

鐵道事故調查報告書

真岡鐵道株式会社真岡線久下田駅構内	列車脱線事故
京成電鉄株式会社高砂車庫構内	鐵道物損事故
西日本旅客鐵道株式会社山陰線出雲市駅構内	列車火災事故

平成15年6月27日

航空・鐵道事故調查委員會

本報告書の調査は、真岡鐵道株式会社真岡線久下田駅構内列車脱線事故
他2件の鐵道事故に関し、航空・鐵道事故調査委員会設置法に基づき、航
空・鐵道事故調査委員会により、鐵道事故の原因を究明し、事故の防止に
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。

航空・鐵道事故調査委員会

委員長 佐藤 淳 造

京成電鉄株式会社高砂車庫構内
鉄道物損事故

[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.....	2
1.2.1	調査組織.....	2
1.2.2	調査の実施時期.....	2
1.2.3	原因関係者からの意見聴取.....	2
2	認定した事実.....	2
2.1	運行の経過.....	2
2.2	人の死亡、行方不明及び負傷.....	3
2.3	鉄道施設及び車両の損傷に関する情報.....	3
2.3.1	鉄道施設の損傷状況.....	3
2.3.2	車両の損傷状況.....	4
2.3.3	鉄道施設及び車両の物損額.....	4
2.4	鉄道施設及び車両以外の物件の損傷に関する情報.....	4
2.5	乗務員等に関する情報.....	5
2.6	鉄道施設に関する情報.....	5
2.6.1	概要.....	5
2.6.2	43号八分岐器（本件分岐器）.....	5
2.6.3	高砂車庫G線（本件曲線）.....	6
2.6.4	軌道の状況.....	6
2.7	車両に関する情報.....	7
2.7.1	概要.....	7
2.7.2	車両の状況.....	8
2.8	運転に関する情報.....	8
2.9	気象に関する情報.....	8
2.10	トングレールの保守に関する情報.....	8
2.10.1	トングレールの保守基準.....	8
2.10.2	トングレールの補修作業.....	9
2.11	連動装置の動作に関する情報.....	10
3	事実を認定した理由.....	10
3.1	解析.....	10
3.1.1	脱線及び復線した状況.....	10
3.1.2	軌道、車両の状況及び分岐器の動作状況.....	10

3.1.3	トンゲレールの補修作業に関する事項	11
3.1.4	車輪とトンゲレールの接触状況に関する事項	12
3.1.5	走行速度及び運転取扱いに関する事項	12
3.1.6	脱線係数及び限界脱線係数の推定による乗り上がり可能性の検討	13
3.1.7	脱線に至った経過	13
3.1.8	脱線した軸の部位に関する事項	14
4	原因	15
5	参考事項	15
付図 1	路線図	16
付図 2	京成高砂駅構内配線図	17
付図 3	4 3 号八分岐器見取図	18
付図 4	4 3 号八～3 4 号口分岐器間の軌道損傷状況	19
付図 5	右トンゲレールの研削状況	20
付図 6	事故現場付近の軌道検測結果	21
付図 7	車輪・レールの接触状況	22
付図 8	分岐器通過時の走行状況の推定	23
写真 1	4 3 号八分岐器	24
写真 2	高砂車庫 G 線の曲線部	24
写真 3	右トンゲレール	25
写真 4	4 3 号八分岐器内の痕跡	25
写真 5	車両の損傷状況（その 1）	26
写真 6	車両の損傷状況（その 2）	26
付属資料		
	脱線係数及び限界脱線係数の推定	27

鉄道事故調査報告書

鉄道事業者名：京成電鉄株式会社

事故種類：鉄道物損事故¹

発生日時：平成14年6月10日 10時42分ごろ

発生場所：東京都葛飾区

高砂車庫構内

平成15年5月22日

航空・鉄道事故調査委員会（鉄道部会）議決

委員長	佐藤 淳 造
委員	勝野 良 平
委員	佐藤 泰 生（部会長）
委員	中川 聡 子
委員	宮本 昌 幸
委員	山口 浩 一

1 鉄道事故調査の経過

1.1 鉄道事故の概要

平成14年6月10日（月）、10時42分ごろ、京成電鉄株式会社（以下「同社」という。）高砂車庫において、出庫車両（8両編成、京成高砂駅10時45分発西馬込駅行き急行第1060K列車となる予定。以下「本件車両」という。）が、同車庫内の43号八分岐器（以下「本件分岐器」という。）付近を進行中、6両目（車両は前から数え、前後左右方向は進行方向を基準とする。以下同じ。）の前台車第1軸及び第2軸が、右側に脱線した。

¹ 鉄道物損事故とは、列車又は車両の運転により500万円以上の物損を生じた事故（列車衝突事故、列車脱線事故、列車火災事故、踏切障害事故、道路障害事故、鉄道人身障害事故に伴うものを除く。）をいう。（鉄道事故等報告規則第3条第1項第7号）

鉄道物損事故のうち特に異例と認められるものについては、重大な事故として航空・鉄道事故調査委員会の調査対象とすることとされている。（航空・鉄道事故調査委員会設置法第2条の2第4項の国土交通省令で定める重大な事故及び同条第5項の国土交通省令で定める事態を定める省令第1条第3号）

脱線した車両は、京成高砂駅 2 番線に進入するまでの間、本線上にある分岐器等を破損しながら進行し、同駅到着時には復線していた。

なお、本件分岐器では、本件車両が通過する直前にトングレールの保守のための研削作業が行われていた。

1.2 鉄道事故調査の概要

1.2.1 調査組織

平成 14 年 6 月 10 日、航空・鉄道事故調査委員会は、本件発生の通報を受けた。本件における車両は、脱線した時点では京成高砂駅から急行第 1060 K 列車となる以前の出庫車両の状態であったことから、本件は鉄道事故等報告規則に定める列車脱線事故には該当せず、その物損額の大きさから鉄道物損事故に該当する。本件は本線上の分岐器を多数損傷し被害が広範囲にわたったこと、隣接する本線を走行する列車を支障して被害が拡大するおそれがあったこと、分岐器の研削作業直後の車両脱線であり技術的な観点から原因を究明しておく必要があると認められたこと等から、航空・鉄道事故調査委員会は、本件を国土交通省令（脚注 1 参照）の定める、鉄道物損事故のうち特に異例と認められるものとして調査対象とすることとし、平成 14 年 6 月 11 日、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。

1.2.2 調査の実施時期

平成 14 年 6 月 14 日及び 25 日 現場調査

1.2.3 原因関係者からの意見聴取

原因関係者から意見聴取を行った。

2 認定した事実

2.1 運行の経過

本件車両の運転士（以下「運転士」という。）の口述によれば、出庫時の状況は次のとおりであった。

高砂車庫 G 線（以下「G 線」という。）の出庫台（21R の入換信号機直下）まで移動したところ、本件分岐器付近に軌道の保守を行う作業員がおり、出庫時刻を聞かれたので、10 時 41 分に出庫する旨伝えた。その後、21R の入換信

号機の注意信号現示を見て、進路開通を知らせるブザーの音を聞いたので、1ノッチを入れ15 km/hでノッチオフした。その後、高砂2号踏切道10 mくらい手前でノッチを入れ27～28 km/hで京成高砂駅のホームに進入した。

その間、脱線などの異常には全く気が付かなかった。ホームに進入したところで何か騒いでいるのが列車無線から聞こえ、自分の車両かなと思っていた。停車後、ホームで待っていた本線運転士と交代した。本線運転士から、運転室内の受給電ランプが点灯し異常を示していると言われたので、ホームから屋根上の状況を順次確認したところ、前から6両目にあるパンタグラフが破損していた。その後、検車係員が来て脱線していたことを伝えられた。

また、事故前日に発見されたトングレールの損傷を事故当日に補修することになったが、事故に至るまでの経過は、作業に立ち会っていた保線担当社員の口述によれば、概略以下のとおりであった。

当日の10時30分ごろから別の係員が本件分岐器の右トングレールの補修のため研削作業を開始した。10時36分ごろに京成高砂駅4番線からG線への入庫車両があったのでいったん待避した後、続けて作業を行い、10時40分ごろに終了した。

10時42分ごろ、保線係員3名と信号通信係員2名の計5名でG線の北側(右側)に待避し、本件車両の出庫を確認中、6両目の車両の揺れが大きいのを認めた。3、4両目は普通に本件分岐器を通過していたようだ。走行するに従い電車線に通常と異なる火花を認めたので、一緒にいた信号通信係員が信号扱所に通報し停止を依頼し、併せて保線区に戻って出庫中の車両が脱線したことを通報した。

なお、作業後のトングレールの密着²状況に特に異常はなかった。

(付図1、2、3及び写真1、2、3参照)

2.2 人の死亡、行方不明及び負傷

なし

2.3 鉄道施設及び車両の損傷に関する情報

2.3.1 鉄道施設の損傷状況

本件分岐器には、主に以下の痕跡があった。

右トングレール

右側面に擦傷

後端近くに右側面から頭頂面を斜めに横切る痕跡

² 密着とは、ポイントが転換した後トングレールが基本レールと隙間なく接触し、かつ接触する方向に適度な力が加わっている状態をいう。

左トングレール
右リードレール

後端近くに左側面に擦傷
頭頂面から右側面への痕跡

また、本件車両の進路には、分岐器 5 台（本件分岐器、4 0 号イ、3 6 号口、3 4 号口及び 3 5 号イ）及び可動式ダイヤモンドクロッシング 2 台（4 3 号イ口及び 4 0 号口ハ）が設置されている。まくら木及びレール上の痕跡は、本件分岐器から上り本線の 3 4 号口分岐器のトングレール付近まで続いており、本件車両が走行する線路の軌間内及び右側に残っていた。進路の右レールから右側の痕跡までの離れは、最大 1.3 m 程度であった。また、この間に主に以下の損傷があった。

分岐器	トングレール 5 本、基本レール 1 本破損
電気転てつ機	2 台破損
電気転てつ機モーター	1 台破損
転てつ装置（フロントロッド、タイバー）	4 台損傷
電車線	約 3 0 m の間 損傷

（付図 3、4 及び写真 4 参照）

2.3.2 車両の損傷状況

車両の主な損傷状況は、以下のとおりである。

(1) 3 5 5 5 号車（脱線した 6 両目）

車体	前側妻面外板など	損傷
台車	前台車 台車枠、駆動装置ケース、側受すり板、高さ調整弁調整棒など	損傷
車輪	前台車 第 1 軸、第 2 軸	擦傷
パンタグラフ	1 台	破損

(2) その他

3 5 5 6 号車（5 両目）の車体	後側妻面雨どい	損傷
5 両目と 6 両目間の外幌 ^{そとほろ}		損傷

（写真 5、6 参照）

2.3.3 鉄道施設及び車両の物損額

鉄道事故等報告規則に基づき同社から関東運輸局に提出された鉄道運転事故等報告書によれば、鉄道施設及び車両に 6, 1 3 5 万円の物損を生じた。

2.4 鉄道施設及び車両以外の物件の損傷に関する情報

なし

2.5 乗務員等に関する情報

本件車両運転士

甲種電気車運転免許（限定免許³）

平成元年9月26日

保線担当社員（トングレールの補修作業を担当）

保線関係業務の経験 12年2ヶ月

2.6 鉄道施設に関する情報

2.6.1 概要

同社は、軌間1,435mmの標準軌の鉄道である。

高砂車庫の入出区線を含む京成高砂駅構内の線路は、北総線乗り入れに際し大規模な構内配線変更工事が行われている。本件分岐器前端につながるG線の左円曲線（曲率半径100m、カント⁴13mm、以下「本件曲線」という。）は、南側の本線下り線と北側の高砂車庫建家との間の狭隘な用地に敷設されたため、本件分岐器と本件曲線との間に緩和曲線や直線部を設けることができず、やむを得ず分岐器前端と円曲線が直接接続されている線路線形になっている。

上り（京成上野、西馬込）方面へ出庫する車両は、本件分岐器を対向で進入し、分岐側（左側）に走行する。本件分岐器の年間通過車両数は表のとおりであり、本件車両と同じ分岐側に出庫するものが多い。

（付図2及び写真4参照）

表 本件分岐器の年間通過車両数

	入庫(駅 車庫)	出庫(車庫 駅)
分岐(曲線)側	29,694	75,606
基本(直線)側	65,302	17,122

2.6.2 43号八分岐器（本件分岐器）

(1) 分岐器の概要

分岐器	50kgNレール8番片開き左分岐器
トングレール長	6m
リード曲線半径	165m

³ 運転士は、区域を定めて行う入換運転のみに限定された運転免許を受けている。

⁴ カントとは、曲線通過時に車両に発生する超過遠心力による影響を緩和するために設けた、曲線の外側と内側のレールの高さの差をいう。

(2) 工事及び保守履歴

平成 2 年 10 月 設置
平成 13 年 1 月 17 日 右トングレール交換
平成 14 年 2 月 8 日 分岐器一般検査（軌道検測）
平成 14 年 4 月 4 日 分岐器機能検査

2.6.3 高砂車庫 G 線（本件曲線）

(1) 曲線諸元

曲線半径 100 m
カント 13 mm（均衡速度 10.5 km/h）
カント逡減倍率 400 倍（円曲線の端部において逡減）

(2) 工事及び保守履歴

平成 2 年 10 月 曲線設置
平成 11 年 12 月 木まくら木を PC まくら木（中古品）に交換
平成 12 年 7 月 脱線防止ガード敷設延長（既設 12 m、延長 10 m）
平成 13 年 1 月 道床の碎石交換、軌道整正及び検測

2.6.4 軌道の状況

(1) トングレールの損傷

平成 14 年 4 月 4 日に実施された分岐器機能検査によれば、右トングレールに「損傷や摩耗（小さな剥離）有り」の記録があるが、「運行上支障なし」との判定がされていた。4 月 22 日の線路巡回時に右トングレールの先端に刃こぼれを発見したため、4 月 25 日に研削作業が行われている。

6 月 5 日の線路巡回時に、右トングレールに損傷（トングレールの先端から約 285 ~ 310 mm の間の、深さ約 5 ~ 6 mm の欠け）が発見され、事故当日に研削作業が行われた。

（付図 5 参照）

(2) 軌道の狂い

本件曲線の直近の軌道検測は、平成 13 年 1 月 26 日の軌道整備工事（碎石交換）時に実施され、ほぼ基準値どおりに軌道整正されていた。それ以降、事故発生までの間、本件曲線の軌道検測は行われていなかった。本件分岐器については、平成 14 年 2 月 8 日の分岐器一般検査の際に軌道検測が行われていた。

事故直後の平成14年6月14日の測定値⁵によれば、本件分岐器と本件曲線との間の継目付近を中心に、最大+35mm(10m弦正矢⁶での基準値との差)の通り狂いがあった。また、水準の測定値から、カントは円曲線中で逓減が終わらず、分岐器前端からトングレー先端にかけた分岐器内部においても、なお逓減が及んでいた。

また、本件分岐器前端に普通継目、そこから更に約3m曲線内の位置に絶縁継目が設けられているが、普通継目において継目折れ⁷の状況が見られた。(付図6参照)

2.7 車両に関する情報

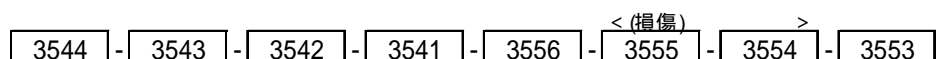
2.7.1 概要

本件車両(3500系)の主要諸元を以下に示す。

記号番号 進行方向

京成高砂駅

G線



：駆動軸 ：付随軸 ：脱線軸(駆動軸)

空車重量(モハ3555) 324kN(33t)

車体長(連結器中心間) 1.8m

台車 ボルスタ式空気ばね台車⁸

軸箱支持方式 片板ばね式⁹(S型ミンデン)

軸距 2,100mm

車輪踏面形状 円錐踏面¹⁰

フランジ角¹¹ 69.3度

上下軸ばね定数 1.41kN/mm(143.3kgf/mm)

⁵ 事故直後から14日の測定までの間、本件分岐器及び本件曲線は、トングレー交換やガードレール取付けが行われているが、軌道整正は行われておらず、測定値は概ね事故当時の状況を表していると考えられる。

⁶ 正矢とは、レールの長さ方向の2点間に弦を張り、その中央から直角にレールまで測った距離をいう。軌道検測では弦長を10mとして測定を行うことが多い。

⁷ 継目折れとは、継目において接続されたレール同士が、直線状ではなく折れ角を持って接している状態をいう。

⁸ ボルスタ式空気ばね台車とは、車体を支持する空気ばねと台車枠の間に揺れまくら(ボルスタ)を設け、揺れまくら(車体)と台車枠が相対的に旋回運動できる構造の台車をいう。

⁹ 片板ばね式とは、軸箱を台車枠中央部付近から板ばねで接続し、軸箱を支持する方式をいう。

¹⁰ 円錐踏面とは、踏面の中心付近の断面形状が直線状のものをいう。

¹¹ フランジ角とは、車輪のフランジ面が車軸の中心軸を含む平面となす最大角度をいう。

検査等履歴	新製	昭和49年6月1日
(モハ3555)	全般検査	平成12年7月27日
	車輪旋削	平成13年10月5日
	月検査	平成14年5月28日

2.7.2 車両の状況

(1) 輪軸、車輪、踏面形状

直近の月検査記録及び事故後の測定記録によれば、脱線したモハ3555の輪軸各部寸法（タイヤ厚さ、フランジ厚さ、フランジ高さ、車輪背面間距離）は、管理値の範囲内であった。事故後に測定した踏面形状の描写記録は、同社で使用されている1号線（都営浅草線）直通車両規格標準踏面として定められた図面上の形状とほぼ同じであった。

(2) 静止輪重比

直近の静止輪重の測定記録（平成13年3月22日、5月3日及び5月31日）によれば、編成内で左右車輪の輪重差を表す静止輪重比が最も大きかった部位は、脱線した6両目モハ3555の前台車第1軸であり、静止輪重比は10.3%であった。同軸の輪重値は、右側車輪が37.2kN、左側車輪が45.7kNであり、右側車輪が軽い状態にあった。なお、同社における静止輪重比の管理限度値は10%（小数第1位を四捨五入）である。他に、前から3両目第1軸が静止輪重比が9.9%（右側車輪37.0kN、左側車輪45.1kN）であった。

2.8 運転に関する情報

同社によれば、G線から本件分岐器までの車庫線内の制限速度は25km/h、本件分岐器を過ぎてから京成高砂駅までの制限速度は35km/hである。

2.9 気象に関する情報

当日の事故現場付近の天気 晴れ

2.10 トングレールの保守に関する情報

2.10.1 トングレールの保守基準

(1) トングレールの交換

同社では、線路・建造物実施基準において分岐器の交換基準としての最大摩耗高等が、次のとおり定められている。

側線の分岐器のトングレールについては、50kgNレールの場合、最大

摩耗高 1 2 mm。

の数値に達しなくとも、異常摩耗、き損（傷やき裂による損傷）及び運転上危険のおそれありと認められる欠陥が生じたもの。

また、トングレールの交換を実施するか否かは保線分区の分区長以上が経験的に判断することになっている。

(2) トングレールの補修

交換に至らないトングレールについては、分区長以上の者が、研削による補修作業の実施を行うか否かを、損傷状況に応じて経験的に判断することになっている。

2.10.2 トングレールの補修作業

(1) 補修作業時の注意点の指導状況

同社では、平成 12 年 3 月に、副分区長以上の社員を対象に、部外講師を招いて分岐器の構造と保守に関する講習会を開催していた。この時配布された資料には、トングレールの摩耗と部分的な欠損について、以下の事柄が記載されていた。

フロー¹²が発生した時は 2 mm 以上にならないようにグラインダで研削を行い、損傷に発展しないよう気を付けること

部分的に欠損が生じた場合は進行しないよう研削により補修を行うと効果的であること

の研削はトングレールの先端形状を無理やり変えることになるので、車輪との組合せを十分に考えて行うこと

また、同社では、トングレールの研削作業について、バリ¹³を除去すること、トングレール密着部に除去した部分を落下させて密着不良を発生させないこと、及びトングレールの断面形状を変えないように研削することなどを、口頭で指導しているとのことであるが、指導状況等の記録については特に残されていなかった。

(2) 事故当日の作業状況

トングレールの補修作業を担当した保線担当社員の口述によれば、当日の作業の状況は以下のとおりであった。なお、この社員は上記講習会には参加

¹² フローとは、レールの厚さが薄い部分に繰り返し車輪が通過して大きな接触圧が生じることにより、レール表面の金属が塑性流動し、元のレール断面から金属部がはみ出した部分をいう。

¹³ バリとは、鋳造又は切削や研削などの機械加工に伴って、加工部分周囲に発生する基本形状からはみ出した不要な部分をいう。

していなかった。

当日の朝、トンゲールの研削を実施する旨電話を受け、現地に向かった。トンゲールの損傷は大体付図5のとおりであった。同様の作業は他でも実施したことがあり、高さ方向のみ削り込むようにと言われている。作業には、ディスクグラインダーを使用してレールに平行にあてがい、深さ5～6mmの欠損部が前後部分と滑らかに（連続して）つながるまで行い、その際発生するバリを軽く除去した。作業時間は、研削の状況を見ながらゆっくり行って5分くらいである。仕上がりは目視で行い、手で触れたりしない。

（付図5及び写真3参照）

2.1.1 連動装置の動作に関する情報

京成高砂駅構内の継電連動装置の記録装置には、次の動作が時刻と共に記録されていた。

- (1) G線の入換信号機21Rの駅2番線への進路が構成されたことを示す注意信号現示及び進路が構成されたことを知らせるブザー鳴動動作が行われたこと
- (2) 本件車両がG線から出庫し、駅2番線へ向けて走行した際、本件車両の在線を示す軌道回路リレーが順次動作したこと

3 事実を認定した理由

3.1 解析

3.1.1 脱線及び復線した状況

作業に立ち会っていた保線担当社員の口述、6両目前台車が損傷し第1軸及び第2軸のみ車輪が擦傷していたこと、及び本件分岐器内から34号口分岐器に至るまでの間にまくら木上に2軸分の痕跡が残されていたことから、本事故は、6両目前台車第1軸及び第2軸が本件分岐器内で脱線し、34号口分岐器付近で復線したものと推定される。

（付図3、4参照）

3.1.2 軌道、車両の状況及び分岐器の動作状況

(1) 軌道

2.6.4で述べたように、本件分岐器と本件曲線との間の継目付近を中心に、

曲線の曲率半径を小さくする方向に大きな通り狂いがあり、トングレール先端と分岐器前端間の直線部が実質的に曲線形状であった。このため、車輪がトングレール先端に差し掛かるまでに、急曲線走行時に生じた横圧が十分に小さくならなかったことが推定される。また、曲線内のカントが曲線中で十分に逡減されずトングレール先端にかけて逡減されていたことから、トングレール先端付近において2 m進む間に右側レールが低くなっていく方向の2 m平面性¹⁴狂い（軌道のねじれ）が生じていた。このため、前台車第1軸の右側車輪（外軌側）の輪重がトングレール先端付近で減少したことが推定される。

(2) 車両

2.7.2のとおり、脱線した車両（モハ3555）の輪軸・車輪の各部寸法は、管理値の範囲内であった。また、脱線した6両目の前台車第1軸が編成内で最も静止輪重比が大きく、同軸の右側車輪は左側車輪よりも軽い状態であった。車輪踏面の断面形状には、限界脱線係数¹⁵の低下に影響するフランジ角の減少などの異常は認められなかった。また、横圧の発生に影響する台車・枕ばり間の擦り板の損傷及び輪重変動に影響する空気ばね高さ調整弁の損傷は、脱線時及びその後の碎石やまくら木上を走行した際の衝撃により発生したものと考えられる。これらのことから、脱線の直接の要因となるような車両自体の不具合はなかったものと推定される。

(3) 分岐器の動作状況

連動装置の記録及び現地の状況から、G線から京成高砂駅2番線に至るまでの進路は正常に構成されていたものと推定される。また、事故直後の写真及び現場で作業に立ち会っていた社員の口述から、本件分岐器のトングレールの密着状況は良好であったものと推定される。

3.1.3 トングレールの補修作業に関する事項

トングレールの先端部分は、車輪との接触点が基本レールからトングレールに移動する部分であり、その薄い形状と相まってトングレールの中でも損傷しやすく、分岐器の保守上注意を要する箇所の一つである。

¹⁴ 平面性とは、レールの長さ方向の2点間の水準の差をいい、2 m離れていれば2 m平面性、車両の軸距（台車の前後軸の間隔）だけ離れていれば軸距平面性という。

¹⁵ 限界脱線係数とは、車輪フランジがレール肩部を上昇する（脱線する）際の、車輪・レールの接触点に作用する静的な力（輪重及び横圧）の釣合い式から求めた、脱線係数（横圧を輪重で除した値）の限度値をいう。摩擦係数が大きいほど、また接触角（車輪フランジ角）が小さいほど限界脱線係数の値は小さくなる。脱線係数が限界脱線係数より大きな値をとった場合、脱線する可能性が生じる。

トングレールの研削が行われた部分には、高さ方向に削られた部分と、車輪と接触する側の上角部が斜めに削られたと考えられる部分とがあった。口述から、研削作業を担当した社員は、トングレール研削時の留意点をある程度知っていたが、結果的に斜めに研削してしまったことが考えられる。また、同社は講習で指導した補修作業の留意点を、作業を担当した社員に具体的にかつ十分に指導していなかったことが考えられる。

3.1.4 車輪とトングレールの接触状況に関する事項

研削したトングレール、基本レール及び車輪の断面形状を描写し、突き合わせることにより、車輪が進行右側のトングレール上に乗り上がる可能性について検討した。

トングレールの先端から25cmの位置において、トングレールは付図5の断面形状で示す斜めの部分の下角において車輪フランジの先端付近と接触し、そのときの接触角は約54度であった。トングレールを高さ方向に研削した後に斜めに研削したことは、斜めの部分の下角の位置までトングレールを深く削り込んだことと同様に接触点の位置が下がることになり、車輪フランジ先端の円弧部分でトングレールと接触することとなる。そのため、接触角が小さくなることにより限界脱線係数が小さくなり、乗り上がり脱線を開始するまでの余裕が小さくなること、及び仮に車輪が乗り上がり始めた場合、フランジ先端に向けて接触点に移行してレール頭頂面上に完全に乗り上がるまでの高さ方向の余裕はわずかとなることから、通常のフランジ斜面部分でレールと大きな角度で接触する場合に比較して乗り上がり脱線に対する安全余裕が低下することになる。

特にトングレール先端部は元々先端に向けて低くなるよう、レール長手方向に縦勾配がついており、更に研削を行った場合には、上記のように車輪フランジの先端近くで接触する可能性が増すことが考えられる。

以上に述べたことから、車輪フランジ先端の円弧部分とトングレールが接触しないように、車輪の断面形状を示す型板をあてがうなどの方法で車輪とトングレールとの接触位置を確認しながらトングレール先端部の研削作業がなされていれば、本件事故の発生は防止できたものと考えられる。

(付図7参照)

3.1.5 走行速度及び運転取扱いに関する事項

運転士の口述から、高砂2号踏切道約10m手前の地点において運転士が再力行した時に、先頭車両は付図2に示す軌道回路40T区間を走行中であり、6両目である本件車両は本件分岐器の手前を走行中であった。

先頭車両が軌道回路40T区間を通過する際の軌道回路記録から求めた平均速度(18.7km/h)と、運転士の口述から、脱線した車両は本件分岐器のトングレー
ル付近を力行で通過し、その際の走行速度は、20~25km/h程度であったものと
推定される。

3.1.6 脱線係数及び限界脱線係数の推定による乗り上がり可能性の検討

トングレー
ル先端から25cmの位置を6号車第1軸が通過する際の脱線係数を、
輪重横圧推定式¹⁶を用いて推定試算を行ったところ、0.76と求められた。同じ
位置における限界脱線係数は0.71であり、脱線係数が限界脱線係数よりも大き
いことから車輪がトングレー
ル上に乗り上がる可能性があったものと推定される。
(付属資料参照)

3.1.7 脱線に至った経過

3.1.1~3.1.6から、脱線に至った経過をまとめると次のように推定される。

- (1) 分岐器前端には、円曲線(曲率半径100mの左急曲線)が直線や緩和曲
線を介さずに直接取り付けられ、更に前端を中心に大きな通り狂いがあった
ため、急曲線通過時に右側車輪に生じていた横圧がトングレー
ル先端部に差
し掛かるまで残っていた。また、曲線のカント逡減がトングレー
ル先端まで
及んでいたことから、右側車輪には輪重減少が発生した。右側車輪は、外軌
(右側)レールとフランジ接触したままの状況であった。
- (2) 脱線した6両目第1軸の静止輪重比は10.3%と編成内で最も大きく、
右側が軽い状況にあった。
- (3) このように横圧が発生しかつ輪重が減少したため、脱線係数が通常よりも
大きかった。
- (4) 車輪がトングレー
ル先端に進行し、車輪フランジの先端近くがトングレー
ルの斜めに削られた部分の下角において接触し、接触角が約54度と小さく
なったために、限界脱線係数が低下した。その結果、脱線係数が限界脱線係
数を超えた状況となり、車輪がトングレー
ルに乗り上がり始め、車輪踏面が
レールから浮き上がり始めた。さらに、車輪フランジの先端付近の接触点が
先端に移行するまでの高さ方向の余裕はわずかとなること、及び乗り上がる
につれて接触角が急激に減少し、車輪が一層上昇しやすい状況となったため、
トングレー
ル上に完全に乗り上がった。その後、走行するのに伴って右基本

¹⁶ 輪重横圧推定式とは、車両・線路の脱線に関する諸値を用い、輪重・横圧の発生メカニズムと曲線通過時
の実測データの解析結果などを元に輪重と横圧を推定する計算式をいう。(付属資料参照)

レールとの間に右側車輪フランジが入り込み、正常な進路と異なる直線側の右基本レールの上をポイント後端近くまで右側車輪の踏面部分が直進した。

- (5) その間、左車輪も直進したために、左車輪は左基本レールから徐々に離れていき、やがて車輪背面が左トングレールの左側面を抱き込み右方向にたわませ、その結果左基本レールとの間隔が開いたため、左車輪の踏面側は左基本レールから脱線し、止め金具の上を走行した。
- (6) トングレール後端近くでは、左トングレールは横方向に支持されており、支持点に近づくにつれてレールから車輪が受ける左方向の力が増加するので、左車輪はこれに抗し切れず左側に移動すると同時に、右車輪が右トングレール頭頂面上に乗り上がった。
- (7) 乗り上がった車輪は、左右方向の案内力を負担できないため、リードレール上で右側に脱線した。
- (8) 第1軸が脱線したことにより、アタック角¹⁷が急激に増加し、第2軸も脱線した。
- (9) 付図4に示すように、その後、脱線した車両は、進行すべき線路の右側を、途中の分岐器等を損傷させながら走行した。上り本線の34号口分岐器において、左車輪がトングレールと基本レールの間をトングレールに案内される形で走行したことにより、右車輪が基本レール及びトングレールを乗り越し、復線に至った。

(付図4、7、8参照)

3.1.8 脱線した軸の部位に関する事項

前から3両目第1軸の静止輪重比は、脱線した6両目第1軸よりもわずかに小さく、同様に右側車輪が左側車輪よりも軽い状況にあった。3両目は本件曲線の均衡速度以上ではあるが6両目より低い速度で本件分岐器を走行したと推定されることから、遠心力による外軌(右)側車輪の輪重の増加及び曲線通過時の横圧の増加は3両目の方が小さかったことが考えられ、3両目第1軸が脱線する可能性は6両目第1軸と同じ程度にあったものと考えられる。

3両目が脱線しなかった原因については、明らかにすることはできなかった。

¹⁷ アタック角とは、走行角ともいい、レール上に載っている輪軸を上から見た場合の輪軸とレールがなす角をいう。

4 原因

本事故は、補修のために研削したトングレールの断面形状が適切でなかったことから車輪との接触点がフランジ先端に移行し接触角が大きく減少したこと、及び曲率半径の小さい円曲線終端が分岐器前端に接続されていたことに加え軌道を適切に整正できなかったことから、トングレール先端付近で右側車輪の輪重が減少し急曲線内で発生した横圧が残っていたことのため、車輪がトングレール上に乗り上がり脱線したことによるものと推定される。

また、脱線後これに気付かず走行したために、本件分岐器、本線上にある分岐器4台及び可動式ダイヤモンドクロッシング2台を損傷させたものと推定される。

なお、トングレールが適切な形状に削られなかったのは、研削作業に関する留意事項が作業員まで十分に浸透していなかった可能性が考えられる。

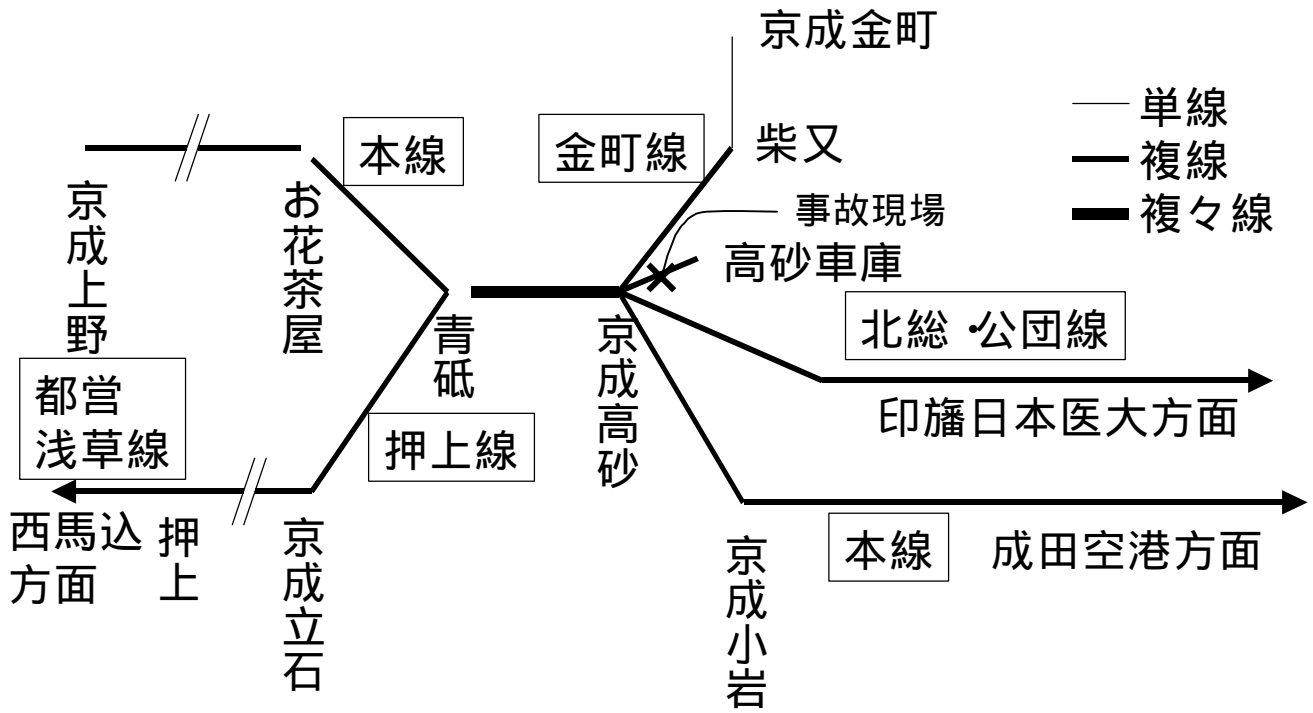
5 参考事項

同社では本件分岐器及び本件曲線において、次の対策を実施した。

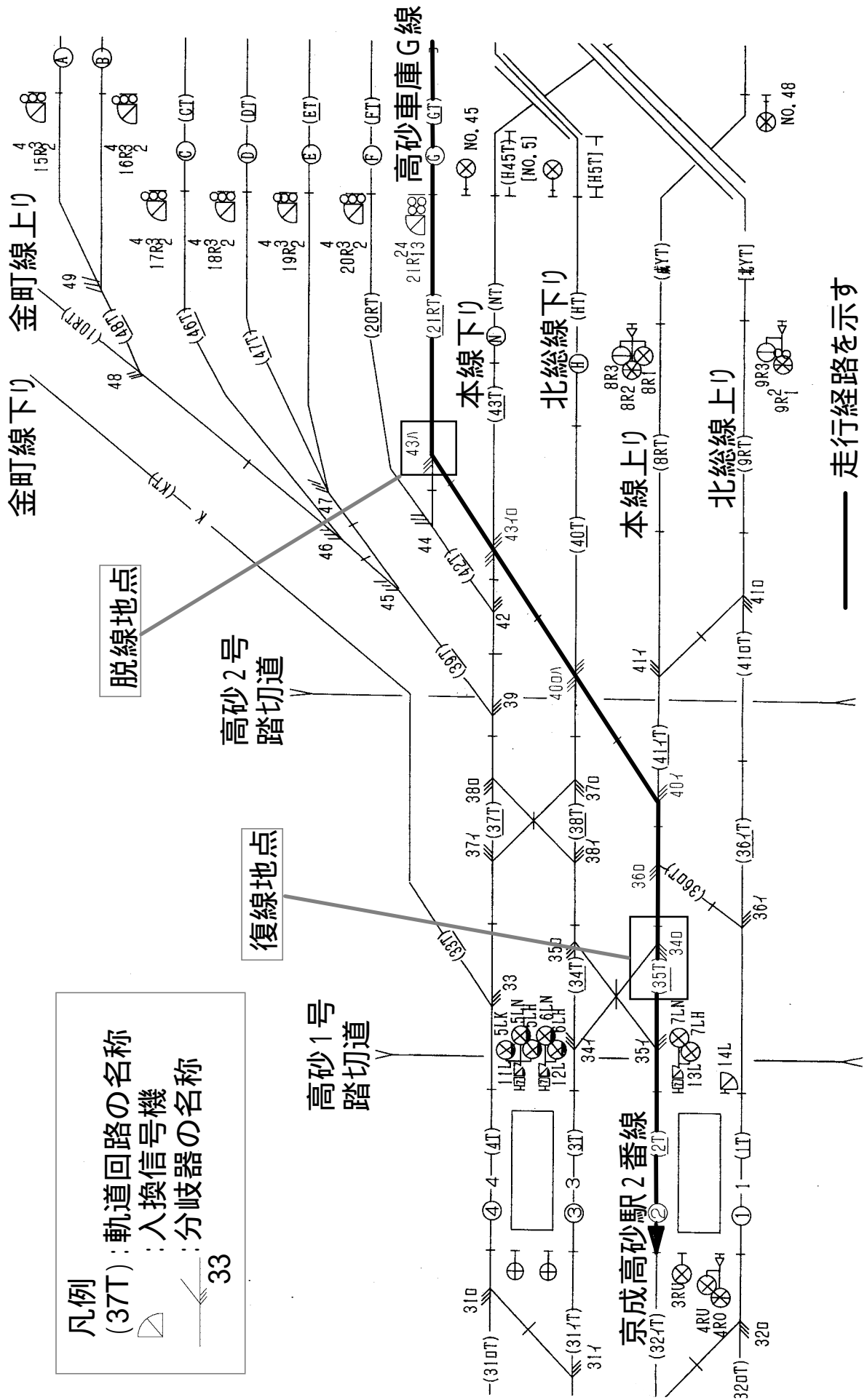
- (1) 分岐器のトングレール先端にポイントガードを設置した。
- (2) 分岐器の曲リードレール部分に、脱線防止ガードを設置した。
- (3) 曲線の線形の変更を行った。(曲率半径を小さくし、トングレール先端と曲線との間の直線部を約2.1m確保するとともに、急曲線のカントをなくした。)
- (4) 曲線に座屈防止板を取り付けた。
- (5) 分岐器前端の継目部を溶接し、レールを一体化した。
- (6) 曲線の通過速度を15km/h以下に制限した。併せて編成車両最後部が本件曲線を通過したことを示す標識を設置した。

また、損傷によりトングレールの交換頻度が高い他の分岐器について、ポイントガードを設置するとともに、当面、トングレールの研削作業を実施しないこととした。

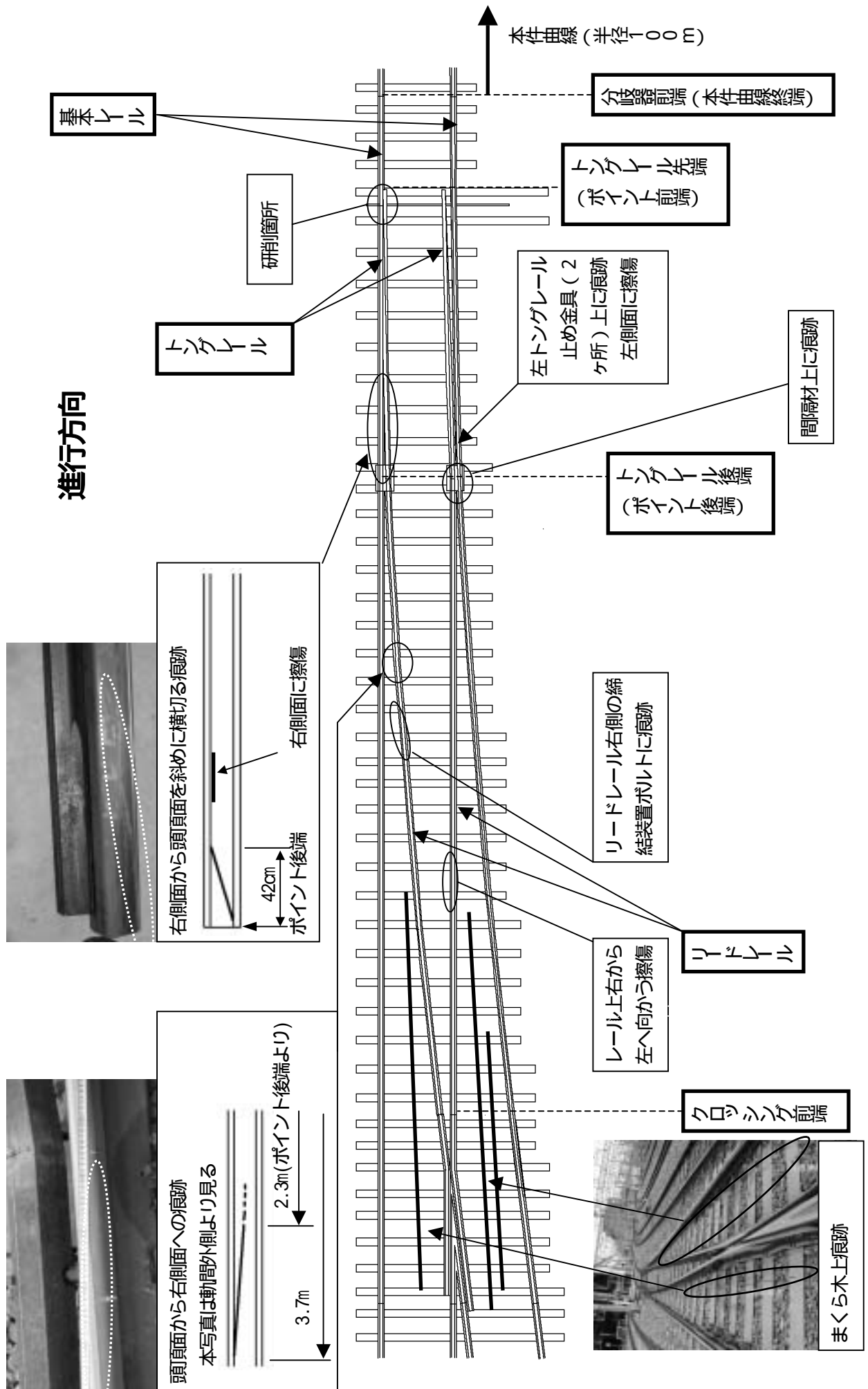
付図1 路線図



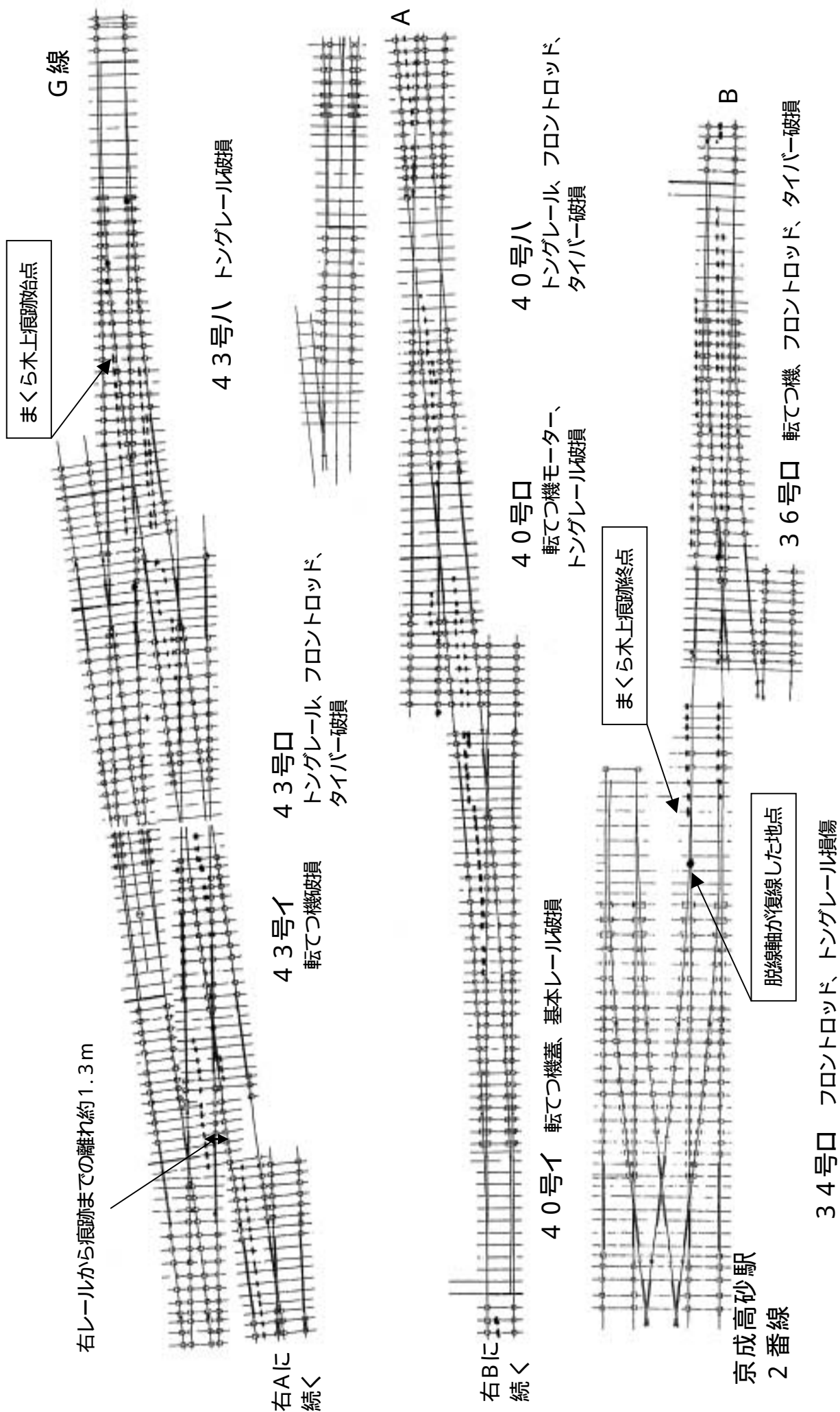
付図2 京成高砂駅構内配線図



付図3 43号八分岐器見取図



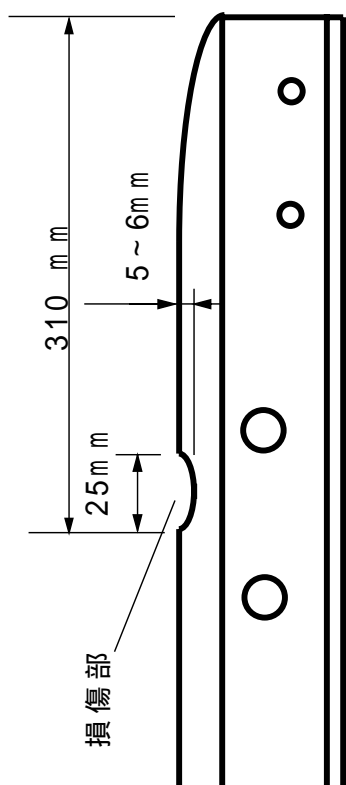
付図4 43号ハ～34号口分岐器間の軌道損傷状況



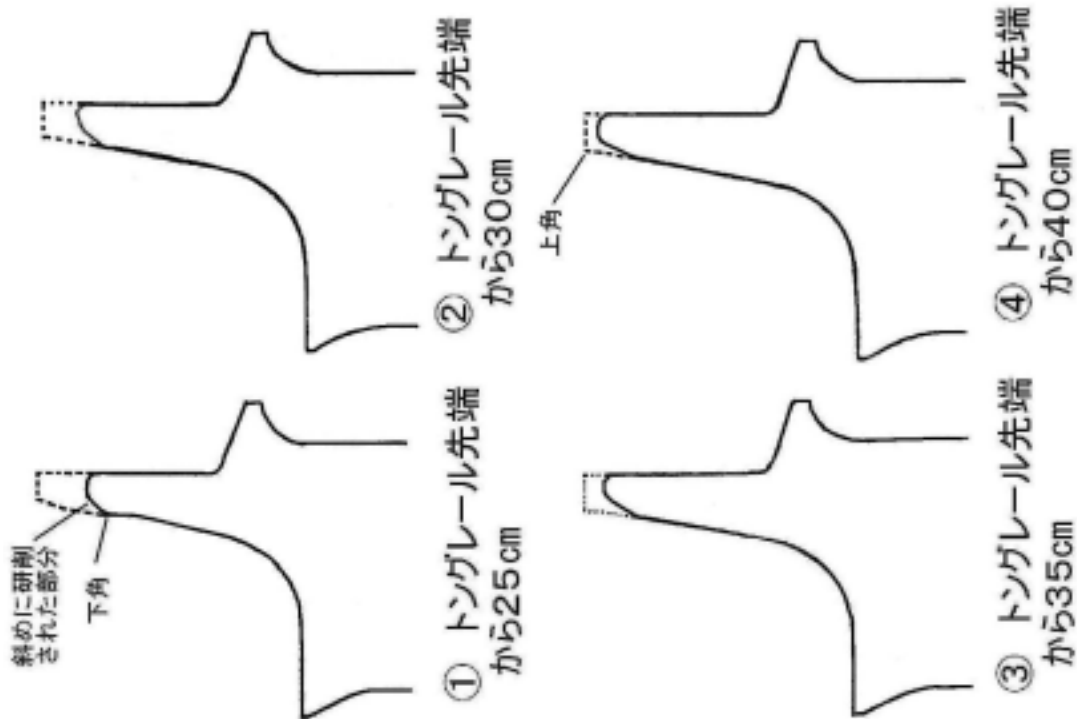
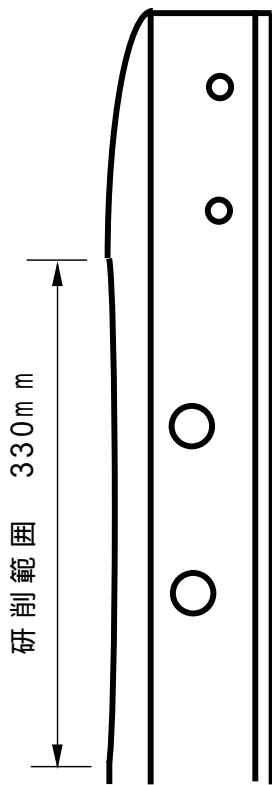
付図5 右トングレールの研削状況

(3) 研削作業後の断面形状

(1) 研削作業前

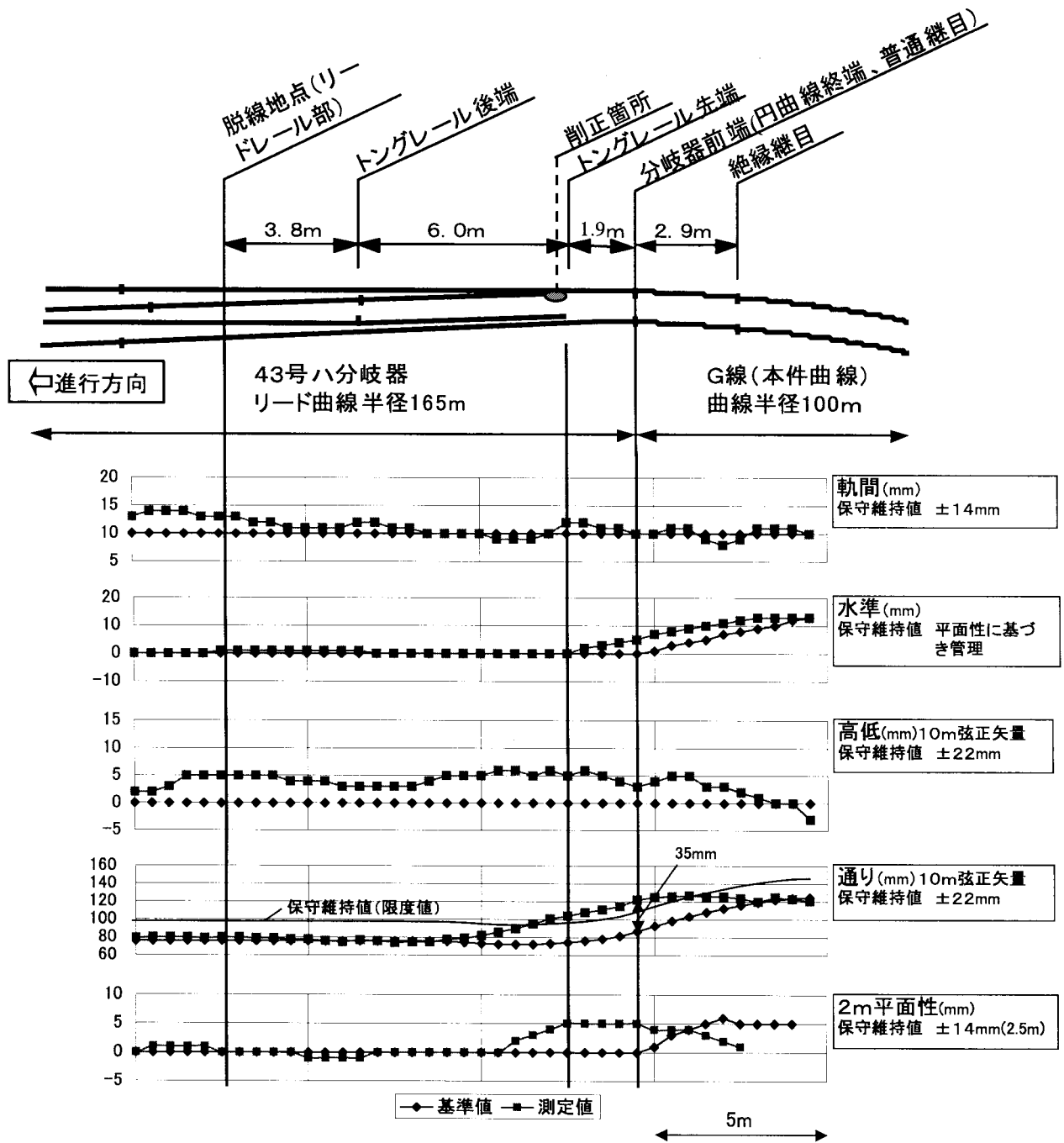


(2) 研削作業後



断面はいずれも高砂車庫方から見た状態を示す。
先端の点線部は新品レールの断面形状を示す。

付図6 事故現場付近の軌道検測結果

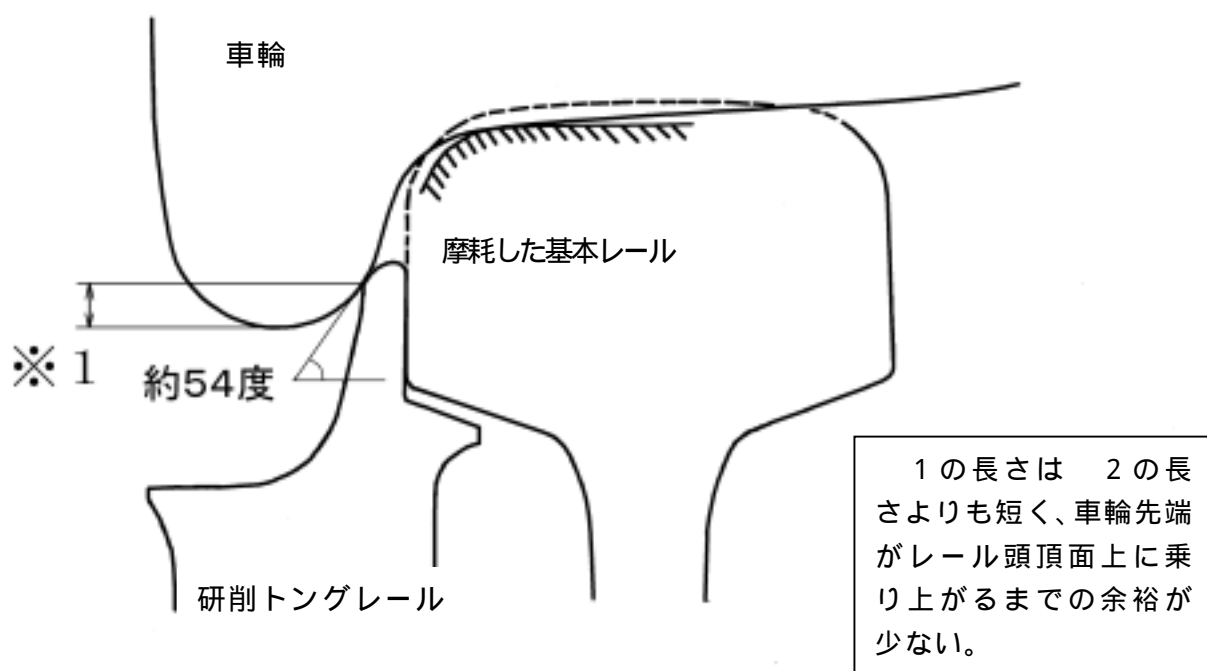


・測定値は、分岐側（本件車両の走行と同じ向き）に進路を構成した状態において、分岐器前端を基準に前後0.5m間隔で軌道検測を行った結果を示した。
 ・基準値は、保守の基準としている線路線形から算出した値を示した。
 ・これらは、現場付近の軌道状況を把握するために測定したものであり、0.5m間隔の値により軌道管理を行っているものではない。
 ・保守維持値は、この値を超えていた場合にはできる限り早く軌道整正を行うべく定められた限度値である。

付図7 車輪・レールの接触状況

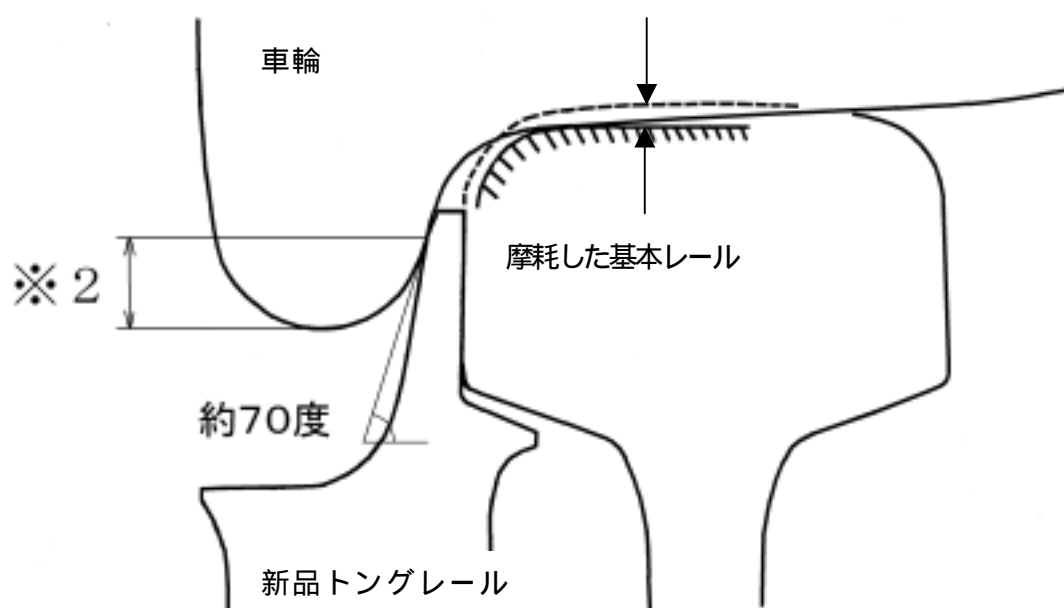
(トングレール先端から 25cm の位置における断面)

(1) 研削後のトングレールと摩耗した基本レールの組合せ(事故時)



(2) 新品のトングレールと摩耗した基本レールの組合せ(比較)

基本レールの頭頂部は高さ方向に約 3mm 摩耗している。



付図8 分岐器通過時の走行状況の推定

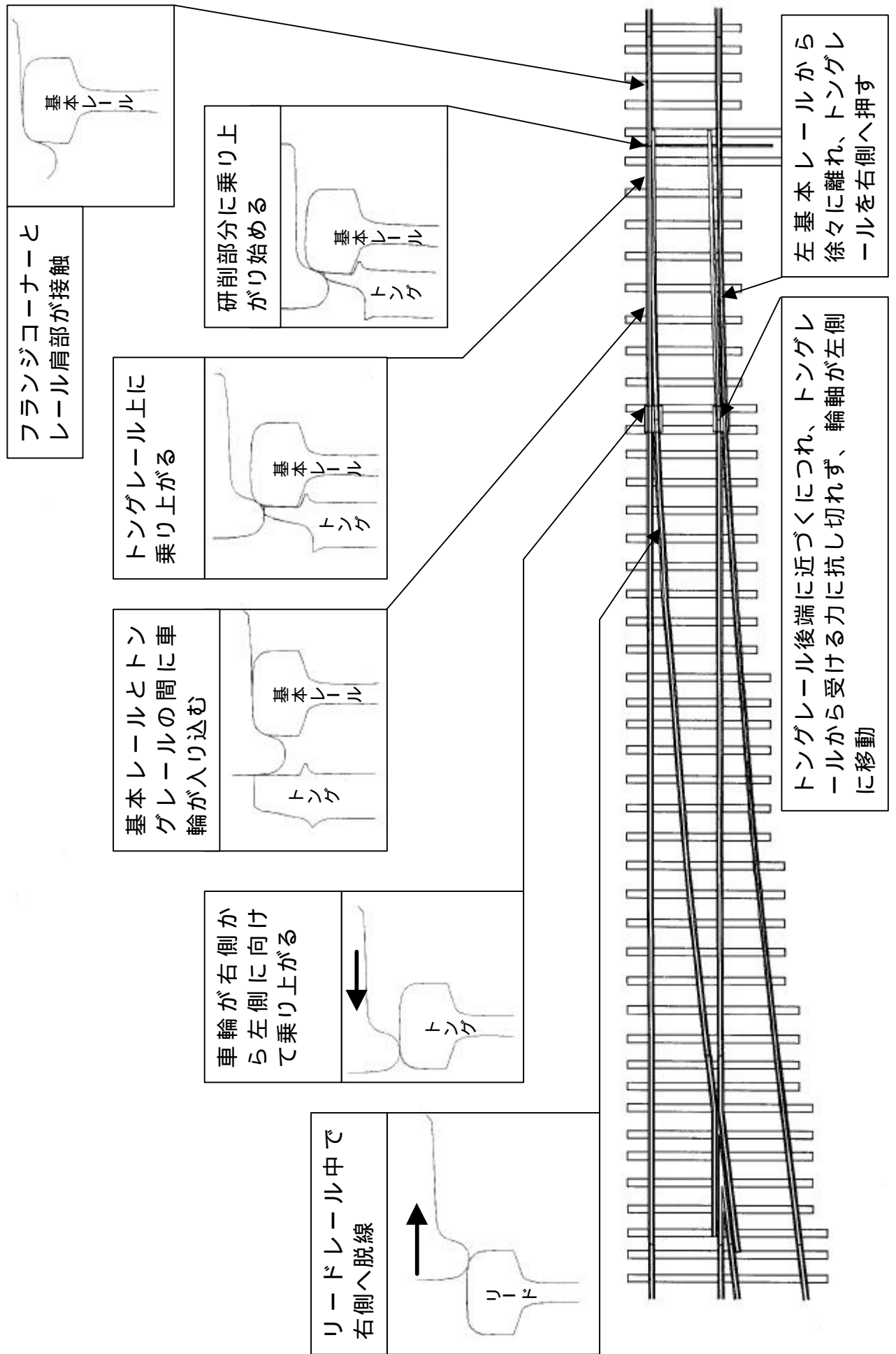


写真1 43号八分岐器



(京成高砂駅方向を見る)

写真2 高砂車庫G線の曲線部



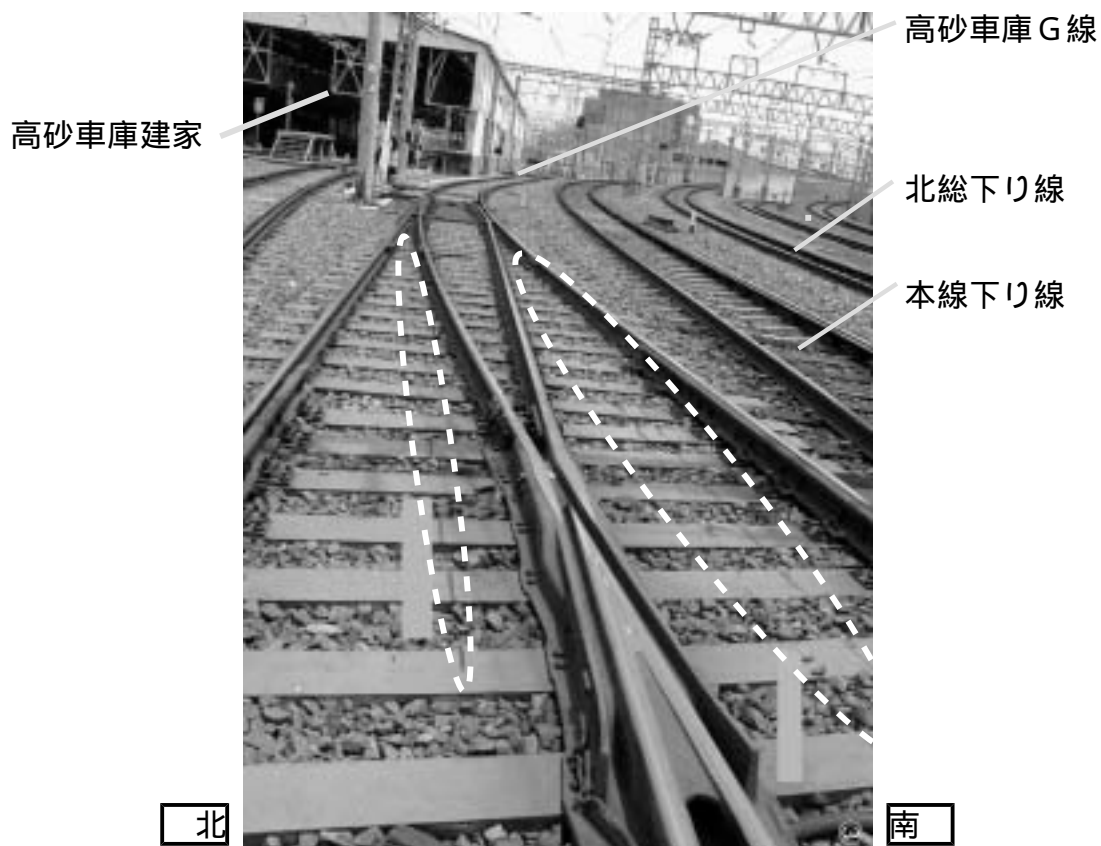
(座屈防止板取付け後に撮影 本件分岐器から高砂車庫内を見る)

写真3 右トンゲレール



(事故直後に同社撮影)

写真4 43号八分岐器内の痕跡



(事故直後に同社撮影)

写真5 車両の損傷状況（その1）

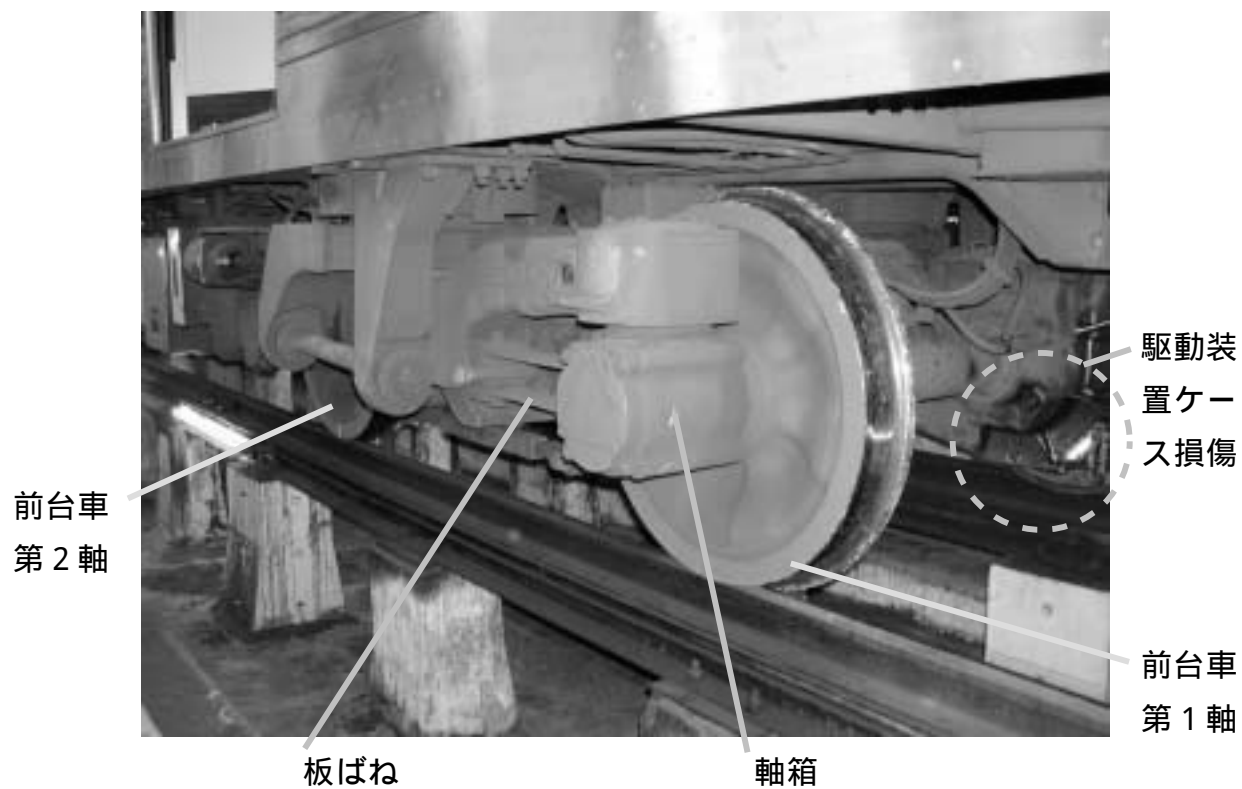
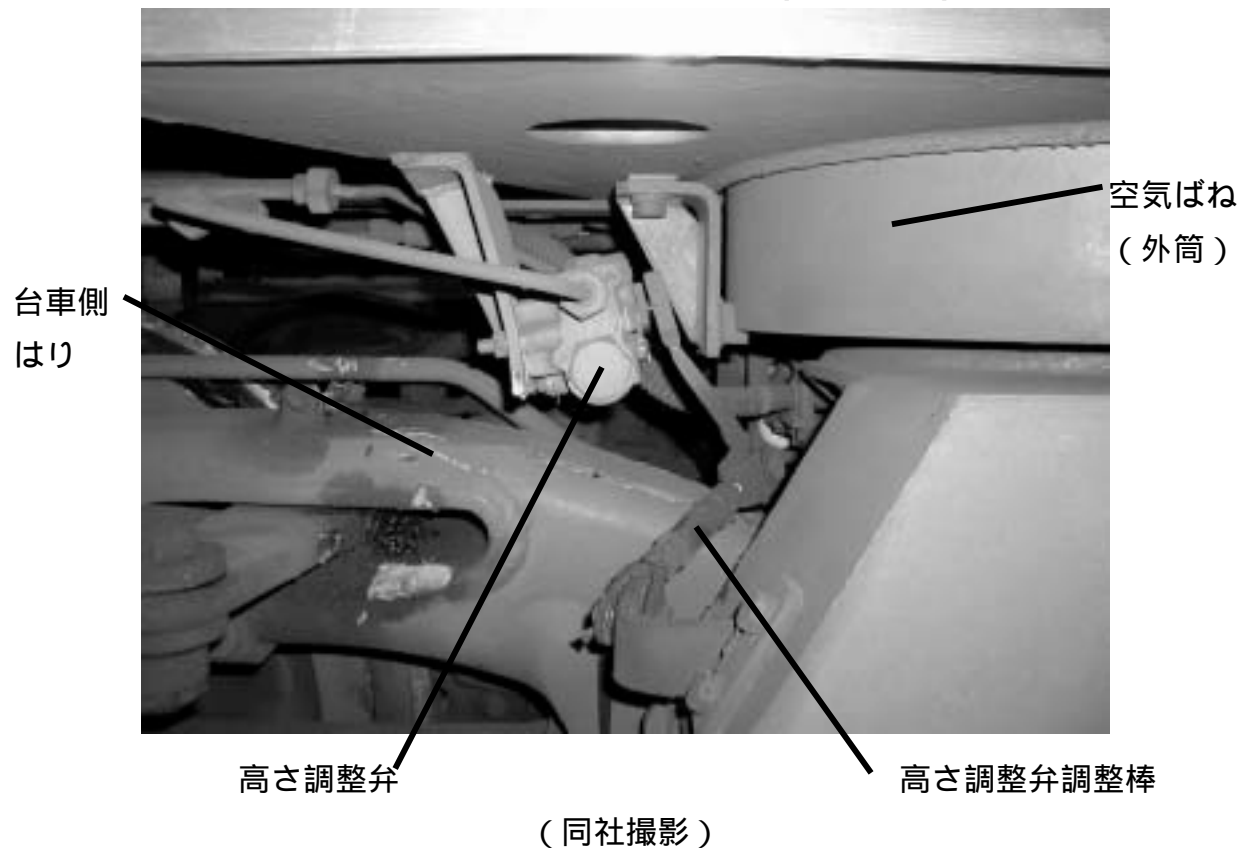


写真6 車両の損傷状況（その2）



脱線係数及び限界脱線係数の推定

脱線係数及び限界脱線係数の推定は、資料¹⁾の方法によったが、計算に使用した数値及び推定結果について下記に示した。

(1) 計算に使用した数値

記号	名称	単位	数値
	静止輪重比	%	10
W0	静的軸重	kN	82.9
V	走行速度	km/h	20
v	走行速度	m/s	5.6
G	軌間	m	1.435
C(3)	カント	m	0.013
R(1)	曲線半径(第1軸位置) ¹	m	120.2
R(2)	曲線半径(前台車中心位置) ¹	m	112.6
R(3)	曲線半径(車体中心位置) ¹	m	103.3
g	重力加速度	m/s ²	9.8
Hg*	車両有効重心高さ	m	1.56
2b	左右接触点間隔	mm	1500
2b1	左右軸ばね間隔	mm	1930
2b2	左右枕ばね間隔	mm	1900
k1	上下軸ばね係数 ²	kN/mm/軸箱	1.8
k2	上下枕ばね係数	kN/mm/台車片側	0.27
2a	軸距	mm	2100
2c	台車中心間距離	mm	12000
Atc	カント逡減倍率		平面性狂いで見込む
t	BC間平面性狂い(カント低減分除く)	mm	10
a	軸距平面性狂い(カント低減分除く)	mm	5
	内軌側横圧/輪重比		0.55
	車輪フランジ角	deg	54
y	横動遊間	mm	10
s1	第1軸位置でのスラック	mm	12
s2	第2軸位置でのスラック	mm	11
z	通り狂い標準偏差	mm RMS	0
kQ	輪軸横圧変動係数	1/mm/(km/h)	0
k	前後枕ばね係数	kN/m	0
	継目横圧変動分の係数	%	0
μ	摩擦係数外軌側		0.5

1 各位置に直近の正矢量から曲率半径を求めた。

2 非線形特性を有するので、ここでは諸元とは異なる値を用いた。

(2) 推定結果

外軌側輪重推定値	3 5 . 5 kN
外軌側横圧推定値	2 6 . 9 kN
推定脱線係数	0 . 7 6
限界脱線係数	0 . 7 1
推定脱線係数比	0 . 9 3

1) 国土交通省：解説 鉄道に関する技術基準（土木編），2001.3