

# 60kg レール頭頂面の形状変更が走行特性に及ぼす影響の評価

軌道技術研究部 軌道管理研究室

研究員 清水 惇

## 1. はじめに

1964年に東海道新幹線が開業し、まもなく50年が過ぎようとしている。開業当初、新幹線の車輪形状は円錐踏面が用いられていたのに対し、近年の車両では円弧踏面が採用されている。一方、レールについては、円錐踏面形状を考慮して頭頂面形状が設計された50kgTレール<sup>(1)</sup>が敷設され、その後、50kgTレールと頭頂面形状が同じ60kgレール<sup>(2)</sup>に重軌条化され、現在に至っている。すなわち、現在はレールの設計時と異なる条件で車両が走行しており、今後の高速化に伴う走行安定性や安全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る。

そこで、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、走行安定性や安全性の観点から、より適切と考えられる新たなレール頭頂面形状を検討し、提案した。本稿では、これらの調査結果と検討結果について発表する。

## 2. レール・車輪形状の実態調査

### 2.1 レール形状の実態調査

新幹線の本線上において、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た。測定位置は直線区間における左右レールで、50mレールの中心とその前後10m間隔の3断面とし、レール頭部形状および曲率半径を算出した。

累積5.3億トンの箇所におけるレールの断面形状および頭部の曲率半径を図1に示す。同図には60kgレールの設計断面、および60kgレール、50kgNレールの設計曲率半径を合わせて示す。60kgレール頭部の設計曲率半径は600mmであるが、摩耗レール頭部の曲率半径は設計断面より小さくなっており、平均すると300mm前後で、50kgNレールの設計値に近いことがわかる。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たが、設計断面よりは小さくなっており、この傾向は線区、上下線および左右レールで差異はなかった。

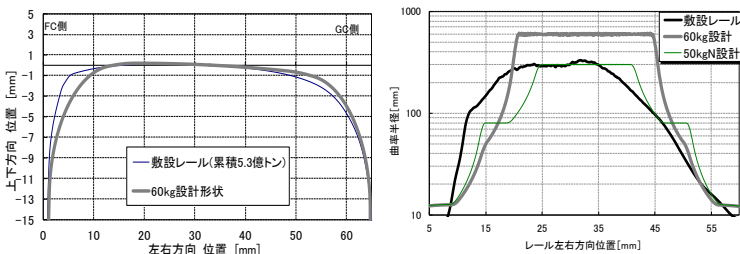


図1 レール頭部断面形状と曲率半径

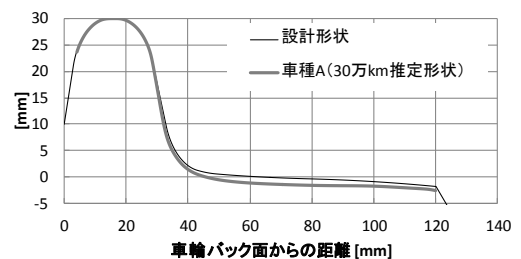


図2 推定車輪形状(車種A)

### 2.2 車輪形状の実態調査

新幹線車両の車輪踏面の摩耗状況を把握するために、車輪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<sup>(3)</sup>によって算出した。

図 2 に、車種 A における転削周期に達した時の車輪踏面形状を設計形状と併せて示す。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 60~80mm 部分の踏面部の摩耗量が多いことがわかる。なお、車種 B は、車種 A よりも摩耗量が少なかった。

### 2. 3 等価踏面こう配と走行安定性

車輪の摩耗が走行安定性に与える影響は、等価踏面こう配によって評価した。等価踏面こう配  $\gamma_e$  は、車輪の踏面こう配とレール頭頂面の曲率によって生じる幾何学的な接触こう配を、線形定数で近似したものである。具体的には、まず式 (1)、(2) の連立 1 次微分方程式より、すべりが無い場合の輪軸単体に左右方向の初期変位を与えてレール上を転がしたときの応答を逐次計算する。次に、得られた輪軸左右変位の応答から 1 軸蛇行動波長  $S_1$  を算出し、式 (3) へ代入して  $\gamma_e$  を求める。算出に用いた各記号の説明を図 3 に示す。

$$dy_w / dt = v \cdot \phi_w \quad (1)$$

$$d\phi_w / dt = \frac{(r_L - r_R)}{r_0} \cdot \frac{v}{2b} \quad (2)$$

$$\gamma_e = 4\pi^2 \cdot \frac{br_0}{S_1^2} \quad (3)$$

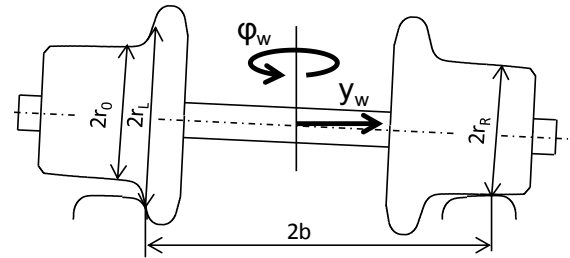


図 3 記号の説明  
 $y_w$ : 輪軸左右変位,  $\phi_w$ : 輪軸ヨー角度  
 $v$ : 走行速度  
 $r_L, r_R$ : 左右車輪のレール接触位置における半径  
 $r_0$ : 中立位置における半径  
 $b$ : 車輪接触点間隔/2

図 3 記号の説明

等価踏面こう配は、同一車両の場合は小さいほど走行安定性が高いと評価できる。しかし、評価にしきい値はなく、あくまで相対評価のために用いられる指標である。一方で、ヨーロッパの TSI<sup>(4)</sup> (Technical Specification for Interoperability, 相互直通運転を実現するための技術的な仕様) では、高速鉄道車両に対し具体的な数値が定められている。表 1 に高速別線(HSR)での 1~3 級線の一般区間における等価踏面こう配の、設計上の限度値を示す。今後、新幹線の海外展開等を考えると、日本においても等価踏面こう配の管理値を定めることが望ましいと考えられる。

表 1 速度と等価踏面こう配限度値 (TSI)

速度 $V$ [km/h]	等価踏面こう配限度値
$V \leq 160$	設定なし
$160 < V \leq 200$	0.20
$200 < V \leq 230$	0.20
$230 < V \leq 250$	0.20
$250 < V \leq 280$	0.20
$280 < V \leq 300$	0.10
$V > 300$	0.10

図 4 に推定した摩耗車輪と 60kg レール設計形状の組み合わせにおいて算出した等価踏面こう配を示す。ここでは、1 輪軸のシミュレーションによって蛇行動波長を求めて、等価踏面こう配を算出した。

踏面部の摩耗量が大きかった車種 A では転削からの走行距離の増加に伴い、等価踏面こう配が大きくなることわかる。

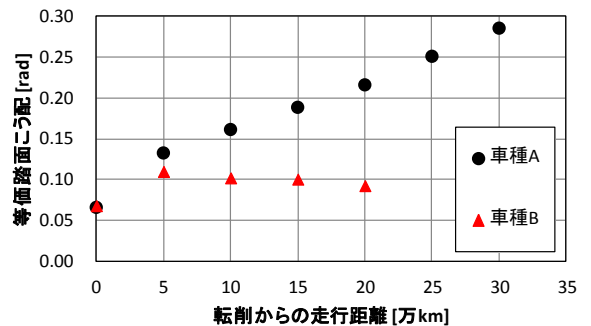


図 4 等価踏面こう配の算出結果

### 3. 新レール頭頂面形状の検討

#### 3. 1 新レール頭頂面形状の設計と走行安定性の検討

新レール頭頂面形状（以下、「新断面」という）の設計に際し、任意の曲率半径を指定できるレール断面形状作成プログラムを試作し、候補断面を作成した。ここでは、2.1 節で示したように、敷設されているレールでは 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、頭頂面半径を 60kg レールの値（600mm）から徐々に小さくし、候補断面を作成した。そして、各々の候補断面に対し、2.2 節での車輪断面形状の結果より推定した走行距離別の車輪摩耗形状を組み合わせ、等価踏面こう配を算出した。新断面の検討には、60kg レールと新幹線円弧踏面の組合せを基準とし、候補断面を変化させて相対評価を行った。

候補断面と車種別の車輪との等価踏面こう配を図 5 に示す。なお、候補断面は、GC 部の R=13mm 形状は共通とし、頭頂面中央の曲率半径とその幅、R=13mm までの接続部の曲率半径を変化させて作成した。

車種 A において、60kg レールで等価踏面こう配が大きくなっている。車種 B では車種 A と 60kg レールの等価踏面こう配の変化が異なるが、R=400mm 以上の断面で等価踏面こう配が大きくなっていることがわかる。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こう配の変動は少ない。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、同様に等価踏面こう配を求めた結果、等価踏面こう配の差は小さく、400mm や 500mm で見られた等価踏面こう配の変動も微少であった。

以上の検討結果より、等価踏面こう配を小さくし、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る。更に 300mm 以下の領域では等価踏面こう配の差が少なく、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=300mm 付近まで小さくなっていることや、在来線への適用を勘案すると、新たなレール頭頂面形状は R=300mm の頭頂面曲率半径を持つ 50kgN レールと同等とすることが適切であると考えられることから、これを新断面とした。

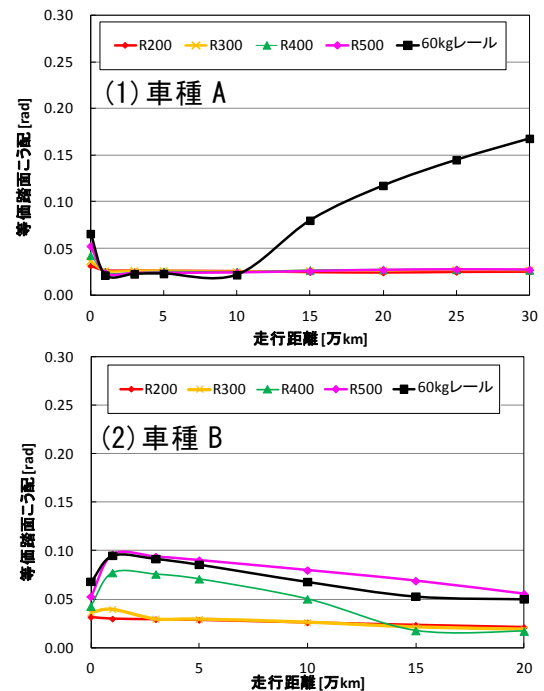


図 5 候補断面と等価踏面こう配

#### 3. 2 走行安全性の検討

新断面を用いた時の走行安全性を検討するために、1 両モデルの時刻歴シミュレーション<sup>(5)</sup>を行った。車両は車種 A の M 車をモデルとし、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と、軌道変位のない曲線を走行した際の脱線係数を求めた。

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係を図 6、図 7 に示す。

60kg レールでは通り変位の波長が 10m と 15m の場合、その振幅が 6mm を超えると脱線係数がほかの波長のときよりも大きく、この傾向は摩耗形状車輪の方が大きい。一方、新断面レールでは波長 10m や 15m の場合の脱線係数は 60 kg レールの場合より小さいが、波長 40m や 50m の

場合では脱線係数は 60kg レールより僅かに大きい。しかし、この条件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。

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 2 に示す。

この表より、脱線係数に顕著な差が認められないことから、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る。

表 2 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	0.1	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

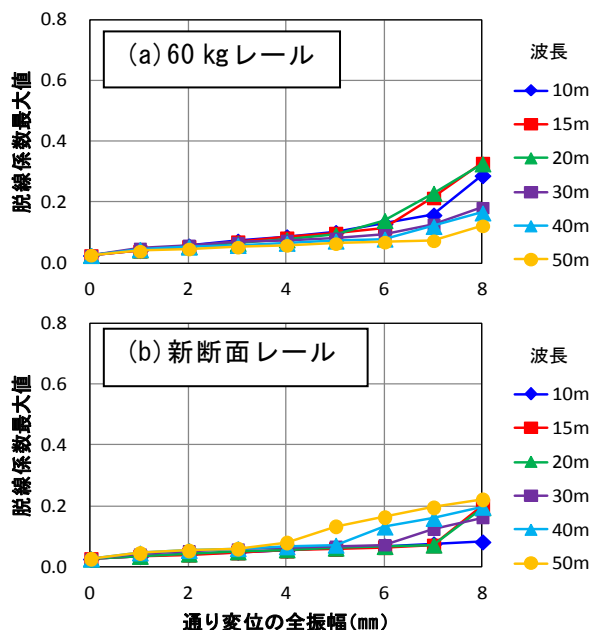


図 6 軌道変位と脱線係数最大値の関係  
(設計形状車輪)

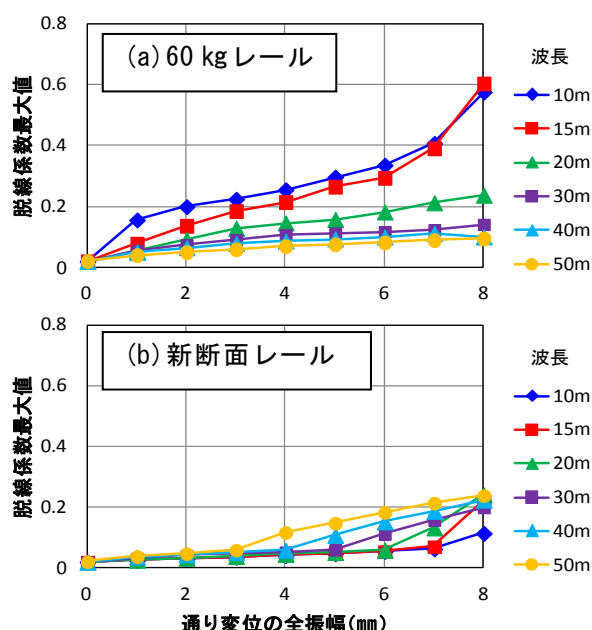


図 7 軌道変位と脱線係数最大値の関係  
(摩耗形状車輪)

#### 4. おわりに

レール・車輪形状の実態調査を行い、その結果をもとに、新幹線円弧踏面に対して 60kg レールよりも走行安定性の高い、新たなレール頭頂面形状を設計した。設計した形状は、R=300mm の頭頂面曲率半径を持つ 50kgN レールと同等とした。この形状では、車輪が摩耗している場合においても等価踏面こう配がほぼ一定であり、走行安定性が高いことがわかった。また、この新レール頭頂面形状において、走行シミュレーションを実施したところ、直線区間における軌道変位に対する走行特性や、曲線通過性能はともに 60kg レールとの違いは小さく、頭頂面形状の変更に伴う走行安全性への影響は確認されなかった。

#### 参考文献

- 1) 佐々木直樹：新断面レールの設計，鉄道技術研究報告 No.201，1961
- 2) 渡邊偕年，杉山享：60Kg レールと継目板の設計，鉄道技術研究所速報 No.68-163，1968
- 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) 2008/217/EC：Commission Decision of 20 December 2007 concerning a technical specification for interoperability relating to the infrastructure sub-system of the trans-European high-speed rail system，2008.3.
- 5) 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，2000