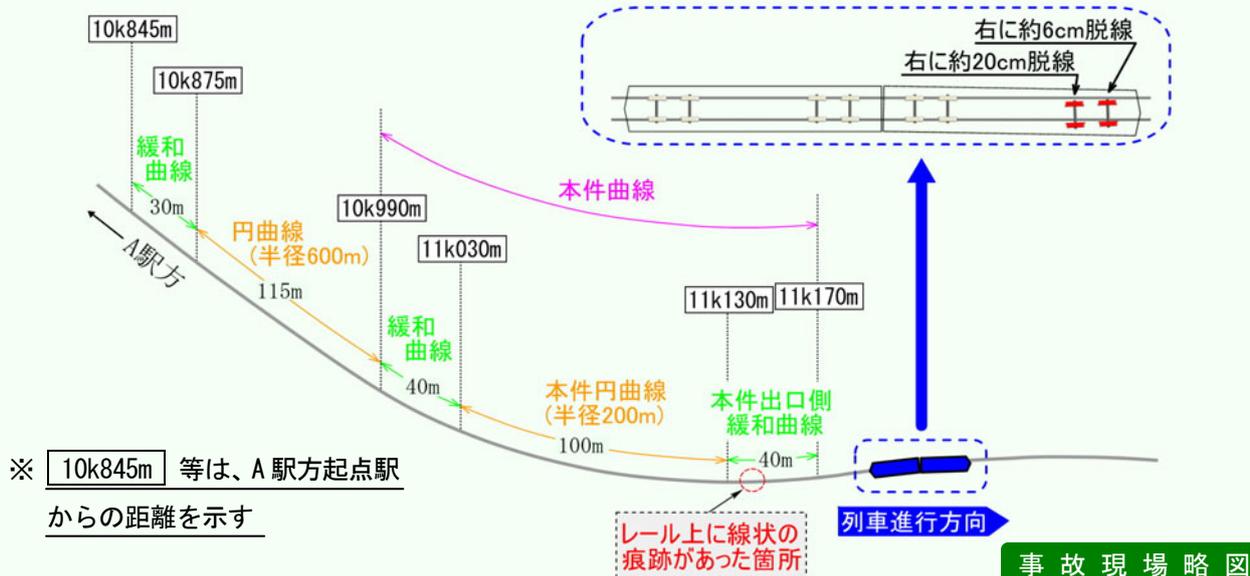
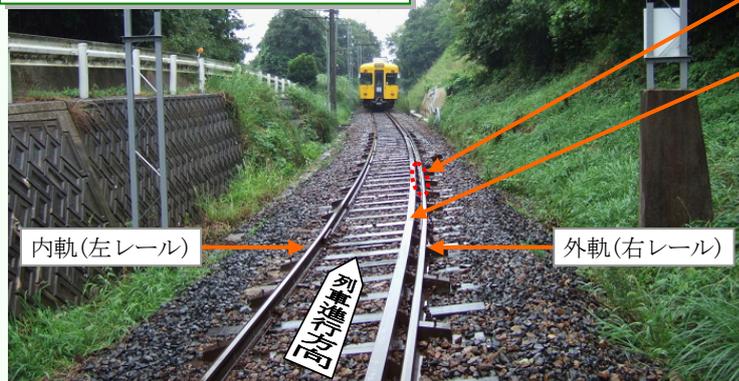


曲線部を走行中に列車の車輪がレールに乗り上がり脱線した事例

概要：平成21年8月27日（木）、本件列車（2両編成）は、ワンマン運転でA駅を定刻（11時57分）に出発した。本件列車の運転士は、半径200mの左曲線を速度約55km/hで力行運転中、車両に異音と動揺を感じたため、非常ブレーキを使用して停止させた。列車は、先頭車両の前台車全2軸が右へ脱線していた。列車には、乗客18名及び運転士1名が乗車しており、そのうち乗客3名が負傷した。



事故現場の状況_本事故翌日撮影



レール上に線状の痕跡があった箇所

本事故前から設置されていた脱線防止ガード(※1)

※1「脱線防止ガード」とは、脱線しかかった車輪の反対側の車輪内面を抑えて脱線を防止するため、レールと平行して軌間内側に設置するL形鋼のガード装置のことをいう。

事故現場付近の線路に関する情報

- ▶ 10k845m～11k170mまでは左曲線となっており、このうち、‘11k030m～11k130mまでが半径200mの円曲線’（本件円曲線）である
 - ▶ 本件円曲線の始点側には、半径600mの円曲線と本件円曲線とに接続する長さ40m（10k990m～11k030m）の緩和曲線(※2)があり、終点側には、‘本件円曲線と直線とに接続する長さ40m（11k130m～11k170m）の緩和曲線’（本件出口側緩和曲線）がある
→本事例において‘本件円曲線、始点側の緩和曲線及び本件出口側緩和曲線’を本件曲線という
 - ▶ 本件円曲線には105mmのカント(※3)が設定されており、このカントは緩和曲線において逡減され、本件出口側緩和曲線においては、カントの約380倍の40mの長さで0mmまで逡減している
 - ▶ 本件出口側緩和曲線内の11k135m付近にはレール継目がある
 - ▶ 本件曲線には、外軌(右レール)の軌間内側に脱線防止ガードが設置されている
- ※2「緩和曲線」とは、鉄道車両の走行を円滑にするために直線と円曲線、又は二つの曲線の間に設けられる線形のことをいい、緩和曲線中では曲率とカントが連続的に変化する。
- ※3「カント」とは、曲線を走行する際の遠心力が走行安全性及び乗り心地に対して影響することを低減するように設定された、曲線外側のレールと内側のレールとの高低差をいう。

事故の経過

11時57分

本件列車がA駅を出発

速度55km/h程度で事故現場付近を走行

11時58分ごろ

本件出口側緩和曲線内の11k137m付近及び11k139m付近で先頭車両の前台車全2軸の外軌側(右)車輪が外軌(右レール)に乗り上がり、11k140m付近及び11k141m付近で脱線

運転士が、車両に異音と動揺を感じ、非常ブレーキを使用

脱線した本件列車は、車体前面の右側部分が線路右側の鉄柱に衝突した後、先頭が11k219m付近に停止

主な要因等

速度は、半径200mの曲線の制限速度55km/hと同程度で、脱線に關与した可能性は低い

本件出口緩和曲線で、乗り上がりに対する余裕が小

・脱線係数(※4)の増加
・限界脱線係数(※5)の低下

乗り上がりを防止できず

曲線の内軌側に設置すべき脱線防止ガードを外軌側に設置

詳細は「脱線防止ガードに関する分析」(11ページ)を参照

本件列車は、先頭車両の前面右上部に打痕を生じたほか、右の前面窓ガラスを割るなどした

線形(線路形状)の影響

詳細は「線形の影響に関する分析」(本ページ下部)を参照

軌道変位(設計値との差)の影響

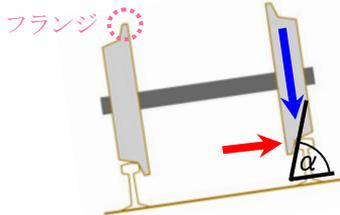
詳細は「軌道変位の影響に関する分析」(10・11ページ)を参照

脱線した車両の状況



※4 脱線係数 / ※5 限界脱線係数 について

【横圧・輪重】



▼「横圧」とは、車輪がレールを横方向に押す力をいう。

▼「輪重」とは、車輪がレールを下方向に押す力をいう。

「脱線係数」とは、横圧を輪重で除した値をいう。脱線係数の値は、横圧が大きいほど、また輪重が小さいほど大きくなる。

$$\text{脱線係数} = \text{横圧} / \text{輪重}$$

「限界脱線係数」とは、車輪フランジがレールに乗り上がる際の、車輪フランジとレールとの接触点に作用する輪重及び横圧の釣合い式から求めた、脱線係数の限度値をいい、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。

限界脱線係数の値は、車輪フランジとレールとの摩擦係数が大きいほど、また接触角度(車輪フランジ角度:左図 α)が小さいほど低下する。

線形の影響に関する分析

先頭車両前台車全2軸の外軌側(右)車輪が外軌(右レール)に乗り上がったと推定される11k137m付近及び11k139m付近は、半径200m、カント105mmの本件円曲線から続く本件出口側緩和曲線内

出口側緩和曲線では...

- ・円曲線の走行に伴い発生した大きな横圧が維持される
- ・カントの透減による構造的な「軌道面のねじれ」によって、台車前軸の外軌側車輪の輪重が減少するとともに、内軌側車輪の輪重が増加する

内軌側車輪がレールとの摩擦力で輪軸を外軌側に押すことによって発生する横圧が増大する

本件出口側緩和曲線では、線路構造上、外軌側車輪の横圧が大きく、同車輪の輪重が小さくなるため、台車前軸の外軌側車輪の乗り上がりに対する余裕が小さくなると考えられる

軌道変位の影響に関する分析

▶ 本分析で使用した軌道変位(設計値との差)等は、本事故後に事故現場付近の軌道を手検測により 0.5m 間隔で測定したものであり、これらの測定値は、本事故発生の9ヶ月前に行われた定期検査における軌道検測記録の測定値とほぼ同じであった。

通り変位の影響

本件出口側緩和曲線の手前から同緩和曲線内に至る 11k123m~11k131.5mの間で通り変位が-16~-34mmと整備基準値の±15mmを超えていた

本来、通り正矢が曲線半径を大きくする方向へ変化していくはずの本件出口側緩和曲線において、その始端付近では逆に曲線半径を小さくする方向に 10m 弦正矢が変化していた

本件列車の進行に伴い先頭車両の前台車第1軸外軌側(右)車輪のアタック角(右図θ)が増大した

車輪フランジとレール間の等価摩擦係数(※6)が大きかった

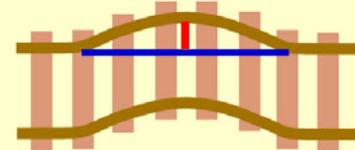
輪軸が向きを変える際に、内軌側(左)車輪が輪軸を外軌側(右)に押す力が増大し、外軌側(右)車輪の横圧が増大していった

限界脱線係数が低下していた可能性がある

脱線係数が増加していた可能性がある

※6「等価摩擦係数」とは、車輪フランジ・レール間に作用する左右方向の力とその法線力の比であり、アタック角の増加に伴って増加し、最大値は摩擦係数となる。

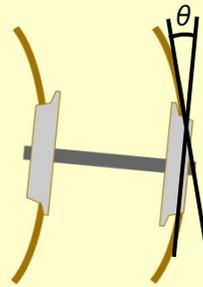
【通り変位】



▼「通り変位」とは、レールの長さ方向の2点間に張った弦の中央部とレールとの水平距離(正矢)をいい、曲線においては、曲線半径による正矢量(線形による分)を除いた値である。

▼「10m弦正矢」とは、レールの長さ方向の2点間に張った長さ10mの弦の中央部とレールとの水平距離をいう。

【アタック角】



▼「アタック角」(左図θ)とは、車輪がレール上を転動するときの車輪とレールとの相対角度のことであり、この角度が大きいほど乗り上がり脱線に対する安全性が低下する。

平面性変位の影響

11k128m~11k150m の間の2m 平面性変位が、軌道面が右前方に下がる向きの値が連続しており、11k136mが最大値(14mm)であった

本件出口側緩和曲線内のレール継目(11k135m 付近)周辺に噴泥(※7)が発生していた

本件列車通過時、レール沈下により軌道面のねじれを助長していた可能性がある

この地点で「線形の影響に関する分析」(9 ページ下部)で示した「軌道面のねじれ」が大きくなった

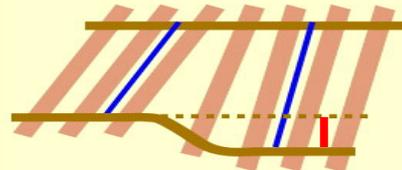
先頭車両前台車第1軸の外軌側(右)車輪の輪重が減少したことに伴い内軌側(左)車輪の輪重が増加した

輪軸が向きを変える際に、内軌側(左)車輪が輪軸を外軌側(右)に押す力が増大し、外軌側(右)車輪の横圧が増大していった

脱線係数が増加していた可能性がある

※7「噴泥」とは、道床バラスト表面に噴出した泥土をいう。噴泥の発生した箇所では、列車の荷重によってレールが大きく沈下し、軌道面のねじれを助長する可能性がある。

【平面性変位】



▼「平面性変位」とは、レールの長さ方向の2点間の水準(左右レールの高さの差でカントを含む)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2mであれば、2m平面性変位という。なお、本分析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。

レール継目部周辺の噴泥

レール継目(11k135m 付近)



通り変位及び水準変位の影響

11k113.5m～11k136.5mの間では、通り正矢が減少し曲線半径を大きくする方向に変化し始めると、逆に水準の測定値が増加しカントを大きくする方向に変化し始めるというように、これらの波形は、ほぼ同一の波長(約23m)で、互いに逆の位相を示していた(右グラフ参照)

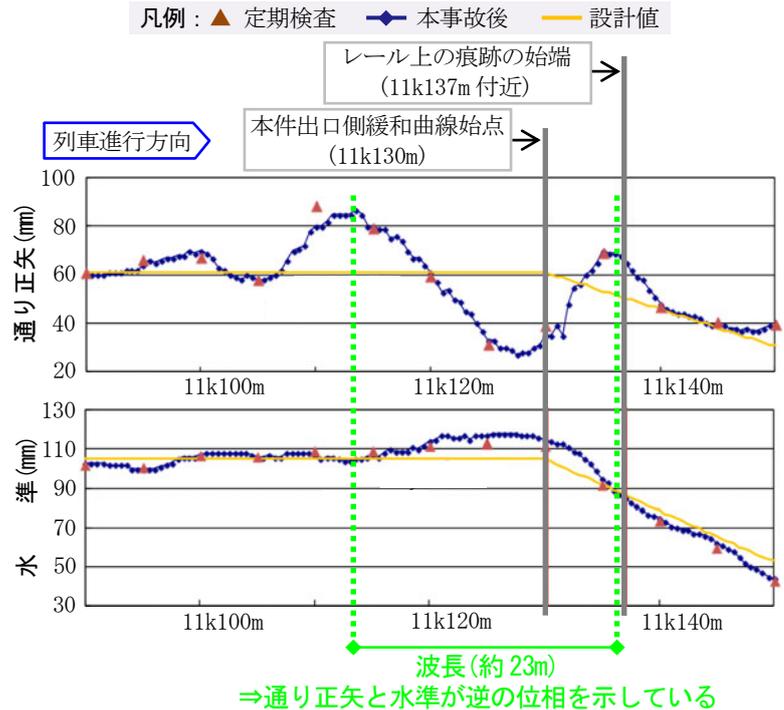
このような場合、走行速度によっては、通りと水準の変化による振動数が、車体のローリングの固有振動数と近い振動数となり、車体のローリングの共振を起こすことが知られている

本件列車の走行時(速度 55 km/h 程度)、車体のローリングが大きくなっていた可能性がある

ローリングが、外軌側(右)車輪の輪重の減少に関与した可能性がある

脱線係数が増加していた可能性がある

事故現場付近の軌道の状況(通り正矢及び水準)



脱線防止ガードに関する分析

日比谷線脱線衝突事故(※8)を踏まえ、平成12年3月、運輸省(当時)から鉄軌道事業者に対して、脱線防止対策について緊急の指導が行われた

運輸省の指導内容(主なもの)

- 半径 200m 以下の曲線の出口側緩和曲線部に、脱線防止ガード、脱線防止レール又は安全レールを可及的速やかに設置すること
- 半径 200m 以下の曲線のその他の区間について、出口側緩和曲線部に、脱線防止ガード、脱線防止レール又は安全レールをできるだけ早期に設置すること
- 脱線防止ガード又は脱線防止レールの場合、曲線の内軌側に設置すること

本件曲線に設置された脱線防止ガードは、上記指導と反対側の、曲線の外軌側に設置(平成12年8月)された

平成12年10月、運輸省から鉄軌道事業者に対して、推定脱線係数比(※9)が1.2を下回ることとなる曲線に脱線防止ガード等を設置することなどを内容とする指導がなされた

【本件曲線における推定脱線係数比】

本件円曲線 1.05 } 1.2を下回る
本件出口側緩和曲線 0.78

※8 「日比谷線脱線衝突事故」(平成12年3月8日発生)：本事故の原因は、当時の運輸省事故調査検討会の調査により、輪重減少や横圧増加を引き起こす複数の因子の影響が複合的に積み重なったことによる乗り上がり脱線と推定された。

本件鉄道事業者(同社)は、同社が定めた「軌道整備心得」(平成12年当時)に基づいて、事故が発生した場合に生じる被害が大きいと考える側の反対側に脱線防止ガードを設置するものと誤解していた

同社は、本件曲線の内側が道路と隣接していることから、列車が曲線外側へ脱線した場合より、曲線内側へ脱線した場合の方が、車両が道路を支障して危害が大きいため、曲線内側が危険の大きな側と判断していた

同社の軌道整備心得(抜粋)

- 高築堤等で脱線した場合に危害のはなはだしいと認められる箇所、その他特に必要と認められる箇所には脱線防止レール又は脱線防止ガードを敷設することとする
- 脱線防止レール又は脱線防止ガードは危険の大きな側の反対側に設けるものとする

同社は、平成14年3月に「軌道整備規程」を廃止し、新たに「軌道・土木施設実施基準」を定めたが、この際、既に設置されている脱線防止ガードに対しては、設置位置を確認することはなかった

※9 「推定脱線係数比」とは、急曲線低速走行時の乗り上がり脱線防止対策として、脱線防止ガード等の設置を検討する際に用いられる乗り上がりに対する余裕に関する評価指標であり、限界脱線係数を推定脱線係数(輪重横圧推定式に基づく脱線係数)で除して算定する。

軌道の保守に関する分析

本事故後に行った事故現場付近の軌道検測では、「通り変位」及び「5m平面性変位」の一部が、本件鉄道事業者(同社)の「軌道・土木施設実施基準」に規定された整備基準値を上回っていましたが、本事故後の軌道測定値と本事故前直近(9ヶ月前)の定期検査で同社が測定した値とがほぼ同じであったことから、定期検査の時点で、事故現場付近の軌道変位は既に一部が整備基準値を上回っていたものと考えられます。

しかし、同社では、定期検査の際、事故現場付近の軌道について整備基準値に基づく整備を行っていなかったため、事故現場付近の軌道整正は行われていませんでした。

報告書では、同社の軌道保守について、次のとおり分析しています。

本事故前直近(9ヶ月前)の定期検査の時点で、事故現場付近の軌道変位は一部が整備基準値を上回っていたものと考えられる

同社の定期検査では…

■ 軌道整正の必要性は、整備基準値のからのずれである軌道変位の値に基づかないで前回検査の測定値との差異や車両の乗り心地を勘案して判断していた

- ・ 前回検査の測定値との差異や車両の乗り心地だけを目安として、軌道整正の必要性を判断すると、軌道の状況を的確に把握することが困難であるものと考えられる
- ・ 軌道の整備基準値を規定した「軌道・土木施設実施基準」を定めた平成14年以降も同様に実施してきたことから、整備基準値に基づく軌道整備が行われていなかった箇所もあるものと考えられる

「軌道・土木施設実施基準」と現場での軌道保守の考え方が、必ずしも十分に整合のとれたものとなっていなかった可能性がある

本事故前直近の定期検査で事故現場付近については、軌道検測結果と前回検査の測定値とに大きな変化がなく、車両の乗り心地にも異常はなかった

事故現場付近の軌道整正は行われなかった

再発防止に向けて

当委員会は、同種事故の再発防止の観点から、以下のとおり所見を示しました。

所見

- 1 本事故現場における脱線防止ガードについては、過去に発生した事故の教訓を踏まえて、同種事故の再発防止対策として設置されたものの、本来設置すべき位置と異なる位置に設置していたため、本脱線事故を防止できなかったものと推定される。
したがって、同社においては、鉄道事故調査報告書や保安情報などを十分に活用して、他の事故事例から事故後に講ずべきとされた再発防止対策の趣旨を理解して、自社の安全対策を実施していくことが必要である。
- 2 同社は、軌道管理の方法について、定期検査等の軌道検測結果から軌道変位を把握し、軌道・土木施設実施基準に基づき、これを適切に管理できるように見直しを行い、軌道を良好な状態に維持すべきである。

本事例の調査報告書は当委員会ホームページで公表しております。(平成22年8月27日公表)

<http://jtsb.mlit.go.jp/jtsb/railway/report/RA10-4-1.pdf>

事故防止分析官の

ひとこと

本事故を受けて、国土交通省鉄道局は、平成21年10月29日付けで地方運輸局を通じて、全国の鉄軌道事業者に対する緊急保安情報により、本事故の概要を周知するとともに、脱線防止ガード等の敷設方について点検のうえ、本事故と同様の事案が判明した場合には速やかに改善するよう指導しています。全国の鉄軌道事業者においては、本事故を他山の石として、改めて軌道の保守に万全を期してください。