

川崎製鉄技報

KAWASAKI STEEL GIHO

Vo3. (1971) No.4

川鉄の鉄マクラギおよびレール締結装置

Steel Sleeper and Elastic Fastening Device

小高 喜彦(Yoshihiko Odaka)

要旨：

近代製鉄所のように、輸送単位が巨大化しているところでは、大きな垂直・水平加重とくに動荷重に耐えうる車輛用軌道構造が必要である。川崎製鉄（株）水島製鉄所ではこのような要求に応える鉄マクラギおよびそれに適合するレール締結装置を開発した。この川鉄型鉄マクラギは、従来の木製あるいはPSコンクリート製マクラギに比べて、強度、耐久性、安定性の点ですぐれておりしかも経済的である。締結装置はレール下にゴム製パッドを敷き、板バネでおさえパッドとバネのバネ常数の組み合わせで必要な横方向の弾性を得る2重弾性締結装置である。

Synopsis：

At places like the modern integrated steelworks where transportation tonnages are rising to gigantic proportions, it will be of utmost necessity to reinforce the structure of heavy-duty tracks by means of more effective devices so that the rail structure may better bear the enormous amount of longitudinal and lateral load, especially the dynamic load. The Mizushima Works of Kawasaki Steel Corporation has developed steel sleepers that can fully answer such request and also a rail fastening device specially suited for the said steel sleepers. This steel sleeper of Kawasaki type excels all other conventional wooden or P.S. concrete sleepers, not only in strength, durability and stability, but also economically. The rail fastening device is a double-elasticity fastening type; namely, the rubber pads which are placed between the rail and the sleeper, are tightly pushed down by means of leaf springs, and a necessary lateral elasticity is naturally obtained as the spring coefficients of both the pad and the spring work together.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

川鉄の鉄マクラギおよびレール締結装置

Steel Sleeper and Elastic Fastening Device

小 高 喜 彦*

Yoshihiko Odaka

Synopsis :

At places like the modern integrated steelworks where transportation tonnages are rising to gigantic proportions, it will be of utmost necessity to reinforce the structure of heavy-duty tracks by means of more effective devices so that the rail structure may better bear the enormous amount of longitudinal and lateral load, especially the dynamic load.

The Mizushima Works of Kawasaki Steel Corporation has developed steel sleepers that can fully answer such request and also a rail fastening device specially suited for the said steel sleepers.

This steel sleeper of Kawasaki type excels all other conventional wooden or P.S. concrete sleepers, not only in strength, durability and stability, but also economically. The rail fastening device is a double-elasticity fastening type: namely, the rubber pads which are placed between the rail and the sleeper, are tightly pushed down by means of leaf springs, and a necessary lateral elasticity is naturally obtained as the spring coefficients of both the pad and the spring work together.

1. まえがき

近代製鉄所における場内輸送手段としては、無軌道化も進められているが、大量の重量物運搬にはやはり軌道が最も経済的な輸送手段として重きをなしている。最近の生産規模の巨大化、ひいては輸送単位の大形化から要求される軌道構造は、大きな垂直・水平荷重と衝撃力にたえうるものでなくてはならない。多くの実験や現場計測と考察を重ねた結果、鉄マクラギと弾性締結法の適当な組み合わせによって最適（最も経済的という意味も含めて）な設計が得られることを確認した。水島製鉄所の建設当初から鉄マクラギを実用に供し

つつ、開発研究を行ない、ようやく標準規格化しうるにいたったのでその概要を紹介する。

2. 鉄マクラギの特長

マクラギはレールおよび締結装置を通して伝達される諸荷重を広く路盤に分散する役目をもつ。製鉄所などの産業鉄道では一般に速度が遅いが、輪重が著しく大きいために、マクラギに加わる諸荷重は国鉄などのそれらに比べ大きな値となる（表1 参照）。したがって、マクラギ自体かなりの剛性が必要となるほか、締結装置との接続部の強さと道床上の安定（水平移動と沈下）が安全運転と保守費の節減上大きな問題となる。

* 水島製鉄所土建部線路課掛長

表 1 軌道負担力標準荷重比較表

K 荷重の軸重および軸配置									
軸距(m)	2.4	1.5	1.5	1.5	2.7	1.5	1.8	1.5	
K-13 軸重(t)	6.5	13	13	13	13	8.6	8.6	8.6	8.6
K-15 "	7.5	15	15	15	15	10	10	10	10
K-16 "	8	16	16	16	16	10.6	10.6	10.6	10.6
K-18 "	9	18	18	18	18	12	12	12	12

新幹線、山陽新幹線の軸重および軸配置									
軸距(m)	2.2	2.8	2.2	6.3	2.2	2.2	2.2	2.2	
軸重(t)	16	16	16		16	16	16	16	16

川鉄 250t 混鉄車									
軸距(m)	1.36	1.36	0.91	1.36	1.36	6.16	1.36	1.36	0.91
軸重(t)	38.8	38.8	38.8	38.8	38.8	38.8	38.8	38.8	38.8

面係数(図 1 参照)によって左右されるが、木やコンクリートマクラギに比べ、鉄マクラギでは断面形状やコルゲート加工を工夫することによって断面積(すなわち材料使用量)をあまり増さずに断面係数を大きくすることができる。したがって強度の大きいわりに軽量かつ経済的な設計をしやすい。木やコンクリートのマクラギは断面係数を大きくするためには断面積を大きくするほかないので、重量が過大となってハンドリングに不便となり、また材料費ひいては製造コストが高くなる。

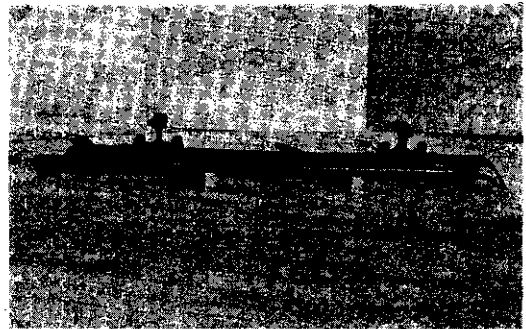


写真 1 並鉄マクラギ (2 重弾性締結, 厚さ 9 mm)

2-1 マクラギ自体の強さ

マクラギは道床によって弾性支承された梁とみなされるから、マクラギ自体の強さは主として断

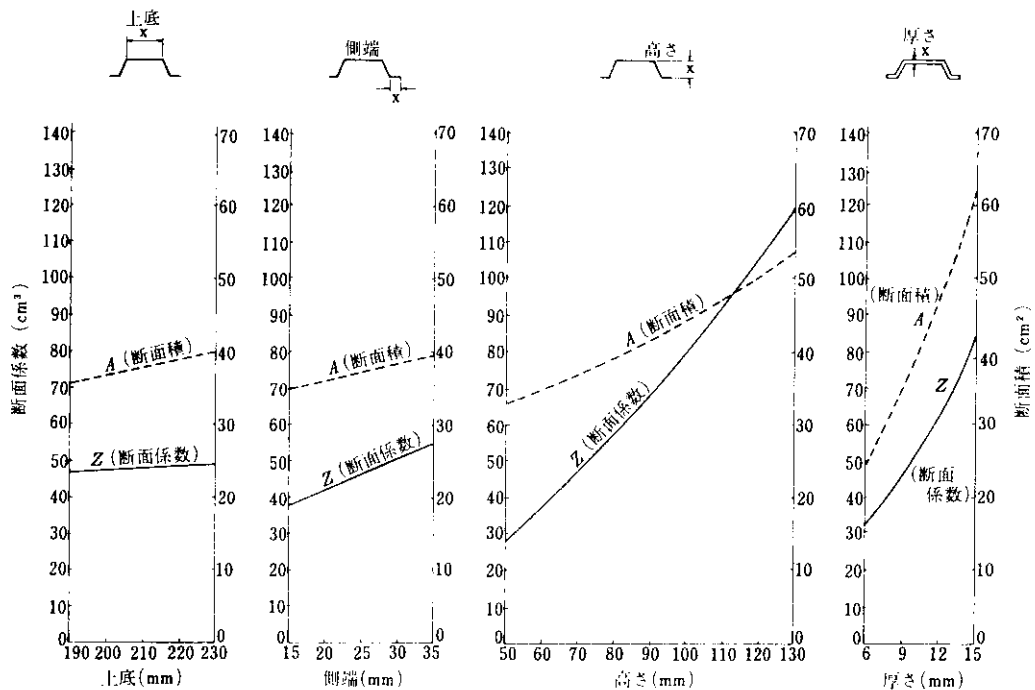


図 1 鉄マクラギ断面積断面係数比較図

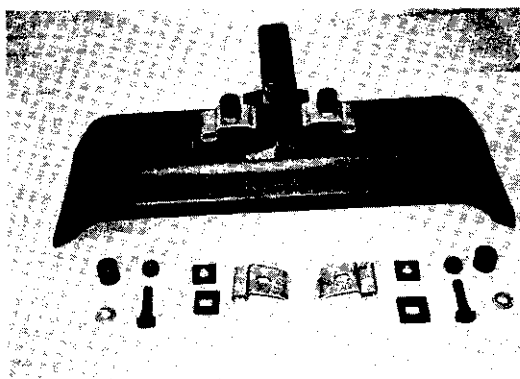


写真2 短鉄マクラギと2重弾性締結部品

近時、木材価格が高くなったので同じ荷重条件に対するマクラギとしては鉄マクラギが最も安価となり、諸荷重値が大きくなるほど鉄マクラギがますます経済的に有利となる。

2.2 衝撃力に対する強さ

動荷重にともなう衝撃力に対しては、鉄マクラギが最も強くいわゆる粘りを発揮する。コンクリートマクラギはP. S. コンクリートであっても衝撃力によってクラックが入りやすい欠点がある。木材もかなり靱性をもっているが破断強度そのものが小さく、繊維に直角方向でも鋼に比べればはるかに小さい。

2.3 耐久性

耐久性の点では、木が最も弱く（栗のような堅木に防腐処理を施しても平均8年）鉄は錆びるので、コンクリートが一番寿命が長い。しかし最近では被膜の丈夫な防錆塗料ができたし、さらに耐候性鋼材も開発されたので、鉄マクラギの寿命もかなり長く（約20年）することができるようになった。

2.4 レール締結装置との接続部の強度

レール締結装置との接続部の強度は、木マクラギでは木に直接犬釘または螺釘で締結装置を固定しており、コンクリートマクラギではコンクリート中に合成樹脂などの埋込栓を入れ、それにボルトで固定するなどのくふうをしているが、木またはコンクリートの支圧強度と引抜抵抗（特に衝撃

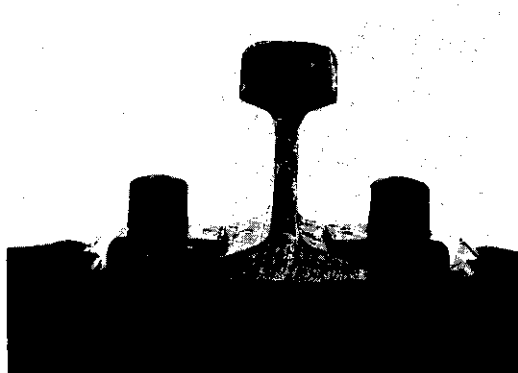


写真3 レール2重弾性締結装置

に対して）が鋼の強度に比べれば劣るので、鉄マクラギへボルトで取りつけるのと同程度の強さはどうい得られない。この欠点が木やコンクリートマクラギの寿命をますます短くしつつあり、近時列車速度がいちぢるしく増大したため、大きな横圧と衝撃力を受けるようになって国鉄などの普通鉄道でも問題になっている。

2.5 道床上の安定性

道床上の安定（水平移動と沈下）は鉄マクラギが最もよい。鉄マクラギは後に詳述するように倒腕形断面をしており、その中にタイタンバーなどで道床砂利を充てんするので道床内にマクラギが完全にくいこんだ姿になっている。また、列車荷重を受けるたびに自動的に道床を搗き固める作用をするので保線作業を節減できる。すなわち、道床の沈下が少なく軌道扛上の必要頻度が少なくなり軌条の通り、きょう正の手間もいちぢるしく少なくなることが室内実験および現場で実用した結果からも明らかにされている。1927年頃御殿場線に敷設されたドイツ製鉄マクラギ区間では全然保線作業の必要がなくなったという実績も報告されている。

レールに加わった諸荷重がレール締結装置マクラギへの接続機構を通り、マクラギから道床へ伝達される一連の構造系間に適切な剛性の配分がなされていないと、そのもっとも弱い部分から破壊がおこるし、もしどこも破壊することがないほど構造系全体が剛であると道床の破壊がはやくなり保線作業費が高くなる。

鉄マクラギは木マクラギに比べれば剛性が高いが、コンクリートに比べれば低い。したがって、もし木マクラギに使用されているような剛締結法を鉄マクラギに使うと、強い横圧や衝撃力に対し構造系の剛性が過大で乗り上り脱線の危険を生じ、また道床の破壊が促進される。コンクリートマクラギに使用する弾性の大きな締結法を用いると、過大な横圧を受けた場合、軌間拡大による落ち込み脱線がおこる。すなわち、鉄マクラギの弾性と剛性に適合した締結装置の強度と弾性を得られるようなタイパッドとレールをおさえるスプリングのバネ特性を選ばねばならない。大きな横圧によって過大な変形をしないような強度をもつレールプレスも必要である。

製鉄所などの産業鉄道では、整備の精度を維持することが重要であり、カント（内外レール面の高差）とそのてい減部はその点で困難な部分とな

るので、カントをつけないことと1つの台車に固定される軸数が多く、旋回性が悪いこと、カーブの半径が小さいこと（水島の例 最少 120 m）車輛自重がきわめて大きいことと相まって低速にもかかわらず、きわめて大きな横圧と衝撃力を軌道構造に加えるから、これを伝達する構造系の強度と弾性剛性のバランスは安全運転と保守費の節減をめざす上に最も重要な問題である。

2-6 絶 縁 度

絶縁の問題についても鉄マクラギを二分して間に絶縁体をはさんでレール間を絶縁する鉄マクラギをすでに実用に供しているが、軌道回路を使用しない信号装置や空間使用軌条ポイント自動ロック操作装置などを近時開発して絶縁困難という欠点もあまり問題にならなくなった（写真 4）。

表 2 木マクラギ、鉄マクラギ、PCマクラギ年間維持比較表

作 業 種 別	換算軌道年 1 km 当り作業人員（通過 t 数 10MT/year）			
	木マクラギ床板なし	木マクラギ床板付	鉄マクラギ	PCマクラギ
	路盤，鉋滓バラス	路盤，鉋滓バラス	路盤，鉋滓バラス	路盤，鉋滓バラス
継目作業	11	9	4.6	4.6
継目落直し	11	9	4.6	4.6
軌間作業	46	41	7	15
軌間直し	39	35	5	10
犬釘および締結装置補修	7	6	2	5
マクラギ作業	26.3	35.4	18	22.5
マクラギ位置直し	15	15	2	3
マクラギ補修	2.5	2	0.5	4
小返り直し	3.3	2.9	0	0
タイパッド補修	0	10	10	10
その他	5.5	5.5	5.5	5.5
道床作業	168	153	54	54
むら直し	123	113	35	34
通り直し	45	40	19	20
（マクラギ本数/km）	（1,640）	（1,640）	（1,560）	（1,560）
1kmあたり年間補修工数	251.3	238.4	83.6	96.1
比 率 %	301	285	100	115

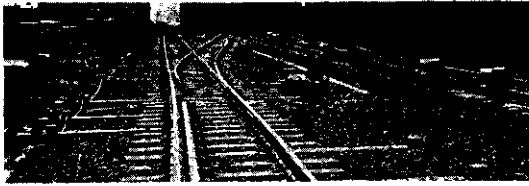


写真4 誘導無線用「軌条ポイント自動ロック操作装置」

2.7 維持費

輸送量に適合した鉄マクラギ構造であるため期待以上の好成績をおさめ線路保守費の大きな節減が実績からも明らかに認められるに至った。表2を見てもわかるとおり、木マクラギ構造P・C・マクラギ構造をそれぞれ鉄マクラギ構造化した場合に比して保守工数は約300~115%多く必要といえる。なお保線の機械化を採用することにより作業能率倍増化を進めたい。

3. 有道床区間重車輛用鉄マクラギおよびレール締結装置

3.1 鉄マクラギの規格

有道床区間重車輛用鉄マクラギは表3のように輪重10~30tにつき4段階の規格を定めた(これらに使用される鋼材はJIS 3101 SS 41 相当品を使用している)。マクラギの断面形状は、断面係数が大きくなるように、また内部に砂利を充てんして砂利道床に完全にくいこんだ状態にしやすいように、鋼矢板に似たU字形とした。この断面係数の大小は主として厚さ、高さ、側端幅bに影響される。しかし高さを大きくすると内部へ砂利充てんが困難となるので、使用するタイタンバーの能力にみあった高さにとどめなければならない。また側端幅が大きすぎると敷設直後すなわち内部に充てんした砂利がしめかたまらない状態のとき、この部分に応力が集中して側端部またはその直下の道床の破壊を起こす恐れがある。この2つの制限のもとで、レールに列車荷重が加わった場合、マクラギの変形(弯曲)が許容値以上の軌間拡大をおこさぬような断面係数を得られるように断面形状の設計をしなければならない。多くの試

作試用と実験の資料を解析して得られた規格は表3に示すように輪重10t(使用レール40kg N)・輪重15t(使用レール50kg N)に対しては、板厚9mmの鋼板を冷間プレスしてU字断面にするとともに端末も絞って折り曲げレールに直角方向の移動に対し抵抗させ、また上面をコルゲートにして断面係数をさらに大とし同時にレール締結装置のストッパーの役もさせる設計とした。この成形に低速度プレスを用いると板が裂けたり穿孔部にクラックが入ったりして歩留まりが悪かったが、仕上げをフリクションプレスで高速度圧下をかけることにより解決できた。輪重20t(使用レール50kg T)・輪重30t(使用レール60kg)に対しては板厚を12mmとし、端末の絞りやコルゲートする細かい加工が困難なのでU字形にプレス加工するだけで、レールを受ける部分の下面に補強板を溶接し端末絞りと同様な横移動抵抗の役も兼ねさせる。また締結装置のストッパーも上面に溶接でとりつけることとした。ボルト孔の下面にはボルトの脱落防止と砂利の盛上り防止のためアングルピースを溶接してある。

上記のほかに軌道回路を使用する区間用に絶縁鉄マクラギ(絶縁体の中にはさんで左右の鉄マクラギを連結する構造)・ポイント用長尺鉄マクラギも規格化されている(写真5)。

3.2 レール締結装置

締結装置はレール下にゴム製パッドを敷き板バネでおさえ、パッドとバネのバネ常数の組み合わせで必要な縦横方向の弾性を得るいわゆる2重弾性締結装置である。鉄マクラギの各規格に組み合わせべきバネは表3に示してある。この左右のバネの水平部の長さの異なったものを用い偏心した締結ボルト孔をもつゲージブロックとの組み合わせで軌間を2mmごと30mmまで調整可能に考案し、従来鉄マクラギでは困難であった軌間調整、とくに曲線部のスラックを容易に微調整し得るようになった。

横圧の特に大きい所に用いるレールプレス(写真6)回転止め付き締結ボルトとゆるみ発見が容易な防錆ゴムキャップ(写真7)車輪踏面がレールを圧下するとき、踏面の傾斜がレールに転倒モ

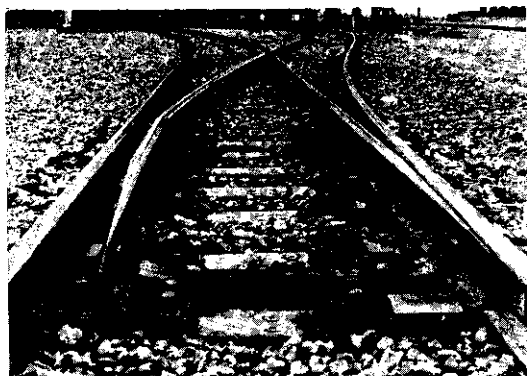


写真5 ポイント用長尺鉄マクラギ (継手絶縁受台式)

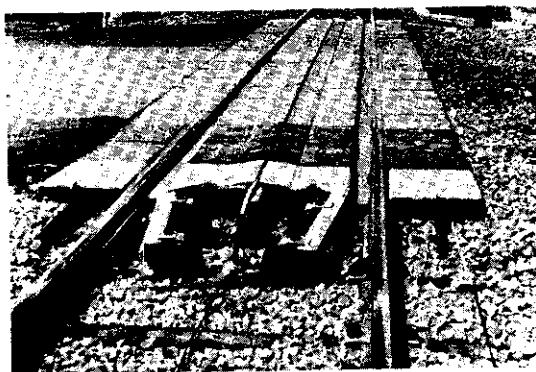


写真9 誘導無線用銅板踏切 (組立式)



写真6 ポイント用レールプレス (横弾性支持)

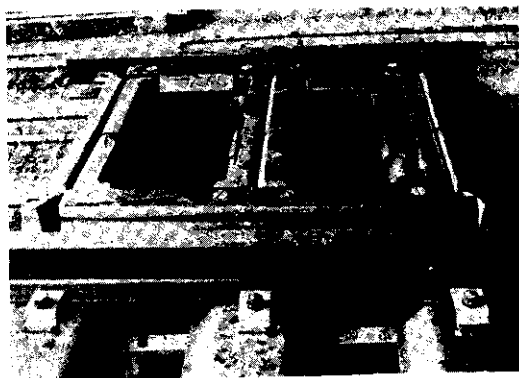


写真10 踏切舗装用枠体 (組立式)

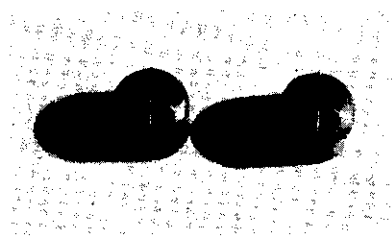


写真7 防錆ゴムキャップ35φ

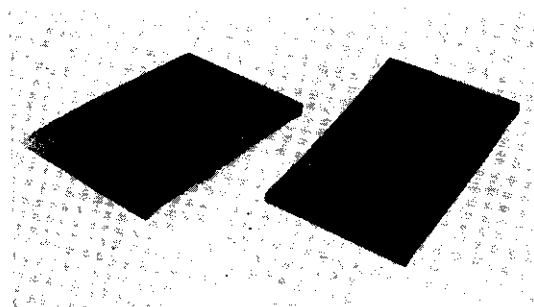
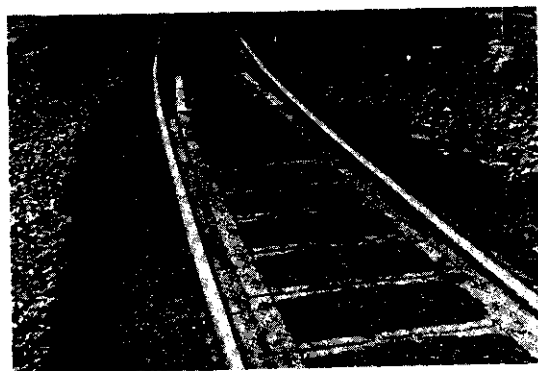
写真8 小返り防止用横溝パッド (ショルダー付)
6×220×145

写真11 合成タール混合鉱滓バラス踏切 (組立式)

車輛荷重や振動で破壊することが多かった。写真12, 13のような小口開放短鉄マクラギ下面とコンクリート道床上面間に隙間をもたせて、コンクリート内に埋めこむと十分な引き抜き抵抗が得られるとともにかなりの弾性(バネ常数: 約700t/cm)をもたすことができる。すなわちバネとして働

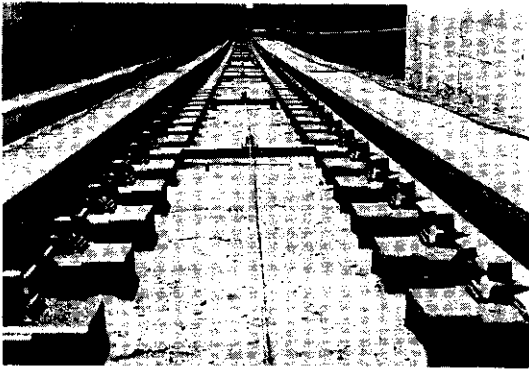


写真 12 無導床短鉄マクラギ軌道
(軌道中央アンテナ線弾性固定具勾配50/1,000区間)



写真 13 無導床短鉄マクラギ受台式レール弾性締結装置
(アンチクリーパー付勾配50/1,000区間)

いて振動緩和の働きをしている。鉄マクラギ内側にコンクリートを充てんしてあるかないかにより、レールパッドより鉄マクラギ部分への振動加速度低下は $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{5}$ となる。マクラギ下面にはアンカー力を強くするため鉄筋を溶接する。レール締結方法は写真 13 のとおり有道床用の締結装置と同じ形式である。

5. クレーン用レール締結装置

クレーンも生産規模の拡大につれ、近年ますます巨大化しつつあるが、軸数の増加にも限度があるので、クレーン輪重は大きくなるばかりであ

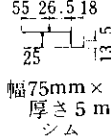
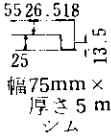
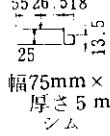
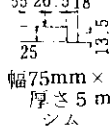
る。天井走行クレーンレールは高い柱に交えられた鋼桁上に敷設されるので、レール間隔が非常に大きく柱や基礎の変位による変化も大きい。レールがかなり剛性の高い鋼桁上に敷設されるので、有道床鉄マクラギの弾性締結装置以上に強度と弾性をもった弾性締結を設計しなければならない。従来は弾性に乏しい締結法を採用していたのでレールの破壊が頻発していた。また走行時の振動、とくに高周波の振動波が鋼桁から柱をとって機械類に伝達され、精密性を要する機械に悪影響を与えることも多いのでクレーン用レール締結装置には防振の機能も要求される。このように天井走行クレーンレールについては有道床軌道とは異なったむづかしい問題が多く、これに関しても研究を進めているので詳細は別の機会に発表する予定である。要するに天井走行クレーンレールの締結は有道床用に比べてより大きな弾性（縦横方向とも）が必要であり、さらに衝撃振動を吸収する機能も必要であって、しかも、レールの通りきょう正軌間の大幅なきょう正も容易なものでなくてはならない。

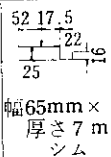
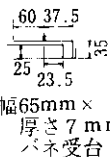
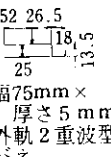
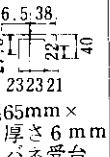
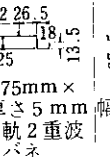
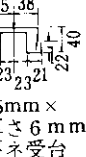
現在の規格は表 4 のように定めてあるが、軽荷重（輪重10～40 t）用はバネ受台と調整シムで横圧を受ける構造・重荷重（輪重60～90 t）は2重波型バネか2重板バネの下バネで横圧を受ける構造となっている。鋼桁上にレールを締結する場合パッドの役目は有道床鉄マクラギ上に締結する場合よりもより重要となる。押えバネとの組み合わせを考えてそのバネ常数を決定しなければならない。また荷重を受けるたびにパッドがレールからずり出す傾向があるので、写真 14 のようにレール方向に長く連続させ横溝を切ることによって、ふく進を防止し、溝の単一変形化によるタイパッドの耐久性アップなどに成功した。レール継目には写真 15 のような3枚の楔形継目板を使用しレール断面（ウェブ部）の不整に適合しうる構造を考案した。



写真 14 継手式横溝带状パッド 6×140×1,020

表 4 天井クレーンレール締結装置性能比較表

	40kgN	50kgN	60kg	74kg
	単 独	単 独	単 独	単 独
輪 重 (t)	10	15	30	40
横 圧 (t)	1.0	1.5	3.0	3.5
レール断面二次率 (cm ⁴)	1,360	1,960	3,090	836
パッド(幅×厚さ) (mm)	120×6	125×6	143×6	190×12
パッドばね常数 (1mあたり) (t/cm)	200	150	700	1,300
パッドの支圧力 (kg/cm ²)	9	10	24	40
バ ネ 初期ボルト緊締力 1,200kg 締結間隔 50cm				
バネのボルト位置のばね常数 (t/cm)	19.7	19.7	19.7	19.7
バネ先端の上向ばね常数 (t)	2.1	2.1	2.1	2.1
小 返 角 (rad)	0.001,386	0.001,839	0.002,221	0.004,625
ボルト緊締力の変動 (kg)	1,200~840	1,200~822	1,200~803	1,200~314
レール締結力の変動 (t)	390~273	390~267	390~261	390~120

	101kg		73kg		100kg	
	単 独	添鉄250×16	単 独	添鉄200×16	単 独	添鉄220×16
輪 重 (t)	60	90	60	70	70	90
横 圧 (t)	4.0	5.0	4.0	4.5	4.5	5.0
レール断面二次率 (cm ⁴)	1,408	2,367	2,030	3,368	3,240	5,182
パッド(幅×厚さ) (mm)	210×12	250×12	130×12	200×12	145×12	220×12
パッドばね常数 (1mあたり) (t/cm)	900	1,300	800	800	800	1,000
パッドの支圧力 (kg/cm ²)	43	50	60	41	56	45
バ ネ 初期ボルト緊締力 1,200kg 締結間隔 50cm						
バネのボルト位置のばね常数 (t/cm)	100	22.6	外軌20.3 内軌35.3	20.0	外軌20.3 内軌35.3	20.0
バネ先端の上向ばね常数 (t)	6.3	3.3	" 2.3 " 6.6	4.0	" 2.3 " 6.6	4.0
小 返 角 (rad)	0.003,206 (皿バネ使用)	0.002,750 (皿バネ使用)	0.002,455 (皿バネ使用)	0.001,828	0.001,824 (皿バネ使用)	0.001,407
ボルト緊締力の変動 (kg)	1,200~0	1,200~3	1,200~0	1,200~187	1,200~0	1,200~202
レール締結力の変動 (t)	302~0	413~1	405~0	540~84	405~0	540~91

(注) 表中のほかパッドのばね常数の低いものには、必要により平ワッシャーの代りに皿バネを使用する。
 なお、横圧緩衝用波型バネは2重のもののはか、1重のものは必要に応じ他形式にも使用する。

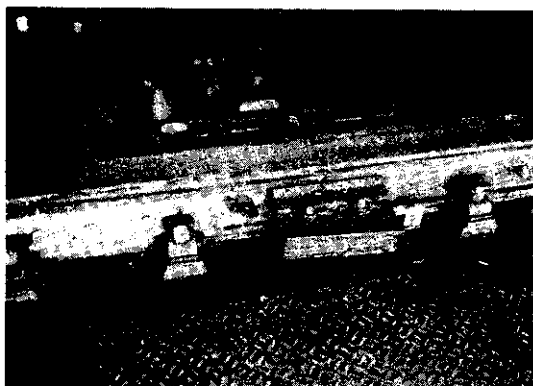


写真 15 クレーンレール74kg締結
(3枚の楔形継目板, 継目部)



写真 16 クレーンレール74kg締結 (受台方式, 中間部)

6. 結 び

鉄マクラギは19世紀初頭から後半にかけて、ドイツを中心としてベルギー・フランス・ポーランドなどの欧州各国からインド・メキシコ・南米に

いたる広い地域にわたって敷設され、一時は世界のマクラギの40%を占めるにいたったが、豊富な木材資源と木材処理技術の進歩や大釘のみの簡単な締結装置の利点などから安価で便利な木マクラギに駆逐され、さらに近年は強くて耐久性の大きいことからP. S. コンクリートマクラギにとって代われつつあるのが一般のすう勢である。

鉄マクラギが敬遠されたのは高価であること、弾性に乏しいこと、締結装置が大釘締結に比べ複雑になること、道床ひき固めが困難なこと、錆びること、スラックをとることや軌間きょう正が困難なこと、レール間の絶縁が困難なことなどによる。しかし近代技術の進歩はこれらの鉄マクラギの欠点をほとんど解決しうることは前述のとおりである。

2, 3の製鉄所で鉄マクラギを使用し始めたのも、上記の鉄マクラギの利点が見直されつつある証拠であろう。

鉄マクラギおよび締結装置とその付属部品は水島製鉄所建設当初から実用に供しつつ種々改良を重ねてきたものである。この適正な組み合わせにより保守の合理化が達成されている。とくに競争相手のP. C. マクラギでは解決できない鉄マクラギ特有の長所も多くあり、大いに将来性が期待できる新製品であると考えられる。今後とも理想的鉄マクラギおよびレール締結装置の改善に種々の研究を重ねるとともに新市場の開発に努力していくつもりである。

この一連の開発研究にご援助をいただいた東京大学八十島義之助教授・法政大学山門明雄教授・京都大学後藤尚男教授・金沢大学小野一良教授・また製作加工についてご協力いただいた城戸口鉄工株式会社・光川鉄工所の各位に深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 小野諒兄： 鉄道線路の構造および強度Ⅱ〔アルス〕
- 2) 高橋憲雄： スピードアップと脱線, [丸善株式会社]
- 3) 日本国有鉄道運輸総局： 線路軌道理論Ⅰ
- 4) 佐藤裕： 軌道力学, [鉄道現業社]
- 5) 中条隆一郎： 速度と保線, [鉄道現業社]
- 6) 松原健太郎： 新幹線の軌道, [日本鉄道施設協会]
- 7) 横堀進： 鉄道車輛工学, [共立出版株式会社]