

### 第1回

# レールの断面形状と材質

#### レールの成立と初期の歴史

列車の安全な走行を支えているレールは、その初期段階に欧州やアメリカにおいて様々な変遷をたどっています。

17世紀頃より木製の角材をまくらぎ上に取り付けてその上を荷馬車が運行するようになりました。18世紀後半には走行面の減耗を防ぐために、鑄鉄製の板を角材の上に固定する方式が考えられましたが、板の端部がめくれ上がり、車両を破損するという欠点がありました。

そこで、L形の鑄鉄材を土台上に取り付け、その上を車輪が走るようにした形式が考えられました(図1)。これが現在のレールの原型と言えます。

1789年に、図2に示すような、中央部が膨らんだ形状の鑄鉄製レールが考案されました。これはエッジレール、もしくはその形から魚腹レールと呼ばれており、スチーブソン(Stephenson)が発明した蒸気機関車が走ったときにも用いられました。

初期のレールの材質は鑄物でしたが、1784年より「パドル法」という製法により製造された錬鉄を用いたレールが

登場します。錬鉄は炭素量を減らして鑄物の脆さを改善したものです。さらに1820年にはイギリスのバーケンショウ(Birckenshaw)により、錬鉄を圧延したレールが初めて製造されました。これには現在のレールのような底部フランジがなく、チェアという鑄鉄製支持台に固定するようになっていました。

1837年には、ロック(Locke)により双頭レールが考案されました。図3に示すように、チェアとくさびによりまくらぎに固定する方式で、頭部と底部の形を同じとし、頭部が減ってきたときに上下を逆さにして再度使用できるように考えられました。

しかし、実際には使用に伴いチェアと底部の接触箇所の損耗があり、逆さにした場合に円滑な走行面が得られないため、当初の構想のとおりとはならなかったようです。そこで、1844年には底部が頭部よりやや小さい牛頭レールが考案されました。

一方、1831年にアメリカのスチーブンス(Stevens)が錬鉄のT形レールを設計しましたが、これは現在の平底レールの原型ともいえます。1836年にはイギリスのビニョル(Vignoles)が図4に示すような背の低い平底レールを考案しています。これが欧州のレールの原型となっており、現



図1 L形レール

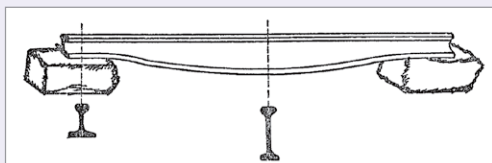


図2 魚腹レール  
出典：加藤八州夫「レール」

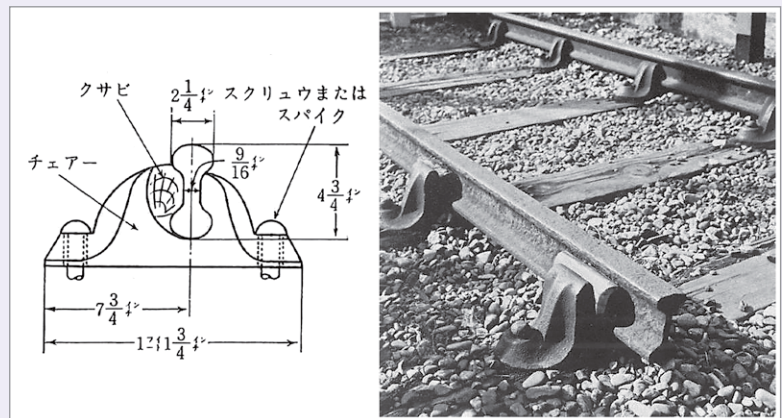


図3 双頭レール  
出典：日本国有鉄道「日本国有鉄道百年史 第2巻」

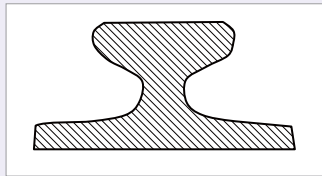


図4 ビニョールレール



図6 レール断面の変遷



図5 C.B.ビニョール

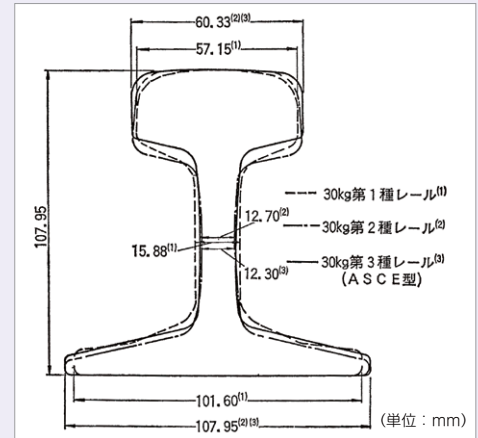


図7 30kgレール  
出典：加藤八州夫「レール」

在でも欧州ではビニョールレール (Vignoles Rail) という言葉が平底レールの一般的名称として用いられています。

それ以外にも様々なレール断面が考案されましたが19世紀後半には頭部の摩耗やまくらぎへの締結を考慮した現在のような平底レールが主流となっていきました(図6)。

一方、材質面からは、錬鉄は靱性がありますが摩耗進みが速く、強度も低いものでした。1855年にイギリスのベッセマー (Bessemer) が酸性転炉製鋼法(ベッセマー法)という製鋼法を発明し、レールに適用しました。ここで現在につながる鋼製のレールが誕生したことになります。

それ以後、トーマス (Thomas) による塩基性転炉製鋼法、シーメンズ (Siemens) による塩基性平炉製鋼法など、製鋼法の進歩とともに、レールの品質も向上していきます。

### 〔 導入から50kgPSレールまで 〕

日本においては、1872年に新橋-横浜間が開通した当初、イギリスからの技術導入に伴い錬鉄の双頭レールが用いられました。当時のレールの重さは29.8kg/m、長さは7.315mでした。ただし、橋梁で縦まくらぎを用いていた区間では平底レール、側線では逆U字型の形状を有する安価なU型レールが使用されていました。

1878年~1880年の大津-京都間の敷設に際しては鋼製の双頭レールが導入されましたが、それ以降は鋼製の平底レールが用いられるようになりました。

最初に標準化された鋼製平底レールの30kgレール(第1種)は、イギリスのバロースチール社 (Barrow Steel) の製品が導入されたものです。1897年には、頭部の断面積を増加し、底部幅を増加した30kg(第2種)が用いられました。

ここまでは輸入されたレールを用いていましたが、1901年には、官営の八幡製鉄所が操業を開始し、国内においても第2種30kgレールの製造が開始されました。

一方で、アメリカ土木学会 (ASCE) で定められた断面を日本においても採用することになり、これを1906年に第3種30kgレールと呼ぶこととしました(図7)。

その後、輸送量の増大に伴い1906年にASCEの37kgレール (75lb/yd) が採用され、1910年にそれまで様々な形状が用いられていたのをこの37kgレールと第3種30kgレールに統一しました。ちなみに、これらのレールは高さと同部幅が同じとなっています。

そして更なる輸送量の増大に伴い断面の大きいレールのニーズが高まり、1922年にアメリカのペンシルバニア鉄道規格の50kgレール (100lbPS型レール) が敷設されました。これは50kg第1種甲レールと呼ばれます。その後、アメリカ鉄道技術協会 (AREA) 制定の50kg第2種甲レールの敷設などを経て、1928年に50kgPS型のレールが敷設されました。これは50kg第3種甲レールと呼ばれ、この断面は50kgNレールが開発されるまで30、37kgとともに標準的に用いられました。

なお、50kgPSレールは長さ12mでしたが、車両運動とレール長の関係が検討され、1933年に50kgPSと37kgレールは25m、30kgレールは20mと定められました。

### 〔 Nレールと60kgレール 〕

新幹線建設の時期に、それまでの経験を踏まえて日本独自の新断面のレールが考案され、1961年に在来線用として40kgNレール、50kgNレールが、新幹線用として

50kgTレールと呼ばれるレールが制定されました(図8)。

40kgN, 50kgNレールの特徴を次に挙げます。

- ① 底部幅に対する高さの比率を大きくし、鉛直方向の力に対する曲げ剛性を大きくした。
- ② 頭部高さを大きくし、摩耗度を大きくした。
- ③ 頭部幅を狭くし、偏心荷重による上首部の応力集中を低減した。
- ④ 上下首部の曲率半径を大きくし、応力集中を低減した。
- ⑤ 継目板取り付け時のレール腹部の応力を低下させるために頭部あご下と底部上面の勾配を大きくした。

その他にも頭頂面の曲率半径、継目穴の位置や大きさなどが考慮されており、一つの断面の中にも、様々な配慮がなされていることがわかります。特に、当時の在来線ではレール継目部における損傷が多く、その防止を意識した設計となっています。

一方、東海道新幹線用に設計された50kgTレールでは、ヘッドフリーと呼ばれる継目板頭部とレールあご下隅角部が密着する形式が採用され、上首部の曲率半径がさらに大きくなっています。また、頭頂面の曲率半径を600mm(Nレールでは300mm)にする、レールの安定性を増加させ小返りを抑えるために全高/底部幅の比を小さくする、といった変更がなされています。

その後、輸送量の増加に対してバラスト軌道の保守を減らし、また車輪フランジ高さの増加に対応できるように、1967年に新幹線において現在使用されている60kgレールが制定されました(図8)。頭部幅や頭頂面は50kgTと同じとし、全高を大きくして曲げ剛性の増加を図っています。これらのレールの導入により、50kgPSレールや50kgTレールはJISから削除されました。

ただし、その後に、在来線においても保守量削減のために

60kgレールが導入されるようになったため、線区によっては異なる頭頂面を有するレールが混在することとなりました。

## レールの製造と材質

ここまでは、主にレールの断面の歴史をみてきました。同時に、重要なのがレールの材質です。

1959年にまとめられたレールの損傷形態をみますと、シャッターき裂や偏析欠陥のようなレールの製造時の欠陥に起因する折損が全体の2割近くを占めています。現在では営業線におけるレールの折損は非常に少なく、レール母材の損傷の原因は腐食や車輪・レール間の転がり接触に起因するものなど、ほぼ後天的な理由によるものです。

レールは大まかに製鋼→鑄造→圧延という流れで製造されます。製鋼は1章でも若干触れましたが、変遷を経て現在は純酸素転炉製鋼法(LD法)という方法で行われています。

鑄造については、かつては溶鋼を鑄型に流し込んで鑄塊(インゴット)として凝固させた後、分塊圧延という工程を経てブルームという鑄片に仕上げた後、圧延によりレール形状に成形していました。しかし、材質欠陥や偏析を完全に除去することが難しく、これが上に述べたような損傷につながっていました。1975年より、溶鋼から直接ブルームに鑄込む連続鑄造法が導入され、高速かつ欠陥を生じにくい手法としてレールの品質向上に大いに寄与しました。

レールの圧延は、カリバー法やユニバーサル圧延法(上下および水平の4個のロールを用いて成形するようにしたもの)が用いられています(図9)。

材質面からみますと、30kg, 37kg, 50kgPSレールは当初は塩基性平炉製鋼による中炭素鋼でしたが、1949年に車輪鋼と同じ高炭素鋼に変更されました。

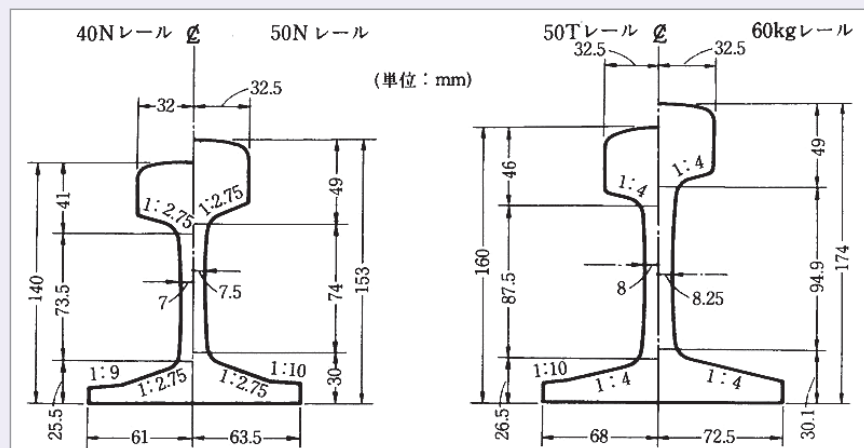


図8 日本のレール  
出典：天野光三他「第2版 図説 鉄道工学」



図9 レール圧延  
出典：新日本製鐵株式会社パンフレット

普通レール以外では、過去に様々なレール材質が試みられています。1911年に37kgケイ素鋼レールが、1928年にマンガン鋼レール、銅を含有した耐腐食のためのレールが敷設されています。頭部を焼入れ、焼戻しした熱処理レールは1932年に初めて敷設され、火炎焼入れや高周波焼入れにより製造されていくことになり、1963年にJIS化されました。また、レール継目部ではレール端部が列車通過時に叩かれて変形し、さらなる衝撃の増加につながっていくため、これを抑制するための端頭部熱処理レールが1967年にJRS(旧国鉄の規格)に定められました。

熱処理レールは焼戻しマルテンサイト組織を有するHHレールが当初用いられていました。1986年に微細パーライト組織を有し耐摩耗性に優れたNHHレールが開発され、1994年には圧延後の保有熱を用いて空気により急冷し、頭部の深い位置まで硬さを維持する頭部全断面熱処理レールが開発されました。これが現在のJISで定められているHH340、HH370レールであり、摩耗進みの速い急曲線に主に用いられています。

1978年には耐シェリング用レールとして4種類の合金鋼レールが試験敷設されましたが、有効な結果を得ることができませんでした。また、1986年には塩害腐食環境下の耐食性を期待した合金鋼レールが青函トンネルに敷設されています。

近年では、耐シェリングレールとして強度を確保しつつ、適度に摩耗させるコンセプトに基づいたベイナイトレールが提案され、敷設が拡大しています。

また、最近ではレールメーカーにより、海外の軸重250kNを超えるような貨物鉄道を中心とする重輸送鉄道(一般的にHeavy Haul Railwayと呼ばれる)に対し、より耐摩耗性に優れたレールも開発されており、選択肢が広がっています。これらについては材料の特性を良く見極め、使用条件に適したものを選定していくことが大事です。

ここではレール母材に焦点を絞って紹介しましたが、現在のレールの高品質化にはレール溶接技術の発展も大きく貢献しています。日本が独自に進めたガス圧接を含め4種類の溶接法が使用されており、適切な使用条件の下で母材と遜色ない耐久性を有しています。

## 【 今後の展望 】

このように過去を振り返ると、レールの歴史は輸送量の増加に対応するための重量化、また、摩耗や損傷に対する挑戦の連続であったといえます。関係者の不断の努力によ

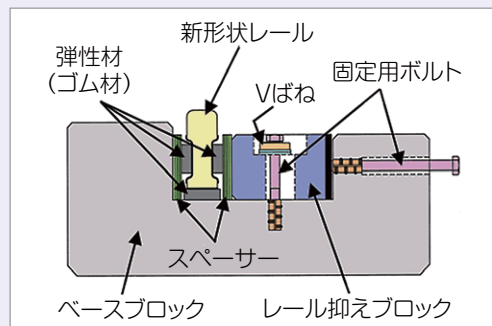


図10 次世代軌道構造の断面図

りレール折損は激減しましたが、現段階においても根絶までには至っていません。これは、レールが車輪の大きな荷重を直接受ける部材であること、敷設延長が長く経済性が求められることなど厳しい条件下で使用されているためです。

耐久性に関しては、頭部の損傷、腐食による折損の問題が残されています。転がり接触疲労に起因する頭部損傷については諸外国においても盛んに研究が行われていますが、レール削正や摩耗とのバランスを考慮したレール材質の選択、また波状摩耗対策として特に急曲線内軌への潤滑(摩擦緩和材や摩擦調整材)といった管理手法の活用を含めて、頭部の形状、材質、管理、車輪との組み合わせなど総合的に考えるべき問題です。摩耗の進展予測やゲージコーナ部の傷の発生メカニズムの解明など、取り組むべき課題が多くあります。残留応力の解明と制御も課題の一つです。

また、車両の走行安定性の観点からも頭頂面の形状を検討するのがよいと考えられます。

一方、下部構造を含めた全体系の一部としてレールを捉えると、近年欧州で考案されている埋込み式レールのように自由な発想に基づいた形状も可能となります。当研究所でも図10に示すような次世代軌道構造を考案しています。レールの全断面探傷が可能な新形状レールを弾性体で連続的に支持した構造であり、このような方向性の検討も引き続き行っていく必要があります。

(片岡宏夫/軌道技術研究部 軌道構造研究室)

## 文献

- 1) 加藤八州夫：レール，日本鉄道施設協会，1978
- 2) 日本国有鉄道：日本国有鉄道百年史第2巻，1970
- 3) 天野光三，他：第2版 図説 鉄道工学，丸善，2001
- 4) 佐々木直樹：新断面レールの設計，鉄道技術研究報告，1961
- 5) 佐藤幸雄：レール・車輪の組合わせと損傷事例，第122回鉄道総研月例発表会要旨，1999
- 6) 新版軌道材料編集委員会編：新版 軌道材料，鉄道現業社，2011