

- 鉄道一般
- 車両
- 軌道
- 構造物
- 防災
- 電力
- 信号通信情報
- 材料
- 環境
- 人間科学
- 浮上式鉄道

レール頭頂面の新しい形状を探る

近年の新幹線車両では、車輪形状に円弧踏面が採用されています。一方、レールには開業当初の車輪形状である円すい踏面を考慮して頭頂面形状が設計された50kgTレールと頭頂面形状が同じ60kgレールが使用されています。つまり、現在はレールの設計時と異なる条件で車両が走行していることとなります。そこで、営業線でのレールや車輪形状の実態調査結果に基づいて、新たなレール頭頂面形状を提案しましたので、その内容について紹介します。



清水 惇
Atsushi Shimizu
軌道技術研究部
軌道管理研究室
研究員
【専門分野】 列車動揺管理、乗り心地・走行安全性の評価



飯田 忠史
Tadanobu Iida
車両構造技術研究部
車両運動研究室
副主任研究員
【専門分野】 車両運動

はじめに

1964年10月に初めての新幹線路線である東海道新幹線が開業してから50年を迎えました。この開業時の車輪形状には、新幹線円すい踏面(図1(a))が用いられ、レールはこの円すい踏面形状を考慮して設計された50kgTレールが敷設されていました。その後、車輪の形状は、円すい踏面から円弧踏面(図1(b))へと変更され、一方レールは50kgTレールから60kgレールへと変更されて、現在に至っています。この60kgレールは、50kgTレールと頭頂面形状が同じであり(図2)、現在はレールの設計時と異なる条件で車両が走行していることとなります。そのため、今後の新幹線車両のさらなる高速化に対応した走行安定性(蛇行動安定性)の向上のためには、円弧踏面形状を考慮した新たなレール頭頂面形状の検討を行う必要が

あると考えられます。

そこで、走行安定性の評価指標として等価踏面勾配(☞参照)に着目し、営業線に敷設されたレール頭頂面形状や車輪形状の実態調査を行った上で、走行安定性の高い、より適切と考えられる新たなレール頭頂面形状を提案しました¹⁾。

等価踏面勾配

鉄道車両の車輪は、自動車のように平らな路面上を自由に運動するのではなく、2本のレールに拘束され、しかも、左右の車輪が剛に結合されています。そのため車輪には、フランジ部分から外縁に向かって勾配がつけられており、直線では常に左右の車輪が中心に戻るように運動し、曲線では輪軸が外側に寄ることによって左右の車輪の回転半径の差ができ、スムーズに通過することができます。

☞ 等価踏面勾配と蛇行動安定性

等価踏面勾配は、あるしきい値が決められているものではなく、鉄道車両の走行安定性の相対評価のために用いられる指標で、例えば同一車両で比較し、小さいほど走行安定性が高いと評価できます。また、高速走行時に車体や台車が左右に揺れる蛇行動に対する安定性も高いと言えます。

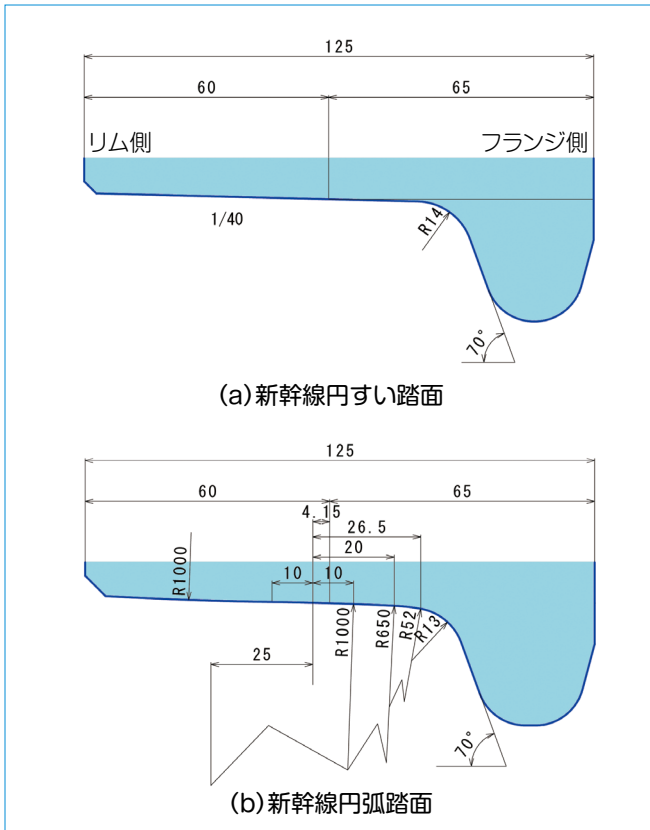


図1 車輪形状

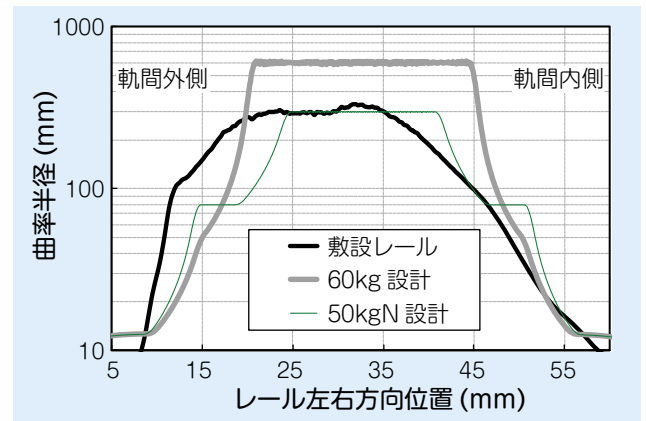


図3 レール頭部曲率半径(累積通過トン数5.3億トン)

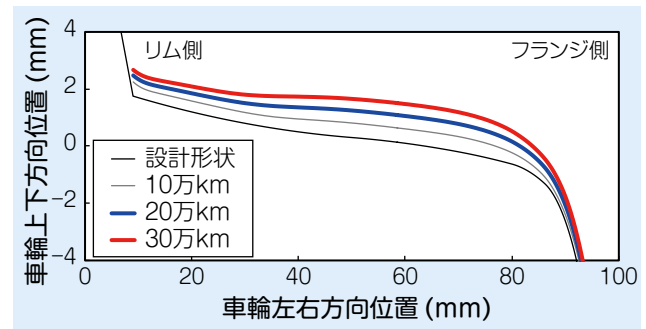


図4 車種Aの踏面摩耗形状(踏面部拡大)

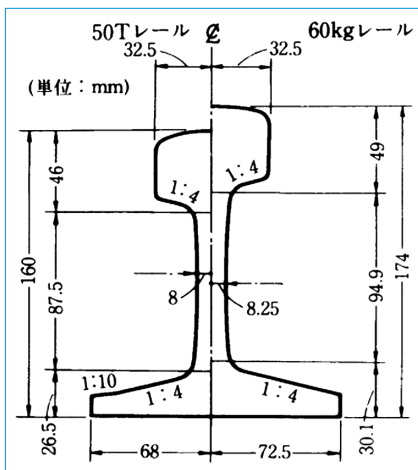


図2 50kgTレールと60kgレール形状²⁾

ここで、左右車輪の回転半径の差は車輪の踏面形状やレール断面形状で異なります。この回転半径の差の変化率のことを、踏面勾配と呼びます。例えば円筒踏面の場合は、踏面の勾配がないため、踏面勾配は0で一定となります。車輪形状、レール形状ともいくつかの曲率の円弧の組み合わせで構成されている場合(例えば、円すい踏面や

円弧踏面と60kgレールの組み合わせ)には、踏面勾配はレールと車輪の接触位置により変化します。今回、走行安定性の評価のために用いる等価踏面勾配 γ_e は、この複雑に変化する踏面勾配を、ある一定値で近似したものとなります。

レール・車輪形状の実態調査

(1) レール形状

新幹線の本線において、レール断面形状計測器 (Miniprof) を用いてレール頭部形状を測定しました。測定位置は直線区間における左右レールで、溶接の影響を受けない箇所とし、レール頭部形状および曲率半径を算出しました。

累積通過トン数が5.3億トンの箇所におけるレール頭部の曲率半径を図3に示します。同図には60kgレール、50kgNレールの設計曲率半径を合わせて示しています。この図より

60kgレール頭部の設計曲率半径は600mmですが、敷設レール頭部の曲率半径はこれよりも小さく、平均すると300mm前後であり、50kgNレールの設計値に近いことがわかります。また、累積通過トン数が小さいと、頭部の曲率半径は他区間と比較して大きい傾向がみられましたが、設計値よりは小さくなっており、この傾向には線区、上下線および左右レールで差異はありませんでした。

(2) 車輪形状

新幹線車両の車輪踏面の摩耗状況を把握するために、設計踏面形状の異なる2車種について、車輪転削周期(車種Aは30万km、車種Bは20万km)を上限として、数段階の走行距離の車輪踏面形状を測定しました。このデータをもとに各走行距離における車輪踏面形状を車輪摩耗形状推定ツール³⁾によって算出しました。

図4に、車種Aにおける車輪踏面部

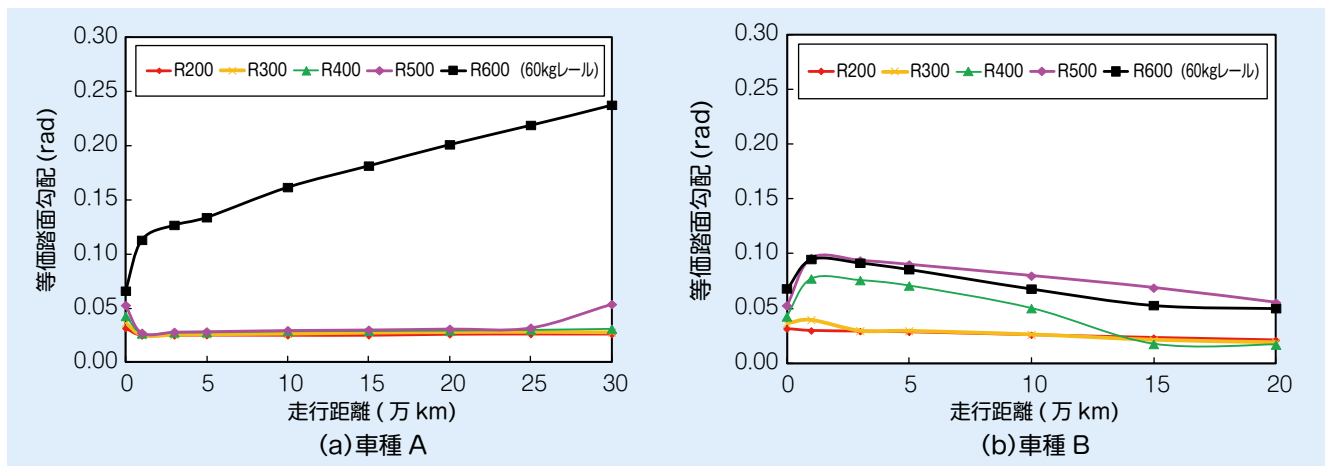


図5 頭頂面曲率半径、車輪走行距離と等価踏面勾配の関係

分の摩耗形状を示します。この図より、踏面部の摩耗は均一に進むわけではなく、車輪バック面からの距離が60～90mmの範囲で大きくなっていることがわかります。なお、車種Bは、車種Aよりも摩耗量が少ないことがわかりました。

新レール頭頂面形状の設計

新レール頭頂面形状（以下、「新断面」）の設計に際し、レール頭頂面の曲率半径を任意に指定できるレール断面形状作成プログラムを用い、候補断面を作成しました。営業線に敷設され摩耗したレールでは60kgレールの設計形状よりもレール頭頂面の曲率半径が小さくなっていることを考慮し、曲率半径を60kgレールの設計値（ $R = 600\text{mm}$ ）から徐々に小さくし、候補断面を作成しました。そして、各々の候補断面に対し、走行距離別の車輪摩耗形状を組み合わせ、等価踏面勾配を算出しました。新断面の検討には、60kgレールと新幹線円弧踏面の組み合わせを基準とし、候補断面を変化させて相対評価を行いました。

候補断面と車種別の車輪との等価踏面勾配を図5に示します。

車種Aでは、60kgレールの場合の

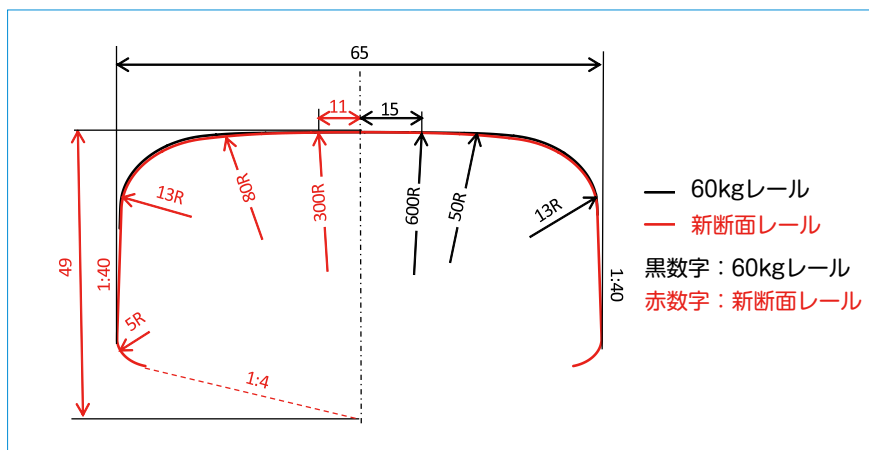


図6 新断面レールと60kgレールの頭頂面形状の比較

み、走行距離とともに等価踏面勾配が大きくなっていることがわかります。また、車種Bでは、 $R = 400\text{mm}$ 以上の断面で等価踏面勾配が大きいことがわかります。ただし、車種A+60kgレールの組み合わせと異なり、走行距離に伴って大きくなる傾向は見られません。どちらの車種でも、曲率半径が200mmと300mmでの断面ではほぼ同様の結果であり、走行距離の増加に伴う等価踏面勾配の変動は少ないことがわかります。そこで、曲率半径を300mm以下として候補断面をいくつか追加し、同様に等価踏面勾配を求めた結果、300mm以下の領域では等価踏面勾配の差は小さいことがわかりま

した。

以上の検討結果より、等価踏面勾配を小さくし、走行安定性を向上させるためには、レール頭頂面曲率半径を300mm以下とすることが望ましいと考えられます。さらに300mm以下の領域では車輪の摩耗による等価踏面勾配の変化が少なく、現在敷設されている60kgレールの摩耗形状の曲率半径が $R = 300\text{mm}$ 付近まで小さくなっていることや、在来線への適用を勧奨すると、新たなレール頭頂面形状は図6に示すとおり、 $R = 300\text{mm}$ の頭頂面曲率半径を持つ50kgNレールと同等としても差し支えないと考え、これを新断面レールとしました。

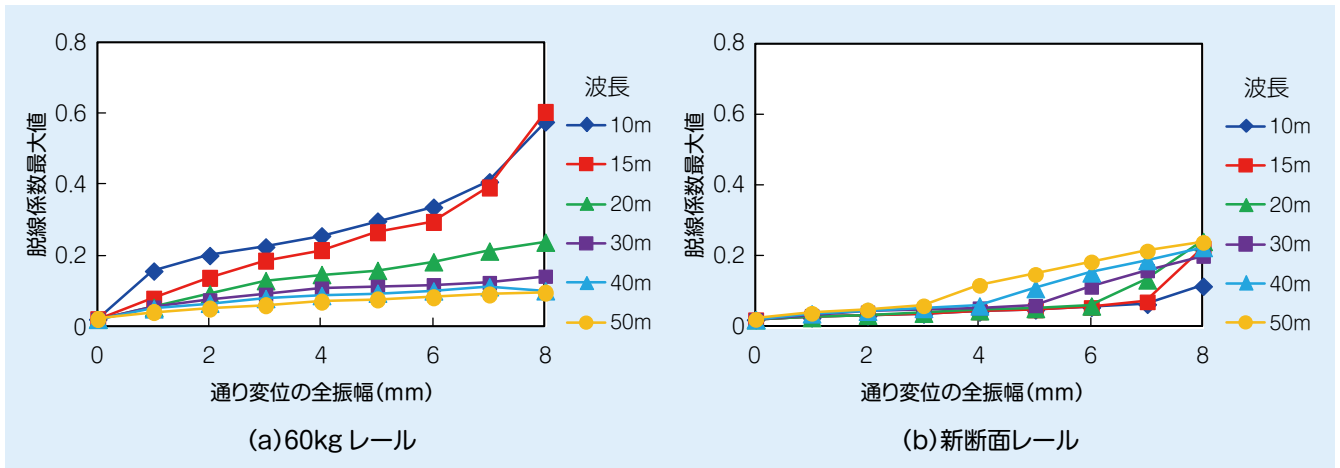


図7 軌道変位の振幅、波長と脱線係数最大値の関係 (摩耗形状車輪)

走行安全性の評価

ここまでは、高速域における走行安定性について検討し、高い走行安定性を持った新たなレール頭頂面形状を設計しました。しかし、鉄道車両に求められる性能は、走行安定性だけでなく、脱線に対する走行安全性も必要です。そこで、この新断面レールを用いた時の走行安全性を検討するために、1車両モデルの時刻歴シミュレーション⁴⁾を行いました。車両は車種Aをモデルとし、軌道変位(通り変位)がある直線区間を走行した際の脱線係数(☞参照)と、軌道変位のない曲線を走行した際の脱線係数を求めました。通り変位については、正弦波3波とし、振幅および波長を変化させました。

速度320km/h、直線区間の条件における軌道変位と脱線係数最大値の関

☞ 脱線係数

車輪とレール間に作用する力の上下方向(P:輪重)と左右方向(Q:横圧)の比で、Q/Pで表されます。脱線に対する安全性を確認するために最も重要な項目の一つです。0.8を目安値(超えてはならない値)として採用されることが多いですが、車輪のフランジ角度や輪重、横圧が作用している時間により、その目安値は変化します。

表1 曲線通過時の脱線係数

車輪	レール	速度	
		275km/h	320km/h
設計形状	60kg	0.10	0.14
	新断面	0.09	0.16
摩耗形状 (30万km推定)	60kg	0.07	0.15
	新断面	0.09	0.16

係を図7に示します。

この図より、通り変位の波長が30mよりも短いと、新断面レールの方が脱線係数が小さいことがわかります。一方、波長40mや50mの場合の脱線係数は新断面レールの方が僅かに大きいですが、波長の違いによる脱線係数の差は少なく、長い波長での脱線係数は最大で0.24であり、走行安全性に問題はないと判断できます。

次に、曲線半径4000m、カント155mmの軌道変位の無い曲線での条件における、外軌側脱線係数を表1に示します。この表より、両レール間において脱線係数に顕著な差がないことから、新幹線の高速走行区間においては、60kgレールと新断面レールでは、曲線通過性能の差は極めて小さいと考えられます。

おわりに

新幹線の高速域における走行安定性向上のため、車輪の円弧踏面形状を考慮した新たなレール頭頂面形状を提案しました。

今後は提案したレール頭頂面形状の普及に伴う影響評価など、引き続き取り組んでいく予定です。RRR

文献

- 1) 清水惇, 他: 60kgレール頭頂面の形状変更が車両走行特性に及ぼす影響評価, 鉄道総研報告, Vol.28, No.6, pp.29-34, 2014
- 2) 天野光三, 他: 第2版 図説 鉄道工学, 丸善, 2001
- 3) 芳賀昭弘: 鉄道車両用車輪の摩耗傾向と寿命予測, 日本機械学会誌, Vol.113, No.1094, 2010
- 4) 佐藤栄作: 鉄道車両用操舵機構付き独立車輪台車の運動力学に関する研究, 鉄道総研報告 特別号, No.37, 2000