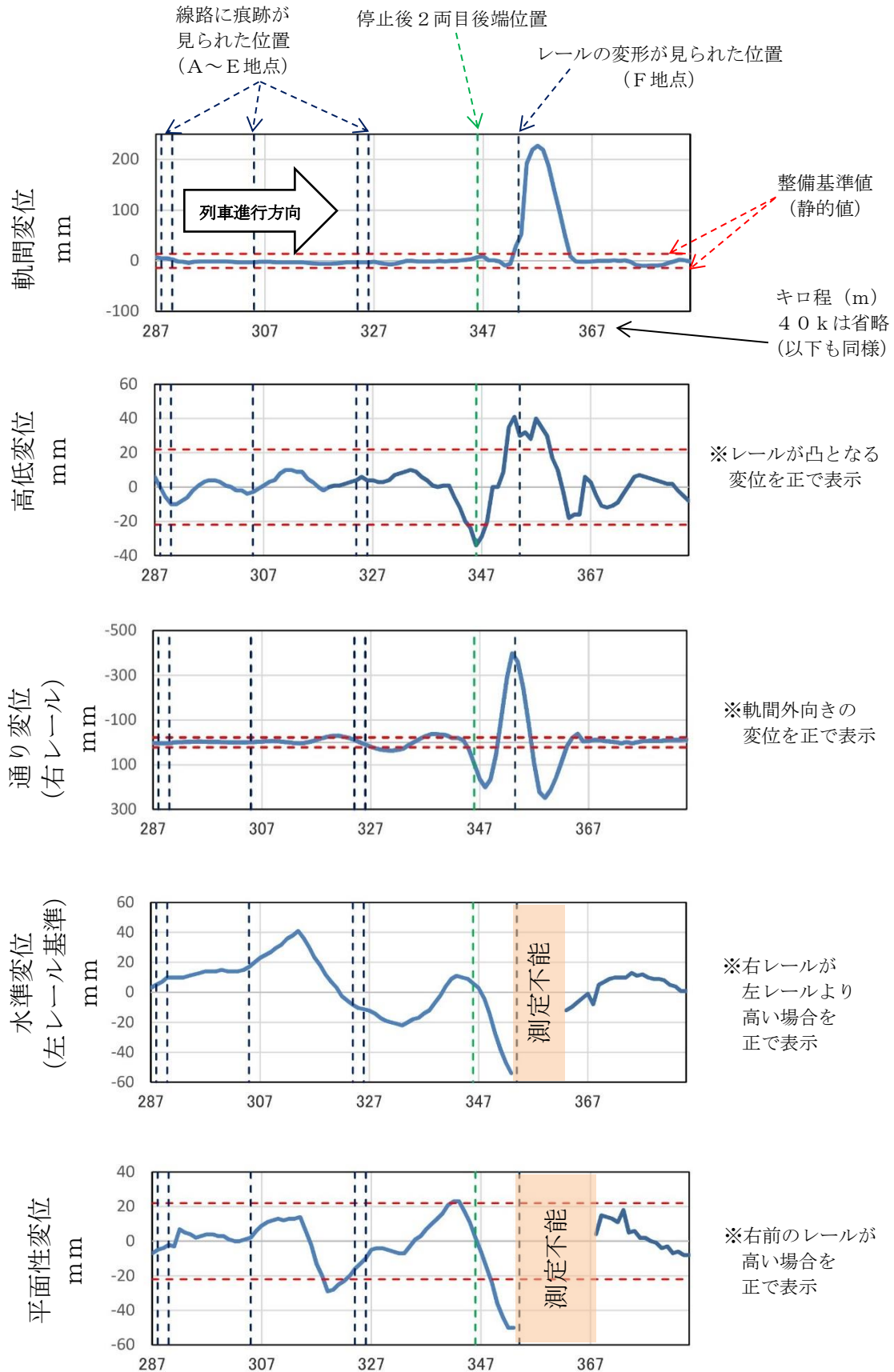


木まくらぎ・PCまくらぎ折損

付図8-2 地上施設の損傷状況



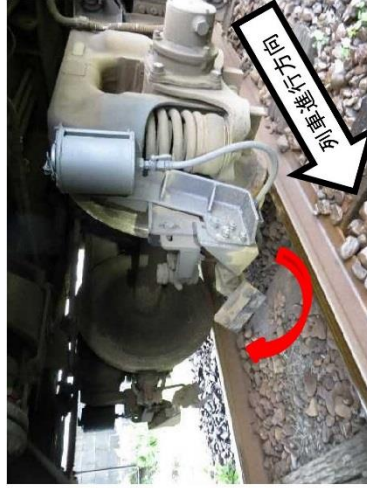
付図9 事故後の軌道変位の状況（事故による変形を含む）



付図10 車両の損傷状況



車内客席 座面外れ
(写真は2両目)



排障器曲損
(1両目 前台車)



砂撒き装置(セラジェット)
ノズル落失 (1両目前台車第2軸)
(写真は脱線復旧作業のため、
取り外された状態)



スノープラウ破損
(1両目 先頭)

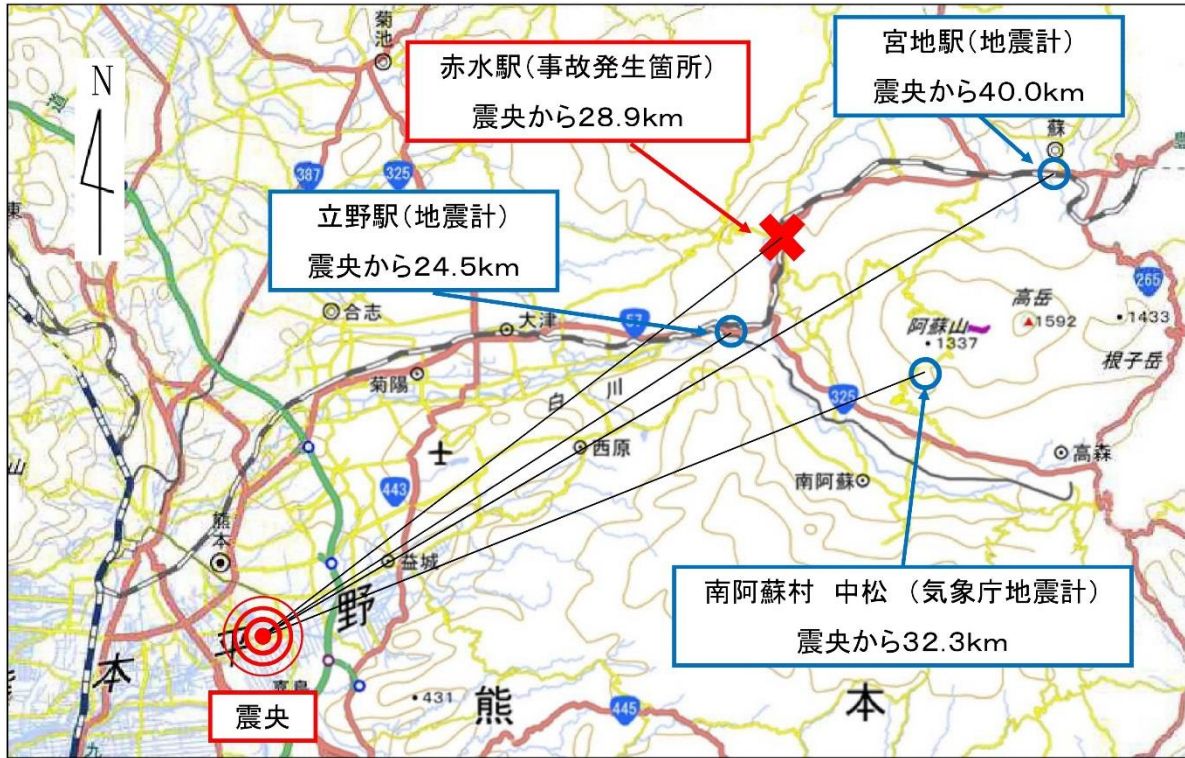


スノープラウ破損
(2両目 後尾)



遮断機本体と接触
したとみられる痕跡
(1両目 先頭右)

付図 1 1 震央と事故発生箇所及び地震計位置



この図は国土地理院の地理院地図
(電子国土Web)を利用して作成