

鉄 道 事 故 調 査 報 告 書

I 日本貨物鉄道株式会社 函館線 八雲駅～山越駅間 列車脱線事故

II 日本貨物鉄道株式会社 江差線 釜谷駅～泉沢駅間 列車脱線事故

III 日本貨物鉄道株式会社 江差線 泉沢駅～札苅駅間 列車脱線事故

IV 貨物列車走行の安全性向上に関する意見について

平成27年12月17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 後藤 昇 弘

《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 日本貨物鉄道株式会社 江差線
泉沢駅～札苅駅間
列車脱線事故

鉄道事故調査報告書

鉄道事業者名：日本貨物鉄道株式会社

事故種類：列車脱線事故

発生日時：平成26年6月22日 4時12分ごろ

発生場所：北海道かみいぞ磯郡きこない木古内町

えさし江差線 いずみさわ泉沢駅～さつかり札苅駅間（単線）

ごりようかく五稜郭駅起点33k179m付近

平成27年12月7日

運輸安全委員会（鉄道部会）議決

委員長 後藤昇弘

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>

日本貨物鉄道株式会社の札幌貨物ターミナル駅発宇都宮貨物ターミナル駅行き21両編成の高速貨第7066列車は、平成26年6月22日、五稜郭駅を定刻（3時38分）に出発した。

列車は、札苅駅構内を約69km/hで走行中、突然ブレーキ管の圧力が低下するとともに自動的に非常ブレーキが動作し、停止した。

停止後、運転士が列車を確認したところ、列車の20両目の後台車全2軸が右に脱線していた。さらに、21両目は20両目と分離し、20両目から約17m後方に停止していた。

列車には運転士1名が乗務していたが、負傷はなかった。

<原因>

本事故は、列車が半径350mの左曲線を走行した際、コキ107形式の貨車の車体に顕著なロール振動が励起されて外軌側車輪の輪重が小さくなり、さらに外軌側車輪の横圧が増加し、脱線係数が増加して外軌側車輪がレールに乗り上がったことにより右に脱線した可能性があるものと考えられる。

車体に顕著なロール振動が励起されたことについては、乗り上がり開始地点の手前の軌道に整備の対象となる大きな複合変位が存在していたためと考えられる。

外軌側車輪の横圧が増加したことについては、曲線半径を小さくする側の比較的大きな通り変位が存在したことが影響した可能性があると考えられる。

また、整備の対象となる大きな複合変位が存在したことについては、高速軌道検測車により計測された整備の対象となる複数種別の複合変位の存在を担当の現業機関で認識できなかったためであり、それには現業機関に計測結果を伝達して補修の要否を決める方法が不適切であったこと、現業機関での複合変位に関する知識が不足していたことが関与した可能性があると考えられる。

積荷の偏りが実際に脱線の発生に関与したかどうかを明らかにすることはできなかったが、事故直前の積載状態によっては、脱線を助長する要因となっ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	2
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	運転状況記録装置に関する情報	4
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	事故現場等に関する情報	4
2.3.2	鉄道施設に関する情報	5
2.3.3	車両に関する情報	14
2.4	鉄道施設及び車両の損傷、痕跡等に関する情報	20
2.4.1	鉄道施設の損傷及び痕跡等の状況	20
2.4.2	車両の損傷及び痕跡等の状況	20
2.4.3	落失した車両部品の発見位置	21
2.5	乗務員等に関する情報	21
2.6	コンテナへの積荷の積載等に関する情報	21
2.7	運転取扱いに関する情報	22
2.8	気象に関する情報	22
2.9	走行試験と数値シミュレーションに関する情報	22
2.9.1	J R貨物及びJ R北海道による走行試験	22
2.9.2	貨車の走行に関する数値シミュレーション	23
2.10	その他必要な情報	29
2.10.1	平成24年4月26日発生の列車脱線事故について	29
2.10.2	平成24年9月11日発生の列車脱線事故について	30
3	分 析	31
3.1	脱線車両等に関する分析	31

3.1.1	脱線地点.....	31
3.1.2	脱線時の時刻及び走行速度.....	32
3.2	車両に関する分析.....	32
3.2.1	本件貨車の状況.....	32
3.2.2	本件貨車の検査等の状況.....	32
3.2.3	本件貨車の積荷の状況.....	33
3.2.4	積車状態での輪重比の状況.....	33
3.3	事故現場付近の軌道変位と貨車の輪重横圧に関する分析.....	34
3.4	走行速度に関する分析.....	34
3.5	基準に達した複合変位が補修されなかったことに関する分析.....	35
3.6	脱線に関する分析.....	35
3.6.1	複合変位及び通り変位の関与.....	35
3.6.2	偏積の関与.....	36
3.6.3	まくらばねダンパの減衰特性の関与.....	36
3.7	脱線事故発生後の安全性に関する分析.....	36
3.8	複合変位の管理に関する分析.....	36
3.8.1	適切な複合変位の管理方法の徹底.....	36
3.8.2	評価指標としての複合変位の有用性.....	37
3.9	本件列車の非常制動に関する分析.....	37
4	結 論.....	38
4.1	分析の要約.....	38
4.2	原因.....	39
5	再発防止策.....	40
5.1	必要と考えられる再発防止策.....	40
5.1.1	複合変位の適正な管理.....	40
5.1.2	偏積の防止を目的とした積荷の管理.....	40
5.2	本事故後に J R 北海道が講じた措置.....	41
5.2.1	暫定措置.....	41
5.2.2	恒久措置.....	42
5.2.3	J R 貨物との協議により講じた対策.....	42
5.3	本事故後に J R 貨物が講じた措置.....	42

添付資料

付図 1	江差線路線図.....	44
付図 2	事故現場付近の地形図.....	44
付図 3	泉沢駅～札幌駅略図.....	45
付図 4	事故現場付近略図.....	46
付図 5	札幌駅構内略図と脱線の状況.....	47
付図 6	鉄道施設等の損傷状況.....	48
付図 7	本事故前の軌道変位の状況（平成 26 年 4 月）.....	49
付図 8	本事故前の軌道変位の状況（平成 26 年 6 月）.....	51
付図 9	複合変位の補修経緯.....	53
付図 10	レール摩耗形状.....	54
付図 11	20 両目（本件貨車）の損傷状況.....	54
付図 12	本件貨車の積荷の状況.....	55
付図 13	新聞巻取紙の位置.....	56
付図 14	No. 5 コンテナの変形状況.....	56
付図 15	走行試験の概要.....	57
付図 16	数値シミュレーションの概要.....	58
付図 17	数値シミュレーションモデル.....	59
付図 18	事故現場の曲線諸元.....	63
付図 19	数値シミュレーションによる走行試験の再現波形と測定波形との 照合.....	64
付図 20	数値シミュレーションに入力した軌道状態.....	65
付図 21	事故再現シミュレーションの結果（新聞巻取紙の積載位置： 基本位置）.....	66
付図 22	事故再現シミュレーションの結果（新聞巻取紙の積載位置： 基本位置から 0.1m 偏積）.....	68
付図 23	事故再現シミュレーションの結果（新聞巻取紙の積載位置： 基本位置から 0.2m 偏積、車輪・レール間摩擦係数：0.5）.....	69
付図 24	事故再現シミュレーションの結果（新聞巻取紙の積載位置： 基本位置から 0.2m 偏積、車輪・レール間摩擦係数：0.7）.....	70
付図 25	事故再現シミュレーションの結果（まくらばねダンパの減衰特性： “積車特性” に固定、新聞巻取紙の積載位置：基本位置）.....	71

付図 2 6	事故再現シミュレーションの結果（まくらばねダンパの減衰特性： “積車特性”に固定、新聞巻取紙の積載位置：基本位置から0.2m 偏積）	72
付図 2 7	事故再現シミュレーションの結果(軌道変位 \leq 整備目標値、新聞 巻取紙の積載位置：基本位置).....	73
参考図 1	脱線の要因の推定.....	74
参考図 2	複合変位について.....	75

1 鉄道事故調査の経過

1.1 鉄道事故の概要

日本貨物鉄道株式会社の札幌貨物ターミナル駅発宇都宮貨物ターミナル駅行き21両編成の高速貨第7066列車は、平成26年6月22日（日）、五稜郭駅^{ごりょうかく}を定刻（3時38分）に出発した。

列車は、札幌駅構内^{さつかり}を約69km/hで走行中、突然ブレーキ管の圧力が低下するとともに自動的に非常ブレーキが動作し、停止した。

停止後、運転士が列車を確認したところ、列車の20両目（車両は機関車を含めて前から数え、前後左右は列車の進行方向を基準とする。）の後台車全2軸が右に脱線していた。さらに、21両目は20両目と分離し、20両目から約17m後方に停止していた。

列車には運転士1名が乗務していたが、負傷はなかった。

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26年6月22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。また、平成27年4月1日に2名の鉄道事故調査官を追加指名した。

北海道運輸局は、本事故調査の支援のため、職員を事故現場に派遣した。

平成26年10月8日、本事故の調査に従事する専門委員として、公益財団法人鉄道総合技術研究所鉄道力学研究部軌道力学研究室長名村明及び茨城大学工学部機械工学科准教授道辻洋平を任命し、調査すべき分野として名村明に「軌道の数値解析を用いた分析」を、道辻洋平に「車両運動の数値解析を用いた分析」を指定した。

さらに追加調査のため、委員、専門委員及び鉄道事故調査官を事故現場等に派遣した。

また、本事故に関し国立大学法人茨城大学に「日本貨物鉄道株式会社江差線列車脱線事故に係る貨物列車の運動シミュレーションに関する研究」を委託した^{*1}。

1.2.2 調査の実施時期

平成26年 6 月22日及び23日 現場調査

平成26年 6 月22日～24日 車両調査

^{*1} 茨城大学：日本貨物鉄道株式会社江差線列車脱線事故に係る貨物列車の運動シミュレーションに関する研究報告書、2015.10

平成26年6月22日	口述聴取
平成26年9月16日及び17日	車両調査
平成26年10月16日	車両調査
平成26年10月6日	
～平成27年10月30日	委託研究
平成26年11月21日～23日	走行試験及び車両調査
平成27年2月26日～28日	走行試験
平成27年7月16日	車両調査

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 運転士の口述

事故に至るまでの経過は、日本貨物鉄道株式会社（以下「JR貨物」という。）の高速貨第7066列車（以下「本件列車」という。なお、この列車番号は、五稜郭駅から青森信号場までとなる。）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、五稜郭駅から青森信号場まで運転する乗務であった。

五稜郭駅を定刻（3時38分）に出発し、泉沢駅（五稜郭駅起点30k570m、以下「五稜郭駅起点」は省略。）を通過した。

その後、上り第1閉そく信号機に対する第2中継信号機に対して「中継進行」と喚呼して速度を約63km/hまで上昇させた。

幸連川橋りょうを過ぎたところで、こうれんがわ 札苧駅場内信号機に対する第1中継信号機に対して「中継進行」と喚呼して速度を維持していた。

札苧駅構内に速度約63km/hで進入し、同駅通過時に定刻（4時12分）であることを確認してから速度を約73km/hまで上昇させた後、速度を維持したまま同駅構内を走行していた。

そのとき、突然ブレーキ管の圧力（以下「BP圧^{*2}」という。）が約0kPa

^{*2} 「BP圧」とは、ブレーキの強さを指令する空気配管（BP (brake pipe)）の空気圧をいい、通常は490kPaの一定圧力に保たれ、ブレーキ管を減圧するとブレーキが掛かり、増圧するとブレーキが緩む。

まで低下した後、自動的にブレーキが掛かって列車が停止した。B P 圧は約 4 0 0 kPa まで再上昇したが、それ以上 B P 圧が上昇することはなかったため、逆転ハンドルを「切」位置、ブレーキハンドルを「非常固定」位置にし、また、駐車ブレーキを作用させた。

列車が停止したのは、4 時 1 3 分であった。

また、五稜郭駅から列車が停止するまで特に車両に異常を感じることはなく、貨車を引きずるような感覚や音はなかった。

列車停止後、列車が自動的に停止したこと及び B P 圧が低下して再上昇しないことを北海道旅客鉄道株式会社（以下「J R 北海道」という。）の輸送指令（以下「指令」という。）に報告したところ、再度 B P 圧を込める操作を試すよう指示があり、これを 2 回操作したが B P 圧が上昇せず、その旨を報告した。

そこで、指令から車両点検を行うよう指示を受けた。このとき T E 装置^{*3}を操作していなかったため、「T E 装置を扱いたい」と連絡したところ、既に関係列車の抑止手配をとったので T E 装置は扱わず車両点検を行うよう指示を受けた。

降車後、先頭から順番に車両を点検していったところ、2 0 両目の後台車全 2 軸が脱線していたこと、2 0 両目と 2 1 両目が分離していたこと及び 2 1 両目の先頭部に約 1 m の長さの金属部品が挟まっていることを確認した。その場から指令に携帯無線で状況を連絡しようとしたが繋がらず、携帯電話も繋がらなかったため、札苅駅上りホーム上にあった沿線電話を使用して報告した。

その後、指令の指示により機関車の運転室に戻ったが、再び指令から脱線地点を確認するよう指示があった。降車して、2 1 両目の後方から幸連 5 号踏切までの軌道の損傷状況を確認して報告したところ、指令からそれ以上先を確認することなく、機関車に戻るよう指示があった。幸連 5 号踏切の先の軌道上にも損傷が見られたが、指示のとおり 5 時 3 5 分ごろに機関車に戻り、待機した。

列車が停止したときの天候は曇りで、薄明るくなっており、霧もなく周囲を見渡せる状況であった。

なお、事故当日、江差線において運転規制はなかった。

(付図 1 江差線路線図、付図 2 事故現場付近の地形図、付図 3 泉沢駅～札苅駅略図、付図 4 事故現場付近略図、付図 5 札苅駅構内略図と脱線の状況 参照)

^{*3} 「T E 装置」とは、one Touch operative Emergency device の略称で、ワンタッチのスイッチを押すことにより気笛吹鳴、砂撒き、非常ブレーキ、力行しゃ断、パンタグラフ降下、機関停止、車両用信号炎管点火、防護無線発報などを同時に行う装置で、緊急列車防護装置のことをいう。

2.1.2 運転状況記録装置に関する情報

本件列車の機関車には、時刻、速度、力行ノッチの操作状況及びB P圧等を約0.2秒ごとに記録することができる運転状況記録装置が設置されている。

同装置の記録によれば、本事故発生前後の運転状況は、概略表1のとおりであった。時刻については、記録時刻から実際の時刻に補正を行った。

なお、3.1.2に後述のように、本事故の発生時刻は、4時12分ごろであった。

表1 本事故発生前後の運転状況

運転状況記録装置の記録					本件列車の 先頭位置	備考
時刻	速度 (km/h)	力行 ノッチ	B C 圧 (kPa)	B P 圧 (kPa)		
4:12:03.4	63	9	0	478	33k171m 付近	機関車の先頭が幸連川橋りょうを通過
4:12:03.6	63	10	0	478	33k174m 付近	機関車の先頭がレール上の痕跡の開始地点を通過
4:12:27.0	63	10	0	478	33k584m 付近	20両目の後台車がレール上の痕跡の開始地点を通過
4:12:45.0 ～ 4:12:47.0	64	12	0	478	33k899m 付近 ～ 33k936m 付近	機関車の先頭が札苅駅 11号イ分岐器を通過
4:13:07.4 ～ 4:13:09.4	68	12	0	478	34k309m 付近 ～ 34k346m 付近	20両目の後台車が札苅駅 11号イ分岐器を通過
4:13:11.2	69	13	0	473	34k380m 付近	B P 圧低下開始
4:13:12.8	68	13	87	439	34k411m 付近	B C 圧上昇開始、速度低下開始
4:13:13.8	65	切	456	154	34k430m 付近	力行ノッチ「切」
4:13:28.2	0	切	76	399	34k564m 付近	列車停止

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 事故現場等に関する情報

- (1) 本件列車が脱線して停止したのは札苅駅構内であり、先頭（機関車）が34k564m付近、最後尾が34k114m付近であった。
- (2) 本件列車の20両目（以下「本件貨車」という。）の後台車の中心は34k

1 5 4 m付近に停止しており、第3軸が約5 3 0 mm、第4軸が約5 5 5 mmいずれも右に脱線していた。また、2 1 両目は本件貨車と分離し、本件貨車から約1 7 m後方に停止していた。

(3) 泉沢駅～札幌駅間の3 3 k 1 7 4 m付近から3 3 k 1 7 8 m付近（左曲線の円曲線内、半径3 5 0 m）までには、右レール（外軌）上に車輪によるものと見られる痕跡があり、軌間内側から外側へと斜めに横切っていた。

(4) 3 3 k 1 7 9 m付近から3 4 k 1 5 4 m付近（札幌駅構内）まで、右レール（外軌）の右及び左レール（内軌）の右のまくらぎ及びレール締結装置に、車輪によるものと見られる痕跡が続いていた。

(5) 札幌駅構内の本件列車の進路上にあった1 1 号イ分岐器には、車輪によるものと見られる打痕及び線状の痕跡があった。

(6) 連動装置の記録によると、札幌駅構内の信号機や分岐器は、本件列車の進路方向に開通していた。

(付図4 事故現場付近略図、付図5 札幌駅構内略図と脱線の状況、付図6 鉄道施設等の損傷状況 参照)

2.3.2 鉄道施設に関する情報

2.3.2.1 路線の概要

J R北海道の江差線五稜郭駅～木古内駅間は、延長3 7. 8 km、軌間1, 0 6 7 mmの単線の路線であり、交流2 0, 0 0 0 Vの電化区間である。なお、J R貨物は、第二種鉄道事業者*4として、同区間において貨物列車の運行を行っている。また、同区間は、貨物列車の通過トン数が他の線区と比較して多くなっている。

江差線五稜郭駅～木古内駅間は、青函トンネルを通る海峡線（中小国駅～木古内駅間、延長8 7. 8 km）の開業（昭和6 3年3月1 3日）に合わせて、列車の最高速度が向上するとともに、新たに特急列車や貨物列車の幹線ルートとなった。これに合わせて、同区間の軌道や橋りょう等が強化されるとともに、小規模な軌道線形の改良が行われたが、本事故発生当時、半径3 5 0 m以下の曲線は、同区間の約2 0 %を占めていた。

2.3.2.2 線路に関する情報

事故現場付近は、5 0 kg Nレールが使用され、幸連川橋りょう付近は木まくらぎ、幸連川橋りょうから札幌駅方はP Cまくらぎが使用されたバラスト軌道（道床厚

*4 「第二種鉄道事業者」とは、自らが敷設する鉄道線路以外の鉄道線路を使用して鉄道による旅客又は貨物の運送を行う事業者をいう。

250mm以上)である。

事故現場付近は、32k666mから33k267mまでが半径350mの左曲線(以下「本件曲線」という。)であり、このうち、32k736mから33k197mまでが円曲線であり、その前後のそれぞれ70mは緩和曲線である。本件曲線のカントは90mm、スラックは5mmに設定されており、いずれも緩和曲線全長で通減されている。

本件曲線中には、幸連川橋りょう(33k138m～33k171m)がある。

事故現場付近の本件列車の進行方向を基準とした線路の勾配は、32k940mから33k020mまでが上り7.2%、33k020mから33k180mまでが上り7.4%、33k180mから33k280mまでが上り11.4%である。

幸連川橋りょうから札苅駅構内までには、幸連4号道路踏切道(第3種、33k355m)、幸連5号道路踏切道(第1種、33k681m)及び殖産苗圃踏切道(第3種、34k321m)の3箇所の踏切道がある。

札苅駅構内には分岐器が4基設置されており、五稜郭駅方に50kgNレール用16番両開き分岐器(11号イ分岐器)及び50kgNレール用8番乗越分岐器(11号ロ分岐器)が、木古内駅方に50kgNレール用16番両開き分岐器(12号イ分岐器)及び50kgNレール用8番乗越分岐器(12号ロ分岐器)が、それぞれ設置されている。

(付図3 泉沢駅～札苅駅略図、付図5 札苅駅構内略図と脱線の状況 参照)

2.3.2.3 軌道変位検査に関する情報

「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、‘JR北海道が北海道運輸局長に届け出ている線路技術心得(実施基準)’(以下「線路実施基準」という。)では、軌道状態検査として軌道変位検査を実施することとされている。

軌道変位検査は、軌間変位、水準変位、高低変位、通り変位及び5m平面性変位^{*5}について検査することとされ、これらの軌道変位が線路実施基準に定められた一般軌道の整備基準値(以下「整備基準値」という。)に達した場合、早急に(JR北海道の社内規程である軌道整備規程によると、本線の場合は15日以内に)整備を行うこととされている。

なお、江差線は線路実施基準において2級線に区分されており、その整備基準値は表2のとおりである。

^{*5} ここでいう「平面性変位」とは、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。なお、本文中では右前方が下がる向きにねじれている場合の平面性変位を正の値としている。

表2 整備基準値 (単位：mm)

軌道変位の種類	整備基準値 本線 (2級線)
軌 間	・直線及び半径600mを超える曲線 20 (14)
	・半径200m以上600mまでの曲線 25 (19)
	・半径200m未満の曲線 20 (14)
水 準	平面性に基づき整備を行う。
高 低	25 (17)
通 り	25 (17)
5 m平面性	23 (18) (カントの遞減量を含む)

数値は高速軌道検測車による動的値を示す。ただし、() 内の数値は、静的値を示す。

また、軌道整備規程及び同じく J R 北海道の社内規程である線路検査規程において、貨物列車が運行される区間については複合変位*6を管理することとされ、複合変位は表3に示す種別により整備することとされている。なお、表3に記された複合変位の変位量の基準値は、複合変位の絶対値を表している。

表3 整備対象となる複合変位

変位の種別 \ 項別	変位の 対象延長	対象の変位及び箇所数	
		変 位 量	変位の箇所数
第 I 種	80 m	18 mm	4箇所
第 II 種	60 m	21 mm	3箇所
第 III 種	30 m	25 mm	2箇所
第 IV 種	—	35 mm	1箇所

備考 (ア) 高速軌道検測車の測定記録の複合変位が上の表の値以上になったものを対象とする。

(イ) 最高速度45 km/h 以下の線区は除く。

(ウ) 貨物列車運転線区の一般軌道に適用される。

(エ) 複合変位の箇所は、両側レールを対象とすることとし、左右レールの複合変位が10 m以上離れている場合は別個の変位とする。

*6 「複合変位」とは、軌道変位の管理指標の一つであり、通り変位の生じている向きに軌道面が傾くような水準変位が生じた場合に複合変位の絶対値が大きくなるように、通り変位に水準変位の1.5倍を減じるか又は加えたものである。複合変位が大きくなると、貨車のローリングや蛇行動が生じやすくなる。(参考図2 複合変位について 参照)

さらに、軌道整備規程によれば、複合変位の基準値の扱いについて、以下のとおり規定されている。

(一般軌道の整備) (抜粋)

第4条

(略)

(3) 複合変位の基準値の扱い

ア 整備の時期

複合変位が次の状態に達した箇所は、1箇月以内に補修する。

(ア) 複合変位が第2条第3号(表3)に定める基準に達した場合は補修を行う。

(イ) 基準に達した複合変位がそれぞれ重複して存在する場合、並びに該当する変位が著しくその基準値を超過する場合は、補修の時期を早める。

イ 複合変位が、第2条第3号(表3)に定める基準に達した後、アで定める期間内にやむを得ず補修ができない場合は徐行の措置をとるものとする。ただし脱線防止ガードが敷設されている区間を除く。

(略)

第Ⅰ種の複合変位とは、対象延長80mの区間に変位量18mm以上の変位が4箇所以上ある場合が該当し、第Ⅱ種の複合変位とは、60mの区間に21mm以上の変位が3箇所以上、第Ⅲ種の複合変位とは、30mの区間に25mm以上の変位が2箇所以上ある場合が該当する。第Ⅳ種の複合変位は、35mm以上の変位が1箇所でもあれば該当する。これらの種別は同じ地点に重複して存在する場合もある。対象となる変位の箇所数は第Ⅰ種の方が多いが、変位の大きさの程度は、第Ⅳ種が一番大きく、第Ⅲ種、第Ⅱ種、第Ⅰ種の順に小さくなる。

(参考図2 複合変位について 参照)

2.3.2.4 事故現場付近の軌道変位の情報

軌道変位検査は、線路検査規程において年4回実施することとされており、平成26年では事故発生前の4月3日及び同6月3日に、高速軌道検測車により実施されている。高速軌道検測車による軌道変位の測定間隔は0.25mである。なお、以下の距離数値は高速軌道検測車の測定値を補正したものであり、各種変位数値はマヤチャート^{*7}に記述されたものである。

^{*7} 「マヤチャート」とは、高速軌道検測車(マヤ車)で検測された軌道変位波形が記録された用紙である。

なお、事故現場付近の軌道を保守管理する組織は、J R北海道函館支社管轄の青函トンネル工務所木古内管理室である。

(1) 平成26年4月3日の軌道変位検査の結果

- ① 軌間変位、高低変位、通り変位及び5m平面性変位は、いずれも整備基準値内であった。
- ② 表4に示すように、複合変位は整備すべき対象となる変位量及び箇所数に該当しており、第I種(33k136m～33k174m)、第II種(33k136m～33k174m)及び第III種(33k136m～33k174m)の複合変位が重複して存在していた。このうち33k164mに最も大きい複合変位(34.9mm)があった。
- ③ 測定の結果をまとめた帳票である「基準値超過箇所集計表」には、当該箇所について、第I種複合変位(33k136m)がある旨のみが記載されていた。記載された情報は以下である。これらは、2.3.2.5(1)に後述する表示ルールに従ったものになっている。

キロ程：33k136m(補正後)

種別：第I種

変位量：+25.7mm、-18.0mm、+23.0mm、-34.9mm、
+28.8mm

表4 複合変位の該当状況(平成26年4月3日検測)

キロ程	複合変位		変位の種別			
	左	右	第I種	第II種	第III種	第IV種
33k136m	19.9mm	25.7mm	★	★	★	
33k146m	-18.0mm	-12.3mm	★			
33k159m	18.3mm	23.0mm	★	★		
33k164m	-28.2mm	-34.9mm	★	★	★	
33k174m	28.7mm	28.8mm	★	★	★	

★：複合変位が表3に示す変位量の基準値を超えていることを表す。

↔：表3の基準に達した複合変位の該当範囲を表す。

(2) 平成26年4月の軌道変位の補修経緯(計画と実行)

平成26年4月3日の軌道変位検査の結果を受けて、当該管理室では、複合変位の補修が以下のように計画、実行された。

- ① 第I種複合変位を解消する観点で、33k136mと33k146mの

変位に対する補修が計画された。このとき 33k164m に最も大きい複合変位 (34.9mm) があることが、基準値超過箇所集計表及びマヤチャートによって認識されていたが、補修計画の対象とされなかった。

JR北海道によると、当時このように判断した理由は、次の3点とのことである。

a 33k164m の位置では、橋りょう上での水準変位の補修となり、整備のための間合いがとれないなかで、他の位置の変位を補修するよりも困難である。

b 認識していた第Ⅰ種複合変位については、全ての箇所の変位量を、表3に示された変位量の基準値 (18mm) 未満に補修することが望ましいが、大きい複合変位が残存していたとしても、該当する変位の箇所数を表3に示された箇所数の基準値 (4箇所) 未満に減らせば、整備すべき複合変位に該当しなくなるので、問題ないと判断した。

c 第Ⅰ種複合変位について、変位量の基準値からの超過の程度をみる際、超過の程度の判断基準が決められていないなかで、複合変位第Ⅳ種の変位量の基準値である35mmを目安とし、この値未満であるので、変位量の基準値の大幅な超過ではないと判断した。

なお、第Ⅱ種と第Ⅲ種の複合変位も重複して存在していたが、認識されていなかった。

② 補修予定日は平成26年4月22日とされた。基準に達した複合変位の種別がそれぞれ重複して存在していることは認識されていなかったこと、及び前記①cに記述したように変位の基準値の大幅な超過はないと認識されたことから、特に補修の時期を早めることは判断されなかった。

③ 平成26年4月22日に、33k136mと33k146mの変位について補修が行われ、通り変位を整備基準値 (静的値、17mm) 内に収めたことで、第Ⅰ種複合変位が解消されたと判断された。事故現場付近の軌道補修は、これ以降本事故の発生した平成26年6月22日まで行われていなかった。

④ 結果として、第Ⅱ種と第Ⅲ種の複合変位は残存した。

(3) 平成26年6月3日の軌道変位検査の結果

① 軌間変位、高低変位、通り変位及び5m平面性変位は、いずれも整備基準値内であった。

② レール上の痕跡の開始地点33k174mで、整備基準値内ではあるが、曲線半径を小さくする側の通り変位が整備基準値の25mmに対して20.3mmであった。

- ③ 5m平面性変位は、整備基準値の23mmに対して、33k164mで22.7mmであった。
- ④ 表5に示すように、複合変位は整備すべき対象となる変位量及び箇所数に該当しており、第Ⅰ種（33k136m～33k174m）、第Ⅱ種（33k159m～33k174m）、第Ⅲ種（33k164m～33k174m）及び第Ⅳ種（33k164m）の複合変位が重複して存在していた。このうち4月に補修されなかった33k164mの複合変位が最も大きく、37.3mmであった。
- ⑤ 測定の結果をまとめた帳票である「基準値超過箇所集計表」には、当該箇所について、第Ⅰ種複合変位（33k136m）及び第Ⅳ種複合変位（33k159m）がある旨のみが記載されていた。記載された情報は以下である。これらは、2.3.2.5(1)に後述する表示ルールに従ったものになっている。

キロ程：33k159m（補正後）
種別：第Ⅳ種
変位量：+23.6mm、-37.3mm

キロ程：33k136m（補正後）
種別：第Ⅰ種
変位量：+18.2mm、+23.6mm、-37.3mm、+28.7mm

表5 複合変位の該当状況（平成26年6月3日検測）

キロ程	複合変位		変位の種別			
	左	右	第Ⅰ種	第Ⅱ種	第Ⅲ種	第Ⅳ種
33k136m	18.2mm	15.2mm	★			
33k146m						
33k159m	18.5mm	23.6mm	★	★		
33k164m	-28.7mm	-37.3mm	★	★	★	★
33k174m	28.7mm	28.5mm	★	★	★	

★：複合変位が表3に示す変位量の基準値を超えていることを表す。

↔：表3の基準に達した複合変位の該当範囲を表す。

(4) 平成26年6月の軌道変位の補修経緯（計画）

- ① 第Ⅰ種複合変位を解消する観点で、33k136mの変位の補修が計画され、第Ⅳ種複合変位を解消する観点で、33k164mの変位の補修が計画された。
- ② 補修予定日は、検査から24日後の平成26年6月27日とされた。基準に達した複合変位の種別が第Ⅰ種及び第Ⅳ種において重複して存在していたことは認識されており、補修の時期についてはなるべく早く行うよう計画された。なお、第Ⅱ種と第Ⅲ種の複合変位も重複して存在していたが、認識されていなかった。
- ③ 平成26年6月22日に本事故が発生したことから、事故前に補修されることはなかった。

(付図7 本事故前の軌道変位の状況（平成26年4月）、付図8 本事故前の軌道変位の状況（平成26年6月）、付図9 複合変位の補修経緯 参照）

2.3.2.5 複合変位の補修にかかわる情報

(1) 検測結果の伝達内容

JR北海道によると、検測結果を整理した軌道変位の基準値超過箇所に関する情報は、高速軌道検測車で作成された基準値超過箇所集計表によって、保線所及び工務所（以下「保線所等」という。）を經由して、保線管理室及び管理室（以下「保線管理室等」という。）に伝達される。ただし、複合変位に関しては基準に達した箇所の情報を全て網羅した表示とならず、以下の表示ルールに従うものになる。

- ① 複合変位の第Ⅰ種から第Ⅲ種までが重複していた場合は、対象延長の最も長い種別についてのみ、種別名と検出した全ての変位量が表示される。
- ② 第Ⅰ種から第Ⅲ種の複合変位の地点情報として、該当区間の最後に検出した変位のキロ程のみが表示される。
- ③ 第Ⅳ種の複合変位については、他の種別が重複していても、その種別名と変位量とキロ程が表示される。
- ④ ただし、第Ⅳ種の複合変位を検出した位置から30m未満の範囲に18mm以上の複合変位のピークがあった場合、それは隣接したピークとして検出され、その変位量が表示に追加される。キロ程は隣接したピークのもののみが表示される。

(2) 複合変位の割り出しの必要性

JR北海道によると、前記(1)の制約を理解した上で、各保線管理室等において、基準値超過箇所集計表の情報と合わせてマヤチャートを用い、複合

変位の該当区間及び重複の状況を割り出した上で補修計画を策定する必要があったとのことである。また、各保線所等においては、管轄の保線管理室等と同様に複合変位の該当状況を割り出した上で、補修計画を確認する必要があったとのことである。

(3) 複合変位に関する認識

J R 北海道によると、事故当時の J R 北海道本社、当該工務所及び当該管理室の関係者は、第 I 種から第 III 種が重複している場合に対象延長の最も長い種別のみが基準値超過箇所集計表に表示されることは知らず、基準値超過箇所集計表に記述された種別が全てであると認識し、複合変位の該当区間及び重複した複合変位を基準値超過箇所集計表の情報と合わせて、マヤチャートにより割り出す必要があることの認識がなかったとのことである。

また、J R 北海道によると、事故当時の J R 北海道本社では、保線所等及び保線管理室等（以下「現業機関」という。）においては、本事故当時の関係規程類に記載済みの事項をもとに、適切な複合変位の管理ができるものと認識していたとのことである。

(4) 複合変位の補修に対するチェック体制

J R 北海道によると、軌道変位の管理について、検査結果に基づき適切な補修を行う保守管理体制（多重チェック）のルールを、平成 26 年 4 月施行の関係マニュアルで制度化していた。複合変位についても、同時に、他の軌道変位と同様な多重チェックの保守管理体制に制度上組み入れられていた。

この多重チェックについては、本事故前の平成 26 年 4 月及び 6 月も実施されていたが、前述の(3)に記述したように、当該工務所及び当該管理室の関係者は、重複した異なる種別の複合変位の存在を割り出すことが必要であるとの認識は、共に持っていなかったとのことである。

(5) 複合変位の管理に関する教育

J R 北海道によると、J R 北海道本社は、本事故前にはいずれの現業機関に対しても、重複した複合変位の割り出しの必要性と具体的な方法を、マニュアル等により周知していなかったとのことである。

2.3.2.6 レールの摩耗状況

本事故後に事故現場付近のレールの摩耗状況を J R 北海道が調査した結果によると、右レール（外軌）の摩耗量は 33 k 172 m で最も大きくゲージコーナ一部で 10.6 mm、左レール（内軌）の摩耗量は 33 k 170 m で最も大きく頭頂部で 4.8 mm であった。これらの摩耗量は、線路実施基準に定められたレール交換基準（50 kgN レール：16 mm）未満である。

なお、事故現場付近のまくらぎ、道床及びレール締結装置等の軌道材料については、異常は見られなかった。

(付図10 レール摩耗形状 参照)

2.3.2.7 幸連川橋りょうに関する情報

橋りょうの定期検査は、JR北海道が北海道運輸局長に届け出ている「土木施設整備心得（実施基準）」において、2年を超えない期間ごとに行うこととされており、直近の幸連川橋りょうの定期検査は目視により平成25年5月1日に行われ、それらの検査の記録に異常はなかった。

2.3.3 車両に関する情報

2.3.3.1 車両の概要

本件列車は、電気機関車（EH500形式）が貨車（コキ104形式、コキ106形式及びコキ107形式）20両をけん引して、21両編成で運行していた。図1にその編成状態を示す。

脱線した貨車は20両目のコキ107-87であり、コキ107形式の主要諸元は次のとおりである。

空車重量	18.6 t ^{*8}
最大積載量	40.7 t
車両長	20.4 m
台車中心間距離	14.2 m
連結器高さ（空車時）	870 mm
台車	インダイレクトマウント台車（コイルばね）
軸箱支持方式	軸ゴム＋軸箱支持ゴム
軸ゴムのばね定数	4.025 kN/mm/軸箱
軸距	2.1 m
まくらばねの構造	コイルばね
まくらばねのばね定数	2.985 kN/mm/台車片側
まくらばねダンパの形式	OD54
左右動ダンパの形式	OD63
車輪踏面形状	修正円弧踏面
車輪のフランジ角度 ^{*9}	65°

*8 [単位換算] 1 t = 1000kg（重量）、1kg（重量）：1 kgf、1 kgf：9.8 N

*9 「車輪のフランジ角度」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。

客車に比べて貨車は、コンテナを積載していない状態（以下「空車状態」という。）から最大積載状態までの積載量の変動の幅が車体重量に比べて大きいことから、まくらばねダンパは積載重量すなわち「まくらばねのたわみ量によって決まるまくらばねダンパの長さ（まくらばり側ダンパ受けと台車側ダンパ受けの距離）」（以下「ダンパ長」という。）に応じて減衰特性が自動的に切り替わる構造になっている。

空車状態で静止したときのダンパ長は430mmであるが、貨車に積荷等が積載されダンパ長が415mmより縮むと減衰力が大きくなる特性（以下「積車特性」という。）に切り替わり（減衰特性が切り替わる415mmのダンパ長を、以下「特性切替長」という。）、415mmより伸びると減衰力が小さくなる特性（以下「空車特性」という。）に切り替わる構造である。

このため、まくらばねダンパの減衰特性は、静止時における減衰特性で固定されるものではなく、走行中の車体の振動に伴ってまくらばねダンパも伸縮し、「積車特性」と「空車特性」が切り替わる構造となっている。

次に、コキ106形式をベースにコキ107形式が設計されたときには、懸架装置としては、上述のうち主に軸ゴムのばね定数が更に小さくされた点がコキ106形式から異なり、まくらばねとまくらばねダンパの諸元は変わっていない。

貨車の走行安全性に関係する、軌道変位によって励起される車体のロール振動による輪重変動については、コキ100形式をはじめコキ107形式についても設計時の資料が不明であった。コキ104形式とコキ107形式の諸元から、まくらばねダンパが特性切替長415mmになる積載量を計算したところ、コキ104形式では14.6tであるが、コキ107形式では18.3tであった。

2.3.3.3 本件貨車の状況

(1) 定期検査の状況

本件貨車の本事故前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。

新製	平成20年11月17日
全般検査	平成26年2月13日
交番検査	平成26年4月28日
仕業検査	平成26年6月21日

(2) 車輪、踏面形状等の状況

本事故前直近の交番検査における本件貨車の輪軸各部の測定結果によれば、車輪直径、フランジ高さ、フランジ外側面距離^{*11}及び車輪内面距離のいずれも、

^{*11} 「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。

「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、‘JR貨物が北海道運輸局長に届け出ている貨車整備実施基準’（以下「貨車整備実施基準」という。）及びJR貨物の社内規程である貨車整備実施基準細則に定められた限度値（車輪直径732mm以上、フランジ高さ25.0～34.5mm、フランジ外側面距離520～527mm、車輪内面距離989～993mm）内であった。

また、本事故後に測定された本件貨車の輪軸各部の寸法は、いずれも上述した限度値内であった。

さらに、本事故後に測定された各車輪の車輪踏面の描写記録は、打痕等により変形していた後台車の第1軸及び第2軸の左車輪のフランジ先端部以外は、いずれもJR貨物の車輪図面上の形状とほぼ同じであった。

(3) 軸ゴム及び軸箱支持ゴムの状況

本事故後、JR貨物と部品メーカーにより、軸ゴムと軸箱支持ゴムについて調査が行われた。後台車の部品はほとんどのものに金属部の変形やゴムの剥離が確認されたが、加硫異常や接着異常といった製造上の異常はみられず、事故時に過大な荷重を受けたことによる破損と推定されるとのことであった。事故直前の軸ゴム、軸箱支持ゴムには異常がなかったものと考えられるとのことである。

(4) まくらばねダンパの状況

本事故後、まくらばねダンパは破損した状態であり、減衰特性を測定することができなかった。したがって、事故直前のまくらばねダンパの状態については明らかにできなかった。

(付図11 20両目（本件貨車）の損傷状況 参照)

2.3.3.4 コンテナ内の積荷の積載状況

本件貨車は12フィートコンテナ（19D形式）を5個積載しており、本事故後に測定した各コンテナ（前から順にコンテナ1～コンテナ5とした。）の重量及び積荷は、表6及び付図12のとおりであった。

JR貨物によると、積付け時には新聞巻取紙は、1コンテナ当たり3個が、付図13に示すコンテナの床面の基本位置（積付け位置）に立てて配置されていたとのことであるが、コンテナ内に固定されていなかった。

5個のコンテナの積荷を含めた重量合計は26.61tであり、本件貨車の最大積載量である40.7t以下であった。

このときのダンパ長は、コキ107形式の諸元を用い、新聞巻取紙が付図13に示すコンテナの床面の基本位置（積付け位置）に配置された場合を計算すると、

左（内軌）側が408mm、右（外軌）側が410mmとなる。また、全ての新聞巻取紙が同基本位置から0.1m左に配置された場合は、左（内軌）側が406mm、右（外軌）側が412mmとなる。さらに、全ての新聞巻取紙が同基本位置から0.2m左に配置された場合は、左（内軌）側が404mm、右（外軌）側が413mmとなる。

本事故後にコンテナ内の積荷の状況を確認したところ、付図13に示すように、コンテナ1、2、4及び5に積まれた新聞巻取紙は基本位置から移動していた。また、付図14に示すように、コンテナ5の左側面には内部からの積荷の圧力によると見られる凸面状の変形があった。

（付図12 本件貨車の積荷の状況、付図13 新聞巻取紙の位置、付図14 No.5コンテナの変形状況 参照）

表6 コンテナ重量及び積荷

	コンテナ1	コンテナ2	コンテナ3	コンテナ4	コンテナ5	合計
重量 (積車)	5.78 t	5.85 t	3.41 t	5.79 t	5.78 t	26.61t
積荷	新聞巻取紙	新聞巻取紙	パレット	新聞巻取紙	新聞巻取紙	

2.3.3.5 静止輪重及び静止輪重比の状況

本件貨車の新製時（平成20年11月）に測定された静止輪重及び右車輪の静止輪重比^{*12}は、表7のとおりであった。

表7 新製時の静止輪重及び右車輪の静止輪重比

	前台車				後台車			
	第1軸		第2軸		第1軸		第2軸	
	静止輪重(kN)	静止輪重比	静止輪重(kN)	静止輪重比	静止輪重(kN)	静止輪重比	静止輪重(kN)	静止輪重比
右車輪	23.62	1.02	22.93	1.00	22.44	0.99	21.95	0.98
左車輪	22.64		23.03		22.74		22.93	

また、本事故後に、損傷の激しい本件貨車の後台車を健全なものに交換して測定した静止輪重及び右車輪に対する静止輪重比は、表8のとおりであった。

^{*12} 「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。

表8 本事故後の静止輪重及び右車輪の静止輪重比

		前台車				後台車			
		第1軸		第2軸		第1軸		第2軸	
		静止輪重(kN)	静止輪重比	静止輪重(kN)	静止輪重比	静止輪重(kN)	静止輪重比	静止輪重(kN)	静止輪重比
空車状態	右車輪	23.35	1.03	23.25	1.02	20.03	0.92	20.77	0.93
	左車輪	21.95		22.5		23.75		23.73	
積車状態①	右車輪	48.52	0.89	48.95	0.89	46.22	0.83	48.47	0.88
	左車輪	60.43		61.18		64.6		61.97	
積車状態②	右車輪	53.22	0.98	53.85	0.98	48.88	0.87	51.52	0.92
	左車輪	55.07		55.72		62.93		60.5	

積車状態①：積荷は事故直後のままの位置としたもの

積車状態②：積荷のうち新聞巻取紙の位置を積付け位置に修正したもの

空車状態での右車輪の静止輪重比は、前台車ではほぼ同等であるが、後台車では新製時（0.98～0.99）に比べて本事故後（0.92～0.93）は5～7%小さい状態にある。

一方、本事故時に本件貨車に積まれていたコンテナを、積荷が付図13に示す事故直後の位置のまま積載した状態（以下「積車状態①」という。）での右車輪の静止輪重比は、0.83～0.89であり、右車輪の輪重が11～17%小さい状態であった。

さらに、積荷のうち新聞巻取紙の位置を付図13に示す基本位置（積付け位置）に修正した状態（以下「積車状態②」という。）での右車輪の静止輪重比は、0.87～0.98であり、右車輪の輪重が2～13%小さい状態であった。

以上の実測結果とは別に、付図13に示す積荷の位置から計算により右車輪の静止輪重比（ただし、1両単位）を求めると、積車状態①で0.92、積車状態②で0.95であった。

なお、貨車整備実施基準において、コキ107形式の貨車は静止輪重の管理を行う対象になっていない。

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

- (1) 本件曲線の33k174m付近から33k178m付近までの約4mの間に、右レール（外軌）上を軌間内側から外側へと斜めに横切る車輪によるものと見られる痕跡があった。
- (2) 33k179m付近の左レール（内軌）の内側のまくらぎ上に車輪によるものと見られる痕跡があった。また、同付近の右レール（外軌）の外側のレール締結装置が損傷していた。
また、同付近から札苅駅構内34k154m付近までのまくらぎ及びレール締結装置には、車輪によるものと見られる損傷が続いていた。
- (3) 札苅駅構内11号イ分岐器（33k899m）のクロッシング部付近に、車輪によるものと見られる損傷があった。
- (4) 札苅駅構内に敷設されている構内通路の敷板には、車輪によるものと見られる損傷があった。
- (5) 幸連4号道路踏切道及び幸連5号道路踏切道には、車輪によるものと見られる損傷があり、踏切の一部の部品は外れて、その先の線路内に散乱したもののや、21両目貨車の前部に引っ掛かっていた金属部品があった。
- (6) JR北海道によると、本事故によりまくらぎ（木・PC）約1,320本、レール締結装置約2,200個が損傷したとのことである。

（付図4 事故現場付近略図、付図5 札苅駅構内略図と脱線の状況、付図6 鉄道施設等の損傷状況 参照）

2.4.2 車両の損傷及び痕跡等の状況

本件貨車（20両目）及び21両目の主な損傷等の状況は次のとおりであった。

(1) 本件貨車の主な損傷状況

後台車のまくらばねダンパが破損、制輪子及び制輪子キー^{*13}が一部落失、軸箱支持ゴムが破損又は落失していた。

また、後台車上の車体が台車との干渉で損傷、21両目との間でジャンパー栓が破損、自動連結器に擦傷痕があった。

(2) 21両目の主な損傷状況

20両目との間で、ジャンパー栓受けが屈曲、自動連結器の復心棒及びばねが屈曲、自動連結器に擦傷痕とナックルピンの脱出が認められた。

（付図11 20両目（本件貨車）の損傷状況 参照）

^{*13} 「制輪子キー」とは、ブレーキの摩擦材である制輪子を押し付け装置に固定するための金具をいう。

2.4.3 落失した車両部品の発見位置

33k261m及び33k298m付近に制輪子キーがそれぞれ1本落ちていた。
また、札幌駅構内の11号イ分岐器付近の33k955mから33k980mの間に、
制輪子3個及び軸箱支持ゴム2個が落ちていた。

(付図3 泉沢駅～札幌駅略図 参照)

2.5 乗務員等に関する情報

運転士 男性 31歳

甲種内燃車運転免許

平成21年8月12日

甲種電気車運転免許

平成25年10月31日

2.6 コンテナへの積荷の積載等に関する情報

JR貨物によれば、積荷の集荷からコンテナへの積込み及びコンテナの貨車への積載については、概略次のとおりである。

- (1) 貨物利用運送事業者が、トラックにより空のコンテナを貨物駅から集貨先まで運び、荷主から集貨する。
- (2) 貨物利用運送事業者又は荷主が、手作業又はフォークリフト等により積荷(貨物)をコンテナに積み込み、その後、貨物利用運送事業者は、以下に示すJR貨物の貨物運送約款の規定どおりに積荷が積載されているかを確認した上で、コンテナの扉を施封する。

貨物運送約款 (抜粋)

(コンテナへの積込み及びコンテナからの取卸し)

第34条 貨物のコンテナへの積込み及びコンテナからの取卸しの作業は、
駅以外の場所で行うものとします。ただし、当社が認めた場合は、駅で行う
ことができます。

2 貨物は、床面上にその重量が均衡するよう、かつ、容易に移動しないよう
積み込むものとします。

3 (略)

(コンテナの施封及び開封)

第36条 コンテナの施封は、施封のできない特別の事情のある場合を除いて、
荷送人が当社にコンテナを引渡すまでに行うものとします。

2 コンテナの開封は、荷受人が行うものとします。

3 コンテナの施封に使用する封印環は、当社指定のものとします。

- (3) J R貨物が、貨物駅に運び込まれたコンテナをフォークリフトにより貨車に積載する。

2.7 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」に基づき、J R貨物がJ R北海道へ届け出ている運転取扱実施基準によれば、本件曲線の制限速度は65 km/hである。

2.8 気象に関する情報

本事故現場の最寄りの木古内地域気候観測所の記録によれば、前日から降水は記録されておらず、4時04分の日の出のあと4～5時の1時間で0.7時間の日照となっていることから、本事故発生当時の事故現場付近では降雨はなかったと考えられる。

また、当日6月22日の3時09分から6月24日に掛けて濃霧注意報が発表されていたが、函館地方气象台では3時と6時に快晴で視程が15 kmと観測されていたことから、事故当時に現場付近で霧が発生していた可能性は低い。

2.9 走行試験と数値シミュレーションに関する情報

以下に述べる走行試験と数値シミュレーションにおいては、貨車の車軸の呼び方を、進行方向前寄りから順に第1軸～第4軸とする。

2.9.1 J R貨物及びJ R北海道による走行試験

J R貨物及びJ R北海道では、江差線における脱線事故の自主的な要因の調査の一環として、コンテナ貨車の走行安全性の確認を目的とした走行試験を、平成26年11月21日～23日に江差線木古内駅～五稜郭駅間で実施した。試験区間の軌道変位は、走行試験の直前の同月5日に高速軌道検測車で測定された。

供試された貨車は、コキ106形式、コキ107形式及びコキ104形式の計3両で、各貨車の輪重、横圧のほか車体の挙動を把握するための振動（変位、加速度）等が測定された。図2に走行試験に用いられた車両の編成状態を示す。なお、走行試験中はおおむね晴天で降雨はみられなかった。

このときの各貨車への積荷として、本事故の貨車の積荷を想定したもの（3.5 t／コンテナ）、及び平成24年9月11日発生の列車脱線事故^{*14}での積荷を想定したもの（1.1 t／コンテナ）が、デッドウエイト（廃車輪）で模擬された。

当委員会では、本走行試験で得られたデータ及び軌道変位データの一部の提供を

^{*14} 運輸安全委員会：鉄道事故調査報告書RA2015-9、日本貨物鉄道株式会社 江差線 釜谷駅～泉沢駅間 列車脱線事故、平成27年12月17日公表

受け、後述する貨車の走行に関する数値シミュレーションにおけるモデル化の妥当性を確認するために用いた。

本走行試験のデータを分析したところ、本件曲線と同程度の曲線半径（300～350 m）の円曲線中において、貨車の車体に持続する顕著なロール振動が発生すること、及びこのロール振動と輪重の変動が相関すること、という特徴的な挙動が認められた。これらのうち速度60 km/hで走行した曲線半径300 mの曲線区間のデータを、モデル化の妥当性を検証するための波形の比較で用いた。

（付図15 走行試験の概要、付図19 数値シミュレーションによる走行試験の再現波形と測定波形との照合 参照）

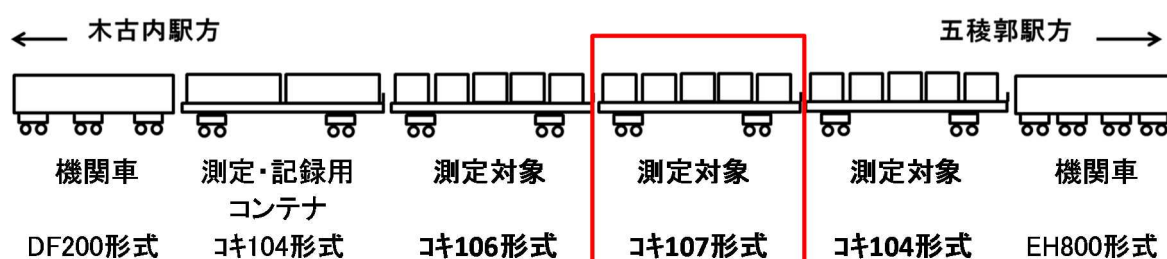


図2 走行試験時の編成

2.9.2 貨車の走行に関する数値シミュレーション

事故要因の推定と再発防止策について検討するための基礎データを収集することを目的に、コキ107形式貨車が曲線区間を走行するときの挙動を、力学モデルを用いた時刻歴シミュレーションにより解析し、懸架装置、積荷、軌道及び走行速度の各条件が事故時の貨車の挙動に与える影響について考察した。なお、車両のモデル化と時刻歴シミュレーションは、汎用マルチボディ・ダイナミクス解析ソフトウェアSIMPACK Rail (Version 9.7) ^{*15}を用いて行った。

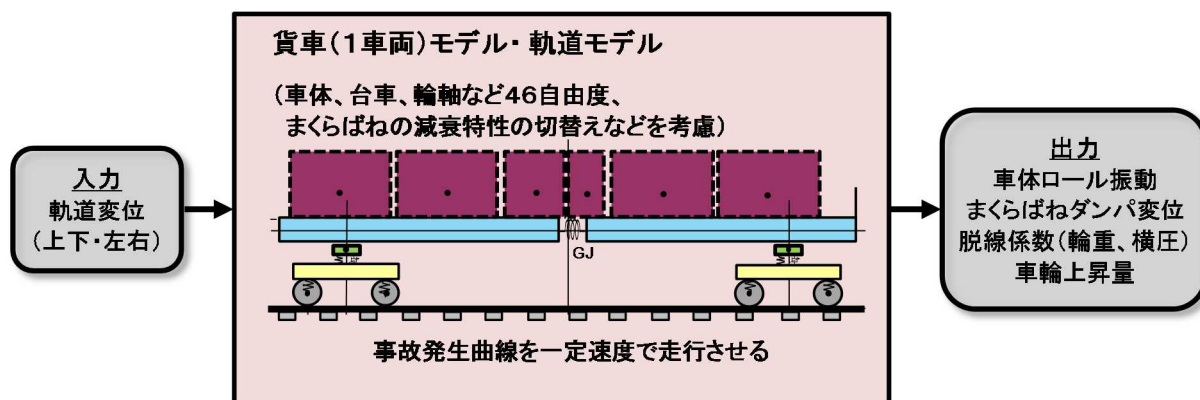


図3 数値シミュレーションの概要

*15 シムパックジャパン株式会社 www.SIMPACK.jp

検討の流れとしては、まず、2.9.1に記述した走行試験のデータを用いて数値シミュレーションモデルの妥当性を確認し、このモデルを用いて本事故の主要な挙動が再現できることを確認した上で、積荷や懸架装置等の条件を変化させて本事故の要因を検討することとした。

(付図16 数値シミュレーションの概要 参照)

2.9.2.1 数値シミュレーションモデル

(1) 車両モデル

平成24年9月11日発生の列車脱線事故の鉄道事故調査報告書に示されたものと同様の構造の数値シミュレーションモデルで、コキ107形式の設計諸元を用いた。

すなわち、貨車の特徴である、車体と台車つなぎばりのねじり剛性が小さいことを模擬したもので、後述するように車体のロール振動の再現性を重視するために、まくらばねダンパの特性を詳細にモデル化している。

2.3.3.4に記述したように、本事故時の積載物としては、新聞巻取紙を1コンテナ当たり3個立てて配置していることが特徴であるが、新聞巻取紙は床上で動かないものとしてモデル化した。

なお、数値シミュレーションでは、コンテナと積荷は車体の床面に固定されており、以下ではこれら全体を「車体」ということがある。

(付図17 数値シミュレーションモデル 参照)

(2) 軌道モデル

付図18に、本件曲線を含む軌道の曲線諸元を示す。また、本数値シミュレーションへの入力として用いる軌道変位成分は、高速軌道検測車で測定された軌道変位を波長6～50mの範囲で復元した通り変位の復元波形^{*16}と高低変位の復元波形とした。

なお、2.9.2.2に後述する数値シミュレーションモデルの妥当性の確認には、走行試験直前（平成26年11月5日）に測定された軌道変位から求めた復元波形を用いる。さらにその後述する本事故の再現及び本事故の要因の検討には、付図20に示す、事故直前（平成26年6月3日）に測定した軌道変位から求めた復元波形を用いる。

(付図18 事故現場の曲線諸元、付図20 数値シミュレーションに入力した軌道状態 参照)

^{*16} 「復元波形」とは、測量などで得られる実形状とは異なる形となる10m弦正矢などで検測された軌道変位波形を、数値演算（検測特性の逆数を掛けるフィルター処理）により実形状に近い波形に戻したものをいう。

2.9.2.2 数値シミュレーションモデルの妥当性の確認

数値シミュレーションモデルの妥当性は、2.9.1に記述した走行試験における貨車の挙動の数値シミュレーションによる再現性で確認することとした。

ここで入力として用いる軌道変位波形は、2.9.2.1に前述の本事故直前のものではなく、走行試験直前（平成26年11月5日）に検測された軌道変位を波長6～50mの範囲で復元したものである。また、積荷のモデルも2.9.2.1に前述の本事故想定のものとは異なり、走行試験で用いられたデッドウエイト（3.5t/コンテナ、重心高さ：1.017m（車体床面基準））を模擬したものとした。

(1) 固有振動数の比較

3.3に後述するように、特に本事故で注目すべき挙動は車体のロール振動であることから、デッドウエイトを積んだ車体の左右動を伴う^{したしん}下心ロール^{*17}モードの固有振動数が走行試験の実測データの解析結果と数値シミュレーション結果で整合するかを検証したところ、同実測データの解析結果で約1.3Hzで、数値シミュレーションモデルでも約1.3Hzであり、ほぼ一致していることを確認した。

(2) 走行時の波形との比較

特に本事故で注目すべき車体のロール振動に伴う輪重変動の状態を精度よく数値シミュレーションできているか確認する目的で、走行試験を再現する数値シミュレーションを行い、走行試験で実測した波形と比較した結果を付図19に示す。半径300mの曲線を含む区間を比較区間としており、走行速度は60km/hである。特に円曲線内での車体のロール振動（付図19のC部）と、それに起因する大きい輪重変動（付図19のA部）は、数値シミュレーション結果の方が実測結果よりも振幅が若干小さいものの波形がよく一致している。

以上から、事故の要因を明らかにする目的からは、本数値シミュレーションモデルは妥当であると考えられる。

また、付図19のB部のように、円曲線内での内軌側横圧輪重比の実測値は0.5程度であった。比較的半径の小さい円曲線内を車両が走行する場合、台車先頭軸の内軌側横圧輪重比は、車輪・レールの間の摩擦係数に近い値をとる^{*18}こと、及び本件曲線の半径は350mであり本比較区間内の曲線半径300mと近いことから、付図19の走行試験の再現シミュレーションにおける車輪とレールの間の摩擦係数は0.5と仮定した。内軌側横圧輪重比の数値シミュレーション結果は実測結果と

*17 「下心ロール」とは、車体のローリングのうち、その回転中心が車体の重心より下にあるものをいう。

*18 参考文献：日本機械学会編「鉄道車両のダイナミクス ー最新の台車テクノロジーー」P.23 電気車研究会発行、平成8年

よく一致しており、車輪とレール間の摩擦係数0.5の想定はおおむね妥当な値といえる。このことにより、以降の事故再現シミュレーションにおける車輪とレール間の摩擦係数は0.5とする。なお、同区間で別の日に積載量を変えて走行した場合に内軌側の横圧輪重比を約0.6と観測しており、本事故時の同摩擦係数は0.5よりも大きかった可能性も推察される。

(付図19 数値シミュレーションによる走行試験の再現波形と測定波形との照合参照)

2.9.2.3 数値シミュレーションによる本事故の再現

付図21に、本脱線事故の再現を試みた数値シミュレーションの結果を時刻歴波形で示す。また、脱線地点付近で距離軸を拡大した波形を示す。新聞巻取紙は基本位置にあるものとした。これより、

- (1) 事故現場付近では車体のロール振動が大きいこと（ダンパ長から読み取れる）、
- (2) これに伴い大きな輪重変動が繰り返されていること、
- (3) 横圧の急変に伴い、脱線係数が急増するとともに、車輪の上昇が始まっていること、
- (4) レール上の痕跡の開始地点33k174mの手前で第1軸と第3軸の外軌側（右）車輪がそれぞれ約5mm、約1mm僅かに上昇すること、
- (5) 脱線係数が第1軸と第3軸の外軌側（右）車輪でそれぞれ1.15、1.02まで上昇すること

が分かった。

本数値シミュレーションによる再現では、フランジがレールゲージコーナーに接触しながら車輪が上昇するものの、脱線にまでは至らなかったが、通常の走行状態において車輪の上昇はほとんど発生しないこと、さらに脱線係数が1.0を超えていることから、脱線に結び付く可能性を示す状態といえる。

これらの状況から、本数値シミュレーションは本脱線事故の挙動の傾向を定性的に再現しているものと考えられる。

(付図21 事故再現シミュレーションの結果(新聞巻取紙の積載位置：基本位置)参照)

2.9.2.4 本事故の要因の検討

(1) 偏積の影響

2.9.2.3では新聞巻取紙が基本位置の場合の結果を示したが、ここではレール上の痕跡の始点の前に1.0を超える脱線係数と約1～5mmの車輪上昇がみられた。実際の事故時には更に悪条件が重なっている可能性が考え

られるため、ここでは積荷の偏積の影響をみる。付図 2 2 に全ての新聞巻取紙が基本位置から内軌側へ 0.1 m 偏積した場合、付図 2 3 に同様に全ての新聞巻取紙が基本位置から内軌側へ 0.2 m 偏積した場合の計算結果を示す。

なお、新聞巻取紙が基本位置にある場合の第 3 軸の外軌側の静止輪重比は、数値シミュレーションにおける直線走行時から算出して 0.95 となる。また、新聞巻取紙を 0.1 m 内軌側へずらした場合は 0.88、0.2 m 内軌側へずらした場合は 0.81 にそれぞれ変化する。

付図 2 1 ～付図 2 3 によると、新聞巻取紙の基本位置からの偏積を 0 m、0.1 m、0.2 m としたとき、レール上の痕跡の開始地点付近の車輪上昇量の最大値は、第 1 軸側でそれぞれ約 5 mm、約 7 mm、約 10 mm となり、第 3 軸側でそれぞれ約 1 mm、約 4 mm、約 6 mm となった。また、脱線係数の最大値は、第 1 軸側でそれぞれ 1.15、1.26、1.37 となり、第 3 軸側でそれぞれ 1.02、1.12、1.28 となった。すなわち、内軌側への偏積が大きく（外軌側の静止輪重比が小さく）なるほど、脱線係数及び車輪上昇量が増加する傾向があることが分かった。

さらに、偏積の増加に伴い、第 3 軸の外軌側（右）車輪の上昇の持続時間が第 1 軸のそれより長くなっていく傾向にあることが分かった。

（付図 2 1 事故再現シミュレーションの結果（新聞巻取紙の積載位置：基本位置）、付図 2 2 事故再現シミュレーションの結果（新聞巻取紙の積載位置：基本位置から 0.1 m 偏積）、付図 2 3 事故再現シミュレーションの結果（新聞巻取紙の積載位置：基本位置から 0.2 m 偏積、車輪・レール間摩擦係数：0.5）参照）

(2) 摩擦係数の影響

実際の事故時の車輪とレール間の摩擦係数は、走行試験時と異なる可能性がある。そこで、新聞巻取紙の基本位置からの偏積が 0.2 m のものに、さらなる悪条件を追加するものとして、車輪とレール間の摩擦係数を 0.7 としてその影響を推定した。

この場合の数値シミュレーション結果を付図 2 4 に示す。摩擦係数を 0.5 から 0.7 に大きくした場合、脱線係数は若干低下したものの 1.1 を超えており、車輪上昇量はより大きく第 1 軸側で約 12 mm、第 3 軸側で約 9 mm となった。さらに、第 3 軸の外軌側（右）車輪の脱線係数が大きくなる時間と、同車輪の上昇の持続時間が第 1 軸のそれらより長くなっていく傾向にあることが分かった。

（付図 2 3 事故再現シミュレーションの結果（新聞巻取紙の積載位置：基本位置から 0.2 m 偏積、車輪・レール間摩擦係数：0.5）、付図 2 4 事

故再現シミュレーションの結果（新聞巻取紙の積載位置：基本位置から0.2m偏積、車輪・レール間摩擦係数：0.7） 参照)

(3) まくらばねダンパの減衰特性の影響

付図21において、ほとんどの時間帯でダンパ長が特性切替長415mmを下回っていることが示すように、まくらばねダンパの減衰特性が“積車特性”で走行している時間が大部分を占めている。しかし、事故現場付近で車体の動揺が大きくなるときに、短時間だけ“空車特性”になる時間帯がある。そこで、“空車特性”になることによって車体の動揺が大きくなったことが事故の要因となったのかを調べる目的で、まくらばねダンパの減衰特性が“空車特性”に切り替わらず、“積車特性”のみとなるようにして、数値シミュレーションを実行した。

付図25と付図26に、それぞれ新聞巻取紙が基本位置の場合と0.2m偏積した場合の結果を示す。外軌の脱線係数及び車輪上昇量とも、付図21と付図22に示す減衰特性の切替えがある場合と大差なく、まくらばねダンパの減衰特性が“空車特性”に切り替わったことの影響は限定的といえる。

(付図21 事故再現シミュレーションの結果(新聞巻取紙の積載位置：基本位置)、付図25 事故再現シミュレーションの結果(まくらばねダンパの減衰特性：“積車特性”に固定、新聞巻取紙の積載位置：基本位置)、付図26 事故再現シミュレーションの結果(まくらばねダンパの減衰特性：“積車特性”に固定、新聞巻取紙の積載位置：基本位置から0.2m偏積) 参照)

(4) 軌道変位の影響

2.3.2.4に記述したように、本事故時には事故発生箇所付近に整備の対象となる複合変位及び比較的大きい通り変位が存在したことが分かっている。そこで、貨車の挙動に対する複合変位及び通り変位の大きさの影響をみるために、供試区間が通り変位と水準変位の整備目標値^{*19}内に整備されていたとした場合を想定することとした。

通り変位と水準変位の整備目標値（動的値）はそれぞれ1.4mmと1.2mmであり、供試区間の通り変位及び水準変位の最大値はそれぞれ21.7mmと11.9mmである（軌道変位の値は高速軌道検測車で得られたデータを地上で再計算して求めたもので、マヤチャートの値とは若干異なる。）ことから、通り変位の復元波形の振幅を（1.4／21.7）倍、高低変位の復元波形の

^{*19} 「整備目標値」とは、一定レベルの乗り心地を維持しかつ緊急整正作業量を抑制するための軌道整備の目標値をいう。

振幅を（1.2 / 1.1.9）倍してシミュレーションを行った。波長は変化させていない。

実際の補修では対象区間の変位全体を前記の一定倍率で補修することはないが、ここでは単純に振幅縮小の効果をみるものとした。なお、通り変位と水準変位を整備目標値以下とすることで複合変位の解消を保証するものではない（通り変位と水準変位の間位相によっては、基準に達する場合がある）。

このときの数値シミュレーションの結果を付図27に示す。脱線係数が第1軸側と第3軸側でそれぞれ1.02と0.69、車輪上昇量が1mm以下であり、付図21の軌道変位縮小前の再現計算の結果と比べて大幅に小さくなった。

（付図21 事故再現シミュレーションの結果（新聞巻取紙の積載位置：基本位置）、付図27 事故再現シミュレーションの結果（軌道変位 \leq 整備目標値、新聞巻取紙の積載位置：基本位置）参照）

2.10 その他必要な情報

2.10.1 平成24年4月26日発生の列車脱線事故について

平成24年4月26日に江差線で発生した列車脱線事故について、当委員会は、平成26年7月25日に鉄道事故調査報告書（RA2014-7）を公表しており、この列車脱線事故の原因は、以下としている。

本事故は、貨車にコンテナを積載した状態において、左右の車輪間で大きな静止輪重アンバランスが生じていたため、半径300mの曲線を走行中に、静止輪重アンバランスが生じていない車両と比較して、外軌側車輪の輪重が小さくなり、かつ、内軌側車輪の輪重が大きくなった影響によって外軌側車輪の横圧が増加したことにより、外軌側車輪の脱線係数が増大して外軌側車輪がレールに乗り上がり脱線したものと考えられる。

脱線した貨車に大きな静止輪重アンバランスが生じていたことについては、コンテナ内の積荷の偏積によるものと推定される。

なお、貨物列車が運用する区間において管理することとされている複合変位が、整備すべき対象には該当していなかったが、車輪のレール乗り上がり開始箇所の手前で比較的大きくなっていたことは、外軌側車輪の輪重減少を助長させた可能性があると考えられる。

また、今後必要とされる再発防止策は、以下としている。

本事故は、貨車に積載されるコンテナ内の積荷の左右偏積により、車両に大きな静止輪重アンバランスが生じたことが大きく影響したと考えられることから、コンテナ内の積荷に左右偏積が生じないようにする必要がある。

この点については、貨物輸送約款において、コンテナへの貨物の積載並びにコンテナの施封及び開封は、貨物利用運送事業者により行うこととされており、JR貨物はコンテナ内の積載状態を直接確認できないことから、JR貨物は貨物利用運送事業者に対して、コンテナへ積荷（貨物）を積載する際に、偏積の防止及び積荷の積載状態の確認など、貨物輸送約款の内容を周知徹底する必要がある。

また、JR貨物は、貨物利用運送事業者等と連携して、コンテナを貨車に積載する際に、必要に応じて、荷主の承諾を得た上でコンテナを開扉して積荷の積載状態を確認するなどの対策をすることが望ましい。

なお、コンテナ積載状態で輪重アンバランスを簡易に検知できるシステムの導入について、検討することが望まれる。

2.10.2 平成24年9月11日発生の列車脱線事故について

平成24年9月11日に江差線で発生した列車脱線事故について、当委員会は、平成27年12月17日に鉄道事故調査報告書（RA2015-9）を公表しており、この列車脱線事故の原因は、以下としている。

本事故は、列車が半径300mの右曲線を通過した際に、事故現場付近においてコキ106形式の貨車後台車第1軸の外軌側の輪重が減少し、外軌に乗り上がったことにより脱線したものと考えられる。

外軌側の輪重が減少したことについては、事故現場付近において貨車に発生したと考えられる大きなロール振動によるものと考えられる。

貨車に大きなロール振動が発生したことについては、運転状況、車両及び軌道の状況は、省令に基づいて定められたJR貨物及びJR北海道の基準等に則った状態であったが、

- (1) コキ106形式の懸架装置の仕様は、積荷が比較的軽量であった場合、コキ104形式と比較して減衰が小さくなり、車体のロール振動が収束しにくいものであったこと、
- (2) 積荷が比較的軽量であり、重心が高い状態であったこと、
- (3) 事故現場付近における複合変位は、整備対象に近い比較的大きな変位量であったこと、走行速度に対して車体のロール振動の共振が生じやすい波長成分を含んでいたことが、車体のロール振動の発生を助長させた可能性があること

から、これらの要因が重畳したことによるものと考えられる。

また、今後必要とされる再発防止策は、以下としている。

本事故は、貨車の懸架装置の仕様、積荷の状態、事故現場付近の軌道の状態が、それぞれ脱線に対する余裕度を低下させた状況となり、これらが重畳したこと

より発生した可能性があると考えられる。このため、脱線に対する余裕度を低下させないための対策について、関係者が連携して、下記の点を踏まえ総合的に検討する必要がある。

- (1) 貨車の懸架装置の仕様により、中間荷重状態においてまくらばねダンパが、空車状態に対応する減衰が小さい特性となり、走行中の貨車に大きなロール振動が発生したことが脱線の発生に大きく関与した可能性が考えられることから、JR貨物は、懸架装置が適正な減衰領域で使用されること、及び積荷の積載量にかかわらず適正な減衰が得られる懸架装置を設備することについて検討すること。
- (2) 本事故は、積荷の重心が高かったことも要因の一つである可能性が考えられることから、JR貨物は貨物利用運送事業者等と連携して、当面の間、必要に応じて使用される貨車の特性を加味した積載方法を検討すること。
- (3) 本事故は、事故現場付近の複合変位に、整備対象に近い比較的大きな変位量があったこと、及び走行速度に対して車体のロール振動の共振が発生しやすい波長成分を含んでいたことが要因の一つであったことから、貨車や列車の運行形態に対応する、より効果的な軌道変位の管理方法について検討すること。

なお、これらの検討に当たっては、鉄道事業者、車両メーカー、貨物利用運送事業者、荷主及び研究機関等の関係団体における連携と、国土交通省の適切な対応が必要と考えられる。

3 分析

3.1 脱線車両等に関する分析

3.1.1 脱線地点

2.4.1(1)及び(2)に記述したように、

- (1) 本件曲線の33k174m付近から33k178m付近までの約4mの間に、右レール（外軌）上を軌間内側から外側へと斜めに横切る車輪によるものと見られる痕跡があったこと、
- (2) 33k179m付近の左レール（内軌）の軌間内側のまくらぎ上に車輪によるものと見られる痕跡があり、同付近の右レール（外軌）の軌間外側のレール締結装置が損傷しており、さらに、同付近から札苅駅構内のまくらぎ及びレール締結装置には車輪によるものと見られる損傷が続いていたことから、本件貨車の右車輪が33k174m付近で右レール（外軌）に乗り上がり

始め、33k179m付近で右に脱線し、そのまま札幌駅構内まで走行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

2.3.1に記述したように、本件列車の機関車は34k564mに停止し、本件貨車の後台車は34k154mに停止しており、また、2.1.2に記述したように、運転状況記録装置の記録によれば、本件列車が停止した時刻は4時13分28秒2である。

本件貨車の後台車は、事故現場付近である33k174m付近から停止した34k154mまで、約980m走行している。

本件列車の運転状況記録装置に記録された走行距離から本件貨車が事故現場付近(33k174m付近)を通過した時刻を求めると、4時12分27秒となり、そのときの運転状況記録装置の記録では走行速度は63km/hであった。

したがって、本件列車は、速度63km/hで走行中の4時12分ごろに脱線したものと考えられる。

3.2 車両に関する分析

3.2.1 本件貨車の状況

2.3.3.2に記述したように、まくらばねダンパOD54の減衰特性はダンパ長の変化に伴って“積車特性”と“空車特性”に切り替わる。本件貨車では、2.3.3.4に記述したように、計算上のまくらばねダンパのダンパ長は、新聞巻取紙の基本位置からの偏積を0～0.2mとして計算したとき、左(内軌)側が408～404mm、右(外軌)側が410～413mmとなり、3.4に後述するように本事故発生時はほぼ均衡速度であったことから、特にダンパ長の振幅が大きいときを除いたほとんどの時間帯で“積車特性”の領域であり、まくらばねダンパの減衰特性は大きい状態であったと考えられる。

ただし、事故時に車体の動揺が特に大きくなったときに、一時的にダンパ長が特性切替長415mmを超える場合にだけ“空車特性”となり、減衰特性が小さい状態になった可能性があると考えられる。

3.2.2 本件貨車の検査等の状況

2.3.3.3に記述したように、

- (1) 本件貨車の検査記録に異常は見られなかったこと、
- (2) 本事故後の軸ゴム、軸箱支持ゴム、まくらばね及び車輪等の寸法測定等の結果、後台車の軸ゴム、軸箱支持ゴムは脱線後に損傷したと考えられ、事故発生前に異常はなかったと考えられること

から、本件貨車の状況について脱線に関与するような異常はなかったものと考えられる。

また、2.4.2に記述したように、本件貨車の後台車から制輪子、制輪子キー等の部品が落失しており、2.4.3に記述したように、いずれも乗り上がり開始地点と考えられる33k174m付近より木古内駅方で、

- (1) 33k261m及び33k298m付近に制輪子キーがそれぞれ1本落ちていたこと、
- (2) 33k955mから33k980mの間に、制輪子3個及び軸箱支持ゴム2個が落ちていたこと

から、これらの部品は、本件貨車が脱線した後に、まくらぎ及び道床の上を走行したことによる振動や衝撃によって落失したものと考えられる。

3.2.3 本件貨車の積荷の状況

2.3.3.4に記述したように、本件貨車のコンテナ1、2、4及び5に積まれた新聞巻取紙は、積付け時には付図13に示す基本位置、すなわち各コンテナ内の左側に偏って積まれていたと考えられるが、コンテナ内で固定されておらず、事故後には基本位置から移動していたことが認められた。

一方、3.1.2に記述したように、本件貨車は脱線した後約980m走行を続けていることから、まくらぎ、踏切及び分岐器を損傷しながら走行する際に受ける衝撃により、新聞巻取紙が移動した可能性があると考えられる。また、2.3.3.4に記述したように、コンテナ5の左側面には内部からの積荷の圧力によると見られる凸面状の変形があったことは、貨車が脱線したまま走行した際に受けた衝撃により、変形した左側面付近に積まれていた新聞巻取紙がコンテナ内部で移動し衝突したことによる可能性があると考えられる。

これらから、本事故直前に、本新聞巻取紙がコンテナ内のどの位置にあったかを特定するには至らなかった。

ただし、本事故の発生前の走行では、各新聞巻取紙がそれぞれの相対位置関係を大きく崩す程には移動しないと考えられることから、本事故直前において、新聞巻取紙はコンテナの中心より左側に偏って存在した可能性があると考えられる。

3.2.4 積車状態での輪重比の状況

2.3.3.5に記述したように、積車状態①及び積車状態②で、本件貨車の右車輪の静止輪重比が1より小さい状態であったことは、3.2.3に記述したように新聞巻取紙が各コンテナ内の左側に偏って積まれていたことから、積荷の偏積によるものと推定される。

また、3.2.3に記述したように、本事故直前においても新聞巻取紙はコンテナの中心より左側に偏って存在した可能性があると考えられることから、事故直前の本件貨車の輪重は右車輪の方が左車輪より小さくなっていた可能性があると考えられる。

3.3 事故現場付近の軌道変位と貨車の輪重横圧に関する分析

2.3.2.4に記述したように、軌間変位、高低変位、通り変位及び5m平面性変位はいずれも整備基準値内であることから、これらだけで脱線が誘発されたものではないと考えられる。

一方、同じく2.3.2.4に記述したように、貨物列車が運行する区間において管理することとされている複合変位については、事故現場付近で整備すべき対象となる変位量及び箇所数に該当しており、第Ⅰ種、第Ⅱ種、第Ⅲ種及び第Ⅳ種の複合変位が重複して存在していた。

これらの複合変位によって、2.9.2.3に記述したように車体に大きなロール振動が誘発され、脱線した本件貨車の第3軸の外軌側（右）車輪の輪重減少に関与した可能性があると考えられる。複合変位の中でも、外軌側（右）車輪が乗り上がり始めた33k174mの約10m手前である33k164mにあった37.3mmの第Ⅳ種の複合変位の影響が特に大きかった可能性があると考えられる。

さらに、乗り上がり開始地点33k174mにおいて、曲線半径を小さくする側の通り変位が整備基準値の25mmに対して20.3mmと比較的大きかったことから、これが脱線した本件貨車の外軌側（右）車輪の横圧を増加させた可能性があると考えられる。

3.4 走行速度に関する分析

2.3.2.2に記述したように、事故現場付近は半径350mの曲線区間であること、及び3.1.2に記述したように、本件貨車は速度63km/hで事故現場付近を走行していたと考えられることから、本件貨車は2.7に記述した半径350mの曲線の制限速度65km/h以下で事故現場を通過したものと考えられる。

また、2.3.2.2に記述したように、本件曲線の半径が350m、カントが90mmであることから、均衡速度*20は61.2km/hである。

このことから、本件列車は事故現場付近を均衡速度に近い速度で走行していたため、遠心力に伴う左右の車輪間での輪重の増減は少ないと推定される。

*20 「均衡速度」とは、曲線上を車両が走行する際、車両に作用する超過遠心加速度（軌道面に平行な平面内の左右方向の定常加速度）が0となるときの走行速度をいい、カント、曲線半径及び軌間から求められる。

3.5 基準に達した複合変位が補修されなかったことに関する分析

2.3.2.4に記述したように、高速軌道検測車で測定されていた、基準に達している時期を早めて補修すべき複合変位が存在することを当該の現業機関で認識できなかったことが、本事故の発生に大きく関与している。

複合変位の補修においては、全ての箇所の変位を対象とすることが望ましいが、整備のための間合いのとれない中で、補修の比較的容易な小さい変位の補修が優先された結果、大きい変位は補修されず、より大きくなった。

このとき、第Ⅱ種又は第Ⅲ種の複合変位にも重複して該当することを認識していれば、変位の大きい箇所に対して補修を行う動機付けとなったが、高速軌道検測車で作成される基準値超過箇所集計表では第Ⅰ種が該当していることのみが伝達され、当該の現業機関で重複する複合変位が割り出されることもなかった。

さらに、種別の異なる複合変位の重複を認識できなかったために補修期限を早めることはされず、事故当月に第Ⅰ種と第Ⅳ種の複合変位が重複する通知を受けた場合も、現行のルールでは許容されることとして、補修予定日を特に早めることはなかった。

2.3.2.5に記述したように、複数の種別の複合変位の存在は、基準値超過箇所集計表とマヤチャートから現業機関で割り出す必要があり、そのようにしていれば複数の種別の複合変位が存在することを把握できたと考えられるが、当該の現業機関ではそうした必要性があるという認識を持っていなかった可能性があると考えられる。さらにその前提として、当該の現業機関での複合変位に関する知識の不足が関与していた可能性があると考えられる。これには、事故当時のJR北海道本社は、現業機関においては関係規程類に記載済みの事項をもとに適切な複合変位の管理ができるものと認識していたことから、重複した複合変位の割り出しの必要性と具体的な方法をマニュアル等で周知していなかったことも関与していた可能性があると考えられる。

3.6 脱線に関する分析

3.6.1 複合変位及び通り変位の関与

3.3に記述したように、本件貨車の第3軸の外軌側（右）車輪の輪重が減少するとともに横圧が増加して脱線係数が増加したことには、本事故現場付近の複合変位及び通り変位が関与した可能性があるものと考えられる。2.9.2.4(4)に記述したように、数値シミュレーションでは、軌道が通り変位と水準変位の整備目標値内に整備されていたとした場合に、脱線係数及び車輪上昇量が大幅に小さくなっており、事故発生箇所付近の複合変位及び通り変位の存在とその大きさは、脱線に結び付く貨車の挙動に大きく関与した可能性があると考えられる。

3.6.2 偏積の関与

3.2.4に記述したように、事故直前の本件貨車の輪重は、積荷の偏積により、右車輪の方が左車輪より小さくなっていた可能性があると考えられる。これにより、本件貨車が本件曲線を走行中に、外軌（右）側の輪重が小さくなり、外軌（右）側の横圧が大きくなることから、各軸の脱線係数が大きくなっていた可能性があると考えられる。

また、2.9.2.4(1)に記述したように、数値シミュレーションでは新聞巻取紙の基本位置から内軌側への偏りを想定すると車輪上昇量が大きくなり、特に第3軸の車輪上昇時間が増えていく傾向にあり、積荷の（コンテナ内での移動も含めた）偏積が乗り上がりをもたらし、脱線に繋がる要因となるものと考えられる。

一方、3.2.3に記述したように、本事故直前に新聞巻取紙がコンテナ内のどの位置にあったか特定するには至らなかったため、新聞巻取紙の基本位置からの移動による偏積の増加が、本件貨車の脱線に実際にどの程度関与したかは、明らかにすることはできなかった。

3.6.3 まくらばねダンパの減衰特性の関与

2.9.2.4(3)に記述したように、まくらばねダンパを“積車特性”のみとした場合の効果は限定的であることから、まくらばねダンパの減衰特性の切替えが発生したことが本事故の発生に関与した可能性は低いと考えられる。

3.7 脱線事故発生後の安全性に関する分析

2.1.1に記述した運転士の口述によれば、本事故では、運転士が脱線したことを認識できずに脱線状態のまま走行を続けた。こうした事態は、貨物列車における貨車の脱線事故においてこれまでも複数回発生しており、事故による被害を拡大させる可能性があると考えられるため、研究機関等において、運転士が列車における脱線の発生を認識できる装置の研究開発を進め、早期に実用化されることが望まれる。

3.8 複合変位の管理に関する分析

3.8.1 適切な複合変位の管理方法の徹底

3.5に記述したように、本事故の発生には、時期を早めて補修されるべき複合変位の存在を現場で認識できなかったことが大きく関与していることから、今後適切に複合変位が管理されるために、以下のことが必要である。

- (1) 複数の種別からなる複合変位の管理方法について、現業機関の担当者がその主旨を正しく理解し、実行するように教育、訓練すること。
- (2) 重複した複合変位の種別を正しく認識するためには、高速軌道検測車で

作成される基準値超過箇所集計表には、整備すべき対象となる複合変位の情報の全てが表示されているわけではないことを理解し、適切な複合変位の割り出し方法に習熟すること。

- (3) 基準に達した複合変位がそれぞれ重複して存在する場合、並びに該当する変位が著しくその基準値を超過する場合の補修の期限や速度制限等の対応方法について、早急に検討して適切に定めておくこと。
- (4) 高速軌道検測車から基準値超過箇所集計表により伝達される複合変位に関する情報としては、全ての種別と位置が明示されることが望ましいので、今後のシステムプログラムの改修時等に考慮すること。

今後 J R 北海道においては、複合変位の管理が適切に継続されていくよう、教育と管理を徹底しつつ、道南いさりび鉄道への経営分離の際には、確実に補修を完了したうえで、事故後に講じた対策とその目的を確実に伝える必要があると考えられる。

3.8.2 評価指標としての複合変位の有用性

近年、比較的大きい複合変位が脱線の要因となった可能性がある貨車の脱線事故が複数発生している。

現行の貨車とその運用形態に対応したものとして、将来的には貨車を運行する線区の軌道管理の見直しなどの検討が望まれる。一方、貨車の車体の過大なロール振動を抑制する軌道管理のための評価指標として現行の複合変位を用いることには、本事故の分析結果からもなお一定の有用性があると考えられるので、3.8.1に記述のように、同種の事故の再発防止のためには、当面は複合変位による管理の適切な運用が必要と考えられる。

3.9 本件列車の非常制動に関する分析

2.1.1に記述したように、本件列車が走行中に自動的にブレーキが掛かり停止したことは、本件貨車と21両目の貨車が分離したことで、両貨車間のブレーキ管ホースの連結器が外れ、非常ブレーキが掛かったことによるものと考えられる。

本件貨車と21両目の貨車が分離したことについては、

- (1) 2.1.2に記述したように、本件貨車の後台車が札苅駅11号イ分岐器を通過完了した約2秒後にBP圧の低下が始まっていること、
- (2) 2.4.3に記述したように、札苅駅構内の11号イ分岐器付近に制輪子3個及び軸箱支持ゴム2個が落ちており、同分岐器を走行する際の衝撃が特に大きかった可能性が考えられること

から、後台車が脱線したまま同分岐器を乗り越える際の衝撃で、連結器が外れたことによる可能性があると考えられる。

(付図3 泉沢駅～札幌駅略図、付図5 札幌駅構内略図と脱線の状況、付図6 鉄道施設等の損傷状況 参照)

4 結 論

4.1 分析の要約

本事故における分析結果をまとめると、次のとおりである。

(1) 脱線地点

本件貨車の右車輪が33k174m付近で右レール（外軌）に乗り上がり始め、33k179m付近で右に脱線し、そのまま札幌駅構内まで走行したものと考えられる。(3.1.1) ^{*21}

(2) 貨車の状況

本件貨車には脱線に関与するような異常はなかったものと考えられる。(3.2.2)

(3) 積荷及び静止輪重

本事故直前において、積荷の新聞巻取紙はコンテナの中心より左側に偏って存在した可能性があることから、事故直前の本件貨車の輪重は右車輪の方が左車輪より小さくなっていた可能性があると考えられる。(3.2.4)

(4) 走行速度

本件貨車は速度63km/hで事故現場付近を走行していたと考えられることから、本件貨車は2.7に記述した半径350mの曲線の制限速度65km/h以下で事故現場を通過したものと考えられる。(3.4)

(5) 事故現場付近の軌道と貨車の輪重横圧

事故現場付近では整備すべき対象となる第Ⅰ種、第Ⅱ種、第Ⅲ種及び第Ⅳ種の複合変位が重複して存在しており、これが本件貨車の車体に大きなロール振動を誘発し、第3軸の外軌側の輪重を減少させた可能性があると考えられる。

さらに、乗り上がり開始地点33k174mにおいて、曲線半径を小さくする側の通り変位が整備基準値の25mmに対して20.3mmと比較的大きく、これが本件貨車の第3軸の外軌側の横圧を増加させた可能性があると考えられる。

(3.3)

(6) 基準に達した複合変位が補修されなかった経緯

事故現場付近において複合変位の適切な補修が行われなかったことについては、

^{*21} 本項の各文章末尾に記載した数字は、当該記述に関する「3 分析」の主な項目番号を示す。

マヤチャートを用いて現業機関で自ら整備すべき複合変位を割り出すことができず、変位の大きい箇所に対して補修を行う動機付けが得られなかったためと考えられる。

現業機関で自ら整備すべき複合変位を割り出すことができなかったことについては、現業機関において自ら割り出す必要性があるとの認識がなかったためと考えられる。(3.5)

(7) 脱線の原因

車体の顕著なロール振動に伴う（外軌側の）輪重減少と、それに重なって発生した（外軌側の）横圧の増加により、本件貨車の第3軸の外軌側（右）車輪は右レールに乗り上がり、33k179m付近で右に脱線したと考えられる。(3.3)

事故発生箇所付近の複合変位及び通り変位の存在とその大きさは、脱線に結びつく貨車の挙動に大きく関与した可能性があるものと考えられる。(3.6.1)

また、新聞巻取紙が左側に偏って存在した可能性があることから、各軸の脱線係数が大きくなっていった可能性があると考えられる一方、新聞巻取紙の基本位置からの移動による偏積の増加が、本件貨車の脱線に実際にどの程度関与したかは、明らかにすることはできなかった。(3.6.2)

4.2 原因

本事故は、列車が半径350mの左曲線を走行した際、コキ107形式の貨車の車体に顕著なロール振動が励起されて外軌側（右）車輪の輪重が小さくなり、さらに外軌側（右）車輪の横圧が増加し、脱線係数が増加して外軌側（右）車輪がレールに乗り上がったことにより右に脱線した可能性があるものと考えられる。

車体に顕著なロール振動が励起されたことについては、乗り上がり開始地点の手前の軌道に整備の対象となる大きな複合変位が存在していたためと考えられる。

外軌側（右）車輪の横圧が増加したことについては、曲線半径を小さくする側の比較的大きな通り変位が存在したことが影響した可能性があると考えられる。

また、整備の対象となる大きな複合変位が存在したことについては、高速軌道検測車により計測された整備の対象となる複数種別の複合変位の存在を担当の現業機関で認識できなかったためであり、それには現業機関に計測結果を伝達して補修の要否を決める方法が不適切であったこと、現業機関での複合変位に関する知識が不足していたことが関与した可能性があると考えられる。

積荷の偏りが実際に脱線の発生に関与したかどうかを明らかにすることはできなかったが、事故直前の積載状態によっては、脱線を助長する要因となっ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

5.1.1 複合変位の適正な管理

今後適切に複合変位が管理されるために、以下のことが必要である。

- (1) 複数の種別からなる複合変位の管理方法について、現業機関の担当者がその主旨を正しく理解し、実行するように教育、訓練すること。
- (2) 重複した複合変位の種別を正しく認識するためには、高速軌道検測車からの情報が限定されたものであることを理解し、適切な複合変位の割り出し方法に習熟すること。
- (3) 基準に達した複合変位がそれぞれ重複して存在する場合、並びに該当する変位が著しくその基準値を超過する場合の補修の期限や速度制限等の対応方法について、早急に検討して適切に定めておくこと。

これらのことを徹底し定着させるためには、JR北海道では、複合変位の管理に関して、その目的と主旨を正しく理解させるために社員を教育するとともに、運用マニュアルの改善などを図ることが必要である。

さらに、複合変位を含む軌道管理の適切な運用のためには、軌道検測－複合変位の割り出し－補修計画の策定－補修の実施全体が管理される必要があり、これらに対して多重チェック体制が有効に機能するよう、適切な対応が継続されることが必要である。

なお、高速軌道検測車からの複合変位に関する情報としては、全ての種別と位置が明示されることが望ましいので、今後の高速軌道検測車のシステムプログラムの改修時等に考慮すべきである。

5.1.2 偏積の防止を目的とした積荷の管理

積荷の左右偏積を防止する対策は、2.10.1に記述した平成24年4月26日に発生した江差線貨物列車脱線事故の再発防止策として、本事故の発生とほぼ同時に、JR貨物及び利用運送事業者により対応が開始されている。

現実に偏積を防止するには、貨物が大量で多様であることから、積荷の積付けが適切に管理されるための仕組みが確実に機能する必要がある。一方、個別のコンテナに対しては、積み込み時の積載状態の把握と、荷役及び走行中の外乱で貨物が容易に移動しない積付け方法が必要である。

これらが効果的に機能するように、積荷の管理の仕組みが早期に安定して稼働されることが望まれる。

5.2 本事故後にJR北海道が講じた措置

JR北海道は、本事故後に次の措置を講じた。

5.2.1 暫定措置

(1) 複合変位の補修期限の短縮（その1）

軌道整備規程で複合変位の整備の時期として定めている「1箇月以内」の期限を、「15日以内」に早め、期限内に補修ができない場合は貨物列車に対して45km/hの徐行の措置をとることとした。

本対策は、平成26年6月23日以降の高速軌道検測車の測定分から適用され、後述の複合変位の補修期限の短縮（その2）が実施されることで、平成26年8月21日に廃止された。

(2) 本件曲線区間の徐行運転

平成26年6月23日の運転再開時に、本件曲線部（32k665m～33k270m）のみで45km/hの徐行運転とすることとした。

その後、平成26年6月28日から、本件曲線からPCまくらぎが損傷した札苅駅構内を含む区間（32k665m～34k650m）に対象を拡大して、45km/hの徐行運転とすることとした。

これらの対策は旅客列車と貨物列車の両方が対象とされた。

なお、対象区間内の最終的な軌道整備が完了した平成26年11月4日に、貨物列車の徐行運転の対象区間が本件曲線付近のみ（32k665m～33k270m）に短縮されている。

また、旅客列車は、平成26年11月4日に徐行運転の対象外とされている。

(3) 整備管理値による軌道変位の管理

江差線における本件曲線に類似している15の曲線区間（曲線半径350m以下、カント90mm以上）に対して、新たに整備管理値（軌間変位：+10mm、水準変位：12mm、高低変位：14mm、通り変位：14mm）を設定し、それに基づく軌道変位の管理を行うこととした。期限内に補修ができない場合は45km/hの徐行の措置をとることとした。

平成26年6月23日時点では、本件曲線を含む12の曲線区間で整備管理値を超えており、補修が終了するまで45km/hの徐行が適用された。

(4) 複合変位の補修期限の短縮（その2）

平成26年8月21日以降、前述の複合変位の補修期限の短縮（その1）が強化され、江差線の脱線事故の原因が判明して対策がとられるまでの間、高速軌道検測車で整備すべき対象となる変位量及び箇所数に該当する複合変位を確認した場合は、直ちに貨物列車に45km/hの速度規制をし、遅滞なく複合変位の補修を行うこととされた。

この対策は、平成26年7月25日付けの当委員会による鉄道事故調査報告書（平成24年4月26日発生 of 江差線貨物列車脱線事故）が公表されたことを契機に、同種事故の再発防止体制の再強化を図る意図で施行された。

5.2.2 恒久措置

(1) 設定カントの低減

江差線は第三セクターに移管後も貨物列車が走行することを考慮し、線路メンテナンスの軽減及び偏積などによる貨物列車脱線の可能性の低減を目的として、江差線の本件曲線を含む半径400m以下の24の曲線について、設定カントを最大80mm程度に低減することとした。

平成27年度及び28年度で実施され、本件曲線のカントは平成27年7月に90mmから80mmに低減された。

(2) 線路維持管理マニュアルの制定

複合変位の管理運用上必要な情報が付加された線路維持管理マニュアル（通達）が、平成27年4月に施行された。

JR北海道によると、これを用いて複合変位の管理上の注意点を現業機関に指導しているとのことである。

5.2.3 JR貨物との協議により講じた対策

JR北海道は、平成27年2月にJR貨物と協議の上、平成27年3月末までに本件曲線内の内軌側軌間内に、脱線防止ガードを新たに設置した。

5.3 本事故後にJR貨物が講じた措置

JR貨物は、偏積の防止と検出のために、本事故後に次の措置を講じた。

なお、これらは、平成24年4月26日に発生した江差線貨物列車脱線事故の再発防止策として講じられた内容と重複する。

(1) コンテナの左右偏積率の許容値の通知

平成26年7月10日、各コンテナの左右偏積率10%以内を貨物受けの当面の許容値とし、利用運送事業者に通知した。

(2) コンテナ積付け方ガイドラインの作成

偏積を防止する基本的な取組として、利用運送事業者に対して、偏積の発見事例を活用して適切な積付けの例を示したガイドラインを作成し、平成27年7月からパンフレットとして配布を始めた。この中で、利用運送事業者によってコンテナの左右偏積率を試算することと、荷姿を写真撮影して一定期間保存することへの協力も求めている。

(3) 非定型貨物の抜取り調査

偏積の検出及び偏積の事例の収集を目的として、偏積が発生する可能性がある非定型貨物を中心に、荷姿の写真又は偏積率試算結果が確認できない等のコンテナを定期的に抽出し、JR貨物から開扉を求めて積荷を確認している。

(4) 重量計及びトップリフターによる偏積の検出

サンプリングされたコンテナの左右偏積率を実測する目的で、ポータブル重量計が導入され、平成27年1月までに予定の12駅への配備が完了している。コンテナの左右偏積率10%以上が検出された場合、利用運送事業者による積み直しが行われる。

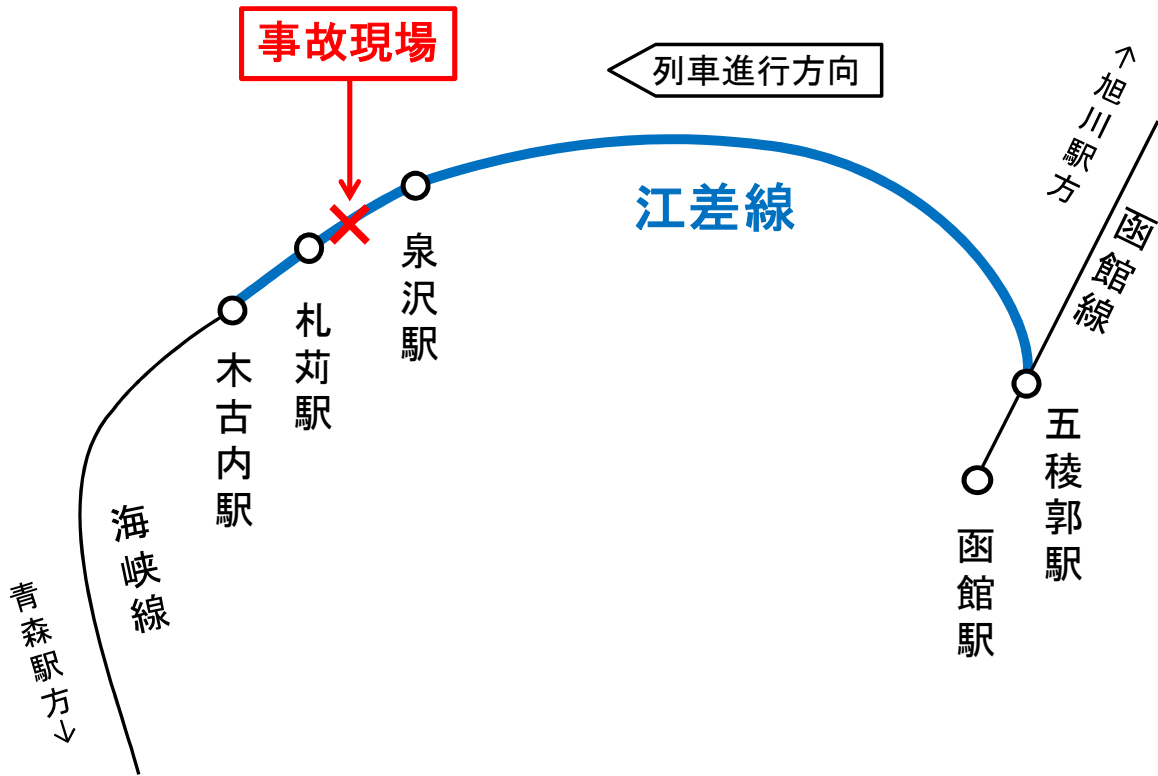
また、大型コンテナの偏積を検出する目的で、平成27年度から平成28年度にかけて、北海道と本州間で取扱量の多い10の貨物駅のトップリフターに偏心荷重計が設置される予定であり、その後も増備されるとのことである。

(5) 走行中の輪重測定装置の開発

貨物駅を通過して走行中の貨車の輪重を測定して、輪重アンバランスを検出する装置が開発段階にある。江差線を通過する貨物列車に対応して平成28年3月の稼働を予定している。

付図1 江差線路線図

江差線 五稜郭駅～木古内駅間 37.8km (単線)



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 泉沢駅～札苅駅略図

幸連川橋りょう終端(33k171m付近)
より札苅駅方

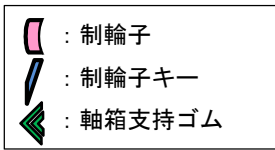
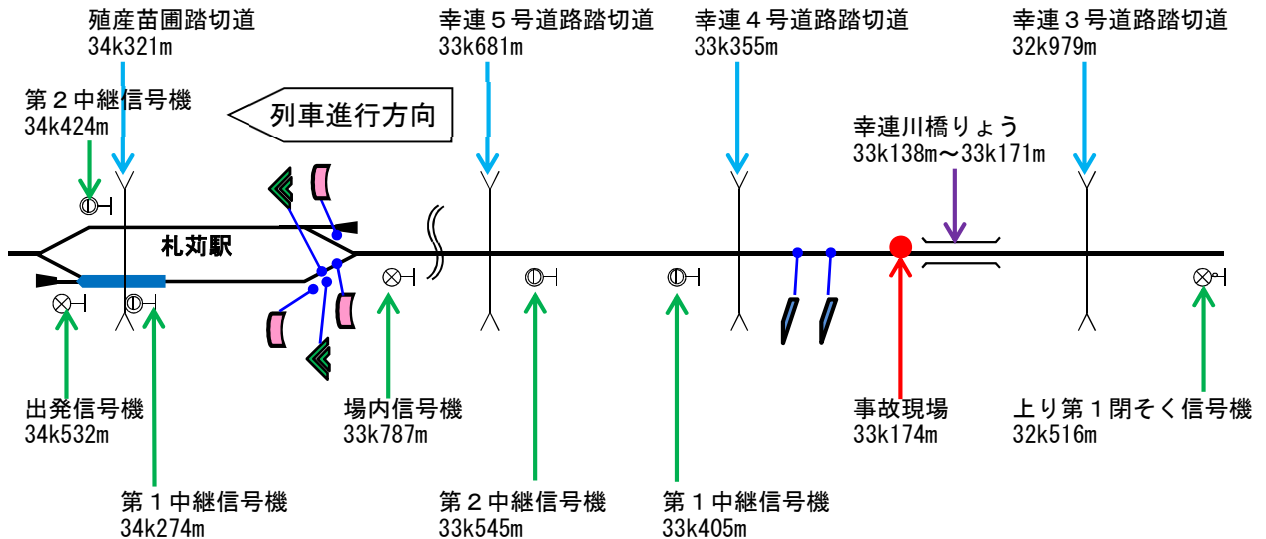


幸連川橋りょう始端(33k138m付近)
より札苅駅方

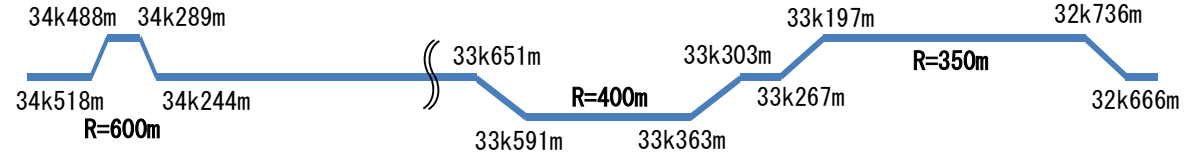


← 木古内駅 方

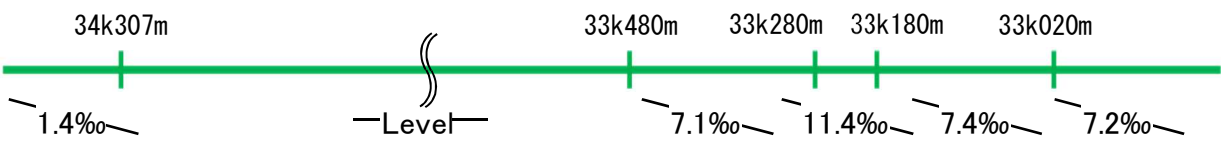
五稜郭駅 方 →



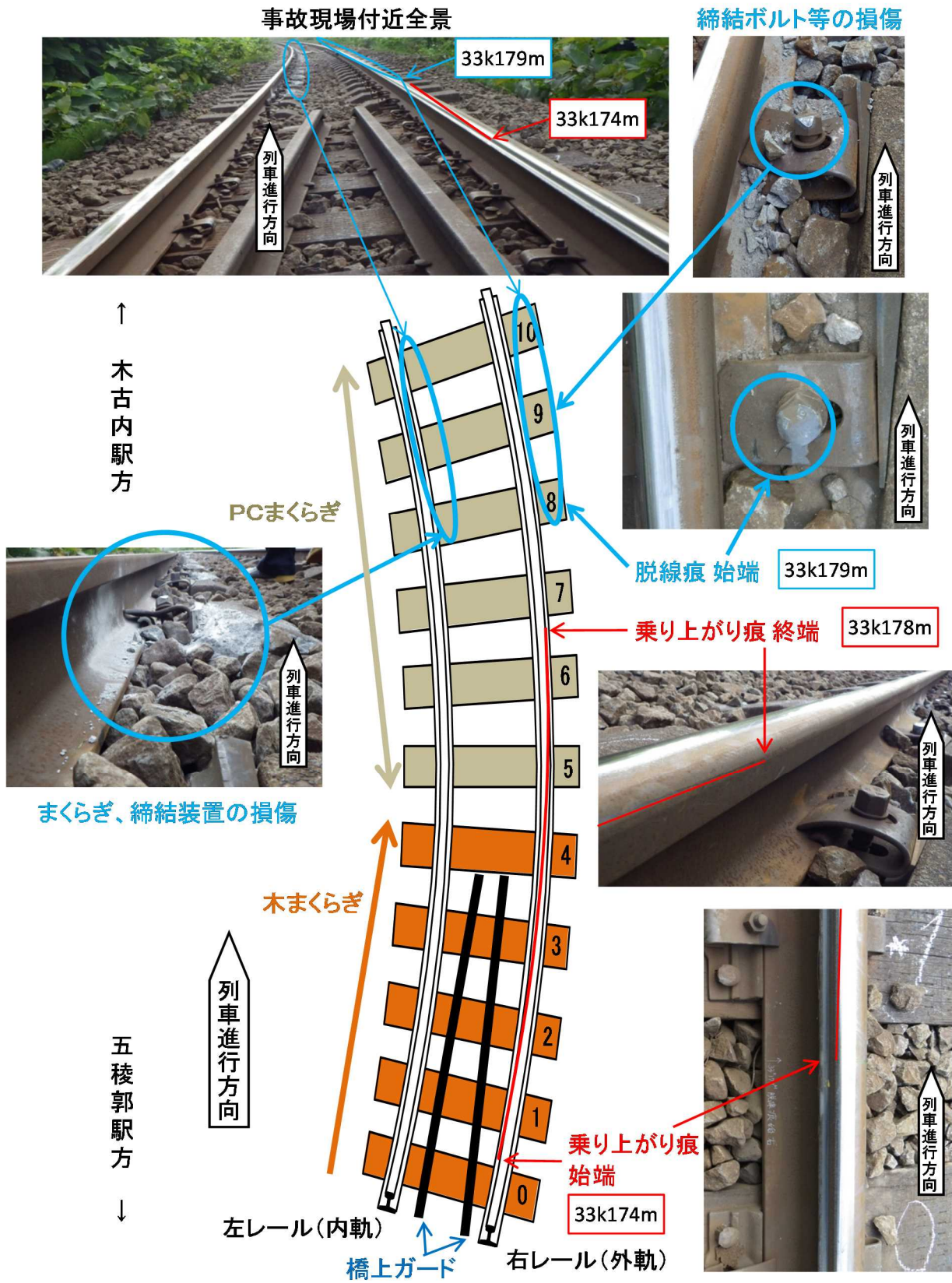
曲線



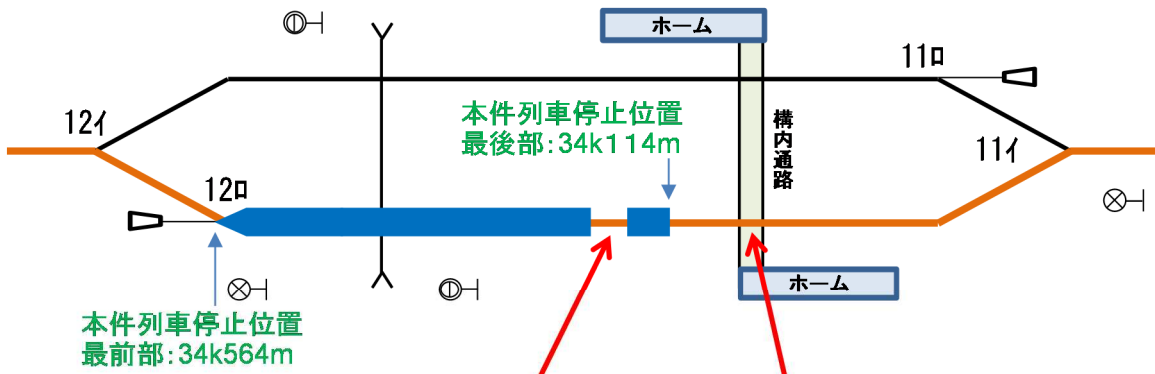
勾配



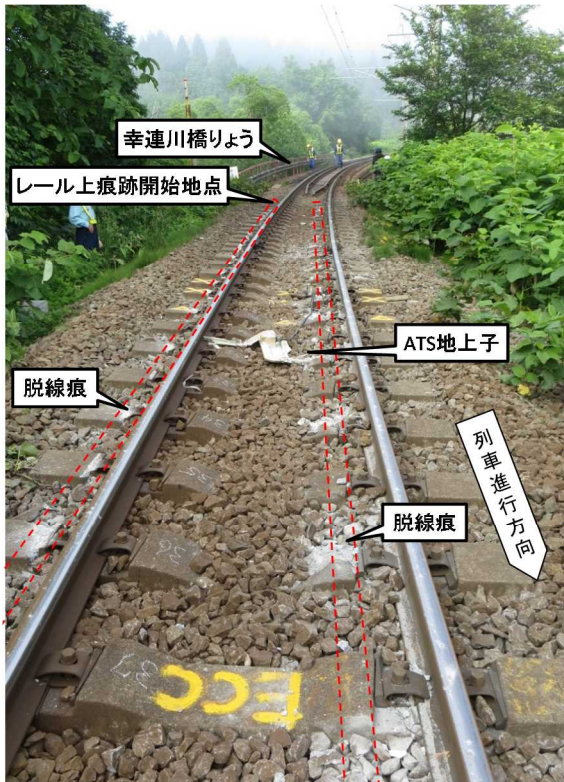
付図4 事故現場付近略図



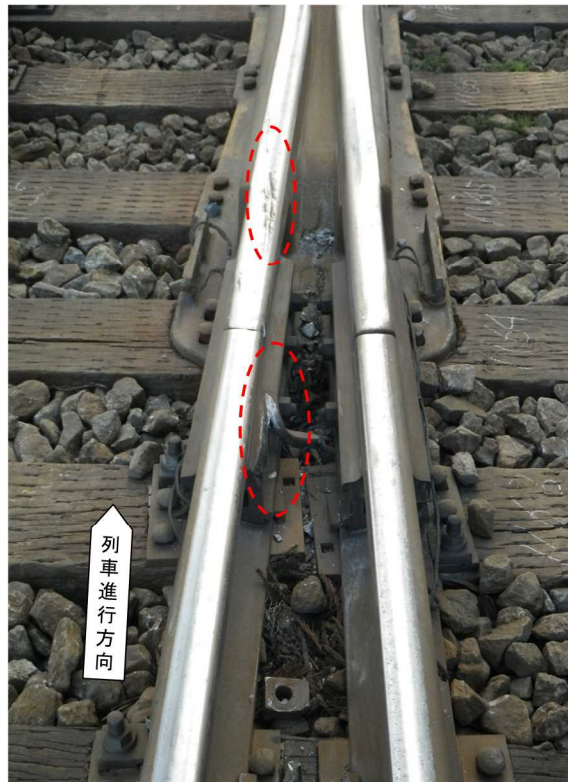
付図5 札幌駅構内略図と脱線の状況



付図6 鉄道施設等の損傷状況

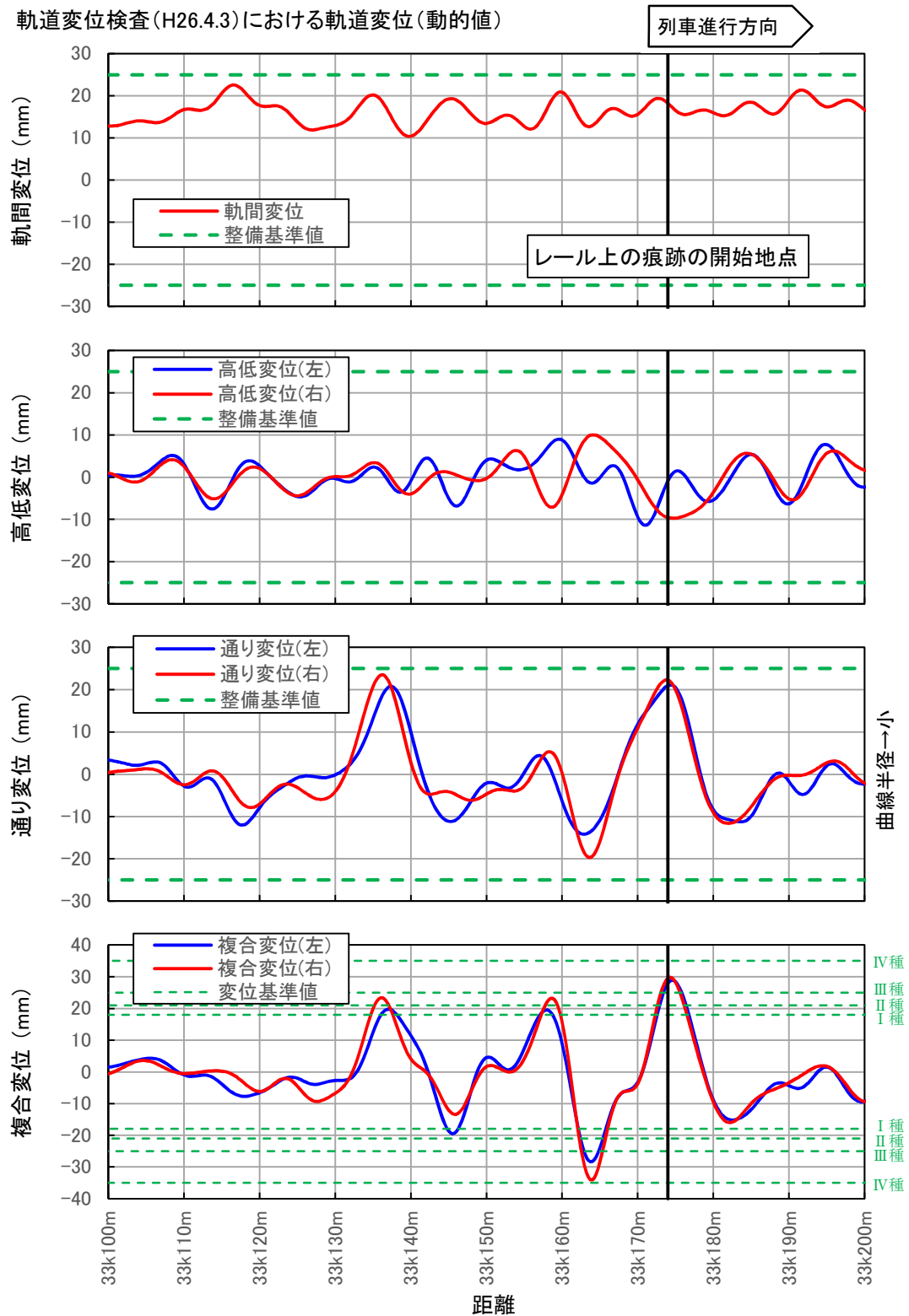


痕跡開始地点付近



札幌駅構内11号イ分岐器

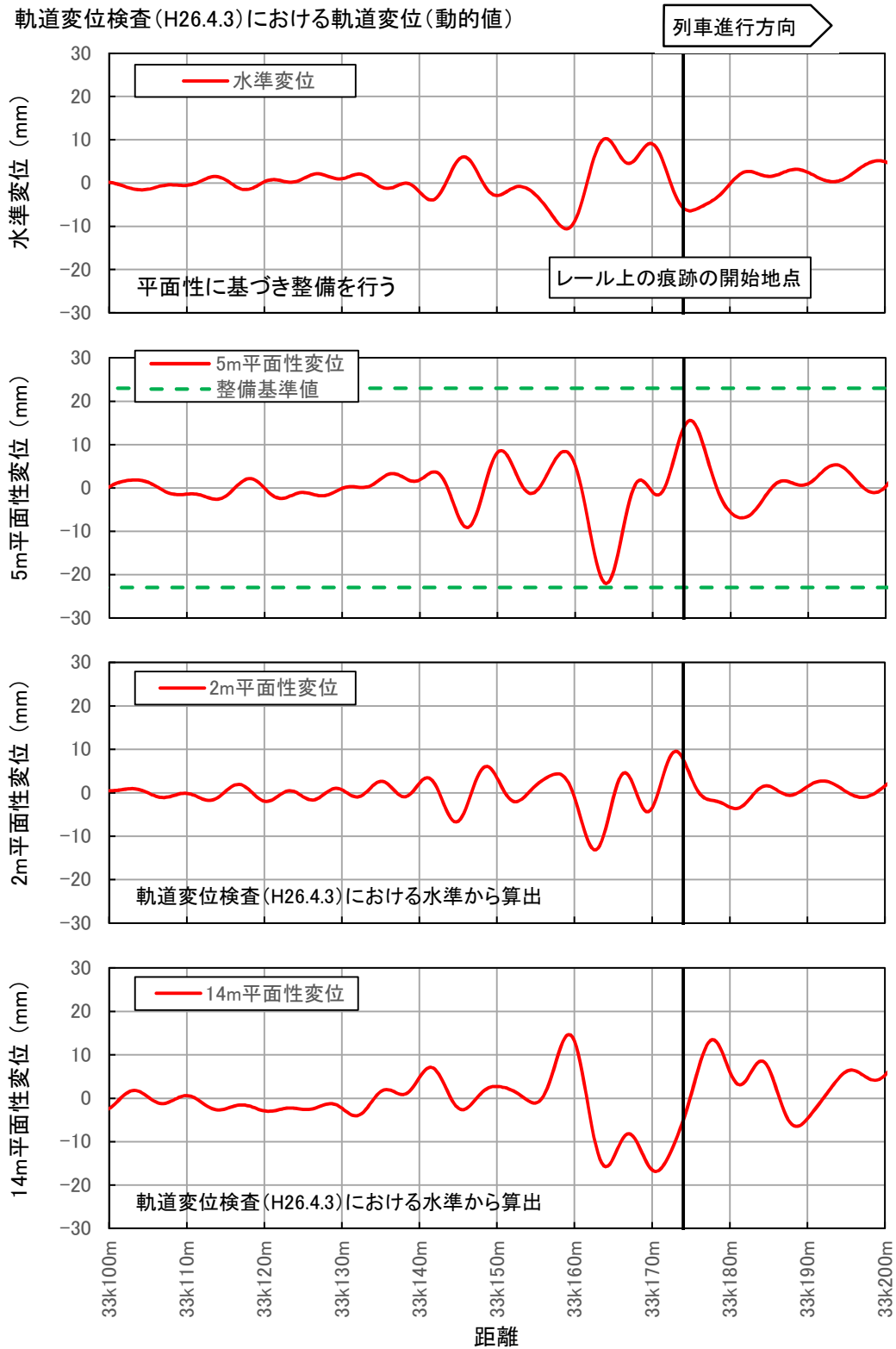
付図7 本事故前の軌道変位の状況（平成26年4月）
（その1）



ここに示した高低変位及び通り変位は、高速軌道検測車での測定値から移動平均法によって基準となる線形を求め、これを測定値から減算することで求めたもの。

軌道変位の値は高速軌道検測車（マヤ車）で得られたデータを地上で再計算して求めたもので、マヤチャートの値とは若干異なる。

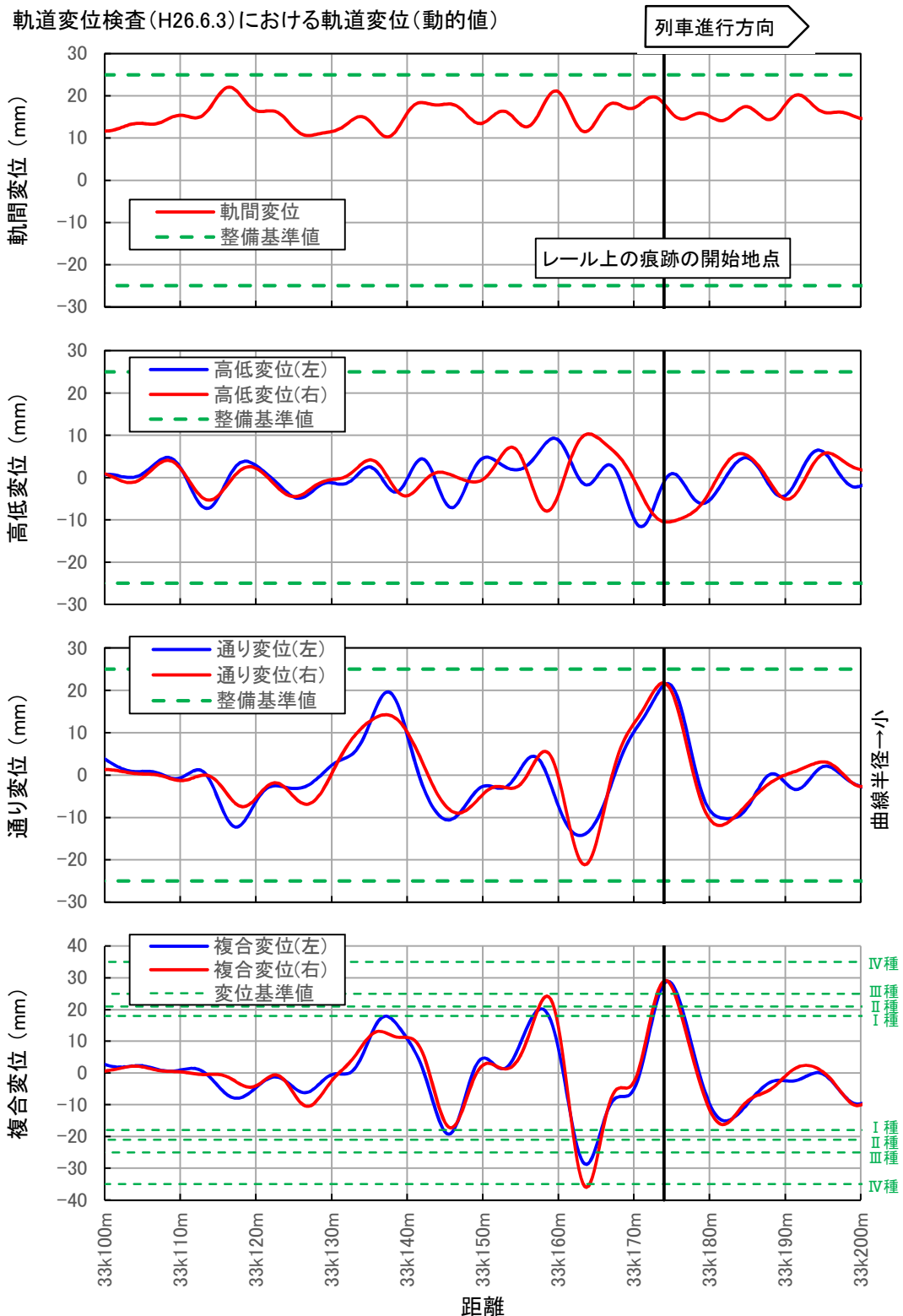
付図7 本事故前の軌道変位の状況（平成26年4月）
（その2）



ここに示した水準変位は、高速軌道検測車での測定値から移動平均法によって基準となる線形を求め、これを測定値から減算することで求めたもの。

軌道変位の値は高速軌道検測車（マヤ車）で得られたデータを地上で再計算して求めたもので、マヤチャートの値とは若干異なる。

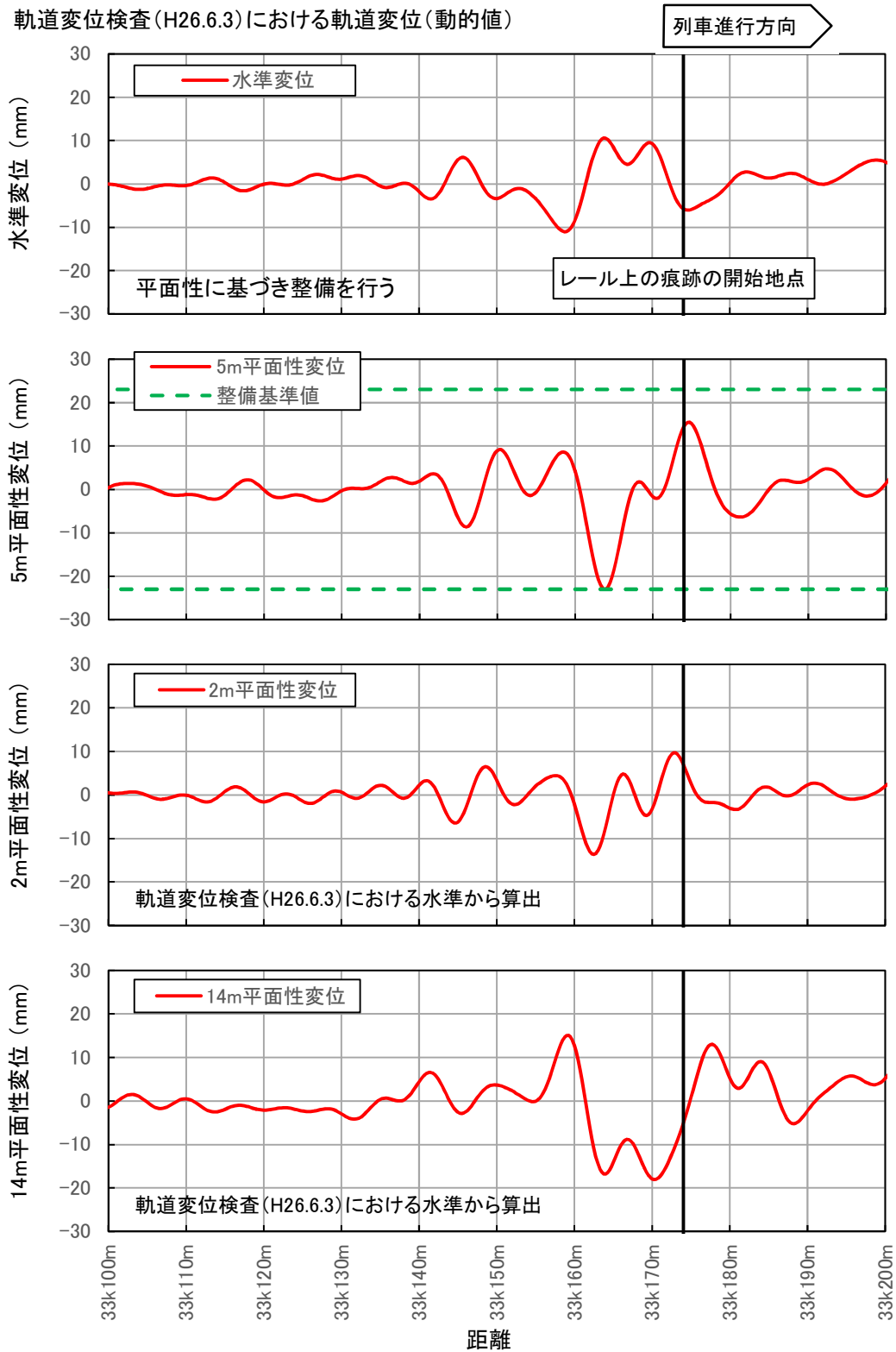
付図8 本事故前の軌道変位の状況（平成26年6月）
（その1）



ここに示した高低変位及び通り変位は、高速軌道検測車での測定値から移動平均法によって基準となる線形を求め、これを測定値から減算することで求めたもの。

軌道変位の値は高速軌道検測車（マヤ車）で得られたデータを地上で再計算して求めたもので、マヤチャートの値とは若干異なる。

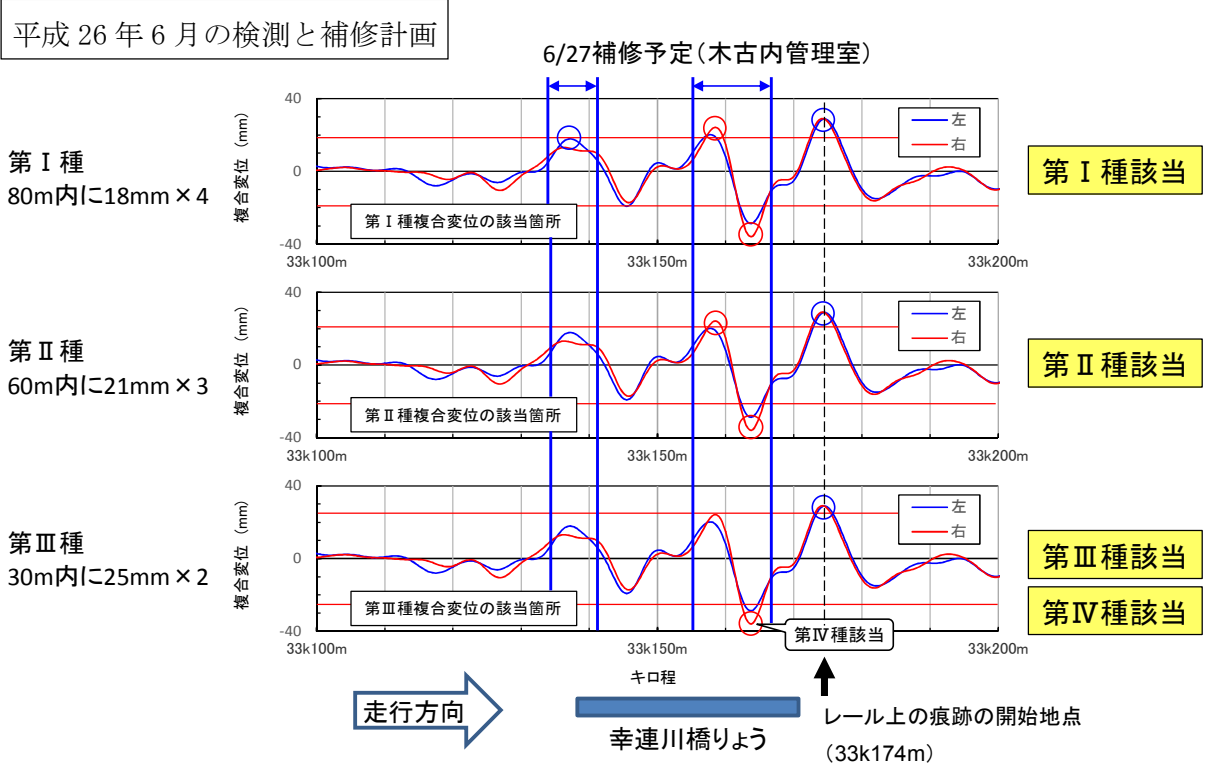
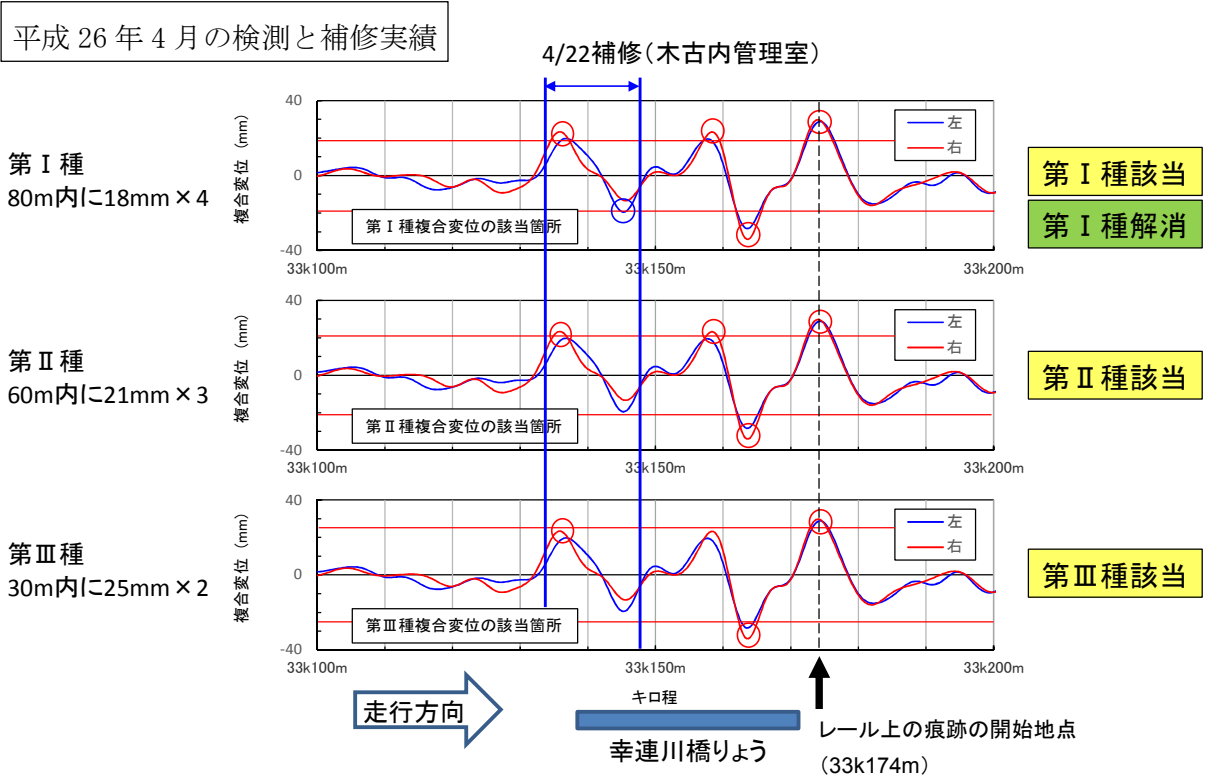
付図8 本事故前の軌道変位の状況（平成26年6月）
（その2）



ここに示した水準変位は、高速軌道検測車での測定値から移動平均法によって基準となる線形を求め、これを測定値から減算することで求めたもの。

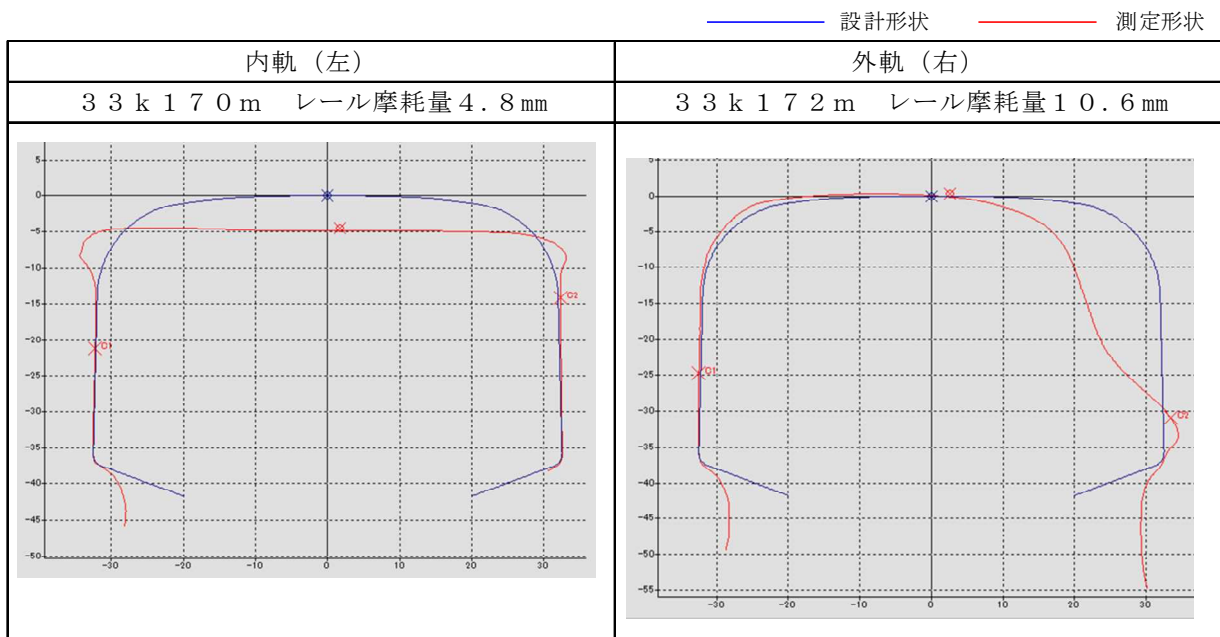
軌道変位の値は高速軌道検測車（マヤ車）で得られたデータを地上で再計算して求めたもので、マヤチャートの値とは若干異なる。

付図9 複合変位の補修経緯

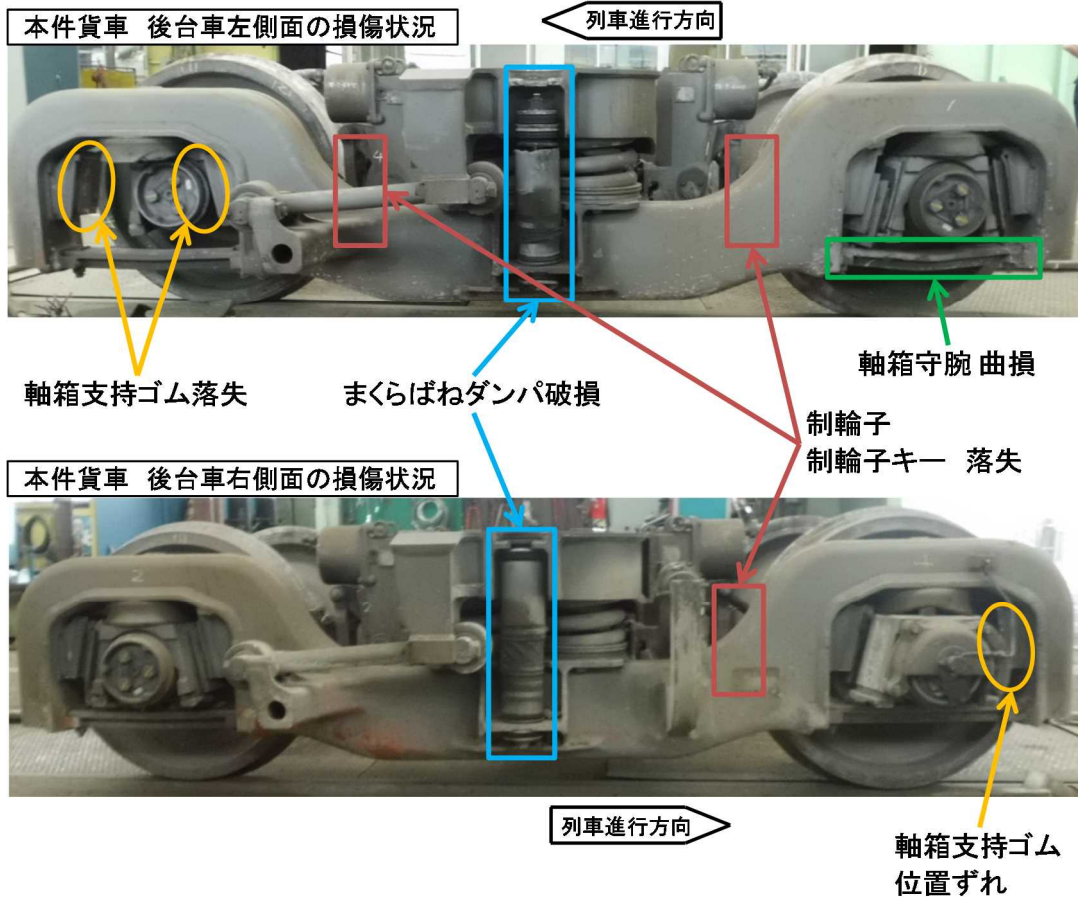


- ・青字○印及び赤字○印は、各種別の変位量の基準値に達したことが、高速軌道検測車で判定されたものを示す。
- ・複合変位の値は高速軌道検測車（マヤ車）で得られたデータを地上で再計算して求めたもので、マヤチャートの値と若干異なる。

付図10 レール摩耗形状



付図11 20両目 (本件貨車) の損傷状況



付図 1 2 本件貨車の積荷の状況

← 木古内駅方

五稜郭駅方 →

新聞巻取紙の積載状況

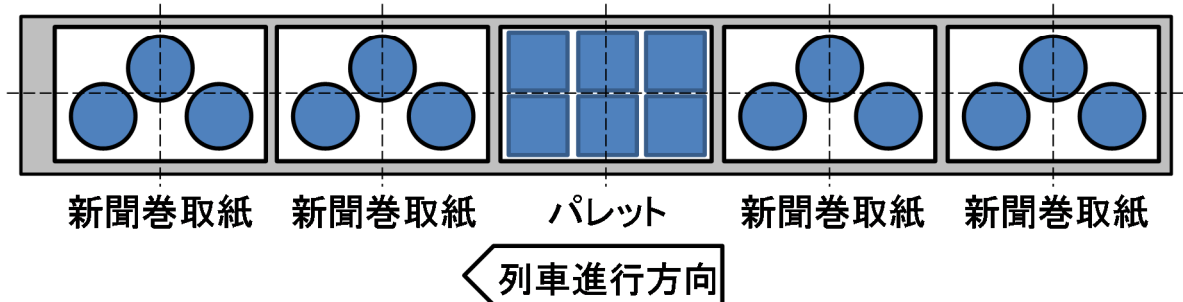


パレットの積載状況

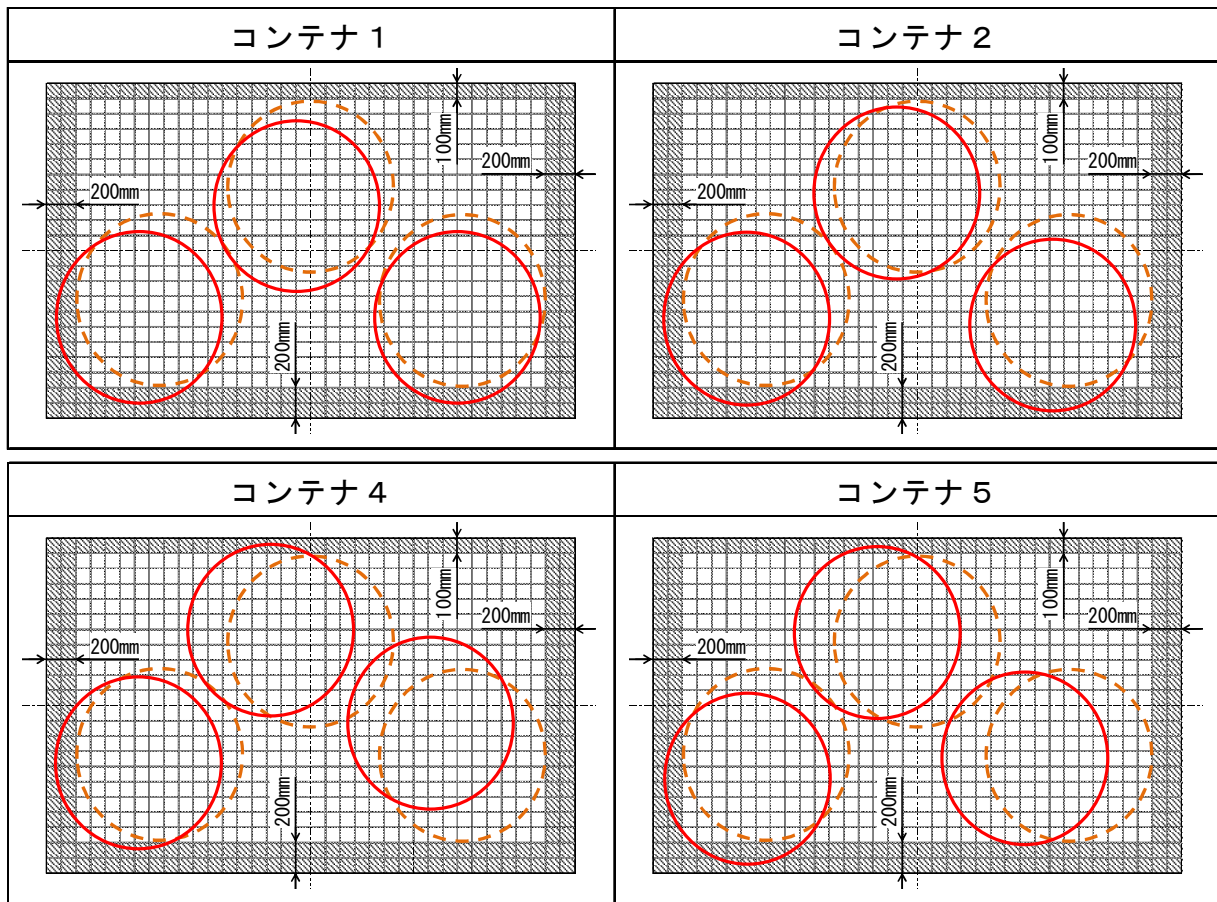


当該貨車の積載状況の平面図

積荷起因の静止輪重比(左): 1.05

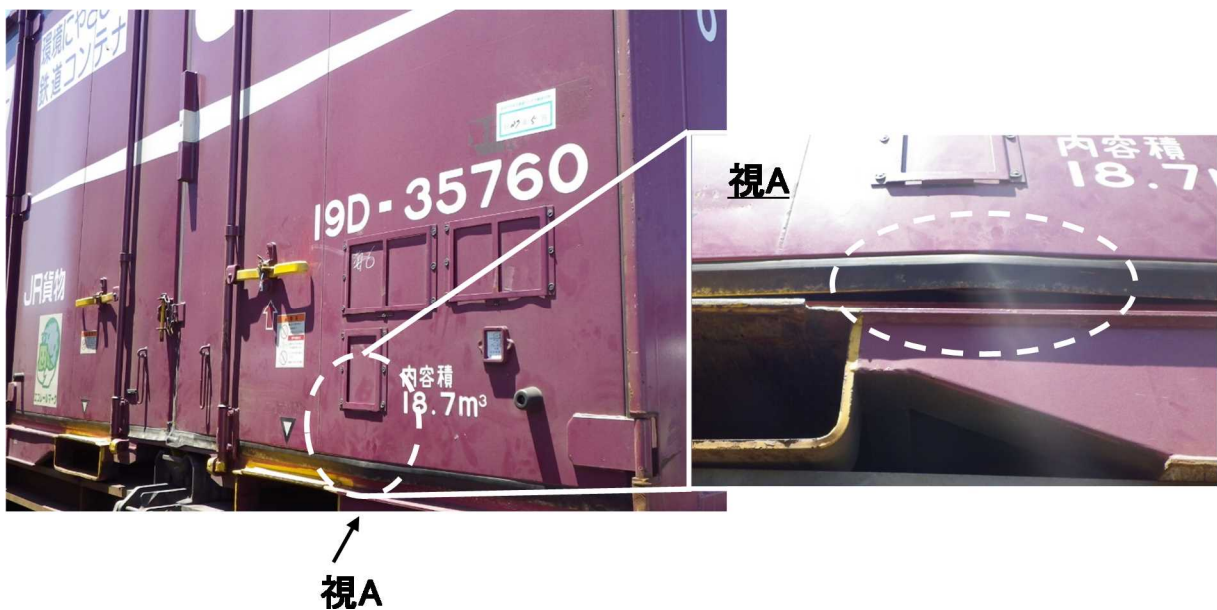


付図 1 3 新聞巻取紙の位置



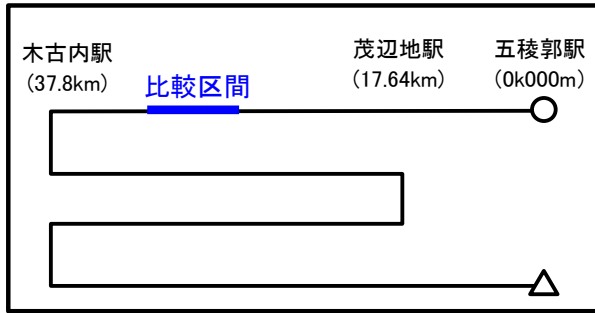
←列車進行方向 点線：基本位置（積付け位置） 実線：事故後の位置

付図 1 4 No. 5 コンテナの変形状況



付図 1 5 走行試験の概要

(1) 走行区間



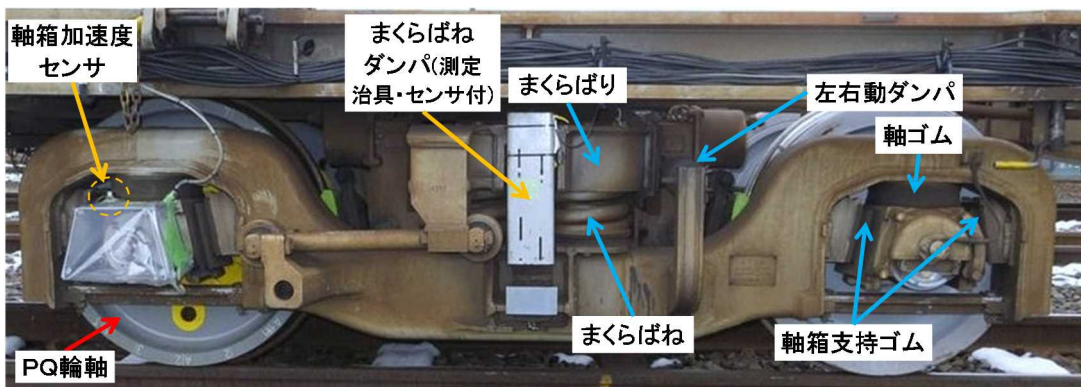
(2) 試験編成



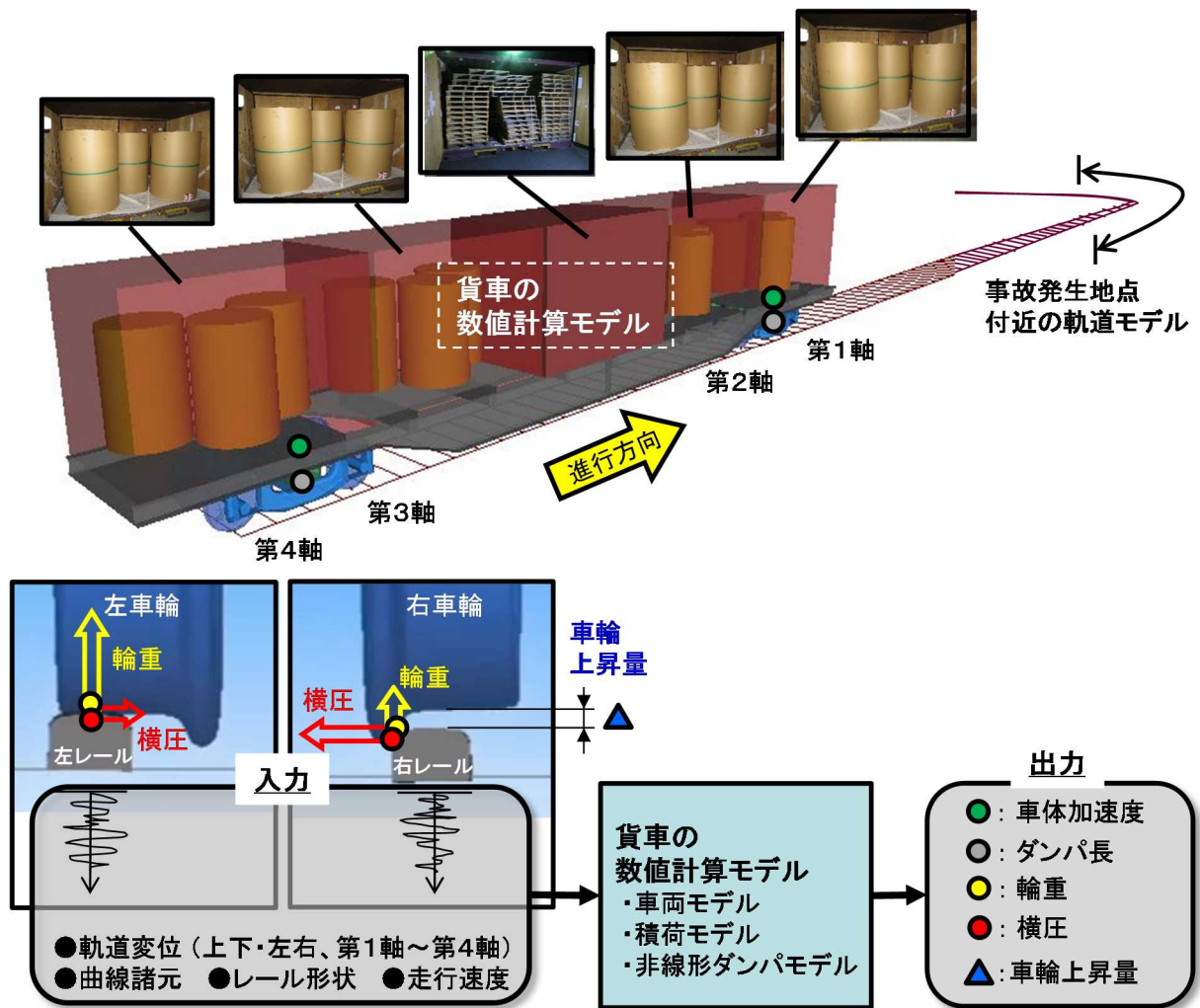
(3) デッドウエイトの状況



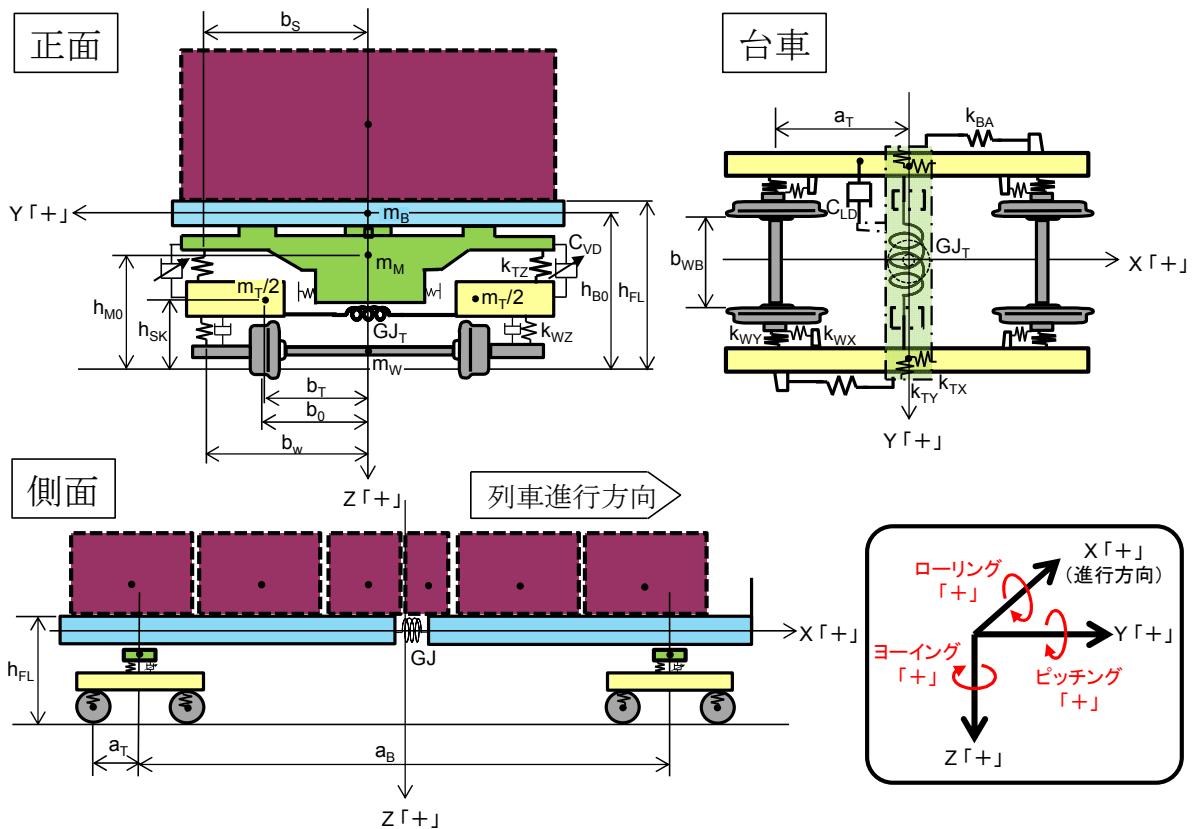
(4) 台車部の仮設状況 (コキ107形式)



付図 1 6 数値シミュレーションの概要



付図 1 7 数値シミュレーションモデル
(その 1、車体・台車)



(自由度、拘束)

- ・全ての剛体は、並進と回転の全 6 自由度をもつとする。
- ・ただし、車体のねじれ及びつなぎばりのねじれによって連結される剛体は、当該のねじれ以外の自由度を拘束される。
- ・さらに、コンテナと積荷は上述のように車体各部に拘束される。
- ・車体は、前後方向に一定速度で移動する相対座標系に固定されている。

(車体)

- ・車体は、走行方向の軸のまわりのねじれを考慮するために前後に 2 分割した剛体とする。

(台車)

- ・台車枠は、剛体である側ばり 2 本をつなぎばりで連結したものとする。
- ・つなぎばりは、まくらぎ方向を軸とするねじり曲げ剛性を考慮したものとする。
- ・輪軸は全 4 本の剛体を配置する。

(コンテナ)

- ・車体に積載されるコンテナは、曲げ剛性を車体に付与しないこととする。
- ・5つのコンテナと積荷は、各コンテナの中央位置で車体床面と固定される。
- ・ただし、中央(3番目)のコンテナとその積荷は、車体の前後 2 分割に合わせて前後に分割されたものとし、それぞれの分割されたコンテナの中央で車体と連結する。

(積荷)

- ・積荷はコンテナの床面に固定された剛体とする。

数値シミュレーションモデルの自由度

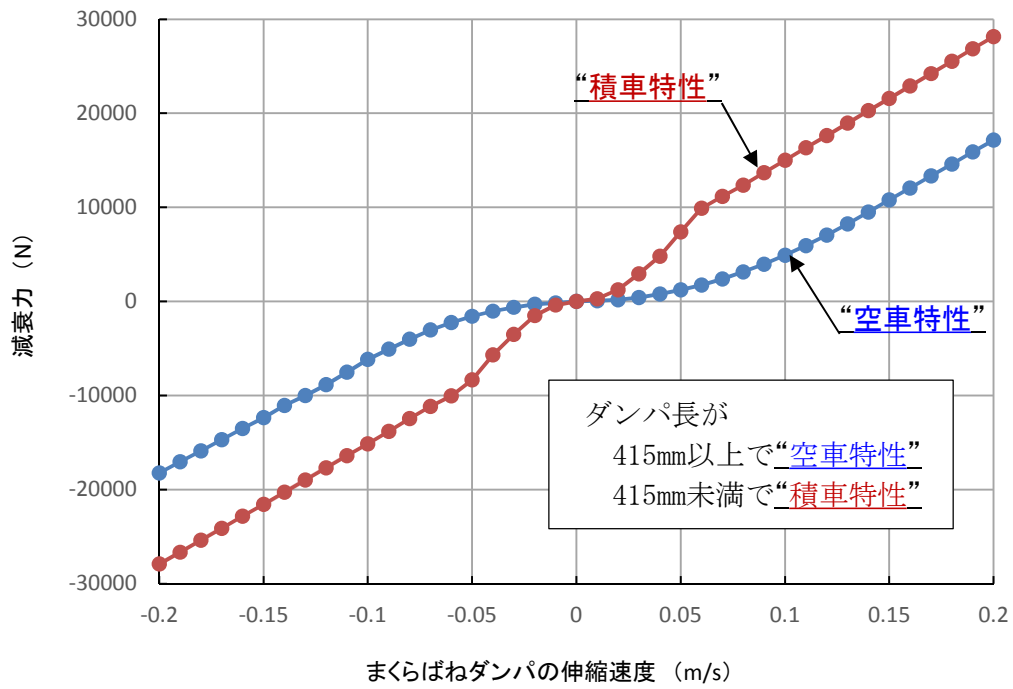
自由度	並進			回転			ねじり	自由度 数
	前後 (X)	左右 (Y)	上下 (Z)	ロール (X)	ピッチ (Y)	ヨー (Z)		
剛体								
車体(前)	—*a	○	○	○	○	○	○ (ロール)	6
車体(後)								
まくらばり(前)								
まくらばり(後)								
台車枠(前・右)	○	○	○	○	○	○	○ (ピッチ)	7
台車枠(前・左)								
台車枠(後・右)	○	○	○	○	○	○	○ (ピッチ)	7
台車枠(後・左)								
輪軸1	○	○	○	○	○	○	—	6
輪軸2	○	○	○	○	○	○	—	6
輪軸3	○	○	○	○	○	○	—	6
輪軸4	○	○	○	○	○	○	—	6
							計	46

*a 車体は一定の走行速度になるよう拘束されている。

数値シミュレーションモデルの主要パラメータ

項目	記号	単位	数値
車体質量	m_B	kg	10300
まくらばり質量	m_M	kg	575
台車枠質量 (ばね間質量)	m_T	kg	1515
輪軸質量	m_W	kg	960
まくらばねダンパ減衰係数	c_{VD}	kN/(m/s)	非線形
左右動ダンパ減衰係数	c_{LD}	kN/(m/s)	58.8
まくらばね前後ばね定数 (台車片側)	k_{TX}	kN/m	2939.0
まくらばね左右ばね定数 (台車片側)	k_{TY}	kN/m	2939.0
まくらばね上下ばね定数 (台車片側)	k_{TZ}	kN/m	2984.7
軸ばね前後ばね定数 (1軸箱)	k_{WX}	kN/m	9928.5
軸ばね左右ばね定数 (1軸箱)	k_{WY}	kN/m	4073.0
軸ばね上下ばね定数 (1軸箱)	k_{WZ}	kN/m	4025.0
ボルスタアンカばね定数	k_{BA}	kN/m	5880.0
車体相当ねじり剛性	GJ	kNm ² /rad	5100.0
台車枠相当ねじり剛性	GJ_T	kNm ² /rad	10.9
レール面上 床面高さ (空車)	h_{FL}	m	1.000
レール面上 車体重心高さ (空車)	h_{B0}	m	0.812
レール面上 まくらばり重心高さ (空車)	h_{M0}	m	0.580
レール面上 台車つなぎばり中心高さ (空車)	h_{SK}	m	0.310
1 / 2 左右車輪踏面中心 (形状原点) 間隔	b_0	m	0.560
台車中心—片台車枠重心間 距離	b_T	m	0.500
1 / 2 軸ばね中心左右間隔	b_W	m	0.820
1 / 2 まくらばね中心左右間隔	b_S	m	0.820
1 / 2 台車中心間距離	a_B	m	7.100
1 / 2 台車軸距	a_T	m	1.050

付図 1 7 数値シミュレーションモデル
(その2、まくらばねダンパの減衰特性)

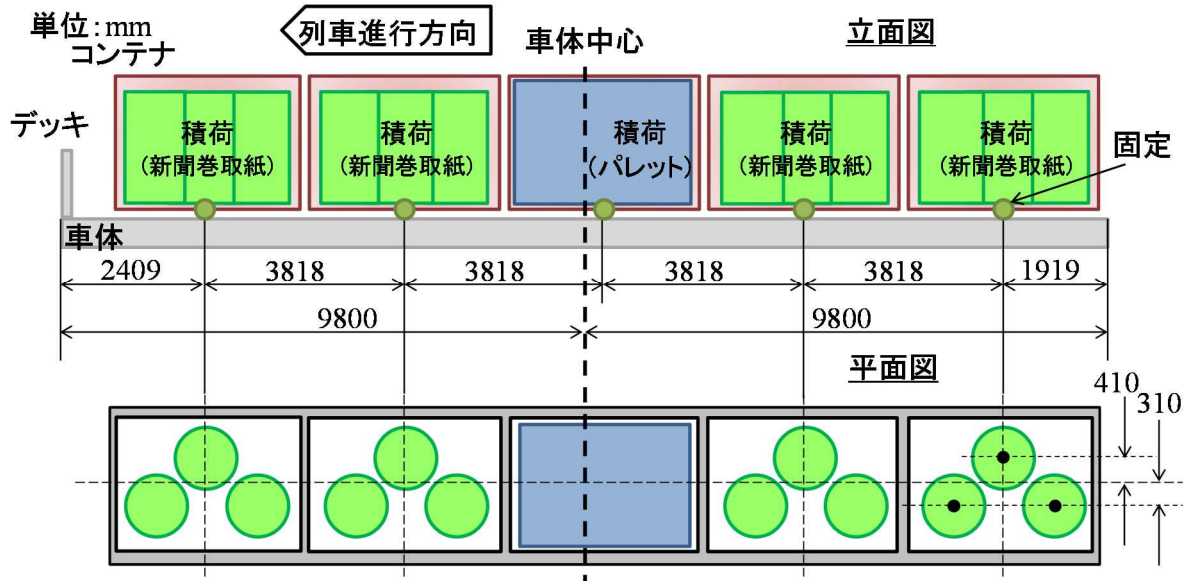


付図 1 7 数値シミュレーションモデル (その 3、積荷)

〈コンテナ配置〉

単位: kg

	コンテナ1	コンテナ2	コンテナ3	コンテナ4	コンテナ5
空	1800	1800	1800 (808+992)	1800	1800
積荷	3990 (1330 × 3)	3990(1330 × 3)	1600 (710+890)	3990(1330 × 3)	3990(1330 × 3)
計	5790	5790	3400 (1518+1882)	5790	5790



〈コンテナ詳細〉

単位: mm

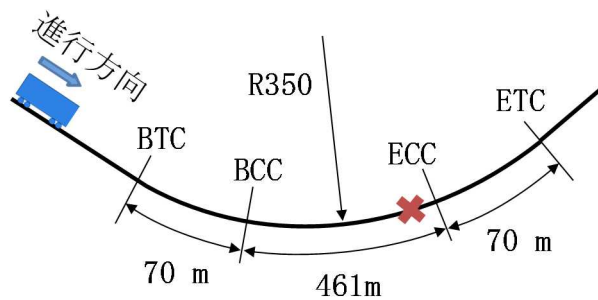
● コンテナ重心
● 積荷重心

	空コンテナ	積載コンテナ
分割なし (コンテナ 1, 2, 4, 5)		
分割あり (コンテナ3)		

付図 1 8 事故現場の曲線諸元

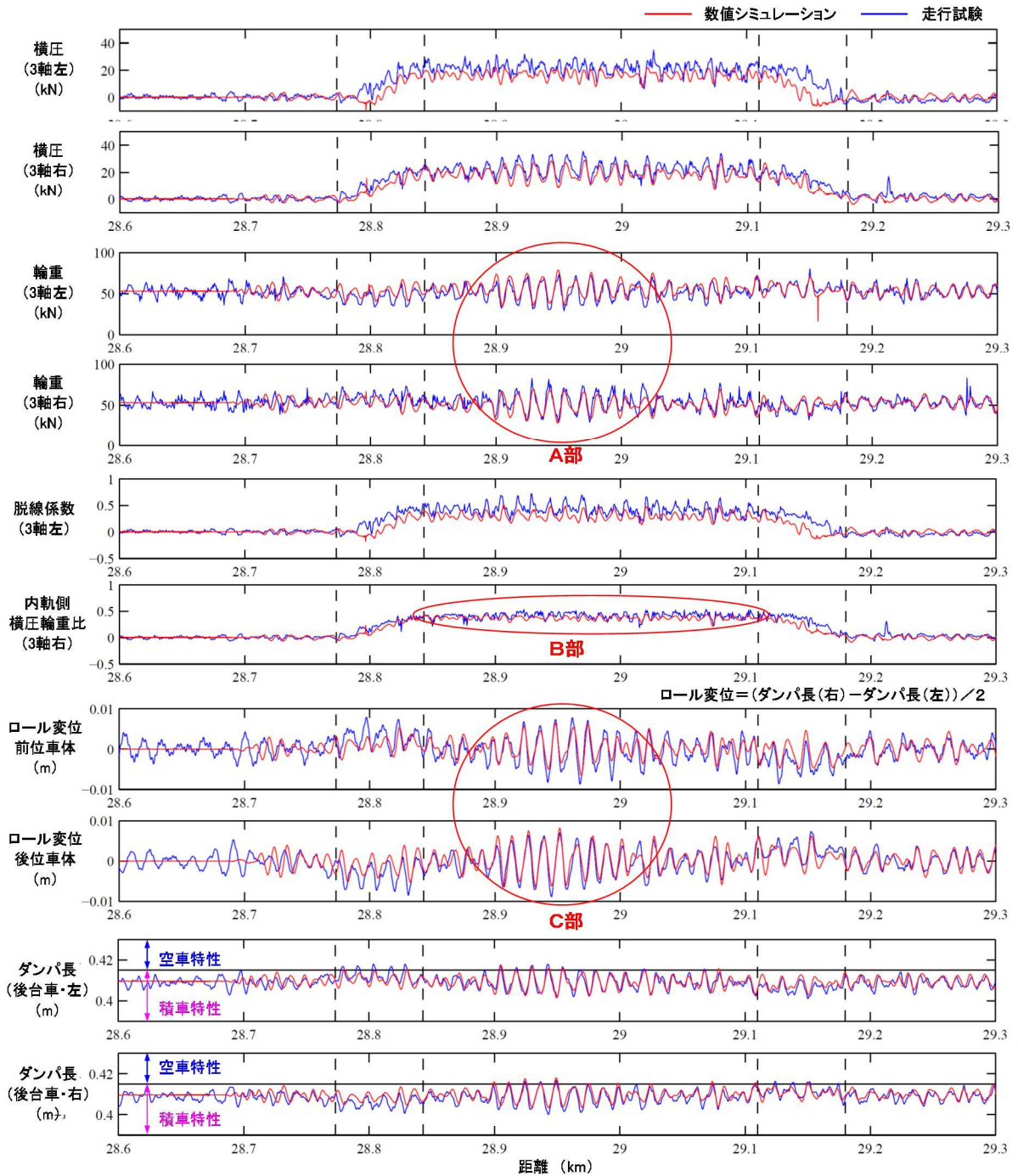
駅間	緩和曲線 起点 BTC	円曲線 起点 BCC	円曲線 終点 ECC	緩和曲線 終点 ETC	半径	方向	カント	スラック
泉沢～札苅	32k666m	32k736m	33k197m	33k267m	350m	左	90mm	5mm

✕ : レール上の痕跡の開始地点 (33k174m)

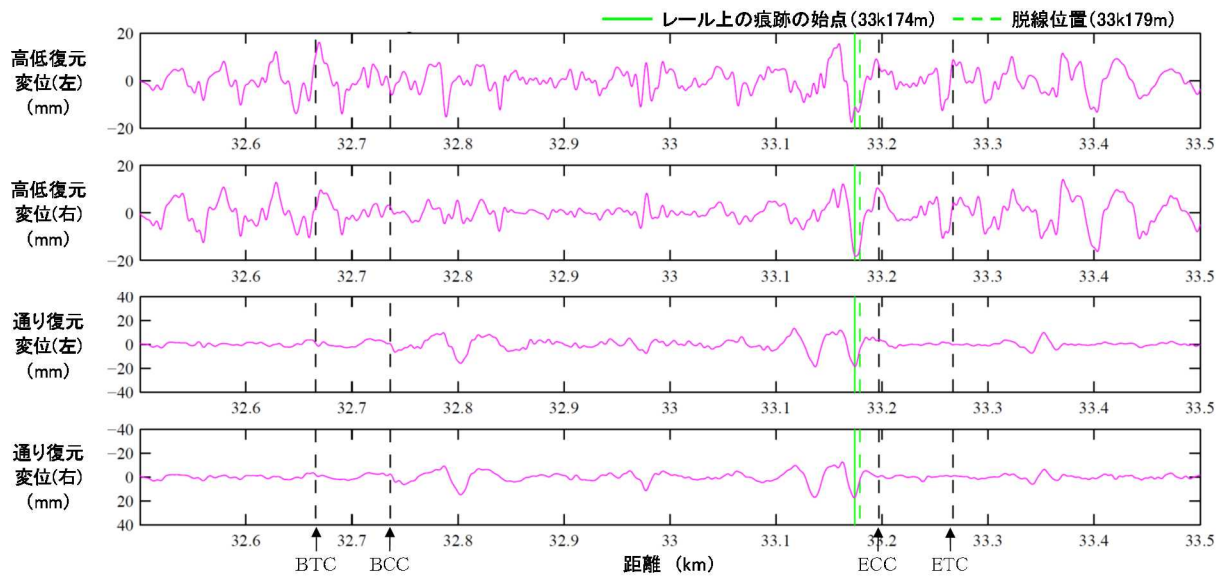


付図19 数値シミュレーションによる 走行試験の再現波形と測定波形との照合 (半径300mの曲線を含む区間を用いた数値 シミュレーションの妥当性の確認)

貨車:コキ107 軌道データ:平成26年11月5日(走行試験直前) 積載:走行試験時相当(平成26年11月21日)
走行速度:60km/h まくらばねダンパ:非線形切替え 車輪・レール間摩擦係数:0.5

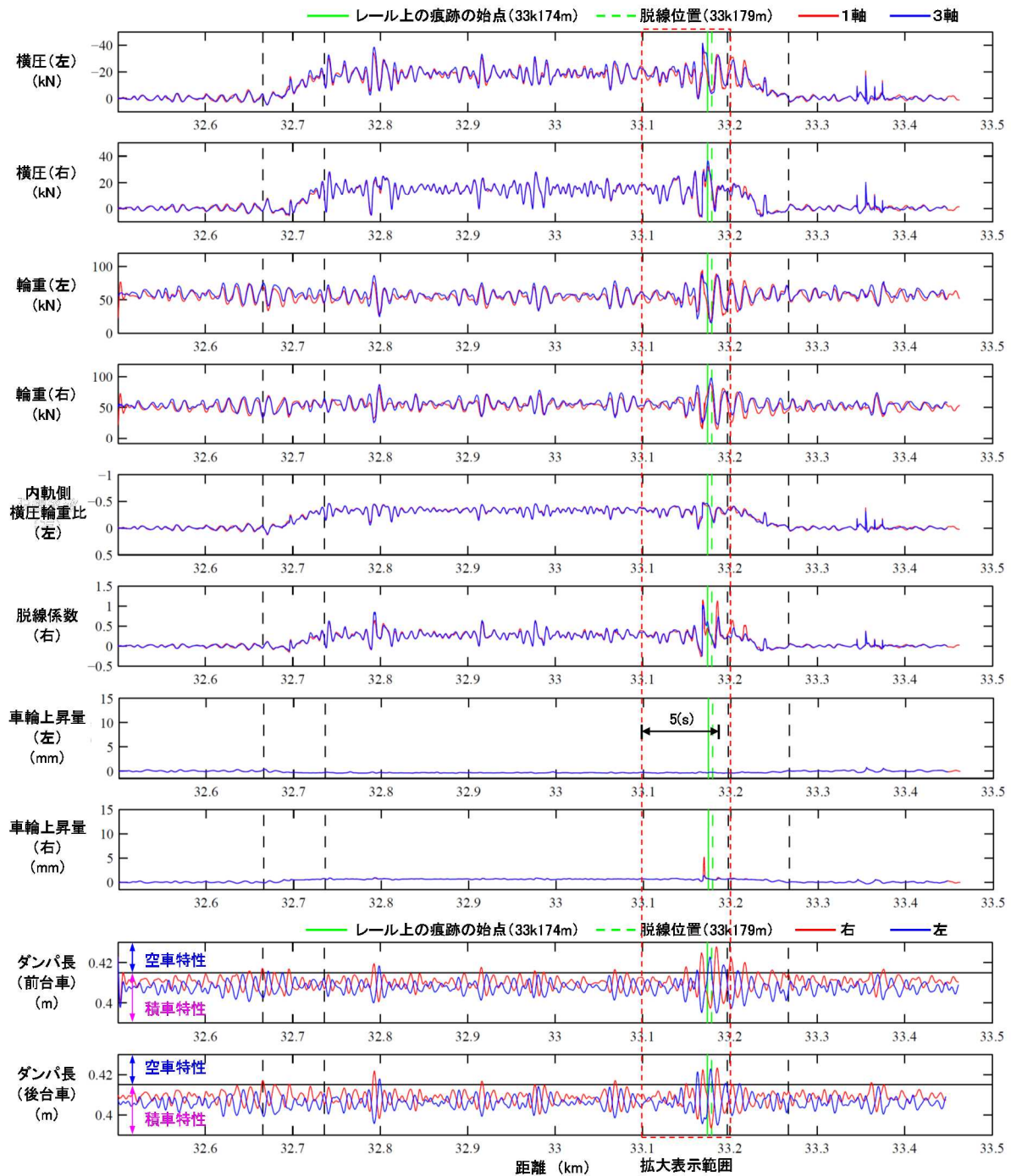


付図 20 数値シミュレーションに入力した軌道状態
 (事故直前に測定した軌道変位の復元波形)



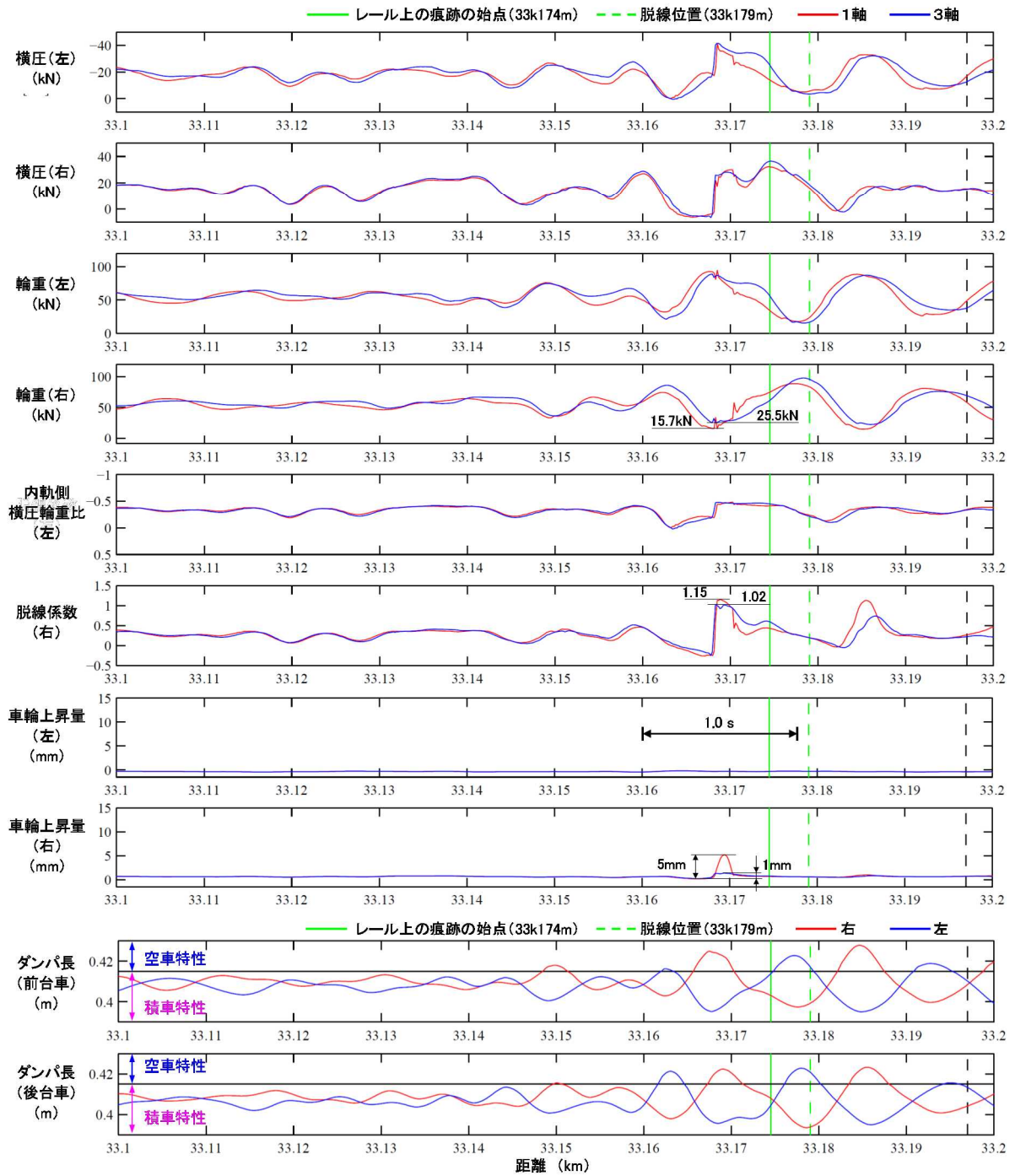
付図 2 1 事故再現シミュレーションの結果 (新聞巻取紙の積載位置：基本位置) (その 1、全区間表示)

貨車:コキ107 軌道データ:平成26年6月3日 積載:事故時相当 新聞巻取紙:基本位置
走行速度:63km/h まくらばねダンパ:非線形切替え 車輪・レール間摩擦係数:0.5



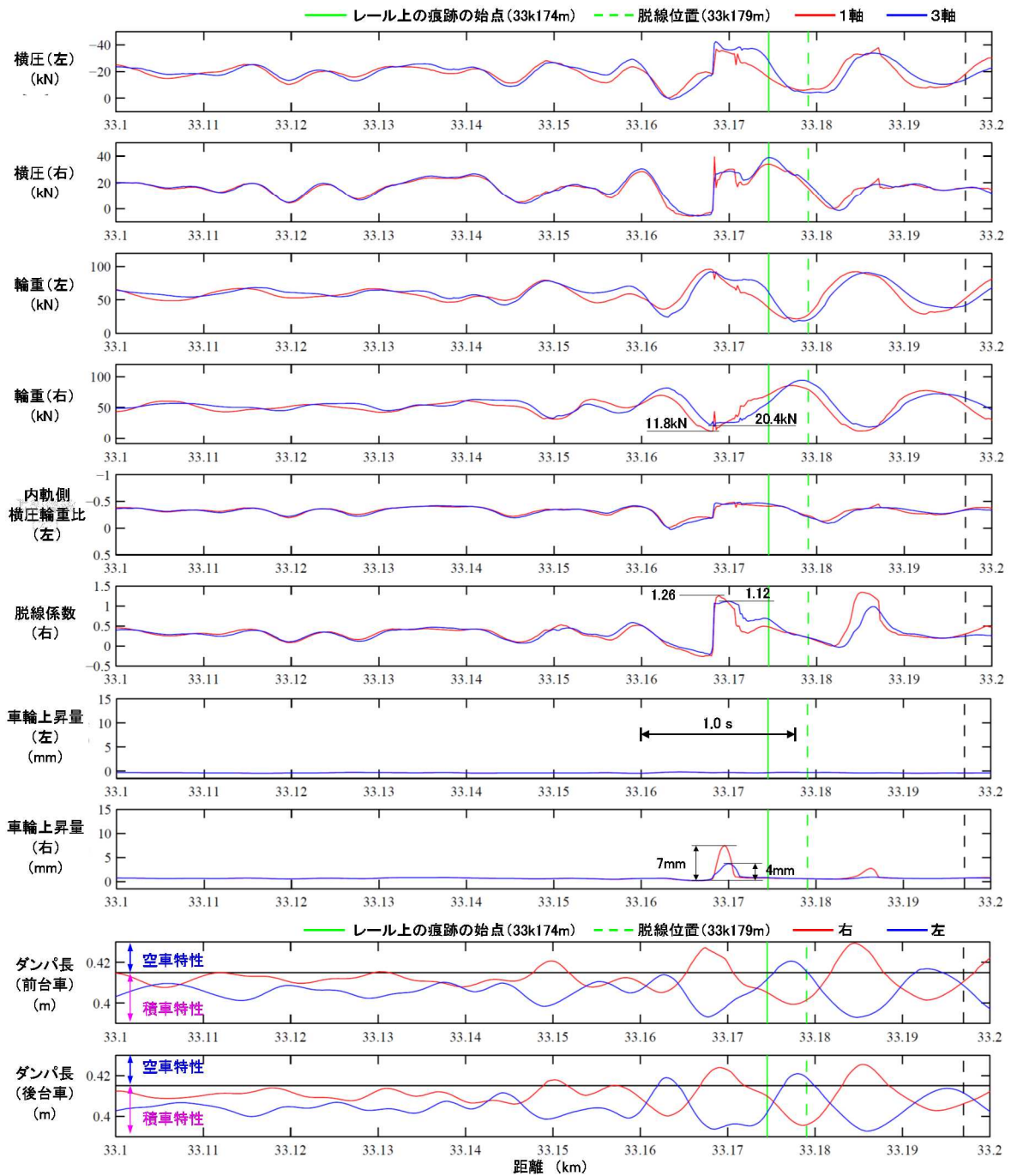
付図 2 1 事故再現シミュレーションの結果 (新聞巻取紙の積載位置：基本位置) (その 2、拡大表示)

貨車:コキ107 軌道データ:平成26年6月3日 積載:事故時相当 新聞巻取紙:基本位置
走行速度:63km/h まくらばねダンパ:非線形切替え 車輪-レール間摩擦係数:0.5



付図 2 2 事故再現シミュレーションの結果 (新聞巻取紙の積載位置：基本位置から 0.1m 偏積)

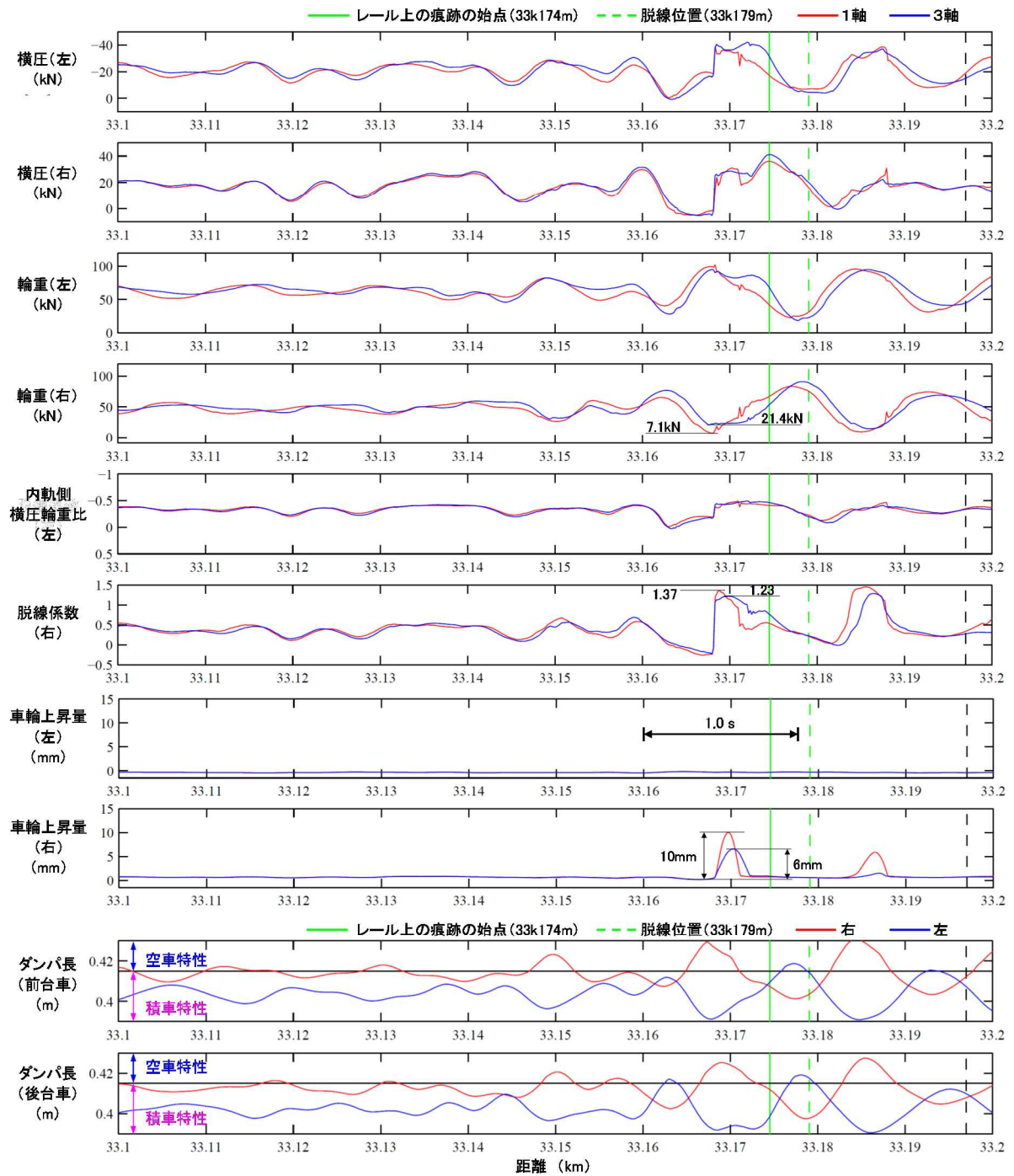
貨車:コキ107 軌道データ:平成26年6月3日 積載:事故時相当 新聞巻取紙:基本位置から0.1m内軌側へ移動
走行速度:63km/h まくらばねダンパ:非線形切替え 車輪・レール間摩擦係数:0.5



付図 2 3 事故再現シミュレーションの結果

(新聞巻取紙の積載位置：基本位置から 0.2m 偏積、
車輪・レール間摩擦係数：0.5)

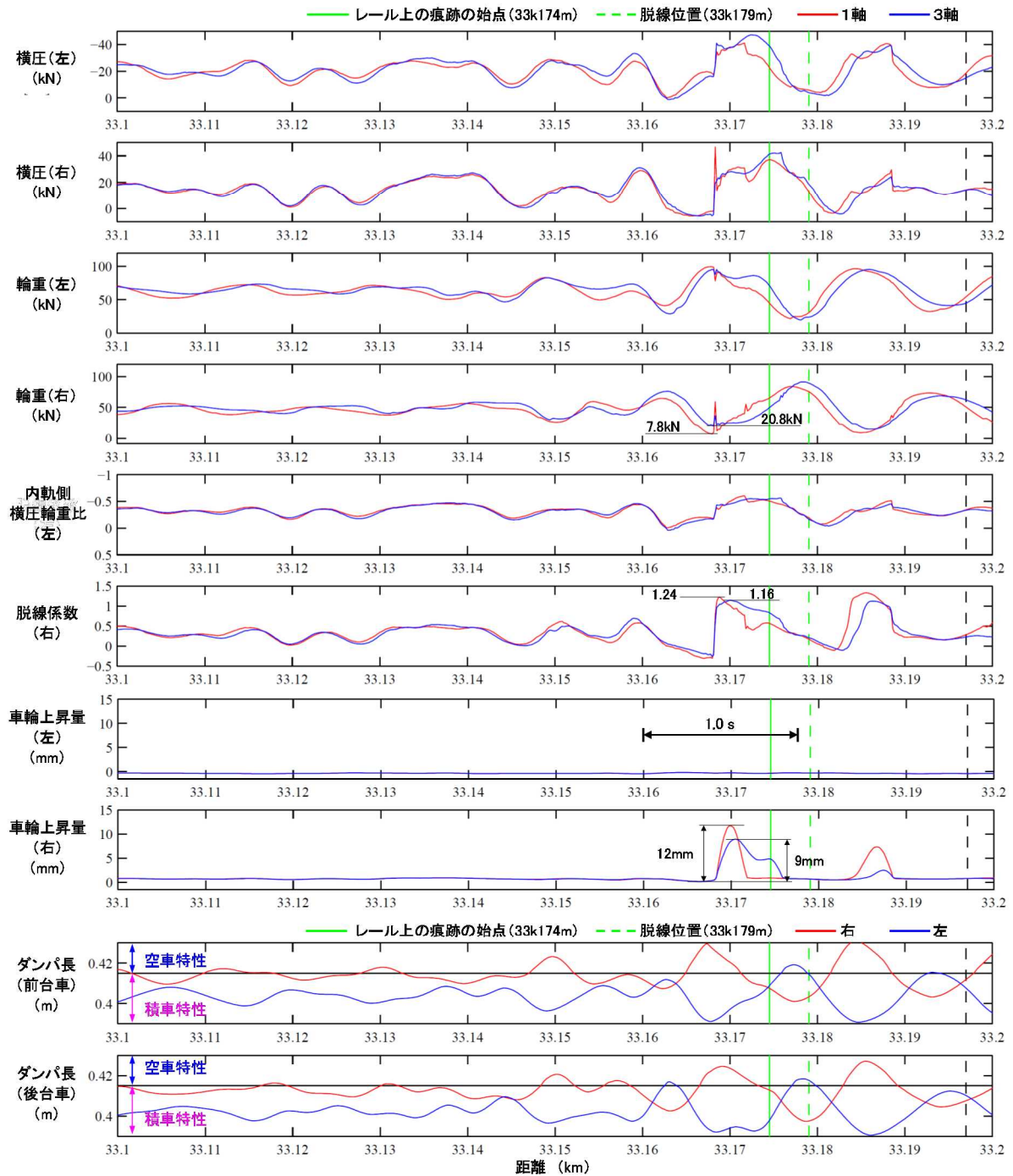
貨車:コキ107 軌道データ:平成26年6月3日 積載:事故時相当 新聞巻取紙:基本位置から0.2m内軌側へ移動
走行速度:63km/h まくらばねダンパ:非線形切替え 車輪・レール間摩擦係数:0.5



付図 2 4 事故再現シミュレーションの結果

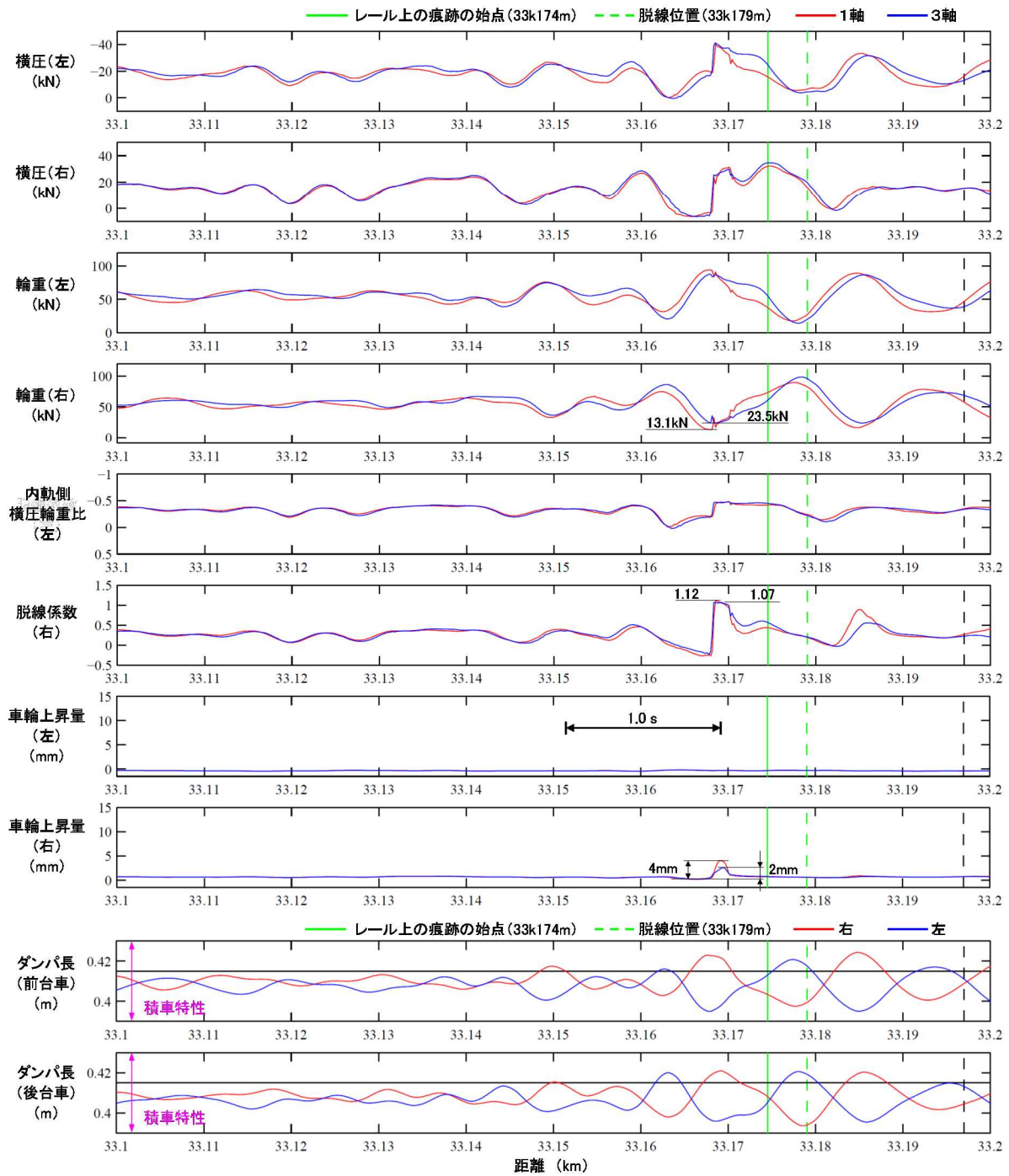
(新聞巻取紙の積載位置：基本位置から 0.2m 偏積、
車輪・レール間摩擦係数：0.7)

貨車:コキ107 軌道データ:平成26年6月3日 積載:事故時相当 新聞巻取紙:基本位置から0.2m内軌側へ移動
走行速度:63km/h まくらばねダンパ:非線形切替え 車輪・レール間摩擦係数:0.7



付図25 事故再現シミュレーションの結果 (まくらばねダンパの減衰特性：“積車特性”に固定、 新聞巻取紙の積載位置：基本位置)

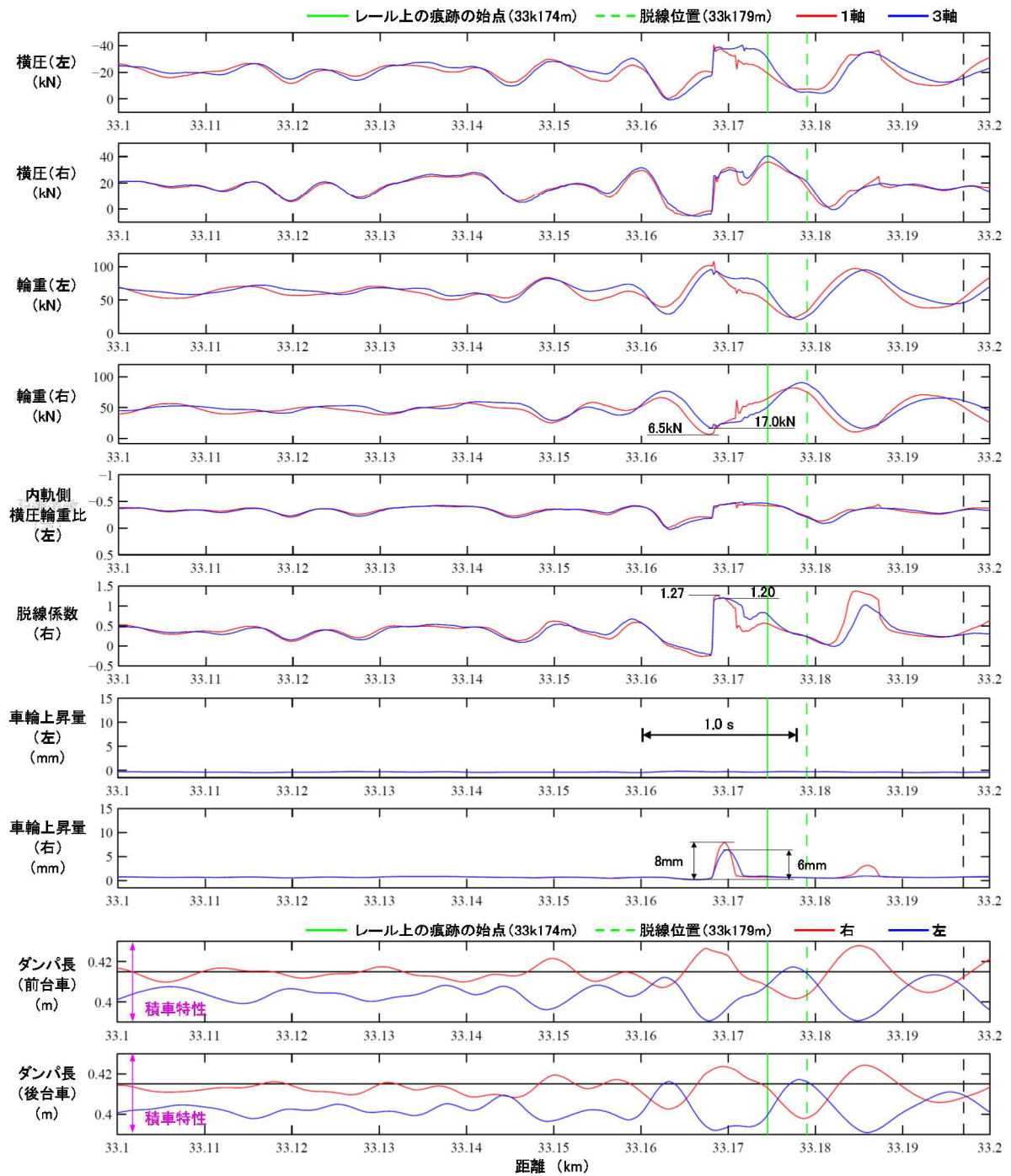
貨車:コキ107 軌道データ:平成26年6月3日 積載:事故時相当 新聞巻取紙:基本位置
走行速度:63km/h まくらばねダンパ:“積車特性”に固定 車輪-レール間摩擦係数:0.5



付図 2 6 事故再現シミュレーションの結果

(まくらばねダンパの減衰特性：“積車特性”に固定、
新聞巻取紙の積載位置：基本位置から 0.2m 偏積)

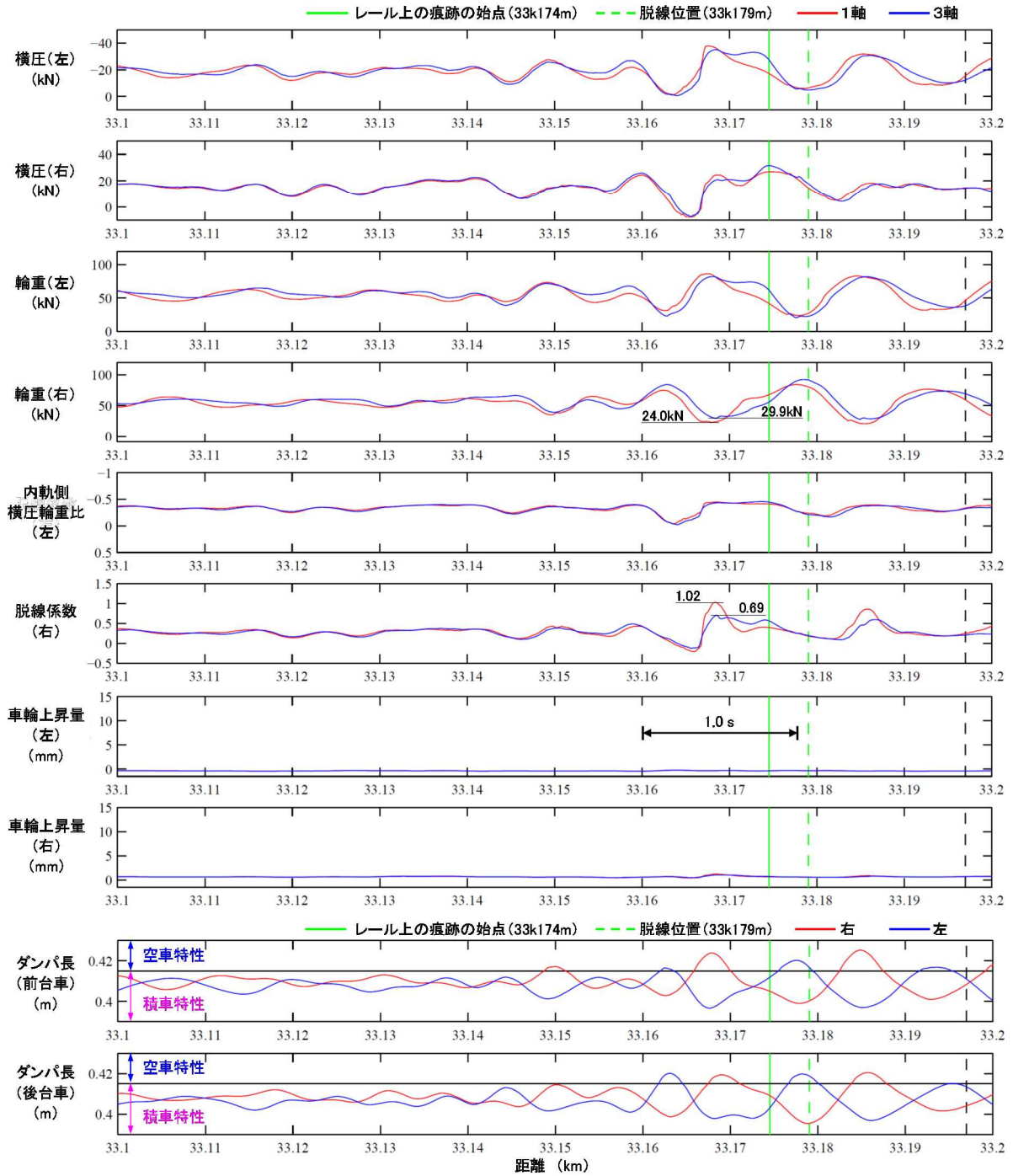
貨車:コキ107 軌道データ:平成26年6月3日 積載:事故時相当 新聞巻取紙:基本位置から0.2m内軌側へ移動
走行速度:63km/h まくらばねダンパ:“積車特性”に固定 車輪-レール間摩擦係数:0.5



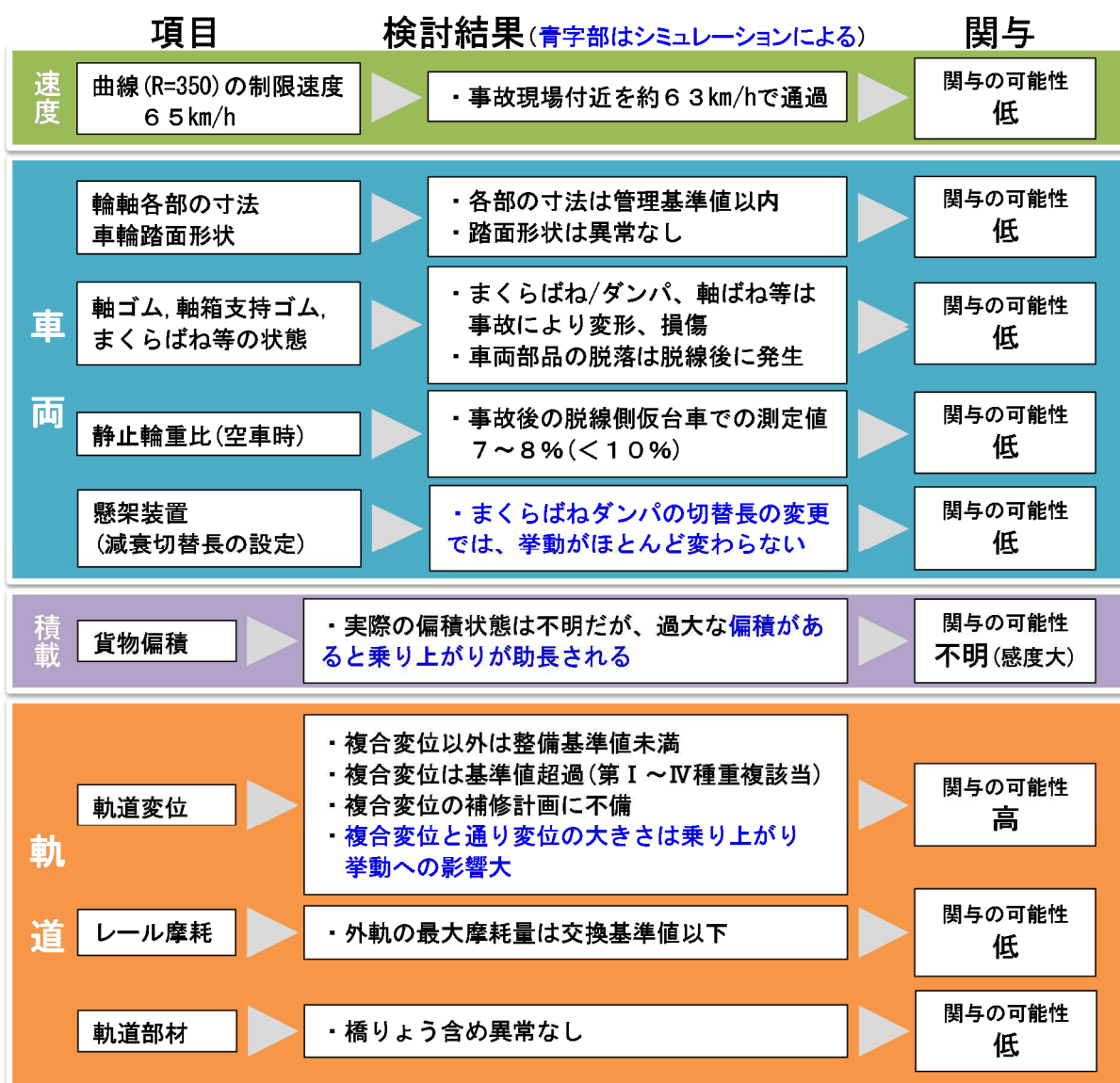
付図 2 7 事故再現シミュレーションの結果

(軌道変位 \leq 整備目標値、新聞巻取紙の積載位置：基本位置)

貨車:コキ107 軌道データ:平成26年6月3日を縮小 積載:事故時相当 新聞巻取紙:基本位置
 走行速度:63km/h まくらばねダンパ:非線形切替え 車輪-レール間摩擦係数:0.5



参考図 1 脱線の要因の推定



参考図2 複合変位について

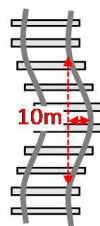
複合変位とは

軌道変位の管理指標の一つ。通り変位と水準変位が逆位相で複合している変位
算出式： $複合変位 = 通り変位 - 1.5 \times 水準変位$

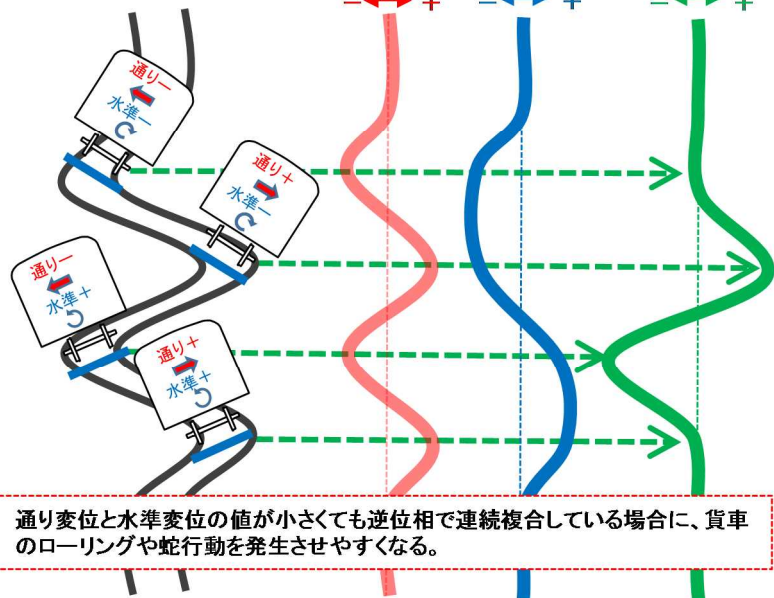
通り変位と水準変位の逆位相

●通り変位

レール長さ方向の左右凹凸



線路形状と複合変位

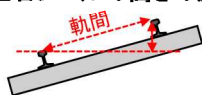


通り変位と水準変位の値が小さくても逆位相で連続複合している場合に、貨車のローリングや蛇行動を発生させやすくなる。

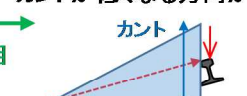
曲線半径が小さくなる方向が+

●水準変位

左右レールの高さの差



カントが低くなる方向が-



逆位相

通り変位 +

水準変位 +

複合変位 +

導入の経緯:

貨車の本線走行中の乗り上がり脱線は昭和50年代半ばまで頻発しており、これらの脱線事故の原因は、競合脱線(車両・軌道ともに管理基準値内であるが、様々な要素が競合することによって発生した脱線)とされた。昭和38年11月には貨車の脱線による多重衝突事故となり死者161名を出す大惨事となった東海道本線鶴見事故が発生し、当時の国鉄は調査委員会を発足させ、北海道の根室本線の廃線跡を利用した狩勝実験線での実車による脱線再現試験やシミュレーションなどにより、種々の検討を行った。その結果車両・軌道両面からの競合脱線防止対策が確立された。

複合変位は軌道に関する防止対策の一つで昭和40~50年代に掛けて研究され、全国の貨物列車走行線区に適用された。昭和57年には複合変位の整備標準が制定されほぼ現在の形となり、国鉄分割民営化以降は各JR会社の社内規程に盛り込まれ実施されている。

複合変位の管理基準

複合変位が大きく、繰り返されるほど、車両がローリング共振を起こし脱線しやすくなることから、下記の基準により管理している。

種別	波数	波高	波形例
第I種	80m間に4箇所以上	18mm以上	
第II種	60m間に3箇所以上	21mm以上	
第III種	30m間に2箇所以上	25mm以上	
第IV種	1箇所	35mm以上	

※ 左右のピーク位置の離れが10m未満の場合は一つの複合変位と見なし、左右の最大値とする。

【補修時期】

- ・基準に達した場合は1箇月以内に補修する。
- ・基準に達した複合変位種別が重複して存在する場合や、変位が著しくその基準値を超過する場合は、補修の時期を早める。