

鉄道用レールの現状と問題点*

栗原 利喜雄**

Present State and Future of Railway Rails

Rikio KURIHARA

1. ま え が き

「より安全とより迅速」をモットーに運営される鉄道輸送において、レールのもつ機能とその品質は保安度に大きなかわりをもつ。軌道構造にあつてレールは重要な強度メンバーであるばかりでなく、とくにその頭部は車輪を支持し、誘導し、車両の駆動力および制動力の支点ともなる機能を果たす。運転事故、列車遅延支障が社会問題にもつながる昨今において、レールは新幹線をはじめとして過密ダイヤ下で過酷な条件に耐えながら重大な使命を負わされている。

今日の鉄道用レールといえば、その接触相手である車輪とともに、そのすべてが一般の構造用圧延鋼材にはみられない高炭素鋼であることが特徴の一つに挙げられる。その変遷をたどれば明治初頭の鉄道創業以来、鍊鉄→低炭素鋼→高炭素鋼の経過を輸入→国産を経てきたものであつて、今日その生産能力も一社だけでも 40 万 t/y を超えて広く海外の需要にも応ずるまでに到っており、わが国の製鉄技術の歴史にも深い関係をもっている¹⁾。

以下はレールについて、要求される性質と、今日の姿をその製造技術とともに概説するものである。

2. 要求される性質

レール材質に高炭素鋼が選ばれるのは、優れた耐摩耗性能と高い接触荷重に耐えることが先ず要求されることによる。腐食環境下ではレール鋼がもつ腐食性能がその命数を支配するし、またロングレールの多用化は溶接性からみた金属組織学的検討も迫られる。

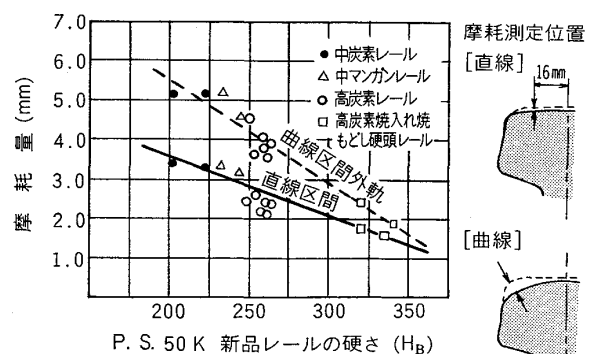
列車ダイヤの過密化、高速化、高軸重化の要請をうけながら一段と保守、交換労力のひつ迫が問題になつて昨今においては、耐用度の高い省力化軌道が積極的に推進され、投入されるレールも断面の大型化とともにその稼動寿命の延伸に対する期待も一層と厳しいものがある。

2.1 耐摩耗性

輸送力の増大にともなうレールの損耗は、まずその摩耗であつて、耐摩耗性能が多くの場合レール命数を決定づける。レールの交換作業は多くの労働力を要し、耐摩耗性能が示す経済価値は断面の大きいレールほど尊重される。一般に摩耗量は硬さと相反関係にあつて“硬いほどへらない”はレールにもその接触相手の車輪にも成り立つ。図 1 はレールの硬さと摩耗量の敷設現場における結果の一例を示すものである。

長大列車の始動範囲とか上り勾配駆動区間では増粘着を目的として散砂運転がなされるし、また制動範囲とか道床剛性が適切でない線区では波状摩耗が発生することがあつて、摩耗は車両走行状態によつても一様ではない。

また大気環境の腐食作用の影響も受けて変化し(図 2)



直線区間；山陽本線 中庄～倉敷間上り，1 億 7 千 5 百万 t 通過後
曲線区間；山陽本線 玉島～金光間下り，1 億 3 千万 t 通過後
R = 500m

記号	鋼 種	C (%)	Mn (%)
●	中炭素レール	0.54～	0.73～0.75
△	中マンガンレール	0.50～0.52	1.22～1.27
○	高炭素レール	0.66～0.69	0.74～0.87
□	硬 頭 レール	0.66～0.72	0.71～0.74

図 1 新品レールの硬さと摩耗量の関係³⁾

* 昭和 53 年 7 月 10 日受付 (Received July 10, 1978) (依頼技術資料)

** 鉄道技術研究所 (Railway Technical Research Institute, JNR, 2-8-38 Hikari-cho Kokubunji 185)

列車頻度の小さい線区ほど車輪通過当りのレール摩耗量は大きい。

一般に用いられる 普通レールと車輪の硬さは H_B 240 ~ 260 であつて、直線軌道に敷設されたレールでは、車輪接触による加工硬化および摩擦機構が単純な転がりに近いことにより摩耗量は問題にする程のものではない。

しかし曲線敷設線区では相当量に達し、とくに急曲線外軌レールでは過大な接触圧力とすべり接触で顕著な摩

耗を示し、同時に車輪フランジ部をも損耗させる。これらに対しては熱処理による硬頭化レール (H_B 320~388) が使用されるほか、レールゲージコーナ部あるいは車輪フランジ部への塗油など局部潤滑手段が講じられる。

2.2 耐接触圧力性

レール頭頂面およびゲージコーナ部は車輪接触による転動荷重を受ける。その接触面積はきわめて小さい上に、車輪走行による輪重変動とか横圧力などに伴う加算力が作用してその接触圧力は大きな値を示すことがあり、場合によっては 200 kg/mm^2 以上にも達する。この過大応力によるひずみの蓄積は転動疲れ破壊現象としてシェリング (写真 1) と呼ばれる頭頂面のはく離欠損を招き、保安度を低下させる³⁾⁴⁾。転動荷重による最大剪断応力の作用位置は通常、表層より 3~6 mm の内層であるが、すべりを伴う車輪接触の場合には表層側に移行して、ヘッドチェック、フレーキング損傷 (写真 2) となる。過剰な潤滑は転動疲れを助長させ、また水の存在はきれつ進展を促進させる。

耐接触圧力性能は、微視的に観察した破壊起点近傍の様相から、初折フェライト網とか非金属介在物層が多いもの程よくないと考えられ、高炭素鋼化、パーライトの微細化とともに清浄度の向上、熱処理や合金鋼による機械的性質の改善などが有効な対策となつている⁵⁾⁶⁾。焼もどしマルテンサイト組織は発生したきれつの伝播特性に有利性を示すが耐きれつ性能としてはフェライト強化型系微細パーライトが最も優れ、ベーナイト組織はよくな

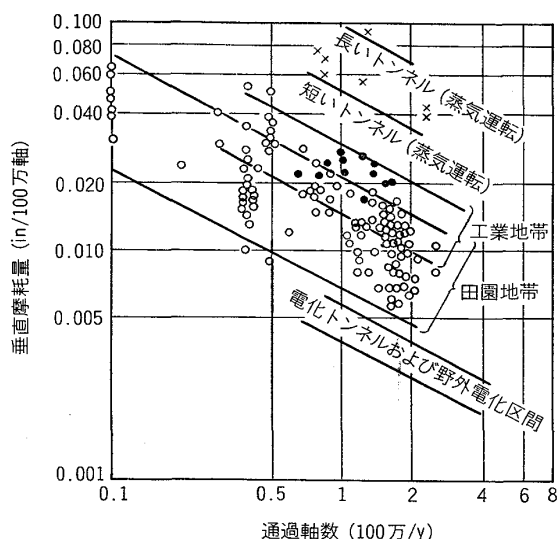


図 2 単位通過軸数あたりのレール垂直摩耗量のレール施設地域条件による変化 (B. R. のデータによる)

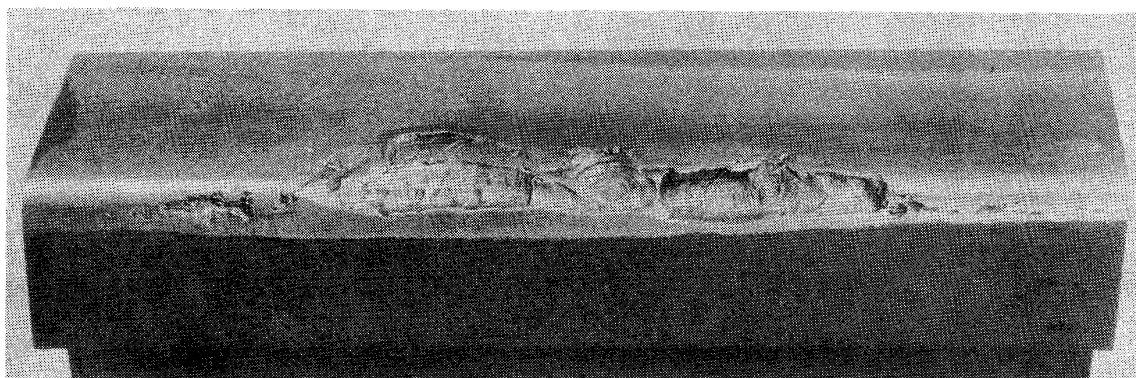


写真 1 レールのシェリング損傷

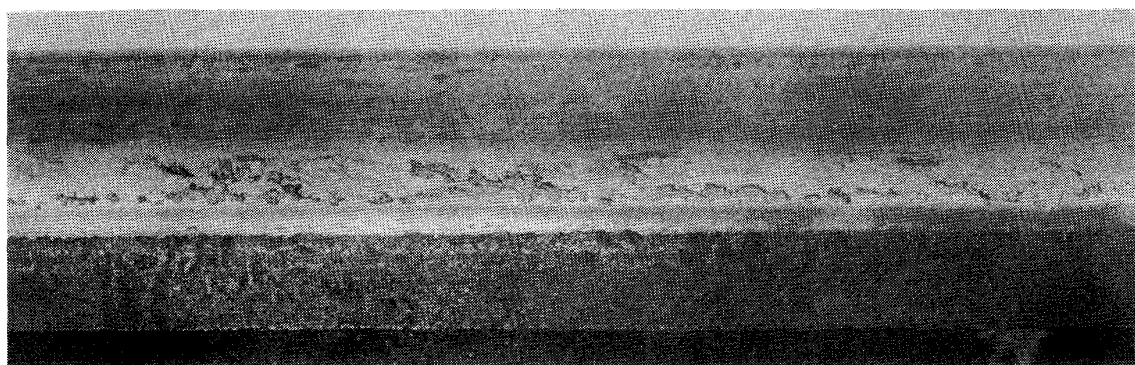


写真 2 レールのフレーキング損傷

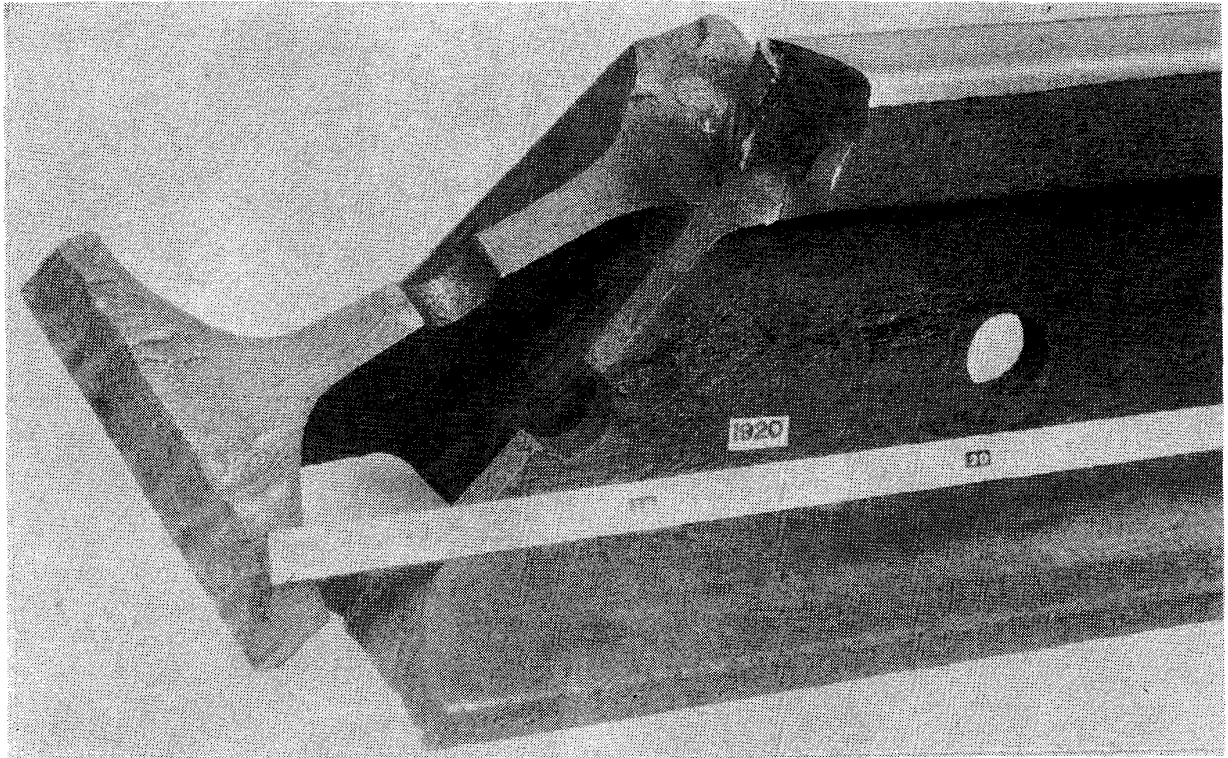


写真 3 破端損傷（継目穴からの疲れ破壊）

いものとされている。

しかし、過大接触圧力、横圧力、すべりなど過酷な接触条件下でのこれら防止手段はなお完全なものではなく発生機構の究明も含めて改善努力が続けられている。

2.3 耐食性

トンネルなど腐食環境の悪い区間のレールではその腐食、食肉損耗が命数を支配する。電化区間ではレールを鎖電回路にしているところから、直流方式においてはその敷設位置と対地電圧差の大きい湿潤な線区では電食による食肉損耗もある。これらの腐食はレール底部において著しく、切り欠きからの疲れ破壊が発生してレール損傷を招くものとして留意され、それぞれの腐食環境に応じた構造物的疲れ強さの低下程度を基準にして周期的交換がなされている。

レールが高炭素鋼であるため、一般構造材の低炭素鋼に比較しその耐食性能は期待されず、また圧延肌での使用が原則となつているなど、これに関する基本的な対策はまだ十分ではない。

耐摩耐食合金鋼レールについての開発努力は高いニーズのもとに目下建設途上にある青函トンネル、本四連絡機用を目的に鋭意行なわれつつあるところである。また Zn などの溶財をはじめとする金属被膜処理、有機樹脂被覆処理、腐食環境の改善、電気化学的防食手段などもあわせて検討が行なわれている。

2.4 レール損傷

ここで本題とは離れるがレール損傷 (rail failure) の概要について少し触れる。軌道総延長約 43 000km をも

つ国鉄 (JNR) における年間のレール損傷は、新幹線からローカル閑散線および構内側線を含めて、1 000 件を少し超える (昭和 51 年度) 発生をみている。これは敷設長さ、列車頻度、通過屯数などからみて、外国各鉄道のそれと比較して遜色のない保安度を示している。

当然ながら使用経年の長い小型断面レールでは高い損傷発生がみられ、敷設後間もない大型レールでは少ない傾向を示す。レール損傷のうち最も多く、その過半を占める損傷種別は破端 (broken end) と呼ばれるレール端に開けられた継目穴からの疲れ破壊 (写真 3) である。この部分は継目板締結による静的な応力と、列車通過による衝撃荷重が競合する高応力負荷範囲であつて、継目衝撃は局部的道床沈下とかレール端部摩耗を誘発し、またそれらが応力条件を苛酷な状態にする悪循環をたどる結果となる。前述の腐食環境下では破端損傷の発生も多い。

偏析層、非金属介在物および白点きず (レールの場合にはシャッターきれつと呼ぶ) などの材質欠陥を起点とする疲れ破壊の発生はレール頭部の転動荷重負荷領域に限られて、その進展は横裂 (transverse fissure) (写真 4) にもなるが、ほとんどは頭部水平裂 (horizontal split head) (写真 5) または縦裂 (vertical split head) になり、しかもレール端部に多く集中して損傷する。これら材質欠陥による損傷は、往年製造の脱酸度の低いセミキルド造塊製レールの鋼塊トップ相当部に多くみられ、全損傷レールのうちの約 20% を占めるが、その後の投入レールのキルド化が進んで減少傾向を示している。

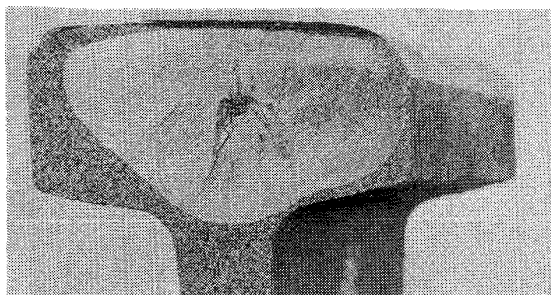


写真 4 頭部横裂 (シャッターきれつから疲れ破壊)

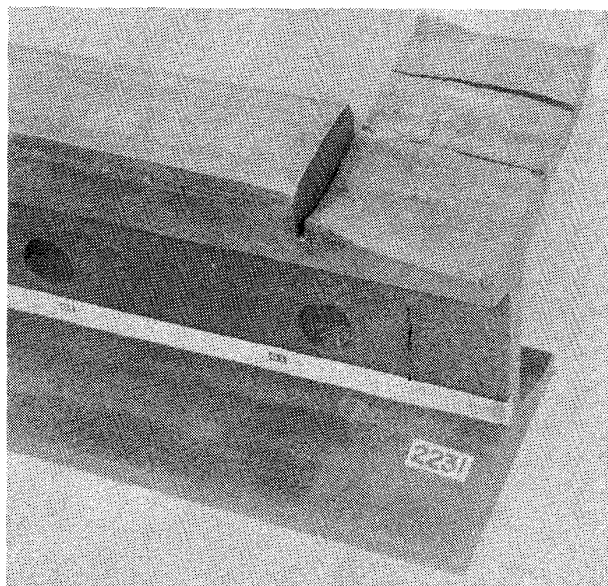


写真 5 頭部水平裂 (非金属介在物からの疲れ破壊)

レール鋼は高炭素パーライト鋼でありながらも、酷寒地でもその溶接部を含めて、ぜい性破壊による損傷は発生していないことは特筆される。レール損傷のすべては疲れ破壊とそれからのきれつ進展で、平素の巡回、超音波探傷などの保守管理手段によつて初期的状態でこれらを捕捉し、部分交換などの処置がなされる。しかしそのうちの約1割近くはこの管理から漏れて、ダメージ段階に達し列車支障を招いて乗客に迷惑をかけている。とくに冬季では収縮による引張軸力が大きく、きれつ進展が早くて見逃がしやすい。これらに対しては材質的品位向上のほか、軌道整備の確保およびレール探傷技術の改善と運用などによつて、さらに保安度を高めるための努力がはらわれている。

2.5 溶 接 性

軌道構造にあつてレール継目部分是最弱点であり、保守上も運転上も問題となる部分である。レール1本当りの長さの変遷は継目部対策の一環でもあつたが、その間にPCまくら木やレール弾性締結装置、伸縮継目構造などの開発とともに、各種方法によるレール溶接技術も長足の進歩を遂げて継目のないロングレールの実用化が促進された。溶接によるレールの長尺化は保守の省力化とともに保安度と運転速度を向上させ、新幹線の発足につ

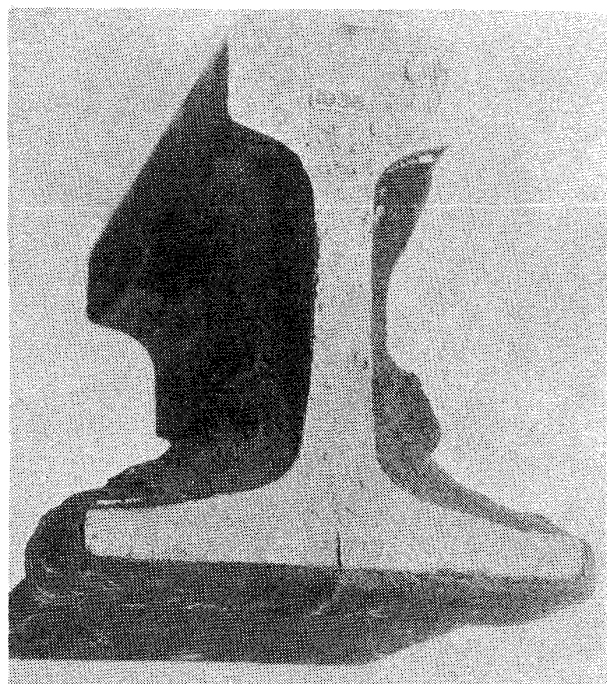


写真 6 アルミノテルミック溶接の底部横裂 (切り欠き部からの疲れ破壊)

ながる。

レール溶接は工場溶接法としてフラッシュバット接合が、基地溶接工法としてガス火焰加熱圧接などの半溶融溶接方式がとられ、いずれも高い継手性能と耐用度を示している。工場、基地では200mの中間ロングレールが造られて搬出され、敷設現場で溶接して1.5kmに及ぶロングレールに加工される。現場溶接工法としてはアルミノテルミック溶接^{*}、エンクローズ電弧溶接などの溶融溶接法が採られている。これら現場施行の溶接部の一部には十分な耐用度を示さないものがあつて、溶接技術の再検討がなされつつある。アルミノテルミック溶接は新幹線(東京～新大阪)の開業に際して多用されたが、今からみると基本技術も周辺技術も不十分な状態で発足し、しかも工期にもせまられて接合作業条件も良好でなかったと考えられる。鑄造欠陥が潜在したり、余盛部分の溶着が完全でないもの、形状切欠きを呈するものなどがあつて、応力構造的疲れ破壊(写真6)により短命で横裂損傷に至つたものが多く含まれた。これに代るものとして登場をみたエンクローズ電弧溶接のレールの適用は、日本独特の技術である。しかしこれも溶接金属の組成が低炭素合金鋼なのは余儀ないところで、硬さは得られても摩耗特性は同一でなく局部摩耗が生じたり、溶接金属層内のスラッグ介在とか、熱影響層内で高温時に発生する粒界微細われが疲れ破壊の起点となつて損傷に至るものがある(写真7)。接合に際して一時間を超える作業が必要なことも現場施工法として隘路になつている。

^{*} テルミット溶接の名称は日本で常用されているが、これは Elektro-Thermit 社(西独)の商品名である。欧米では aluminothermique と呼ばれる。

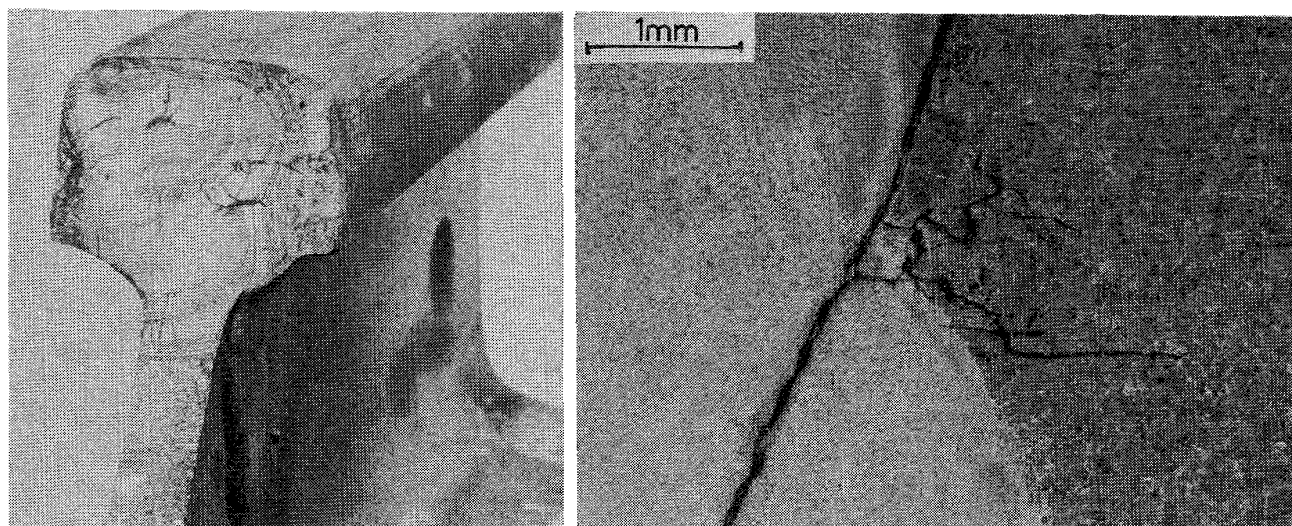


写真 7 エンクローズ電弧溶接の頭部横裂 (HAZ 部熱間われからの疲れ破壊)

一般に構造用鋼の電弧溶接の接合難易度を評価する際に用いられる炭素当量 (C_{eq}) でみれば、レール材はすべてが適量を遙かに超えた難域にある。電弧溶接では接合金属層内の完全なスラッグ除去のほか、熱影響層の性能が重要視され、予熱温度、層間温度、熱入力量とその後の冷却および後熱処理など一般鋼材にはみられない慎重な作業で行なわれている。

溶接多用化のためにはレールの製鋼時にそれまで水張りキルド鋼塊であったものをホットトップキルド鋼塊にして清浄度の向上がはかられたが、低S鋼の適用などによりさらに溶接性の改善が望まれる。レール本来の性能を損うことなく溶接しやすい鋼種の開発をめざして検討がなされている。

2.6 その他

新幹線など高速鉄道用レールにおいては、大型断面をもちながらも高い寸法精度と、曲がり変形の少ない水平直線性が溶接部の仕上精度などとともに要求される。列車の高速走行には接触面のわずかの高低差も輪重変動を誘起させるからである。条鋼の製造技術からみると、大型断面で高い寸法精度を求められることは厳しいものがある。

そのほか、最近では列車走行に伴う騒音、振動が公害として問題視される事態に対処して、レールの外周を有機樹脂で被覆して防音防振効果を期待するなどの研究も進められている。

3. 普通レール

3.1 鋼種

一般軌道に使用されるレールは通常、炭素鋼もしくは中マンガン鋼系の普通レールと呼ばれる圧延のまま (as rolled... 小量の初析フェライトを含むパーライト組織) のものである。表1および図3は各国の規格が示す普通レールの化学組成と機械的性質を示す。

大別して高炭素鋼系レール ($C: 0.60 \sim 0.82\%$, $Mn \leq 1.10\%$) と中マンガン鋼系レール ($C: 0.40 \sim 0.60\%$, $Mn: 0.8 \sim 2.10\%$) にわけられる。前者は $80 \sim 90 \text{ kg/mm}^2$ 級でアメリカ、カナダ、ソ連および日本などで用いられ、塩基性平炉または純酸素上吹転炉製鋼でその多くが造られる。後者は $70 \sim 80 \text{ kg/mm}^2$ 級の軟質鋼であつて、耐摩耗性、耐シェリング性の点で劣っているが、イギリス、ヨーロッパ大陸で広く長い間にわたり使用された。これは平炉、電気炉でも製造されたが、その多くを空気吹込み転炉に依存し、鉄鉱石の品質など製鋼原料事情から添加し得るCの上限に制約され、硬さを増すためにMnを高めることが採られた所産と思われる。しかし1960年以降ヨーロッパでも、LD法、カルド法の登場とともに $80 \sim 90 \text{ kg/mm}^2$ 級の耐摩耗硬質レールが急速に普及しつつあり、このなかには中マンガン鋼系WR-B, WR-C) もあるが日本の高炭素鋼系とかわらないもの (WR-A) も進出しており、鋼種区分はかわりつつある。WR-A 鋼は西独 (DB: ドイツ国鉄), WR-B 鋼は英 (BR: イギリス国鉄), 仏 (SNCF: フランス国鉄) で推賞され、それぞれ多用段階を迎えた。WR-C 鋼は溶接部における組織変化が著しいなどの支障があつて推進されていない。

最近、レールの国際規格 (ISO) が制定のはこびとなつたが、これは UIC (欧州鉄道連合) 規格を基礎にして各国規格を網羅したものになった。今後断面の大型化に相まつて高炭素鋼、硬質化の傾向が世界的に広く普及していくものと考えられる。

3.2 製造法

1) 製鋼法: 量産体勢としてトーマス、ベッセマ、平炉法とはすでに訣別して、各国とも大容量によるLD法、カルド法がその主力を占めるに至つた。電気炉操業は欧州で今も続けられているが、これは将来合金鋼レールの製鋼を担当するものと思われる、酸素精錬において

表 1 レール鋼の化学組成および機械的性質 (規格値)

国 名	種 別	化 学 組 成 %					機 械 的 性 質		耐 摩 性	
		C	Si	Mn	P	S	引張強さ kg/mm ²	伸び%		
アメリ カ	35~40 kg/m	0.55~0.68	0.10~0.23	0.60~0.90	≦0.04	—	—	—	—	
	40.5~45 kg/m	0.64~0.77	0.10~0.23	0.60~0.90	≦0.04	—	—	—	—	
	45.5~60 kg/m	0.67~0.80	0.10~0.23	0.70~1.00	≦0.04	—	—	—	—	
	60.5 kg/m以上	0.69~0.82	0.10~0.23	0.70~1.00	≦0.04	—	—	—	—	
イギリス	平 炉	0.50~0.60	0.80~0.20	0.95~1.25	≦0.060	≦0.060	≧71	≧9	—	
	電 気 炉	0.45~0.55	0.80~0.20	0.95~1.25	≦0.060	≦0.060	≧71	≧9	—	
	ベ ッ セ マ 炉	0.40~0.50	0.80~0.20	0.95~1.25	≦0.060	≦0.060	≧68	≧9	—	
ヨーロ ッ パ大陸	U I C 70 kg/ mm ²	トーマス 炉	0.37~0.55	≦0.35	0.70~1.20	≦0.08	≦0.06	70~85	≧14	*1
		平 炉	0.40~0.55	≦0.35	0.80~1.20	≦0.05	≦0.06			
		電 気 炉	0.40~0.60	≦0.35	0.80~1.20	≦0.04	≦0.04			
		酸 素 転 炉	0.40~0.60	≦0.35	0.80~1.20	≦0.05	≦0.05			
	D B 80 kg/ mm ²	平 炉	0.45~0.63	0.10~0.50	0.80~1.30	≦0.05	≦0.50	80~95		1.2~1.4
	U I C WR 90 kg/ mm ²	(平 炉)(A) (電 気 炉)(B) (酸 素 転 炉)(C)	0.60~0.75	≦0.50	0.80~1.30	≦0.05	≦0.05	≦90	≧10	2.0~4.0
			0.50~0.65**	≦0.50	1.30~1.70	≦0.05	≦0.05			
		0.45~0.60	≦0.30	1.70~2.10	≦0.03	≦0.03				
ソ 連	平 炉 P 50	0.67~0.80	0.13~0.28	0.75~1.05	≦0.035	≦0.045	≧80			
日 本	酸素転炉60 kg/m	0.60~0.75	0.10~0.30	0.70~1.10	≦0.035	≦0.040	≧80	≧10		

* 曲線半径 R<750m に対する比較値を示す。

** BD では S 49 および S 54 レールに対して、B種およびC種に対する炭素含有量がそれぞれ 0.50~0.67% および 0.45~0.62% である。

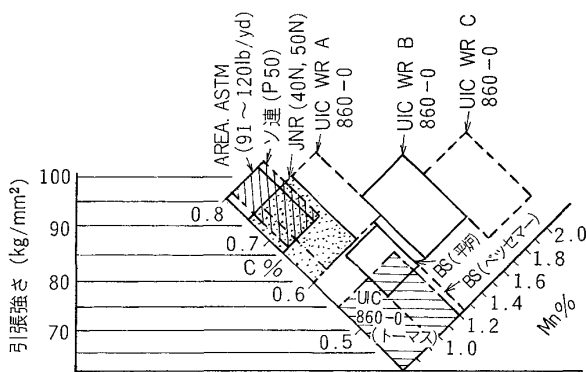


図 3 各国 レール鋼規格値の比較

ソフト吹錬 catch carbon 方式は新日鉄八幡製鉄所、日本鋼管福山製鉄所で採られているが、BSC (英)、Thyssen, Krupp (西独) などでは 0.1%C まで強吹錬がなされた後、コークス加炭と脱ガス操作が行なわれている。

2) 脱酸度および造塊法：セミキルド鋼塊によるレール製造は先進各国とも、もはや採られていない。一部に水張りキルド鋼が用いられるほかはいずれも押湯つきホットトップキルド鋼造塊が主力である。鋼塊単重は 4~8 t, 上注ぎ方式が多いなかにあつて、日本鋼管福山製鉄所は 13~16 t 鋼塊 (ホットトップキルド) の大型鋼塊を採用している。これは世界最大でもあつて、60 kg/m-50 m の量産方式として注目される。

鋼塊トップ相当部のマクロ偏析欠陥はレール損傷の原因にもなるものとして留意されているが、欧州 (UIC) および日本 (JRS: 国鉄規格) ではサルファープリント限界見本を設定してその偏析程度を規定している。

3) 連続製造鋼片：一般鋼材に広く普及している CC ブルームのレール製造への適用である。

(イ) ブルーム中心部のマクロ偏析 (ロ) 鍛圧比が分塊ブloomレールより小さいなどの問題を克服して、Azovstal, Dzerzhinsky (ソ連), Algoma (カナダ) BSC-Lackenby (英) などでは量産体勢下にある。CC ブloom製のレール規格は BS (英) で制定されたほか、ISO 規格にもその導入のみちが開かれ、AREA (米) 規格でもドラフトされ広く多用段階を迎えた。ブloom中心部のマクロ偏析については電磁攪拌 (electromagnetic stirrer) 技術の導入が、また鍛圧比も 12 以上 (BS で 8 以上) で分塊ブloomレールと同等品質が得られる確認がなされ、新日鉄、八幡製鉄所でも量産体勢の準備が進められている。

4) 圧延：各メーカーとも直送圧延方式が主力であつたが、工場の統合改廃とともに生産集中化が進み、鉄資源供給と圧延精整の完全分離と新鋭近代化が行なわれ、ブloom過程で徐冷して冷片にする 2 ヒート方式の転換がめざましい。これは普通鋼の製造において、省エネルギーを目標に直送圧延が見直されつつある最近の一般傾向に対比して、迷行しているともいえる特徴である。

ユニバーサルミル圧延技術はレールにも普及し、SACILOR (仏) が採用したのを始めとして名国に広まるすう勢にある。新日鉄、八幡製鉄所 (1971 年, 改造), 日本鋼管福山製鉄所 (1972 年, 新設) とともにタンデム配置による最新鋭のユニバーサルミル圧延機を装備している。これらの新鋭化は優れた生産性のほか, レール断面の大型化と寸法精度向上にも寄与している。

レールの組織分布, 機械的性質などの材料性能はその化学組成とともに圧延終了温度およびそれから 500°C 域までの冷却速度に支配されるので仕上げロールと冷却床では通常の条鋼より厳しい制御管理がなされる。

往年の平炉製鋼, 直送圧延方式では残留水素の放出手段として冷却途中のレールを徐冷箱に移し徐冷 ($550^{\circ}\sim 150^{\circ}\text{C}$, 8~10 h) する徐冷脱水素処理 (Control Cooling) が行なわれた。その後製鋼技術の進歩で残留水素量が激減し, またブルーム段階での徐冷に脱水素効果が期待されるに到り, すべては冷却床上で常温まで放冷されている。

5) 精整検査: ローラ矯正と端部プレス矯正が施され

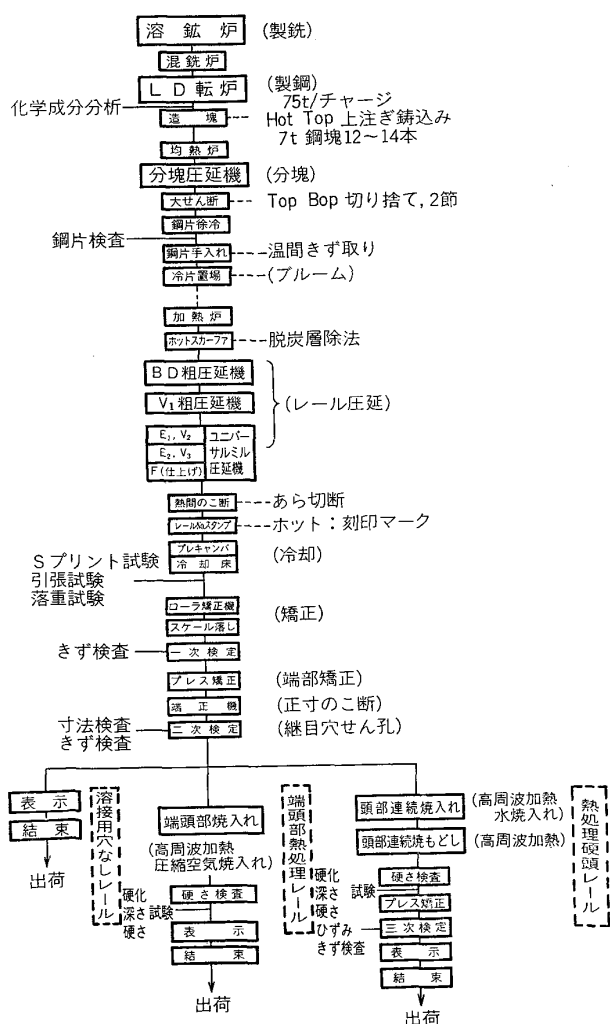


図 4 レールの製造工程 (新日本製鉄八幡製鉄所)

た後, 冷間鋸断 (継目穴を必要とするものは同時にドリル穿孔と面取り) されてレールは完成する。

定尺レール長さは, 英: 18m, 仏: 18, 36m, 西独: 30m, 日本は 25m と 50m (世界最大) である。

出荷レールの超音波走行探傷検査は, 材質欠陥としてのシャッターきれつ (白点きず), 大型介在物およびラミネーションを適切に検出する手法として SACILOR (仏), THYSSEN (西独) などで実施されている。

図 4 は新日鉄, 八幡製鉄所におけるレールの製造工程の概略を示すものである。

4. 熱処理レール

4.1 熱処理硬頭レール

普通レールを素材にしてレール頭部に焼入れ, 焼もどし熱処理をレールを移動させながら連続的に施し, 焼もどしマルテンサイト組織化させて耐摩耗性と耐接触圧力性を向上させたレールである (写真 8, 10)。レールの熱処理による硬化は 1922 年圧延終了直後の高温レールに蒸気噴霧を吹きつけて急冷硬化させることを SANDBERG (英) が行なつたことが初めとされている。その後 SACILOR (仏), KRUPP (西独) などで全体加熱, 温水焼入れ (微細パーライト) の研究がなされているが工業規模の量産に成功したのは日本である。1939 年, 円弧状ブリッジ上にレールを配置し, 重油炉車がある上を移動送る熱処理技術が開発され, その後レール製造工場に熱処理設備が置かれたのは 1954 年である⁸⁾。現在, 新日鉄八幡製鉄所では高周波誘導加熱方式が, また日本鋼管福山製鉄所では高炉発生ガス火焰加熱方式により高効率作業が行なわれている。熱処理は焼入れ, 焼もどし法 (H_B 321~370) のほかに, 圧縮空気またはミスト (噴霧) によるスラック, クエンチ (微細パーライト H_B 331~388) 法も行なわれ広く海外の需要にも応じている。

ポイント, クロッシングなど分岐器レールの硬頭化熱処理は, 切削加工の中間工程で分岐器メーカーの手により重油加熱, ガス火焰加熱方法で行なわれる。

外国におけるレールの連続硬頭化熱処理としては U.S Steel (米) の Curve master (1967 年以降) がある。高

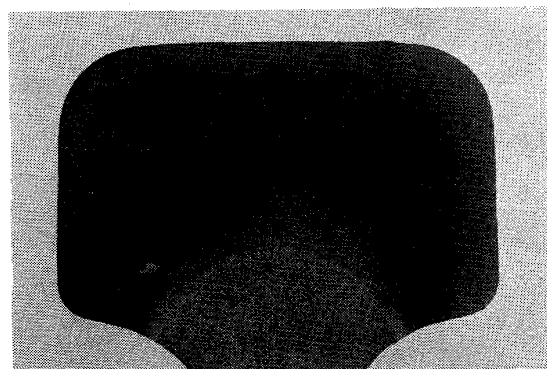
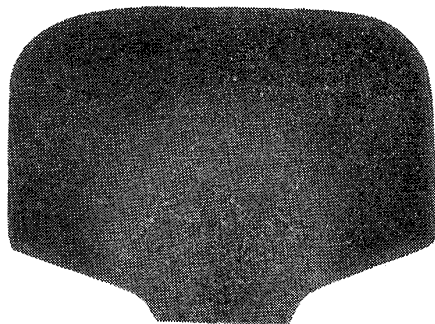


写真 8 熱処理硬頭レールの横断面マクロ組織

横断面組織



縦断面組織

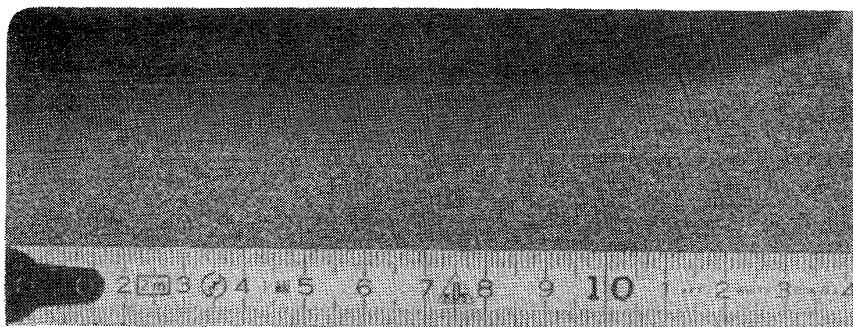


写真 9 端頭部熱処理レールの頭部横断面および縦断面のマクロ組織

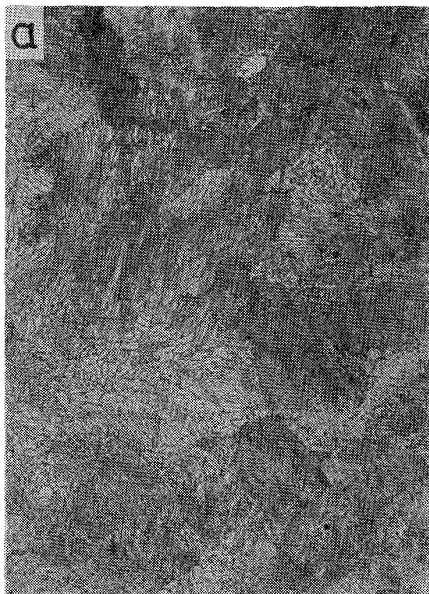
a 普通レール H_B 252
(パーライト)b 熱処理硬頭レール H_B 340
(焼もどしマルテンサイト)c 端頭部熱処理レール H_B 332
(微細パーライト)

写真 10 レール頭頂部の顕微鏡組織

周波誘導加熱，圧縮空気焼入れスラッククエンチ (H_B 321~388) である。

レール頭部だけでなく，その腹部底部も含めた全断面を加熱して油焼入れ，焼もどしを行なえばレール全体の強じん化をはかることができる。これらには Bethlehem Steel (米) (H_B 321~388)⁹⁾ およびニジネタギルスキー冶金コンビナート (MTMK：ソ連) (H_B 330~388)¹⁰⁾ がある。

4.2 端頭部熱処理レール

普通レールの両端継目付近の短かい長さ範囲部分だけを，硬頭化の熱処理を施して構造的に弱点であるレール端部を強化したレールである (写真 9, 10)。1935 年ごろの米国で，ボンベと水を背負った作業員が保線現場において火焰焼入れを行なつたのが始めとされている。

硬化部硬さ： H_s 48 ± 3 ，硬化部長さ：100 mm，硬化部深さ：15 mm，てい減部：40 mm で，熱源は高周波またはガス火焰，圧縮空気焼入れ方式で処理される。

1967 年より生産されている。米国 (1941 年， H_B 331~401，硬化範囲：1/2 in，深さ：1/4 in... 圧縮空気焼入れ) およびソ連 (1949 年， H_B ：302~418，長さ 65~80 mm... 温水焼入れ，セルフテンパー方式) よりおくれて発足したが，熱処理品質は優れている。

5. 合金鋼レール

5.1 耐シェリング用レール鋼

米国，ソ連などの高軸重線区用として，パーライト粒界に存在する初折フェライトの消滅， Al_2O_3 ， MnS などのミクロ的介在物の徐去など高炭素鋼レールの改善とともに熱処理硬化のほか，各種低合金鋼レールが 1955 年ごろ検討された。このうち高珪素鋼 (パーライト中のフェライト強化... C ：0.75%， Si ：0.7%，パーライト組織，100 kg/mm² 級) は耐用度，経済性からも推賞されて 1960 年以降，米国，カナダ，豪州および南米で実用化され，日本からも出荷している。

表 2 欧米における高張力低合金鋼レール

メーカ	鋼種	目標組織	化学成分 (%)						引張り強さ (kg/mm ²)
			C	Si	Mn	Cr	Mo	V	
SACILOR (仏)	高C系 Si-Cr 鋼	As rolled 微細パーライト	0.69	0.77	0.96	0.85			≥110
KRUPP (西独)	高C系 Si-Cr 鋼	As rolled 微細パーライト	0.65	0.50	0.50	0.70			≥110
Köknér (西独)	高C系 Mn-Mo 鋼	As rolled 微細パーライト	0.50		0.60				≥110
Thyssen (西独)	高C系 Cr-V 鋼	As rolled 微細パーライト	0.65		0.70	0.80			≥110
B S C (英)	高C系 Mn-Cr 鋼	As rolled 微細パーライト	0.68		1.10	1.00			≥110
Climax Mo (米)	高C系 Cr-Mo 鋼	As rolled 微細パーライト	0.70	0.25	0.75	0.70	0.14		≥110
			~0.81	~0.35	~0.95	~0.85	~0.20	<0.10	≥110

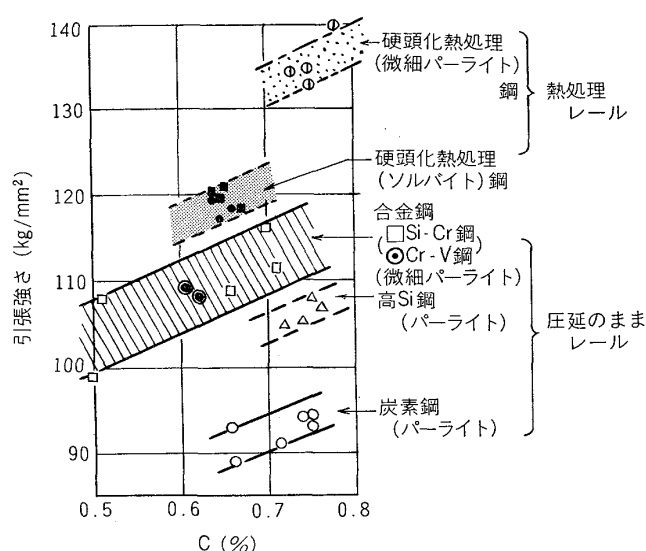


図 5 高張力レール鋼の製造法，成分系と強度（榎本）

5.2 最近における低合金鋼レールの開発

優れた耐シリング性と耐摩耗性を兼ね備えた耐用度の高いレール材質の要望は、最近に至つてとくに高軸重車両が運行し、急曲線区をもつ南米大陸、豪洲アフリカの鉱山鉄道などに大きいものがある。世界の主要レールメーカーでは 1970 年以降、これらに対応すべく、競つて低合金鋼レールの試作、提供が精力的に行なわれている。表 2、図 5 はそのうちの代表的なものを示す。いずれも高炭素系の Si-Cr 鋼、Mn-Cr 鋼、Cr-V 鋼、Cr-Mo 鋼などであり、圧延のままで微細パーライト組織を生成させ、引張り強さ 110 kg/mm² 級が目標とされる¹¹⁾¹²⁾。

真空脱ガス、下注ぎホットトップ造塊、ブルームの緩徐冷、圧延温度の調整など、普通レールより慎重な配慮のもとに造られる。また敷設に際してのフラッシュバット接合、アルミノテルミック溶接などの周辺技術も集積されて優れた耐用度の成果が示されつつある。

これら高張力低合金鋼レールの適用は、日本、米、欧州の各鉄道においても真剣な検討が行なわれ FAST (米

Pueblo)、チェルビンカ (ソ連)、Velim (チェコスロバキヤ) などの大規模実験線に試験敷設され、その性能の確認がなされつつある¹³⁾¹⁴⁾。これらの実用化は近いものと思われる。

5.3 高マンガン鋼

C : 1%, Mn : 13% のオーステナイト系高マンガン鋼はレールにも応用される。車輪接触による加工硬化性が顕著で優れた耐摩耗性を示す。鋳鋼品として分岐器のクロッシングに推奨され、日本、仏、米などで広く使用される。Si を 0.5~0.8% にして湯流れ性能を考慮している。また、降伏点が高いことによる初期の変形、摩耗を防止するため、使用にさきだち車輪との踏面に対して火薬による爆発加工 (explosive work harding) が実用化されつつある。

高マンガン鋼の圧延レールは BSC. workington (英) が小規模生産 (2000 トン/年) を行なっている。曲線外軌用の耐摩ルールとして優れているが膨脹係数が大きく、温度変化の少ないトンネル、地下鉄用として限定使用される。最近これのアルミノテルミック技術も開発された。

5.4 複合鋼レール

異種溶鋼の同時注入鋼塊を圧延した複合鋼レールは 1925 年 KRÖKNER 社 OSNABRÜK 工場 (ドイツ) で提供された¹⁵⁾。レール頭部は C : 0.45~0.60%, Cr : 1.0~1.2% 合金鋼、腹底部は C : 0.1% の低炭素鋼である。接合は支障なく頭部は耐摩耗性が、腹底部は耐食性が優れ、日本でも長い耐用実績を示した。

しかし生産性に難点がありよい経済効果が期待されずその製造は中止された。

6. レールの形状

現在、日本で使用されているレール形状は新幹線用として、50T (53 kg/m)、60 キロ (60 kg/m) レール (ともにホットトップキルド鋼塊製ヘッドフリー形) があり、在来線の幹線用として 50N (50 kg/m)、同支線用

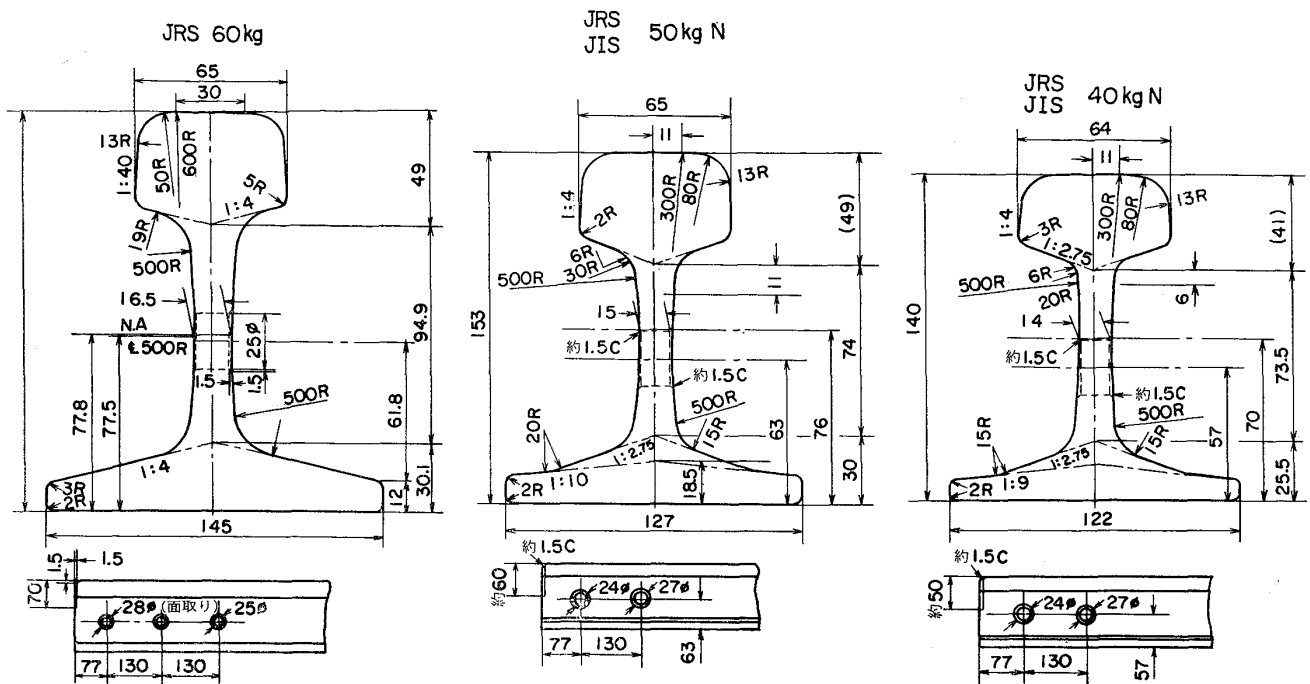


図 6 日本の標準レールの形状

として 40N (40 kg/m) レール (ともに水張キルド鋼製ヘンドコンタクト形) がある (図 6). 50T レールは東京-新大阪の開業に際して造られたが、生産は中止され 60 キロレールに順次交換されている。同様在来線でも 40N レールは生産は中止されて 50N レールに置換えられ、主要線区には 60 キロレール化が行なわれるなど大型化が進められつつある。

7. おわりに

“鉄道と鉄鋼”それはとくに鉄道建設の最盛期にはよきパートナーとしてすばらしい協調関係がみられた。鉄道網の増大による多量のレール需要は、新しい製鋼法や量産方式の開発意欲をかきたて、また鉄道の発達は製鉄原料と生產品の大量輸送に貢献するといった需要と生産の促進効果をもたらした。一世紀以上にまたがるレールの歴史において、その進歩発展の足跡は製鉄技術、鉄鋼加工技術のそれであるともいえる。

この四半世紀、自動車、航空機の進出で衰退化傾向をたどった鉄道も、今日の新幹線が示した実績は省エネルギー時代を迎えて“鉄道輸送の使命と有利性”が世界的にもみなおされ、新しいシステムでよみがえりつつある。

これに従いレールに課せられる役割も一段と重要となり高強度化、高品質化が耐用度向上とともに要望されている。

“ユーザーとメーカー”はその立場を超越して共同開発に当たっているが、これからの鉄鋼技術の進歩がこれに対応するものと期待されている。

文 献

- 1) 中島竜一: 軌条 (レール), (昭 18-11), p. 23, [共立出版]
- 2) 加藤八州夫: レール (昭 53-1), p. 69, 252 [日本鉄道施設協会]
- 3) 大和久重雄, 他: 鉄研報告, No 379 (昭 38-11), p. 48
- 4) G. C. MARTIN and W. W. HAY, The influence of wheel-rail contact forces on the formation of rail shells, F2-4075, (1972) p. 13
- 5) ORE 報告, U-7/G, (1974-1), p. 131
- 6) LAWZIN, 他: ソ連鉄道技術月報, No 33, (1974-1), p. 45
- 7) 栗原利喜雄: 鉄道線路, 26-4, (昭 53-4) p. 169
- 8) 栗原利喜雄: 熱処理, 7-6, (昭 42-12), p. 350
- 9) AREA Bulletin: Revision of Manual Specification for steel Rails Manual Recommendations Committee 4-Rail 76, 645, (1973-11/12), p. 479
- 10) LAWZIN, 他: ソ連鉄道技術月報, No 33, (1974-3), p. 43
- 11) 栗原利喜雄: 鉄道線路, 25-10, (昭 52-10), p. 500
- 12) W. HELLER: Herstellung Eigenschaften und Betriebsverhalten von naturharten Schienen aus chrom-Manganstahl mit 110 Kp/mm²/Mindestfestigkeit. ETR 21 Ht. 5 176/183 1972-05.
- 13) 松山晋作: 鉄道線路, 25-9, (昭 52-9), p. 475
- 14) AREA Bulletin: Summary of heat treated and alloy rail service test installations on curve with shelly histories. 75 No 646 39/82 1973-09/10.
- 15) 鈴木益広, 他: 鉄道大臣官房研究報告 20-33 (昭 7-9)