

RA2023-2

鉄 道 事 故 調 査 報 告 書

I 東京都交通局 日暮里・舎人ライナー 舎人公園駅構内
列車脱線事故

令和5年2月16日

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

運輸安全委員会
委員長 武田 展雄

《参 考》

本報告書本文中に用いる分析の結果を表す用語の取扱いについて

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

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

I 東京都交通局 日暮里・舎人ライナー
舎人公園駅構内
列車脱線事故

鉄道事故調査報告書

鉄道事業者名：東京都交通局

事故種類：列車脱線事故

発生日時：令和3年10月7日 22時41分ごろ

発生場所：東京都足立区

日暮里・舎人ライナー 舎人公園駅構内

令和5年1月16日

運輸安全委員会（鉄道部会）議決

委員長 武田展雄

委員 奥村文直（部会長）

委員 石田弘明

委員 早田久子

委員 鈴木美緒

委員 新妻実保子

要旨

<概要>

東京都交通局の日暮里・舎人ライナー日暮里駅みぬまだいしんすいこうえん発見沼代親水公園駅行き下り第2265A列車は、令和3年10月7日、舎人公園駅を定刻（22時41分）に出発した。その後間もなく、指令区にいた指令員は地震の揺れを感知し、一斉に列車の出発抑止を行うボタンを扱い、各駅に停車中の全列車の出発を抑止した。さらにその直後、千葉県北西部を震源とする地震の発生を知らせる早期地震警報システムの鳴動を確認し、列車の一斉非常停止を行うボタンを扱い、走行中の全列車を非常停止させた。この操作によって、第2265A列車は舎人公園駅構内の分岐部で停止した。その後、現場に到着した係員が同列車を確認したところ、1両目前台車の左右の走行輪が走行路から右側に落ちて脱線していた。

列車には乗客29名が乗車しており、そのうち8名が負傷した。

<原因>

本事故は、令和3年10月7日22時41分ごろに発生した千葉県北西部を震源とする地震の地震動を受けたため、列車が脱線したものと考えられる。

脱線に至る過程については、上記の地震動により列車がロール方向に大きく揺すられ、1両目前台車の右側分岐輪が案内軌条に乗り上げ、案内軌条が脱落した。その影響で、同台車は走行路の右寄りを走行したため、その先の走行路左側に設置された固定案内板の外側に同台車の左側分岐輪が逸脱し、脱線したものと考えられる。

<勧告等>

○ 勧告

本事故は、千葉県北西部を震源とする地震の地震動により、1両目前台車の右側分岐輪が案内軌条に乗り上げたため、列車が脱線に至ったものと考えられる。なお、同分岐輪の乗り上げは、事故現場付近の構造物の固有振動数と車両の固有振動数がともに1.0Hz付近に存在していることに加え、事故現場付近の構造物の回転挙動が車両のロール方向の振動を助長し、台車の左右の走行輪が交互に持ち上がったことにより生じたと考えられる。

また、本事故発生後、指令員は脱線した第2265A列車を移動させて乗客を避難誘導させるため電力指令の係員に指示して事故現場付近のき電区間に再送電を行ったが、その処置は同列車が脱線していることを確認せずに行われ、同列車が集電していた電車線付近から火花が散り、その煙が車内に入ったと考えられる。

運輸安全委員会は、本事故の調査結果を踏まえ、輸送の安全を確保するため、東京都交通局に対し、運輸安全委員会設置法第27条第1項の規定に基づき、以下のとおり勧告する。

- (1) 同局は、事故現場付近の施設に、地震動の影響により列車の案内輪や分岐輪が案内軌条に乗り上げないようにするための対策を講ずること。
- (2) 同局は、震度5弱以上の地震発生時は全区間の車両及び施設の状態を確認し、その確認が完了するまでは再送電を行わないといった乗客の安全確保を最優先とした避難誘導の方法や手順を整理し、異常時対応マニュアルにも記載して、関係係員に周知徹底すること。

目 次

1	鉄道事故調査の経過	1
1.1	鉄道事故の概要	1
1.2	鉄道事故調査の概要	1
1.2.1	調査組織	1
1.2.2	調査の実施時期	1
1.2.3	経過報告	2
1.2.4	原因関係者からの意見聴取	2
2	事実情報	2
2.1	本事故発生の経過	2
2.1.1	列車の運行状況	2
2.1.2	事故発生時の状況	2
2.1.3	事故現場付近の送電処置に関する記録	6
2.1.4	運転状況の記録	8
2.2	人の死亡、行方不明及び負傷	10
2.2.1	乗客の乗車位置に関する情報	10
2.2.2	乗客の負傷に関する情報	11
2.2.3	救護に関する情報	12
2.3	施設等に関する情報	13
2.3.1	路線の概要	13
2.3.2	施設の概要	13
2.3.3	指令区の運行管理体制	17
2.3.4	事故現場付近の軌道等の整備に関する情報	17
2.3.5	ITV監視装置用カメラの映像記録に関する情報	19
2.4	車両に関する情報	19
2.4.1	本件列車に関する情報	19
2.4.2	車両の走行装置の概要	20
2.4.3	車両の整備に関する情報	21
2.4.4	軌道モニタリングシステム用カメラの映像記録に関する情報	21
2.5	地震に関する情報	22
2.6	同局の地震発生時の対応に関する情報	23
2.7	車両及び施設の損傷、痕跡に関する情報	25
2.7.1	本事故発生後の本件列車の状態	25
2.7.2	車両の損傷、痕跡の状況	25

2.7.3	事故現場付近の施設の損傷、痕跡の状況.....	27
2.8	地震時の構造物の応答解析及び車両の挙動解析に関する情報.....	34
2.8.1	事故現場付近の地表面地震動波形の推定.....	35
2.8.2	事故現場付近の構造物の振動特性と地震時の挙動解析.....	39
2.8.3	事故現場付近の構造物天端の振動波形の推定.....	42
2.8.4	地震時の車両挙動解析.....	44
2.8.5	解析のまとめ.....	49
2.9	気象に関する情報.....	50
2.10	本件列車以外の編成車両の在線位置と損傷状況.....	50
3	分析.....	51
3.1	本事故前の施設、車両等に関する分析.....	51
3.1.1	軌道等の整備.....	51
3.1.2	車両の整備.....	51
3.2	脱線に関する分析.....	52
3.2.1	千葉県北西部地震との関連性.....	52
3.2.2	脱線に至る過程.....	53
3.2.3	地盤の影響.....	54
3.2.4	構造物と車両の固有振動数の影響.....	54
3.2.5	地震時の構造物の回転挙動による影響.....	54
3.2.6	案内軌条の脱落による影響.....	54
3.3	施設及び車両の損傷に関する分析.....	54
3.3.1	案内軌条の損傷.....	54
3.3.2	走行路の損傷.....	55
3.3.3	固定案内板の損傷.....	56
3.3.4	電車線の脱落.....	56
3.3.5	伝送ループ線の破損.....	56
3.3.6	案内輪・分岐輪の損傷.....	56
3.4	乗客の負傷に関する分析.....	57
3.5	同局の地震対策に関する分析.....	57
3.6	避難誘導に関する分析.....	59
4	結論.....	59
4.1	分析の要約.....	59
4.2	原因.....	63
5	再発防止策.....	63
5.1	必要と考えられる再発防止策.....	63

5.2 事故後に同局が講じた措置.....	64
6 勸告.....	64

添付資料

付図1 事故現場付近の概要図.....	66
付図2 事故現場付近の施設.....	68
付図3 本事故発生後の本件列車の状態.....	69
付図4 本件列車の主な損傷状況.....	70
付図5 案内輪・分岐輪の損傷状況.....	72
付図6 施設の主な損傷、痕跡の状況.....	74
付図7 振動計の仮設箇所.....	76
付図8 車両モデルに与えた入力振動波形.....	80

1 鉄道事故調査の経過

1.1 鉄道事故の概要

東京都交通局の日暮里・舎人ライナー日暮里駅発見沼代親水公園駅行き下り第2265A列車は、令和3年10月7日、舎人公園駅を定刻（22時41分）に出発した。その後間もなく、指令区にいた指令員は地震の揺れを感知し、一斉に列車の出発抑止を行うボタンを扱い、各駅に停車中の全列車の出発を抑止した。さらにその直後、千葉県北西部を震源とする地震の発生を知らせる早期地震警報システム^{*1}の鳴動を確認し、列車の一斉非常停止を行うボタンを扱い、走行中の全列車を非常停止させた。この操作によって、第2265A列車は舎人公園駅構内の分岐部で停止した。その後、現場に到着した係員が同列車を確認したところ、1両目（以下、車両は前から数え、前後左右は列車の進行方向を基準とする。）前台車の左右の走行輪が走行路から右側に落ちて脱線していた。

列車には乗客29名が乗車しており、そのうち8名が負傷した。

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、令和3年10月8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。

関東運輸局は、本事故調査の支援のため、職員を事故現場に派遣した。

本事故は千葉県北西部地震が関与した可能性が考えられることから、同地震と本事故発生に関連性を明らかにするため、構造物の地震応答解析を公益財団法人鉄道総合技術研究所に委託したほか、車両の挙動解析を三菱重工エンジニアリング株式会社に委託した。

1.2.2 調査の実施時期

令和3年10月8日、10日	現場調査及び口述聴取
令和3年12月21日～令和4年3月25日	委託調査（地震時の構造物挙動解析その1）
令和4年6月21日、22日	車両調査
令和4年4月25日～8月31日	委託調査（地震時の構造物挙動解析その2）
令和4年4月26日～8月31日	委託調査（地震時の車両挙動解析）

*1 「早期地震警報システム」とは、緊急地震速報配信事業者（ANET）より日暮里・舎人ライナー沿線に震度4以上の地震が発生する予測情報が発せられた時に警報を発し、指令員に知らせるシステムのことである。同システムの動作時は、一斉非常列車停止を行う。

1.2.3 経過報告

令和4年9月29日、その時点までの事実調査結果に基づき、国土交通大臣に対して経過報告を行い、公表した。

1.2.4 原因関係者からの意見聴取

原因関係者からの意見聴取を行った。

2 事実情報

2.1 本事故発生 の経過

2.1.1 列車の運行状況

東京都交通局（以下第6章を除き「同局」という。）によると、脱線した第2265A列車（以下第6章を除き「本件列車」という。）の編成車両は、事故発生当日、05時17分舎人公園駅（日暮里駅起点7k748m、以下「日暮里駅起点」は省略する。）発第565A列車として無人の自動運転システム（ATO*2）により運行を開始した後、本事故発生までに日暮里駅と見沼代親水公園駅の区間を39往復運行していた。本件列車として運用された後は、舎人車両基地（以下「車両基地」という。）に入庫する予定であった。当日は出庫から本事故の発生まで、列車の遅延や車両に関わる異常の検出はなく運行していた。

本件列車が舎人公園駅（下り線）を22時41分ごろに出発して間もなく、指令区にいた指令員は地震の揺れを感知し、一斉に列車の出発抑止を行うボタンを扱い、各駅に停車中の全列車の出発を抑止した。さらにその直後、千葉県北西部を震源とする地震（以下第6章を除き「千葉県北西部地震」という。）の発生を知らせる早期地震警報システムが鳴動し、指令員が一斉非常列車停止ボタンを扱ったことで本件列車では非常ブレーキが動作し、7k917m付近の分岐部で停止した。

（付図1 事故現場付近の概要図 参照）

2.1.2 事故発生時の状況

(1) 指令員の口述等

事故発生時の状況については、指令区で列車の運行を監視していた指令員3名及び事故後に応援で対応した非番の指令員2名の口述並びに事故当時の指令区の音声記録を総合すると、概略、以下のとおりであった。

*2 「ATO」とは、自動列車運転（Automatic Train Operation）の略称であり、出発制御、定時運転制御、定位置停止制御等を自動で行うシステムである。

22時41分ごろ、指令員は地震の揺れを感じたため、マニュアルに従い全線抑止ボタンを扱い、各駅に停車中の全列車の出発を抑止した。その直後に早期地震警報システムが鳴動したため、指令員は一斉非常列車停止ボタンを扱い、走行中の全列車を非常停止させた。列車への送電は、車両基地構内及び足立小台駅付近の地盤上に設置している地震計が震度5弱を検知したことで、全区間で自動的に停止した。その後、指令員は本線に在線している全ての列車の乗客に対し、震度5弱の地震が発生し全線で運転を見合わせていること、車外に出ないことなどのアナウンスを繰り返し行うとともに、在線位置の確認や保守区の係員に対し指令室への集合の指示を行った。

本事故発生時、本線には計11編成の列車が在線していた。そのうち、6編成は駅構内に停止しており、指令員は各列車の停止位置を確認して乗客の降車対応を行った。残りの5編成の列車は駅間に停車しており、震度5弱以上を検知したシステムがき電を自動停止していたため、指令員は電力指令の係員に救援区間ごとに再送電の指示を行い、速度5km/h以下の制限をかけて、軌道モニタリングシステム*3やI T V監視装置*4のカメラを用いながら、いつでも非常停止できる状態で1編成ずつ隣駅まで列車を移動させていた。

22時48分ごろ、本件列車の乗客から、車内の非常通報器を通じて「舎人駅まで（列車を）動かしてください。頭から血を流している人がいます」という通報が入ったため、指令員は次駅の舎人駅まで列車を動かして救援手配を行う旨を回答した。しかし、このとき、本件列車を含む3列車の在線区間には、再送電を行うことができなかった。

22時55分ごろ、指令員は本件列車の車内アナウンスを使用して上記の通報者を呼び出し、けが人の状況を確認していたところ、同通報者から「火花があがっていましたが」という話があった。

22時57分ごろ、指令員は本件列車の乗客から「車内に煙が充満している」との通報を受けたため、舎人公園駅で勤務していた係員2名に対し、本件列車に急行するよう指示した。

23時03分ごろ、指令員は本件列車の乗客に対し、「この電車は、現在動かすことができないため、駅の係員が救助に向かっています。救助の係員到着まで、今しばらくお待ちください」という車内アナウンスを流した。

23時04分ごろ、指令員は上記の通報者を呼び出し、けが人の状況を再

*3 「軌道モニタリングシステム」とは、車内に搭載されたカメラから電車線や走行路の映像を遠隔で確認するシステムである。車載カメラの映像は無線によって軌道等に設置された地上通信設備のアンテナに受け渡され、基幹の光ネットワークを介して指令区等に伝送され、リアルタイムに映像を確認することができる。

*4 「I T V監視装置」とは、ホームやコンコースなどの状況を指令区で監視するための装置であり、各駅に専用カメラが設置されている。また、監視している全ての映像を、車両基地及び各駅で録画している。

度確認し、救急車を手配していることを伝えた。

23時13分ごろ、舎人公園駅から向かった係員2名が本件列車に到着し、指令員は、同係員から本件列車の先頭車両が脱線して動かせる状況ではないこと、本件列車の乗客を降車させて舎人公園駅に誘導することの連絡を受けた。

23時19分ごろ、上記の係員は、指令員から乗客の避難誘導区間のき電停止に関する連絡を受け、本件列車の乗客を避難誘導させる準備を始めた。

23時27分ごろ、指令員は、上記の係員から乗客の避難誘導中であること、救急隊が到着したこと、また本件列車が脱線して走行不能な状態にあるとの連絡を受けたため、当日の営業中止を決定した。

(2) 乗客の口述

事故発生時の状況については、本件列車の乗客4名によれば、概略、以下のとおりであった。

① 乗客A（3両目2人掛け席窓側最前列に着座）

3両目の2人掛け席の窓側に、進行方向に対し背を向けて座っていた。同じ車両には5人くらい乗っていて、立っている乗客はいなかったと思う。携帯電話の緊急地震速報を知らせるアラームが鳴ってから2～3秒後ぐらいに、「これは落ちたな」という衝撃を感じた。その時は、何かにつかまっていなくて投げ飛ばされるような状況だった。その衝撃は、お尻の下から上に押されるような感じで、その衝撃で椅子の金属製の手すりに頭を強打し、左まぶたが切れて流血した。その後、列車はしばらく「ガッタンガッタン」しながら動いていて、徐々に減速していった感じであった。列車が止まってから2両目の車両をのぞき込んだ時に、誰かが床に倒れ込んでいるのを見つけた。

その後、「通電します」という車内アナウンスがあり、「あれ？、大丈夫なのかな？脱線していないのかな？」と思った。通電の瞬間には「パチパチパチ」という音とともに火花が見えて、ケーブルが焦げたような臭いもしたので、「これ爆発するのかな？」と思った。皆は後方の車両に移動していった。

② 乗客B（3両目後方ボックス席窓側に着座）

3両目後方のボックス席の窓側に、進行方向を向いて座っていた。同じ車両には、自分を入れて5人くらいが乗っていて、1人掛けの席は全部乗客が座っていて、2人掛けの席に1人座っていた。立っている人はいなかった。1両目は見ていないが、2両目には5～6人程度、4両目にはまあまあ座っている方がいて、5両目には結構乗っていた。事故の直前まで

寝ていて、列車が減速を始めて座席の間に膝からずれ落ちる感じになり、それで目が覚めた。そのタイミングで左右方向の大きな揺れがきて、座っていた座席から身体が右側のドア付近まで飛ばされて頭等を打った。列車が止まる時は、普通のブレーキで止まる時よりも「ドン」という衝撃を感じた。列車が止まってからさらに揺れが大きくなり、「緊急地震速報が入ったので列車を止めました。安全確認をするので・・・」という内容の車内アナウンスが流れ、その後もアナウンスは続いていたが、列車の「ボタンボタン」という音がすごくて全く聞こえなかった。その時は、列車が線路から下に落ちるのではないかというくらい揺れたので、座っていたボックス席に戻り、座席の間にうずくまっていた。車内にいても、先頭車両がおかしな方向を向いて曲がっているのが分かった。

しばらくして、「一度電源を落として、再度電源を入れて列車が動くか試すので一回暗くなります」という内容の車内アナウンスが流れて車内の電気が一瞬消え、その直後に1両目から3両目にかけて順番に車両の左右両側から火花が散っていくのが見えた。その火花の煙が開いている窓から入り込み、車内の視界が悪くなるくらいのもやがかかり、ゴムの焦げるような臭いが立ち込めた。非常通報器で係員と連絡を取り合っている乗客がいて、ドアが開けられないか聞いていたが、開けられないということだったので、1両目から3両目にいた乗客は、後ろの4両目、5両目の方に移動した。移動後も、同じ乗客が非常通報器で係員と連絡を取り合っ、「(係員) 列車を動かしますね」、「(乗客) 火花が散った後だから動かさない方がよいのではないですか?」というようなやりとりをしていた。

③ 乗客C（4両目1人掛け席最前に着座）

4両目の1人掛け席に、進行方向に対し背を向けて座っていた。同じ車両の1人掛けの席は全部乗客が座っていて、6人掛けのロングシートには3人、ボックス席には2人座っていたと思う。立っている人はいなかった。携帯電話の緊急地震速報を知らせるアラームが鳴った時には、身体が椅子から宙に飛ばされており、気付いた時には腰から床に落ちていた。この時の感覚は、地震が来たという感じではなく、強い衝撃を最初に感じ、その衝撃は列車が何かの障害物に突然ぶつかって「ドン」と急激に止められるような感覚だった。床に落ちた後、突き上げられるような揺れで身体が反対向きになって床に胸を打ちつけ、その直後に横揺れが来たのでポールにつかまろうとしたが、それもできずに椅子や扉に全身を打ちつけ、最終的に扉付近まで投げ出された。他の乗客もほとんど床に投げ出されていた。

列車が止まってから、「これから通電作業をします」、「電気が戻りました。

近くの駅まで自動的に列車が移動しますので、そこから避難してください」という内容の車内アナウンスが流れたが、その通電時に「パチン、パチン、パチン」という火花の散る音が聞こえ、モクモクした白い煙が車内に立ち込め、ビニールが焼けるような焦げ臭いにおいがした。このまま通電作業をしたらそのまま火がついてしまうのではないかという危険を感じた。前方の車両から後頭部をけがされている方が他の乗客に抱えられながら避難してきて、6人掛けのロングシートに寝かされていた。車内は興奮状態で、顔に傷やけがをされている乗客が相当いた。

④ 乗客D（4両目後方ボックス席に着座）

4両目後方のボックス席に、進行方向を向いて座っていた。対面に、乗客が1人座っていた。事故の直前は眠っていて、周りの乗客の携帯電話の緊急地震速報を知らせるアラームで目が覚めた。その時、列車は左右方向に揺れながら、まだ加速していたと思う。その後、揺れが激しくなってきたから減速していったが、そのまま脱線したという感じだった。脱線した最後の瞬間の衝撃が大きく、車体が大きく左に振られ、席が「ドカン」と持ち上がったような感じになり、車内の半分くらいの乗客がひっくり返った。この時、前方につんのめる感覚はなく、対面に座っていた乗客とぶつかりながら左側の壁の方に投げ出され、左肘を壁に打ちつけて捻挫した。

前方の2両目に移動した時、頭を強打した乗客がいて、流血がひどい状況だったため、他の乗客と一緒に手当てに当たった。非常通報器を使って係員に連絡し、列車が止まっていること、頭から血を流して倒れている乗客がいること、できれば近くの駅まで動かして降ろさせて欲しいことを伝えた。その時は、「今、動かせない状況のため、少しお待ちください」と言われた。

その後、「通電します」と車内アナウンスがあってその瞬間だけ暗くなり、その直後に左側の電車線付近から火花が見えた。そこから煙が出て、半開きになっている窓から煙が入り込んで車内に充満したため、同じ車両内の乗客全員が後方の車両に避難した。その時、頭から流血している乗客は動かさない方がよいと思ったが、火災の危険もあるため、負傷した乗客を他の乗客と一緒に4両目まで抱えて連れていき、ロングシートに寝かせた。4両目に移動した後、再び非常通報器を使って火花や煙の状況を伝えた。

2.1.3 事故現場付近の送電処置に関する記録

事故現場付近のき電区分を図1に示し、事故発生当時の同局の事故現場付近の送電処置等に関する記録を表1に示す。同記録には、送電処置や応動などの発生時刻、

送電処置や応動などの種別を表す状変種別、操作状変に係る変電所名、送電処置や応動などの対象となる遮断器名や状変の要因などを表す詳細情報、遮断器の動作状態や電圧の加圧状態などを表す動作情報、電力管理システム*5からの制御情報を表す状態情報が記載されていた。同記録によれば、22時41分52秒に同局の地震計が震度5弱を検知したことで、日暮里・舎人ライナー（以下「本路線」という。）の全変電所のき電用遮断器が一斉にトリップ*6し、送電が停止していた。その後、22時53分42秒に電力指令の処置（入指令）により52F3の遮断器が投入されて舎人公園変電所から事故現場付近（図1①の向き）に送電されたが、22時53分43秒に送電失敗となっていた。その後、22時53分46秒に、52F1の遮断器が自動投入（入指令）されて舎人変電所から事故現場付近（図1②の向き）に送電され、22時56分00秒に地絡*7が発生していた。

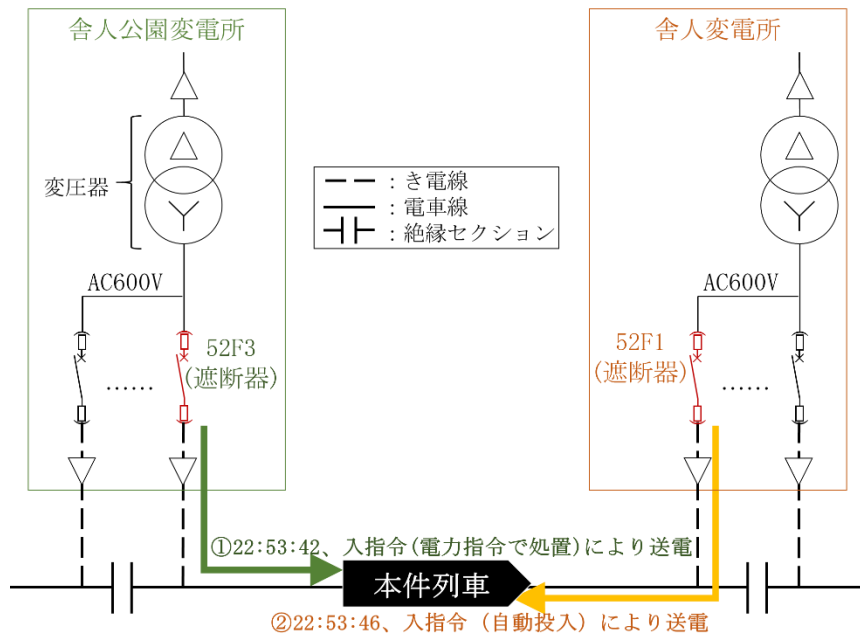


図1 事故現場付近（下り線）のき電区分の概要

表1 事故現場付近の送電に関する操作状変記録（抜粋）

発生時刻	状変*種別	設備名称	詳細情報	動作情報	状態情報
21/10/07 22:41:52	故処*	(全変電所)	(き電用遮断器 トリップ)	発生*	非常発報
21/10/07 22:53:42	区間*	舎人公園変電所	52F3	—	入指令 (①電力指令で処置)

*5 「電力管理システム」とは、変電所、電気室の状態監視、遠隔制御、自動制御を行うシステムのことである。

*6 「トリップ」とは、遮断器などにより、電気の流れが遮断されることである。

*7 「地絡」とは、電気回路が大地と電気的に接続され、大地に電流が流れる現象のことである。

21/10/07 22:53:43	応動*	舎人公園変電所	52F3	入完*	--
21/10/07 22:53:43	状変	舎人公園変電所	き電3号重2 50F	発生	--
21/10/07 22:53:43	状変	舎人公園変電所	52F3	切状変*	--
21/10/07 22:53:46	区間	舎人変電所	52F1	--	入指令 (②自動投入)
21/10/07 22:53:48	応動	舎人変電所	52F1	入完	--
21/10/07 22:55:52	故処	--	--	復帰*	非常発報
21/10/07 22:56:00	状変	舎人変電所	き電1号地絡	発生	--
21/10/07 22:56:00	状変	舎人変電所	鎖錠	発生	--
21/10/07 22:56:00	状変	舎人変電所	52F1	切状変	--

※状変 : 「状態変化情報」の略語であり、機器等の状態が変化したことを表す。

※故処 : 故障処理の状況表示の略語である。

※区間 : 区間制御の略語であり、同一き電区分内の遮断器に対し、一括で操作指令を出す制御を表す。(別途、遮断器ごとに操作指令を出す個別制御がある。)

※応動 : 制御応動の略語であり、制御指令に対し、正常に動作が完了したかを表す。

※発生 : 地絡などの故障や非常発報動作などの事象が発生したことを表す。

※入完 : 遮断器の「入指令」に対し、投入が完了したことを表す。

※切状変 : 故障等の発生に伴い遮断器が切状態になることを表す。

※復帰 : 「発生」で生じた事象が発生前の状態に戻ることを表す。

2.1.4 運転状況の記録

本件列車には運転状況記録装置が設置されており、本事故発生前後の記録は表2に示すとおり、22時41分30.0秒に舎人公園駅の下り線を出発し、22時41分44.4秒に速度が49.0km/hに到達したところで非常ブレーキが動作し、22時41分53.4秒に停止していた。また、1両目が舎人公園駅を出発してから事故現場で脱線して停車していた位置までの走行距離は約169mであった。

表2 本事故発生前後の運転状況記録装置の主なデータ (抜粋)

記録時刻	速度 (km/h)	A T C *8信号	非常ブレーキ指令 OFF:0、ON:1	ノッチ	距離 (m)	備考 (キロ程)
22:41:30.0	0.0	40*9	0	ATO P25	0	舎人公園駅出発 (7k748m)

*8 「A T C」とは、自動列車制御装置 (Automatic Train Control) の略称であり、先行列車の位置や線路の条件に応じて地上から速度制限信号を与え、列車速度を自動的に制限速度以下になるよう制御するシステムである。

*9 「40」とは、A T Cにより運転する列車の運転台の車内信号現示装置に許容運転速度を示す信号として現示されるA T C信号をいい、「40」の場合の許容運転速度は40km/hであることを示す。

22:41:30.2	0.0	40	0	ATO P31	0	(7k748m)
22:41:34.0	14.5	60	0	ATO P31	7.7	(7k756m)
22:41:38.5	31.5	60	0	ATO P31	36.5	緊急地震速報 (7k785m)
22:41:39.0	33.5	60	0	ATO P31	40.9	一斉出発抑止操作、 早期地震警報 システム鳴動 (7k789m)
22:41:42.0	43.0	60	0	ATO P31	73.1	一斉非常停止操作 (7k822m)
22:41:42.1	43.5	60	0	ATO P31	75.5	(7k824m)
22:41:44.4	49.0	2	1	EB*10	103.9	非常ブレーキ動作 (7k852m)
22:41:47.9	31.5	2	1	EB	143.6	案内軌条乗り上げ (7k892m)
22:41:48.4	27.0	2	1	EB	147.6	(7k896m)
22:41:49.8	20.2	2	1	EB	156.8	(7k905m)
22:41:50.0	19.1	2	1	EB	157.9	分岐部付近 (7k906m)
22:41:50.1	18.8	2	1	EB	158.5	脱線 (7k907m)
22:41:50.6	16.4	2	1	EB	160.9	(7k909m)
22:41:52.0	4.9	-	1	EB	166.0	地震計警報*11 (震度5弱) (7k916m)
22:41:53.4	3.0(0.0)	-	1	EB	168.5	列車停止 (7k917m)
22:41:54.0	0.0	-	1	EB	168.5	き電停止 (7k917m)

※記録時刻は、地上のATO制御情報の記録時刻に基づき補正した。

※距離は、舎人公園駅を起点として速度とサンプリング時間(0.2s)から計算した演算値である。

*10 「EB」とは、非常ブレーキ(Emergency Braking)の略称であり、非常の場合に用いるブレーキの操作及び作動状態の総称である。

*11 「地震計警報」とは、同局が車両基地構内及び足立小台駅付近の地盤上に設置している地震計が地震を感知した際に発出する警報である。震度5弱以上の警報が発出されると、き電が自動停止するとともに、一斉非常列車停止が自動動作する仕組みとなっている。

なお、22:41:49.8以降の速度及び距離は、本件列車の停車位置（7k917m）から計算される平均減速度4.8km/h/sを用いて推定した。

※備考欄の一斉出発抑止、一斉非常停止、地震計警報（震度5弱）及びき電停止は、地上のATO制御情報の記録による。

2.2 人の死亡、行方不明及び負傷

2.2.1 乗客の乗車位置に関する情報

本件列車には29名が乗車しており、そのうち、8名の乗客が負傷した。2.1.2(2)に記述した乗客の口述によれば、事故発生直前の本件列車の乗客の乗車位置は図2に示すとおりであり、乗客数と負傷者数は表3に示すとおりであった。ただし、それ以外に負傷者がいた可能性がある。

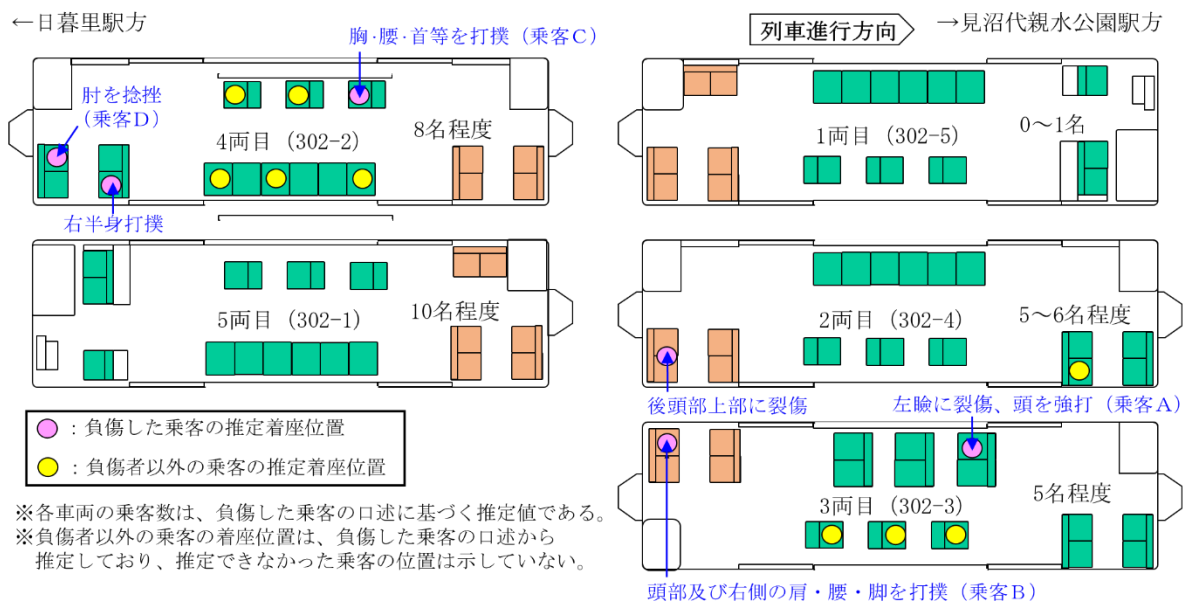


図2 本件列車の乗客の乗車位置（負傷者の口述に基づく推定）

表3 本件列車の乗客数と負傷者数

	1両目	2両目	3両目	4両目	5両目
(A) 軽傷 [名]	0	1	2	3	0
(B) 乗客数[名]	0~1	5~6	5	8	10
(うち、立ち客数)	(不明)	(0)	(0)	(0)	(不明)
(C) 負傷率[%]	0	16~20	40	37.5	0

※負傷した乗客8名のうち、負傷情報が得られなかった2名は省いて整理した。

※重傷の申告はなかった。

2.2.2 乗客の負傷に関する情報

本件列車の負傷した乗客から、負傷時の聴き取り調査を行った。同調査の結果によれば、負傷者のほとんどは、車両の揺れ又は衝撃によって身体が床に投げ出される際や投げ出された後に、身体が椅子やドア等に打ちつけられて負傷したとのことであった。

事故発生直前の負傷者の行動、負傷の種類、負傷の原因となった車内設備、負傷の箇所について整理した結果は、表4のとおりであった。なお、負傷した乗客8名のうち、負傷情報が得られなかった2名は省いて整理した。

- ① 事故発生の直前、負傷した乗客は全員着席していた（表4（1））。
- ② 負傷の種類は、打撲・捻挫及び裂傷・擦傷に分類され、いずれの車両でも打撲・捻挫を負った乗客が多かった（表4（2））。
- ③ 負傷の原因となった車両の部位はドア・側壁が最も多く、その次に、床、椅子が多かった（表4（3））。
- ④ 負傷の箇所は、頭部・腰が多く、打撲等によるものが多かった（表4（4））。

表4 調査回答者の負傷の状況

(1) 事故発生直前の行動 (名)

	1両目	2両目	3両目	4両目	5両目	計
座席で目を閉じていた	0	0	1	1	0	2
座席で携帯電話を見ていた	0	0	0	1	0	1
その他（座席に着座）	0	1	1	1	0	3
計	0	1	2	3	0	6

(2) 負傷の種類 (名)

	1両目	2両目	3両目	4両目	5両目	計
打撲・捻挫	0	0	2	3	0	5
裂傷・擦傷	0	1	1	0	0	2
計	0	1	3	3	0	7

※複数回答あり

(3) 負傷の原因となった車内設備 (名)

	前席	ドア・側壁	床	椅子	不明	計
負傷者数	1	4	2	2	1	10

※複数回答あり

(4) 負傷の箇所

(名)

	頭	顔	首	肩	胸	腕	肘	腰	尻	脚	計
打撲・捻挫	2	0	1	2	1	1	1	3	1	2	14
裂傷・擦傷	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	3
計	3	1	1	2	1	1	2	3	1	2	17

※複数回答あり

次に、本件列車の乗客の負傷例と車内設備の状況を図3に示す。2.1.2に記述したように、乗客Aは、事故当時は3両目の2人掛け席に1人で座っていたが、車両からの衝撃を受けて、椅子の金属製の手すりに頭を強打し、さらに左まぶたを裂傷している。また、乗客Cは、事故当時は4両目の1人掛け席に座っており、車両からの衝撃で、椅子から床に身体が投げ出され、さらにその後の揺れで椅子や扉に全身を打ちつけて、胸、腰、首等に打撲を負っている。なお、1人掛け席の支持部は金属製の丸パイプで床へ取り付けるねじの頭が露出している（図3 参照）。



図3 本件列車の乗客の負傷例と車内設備の状況

2.2.3 救護に関する情報

指令員の口述及び音声記録によると、22時57分ごろ、指令員は舎人公園駅の係員2名に対し本件列車へ急行するよう指示を出し、同係員は23時13分ごろに到着している。23時19分ごろ、同係員は、乗客の避難誘導区間のき電停止に関する連絡を指令員から受けて乗客の避難誘導の準備を始め、その後、5両目の非常扉から乗客を降車させている。23時27分ごろ、救急隊が本件列車に到着し救護を行っている。

2.3 施設等に関する情報

2.3.1 路線の概要

本路線は、日暮里駅から見沼代親水公園駅に至る営業キロ9.7km(複線)の区間(13駅)を約20分で結ぶ路線であり、ATOによる無人運転で運行している新交通システムである。本路線は、全区間に渡り、高架橋りょう上に敷設されている。

事故現場となった舎人公園駅付近は、上り線及び下り線のほかに、列車を車両基地に入出庫させる引込み線が設けられており、全線内で唯一、3本の走行路が敷設されている。このため、走行路が上下線2本のみの場所、例えば西新井大師西駅付近では構造物の桁幅が12,750mmであるのに対し、事故現場付近では21,750mmと幅広になっている。また、事故現場付近は分岐部であり、勾配は平坦(0%)である。なお、本件列車が脱線して停止した位置付近の構造物天端は、引込み線が地下に下っていく関係で、3本の走行路の間の床版^{*12}が分離した構造となっている。

(付図2 事故現場付近の施設 参照)

2.3.2 施設の概要

本路線では、図4に示すように、ゴムタイヤの走行輪で走行路上を走行し、走行路の両側に設けられた案内軌条で列車の案内輪を受けることによって、列車を進行方向にガイドする側方案内軌条方式が採用されている。以下に、施設の概要を示す。

(1) 走行路

車両の走行輪が走る部分であり、コンクリート製となっている。なお、走行路の両端は側溝となっており、通信や信号等のケーブル線が敷設されている。

(2) 案内軌条

車両の案内輪を受け、車両を進行方向に案内するためのガイドレールであり、車両の案内輪と接触するH形鋼とH形鋼を地上の支柱や側壁に固定する締結装置から構成される。締結装置は、締結板、アンカーボルト(上側2本、下側1本)及びクリップ(上下各1個)で構成され、図4に示すように正面から見て右上と左下のクリップでH形鋼を支持する。

(3) 電車線

車両の動力源となる三相交流600Vをき電するための設備であり、軌道の側壁に設置されている。

(4) 伝送ループ線

車両にATC信号等を伝送するためのループ状の電線であり、カバーに覆われた状態で左右の走行路間の中央部に敷設されている。

*12 「床版」とは、橋りょう上を通過する列車などを直接支えるための平面状の版のことである。

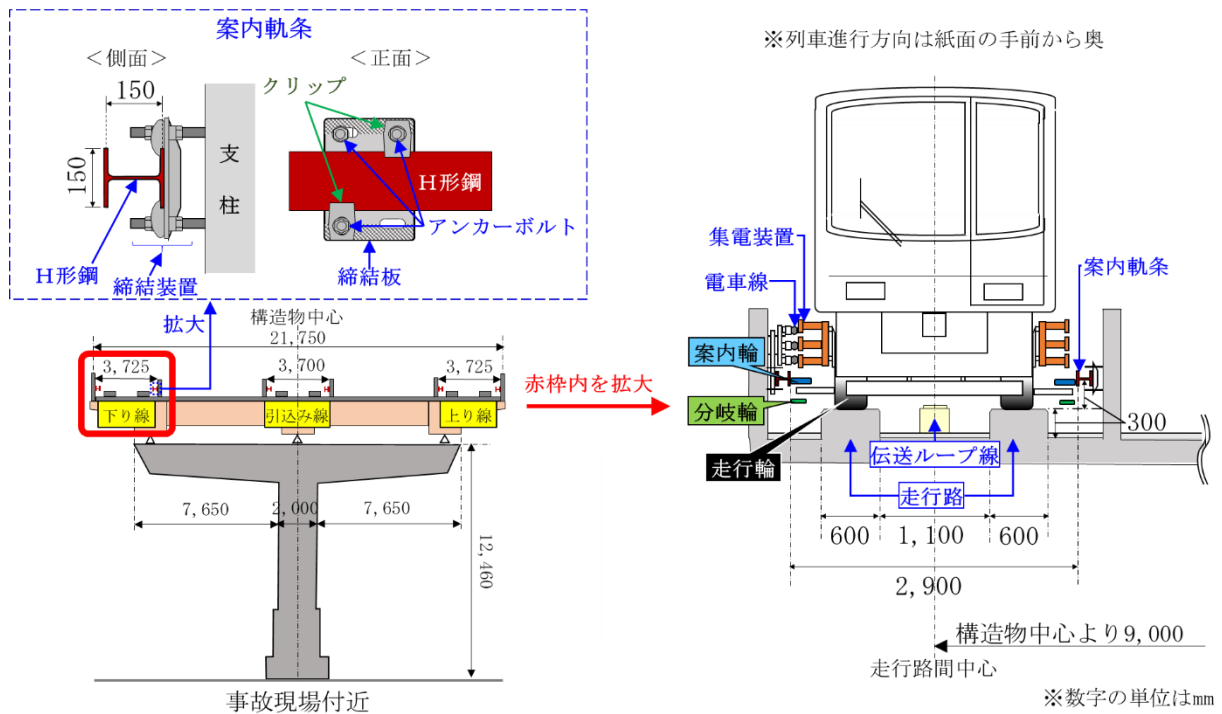


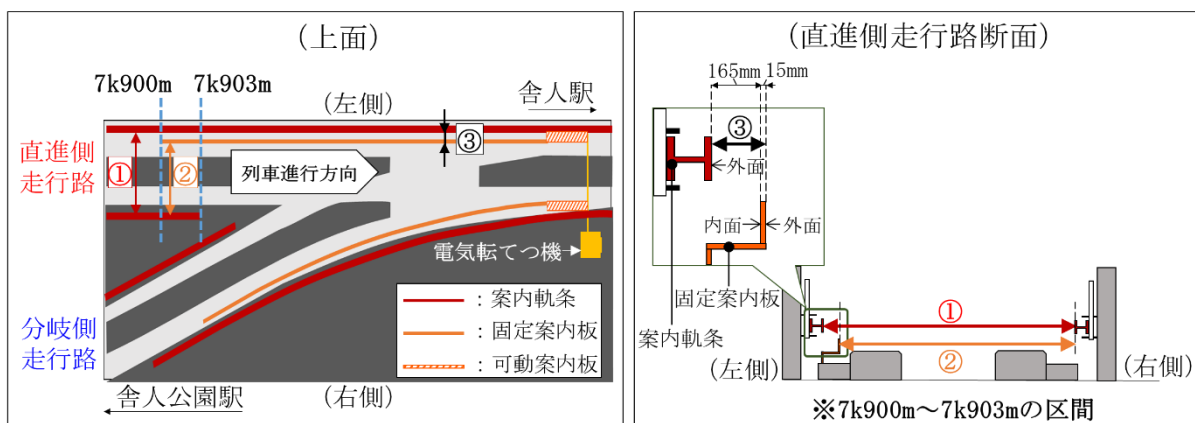
図4 事故現場付近の施設の概要

(5) 分岐装置

列車の進路を切り換えるための装置であり、分岐部に設置されている。本路線では、水平可動案内板方式と呼ばれる分岐方式が採用されており、電気転てつ機によって可動案内板^{*13}を直進方向又は分岐方向のいずれかに動かして進路を構成し、列車を進行方向側に誘導する。

事故現場付近の分岐部は、図5に示すように、案内軌条は7k903mまでは走行路の左右両側に、その先は左側のみに設置されている。また、7k900mから先は走行路の左側に固定案内板^{*14}が設置されている。本件列車は、舎人公園駅方から直進側走行路を走行して当該分岐部に進入した。

*13 「可動案内板」とは、分岐部に設置され、電気転てつ機により水平方向に可動な分岐輪用の案内板である。
 *14 「固定案内板」とは、分岐部に設置され、軌道に固定されるため不動な分岐輪用の案内板である。



- ①左右の案内軌条間距離 : 2,900mm
- ②固定案内板外面～案内軌条外面間距離 : 2,720mm
- ③案内軌条外面～固定案内板外面間距離 : 180mm

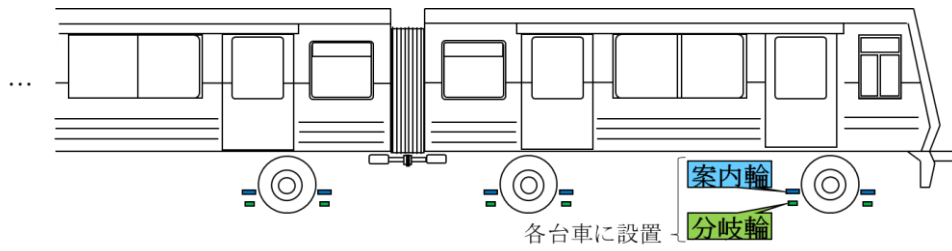
図5 事故現場付近の分岐部の概要

当該分岐部における列車の案内機構について、図6を用いて説明する。

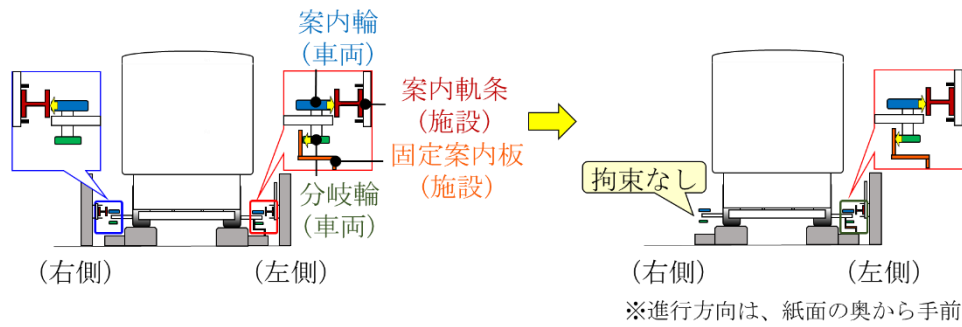
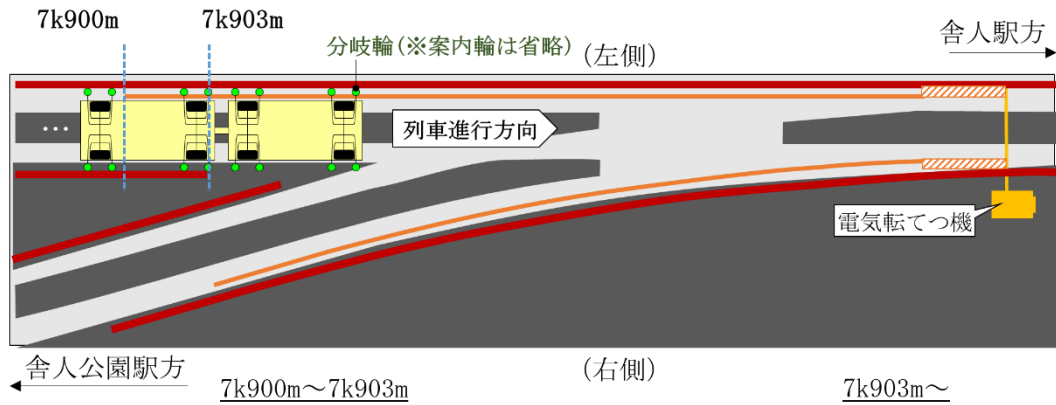
車両の各台車には、図6(a)に示すように、案内軌条の外面と接触する案内輪並びに分岐部のみに設置されている可動案内板及び固定案内板の内面と接触する分岐輪が設置されている。列車が直進方向から同分岐部に進入する場合は、図6(b)に示すように、車両の左側の分岐輪が直進側の側壁の固定案内板及び可動案内板の内側に誘導され、分岐方向から進入する場合は、図6(c)に示すように、可動案内板が電気転てつ機によって直進側の側壁へ水平移動し、車両の右側の分岐輪が分岐側の側壁の固定案内板及び可動案内板の内側に誘導される。

本件列車は舎人公園駅方から直進側走行路を走行して当該分岐部に進入し、7k900m～7k903mの区間では左右の案内軌条及び左側の固定案内板を併用しながら走行し、7k903mから先は左側の案内軌条及び固定案内板を利用して通過する予定であった。

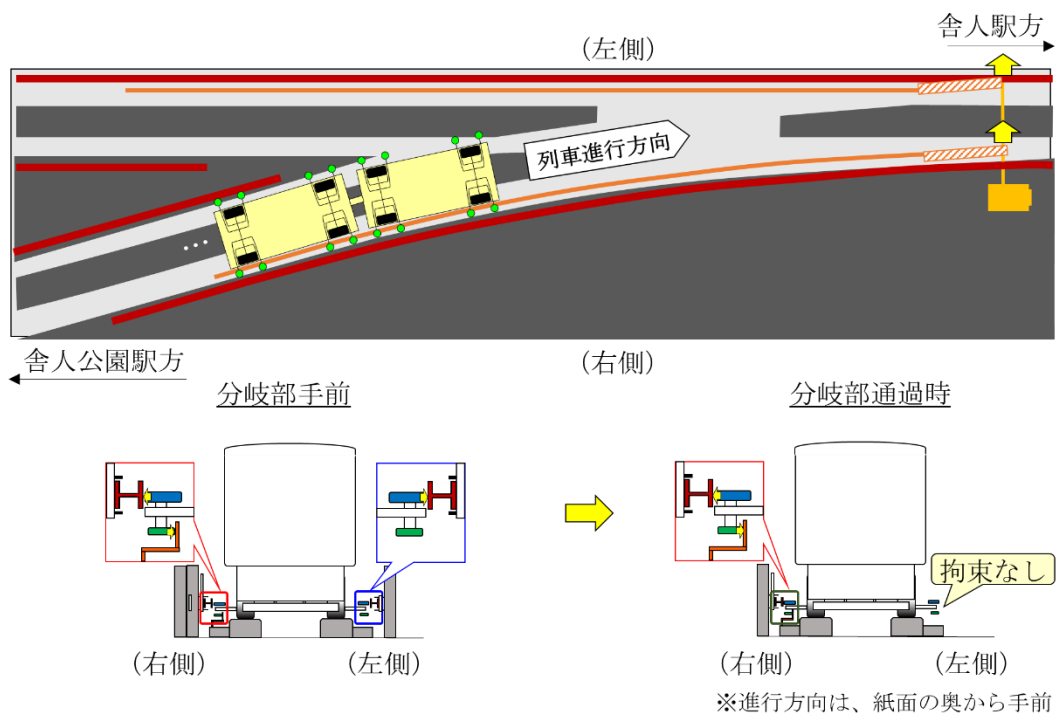
なお、舎人公園駅～事故現場までの直進側走行路には2か所に電気転てつ機が設置されているが、それらの動作記録では、本事故が発生した時刻は2基とも定位（直進側）となっており、動作に異常は認められなかった。



(a) 車両の案内輪と分岐輪



(b) 直進方向からの進入時



(c) 分岐方向からの進入時

図6 事故現場付近の分岐部における列車の案内機構

2.3.3 指令区の運行管理体制

本路線の運行管理は、基本的に自動制御によって行われている。なお、列車ダイヤの設定や異常時対応等は指令員の操作により行われる。

指令員の口述によれば、事故発生当時、3名の指令員が運転、車庫、駅務の業務にそれぞれ当たっていたが、事故発生直後は、指令区に滞在していた非番の2名の指令員に応援を依頼し、計5名で異常時対応に当たったとのことである。

2.3.4 事故現場付近の軌道等の整備に関する情報

2.3.4.1 土木施設の定期検査に関する情報

同局は、「軌道運転規則（昭和29年運輸省令第22号）附則第3項により準用する「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）」（以下「技術基準」という。）第3条第1項の規定に基づき、「東京都日暮里・舎人ライナー土木施設実施基準」を定めて関東運輸局長に届け出ており、その中で土木施設の定期検査を規定している。この規定に基づき行われた事故現場付近の土木施設に関する本事故発生前直近の定期検査の実施状況は表5に示すとおりであり、検査の結果、一部で補修が必要とされた箇所もあったが、運行に支障を来すものではなく、当該箇所の補修も事故発生前に実施されており、その検査の結果にも異常は認められなかった。

表5 土木施設に関する本事故発生前直近の定期検査実施状況（抜粋）

検査等の種類		検査周期	実施日	
軌道	状態	走行路変位	令和2年10月15日（水準） 令和2年10月28日（高低）	
		案内軌条変位	令和3年6月25日	
		分岐部軌条等変位	令和3年1月21日	
		列車動揺	令和3年5月24日	
		案内軌条遊間	令和3年6月29日～7月29日	
	部材	走行路	1年	令和3年8月27日
		案内軌条		令和3年7月5日～8日
		分岐部		令和3年8月2日～4日
		継目装置		令和3年6月29日～7月29日
		締結装置		令和3年7月16日
		案内軌条取付壁・支柱		令和3年9月6日～13日 （ただし、11・12日を除く）
構造物	橋りょう検査	2年	令和1年9月26日～11月12日	

2.3.4.2 電気設備の定期検査に関する情報

同局は、技術基準第3条第1項の規定に基づき、「東京都日暮里・舎人ライナー電気設備保守心得」を定めて関東運輸局長に届け出ており、その中で電気設備の定期検査を規定している。この規定に基づき行われた事故現場付近の主な電気設備に関する本事故発生前直近の定期検査の実施状況は表6に示すとおりであり、それら検査の結果に異常は認められなかった。

表6 主な電気設備に関する本事故発生前直近の定期検査実施状況（抜粋）

項目	検査周期		実施日
	巡回	細部	
剛体電車線、支持碍子 ^{がいし}	6月	1年	令和3年5月23日（巡回）
			令和3年9月13日（細部）
電気転てつ装置	6月	2年	令和3年9月26日（巡回）
			令和2年8月10日（細部）
ATC/TD ^{*15} 装置	3月	2年	令和3年8月11日（巡回）
			令和3年9月20日（細部）

*15 「TD」とは、Train Detection（列車検知）の略で、列車の走行位置を検知する装置である。

2.3.5 I T V監視装置用カメラの映像記録に関する情報

本路線の各駅にはI T V監視装置用カメラが複数台設置されており、事故現場付近である舎人公園駅のカメラ映像には、本件列車が同駅を出発し、次駅である舎人駅に向かって走行する様子が記録されていた。その映像では、本件列車が舎人公園駅を出発して間もなく、千葉県北西部地震によるものと考えられる揺れによって、本件列車及び舎人公園駅の引込み線を車両基地に向けて回送中であつた第2286A列車がロール方向*16に激しく揺すられる様子や本件列車の付近から青白い閃光が発生する様子が記録されていた。

また、舎人公園駅以外の駅のカメラ映像には、地震発生時に駅舎が揺すられる様子や駅停車中の列車がロール方向に大きく揺すられて車体がホームドアに何度も激しく打ちつけられる様子が記録されていた。

2.4 車両に関する情報

2.4.1 本件列車に関する情報

車 種：300形

編成番号：302

編成両数：5両

主要諸元：表7のとおり

本件列車の編成と脱線した台車の位置を図7に示す。

表7 本件列車（300形 302編成）の主要諸元

編成位置	1両目	2両目	3両目	4両目	5両目
個別の車種形式	302-5	302-4	302-3	302-2	302-1
空車質量 (t)	11.8	11.9	11.7	11.9	11.8
定員 (座席定員) (人)	51 (18)	52 (21)	51 (17)	52 (21)	51 (18)
車両長 (mm)	9,030	9,000	9,000	9,000	9,030
車両高 (mm)	3,340				
車両幅 (mm)	2,900				
最高運転速度 (km/h)	60				
最大加速度 (km/h/s)	3.5				
減速度 (km/h/s)	3.5 (常用最大) / 4.5 (非常)				

*16 「ロール方向」とは、列車進行方向の軸を中心に回転する向きのことである。

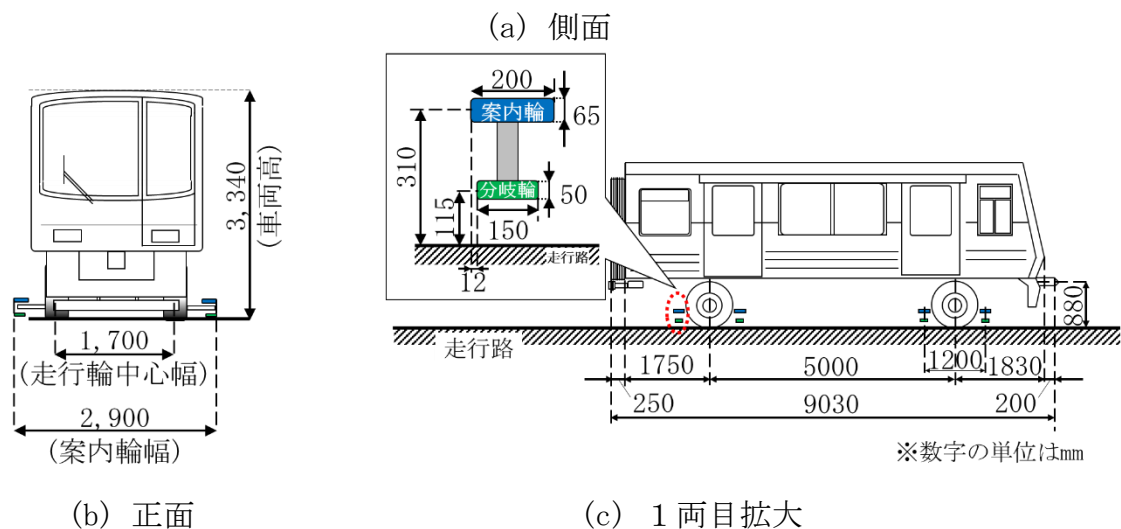
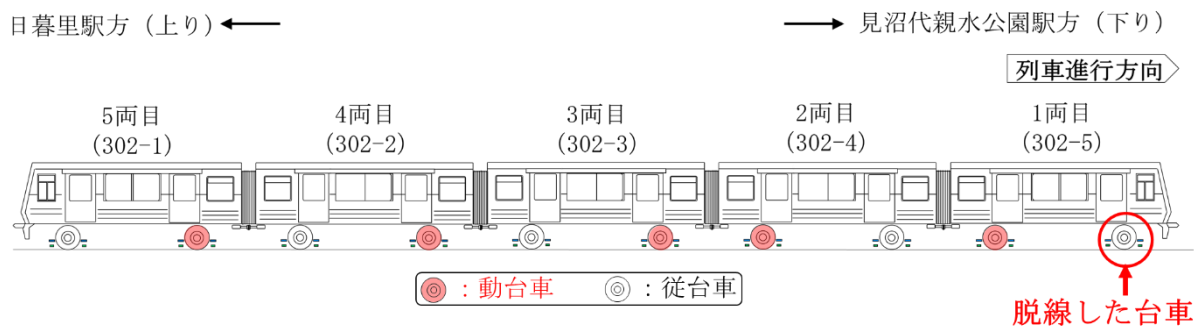


図7 本件列車の編成

本件列車編成車両の車歴は以下のとおりである。

新 製：平成20年3月30日 新潟トランス株式会社

改 造：平成21年11月 ロングシート化改修工事

2.4.2 車両の走行装置の概要

車両の走行装置は、走行輪2輪1軸の台車が1車両に2台用いられる4輪車構造となっており、台車は車体に固定されている。走行輪は案内操向装置であるステアリングアームと固定され、案内輪又は分岐輪が案内軌条に沿って誘導されると両側の走行輪が同時に操舵する4輪ステアリング方式を採用している(図8 参照)。なお、新品タイヤ時の案内輪及び分岐輪の中心高さは、走行路面からそれぞれ310mm、115mmの位置で設計されている。

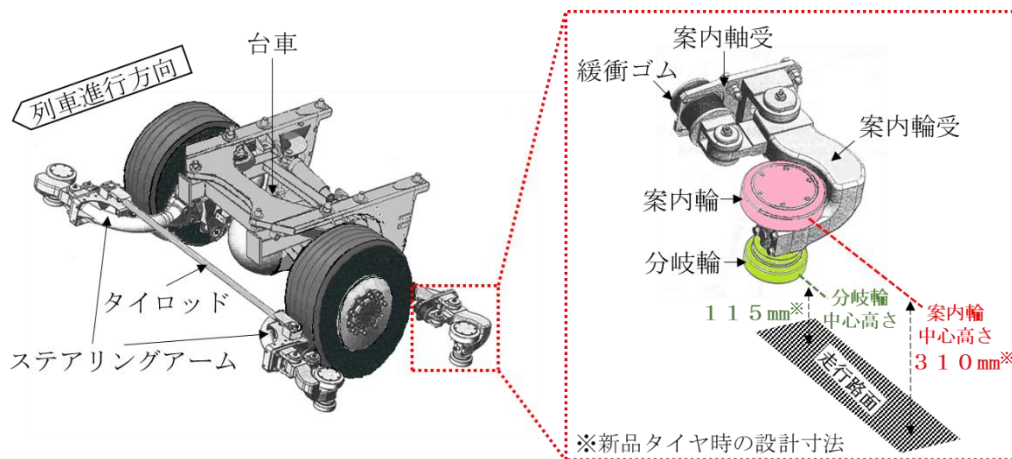


図8 車両の走行装置（動軸）の概要

2.4.3 車両の整備に関する情報

同局は、‘軌道運転規則（昭和29年運輸省令第22号）附則第3項により準用する「鉄道に関する技術上の基準を定める省令の施行及びこれに伴う国土交通省関係省令の整備等に関する省令」（平成14年国土交通省令第19号）第1条第4号の規定による廃止前の鉄道運転規則（昭和62年運輸省令第15号）’（以下「旧鉄道運転規則」という。）第4条第1項の規定に基づき、「東京都日暮里・舎人ライナー車両整備心得」を定めて関東運輸局長に届け出ており、その中で車両の定期検査を規定している。この規定に基づき行われた本事故発生前直近の本件列車の編成車両の検査実施状況は表8に示すとおりであり、これらの検査記録に異常は認められなかった。

表8 本事故発生前直近の本件列車の定期検査実施状況

検査種別	検査周期	実施日
全般検査	8年を超えない期間	令和2年5月22日
重要部検査※	4年を超えない期間	平成28年7月8日
月検査※	3か月を超えない期間	令和3年9月14日
列車検査※	3日を超えない期間	令和3年10月5日

※全般検査は重要部検査と同等以上の検査を実施していることから、東京都日暮里・舎人ライナー車両整備心得の第17条の2に、「全般検査を行った車両は、重要部検査、月検査及び列車検査を行ったものとみなす。」と定められている。

2.4.4 軌道モニタリングシステム用カメラの映像記録に関する情報

本件列車の車内には防犯カメラは設置されていなかったが、軌道等の保守に用いる軌道モニタリングシステム用カメラが搭載されていた。しかし、舎人公園駅到着

以降では通信不良と考えられる事象が発生しており、事故発生時の本件列車の映像については確認することができなかった。

また、本事故発生の直前、事故現場の近傍である舎人公園駅の引込み線では第2286A列車が舎人公園駅から車両基地に向けて、本件列車と並走するように、速度20km/h弱で回送運転を行っていた。同列車の最後部車両にも上記システム用カメラが搭載されており、本件列車が舎人公園駅に到着し、その後、同駅を出発して次駅の舎人駅に向けて加速していく途中までの様子が記録に残されていた。その映像記録によると、第2286A列車が停止して間もなく、同列車がロール方向に大きく揺すられる様子のほか、本件列車の走行路付近から青白い閃光が発生する様子が確認された。

2.5 地震に関する情報

気象庁の公表情報によると、令和3年10月7日22時41分23.0秒に、北緯35度35.4分、東経140度06.2分、深さ75kmの地点を震源とするマグニチュード5.9の千葉県北西部地震が発生し、この地震により東京都足立区、埼玉県川口市及び埼玉県南埼玉郡宮代町で最大震度5強の揺れが観測された。本地震の発震機構^{*17}は、東西方向に圧力軸を持つ逆断層型^{*18}であり、太平洋プレートとフィリピン海プレートの境界で発生したとのことである。本地震の震源地から事故現場付近までの震央距離^{*19}は、約38kmであった。なお、本地震に対しては、地震波検知から3.7秒後の22時41分38.5秒に気象庁から緊急地震速報（警報）第1報が、千葉県、茨城県、神奈川県全域、東京都23区・多摩、栃木県南部、群馬県南部、埼玉県南部・北部に発表されている。

また、同局は事故現場から北北東に約400m離れた位置にある車両基地構内、足立小台駅付近地盤上の2か所に地震計を設置しており、いずれかの地震計が震度5弱以上を検知すると、き電が自動停止するとともに、一斉非常列車停止が自動動作する仕組みとなっている。事故当時の、車両基地構内で観測した地表面地震動波形を図9に示す。

*17 「発震機構」とは、地震を起こした断層が地下でどのようにになっているかとその断層がどのように動いたかを示すものである。

*18 「逆断層型」とは、断層面（岩盤の割れ目）を境にして、上盤が下盤にのし上がることで発生する地震の型である。

*19 「震央距離」とは、観測点から震央までの地表面に沿った最短距離をkm単位で表したものである。

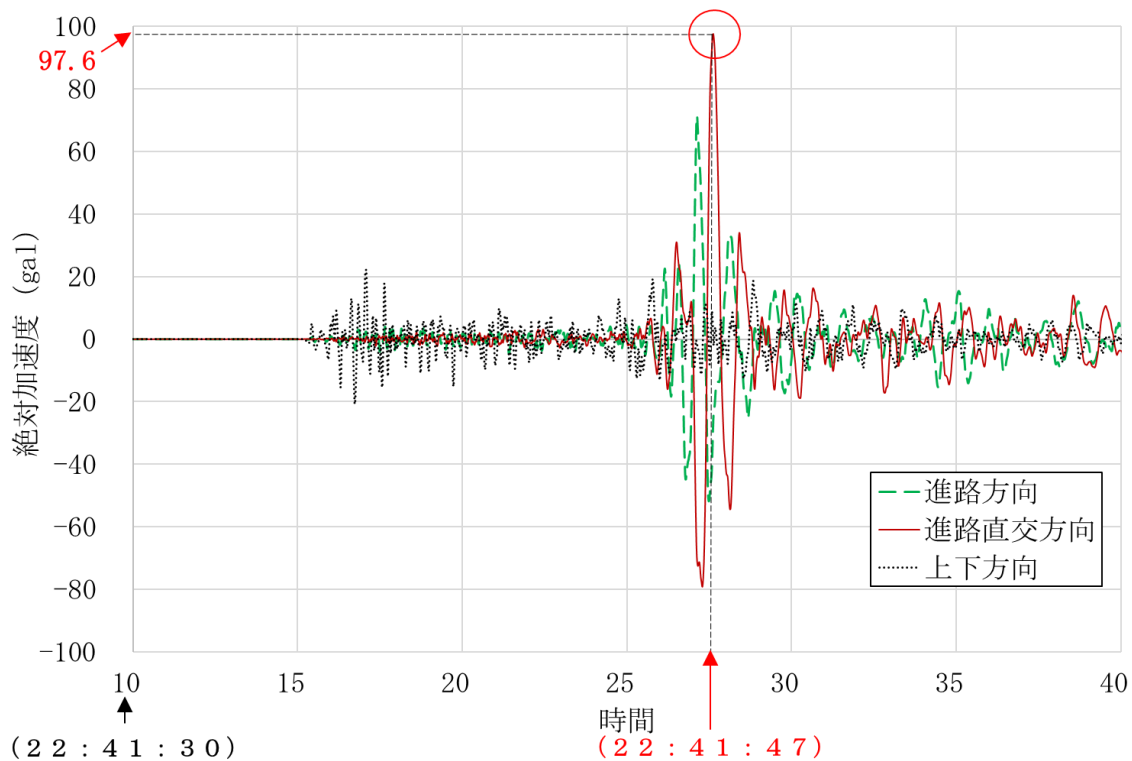


図9 事故当時の車両基地構内の地表面地震動観測波形

図9によると、進路直角方向の絶対加速度^{*20}が最も大きく、22時41分47秒ごろに最大（97.6 gal^{*21}）となっていた。

2.6 同局の地震発生時の対応に関する情報

同局は、旧鉄道運転規則第4条第1項の規定に基づき、「東京都日暮里・舎人線運転取扱心得」を定めて関東運輸局長に届け出ており、その中で、事故時の処置及び地震が発生した場合の対応について、以下のとおり規定している。

「東京都日暮里・舎人線運転取扱心得」（抜粋）

第7章 事故の処置

第3節 列車の事故

（旅客の車外避難の場合の取扱い）

第181条 指令区長は、駅間の途中で停止した列車から旅客を下車させるときは、誘導のための係員を派遣させる等適切な手配をしなければならない。
2 操縦者又は駅係員は、やむを得ない事由により駅間の途中で旅客を下車させる必要があるときは、その状況を指令区長に通報し、指示を受けなければならない。ただし、そのいとまのないときは、その区間のき電停止を確認し、旅客を安全な箇所に誘導した後、直ちにその状況を指令区長に報告しな

*20 「絶対加速度」とは、地盤の加速度に構造物の応答加速度を足し合わせた加速度のことである。

*21 「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ある。（1 gal : 1 cm/s²）

なければならない。

第8章 異常気象

第5節 地震

(地震が発生した場合)

第195条 指令区長は、強い地震を感知した場合、又は地震計の震度表示が震度4以上を表示した場合は、直ちに駅務区長及び関係区長に通告し必要な処置をとらなければならない。

(駅務区長及び関係区長の点検と通報)

第196条 駅務区長及び関係区長は、地震による被害が予想される時又は第198条に定める運転規制が実施されたときは、直ちに点検を実施し、速やかに指令区長に状況及び運転規制の要否について報告し、必要に応じてその後の状況を逐次通報しなければならない。

(地震発生時における運転規制)

第198条 指令区長は、地震を感知した場合は、次に掲げる運転規制を実施しなければならない。

(1) 震度3以下の場合

特に運転規制は行わない。

(2) 震度4の場合

直ちに全列車に対し20km/h以下の速度で徐行運転をするよう指令し、駅務区長及び関係区長に点検を指示して、その報告に基づき安全を確認した後、徐行運転規制を解除すること。

(3) 震度5弱以上の場合

直ちに全線に対して、運転中止を指令する。その後の運転開始に当たっては、駅務区長及び関係区長からの報告に基づき安全を確認した後、逐次運転規制を解除すること。

また、同局は、「東京都日暮里・舎人線運転取扱心得」を基に、その内容を具体化させた異常時対応マニュアル（火災・自然災害編）を定めており、その内容は、概略、以下のとおりである。

- (1) 震度によらず、地震発生時は指令員が一斉出発抑止操作を行い、各駅に停車中の全列車の出発を抑止する。早期地震警報システムの動作時は、指令員が一斉非常列車停止操作を行い、全列車を非常停止させる。
- (2) 全列車の在線位置を確認する。
- (3) 運転規制や点検実施の有無等については、震度ごとに決められた対応を行う（表9 参照）。

なお、震度5弱以上の地震が発生した場合は、表9に示す点検に10分以上を要するため、旅客の避難誘導を直ちに行うこととなっている。その他、首都直下地震が発生して東京都災害対策本部が設置された時や必要と認められる時は、同局が災害対策本部を設置することとなっている。

表9 地震発生時の運転規制・点検実施に関する対応の概要

震度	運転		点検	き電停止
	規制	規制解除		
3以下	なし	なし	なし	なし
4	20km/h以下の徐行運転	駅務区、保守区 の点検完了報告 後	<ul style="list-style-type: none"> ・列車添乗による走行路の全線確認 ・列車添乗による電気設備の全区間点検 ・全駅点検 ・電力指令関連設備等の異常確認 ・車庫内や留置車両などの点検 	なし
5弱以上	全線で運転中止	駅務区、保守区、 電気区 の点検完了報告後	<ul style="list-style-type: none"> ・地上構造物の全線点検 ・徒歩による走行路の全線点検 ・徒歩による電気設備の全区間点検 ・全駅点検 ・電力指令関連設備等の異常確認 ・車庫内や留置車両などの点検 	あり (自動停止)

2.7 車両及び施設の損傷、痕跡に関する情報

2.7.1 本事故発生後の本件列車の状態

本件列車は、先頭位置が7k917m付近の分岐部で以下の状態で脱線していた。

- (1) 1両目の前台車の左右の走行輪が、左右の走行路の各右端部から右側に15cmずれて脱落していた。また、脱落した左右の走行輪は、直進側の左右の走行路間及び分岐側の左右の走行路間に敷設された伝送ループ線をそれぞれ踏み抜いていた。
- (2) 1両目の前台車・左側の分岐輪2基が、固定案内板の外側に逸脱していた。
- (3) 1両目～3両目の左側の案内輪12基が、案内軌条から離れていた。
- (4) 2両目の後台車～5両目の右側の案内輪14基が、湾曲・脱落した案内軌条の上にせり出した状態となっていた。

(付図3 本事故発生後の本件列車の状態 参照)

2.7.2 車両の損傷、痕跡の状況

本件列車の損傷、痕跡の状況は表10のとおりであった。特に1両目の車体前部の部品や脱線した前台車に大きな損傷が認められ、同台車の右側の分岐輪2基の下面には、それぞれ衝撃痕又は太い筋状の擦過痕が認められた(図10 参照)。なお、その他の案内輪、分岐輪には擦過痕が認められたものはあったが、衝撃痕の認めら

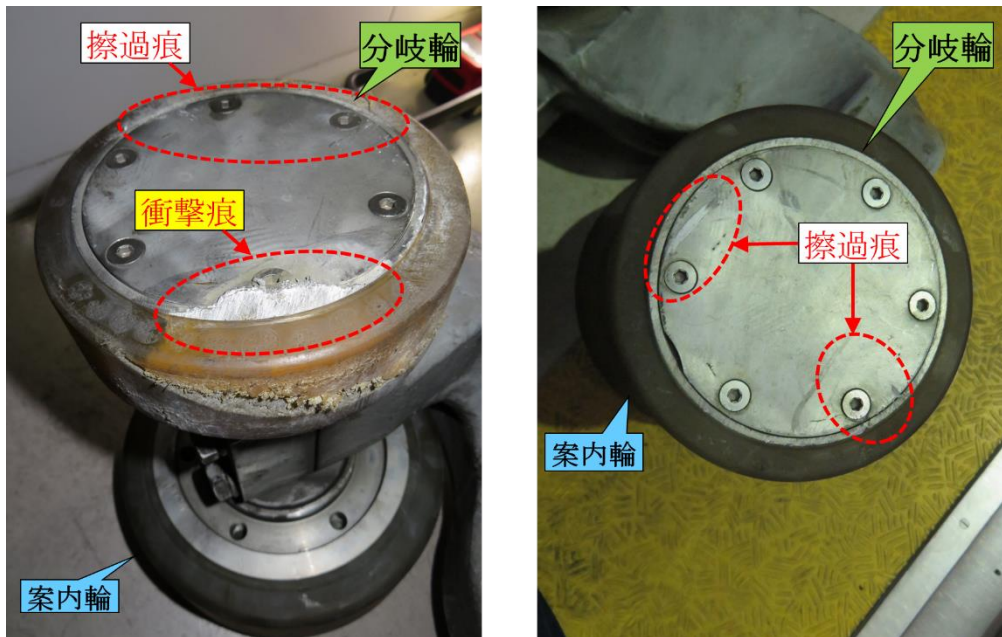
れたものはなかった。

(付図4 本件列車の主な損傷状況、付図5 案内輪・分岐輪の損傷状況 参照)

表10 本件列車の損傷、痕跡の状況

車両位置	損傷、痕跡の状況			
	車体等	台車	案内輪・分岐輪	集電装置
1両目	<ul style="list-style-type: none"> ・スカートが損傷 ・接触検知が損傷 ・ATC/TDアンテナが破損 ・連結器受が曲損 	<ul style="list-style-type: none"> ・除雪装置が損傷 ・前台車に接地痕 ・後台車・右側・前部のステアリングアームと台車枠に接触痕 	損傷あり (詳細は付図5を参照)	—
2両目	—	前台車・右側・後部のステアリングアームが曲損	損傷あり (詳細は付図5を参照)	<ul style="list-style-type: none"> ・前台車・左側の集電装置擦り板(V相及びW相)が焦損 ・後台車・左側の集電装置リンク部(W相)が破損
3両目	—	前台車・右側・後部のステアリングアームと台車枠に接触痕	損傷あり (詳細は付図5を参照)	—
4両目	—	前台車・右側・前部のステアリングアームに擦過痕及び曲損	損傷あり (詳細は付図5を参照)	<ul style="list-style-type: none"> ・前台車・右側の集電装置の^{がいし}碍子が破損 ・後台車・左側の集電装置リンク部(U相)が破損
5両目	—	—	損傷あり (詳細は付図5を参照)	—

※「—」で表記しているものは、外観に顕著な異常が認められなかったことを示す。



(a) 前側 (b) 後側
 図10 1両目前台車・右側の分岐輪下面の損傷状況

2.7.3 事故現場付近の施設の損傷、痕跡の状況

事故現場付近の施設の損傷状況は以下のとおりであった。

(1) 案内軌条の損傷状況

7k863m～7k903m付近の右側の案内軌条のH形鋼及びH形鋼を軌道上の支柱に固定するための締結装置が損傷していた(表11 参照)(付図6 参照)。

損傷した案内軌条のH形鋼は、支柱⑬と支柱⑫の間で湾曲が始まり、支柱⑪から支柱①の間では締結装置から外れて脱落していた。また、図11に示すように、H形鋼は、本来、走行路側のフランジの外面で列車の案内輪と接触するが、支柱⑫付近(7k871m)ではフランジの内面の走行路側に、支柱⑪付近(7k873m)では左右のフランジの内面に、支柱④付近(7k894m)ではフランジの内面の走行路側に案内輪又は分岐輪が接触したことで生じたと考えられる擦過痕が認められた(図12(a) 参照)。さらに、支柱⑪付近(7k874m)では、H形鋼の支柱側のフランジの上部に幅30mm、長さ500mm程度の変形が認められ、支柱⑤付近(7k892m)では走行路側のフランジの上部に幅15mm、長さ200mm程度の変形が認められた(図12(b) 参照)(付図6 参照)。

損傷した案内軌条の締結装置は、いずれも締結板のローレット加工が施されている孔縁端部で変形(図13(b) 参照)や破断(図13(c) 参照)が認められた。また、締結装置のアンカーボルトにも損傷が認められ、上側

アンカーボルトのほとんどは列車進行方向に変形しており、下側アンカーボルトは下向きに変形や折れ曲がりが生じていた（図14 参照）。下側アンカーボルトに認められた下向きの変形は、支柱埋込部の根元から始まり、締結板の孔縁端部の破断部以降に大きくなっていた。なお、締結装置の下側アンカーボルトのクリップやH形鋼のフランジ下部には変形は認められなかった。

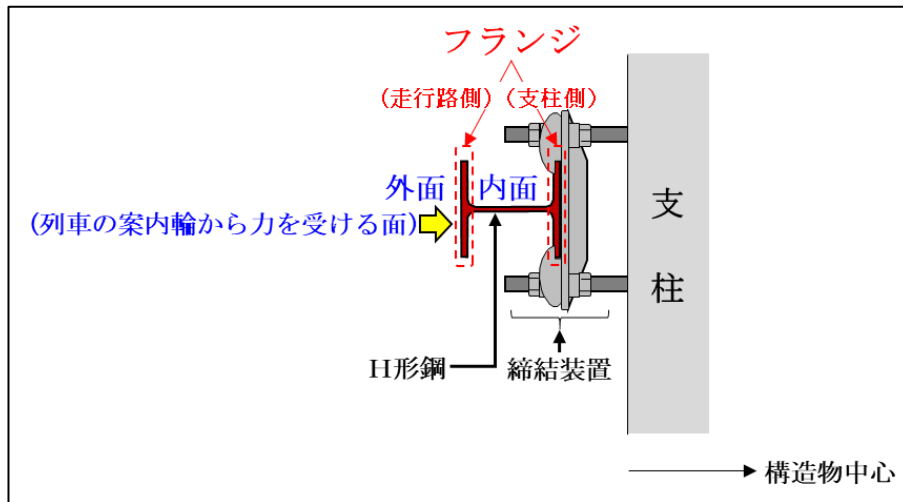
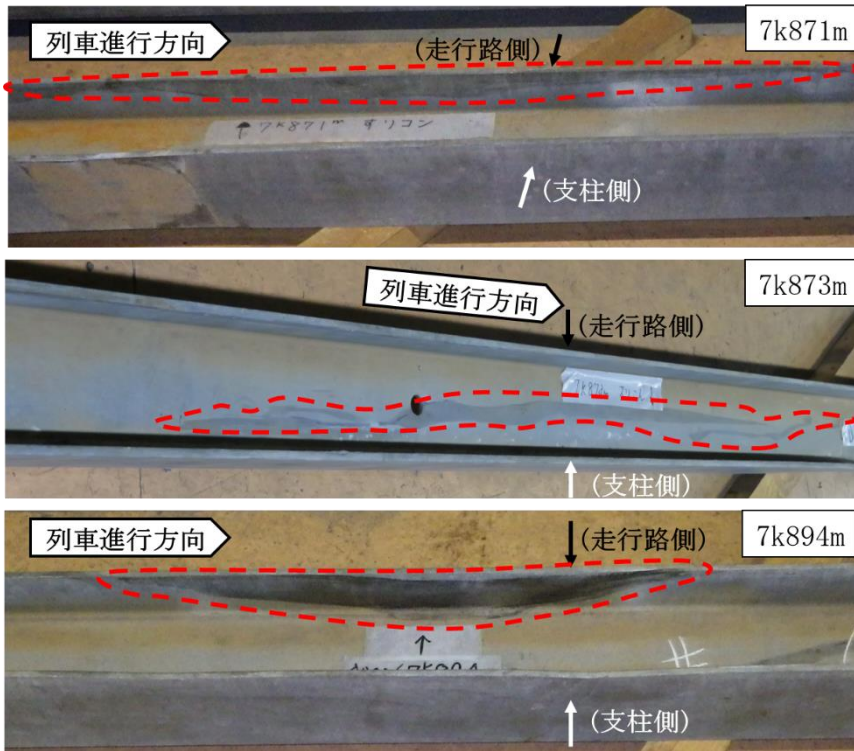
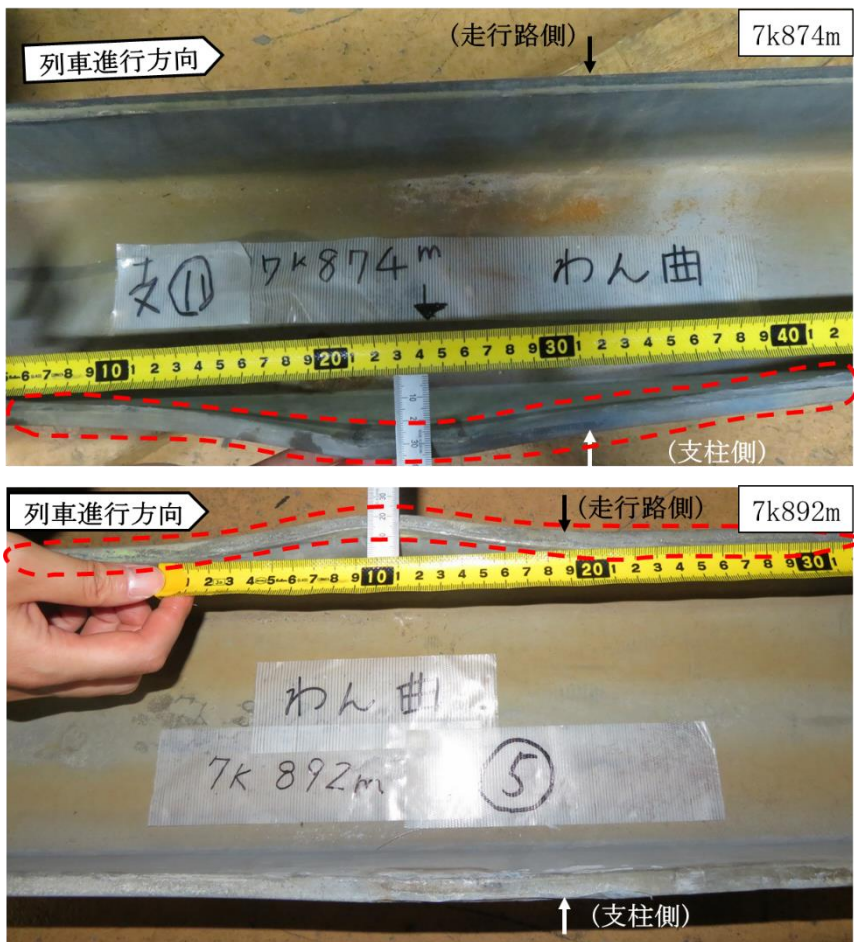


図11 案内軌条（右側）の断面



(a) H形鋼の擦過痕



(b) H形鋼の変形

図 1 2 案内軌条（右側）の損傷状況

表 1 1 事故現場付近の案内軌条（右側）の損傷状況

支柱の位置 (キロ程)	H形鋼			締結装置		
				締結板	上側アンカー ボルト	下側アンカー ボルト
支柱⑭ (7k865m)	—	—	—	—	—	—
支柱⑬ (7k868m)	湾曲	—	—	—	—	—
支柱⑫ (7k871m)	湾曲	擦過痕	—	—	列車進行方向に 変形	下向きに変形
支柱⑪ (7k874m)	脱落	擦過痕	変形	孔縁端部が破断	上向きに変形	下向きに変形
支柱⑩ (7k877m)	脱落	—	—	孔縁端部 変形（アンカー ボルト・クリップ弛緩）	—	下向きに変形
支柱⑨ (7k880m)	脱落	—	—	孔縁端部 変形（アンカー ボルト・クリップ弛緩）	—	下向きに折曲り
支柱⑧ (7k883m)	脱落	—	—	孔縁端部が破断	列車進行方向に 変形(小)	下向きに折曲り
支柱⑦ (7k886m)	脱落	—	—	孔縁端部が破断	列車進行方向に 変形	下向きに折曲り
支柱⑥ (7k889m)	脱落	—	—	孔縁端部が破断	列車進行方向に 変形	下向きに折曲り
支柱⑤ (7k892m)	脱落	—	変形	孔縁端部が破断	列車進行方向に 変形(小)	下向きに折曲り
支柱④ (7k895m)	脱落	擦過痕	—	孔縁端部が破断	—	下向きに折曲り
支柱③ (7k898m)	脱落	—	—	孔縁端部が破断	列車進行方向に 変形	下向きに折曲り
支柱② (7k901m)	脱落	—	—	孔縁端部が破断	—	下向きに折曲り
支柱① (7k903m)	脱落	—	—	孔縁端部が破断	—	下向きに折曲り

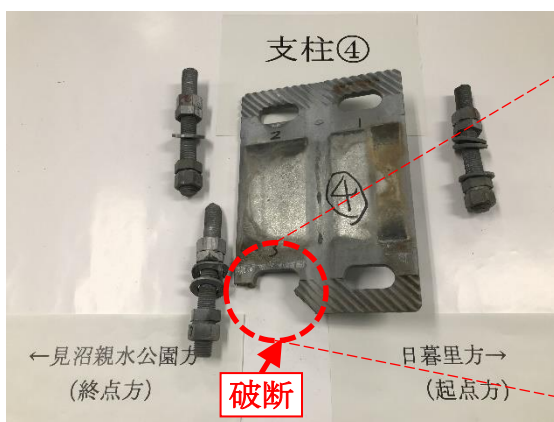
※「—」で表記しているものは、外観に顕著な異常が認められなかったことを示す。



(a) 損傷なし (支柱⑬)



(b) 孔縁端部の変形 (支柱⑩)

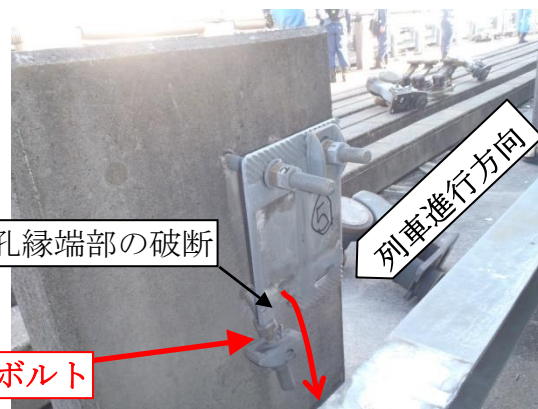


(c) 孔縁端部の破断 (支柱④)

図 1 3 案内軌条 (右側) の締結板の損傷状況の例



(a) 下向きに変形 (支柱⑩)



(b) 下向きに折れ曲がり (支柱⑤)

図 1 4 案内軌条 (右側) の締結装置の下側アンカーボルトの損傷状況の例

(2) 走行路の損傷状況

事故現場付近の走行路の損傷状況を表 1 2 及び図 1 5 に示す。

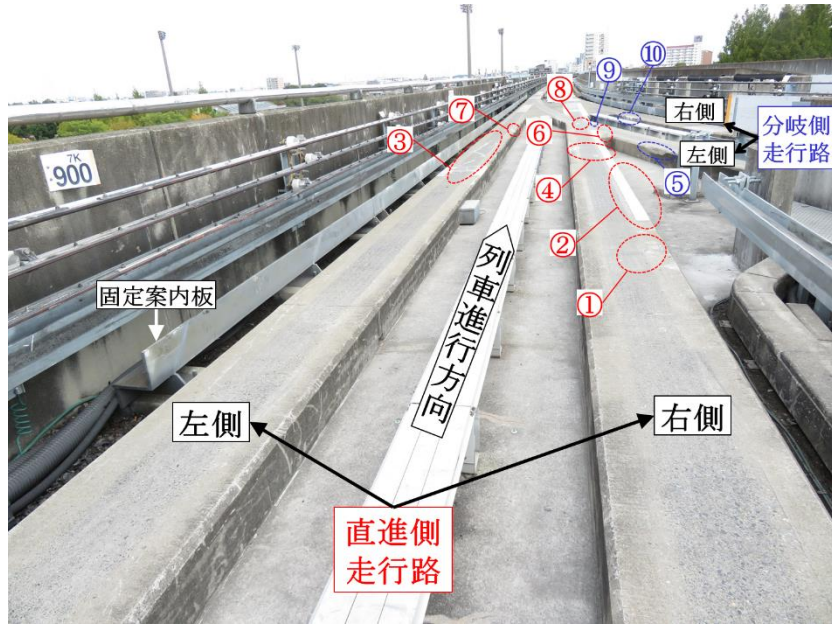
7 k 9 0 4 m 付近の直進側走行路 (右側) の路面の右寄りに、走行輪によ

る擦過痕(図15①)が認められ、7k907m付近の直進側走行路(右側)の右端部に走行輪が走行し、直進側走行路(右側)と分岐側走行路(左側)の間にある段差部に脱落したことにより生じたと考えられる痕跡(図15②)が認められた。その先の7k911m付近の同走行路の分岐部終端に、同走行輪が再び走行路に乗り上げたと考えられる痕跡(図15⑥)が認められ、さらに7k914m付近の分岐側走行路(左側)の右端部に、再び、同走行輪が脱落したことにより生じたと考えられる欠損(図15⑨)が認められた。本件列車の停車位置である7k917m付近の分岐側走行路(右側)の左端部には、案内輪や分岐輪が接触したことにより生じたと考えられる欠損(図15⑩)が認められた。なお、列車進行方向に対し、7k904m付近よりも手前の走行路には特に損傷は認められなかった。

表12 事故現場付近の走行路の損傷、痕跡状況

位置	直進側走行路		分岐側走行路	
	左側	右側	左側	右側
7k904m 付近	—	走行路面の右寄りに擦過痕(①)	—	—
7k907m 付近	—	走行路の右端部に走行輪の脱落痕(②)	—	—
7k908m 付近	走行路面の中央部に波状の擦過痕(③)	—	—	—
7k909m 付近	—	走行路に擦過痕及び走行路の右端部に欠損(④)	走行路左端部に欠損(⑤)	—
7k911m 付近	—	分岐部の段差終端部に走行痕(⑥)	—	—
7k912m 付近	走行路の右端部に欠損(⑦)	—	—	—
7k914m 付近	—	走行路面に擦過痕(⑧)	走行路の右端部に欠損(⑨)	—
7k917m 付近	—	—	—	走行路の左端部に欠損(⑩)

※「—」で表記しているものは、外観に顕著な異常が認められなかったことを示す。



(a) 事故現場付近の走行路の損傷（全体）



(b) 事故現場付近の走行路の損傷（各部拡大）

図 1 5 事故現場付近の走行路の損傷状況

(3) 固定案内板の損傷状況

7 k 9 0 0 mの位置から走行路の左側に設置されている固定案内板の7 k 9 0 0 m付近及び7 k 9 0 3 m付近の外側に、分岐輪が接触したことで生じたと見られる擦過痕が認められた（図16 参照）。

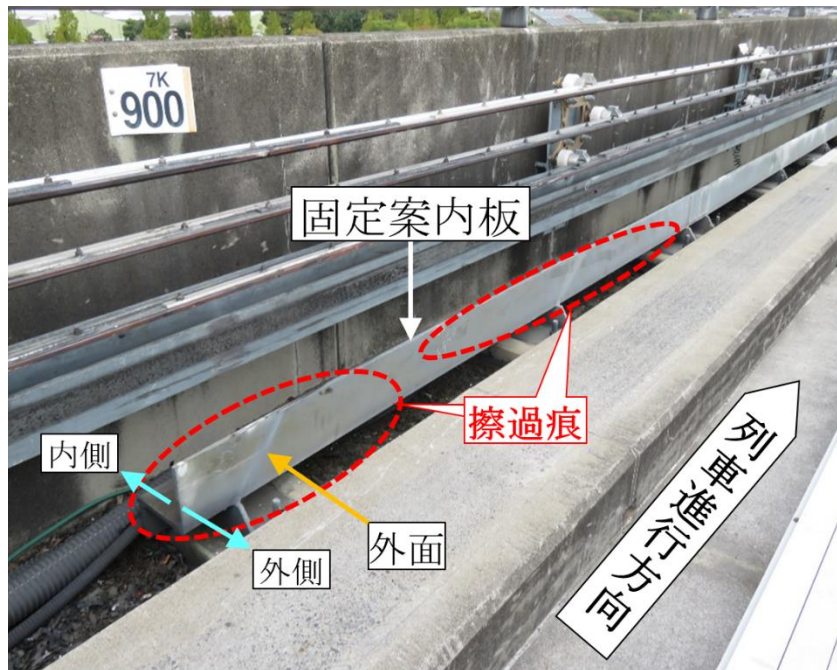


図16 固定案内板の損傷状況

(4) 電車線の損傷状況

7 k 8 6 0 m～7 k 9 2 0 m付近に敷設された3本の電車線のうち、最下部の電車線が脱落し、1両目の後台車～5両目の左側の全案内輪の上に垂れ下がっていた。

(5) 伝送ループ線の損傷状況

7 k 9 0 5 m～7 k 9 1 8 m付近の直進側の左右の走行路間及び分岐側の左右の走行路間にそれぞれ敷設されている伝送ループ線が、本件列車の1両目前台車の左右の走行輪にそれぞれ踏み抜かれて破損していた。

なお、同局が本事故後に実施した軌道内点検、駅施設巡回及び構造物点検では、事故現場付近には上記の損傷以外に大きな損傷は認められなかったとのことである。

(付図6 施設の主な損傷、痕跡の状況 参照)

2.8 地震時の構造物の応答解析及び車両の挙動解析に関する情報

2.3.4及び2.4.3に記述したように、本事故発生前の事故現場付近の軌道等及び本件列車の編成車両の整備状態には異常が認められなかったこと、また、本事故発生直

前に千葉県北西部地震が発生していることから、同地震が本事故発生の原因に関係している可能性が考えられる。そこで、地震時の構造物の応答解析及び車両の挙動解析を行い、地震と本事故発生に関連性について調査を行った。本解析は、以下の三つの段階から成っている（図17 参照）。

第一段階では、事故当時の事故現場付近の車両基地構内に同局が設置していた地震計の地震観測波形と、事故後に振動計測を行い取得した振動計測波形を用いて、事故現場付近の地表面地震動波形を推定した。なお、地表面地震動は地盤の地震増幅特性の影響を受けるため、上記の推定の前段として、事故現場付近の地盤の地震増幅特性について解析を行った。

第二段階では、千葉県北西部地震以降に発生した地震の振動計測データを用いて構造物の振動特性を求め、これに第一段階で得た地表面地震動波形を乗じて、事故現場付近の構造物天端の振動波形を推定した。また、地震時の構造物の挙動についても解析を行った。

第三段階では、マルチボディダイナミクス（MBD：Multi Body Dynamics）^{*22}解析ソフトを用いて車両モデルを作成し、同モデルに第二段階で得た構造物天端の推定振動波形を入力して、車両の挙動について解析を行った。以下に、解析の詳細について記述する。

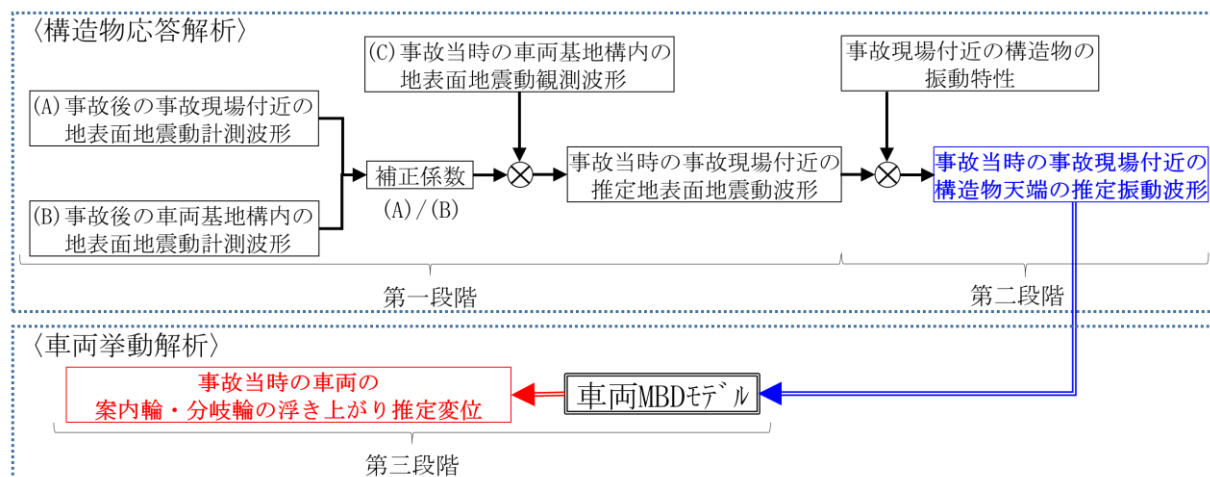


図17 地震時の構造物応答解析及び車両挙動解析のフロー

2.8.1 事故現場付近の地表面地震動波形の推定

(1) 振動計測

地震時の構造物応答解析には、地震計が設置されている車両基地構内及び

*22 「マルチボディダイナミクス」とは、多数の物体が相互に作用を及ぼしながら運動する問題を扱う力学分野の一つである。この分野には、拘束条件を含む運動方程式を自動生成する手法や運動方程式の数値解析、剛体と弾性体からなる系の取扱い、複雑な系の運動制御などを含む。

事故現場付近の地表面並びに構造物天端の地震時の振動データが必要となることから、令和4年1月18日（火）～2月15日（火）の期間で、付図7に示す場所で振動計測を行った。

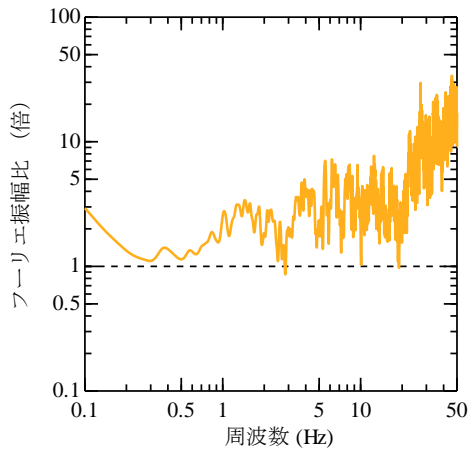
振動計は、地盤の地震増幅特性等の解析や構造物天端の振動波形の推定に必要な場所に仮設した。事故現場付近については、舎人公園駅から最も近い施設の損傷位置である7k860mの手前から、本件列車が千葉県北西部地震の地震動による影響を受けていた可能性が考えられたことから、7k845mなどに仮設した。また、地表面地震動波形の推定には、事故当時の地震観測点である車両基地構内の振動計測データを用いることから、同局の地震計の近傍に仮設した。その他、2.8.1(2)に後述する地盤の地震増幅特性に関して列車走行位置による比較を行うため、事故発生当時、列車が走行していたが、脱線はしなかった西新井大師西駅付近に仮設した。なお、計測期間中には震源の異なる12回の地震を観測しており、それらの振動計測データの平均値を解析に用いた。

(2) 事故現場付近の地盤の地震増幅特性に関する解析

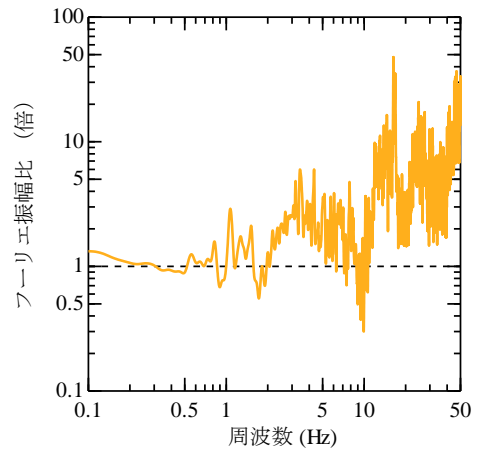
事故現場付近、西新井大師西駅付近、車両基地構内の水平方向及び上下方向の地震動計測波形について、それぞれフーリエ振幅スペクトル^{*23}を求め、それらの比（以下「フーリエ振幅比」という。）から計測箇所による地盤の地震増幅特性を比較した（フーリエ振幅比が1よりも大きくなる場合、同比の分子にあたる計測箇所の方が、地盤の増幅率が大きいと考えられる）（図18参照）。

その結果、地盤の地震増幅特性は、事故現場付近の増幅率が最も大きく、それに次いで西新井大師西駅付近、最も小さいのが車両基地構内となった。

*23 「フーリエ振幅スペクトル」とは、時刻歴波形データを周波数ごとの振幅（スペクトル）に分解したものである。これにより、地震による地盤の振動増幅特性や構造物の振動特性を明らかにすることができる。

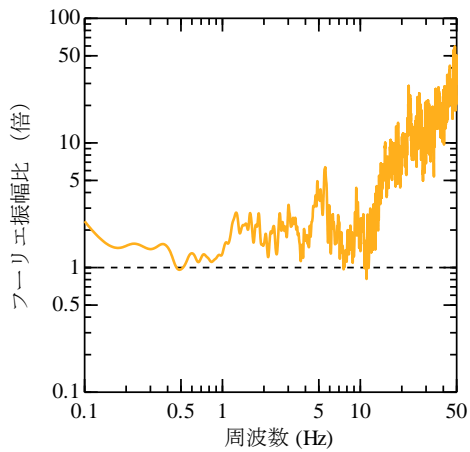


(a-1) 水平方向

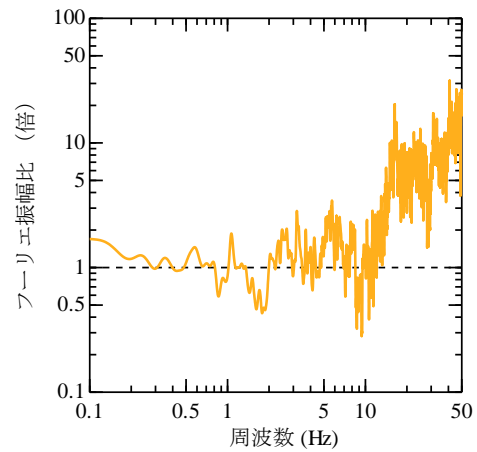


(a-2) 上下方向

(a) フーリエ振幅比 (事故現場付近／車両基地構内)

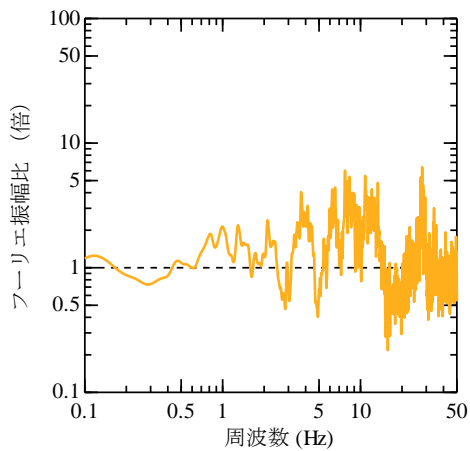


(b-1) 水平方向

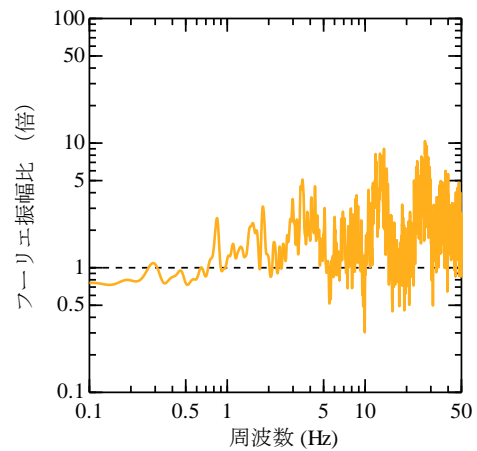


(b-2) 上下方向

(b) フーリエ振幅比 (西新井大師西駅付近／車両基地構内)



(c-1) 水平方向



(c-2) 上下方向

(c) フーリエ振幅比 (事故現場付近／西新井大師西駅付近)

図 1 8 地盤の地震増幅特性の比較

(3) 事故現場付近の地表面地震動波形の推定

(1)で収集した振動計測データ及び千葉県北西部地震発生時の車両基地構内の地震観測データを用いて、事故現場付近の時刻歴の地表面地震動波形を推定した(図19参照)。なお、同波形の0秒が示す時刻は、22時41分20秒である。

本推定においては、事故後の事故現場付近及び車両基地構内の地震動計測波形についてそれぞれフーリエ振幅スペクトルを求め、そのフーリエ振幅比を補正係数として用い、同係数を事故当時の車両基地構内の地表面地震動観測波形のフーリエ振幅スペクトルに乗じることで事故現場付近の地表面地震動波形を推定した。なお、本推定に当たっては、千葉県北西部地震時と(1)の振動計測期間中に発生した地震時で、地盤の地震増幅特性が同一であると仮定して行った。

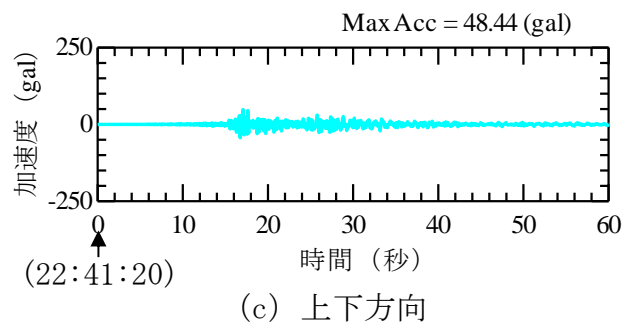
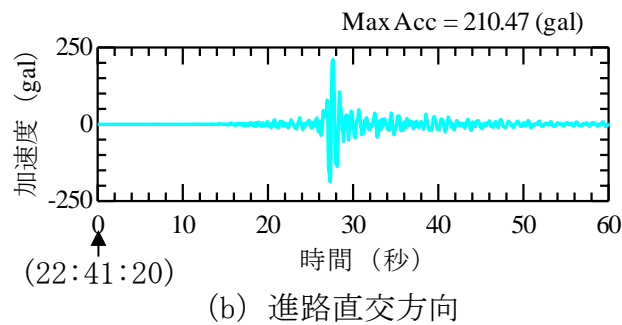
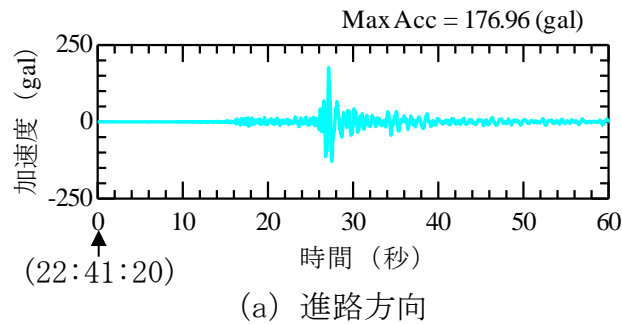
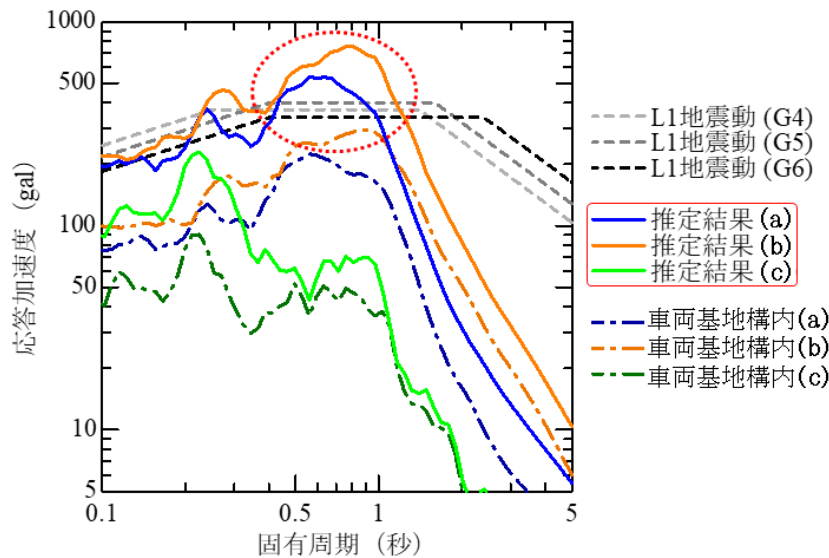


図19 事故現場付近の地表面地震動波形の推定結果

また、得られた推定波形から弾性加速度応答スペクトル^{*24}を求め、事故現場付近の地表面地震動の大きさを評価したところ、いずれの方向も車両基地構内の値より大きい結果となった。また、事故現場付近の地盤はボーリング調査結果等から軟弱地盤（G6）であると考えられ、「鉄道構造物等設計標準耐震設計」に示されるL1地震動^{*25}（G6）と比較すると、進路方向と進路直交方向は0.5～1.0秒程度の周期帯でL1地震動（G6）を超過していた（図20 参照）。



※(a)～(c)は、図19の(a)～(c)と同じ方向である。

図20 事故現場付近の地表面地震動の弾性加速度応答スペクトル（減衰定数5%）

2.8.2 事故現場付近の構造物の振動特性と地震時の挙動解析

(1) 事故現場付近の構造物の振動特性

列車が走行する構造物天端における振動波形は、図19の地表面地震動波形に構造物の振動特性を乗じることで求まることから、事故発生後に発生した地震の事故現場付近の地表面と構造物天端の振動計測データからフーリエ振幅比を算出して、構造物の振動特性を求めた（図21 参照）。なお、同特性の算出に当たってはノイズの影響を除去し、また進路方向及び進路直交方向の振動特性については地震時の構造物の減衰特性を考慮した。

*24 「弾性加速度応答スペクトル」とは、構造物の動的な特性を表現するために、構造物を1自由度系にモデル化し、入力地震波に対する最大応答値を構造物の固有周期ごとに計算し、横軸に構造物の固有周期、縦軸に応答加速度をとって表したものである。

*25 「L1地震動」とは、建設地点における構造物の設計耐用期間内に数回程度発生する確率を有する地震動で、主として鉄道構造物の安全性を車両の走行安全性の観点から照査するための地震動である。

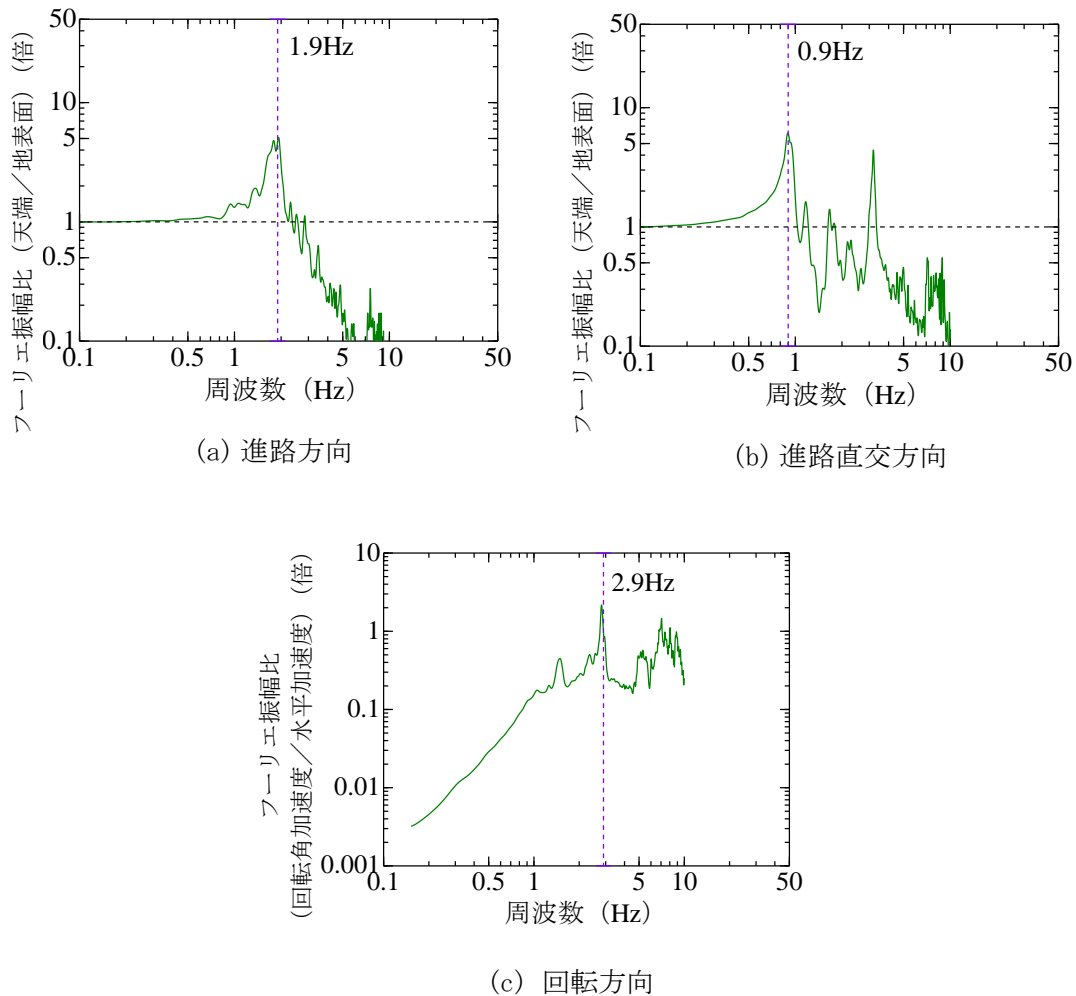


図 2 1 事故現場付近の構造物の振動特性

図 2 1 (c) から、事故現場付近の構造物は地震時にロール方向の回転挙動を示す可能性があることが分かった。

(2) 地震時の事故現場付近の構造物の挙動特性

(1) の解析結果から、事故現場付近の構造物は地震時にロール方向の回転挙動を示し、本事故の発生に影響した可能性が考えられたことから、振動計測データを用いて事故現場付近の構造物の地震時の挙動特性を解析した。なお、本解析においては、図 2 2 に示すように構造物天端に振動計を仮設し、進路直交方向 (y 軸方向) の加速度と回転方向 (θ 方向) の角加速度の時刻歴の振動波形を求めた (図 2 3 参照)。その結果、進路直角方向と回転方向の振動波形はほぼ同位相で振動しており、かつそれらの振幅も時間とともに同じように変化する傾向が見られた。

なお、事故現場付近の構造物は、2.3.1 に記述したように全線内で唯一の 3 線構造のため桁幅が広く、これを長い橋脚 1 本で支える構造のため、進路直

交方向の変位に伴う回転挙動の比率が相対的に大きくなる可能性が考えられる。

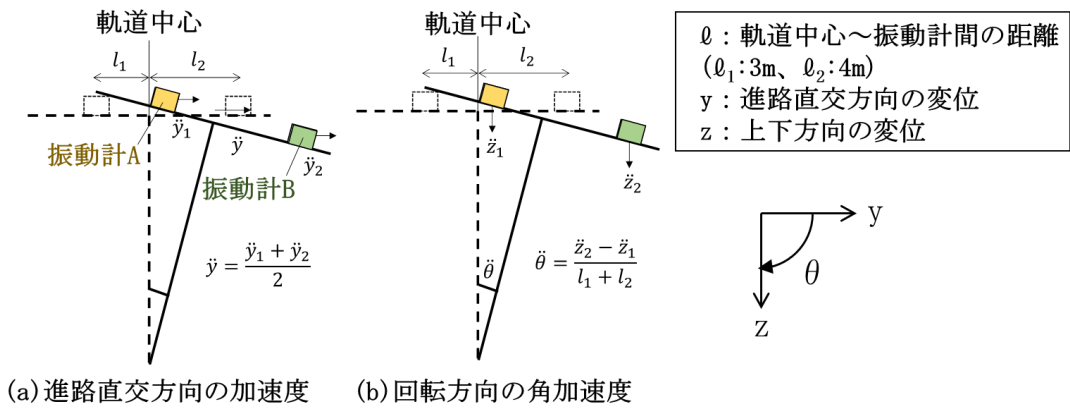


図 2 2 進路直交方向の加速度、回転方向の角加速度の定義

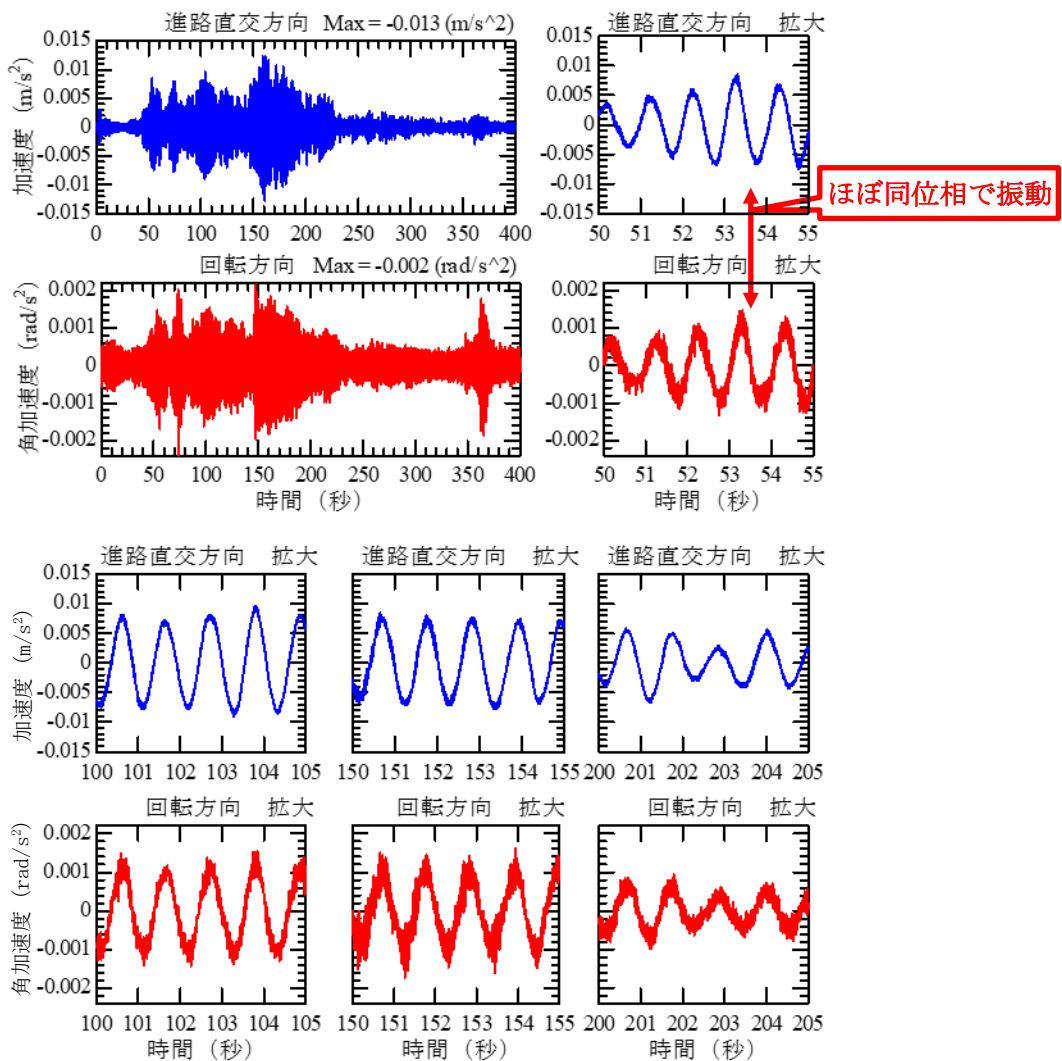


図 2 3 事故現場付近の構造物の地震時の振動波形に関する解析結果

2.8.3 事故現場付近の構造物天端の振動波形の推定

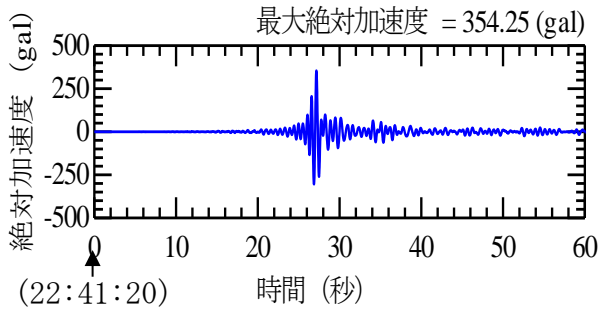
図19の地表面地震動の推定波形に、図21の構造物の振動特性を乗じて事故現場付近の構造物天端の時刻歴の振動波形を求めた(図24参照)。図24に示す波形の0秒が示す時刻は、22時41分20秒である。なお、構造物天端の進路方向及び進路直交方向の振動については、構造物中心位置と列車走行位置でほぼ同じとみなすことができる。また、構造物の上下方向の剛性は、進路直交方向に対して相対的に大きく剛とみなしても問題ないと考え、構造物中心位置の上下方向の振動の増幅は無視した。上下方向の列車走行位置の絶対加速度は、構造物中心位置の絶対加速度に角加速度の影響を加えて算出したものである。

同波形の進路方向及び進路直交方向について周波数解析を行ったところ、図21に示した構造物の固有振動数(進路方向:約1.9Hz、進路直交方向:約0.9Hz)とおおむね同じ振動数で大きな値を示していた。

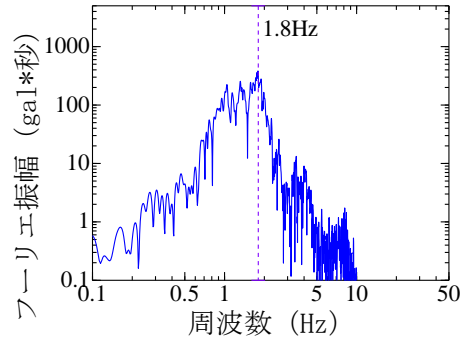
また、上下方向の絶対加速度については、構造物中心では48.44galであるのに対し、列車走行位置(構造物中心から水平方向に9,000mmの位置)では439.87galと大きく異なっており、このことから事故現場付近の構造物は回転の影響が大きい可能性があることが確認された。

さらに、構造物の回転方向の角加速度を求め、これを回転角に換算した時刻歴波形と、構造物中心位置における上下方向及び進路直交方向の絶対加速度を絶対変位に換算した時刻歴波形並びに構造物中心から走行路間中心位置までの距離9,000mm及び軌道面から走行路面までの高さ300mmを、次項に後述する車両挙動解析の入力データとして使用した。

(付図8 車両モデルに与えた入力振動波形 参照)

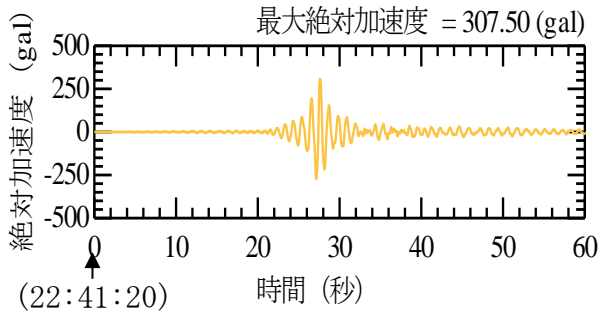


(a-1) 絶対加速度 (構造物中心位置)

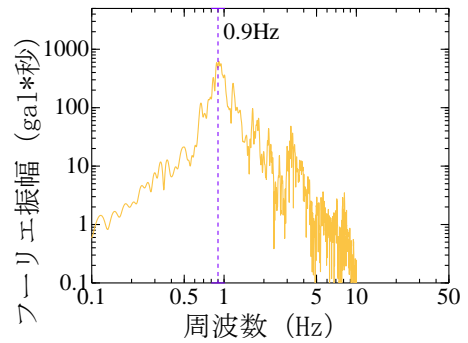


(a-2) フーリエ振幅

(a) 進路方向

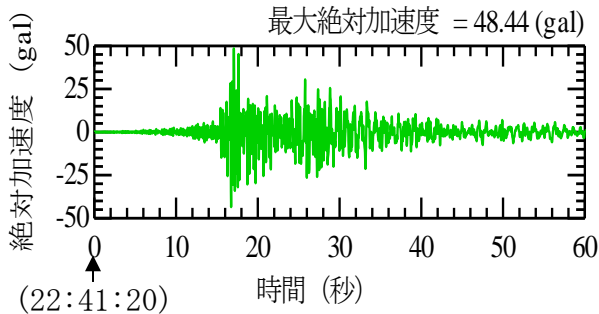


(b-1) 絶対加速度 (構造物中心位置)

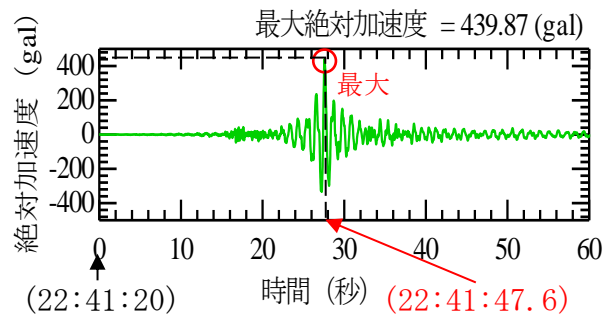


(b-2) フーリエ振幅

(b) 進路直交方向

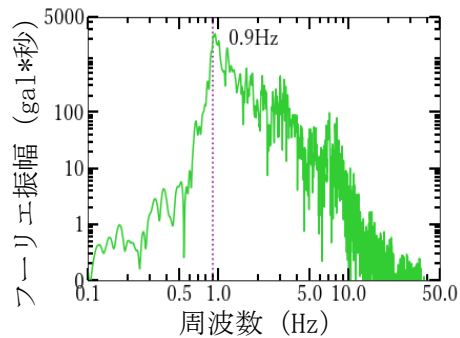


(c-1) 絶対加速度 (構造物中心位置)

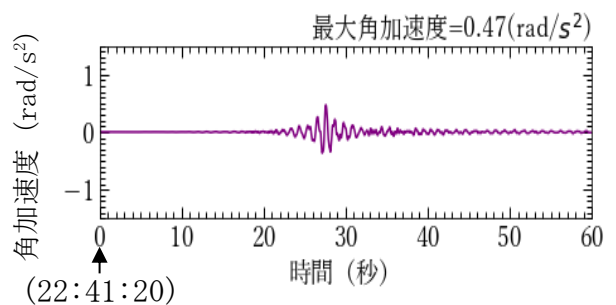


(c-2) 絶対加速度 (列車走行位置)

(c) 上下方向



(c-3) フーリエ振幅 (列車走行位置)



角加速度 (構造物中心位置)

(d) 回転方向

図 2 4 事故現場付近の構造物天端における振動波形の推定結果

2.8.4 地震時の車両挙動解析

M B D解析ソフトを用いて車両のモデル化を行い、2.8.3で求めた構造物天端の推定振動波形を入力して、車両の挙動を解析した。

(1) 車両モデル

車両及び軌道の主な構成要素を図25に示す。同図に示すように、車両は2次元平面上で運動を行うものとし、各部位を剛体要素及びばね・減衰要素でモデル化した。走行輪は上下方向の剛性をばねでモデル化し、走行路と接触している場合のみ、そのたわみ量に比例して荷重が増える特性とした。なお、解析では、走行輪のスリップは発生しない前提となっており、走行輪と走行路の間の摩擦力は考慮していない。また、案内輪は進路直交方向の剛性をばねでモデル化し、案内軌条と接触している場合のみ、そのたわみ量に比例して荷重が増える特性とした。なお、車両モデルの構築及び解析には、M S C S o f t w a r e社製のA d a m s 2 0 1 9を用いた。

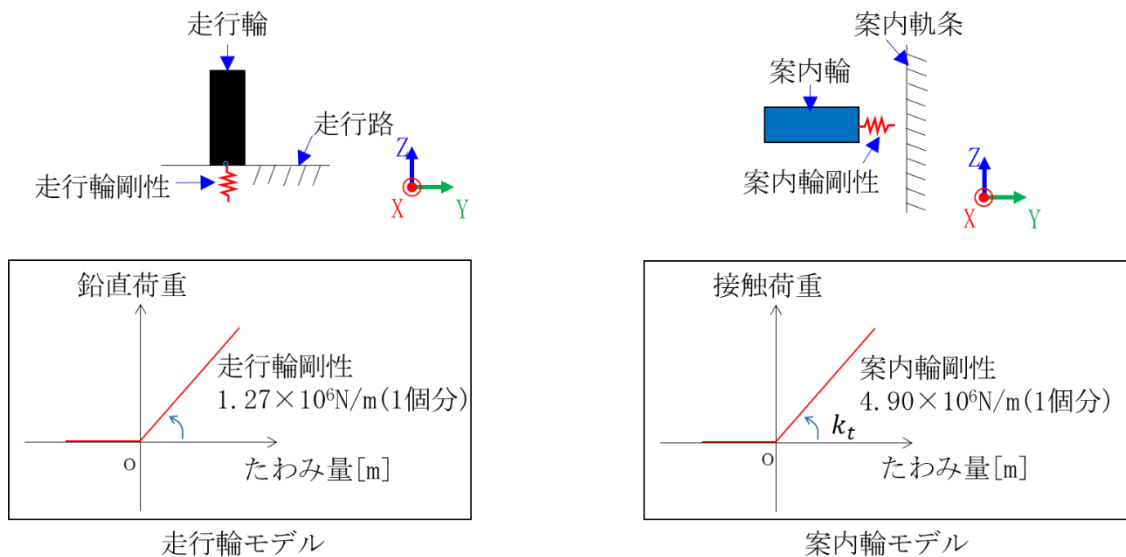
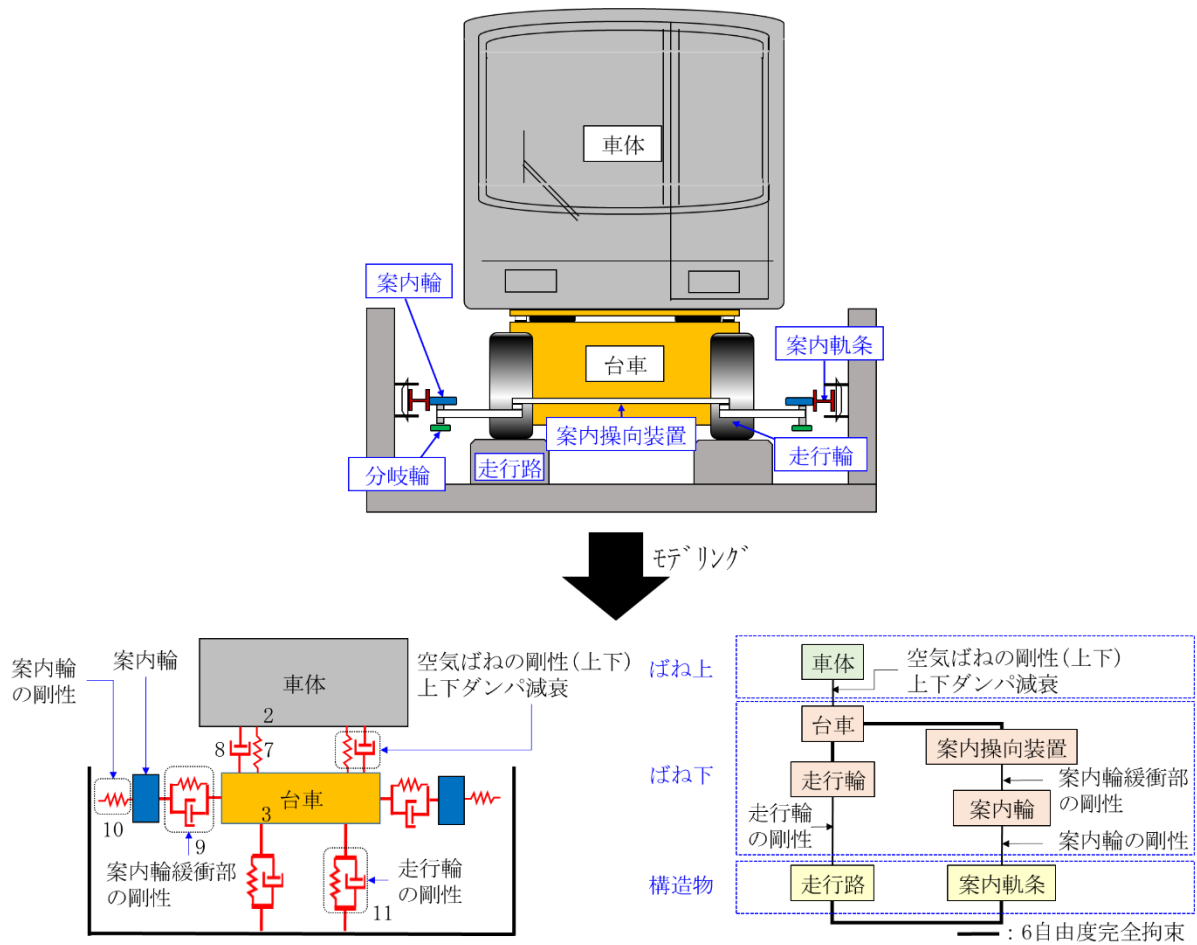


図 2 5 車両のモデリング

車両モデルのパラメータの値は表 1 3 に示すとおりであり、設計諸元や(2)に後述する車両の簡易加振試験の周波数分析結果に基づき設定した。

表 1 3 車両モデルのパラメータ設定値一覧

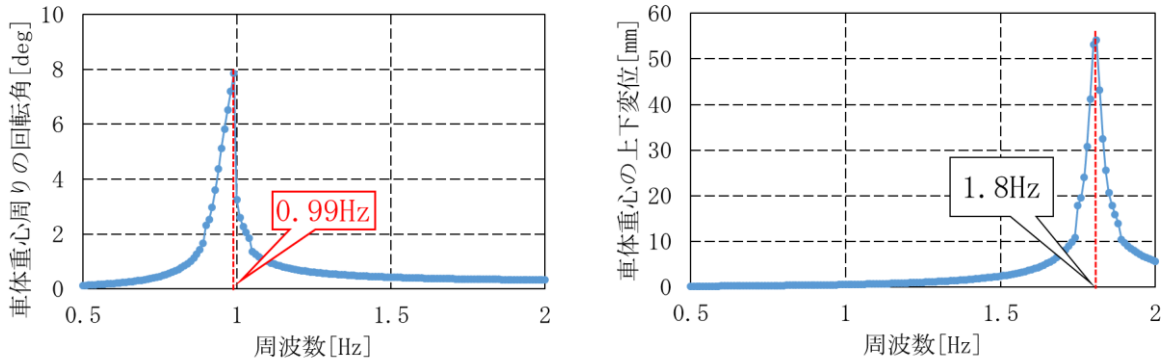
No	パラメータ	値	備考
1	車両全体質量 (kg)	11,822.9	空車条件
2	車体質量 (kg)	8,057.9	
3	台車質量 (kg)	3,765	動台車:1,995/従台車:1,770
4	乗客人数 (名)	0	駅映像からの推定
5	車体慣性モーメント (kg・m ²)	21,741*	
6	台車慣性モーメント (kg・m ²)	256*	
7	空気ばね剛性 (上下) (N/m)	3.35×10 ⁵ /1個*	2個/1台車×2台車/1車両
8	上下ダンパ減衰 (N・s/m)	V=0~10cm/sの時、9,800 V≥10cm/sの時、3,000 ※V:ピストン速度	・2個/1台車×2台車/1車両 ・伸長時のみ減衰力を発生
9	案内輪緩衝装置の剛性 (N/m)	4.41×10 ⁵ /1個	2個/1台車×2台車/1車両
10	案内輪の剛性 (N/m)	4.90×10 ⁶ /1個	2個/1台車×2台車/1車両
11	走行輪の剛性 (N/m)	1.27×10 ⁶ /1個	2個/1台車×2台車/1車両
12	車体重心高さ (m)	1.40	
13	台車重心高さ (m)	0.52	

※車両の簡易加振試験の周波数分析結果に基づく想定値である。なお、車体及び台車の慣性モーメントは、各々の重心を通る進行方向軸まわりの慣性モーメントである。

(2) 車両モデルの周波数特性の確認

(1)で作成した車両モデルの妥当性を確認するため、本件列車の編成車両と同じ形式の車両を簡易な方法で加振して振動加速度を測定し、周波数分析を行った。その結果、車体重心周りのロール方向の回転角が最大となる周波数は約1.0Hzに存在し、車体重心の上下変位が最大となる周波数は約1.8Hzに存在することが分かった。次に、車両モデルに正弦波入力を行い、車体のロール方向及び上下方向の周波数特性を確認したところ、ロール方向は0.99Hz、上下方向は1.8Hzで周波数応答が最大となっており、車両の簡易加振試験の周波数分析結果とおおむね一致していた(図26 参照)。

上記から、車両のロール方向の振動(以下第6章を除き「ローリング」という。)の固有振動数は、2.8.3に示した事故現場付近の構造物の進路直交方向の固有振動数とほぼ同じ1.0Hz付近に存在する結果となった。



(a) 車体重心周りの回転角 (b) 車体重心の上下変位

図 2 6 車両モデルの正弦波入力による周波数分析結果

(3) 車両挙動解析

車両挙動解析を行うに当たり、以下の三つの条件を設定した。

① 案内輪～案内軌条間の遊間

片側 3.0 mm、4.0 mm、5.0 mm、6.0 mm (左右の遊間は同じと仮定)

上記の寸法は、案内輪と案内軌条間の各々の設計上の寸法公差を基に定めた。

② 案内輪、分岐輪の初期位置及び案内軌条頂上の高さ

- ・基準点 (左右方向及び高さ方向のゼロ点)

(左右方向) 案内軌条のフランジ外面、(高さ方向) 案内軌条の中心高さ

- ・案内輪の初期位置

(左右方向) 基準点 $\pm 3.0 \sim 6.0$ mm、(高さ方向) 基準点 + 10.0 mm

- ・分岐輪の初期位置

(左右方向) 基準点 $\pm 15.0 \sim 18.0$ mm

(高さ方向) 基準点 - 185.0 mm

- ・案内輪、分岐輪が案内軌条の頂上を越える高さ

案内輪：基準点 + 107.5 mm、分岐輪：基準点 + 100.0 mm

(案内輪) $107.5 \text{ mm} =$

$150 \text{ mm} / 2$ (案内軌条高さの半分) + $65 \text{ mm} / 2$ (案内輪厚みの半分)

(分岐輪) $100.0 \text{ mm} =$

$150 \text{ mm} / 2$ (案内軌条高さの半分) + $50 \text{ mm} / 2$ (分岐輪厚みの半分)

上記の寸法は、図 2 7 に示す案内輪、分岐輪、案内軌条の各寸法及び各々の走行路面からの高さ寸法を基に算出した値である。

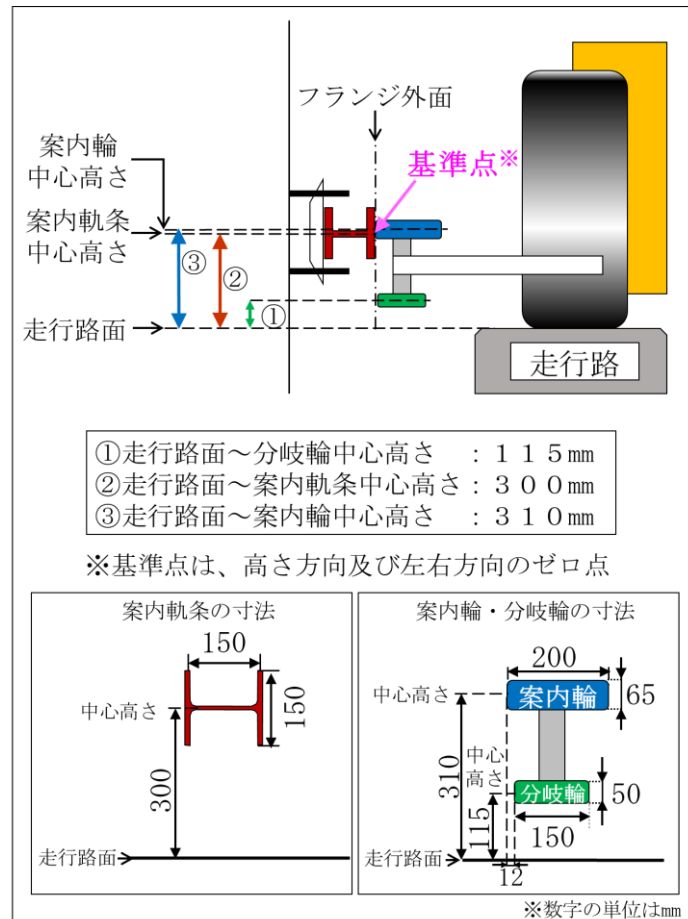


図 2 7 案内軌条及び案内輪・分岐輪の寸法と走行路面からの高さ寸法

③ 構造物の回転挙動の有無

2.8.2の解析結果より、地震時に構造物が示した回転挙動が車両の案内輪・分岐輪の浮き上がりに影響を与えた可能性が考えられたため、この影響の確認のため、回転挙動の有無を条件とした。

以上の条件で車両挙動解析を行い、案内輪及び分岐輪の最高浮き上がり高さを求めた結果を表 1 4 に示す。なお、構造物天端の推定振動波形の入力開始時刻である 2 2 時 4 1 分 2 0 秒から、3.2.1 に後述する本件列車が案内軌条に乗り上げたと考えられる 2 2 時 4 1 分 4 8 秒までが 2 8 秒間であることから、解析時間を 3 0 秒とし、同時間内に左右いずれかの分岐輪が案内軌条の頂上を越える高さまで浮き上がった時点で解析を終了とした。

表 1 4 車両挙動解析結果

条件	構造物の 回転挙動の有無	案内輪～案内軌条の 遊間[mm]		解析結果（最高浮き上がり高さ）[mm]			
		右側	左側	案内輪 （右側）	案内輪 （左側）	分岐輪 （右側）	分岐輪 （左側）
1	有	3.0	3.0	<u>≥107.5</u>	<u>≥107.5</u>	<u>≥100.0</u>	30.0
2	〃	4.0	4.0	<u>≥107.5</u>	<u>≥107.5</u>	<u>≥100.0</u>	-3.9
3	〃	5.0	5.0	<u>≥107.5</u>	<u>≥107.5</u>	-51.8	<u>≥100.0</u>
4	〃	6.0	6.0	<u>≥107.5</u>	<u>≥107.5</u>	<u>≥100.0</u>	0.0
5	無	3.0	3.0	106.8	<u>≥107.5</u>	-88.2	9.5
6	〃	4.0	4.0	<u>≥107.5</u>	<u>≥107.5</u>	-48.8	8.5
7	〃	5.0	5.0	<u>≥107.5</u>	<u>≥107.5</u>	-79.5	4.5
8	〃	6.0	6.0	<u>≥107.5</u>	<u>≥107.5</u>	-64.2	4.1

本結果から、地震時の構造物の回転挙動を考慮した場合は、いずれの条件でも案内輪、分岐輪ともに案内軌条の頂上を越える高さまで浮き上がる結果となった。一方、回転挙動を考慮しない場合は、案内輪は案内軌条の頂上を越えるが、分岐輪はいずれの条件においても越えない結果となった。また、案内輪～案内軌条の遊間と案内輪・分岐輪の最高浮き上がり高さとの相関は見られなかった。

2.8.5 解析のまとめ

本項で行った解析と得られた結果を以下にまとめる。

第一段階では、事故現場付近の地表面地震動波形を推定した。事故現場付近の地震動の大きさはいずれの方向も車両基地構内の値より大きく、進路方向と進路直交方向は0.5～1.0秒程度の周期帯でL1地震動（G6）を超過していた。また、地盤の地震増幅特性は、事故現場付近の増幅率が最も大きく、それに次いで西新井大師西駅付近、最も小さいのが車両基地構内となった。

第二段階では、事故現場付近の構造物天端の振動波形を推定した。その結果、事故現場付近の構造物は地震時にロール方向の回転挙動を示す可能性があることが分かった。その確認のため、地震時の構造物の挙動を解析したところ、進路直角方向と回転方向の振動波形はほぼ同位相で振動しており、かつそれらの振幅も時間とともに同じように変化する傾向が見られた。

第三段階では、車両のモデル化を行い、第二段階で得た構造物天端の推定振動波

形を入力し、車両の挙動を解析した。その結果、地震時の構造物の回転挙動を考慮した場合は、いずれの条件でも案内輪、分岐輪ともに案内軌条の頂上を越える高さまで浮き上がり、回転挙動を考慮しない場合は、案内輪は案内軌条の頂上を越えるが、分岐輪はいずれの条件においても越えない結果となった。

2.9 気象に関する情報

本件列車が停止していた位置から北に約9.9kmにある気象庁越谷地域気象観測所の観測記録によると、本事故発生直前の22時40分の気温は19.3℃、風向風速は西北西の風0.5m/s、前1時間降水量は0.0mmであった。また、本事故発生の約12時間前から発生までの事故現場付近の天気はおおむね曇りであった。

2.10 本件列車以外の編成車両の在線位置と損傷状況

本事故発生時の本線上の列車在線位置は図28に示すとおりであり、本件列車以外に分岐部を走行中の列車はなかった。

本件列車以外の編成車両の損傷状況については、表15に示すとおり、本件列車の隣の走行路に在線していた第2286A列車（編成番号310）に多くの損傷が認められた。その他、舎人公園駅の上り線、西新井大師西駅、江北駅、見沼代親水公園駅に在線していた編成車両に損傷が認められた。

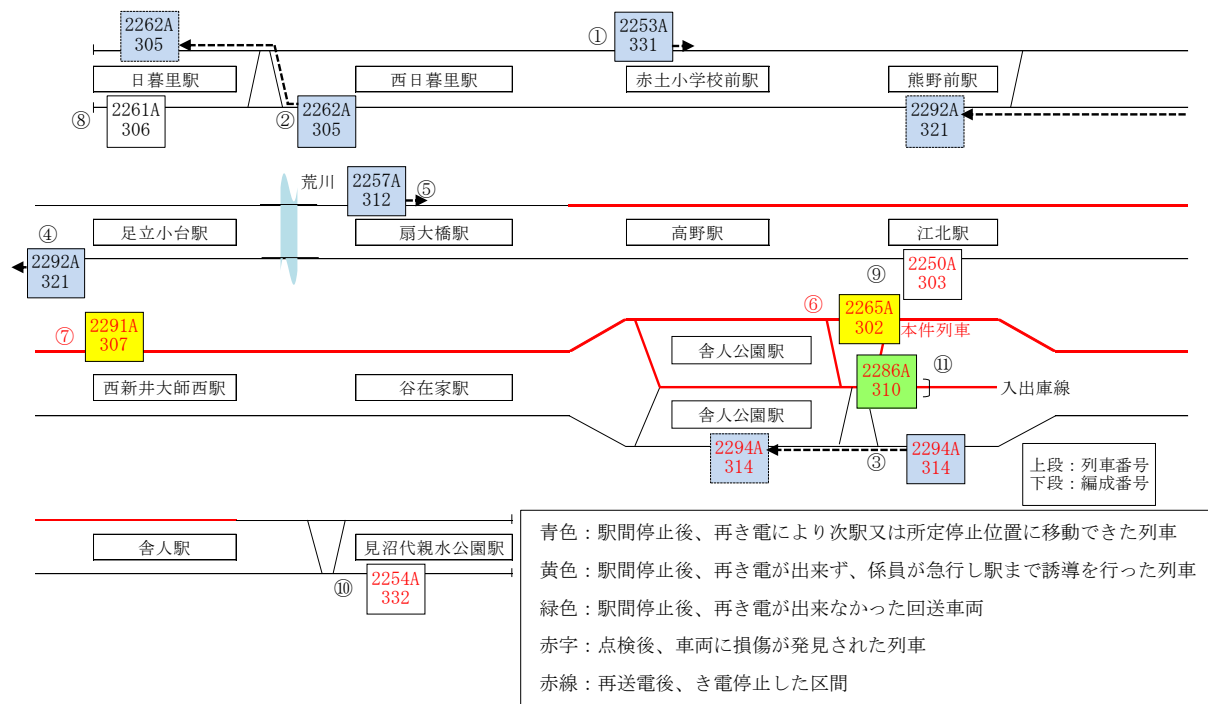


図28 本事故発生時の本線上の列車在線位置

表 1 5 本件列車以外の編成車両の主な損傷状況

編成 番号	被災場所			損傷状況
	車両基地/本線	場所	上下線*	
301	車両基地	留置線	△	なし
303	本線	江北駅	上り	集電装置が破損、車体に接触痕等多数
304	車両基地	留置線	△	なし
305	本線	日暮里駅	1 番線	なし
306	本線	日暮里駅	2 番線	なし
307	本線	西新井大師西駅	下り	車体に接触痕、集電装置が損傷等多数
308	車両基地	留置線	△	なし
309	車両基地	留置線	△	なし
310	本線	舎人公園～舎人	出入庫	案内輪が脱落、分岐輪が損傷、集電装置が損傷、台車が損傷、空気配管に損傷等多数
311	車両基地	検査線	△	なし
312	本線	扇大橋駅	下り	なし
313	車両基地	留置線	△	なし
314	本線	舎人公園駅	上り	集電装置が損傷、走行輪が損傷
315	車両基地	留置線	△	なし
316	車両基地	留置線	△	なし
321	本線	熊野前駅	上り	なし
331	本線	赤土小学校前駅	下り	なし
332	本線	見沼代親水公園駅	2 番線	車体に接触痕、集電装置が損傷等多数
333	車両基地	検査線	△	なし

※番線表記のものは駅の番線を表し、それ以外の表記は駅間に在線していることを表す。

3 分析

3.1 本事故前の施設、車両等に関する分析

3.1.1 軌道等の整備

2.3.4に記述したように、本事故発生前直近の事故現場付近の軌道等の定期検査では異常が認められていないこと、また事故当日も本事故発生の直前まで異常なく列車が走行していたことから、本事故前の軌道等には脱線に関わる要因はなかったものと考えられる。

3.1.2 車両の整備

2.4.3に記述したように、本事故発生前直近の車両に関する定期検査では異常が認められないこと、また事故当日も本事故発生の直前まで異常なく本件列車は走行していたことから、本事故前の本件列車には脱線に関わる要因はなかったものと考えられる。

3.2 脱線に関する分析

3.2.1 千葉県北西部地震との関連性

2.1.4に記述した運転状況の記録から算出される本件列車位置と図24(c-2)に示した事故現場付近の構造物天端の上下方向の推定振動波形を合成した結果を図29に示す。

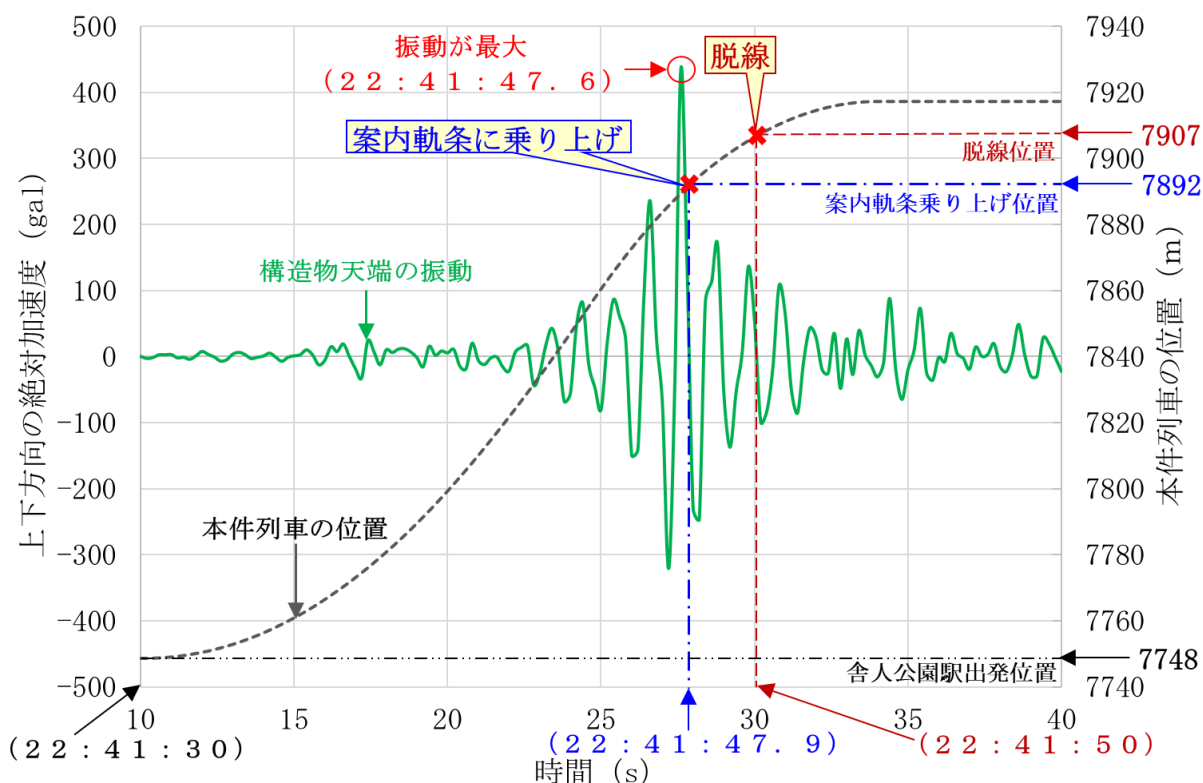


図29 事故発生時刻前後の構造物天端の振動波形と本件列車位置の合成結果

3.3.1に後述するように、本件列車の案内輪又は分岐輪が案内軌条に乗り上げた位置は7k892mと考えられ、本件列車が同位置を通過した時刻は22時41分48秒ごろ(22時41分47.9秒)である。他方、千葉県北西部地震による事故現場付近の構造物天端の振動が最大となる時刻は、22時41分48秒ごろ(22時41分47.6秒)と推定される。以上のことから、両者の時刻はほぼ一致しているため、同時刻(22時41分48秒ごろ)に、千葉県北西部地震の地震動の影響を受けて、本件列車の案内輪又は分岐輪が案内軌条に乗り上げたと考えられる。また、案内軌条に乗り上げた車両部品は、3.3.6に後述する案内輪・分岐輪の損傷状況から、1両目前台車の右側分岐輪2基であったと考えられる。

さらに、本件列車が最初に脱線した場所は、2.7.3(2)に記述した走行路の損傷状況から7k907m付近と考えられ、その時刻は22時41分50秒ごろで、列車

速度は約20km/hであったと考えられる。

3.2.2 脱線に至る過程

3.2.3～3.2.6及び3.3.1に後述する分析から、本件列車の脱線に至る過程は以下のとおりと考えられる（図30 参照）。

- (1) 千葉県北西部地震の地震動の影響を受けて、本件列車はロール方向に揺すられながら走行していた。
- (2) 1両目前台車の右側の分岐輪が浮き上がり、7k892mの位置において案内軌条に乗り上げた衝撃力で、案内軌条が脱落した（図30①）。
- (3) 本件列車は右側の案内軌条を失った影響で走行路の右側に寄って、その先の分岐部に向かって走り続けた（図30②）。
- (4) 当該分岐部では、本来、7k900mの位置から走行路左側に設置されている固定案内板の内側に列車左側の分岐輪が誘導されるべきところが、1両目の前車は右寄りを走行していたため、同案内板の外側に逸脱して分岐部に進入した（図30③）。
- (5) 7k907mの位置で、1両目前台車の左右の走行輪が走行路から右側に落ちて脱線し、その後、1両目の先頭部が7k917mの位置で停車した（図30④）。

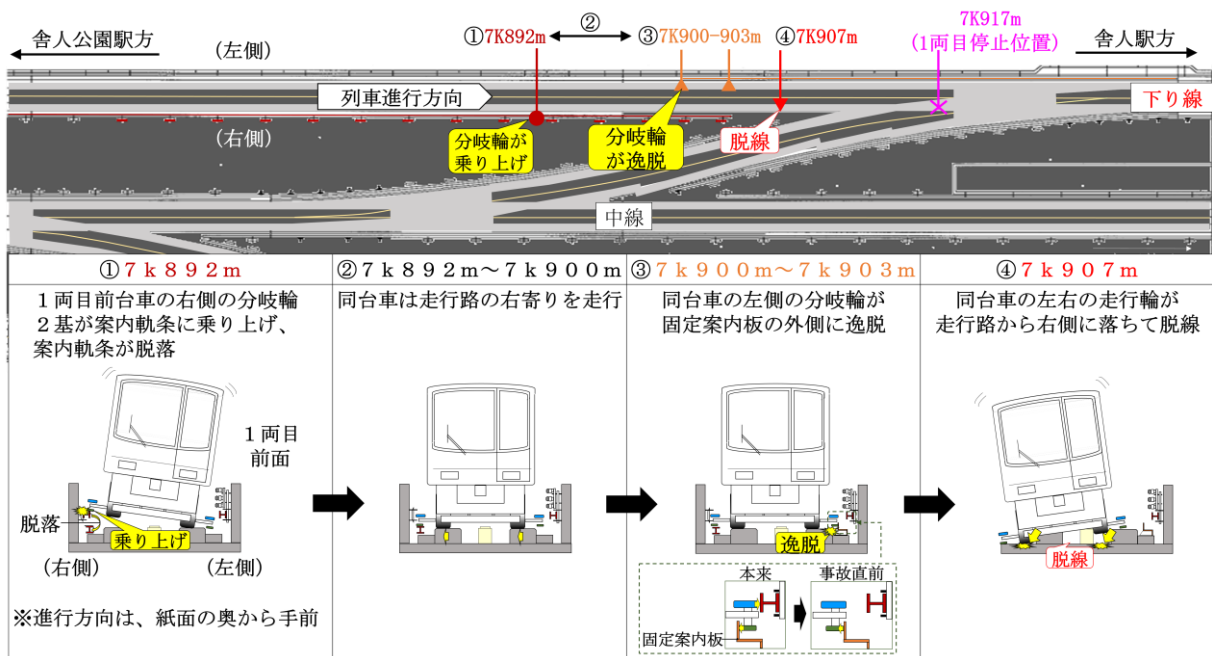


図30 本件列車の脱線の過程

3.2.3 地盤の影響

2.8.1(2)に記述したように、事故現場付近の地盤の地震増幅特性は、車両基地構内や脱線が発生しなかった西新井大師西駅付近と比べて増幅率が大きく、本事故の発生に影響した可能性が考えられる。

3.2.4 構造物と車両の固有振動数の影響

2.8.4(2)に記述したように、事故現場付近の構造物の進路直交方向の固有振動数と車両のロール方向の固有振動数はともに1.0Hz付近に存在していることから、地震時の車両のローリングが大きくなったと考えられる。

3.2.5 地震時の構造物の回転挙動による影響

2.8.2(2)に記述したように、事故現場付近の構造物は地震時に回転挙動を示し、その回転挙動が車両のローリングを助長したと考えられる。このことから、3.2.4に記述したように、構造物の固有振動数と車両の固有振動数がともに1.0Hz付近に存在していることに加え、構造物の回転挙動が車両のローリングを助長し、車両のローリングとともに台車の左右の走行輪が交互に持ち上がり、台車の分岐輪が案内軌条の頂上を越える高さまで浮き上がったと考えられる。

上記のように、事故現場付近の構造物は地震時に回転挙動を生じやすい構造となっており、今後、類似の構造物を設計する際には十分な配慮が望まれる。

このため、事故現場付近の施設には、地震動の影響により列車の案内輪及び分岐輪が案内軌条に乗り上げないようにするための措置を講ずる必要がある。また、事故現場付近以外についても上記と同様の事象が起こる可能性のある場所がないかを確認し、対策が必要な場合には同様の措置を講ずることが望まれる。

3.2.6 案内軌条の脱落による影響

3.3.1に後述する案内軌条の損傷に関する分析及び3.3.6に後述する案内輪及び分岐輪の損傷に関する分析から、案内軌条の脱落は、1両目前台車の右側の分岐輪2基が案内軌条に乗り上げたことで生じたものと考えられる。案内軌条の脱落により、本件列車は走行路の右側に寄り、同台車の左側の分岐輪が固定案内板の外側に逸脱して脱線したと考えられる。

3.3 施設及び車両の損傷に関する分析

3.3.1 案内軌条の損傷

7k863m～7k903m付近に認められた案内軌条の損傷について分析した結果は以下のとおりである。

締結装置の上側アンカーボルトに認められた変形は、表11に示したように、いずれも列車進行方向に変形していることから、上側アンカーボルトに列車進行方向の力が加わったためと考えられる。また、上側アンカーボルトに力を加えたのは、2.7.3(1)に記述したように、H形鋼の通常接触しない内面に車両の案内輪又は分岐輪が接触したことにより生じたと考えられる擦過痕が認められることから、本件列車の案内輪又は分岐輪であると考えられる。ただし、変形の向きは案内軌条がクリップから外れる向きではないため、案内軌条の脱落以降に本件列車の案内輪や分岐輪が衝突したことで生じたものと考えられる。

また、締結装置の下側アンカーボルトに認められた下向きの折れ曲がり、本件列車の案内輪又は分岐輪が案内軌条に乗り上げた際、H形鋼に対し鉛直下向きに衝撃的な力が加わり、その力の大部分が下側アンカーボルトに負荷されたことで生じたと考えられる。損傷を受けた下側アンカーボルトが締結板の孔縁端部の破断部以降に大きく変形していることについては、上記の力が下側アンカーボルトに負荷されて下向きに変形し、その時に締結板の孔縁端部に破断等が生じ、その後、さらに下向きに折れ曲がったためと考えられる。

さらに、締結装置の下側アンカーボルトが貫通するクリップやH形鋼のフランジ下部には変形が認められなかったことについては、下側アンカーボルトが折れ曲がった際に同ボルトが貫通するクリップが下側にずれて案内軌条から外れ、案内軌条が脱落したためと考えられる。

以上から、案内軌条の脱落は、以下のような経過で生じたものと考えられる。

- ① 本件列車の右側の案内輪又は分岐輪が案内軌条に乗り上げ、案内軌条に対し鉛直下向きに衝撃的な力が加わった。
- ② その力の大部分は、支柱取付け部の下側アンカーボルトに負荷された。
- ③ 下側アンカーボルトは下向きに変形し、締結板の左下の孔縁端部に変形や破断が生じ、さらに下向きに折れ曲がった。
- ④ 案内軌条は下側アンカーボルトが貫通するクリップから外れて脱落した。

なお、①で車両の案内輪又は分岐輪が案内軌条に乗り上げた位置については、走行路側のフランジ上部に、列車進行方向に対して左向きに15mm程度の幅の変形が認められた7k892m（支柱⑤付近）と考えられる。

3.3.2 走行路の損傷

7k904m～7k917m付近に認められた走行路の擦過痕は、2.7.2に記述した車両の損傷状況及び2.7.3(2)に記述した走行路の損傷状況から、右側の案内軌条が脱落してから本件列車の1両目前台車が脱線して停止するまでの間に、1両目の前台車や分岐輪の底面などが擦ったほか、走行輪が通常走行しない経路を走行した

ことで生じたものと考えられる。

3.3.3 固定案内板の損傷

7 k 9 0 0 m付近及び7 k 9 0 3 m付近の分岐部の固定案内板の外面に認められた擦過痕は、2.7.3(1)に記述した案内軌条の損傷状況、2.7.3(2)に記述した走行路の損傷状況、2.7.3(3)に記述した固定案内板の損傷状況及び付図5(c)に示した案内輪・分岐輪の損傷状況から、以下のように生じたものと考えられる。

- ① 3.3.1に記述した経過で案内軌条が脱落した。
- ② 本件列車の1両目前台車は走行路を右側に寄って、その先の分岐部に向かって走り続けた。
- ③ 走行路の右側に寄って走行していたため、同台車の左側の分岐輪は走行路左側の7 k 9 0 0 mの位置から設置されている固定案内板の外側に逸脱し、同案内板の外面を擦った。

また、表11に示したように7 k 9 0 0 m付近の案内軌条（H形鋼）には損傷が認められないこと及び車両の左右の案内輪幅と左右の案内軌条間の寸法の関係から、同分岐輪が逸脱した時には、既に右側の案内軌条は脱落していたものと考えられる。

3.3.4 電車線の脱落

7 k 8 6 0 m～7 k 9 2 0 m付近に認められた電車線の脱落は、付図5(c)に示した案内輪・分岐輪の損傷状況から、本件列車の案内輪が電車線と衝撃したことで生じたものと考えられる。

3.3.5 伝送ループ線の破損

7 k 9 0 5 m～7 k 9 1 8 m付近に認められた伝送ループ線の破損は、2.7.3(5)に記述したように、本件列車が脱線した際に、1両目前台車の左右の走行輪が踏み抜いたことで生じたものと認められる。

3.3.6 案内輪・分岐輪の損傷

案内輪・分岐輪に見られた損傷は、2.7.3(1)に記述した案内軌条の損傷状況及び2.7.3(2)に記述した走行路の損傷状況から、案内軌条又は走行路と衝撃した又は擦ったことで生じたものと考えられる。ただし、1両目前台車・右側の前側分岐輪に認められた衝撃痕は、案内軌条（H形鋼）の走行路側の変形が7 k 8 9 2 m以外には認められないことから、7 k 8 9 2 mの位置で案内軌条と衝撃したことで生じたものと考えられる。また、同台車右側の後側分岐輪に認められた太い筋状の擦過痕も、同台車前側の分岐輪とほぼ同じようなタイミングで案内軌条と擦ったことで

生じたものと考えられる。

3.4 乗客の負傷に関する分析

車内乗客の負傷時の状況については、2.1.2(2)に記述した乗客の口述や2.2.2の乗客の負傷に関する情報に記述したように、事故発生時、負傷者のほとんどが車両の大きな揺れや車両からの衝撃によって、身体が椅子から床に投げ出されたと考えられる。また、投げ出される際に、椅子の手すりに頭を強打し、顔に裂傷を負う等の被害や、投げ出された後に、椅子やドア等に身体が打ちつけられて負傷する被害があったと考えられる。

このため、車内乗客の被害軽減のために以下の対策を検討することが望まれる。

- ① 椅子の手すりに身体を打ちつけた際に、裂傷等を負うリスクを軽減するための対策
- ② 身体が床に投げ出された後に、車内設備下部の金属部や鋭利な箇所を打ちつけて負傷する可能性もあることから、金属部や鋭利な箇所の露出を減らす等の対策

3.5 同局の地震対策に関する分析

2.1.4に記述した運転状況の記録から、千葉県北西部地震発生時、指令員は同局の定める異常時対応マニュアル（火災・自然災害編）に従い、一斉非常停止などの操作を行ったものと認められる。ただし、事故当時、同局が導入していた早期地震警報システムは警報のみであり、その動作を確認して列車を非常停止させる操作は指令員が手動により行っていた。同システムの動作時は、指令員を介さず、自動的に列車の一斉非常停止を行う機能（以下「自動停止機能」という。）に改修することで、より迅速に列車を停止させることが期待できる。

本件列車の事故時の運転状況記録装置のデータを用いて、本事故時に自動停止機能を有していたと仮定した場合の列車停止位置を計算したところ、本件列車が脱線して停車していた位置から約40m手前の位置となることから、事故当時、自動停止機能を有していれば、本件列車は事故現場である分岐部に進入する前に停車していた可能性があると考えられる（表16 参照）。なお、計算条件として、早期地震警報システム動作から一斉非常列車停止操作を自動で行うのに要する時間を伝送遅延を考慮して0.75秒とし、一斉非常列車停止操作～非常制動動作に要する時間を本件列車の運転状況記録装置及びATOの記録を基に2.4秒とした。また、停止位置の計算に必要な列車の減速度は、本事故発生直近の本件列車の全般検査の記録から5.1 km/h/sとした。

表 1 6 自動停止機能の有無による列車停止位置の比較

時刻	自動停止機能 無 (事故時)	自動停止機能 有 (改修後)	備考 (キロ程)
	速度 (km/h)	速度 (km/h)	
22:41:30.0	0.0	0.0	舎人公園駅出発 (7k748m)
22:41:30.2	0.0	0.0	(7k748m)
22:41:34.0	14.5	14.5	(7k756m)
22:41:38.5	31.5	31.5	緊急地震速報 (7k785m)
22:41:39.0	33.5	33.5	一斉出発抑止操作、 早期地震警報 システム鳴動 (7k789m)
22:41:42.0	43.0 (指令員により 一斉非常列車停止操作)	43.0	(7k822m)
22:41:42.1	43.5	43.5 (自動停止機能により 非常ブレーキ動作)	(7k824m)
22:41:44.4	49.0 (非常ブレーキ動作)	31.8	
22:41:47.9	31.5	13.9	
22:41:48.4	27.0	11.4	
22:41:49.8	20.3	4.2	
22:41:50.0	19.3 (7k906m、分岐部付近)	3.2	
22:41:50.1	18.8 (7k907m、脱線)	2.7	
22:41:50.6	16.4	0.0 (7k875m、列車停止)	
22:41:52.0	9.7 (7k916m、地震計警報)	--	
22:41:53.4	3.0(0.0) (7k917m、列車停止)	--	

3.6 避難誘導に関する分析

2.1.2に記述した事故発生時の状況及び2.1.3に示した事故現場付近の送電処置に関する記録から、本事故発生後、指令員は電力指令の係員に指示して事故現場付近のき電区間に再送電を行い、次駅まで本件列車を移動させて乗客を避難誘導させようとしたと考えられる。また、上記の再送電の処置は本件列車が脱線していることを確認せずに行われ、本件列車が集電していた電車線付近から火花が散り、その煙が車内に入る状況になったと考えられる。

2.6に示した現行の異常時対応マニュアルでは、震度5弱以上の地震が発生した場合、点検に10分以上を要するため、旅客の避難誘導を直ちに行うこととなっているが、乗客の避難誘導の方法や手順については整理されていない。

以上のことから、震度5弱以上の地震発生時は全区間の車両及び施設の状態を確認し、その確認が完了するまでは再送電を行わないといった乗客の安全確保を最優先とした避難誘導の方法や手順を整理し、上記のマニュアルにも記載して、関係職員に周知徹底する必要がある。なお、異常時には、より迅速に車内状況を把握して負傷者の対応や乗客の避難誘導ができるように、車内監視用カメラを設置し、指令区で遠隔監視が行える体制を構築することが望ましい。

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、以下のとおりである。

(1) 本事故前の施設、車両等に関する分析

本事故発生前直近の事故現場付近の軌道等及び車両に関する定期検査では異常が認められていないこと、また事故当日も本事故発生の直前まで異常なく本件列車は走行していたことから、本事故前の軌道等及び本件列車には脱線に関わる要因はなかったものと推定される。(3.1) ^{*26}

(2) 脱線の発生に関する分析

① 千葉県北西部地震との関連性

本件列車の案内輪又は分岐輪が案内軌条に乗り上げたと考えられる7k892mを通過した時刻と千葉県北西部地震による事故現場付近の構造物天端の振動の絶対加速度がほぼ最大となる時刻は22時41分48秒ごろで一致しているため、同時刻に千葉県北西部地震の地震動の影響を受けて、本件列車の案内輪又は分岐輪は案内軌条に乗り上げたと考えられる。また、

*26 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」の項目番号を示す。

案内軌条に乗り上げた車両部品は、1両目前台車の右側分岐輪2基であったと考えられる。

さらに、本件列車が最初に脱線した場所は7k907m付近と考えられ、その時刻は22時41分50秒ごろで、列車速度は約20km/hであったと考えられる。(3.2.1)

② 脱線に至る過程

本件列車の脱線に至る過程は以下のとおりと考えられる。

千葉県北西部地震の地震動の影響を受けて、本件列車はロール方向に揺すられながら走行していた。1両目前台車の右側の分岐輪が浮き上がり、7k892mの位置において案内軌条に乗り上げた衝撃力で、案内軌条が脱落した。本件列車は、右側の案内軌条を失った影響で走行路の右側に寄って、その先の分岐部に向かって走り続けた。当該分岐部では、本来、7k900mの位置から走行路左側に設置されている固定案内板の内側に列車左側の分岐輪が誘導されるべきところが、1両目の前台車は走行路の右寄りを走行していたため、同案内板の外側に逸脱して分岐部に進入した。7k907mの位置で、1両目前台車の左右の走行輪が走行路から右側に落ちて脱線し、その後、1両目の先頭部が7k917mの位置で停車した。(3.2.2)

③ 地盤の影響

2.8.1(2)に記述したように、事故現場付近の地盤の地震増幅特性が本事故の発生に影響した可能性が考えられる。(3.2.3)

④ 構造物と車両の固有振動数の関係による影響

事故現場付近の構造物の進路直交方向の固有振動数と車両のロール方向の固有振動数はともに1.0Hz付近に存在していることから、地震時の車両のローリングが大きくなったと考えられる。(3.2.4)

⑤ 地震時の構造物の回転挙動による影響

事故現場付近の構造物は地震時に回転挙動を示し、その回転挙動が車両のローリングを助長したと考えられる。このことから、構造物の固有振動数と車両の固有振動数がともに1.0Hz付近に存在していることに加え、構造物の回転挙動が車両のローリングを助長し、台車の左右の走行輪が交互に持ち上がって、台車の分岐輪が案内軌条の頂上を越える高さまで浮き上がったと考えられる。

上記のように、事故現場付近の構造物は地震時に回転挙動を生じやすい構造となっており、今後、類似の構造物を設計する際には十分な配慮が望まれる。

このため、事故現場付近の施設には、地震動の影響により列車の案内輪及

び分岐輪が案内軌条に乗り上げないようにするための措置を講ずる必要がある。また、事故現場付近以外についても上記と同様の事象が起こる可能性のある場所がないかを確認し、対策が必要な場所には同様の措置を講ずることが望まれる。(3.2.5)

⑥ 案内軌条の脱落による影響

案内軌条の脱落は、1両目前台車の右側の分岐輪2基が案内軌条に乗り上げたことで生じたものと考えられる。案内軌条の脱落により、本件列車は走行路の右側に寄り、同台車の左側の分岐輪が固定案内板の外側に逸脱して脱線したと考えられる。(3.2.6)

(3) 施設及び車両の損傷に関する分析

① 案内軌条の損傷

案内軌条の脱落は、以下のとおり、生じたものと考えられる。

本件列車の右側の案内輪又は分岐輪が案内軌条に乗り上げ、案内軌条に対し鉛直下向きに衝撃的な力が加わった。その力の大部分は、支柱取付け部の下側アンカーボルトに負荷された。下側アンカーボルトは下向きに変形し、締結板の左下の孔縁端部に変形や破断が生じ、さらに下向きに折れ曲がった。案内軌条は下側アンカーボルトが貫通するクリップから外れて脱落した。なお、車両の1両目前台車右側分岐輪2基が案内軌条に乗り上げた位置は、7k892m(支柱⑤付近)と考えられる。(3.3.1)

② 走行路の損傷

7k904m～7k917m付近に認められた走行路の擦過痕は、右側の案内軌条が脱落してから本件列車の1両目前台車が脱線して停止するまでの間に、1両目の前台車や分岐輪の底面などが擦ったほか、走行輪が通常走行しない経路を走行したことで生じたものと考えられる。(3.3.2)

③ 固定案内板の損傷

7k900m付近及び7k903m付近の分岐部の固定案内板の外面に認められた擦過痕は、以下のとおり、生じたものと考えられる。

案内軌条が脱落し、本件列車の1両目前台車は走行路の右側に寄って、その先の分岐部に向かって走り続けた。走行路の右側に寄って走行していたため、同台車の左側の分岐輪は走行路左側の7k900mの位置から設置されている固定案内板の外側に逸脱し、同案内板の外面を擦ったことで生じたものと考えられる。また、同分岐輪が逸脱した時には、既に右側の案内軌条は脱落していたものと考えられる。(3.3.3)

④ 電車線の脱落

7k860m～7k920m付近に認められた電車線の脱落は、本件列車

の案内輪が電車線と衝撃したことで生じたものと考えられる。(3.3.4)

⑤ 伝送ループ線の破損

7 k 9 0 5 m～7 k 9 1 8 m付近に認められた伝送ループ線の破損は、本件列車が脱線した際に、1両目前台車の左右の走行輪が踏み抜いたことで生じたものと認められる。(3.3.5)

⑥ 案内輪・分岐輪の損傷

案内輪・分岐輪に見られた損傷は、案内軌条又は走行路と衝撃した又は擦ったことで生じたものと考えられる。ただし、1両目前台車・右側の前側分岐輪に認められた衝撃痕は、7 k 8 9 2 mの位置で案内軌条と衝撃したことで生じ、同台車右側の後側分岐輪に認められた太い筋状の擦過痕も、同台車前側の分岐輪とほぼ同じようなタイミングで案内軌条と擦ったことで生じたものと考えられる。(3.3.6)

(4) 乗客の負傷に関する分析

車内乗客の負傷時の状況については、事故発生時、負傷者のほとんどが車両の大きな揺れや車両からの衝撃によって、身体が椅子から床に投げ出されたと考えられる。また、投げ出される際に、椅子の手すりに頭を強打し、顔に裂傷を負う等の被害や、投げ出された後に、椅子やドア等に身体が打ちつけられて負傷する被害があったと考えられる。

このため、車内乗客の被害軽減のために以下の対策を検討することが望まれる。

① 椅子の手すりに身体を打ちつけた際に、裂傷等を負うリスクを軽減するための対策

② 身体が床に投げ出された後に、車内設備下部の金属部や鋭利な箇所を打ちつけて負傷する可能性もあることから、金属部や鋭利な箇所の露出を減らす等の対策

(3.4)

(5) 同局の地震対策に関する分析

千葉県北西部地震発生時、指令員は、同局の定める異常時対応マニュアル(火災・自然災害編)に則り、一斉非常停止などの操作を行ったものと認められる。ただし、事故当時、同局が導入していた早期地震警報システムは警報のみであり、その動作を確認して列車を非常停止させる操作は指令員が手動により行っていた。

本事故時に自動停止機能を有していたと仮定した場合の計算上の列車停止位置は、本件列車が脱線して停車していた位置から約40m手前となることから、自動停止機能を有していれば、本件列車は事故現場である分岐部に進入する前

に停車していた可能性があると考えられる。(3.5)

(6) 避難誘導に関する分析

本事故発生後、指令員は電力指令の係員に指示して事故現場付近のき電区間に再送電を行い、次駅まで本件列車を移動させて乗客を避難誘導させようとしたと考えられる。また、上記の再送電の処置は本件列車が脱線していることを確認せずに行われ、本件列車が集電していた電車線付近から火花が散り、その煙が車内に入る状況になったと考えられる。

同局の現行の異常時対応マニュアルでは、震度5弱以上の地震が発生した場合、点検に10分以上を要するため、旅客の避難誘導を直ちに行うこととなっているが、乗客の避難誘導の方法や手順については整理されていない。

以上のことから、震度5弱以上の地震発生時は全区間の車両及び施設の状態を確認し、その確認が完了するまでは再送電を行わないといった乗客の安全確保を最優先とした避難誘導の方法や手順を整理し、上記のマニュアルにも記載して、関係職員に周知徹底する必要がある。

なお、異常時には、より迅速に車内状況を把握して負傷者の対応や乗客の避難誘導ができるように、車内監視用カメラを設置し、指令区で遠隔監視が行える体制を構築することが望ましい。(3.6)

4.2 原因

本事故は、令和3年10月7日22時41分ごろに発生した千葉県北西部を震源とする地震の地震動を受けたため、列車が脱線したものと考えられる。

脱線に至る過程については、上記の地震動により列車がロール方向に大きく揺すられ、1両目前台車の右側分岐輪が案内軌条に乗り上げ、案内軌条が脱落した。その影響で、同台車は走行路の右寄りを走行したため、その先の走行路左側に設置された固定案内板の外側に同台車の左側分岐輪が逸脱し、脱線したものと考えられる。

5 再発防止策

5.1 必要と考えられる再発防止策

本事故の再発を防止するためには、以下の措置を講ずる必要がある。

(1) 早期地震警報システム動作時の一斉非常列車停止操作の自動化

早期地震警報システム動作時は、できる限り迅速に列車を停止させ、地震による被害を最小限に抑えるため、同システム動作時の一斉非常列車停止操作の自動化を行う必要がある。

(2) 事故現場付近の地震時の列車脱線防止対策

構造物の進路直交方向の固有振動数が車両のローリングの固有振動数とほぼ一致し、地震による構造物の回転挙動の影響が大きい可能性のある事故現場付近については、地震動の影響により列車の案内輪や分岐輪が案内軌条に乗り上げないようにするための対策を講ずる必要がある。また、事故現場付近以外についても上記と同様の事象が起こる可能性のある場所がないかを確認し、対策が必要な場所には同様の措置を講ずることが望まれる。

(3) 乗客の安全確保を最優先とした異常時対応の整理

震度5弱以上の地震発生時は全区間の車両及び施設の状態を確認し、その確認が完了するまでは再送電を行わないといった乗客の安全確保を最優先とした避難誘導の方法や手順を整理し、異常時対応マニュアルにも記載して、関係係員に周知徹底する必要がある。

5.2 事故後に同局が講じた措置

同局は、本事故の減災対策として、以下の措置を講じた。

(1) 早期地震警報システム動作時の一斉非常列車停止操作の自動化

これまで早期地震警報システムの動作時は指令員が手動で一斉非常列車停止操作を行っていたが、より迅速に列車を停止させるため、同システム動作時の一斉非常列車停止操作を自動化した。

(2) 分岐部の走行路中央部の段差解消

列車の走行輪が、万が一、走行路から落ちた際に車内乗客が受ける衝撃を緩和するため、事故現場付近と同様に、本線上で分岐部の手前から速度40 km/h程度で分岐部を通過する箇所段差を解消する計画である。

6 勧告

本事故は、千葉県北西部を震源とする地震の地震動により、1両目前台車の右側分岐輪が案内軌条に乗り上げたため、列車が脱線に至ったものと考えられる。なお、同分岐輪の乗り上げは、事故現場付近の構造物の固有振動数と車両の固有振動数がともに1.0 Hz付近に存在していることに加え、事故現場付近の構造物の回転挙動が車両のロール方向の振動を助長し、台車の左右の走行輪が交互に持ち上がったことにより生じたと考えられる。

また、本事故発生後、指令員は脱線した第2265A列車を移動させて乗客を避難誘導させるため電力指令の係員に指示して事故現場付近のき電区間に再送電を行った

が、その処置は同列車が脱線していることを確認せずに行われ、同列車が集電していた電車線付近から火花が散り、その煙が車内に入る状況になったと考えられる。

運輸安全委員会は、本事故の調査結果を踏まえ、輸送の安全を確保するため、東京都交通局に対し、運輸安全委員会設置法第27条第1項の規定に基づき、以下のとおり勧告する。

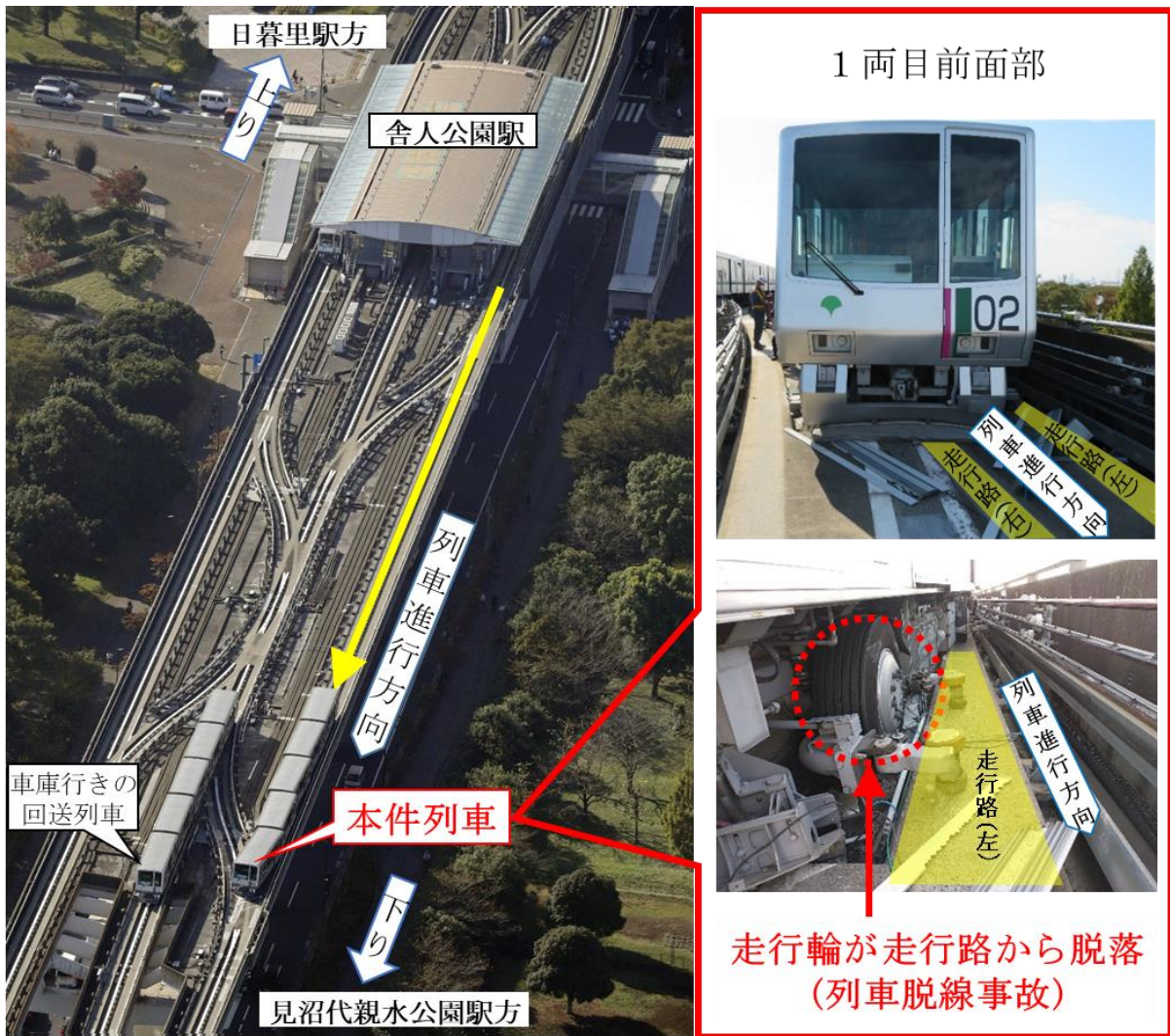
- (1) 同局は、事故現場付近の施設に、地震動の影響により列車の案内輪や分岐輪が案内軌条に乗り上げないようにするための対策を講ずること。
- (2) 同局は、震度5弱以上の地震発生時は全区間の車両及び施設の状態を確認し、その確認が完了するまでは再送電を行わないといった乗客の安全確保を最優先とした避難誘導の方法や手順を整理し、異常時対応マニュアルにも記載して、関係係員に周知徹底すること。

付図1 事故現場付近の概要図



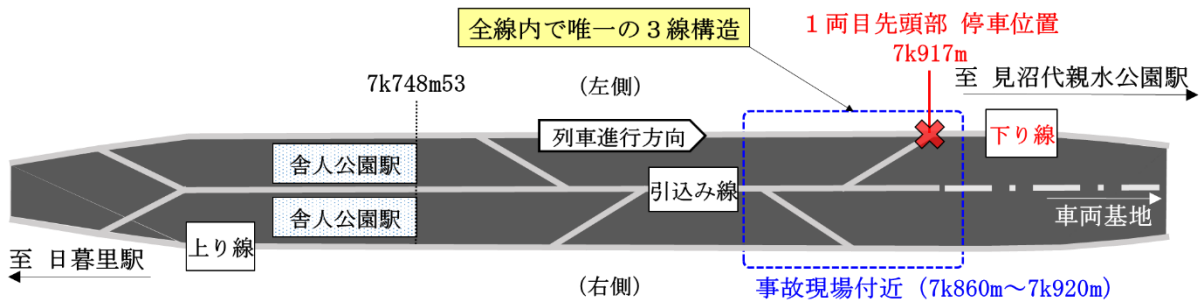
※国土地理院の地理院地図（電子国土Web）を使用して作成

(a) 路線の概要

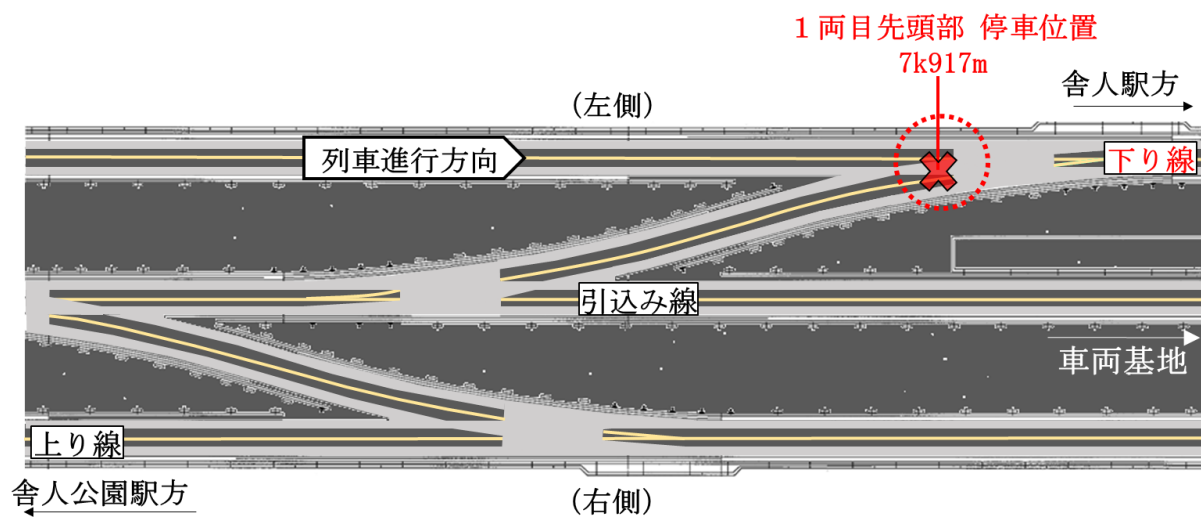


※左図は、共同通信社提供の写真を使用して作成
 (b) 事故現場付近の概要

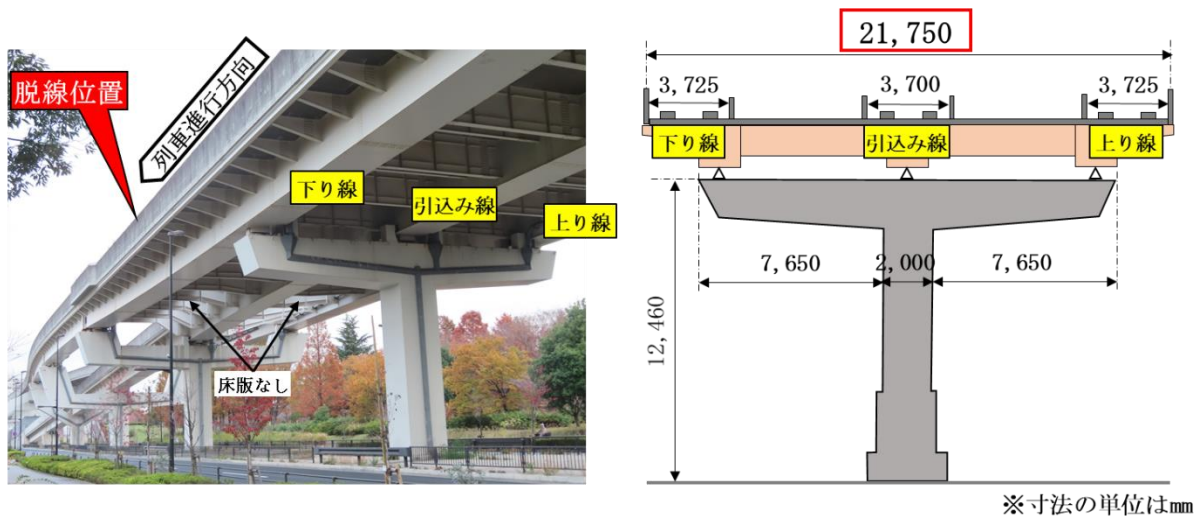
付図2 事故現場付近の施設



(a) 軌道の概要

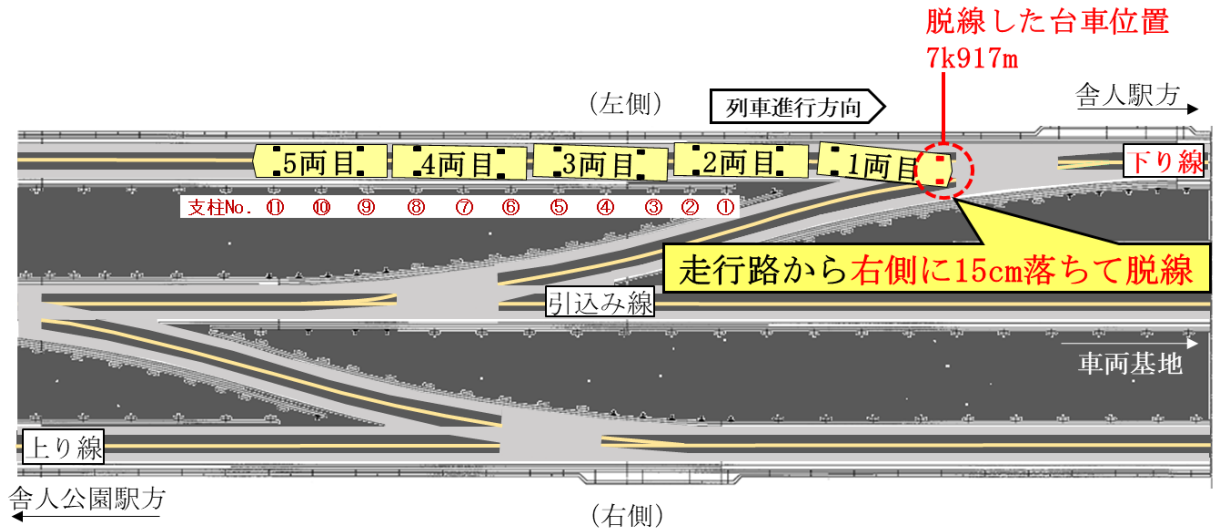


(b) 軌道の詳細

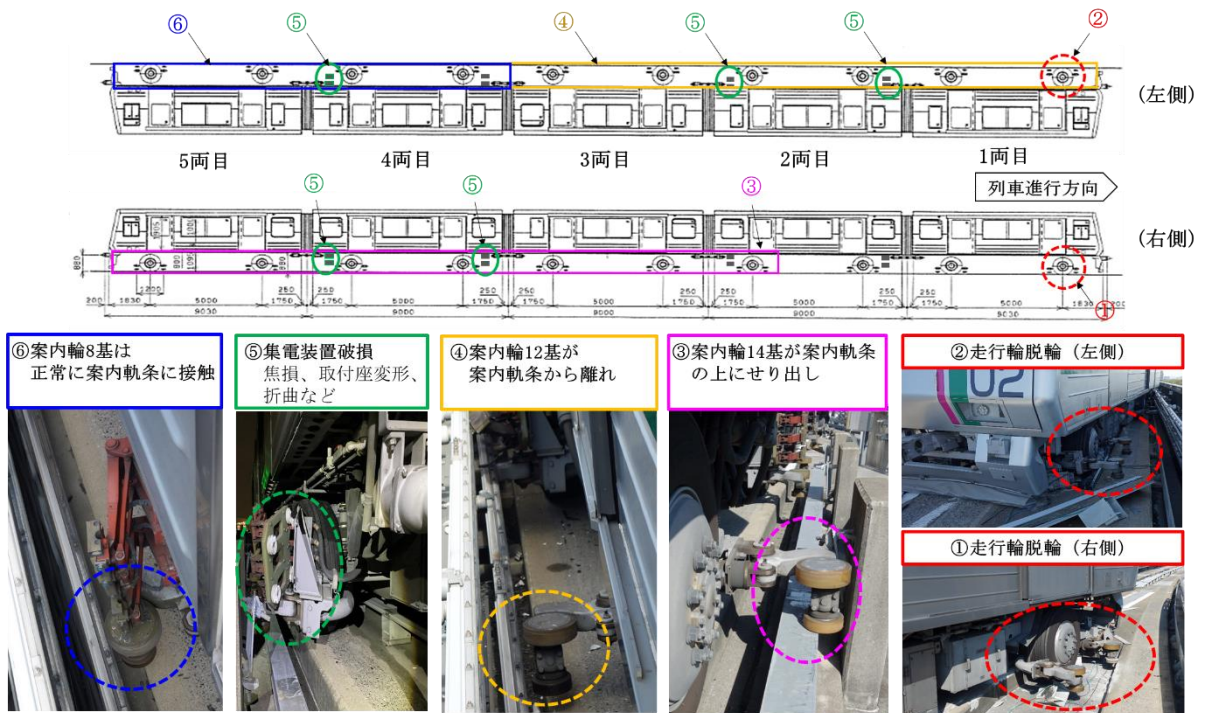


(c) 構造物の概要

付図3 本事故発生後の本件列車の状態



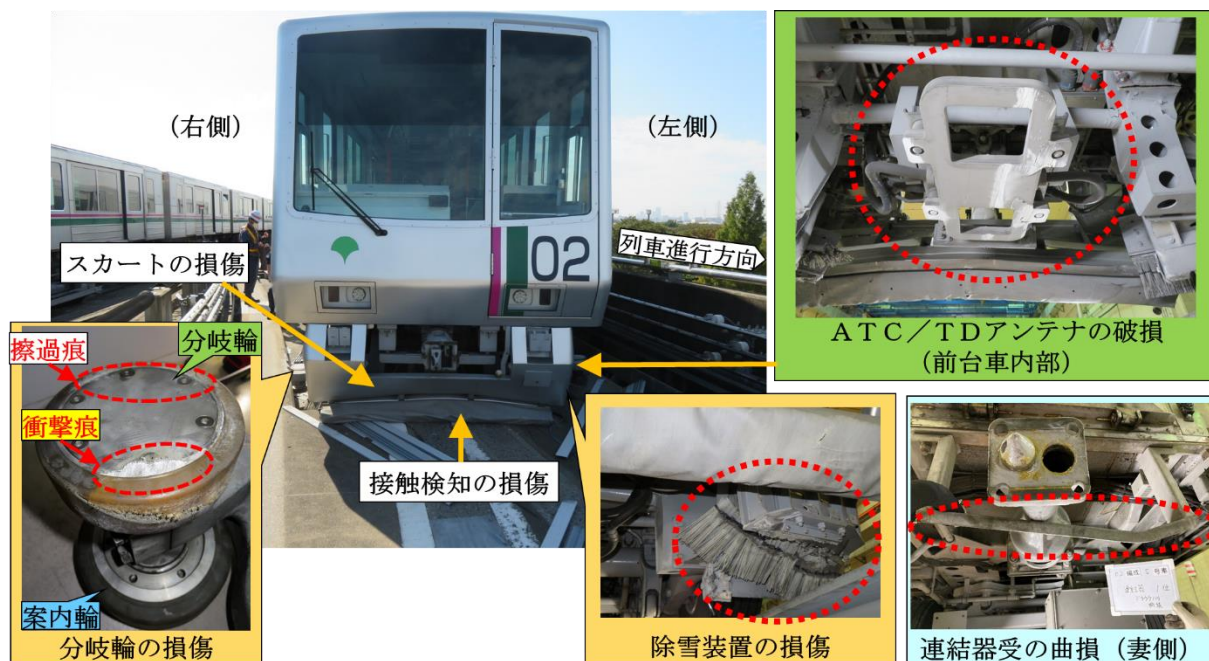
(a) 本件列車の脱線位置



(b) 本件列車の状態

付図4 本件列車の主な損傷状況

< 1両目 >

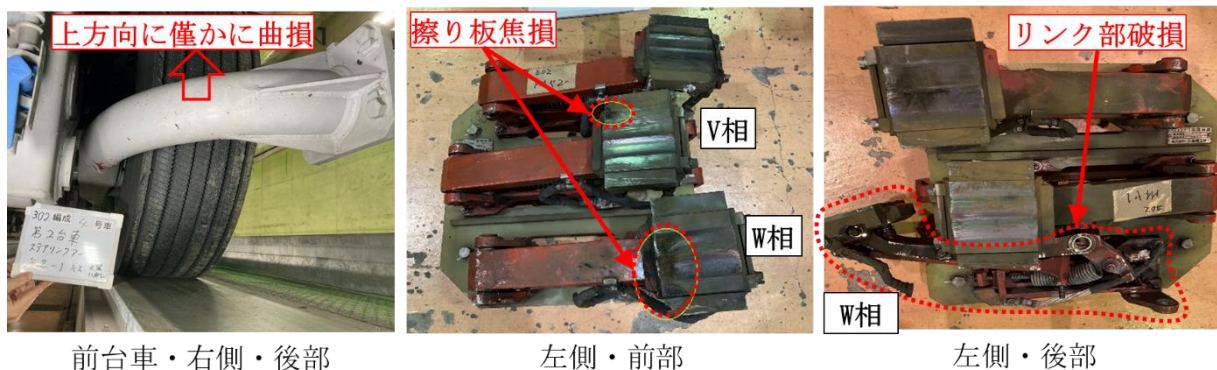


(a) 前面部の損傷状況



(b) 台車の損傷状況

< 2両目 >



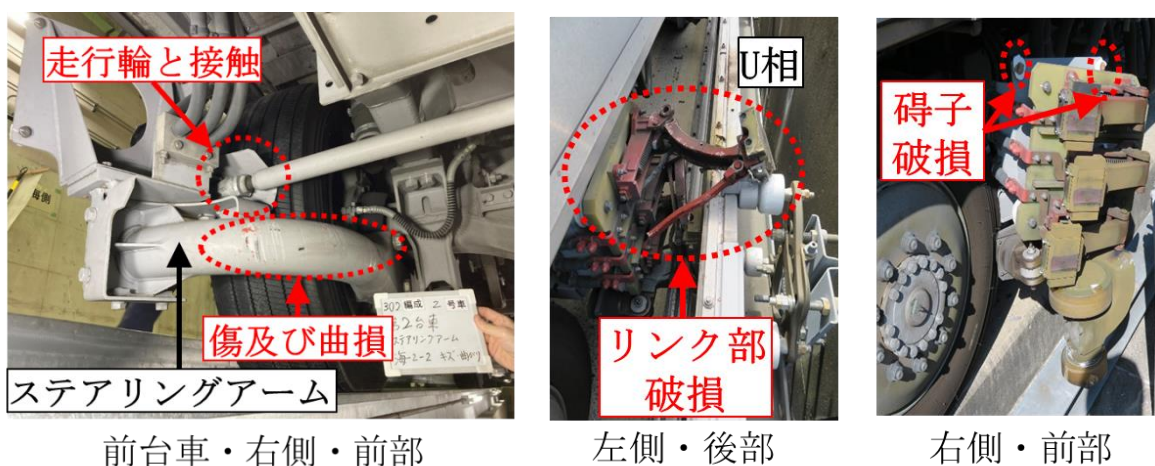
(c) 集電装置の損傷状況

< 3両目 >



(d) 台車の損傷状況

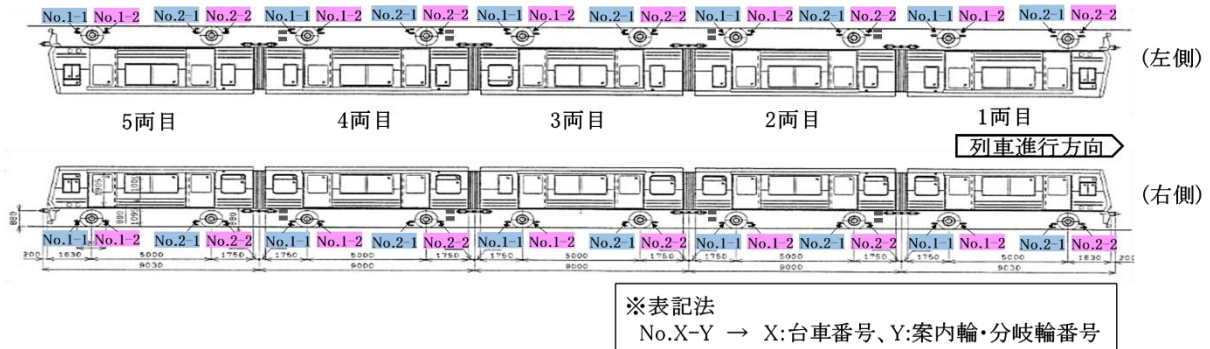
< 4両目 >



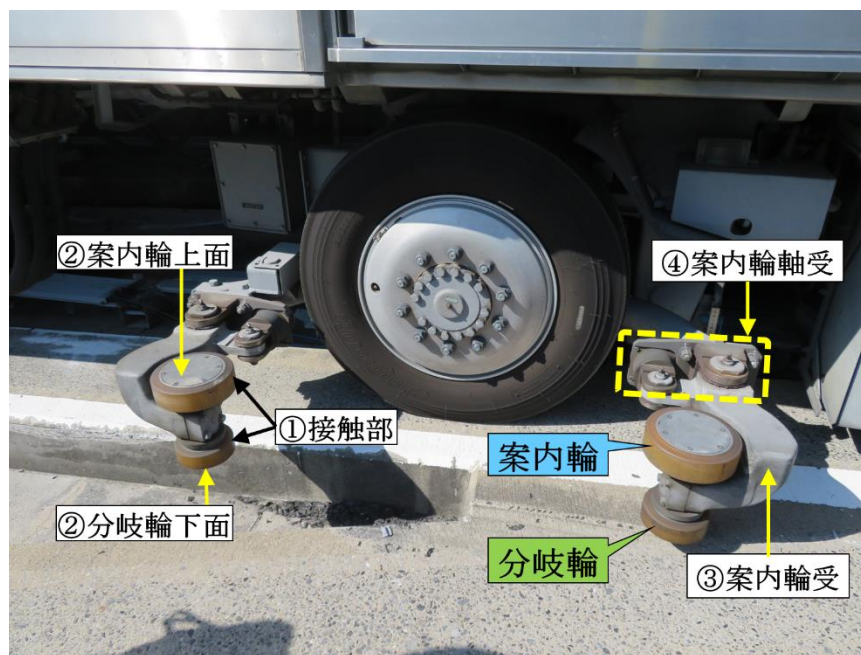
(e) 台車の損傷状況

(f) 集電装置の損傷状況

付図5 案内輪・分岐輪の損傷状況



(a) 案内輪・分岐輪のナンバリング

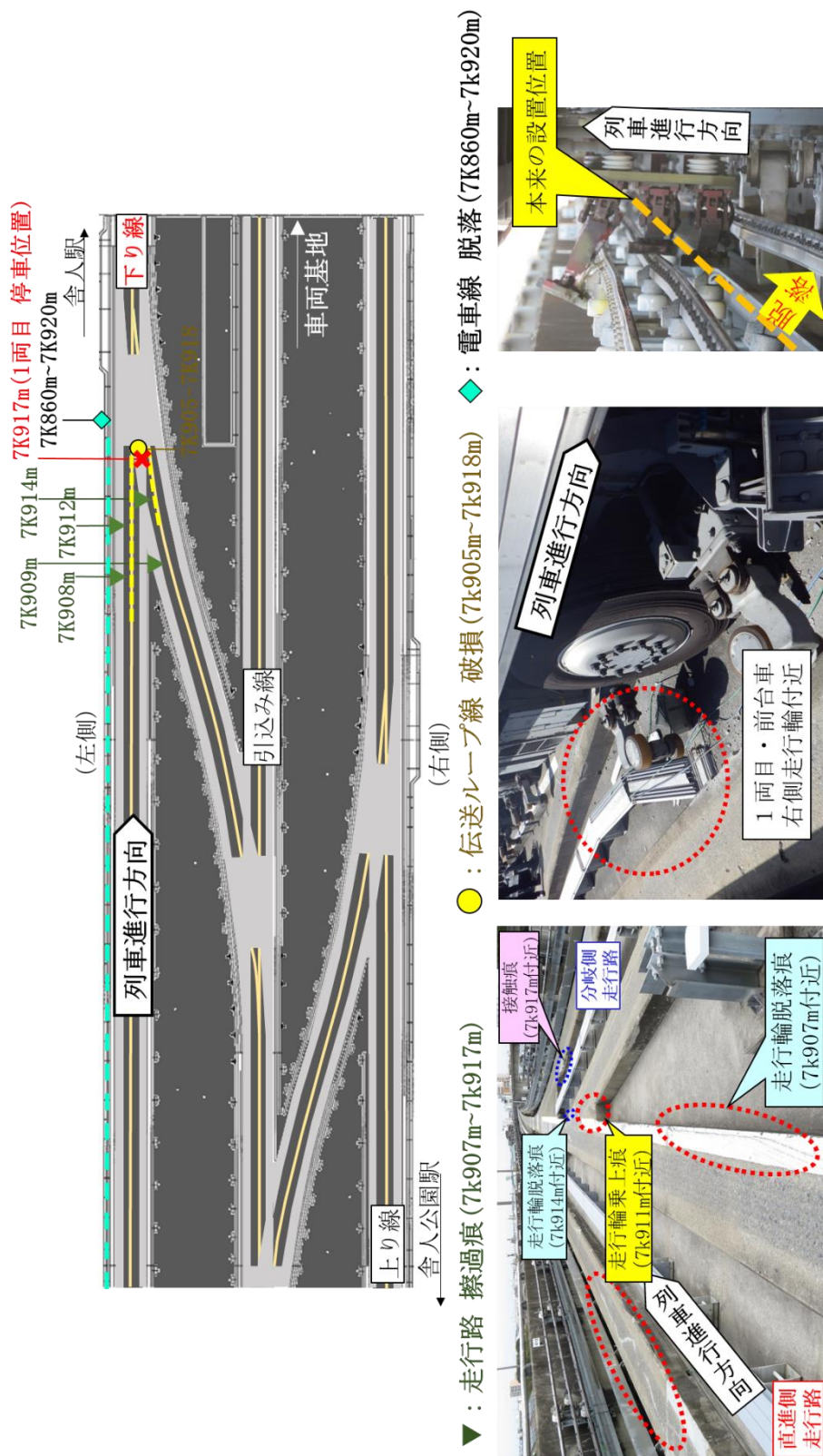


(b) 案内輪・分岐輪の部位の説明

車両位置	案内輪・分岐輪No	①接触部の亀裂		②面の衝撃痕/擦過痕		③案内輪受の擦過痕	④案内輪軸受の曲損	
		案内輪	分岐輪	案内輪	分岐輪			
1両目	左側	2-2	—	あり	—	擦過痕(大)	あり	—
		2-1	—	—	—	擦過痕(大)	—	あり
		1-2	あり	あり	擦過痕	擦過痕(大)	あり	あり
		1-1	あり	あり	擦過痕	擦過痕	あり	—
	右側	2-2	—	あり(大)	—	衝撃痕(大)	あり	あり
		2-1	—	—	—	擦過痕	—	—
		1-2	—	—	—	—	—	—
		1-1	—	—	—	—	—	—

2両目	左側	2-2	あり	あり	擦過痕	擦過痕	あり	—
		2-1	あり	あり	擦過痕	擦過痕	あり	あり(大)
		1-2	あり	あり	擦過痕	—	あり(大)	あり
		1-1	あり	あり	擦過痕	擦過痕(大)	あり	—
	右側	2-2	あり	あり	—	擦過痕	—	—
		2-1	—	あり(大)	—	擦過痕(大)	あり	あり
		1-2	あり	あり	—	擦過痕(大)	あり	あり
		1-1	あり	あり(大)	擦過痕	擦過痕(大)	あり	—
3両目	左側	2-2	あり	—	擦過痕	—	あり	—
		2-1	あり	あり	—	擦過痕	あり	—
		1-2	あり	あり	—	—	あり	—
		1-1	あり	あり	擦過痕	—	あり	—
	右側	2-2	あり	あり	擦過痕	擦過痕(大)	あり	あり
		2-1	—	あり	—	擦過痕(大)	—	あり(大)
		1-2	あり	あり	—	擦過痕(大)	—	あり(大)
		1-1	—	あり(大)	—	擦過痕	あり	あり
4両目	左側	2-2	あり	—	擦過痕	擦過痕	あり	—
		2-1	—	—	擦過痕	—	あり	—
		1-2	—	—	擦過痕	擦過痕	あり	—
		1-1	—	—	擦過痕	—	—	—
	右側	2-2	—	あり(大)	擦過痕	擦過痕(大)	あり	あり
		2-1	—	あり(大)	—	擦過痕(大)	あり	—
		1-2	あり	あり	—	擦過痕(大)	あり	—
		1-1	—	あり	—	擦過痕(大)	あり	—
5両目	左側	2-2	—	—	—	—	あり	—
		2-1	—	—	擦過痕	—	—	—
		1-2	—	—	擦過痕	—	—	—
		1-1	—	—	擦過痕	—	あり	—
	右側	2-2	—	—	—	擦過痕	あり	—
		2-1	—	あり	—	擦過痕(大)	あり	—
		1-2	—	あり(大)	—	擦過痕(大)	あり	あり
		1-1	—	あり(大)	—	擦過痕(大)	あり	—

(c) 案内輪・分岐輪の損傷状況



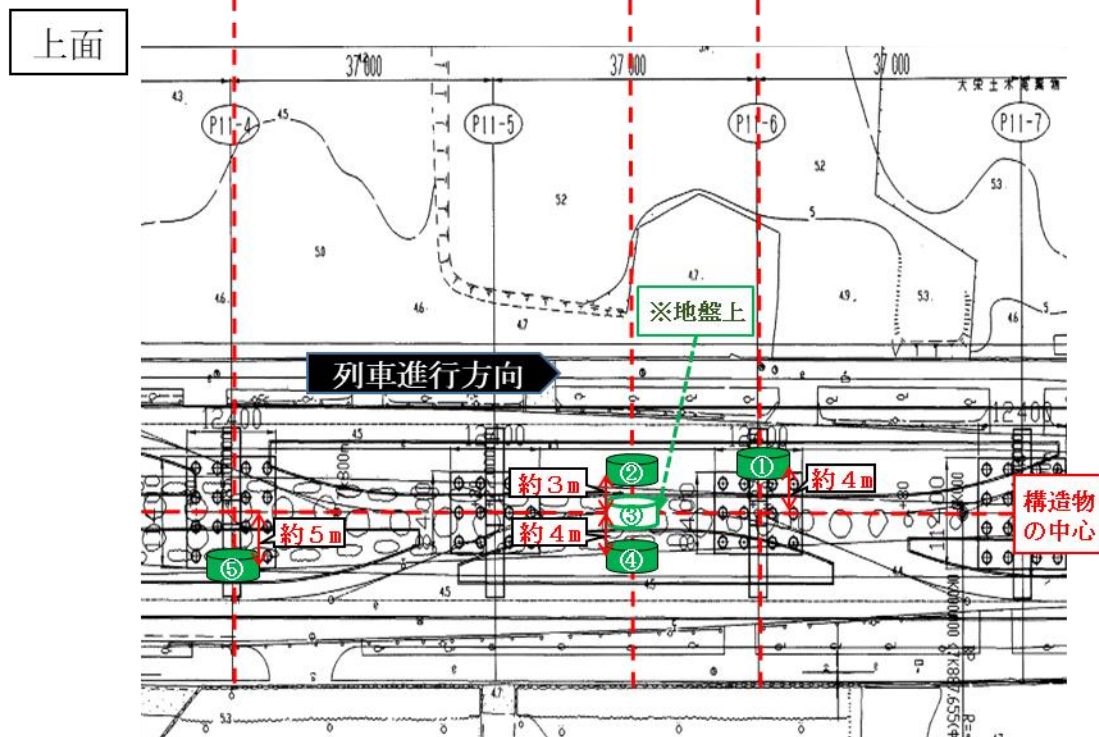
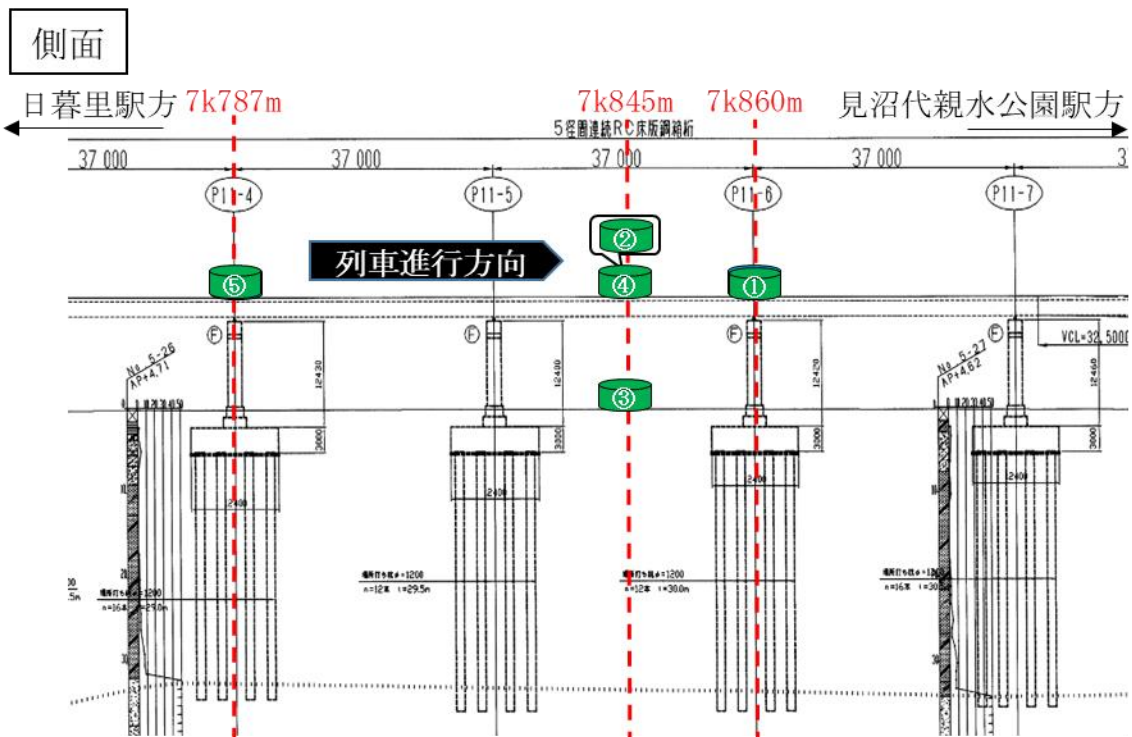
(b) 走行路・伝送ループ線・電車線の主な損傷状況

付図7 振動計の仮設箇所



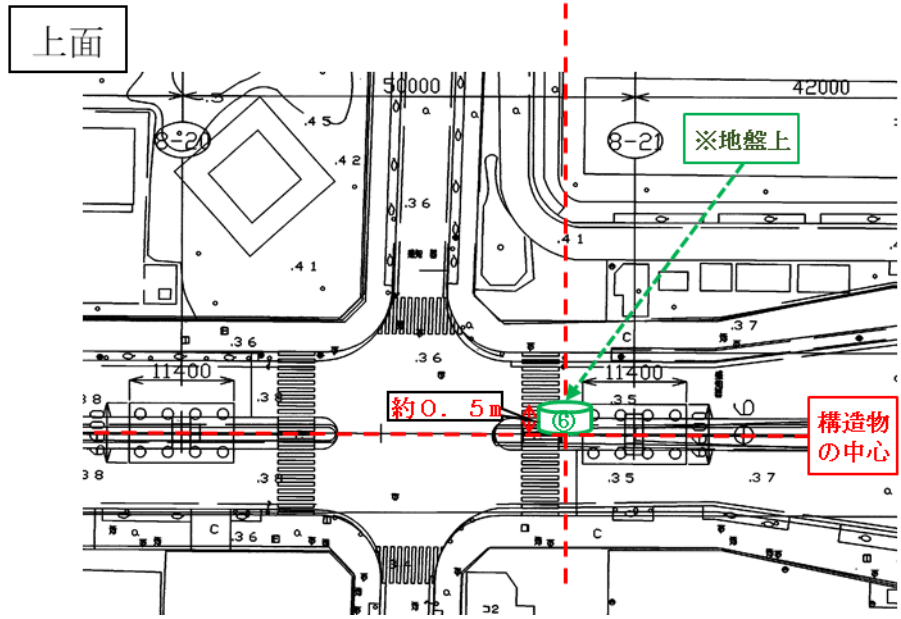
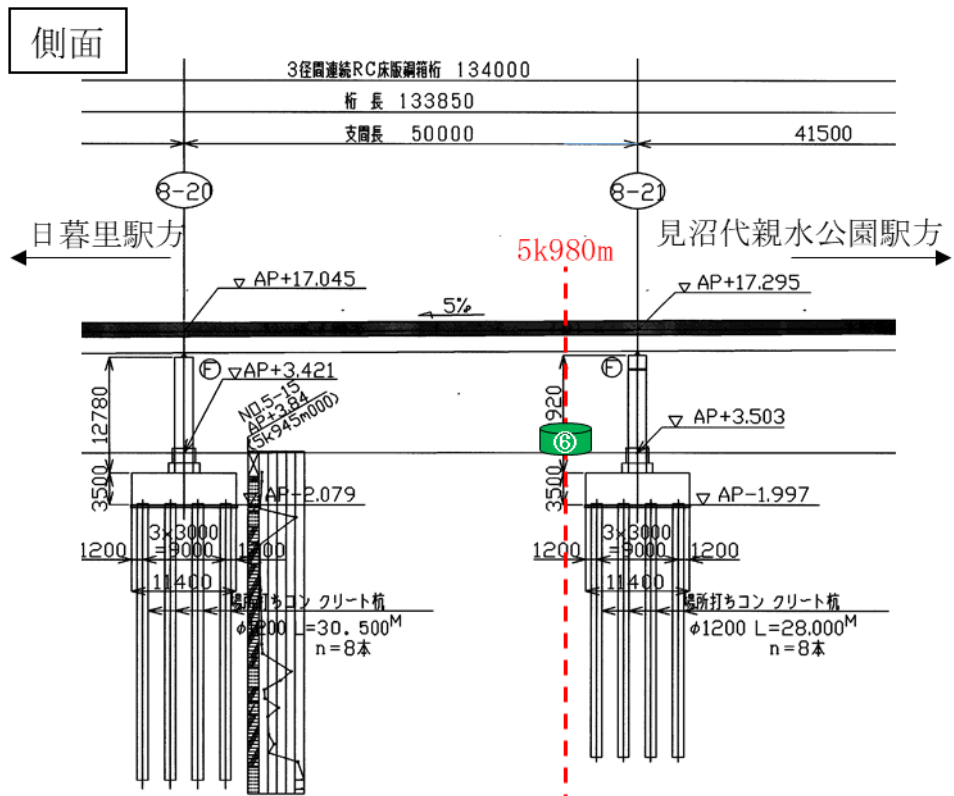
※国土地理院の地理院地図（電子国土Web）を使用して作成

(a) 振動計測箇所全体図

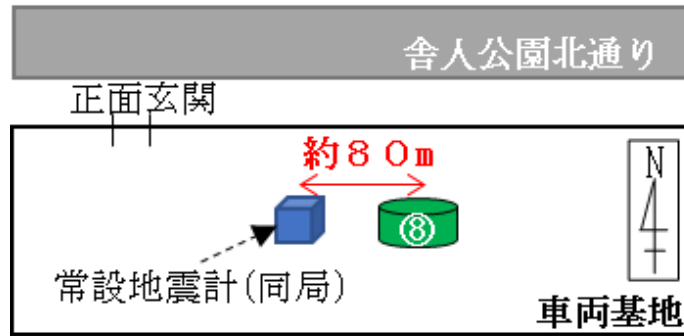


仮設した振動計

(b) 事故現場付近



(c) 西新井大師西駅付近

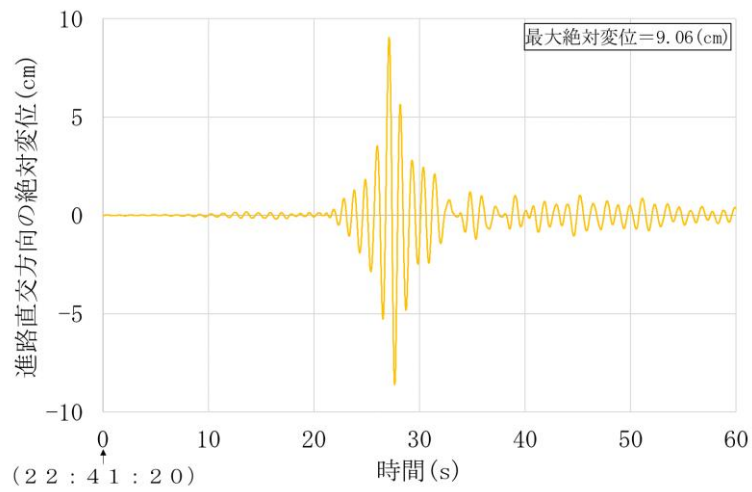


(d) 車両基地構内

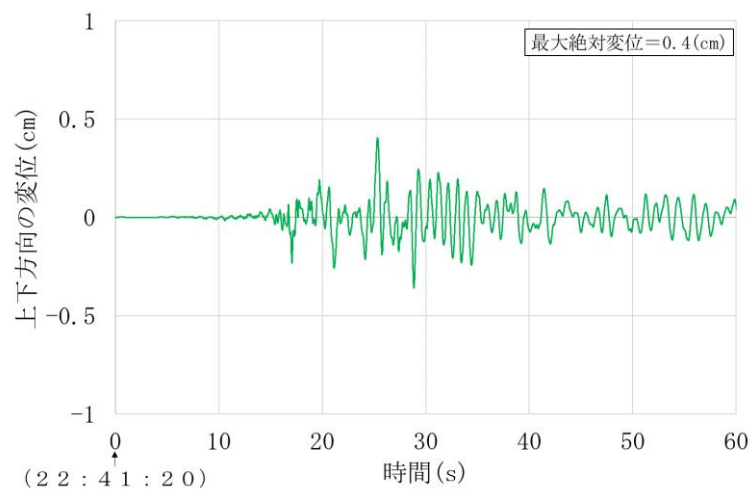


(e) 振動計の設置状況

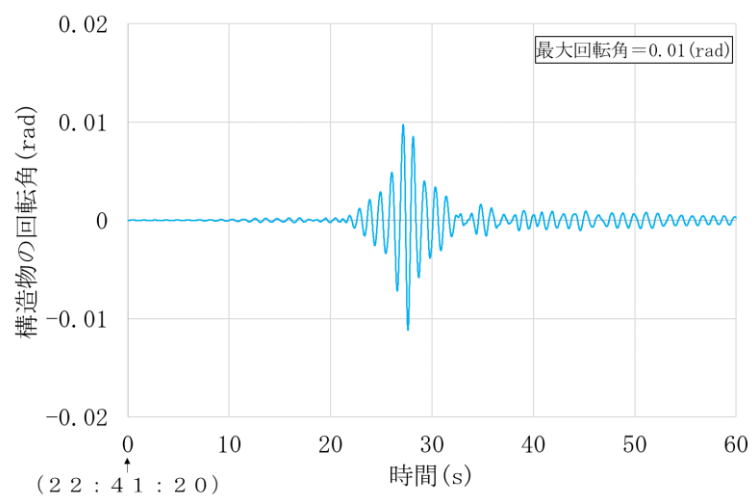
付図8 車両モデルに与えた入力振動波形



(a) 進路直交方向の絶対変位 (構造物中心位置)



(b) 上下方向の絶対変位 (構造物中心位置)



(c) 構造物の回転角 (構造物中心位置)