

3 脱線要因の推定

3.1 要因推定の手法

今回発生した脱線は、脱線した車両の車輪、車軸等に折損等の異常が見られなかったことから、比較的低速で走行中に車輪がレールに乗り上がって脱輪に至る、いわゆる「乗り上がり脱線」と考えられる。

乗り上がり脱線は、車輪とレールとの間に作用する「輪重（車輪がレールを下方方向に押す力）」が減少し、「横圧（車輪がレールを横方向に押す力）」が増加して、脱線係数（横圧を輪重で除した値）が限界値を超えたときに発生する可能性があると考えられる。今回の脱線では、8両目第1軸右側車輪が最初に脱輪していることから、当該車輪の輪重が減少した要因、当該車輪の横圧が増加した要因及び限界値を低下させた要因を推定した。

事故調査検討会では、このような観点から、脱線の発生に影響を及ぼしたと考えられる主な因子として以下のものを推定し、それらについて技術的な検証を行うことにより脱線要因を明らかにする方法を採った。

これらの各因子が、当該車両と軌道の組合せにおいて、どの程度脱線の発生に影響を与えたのかを明らかにするため、事故当時の状況を再現して現地走行試験を行うとともに、車両運動シミュレーションを用いた検討を行った。

線路線形の影響の可能性（急こう配中の急曲線出口側の緩和曲線部）

静止輪重のアンバランスの影響の可能性

空気ばねの調整、設定、動作状況等の影響の可能性

台車の設計、製作、組立・調整状況等の影響の可能性

車輪の踏面形状、輪径差等の影響の可能性

軌道狂い（平面性等）の影響の可能性

レールの研削形状の影響の可能性

塗油器の動作、塗油の状況、油の性状の影響の可能性

脱線時の速度と運転パターンの影響の可能性

車体の剛性・ねじれ、連結器等の影響の可能性

3.2 脱線した車両に関する調査結果

脱線した03系車両が、脱線の発生に結びつく問題を有していたかどうかを確認するため、事故後に車体、台車の損傷状況を調査するとともに、台車・車輪の寸法計測や台車を構成する重要部品の単体機能試験等を実施した。また、車輪がレール上に乗り上がっていく状況を確認するため、車輪の踏面、フランジに残された痕跡についても調査を行った。

3.2.1 脱線した車両の概要

(1) 車両の概要

脱線した車両は、昭和 63 年 6 月に製造された 03 系車両であり、この編成の中で、脱線した 8 両目の車両は、運転室付き付随車である。

主な諸元は、車体長さ 18100mm、幅 2830mm、高さ 3995mm、前後台車中心間距離 12000mm、軸距（台車内の前後輪軸間距離）2200mm、空車重量 256kN である。この車両は運転台側が反運転台側より重く、運転台側台車の一軸の設計軸重は 72kN、反運転台側は 56kN である。台車は、平行片板ばね式（SU ミンデン式）の軸箱支持方式を持つボルスタレス空気ばね台車である。

当該車両の検修は、重要部検査が平成 4 年 2 月 10 日～3 月 31 日及び平成 10 年 2 月 18 日～4 月 9 日、全般検査が平成 7 年 2 月 21 日～4 月 21 日に行われている。

平成 10 年に行われた重要部検査において、台車枠のブレーキ取付け部に亀裂が発見され、溶接による補修をしている。また、板ばね取付けボルトの不良が発見され、ボルトの交換を行っている。しかし、これらの補修は、今回の脱線の発生に関係するものではないと考えられる。

(2) 車輪踏面形状の変更の経緯

当該編成の付随車（脱線した車両を含む）の車輪踏面形状は、昭和 63 年 6 月の製造時は 50kgN レール用円弧踏面であったが、同年 11 月に円錐踏面（基本踏面）へ、平成 5 年 6 月に 50kgN/60kg レール用円弧踏面へ、平成 7 年 4 月に 50kgN レール用円弧踏面へ、平成 11 年 10 月に円錐踏面（基本踏面）へ変更された。この編成の動力車の踏面形状は、円錐踏面（基本踏面）で変更はない。営団は、当該編成を導入した当時、将来的に日比谷線車両には円弧踏面を本格的に採用しようと考えていたが、他の多くの車両が円錐踏面で走行していたことから、レール頭頂面の摩耗形状が円錐踏面の形状の影響を受け、円弧踏面の車輪は滑走が多く発生する結果となった。このため、営団は、踏面形状の試行錯誤を繰り返したが、最終的に円錐踏面で統一することにした。

なお、車輪のフランジ角度は、円錐踏面のときは約 60 度、円弧踏面のときは 70 度であった。

3.2.2 脱線した車両の損傷状況

脱線した 8 両目車両の車体、台車等の損傷、変形の状況を確認した。台車については、第一台車の左側空気ばねの高さ調整板がはみ出し、また、第 1 軸右側の軸箱下部に打痕が見られた。

第一台車左側の空気ばねについては、事故直後の現地調査において、空気の抜け（現地調

査後、営団が、脱線した車両の載線復旧作業の際に、第一台車の空気ばねのコックを操作し空気を抜いているが、この操作を行ったときには、当該空気ばねはほとんど空気が抜けた状態になっていた)が認められ、その後行われた当該空気ばねの調査において、Oリングの空気噴き出し痕及び高さ調整弁の軸の曲がりが見受けられた。

しかし、これらはいずれも事故の衝撃により生じたものと考えられ、脱線の発生要因に直接関連すると考えられるものは見受けられなかった。

車体の損傷状況の詳細は、「4.1.1 乗客の被害と車体の損傷の状況」で述べる。

3.2.3 台車、車輪等の寸法、形状等

脱線した車両の第一台車に関する主な測定結果は以下のとおりである。いずれも脱線の発生要因に直接関連すると考えられる特異な測定結果は見受けられなかった。

- 軸距（空車荷重載荷時）

右側 2200.2mm、左側 2198.8mm（設計値 2200mm）

車輪の対角の寸法は、第1軸右側車輪と第2軸左側車輪の間が、第1軸左側車輪と第2軸右側車輪の間より、2.7mm 上回っていた。

- バックゲージ

第1軸 991.6mm、第2軸 991.3mm（設計値 990mm）

- 車輪径

第1軸右側 834.0mm、同左側 834.4mm、第2軸右側 834.6mm、同左側 834.1mm（車輪転削前の設計値 860mm）

- 車輪の表面粗さ

表面粗さ計により測定した結果、第1軸の車輪の表面粗さは、以下のとおりであった。

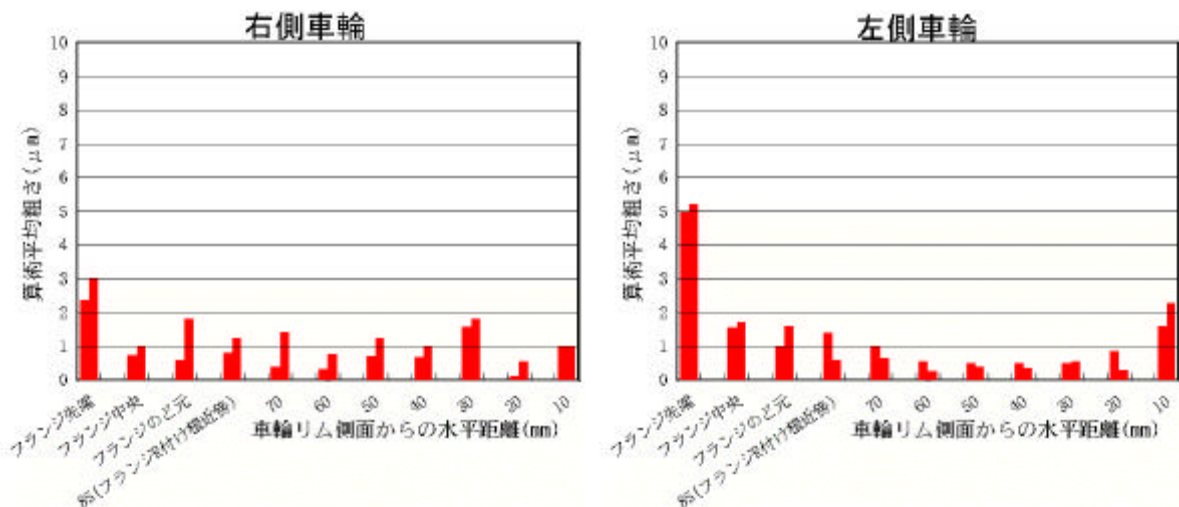


図 3.2-1 車輪の表面粗さの測定結果（算術平均粗さ）

• 車輪の踏面形状

車輪踏面描写器により測定した結果、いずれの車輪も設計踏面に近い形状であった。

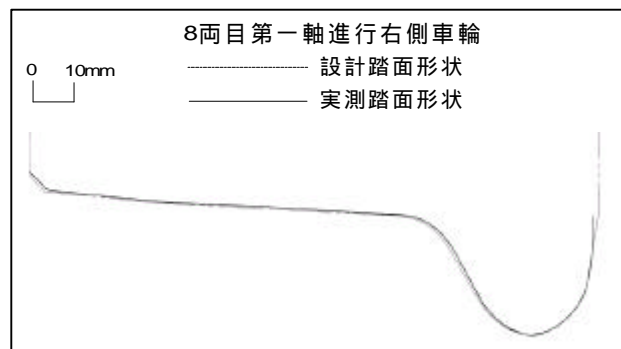


図 3 . 2 - 2 8 両目第 1 軸右側車輪の踏面形状

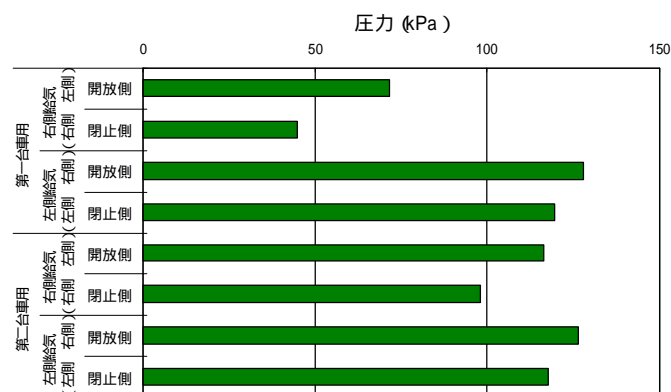
3 . 2 . 4 台車を構成する主要部品の特性試験

脱線した車両の第一台車を構成する主要部品の動作を確認するため、以下の特性試験を実施した。測定値が、製造時に適用される規定値を満足しないものも見受けられたが、いずれも脱線の発生に与える影響は小さかったと考えられる。

a. 空気ばね差圧弁単体試験

第 1 台車及び第 2 台車の空気ばね差圧弁の動作圧力を単体で測定したところ、第 1 台車の右側の空気ばねの圧力を高めた条件において、差圧弁が開放する圧力及び閉止する圧力の測定値が、製造上の規定値を下回った（図 3 . 2 - 3）。これは、差圧弁を試験する際、弁を水中に沈め、気泡を確認する方法によったため、微少な空気漏れにより気泡が発生したものを測定値として記録したことによると考えられる。

当該差圧弁や空気ばね等を脱線した車両の台車に組み込み、機能試験を行ったところ、この差圧弁についても規定値内で動作することが確認されたことから、空気漏れは極めて微少であり、差圧弁の実用上の動作に影響を与えるものではなかったと考えられる。



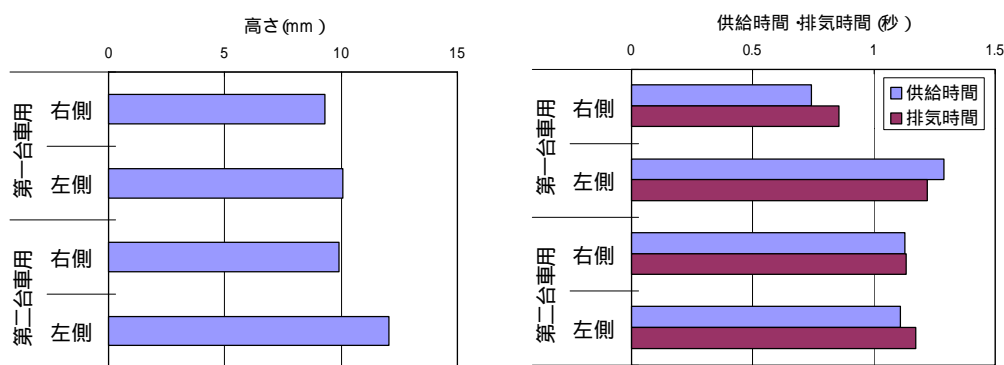
規定値 118 ± 10kPa ()内は、空気の流れる向きを示す。

図 3 . 2 - 3 差圧弁単体試験結果

b. 空気ばね高さ調整弁単体試験

第1台車及び第2台車の空気ばねの高さ調整弁の動作（高さ及び給排気時間）を単体で測定した（図3.2-4）。第1台車の左側の高さ調整弁の軸は、事故の衝撃により曲がりが生じていることから、代替品を用いて測定を行った。

測定の結果、第2台車の左側の高さ調整弁の高さが製造上の規定値より高い値となったが、供給時間、排気時間が規定値内であったことなどを勘案すると、脱線の発生に与える影響は小さかったと考えられる。

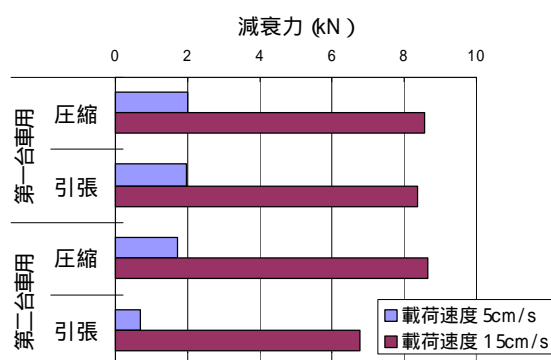


規定値 高さ：10±0.8mm、供給時間・排気時間：1±0.5秒

図 3.2-4 高さ調整弁単体試験結果

c. 左右動ダンパ単体試験

第1台車及び第2台車の左右動ダンパについて、圧縮と引張の減衰力を測定した（図3.2-5）。その結果、第2台車のダンパの引張時の減衰力が製造上の規定値を下回ったが、脱線に与える影響は小さかったと考えられる。



規定値 載荷速度 5cm/s：1.76±0.35kN、載荷速度 15cm/s：7.84±1.18kN
台車が車体に対して外側に変位する方向が圧縮側

図 3.2-5 左右動ダンパ単体試験結果

d. 空気ばね単体試験

脱線した車両に備わっている4つの空気ばねについて、外觀寸法、気密、荷重と内圧の関係等について測定を行った結果、特に異常な点は見られなかった。

e. 軸ばね単体試験

脱線した車両に備わっている 8 つの軸ばねについて、規定荷重を加えたときの高さやばね定数等について測定を行った（図 3.2-6）。その結果、第 2 台車第 2 軸の左側の軸ばねの規定荷重高さが 228.9mm（製造上の規定値 231.8mm ± 2mm）と規定値の範囲を 0.9mm 下回っていた。また、ばね定数については、製造上の規定値の範囲は定められていないが、設計上の計算値 1.39kN/mm に対し、測定値は 1.28 ~ 1.45kN/mm であった。

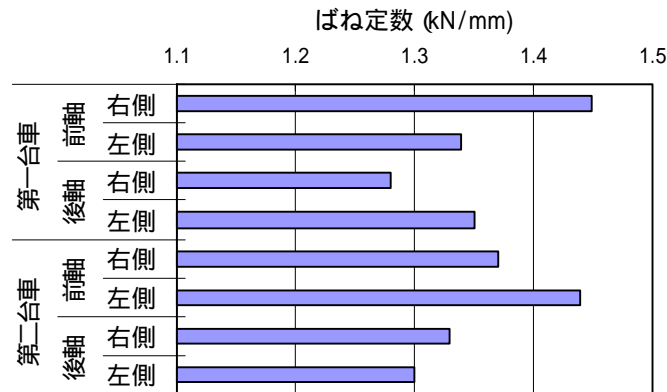


図 3.2-6 軸ばね単体試験結果（ばね定数）

3.2.5 車輪に残された乗り上がりの痕跡

車輪がレール上に乗り上がっていく状況を確認するため、脱線した車両の第 1 軸外軌側車輪の踏面及びフランジに残された痕跡を調査した。車輪の踏面には、脱線した後にバラスト上を走行したため生じたと考えられる傷が多数見られたが、乗り上がりに関連すると考えられる痕跡は、以下のとおりであった。

- フランジの中間付近からフランジ先端部にかけて、車輪がレールに乗り上がっていく際に生じたと考えられる痕跡が、全長約 1.3m（車輪の約半周）にわたり残されている。なお、フランジの中間付近から踏面よりの部分は、レールと頻繁に接触していた箇所と考えられ、表面が光沢を帯びているため痕跡を確認できる状況ではなかった。
- フランジ先端部付近には、ほぼ全周にわたり痕跡が残されている。これは、車輪がレールに乗り上がった後、フランジにてレール頭頂面上を走行した際に生じたものと考えられる。

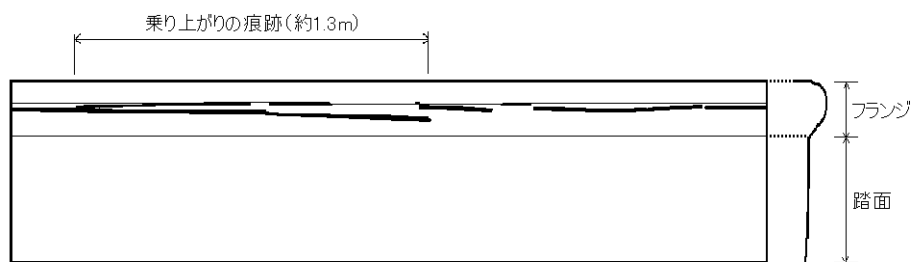


図 3.2-7 車輪の主な痕跡の状況