

曲線の継目付近におけるレール軸力が輪軸の挙動に及ぼす影響について

○ [機] 土井 賢一 飯島 仁 片折 暁伸

[土] 桃崎 秀二 堀岡 健司 (東日本旅客鉄道)

[機] 永瀬 和彦 (金沢工業大学)

The influence of rail axial forces on the behavior of wheelset running over the rail joint

○Ken-ichi Doi, Hitoshi Iijima, Akinobu Kataori,

Shuji Momosaki, Kenji Horioka (East Japan Railway Company)

Kazuhiko Nagase (Kanazawa Institute of Technology)

To study the influence of track conditions on the stability of running wheelsets, principal investigations have been done into such factors as the figure of rail surface and the geometries of tracks. These investigations should also be done into such internal factors as the rail axial force and the tightness of the rail fastener bolt. However, there were few studies which had been done adopting the above mentioned approaches. Experimentation on a main line was done by the authors to investigate the relationships between the behavior of wheelsets and rail geometries. In the course of the experiment, they focused a phenomenon which was presumably caused by the above mentioned internal factors. The results of the experiment were written briefly.

キーワード：鉄道、軌道、レール継目、輪軸、輪重、横圧、脱線係数、アタック角、レール軸力

Key Words : rail joint, wheel load, lateral force, derailment coefficient, attack angle, rail axial force

1. 緒言

軌道の状態が車両に及ぼす影響を論ずる場合、主としてレール踏面の状態及び軌道の形状などの外的因子との関わりが論じられて来た。しかし、この問題については、本来は軌道の内部に介在する諸因子などをも含めての関わりを論ずることが望ましい。しかし、従前そのような分野との関連を含めて論じた研究は多くはない。

筆者らは曲線通過時の車輪の挙動を調べる走行試験を行った際、このような因子との関わりが想定される可能性のある現象を見出した。その現象とは、曲線における輪重、横圧、およびアタック角の挙動を調査するための走行実験の途上で発生したもので、現場は碎石とコンクリート枕木からなる 50N レールを使用した軌道で、整備状態の極めて良好な通常曲線で、所定のカント逓減がなされた出口側緩和曲線部である。当該現場の特定レール継目部付近を中低速で通過する時に限って、輪重・横圧が必ず顕著に変動し、これに併せアタック角も同様に変動する現象が起きた。

以下にその現象について紹介するとともに、かような現象を惹起させる可能性のある因子について、推定をも含め言及させて頂く。

2. 現象が観測された場と実験条件など

2.1 試験条件

2009 年 11 月に、関東地方において通常の線路を使用し試験車両による走行試験を行なった。試験条件は以下の通りである。

(1) 軌道

- 右曲線、半径 400m, カント 104mm, 緩和曲線長 65m, カント逓減倍率 625 倍
- 50N レール、普通継目、左レール内側脱線防止ガード
- PC6 号マクラギ、PC9 改型締結装置
- 碎石道床、道床厚 250mm
- 勾配なし

(2) 車両

- 軽量ステンレス通勤型車両付随車(7両編成中4両目)
- ボルスタレス空気ばね台車(軸はり式)
- 車体長 19.5m, 台車中心間距離 13.3m, 車両質量 22.2t
- 車輪直径 800mm, 固定軸距 2100mm, 修正円弧踏面
- 進行方向先頭軸に PQ 輪軸, アタック角測定装置装着

なおこの実験に使用したアタック角測定装置は, 筆者らが提案した新たな概念に基づく測定装置¹⁾である。アタック角はレールと車輪との接触の場において, 接触の状態を定量評価する際に用いる極めて重要な因子であるにも関わらず, 従前は本線でこれを車上から連続測定するのは困難とされていた。筆者らが提案したこの装置の有用性が, この試験で初めて確認された。

(3) その他の条件

- 試験は日中時間帯, 試験時の天候は晴れ
(東京における当日の平均気温 17.8℃, 平均湿度 67%)
- 速度は 20km/h を目標(結果としては 19km/h であった)

2.2 走行試験での測定結果

試験箇所を走行した際の測定チャートの例を図 1 に示す。走行試験は複数回行なったが, いずれも場合も同様の傾向を示していた。

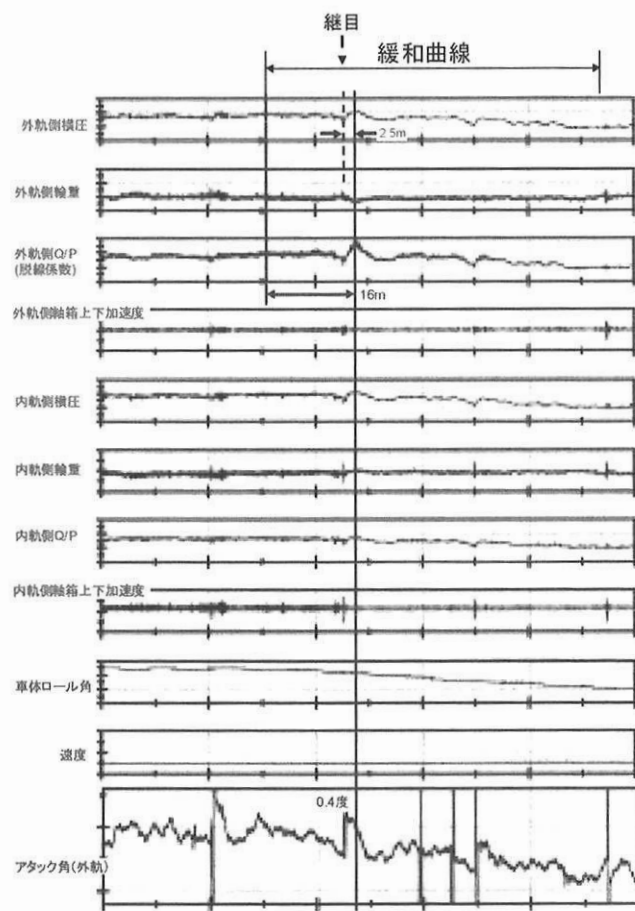


図 1 走行試験時の測定チャート

結果の特徴を下記に列挙する。

- ① 出口側緩和曲線部に入ってから約 16m, 緩和曲線中最初の継目を通して約 2.5m の箇所, 外軌側横圧は極大, 外軌側輪重は極小となり, 結果脱線係数は急激に増大している
- ② 内軌側については横圧は同箇所でも極大となっているが, 輪重も同様に増加しており, 横圧輪重比は外軌ほどの目立った増減はない
- ③ アタック角は当該継目を通過する前後で 0.4 度程度という極めて著大な値で不連続的に増大している
- ④ 横圧, 脱線係数, アタック角は, 継目を通過する 5m 程度手前から, あたかもこの先に継目があるのを予測するかのように減少傾向となり, その後継目を通過した直後に急激に増加傾向に転じる

2.3 軌道変位測定及び現地調査結果

(1) 軌道変位量

試験箇所付近の走行試験前直近の軌道変位測定チャートを図 2 に示す。軌道状態は極めて良好であり, 脱線係数への影響が大きいとされる出口側緩和曲線部の平面性変位についても, 当該継目付近では所定の構造上の変位量とほぼ一致しており, 全く問題はない。

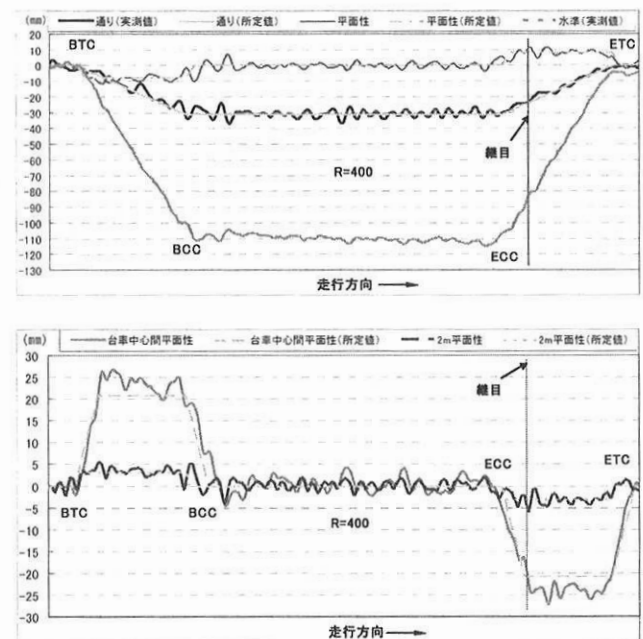


図 2 走行試験箇所の軌道変位測定チャート

(2) 軌道状態観察結果

走行試験終了後, 現地の軌道状態を目視により観察した。写真を図 3 に示す。レール表面や継目板, 締結装置等に目立った損傷はなく, また継目部での角折れや継目落ち等も全く認められなかった。また, レール表面の車輪通過痕についても不自然なずれ等は認められなかった。



図 3 走行試験箇所軌道の外観

(3) 車両の走行状態観察結果

試験車両とほぼ同じ諸元・台車構造の他の車両が当該箇所を通過する際の車輪レール付近の状態を線路外から観察した。静止画像を図 4 に示す。静止画、動画により確認したが、共に不自然な挙動は認められなかった。



図 4 走行試験箇所を通過する台車

3. 現象に対する考察

3.1 出口側緩和曲線部での輪重、横圧、脱線係数の変動について

今回の現象が観測された箇所は、カントのある円曲線部からカント通減の設定されている出口側緩和曲線に入って、ほぼ車両の台車中心間距離に相当する箇所にあるレール継目部であることから、台車中心間距離における軌道の構造的な平面性変位の影響により外軌側輪重の減少が起きると考えられる。また、継目を通過する際に後述するようにアタック角の急激な増大が起きていることから、この影響により横圧が増大し、結果継目を通過してから急激な脱線係数の増大として現れているものと考えられる。なお、このように曲線中で軌道の構造上の条件により車両の輪重、横圧等が変動する現象は、これまでも多く観察されている²⁾。

3.2 レール継目でのアタック角の不連続的な変化について

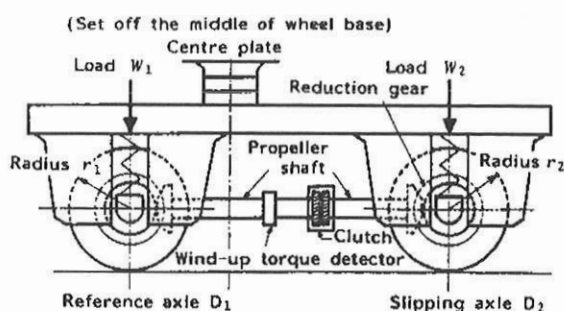
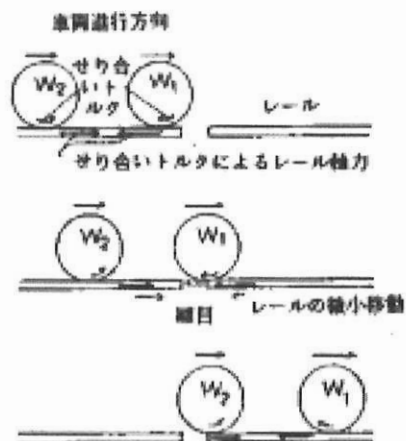
図 1 で特に特徴的に観察される現象は、レール継目を車

輪が通過した瞬間にアタック角が不連続的に約 0.4 度増加している点である。この原因としては、通常想定されるものとして継目部分の角折れが考えられる。しかし 2.3(2) 及び(3)で述べたように、当該継目付近の軌道状態は大変良好でありレール締結等もしっかりしており、車両が通過する際の状況を観察しても軌道不整によると思われる不自然な挙動は全く認められない。しかし、継目から十分離れた地点と比較すれば、継目というレール不連続部の存在が、車両通過時に局所的な軌道変位を生じさせている可能性も依然否定できないと考えられる。

一方、輪軸は台車枠に対して緩衝ゴムにより一定の前後方向支持剛性を持って支持されており、特に曲線通過時には常にレールから前後方向の反力(レール軸力)を受けながら走行している。車両がこのような状態で継目を通過する場合、まず第一軸が継目を通過する瞬間、レール面は継目遊間分だけ面が途切れることから、それまで作用していたレール軸力が瞬時に開放され、これに伴い軸箱支持剛性によって輪軸が急激に向きを変えることによって、結果アタック角の不連続的な変化となって観測されていることが可能性として考えられる。第一軸の継目通過後は、再び次のレールからの軸力を徐々に受け始めながら走行を継続するが、第二軸はまだ継目の手前にあるため、この間で横圧や脱線係数などが通常の曲線通過時とは異なる特殊な挙動となり、次いで第二軸が継目を通過すると、台車全体が次のレールに移って、定常的な曲線通過時の状態に戻ってゆくものと考えられる。

3.3 レール軸力が輪軸の挙動に及ぼす影響について

レール軸力が輪軸に及ぼす影響については、軸力の測定自体が容易ではないこともあって、全くといって差し支えない程に、分かっていない。ところで、この問題に関連して、過去に本線上の粘着係数を連続測定可能な「粘着台車」³⁾を装備した車両を用いた研究が行われている。粘着台車とは、図 5 に示すように、軸重と車輪径の異なる輪軸を強制的に結合し、軸重の軽い輪軸を走行中に絶えず僅かに滑らせることによって、本線上の粘着係数を連続測定するものである。走行中は 2 輪軸の間に常時、強力な「競り合いトルク」が生じ、これらの 2 輪軸の間のレールにも強い軸力が生ずる。この粘着台車を低速で本線走行させた際に、特定のレール継目で粘着係数が瞬時に顕著に変化する現象が観察されており⁴⁾、原因を考察した結果、図 6 に示すように、継目付近におけるレール軸力の変化が関与した可能性が示唆されている。

図5 粘着台車³⁾図6 レール継目通過時のレール・車軸間の力関係⁴⁾

4. 結論

曲線通過時の輪重、横圧、脱線係数及びアタック角を調査する実験を行った際、軌道側に何らの異常が認められない特定の曲線の出口の特定の継目付近を通過する場合に限って、2軸台車第一軸外軌側車輪に定常的に発生する顕著に脱線係数の上昇について、調査と原因の推定とを行った結果、以下のようなことが分かった。

- (1) 現場の脱線係数は、特定継目の5m程度外方から一旦は次第に値が減少した後、継目を通過した直後から急激に値が増大し、同台車第二軸が継目を通過した直後に極大値をとり、その後は次第に定常に復する
- (2) 前記の現象は外軌側の横圧の変動に同期して発生し、外軌側輪重との関連については、その減少に関わる部分は脱線係数の挙動ともほぼ同期しているところから、外軌側横圧の増加が大きくこれに関与し、外軌輪重の減少がこれを助長しているものと推定される
- (3) 前述の現象は内軌側の横圧の変動とも同期して発生していることから、内軌側車輪の横圧もこれを助長している可能性がある。
- (4) 加えて、筆者らが新たに提案した本線でアタック角を連続測定できる装置を用いて得た外軌側車輪のアタック角は、軌道側に角折れ等が全くないにもかかわらず、脱線係数が急激な増加を開始する時点に時を合せて、一挙に約0.4度も増加することが分かった

- (5) 現場における軌道に何らの異常が認められないこと、この場が曲線であるがために内外軌に接する車輪輪径差によって生ずるレール長手方向の強力な力がレール軸力となっている可能性があること、この軸力が継目付近では変動する可能性があることなどを踏まえれば、この実験で見出した現象にレール継目付近のレール軸力が関与している可能性は否定出来ない

研究すべき多くの課題が残されている「レール軸力と輪軸との関係」に関わる問題について、本研究で得た結論は過去の研究で得た知見などを踏まえての推論を示すに留まるものである。ここに示した推論を、レールと車輪とが接触する場で検証することは、今後の研究課題である。

本研究の実施の過程では、JR 東日本千葉支社及び郡山総合車両センター関係各位の多大のご協力を賜った。関係各位に深謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 片折, 土井, 飯島, 桃崎, 堀岡: のり上がり脱線の根絶を目指して—第2報—アタック角連続測定装置の開発と測定結果, 第17回鉄道技術連合シンポジウム(J-Rail2010)講演論文集, pp. 621-624, 2010.
- 2) 例えば, 東日本旅客鉄道株式会社東北線尾久駅構内列車脱線事故 鉄道事故調査報告書, 運輸安全委員会, 2008.
- 3) 永瀬, 中村, 小林: 気象がレール・車輪間の粘着に及ぼす影響(すべり粘着台車で得た日光線における粘着の実態), 日本機械学会論文集 C 編 Vol.56, No. 523, pp797-802, 1990.
- 4) 永瀬, 野田, 金澤, 山根: レール・車輪間の粘着に関する実態調査の研究(第2報)—構内線上における粘着変化の状況—, 第22回鉄道におけるサイバネティックスシンポジウム講演論文集, pp196-200, 1985.