
モノレール走行路面用すべり止め鋼板の諸特性

Characteristics of Newly Developed Slipless Steel Rail Plates for Monorail Guideways

金子 忠男(Tadao Kaneko) 山中 栄輔(Eisuke Yamanaka) 町田 豊(Yutaka Machida) 三浦 啓徳(Hironori Miura)

要旨：

都市モノレールやガイドウェイシステムなどのゴムタイヤ走行輪を有する交通システムの走行面は、車輛の安全走行の面から雨天や露結などの湿潤時のすべり防止が考慮されねばならない。このことは鋼製軌道桁表面および縦断勾配3%以上の場合には特に留意すべき問題である。今回、従来のすべり止め工法であるエポキシ樹脂モルタル塗布に代わる新しいメンテナンスフリー型すべり止め工法としてロール圧延機つき鋼板を開発したが、本論文では湿潤時にも適切なすべり摩擦係数を確保しうる溝形状を選定するために行った。屋内における乗用車を用いた簡易すべり試験および実物タイヤを用いた屋外走行試験および構造部材としての製品疲労強度試験の結果について述べる。

Synopsis：

Rails of monorail and guideway systems using rubber tires must maintain frictional resistance in wet conditions for safe driving. Especially this fact is particularly important when the rail has steel plates on its running surface and its longitudinal gradient is more than 3%. Therefore, a slipless-type steel plate rail for above-mentioned systems has been newly developed. This plate has hot rolled semicircular grooves which are placed in the transverse and longitudinal directions, and can have the effective frictional function when the rubber tires come into contact with these lattice-shaped shallow grooves and deform elastically in their running. This paper describes experimental studies on the relationships between the groove shape, the coefficient of friction and fatigue strength in using this plate to the main member of the guideway girder.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

金子 忠男* 山中 栄輔** 町田 豊*** 三浦 啓徳****

Characteristics of Newly Developed Slipless Steel Rail Plates for Monorail Guideways

Tadao Kaneko, Eisuke Yamanaka, Yutaka Machida, Hironori Miura

要旨

都市モノレールやガイドウェイシステムなどのゴムタイヤ走行輪を有する交通システムの走行面は、車輛の安全走行の面から雨天や露結などの湿潤時のすべり防止が考慮されねばならない。このことは鋼製軌道桁表面および縦断勾配3%以上の場合には特に留意すべき問題である。今回、従来のすべり止め工法であるエポキシ樹脂モルタル塗布に代わる新しいメンテナンスフリー型すべり止め工法としてロール圧延溝つき鋼板を開発したが、本論文では湿潤時にも適切なすべり摩擦係数を確保しうる溝形状を選定するために、室内における乗用車を用いた簡易すべり試験および実物タイヤを用いた屋外走行試験および構造部材としての製品疲労強度試験の結果について述べる。

Synopsis:

Rails of monorail and guideway systems using rubber tires must maintain frictional resistance in wet conditions for safe driving. Especially this fact is particularly important when the rail has steel plates on its running surface and its longitudinal gradient is more than 3%. Therefore, a slipless-type steel plate rail for above-mentioned systems has been newly developed. This plate has hot rolled semicircular grooves which are placed in the transverse and longitudinal directions, and can have the effective frictional function when the rubber tires come into contact with these lattice-shaped shallow grooves and deform elastically in their running. This paper describes experimental studies on the relationships between the groove shape, the coefficient of friction and fatigue strength in using this plate to the main member of the guideway girder.

1. 緒 言

都市内の交通量緩和と都市近郊から都市への簡便かつ安価な交通手段の確保を目的とする新交通システムが多くの都市で構想化され、そのうち一部はすでに実施されている (Table 1 参照)。これらはガイドウェイバスで代表される狭義の新交通システムと都市モノレールに大別されているが、都市内での大量かつ高速輸送機関である地下鉄に準ずるものとして、地下鉄よりも建設費が格安であること、国家的都市行政の一環として有利な建設費補助 (インフラストラクチャー補助方式) があることなどから、今後地方中枢都市を中心にますます建設が加速されるものと思われる。

さて、これらのガイドウェイバスや都市モノレールは専用軌道上を高圧ゴムタイヤで走行することに特徴があるが、これにより走行の安定性、安全性、快適性および低騒音性などが確保される。軌道は都市内空間を有効利用するため高架構造であり、通常コンクリート製であるが、支間長が大きくなる場合 (25m 以上) および懸垂型モノレールなどでは鋼製となる。鋼製軌道上を、雨や露結などの湿潤条件下で上述のような硬質高圧タイヤが走行するとき、スリップすることが懸念されるため、適当なすべり止め処理を施すことが原則となっている¹⁾。ゴムタイヤと鋼製軌道面との間のすべり止め工法として、湘南モノレール (懸垂型)、千葉都市モノレール (同型) のように一般的には珪砂を骨材としたエポキシ樹脂モルタルを8~15mm 厚に塗布している。この工法はまた、神戸新交通ポートアイランド線の

ように鋼製軌道面のみならず、コンクリート軌道面にも同じ目的で施工される場合もある。本工法はゴムタイヤとの間に摩擦係数を増大させ、かつ走行騒音を低減させるなど有用な効果が得られるものの、繰返し走行荷重や紫外線による材質劣化の影響で破損を受けやすく、特に高架軌道においては破片が落下し軌道直下の既存交通に安全上の重大な悪影響を及ぼすことも考えられる。また、破損部の補修に関しても交通サービスの制約から深夜作業となり、施工性や養生期間の面からも未解決の問題を残しており、さらに補修箇所は爾後の弱点になりやすく、補修回数も頻度を増す危険性がある。

他方、バリやマルセイユ地下鉄のようにH型鋼製軌道表面に円弧状の機械切削溝加工を施し、すべり止め工法として供用している例がある。本工法はタイヤゴムが加工溝に噛み合う際の変形ヒステリシス損失による摩擦力²⁾に期待するものであり、すべり止め工法としては溝形状の選定により、メンテナンスフリーの合理的なものとなりうる。しかし、機械切削加工によるため製作費が割高になることは否めない。

本研究は上記既往すべり止め工法のうち、後者のメンテナンスフリー型の利点に着目し、切削溝に対して当社固有の圧延溝加工技術を応用のうえ、

- (1) 製造方法の検討
- (2) 溝形状とすべり止め性能の究明
- (3) 溝加工による疲労強度の調査

を実施し、合理的かつ経済的なすべり止め工法を提案するものである。また、本工法が大型都市モノレールプロジェクトであ

* エンジニアリング事業部構造技術研究所主任研究員・工博
** 技術本部製鋼・鋼材技術部製鋼・鋼材技術室主査 (課長)
(昭和57年11月22日原稿受付)

*** 水島製鉄所管理部条鋼管理室主査 (課長)
**** 水島製鉄所条鋼圧延部条鋼技術室

Table 1 List of monorail and guideway system projects in Japan

都市名	路線名 (区間)	形式	実延長 (km)	総事業費 (百万円)	軌道 経営主体	事業開始～ 完成予定年度	特許(免許)年月日 都計決定" 施行認可"
北九州市	小倉線 (国鉄小倉駅前～ 小倉南区大字石田)	モノレール (跨座式)	8.7	68 714	第三セクター (北九州高速 鉄道株式会社)	昭和49年度 ～ 昭和58年度	昭51.12.6 昭51.12.16 (昭53.9.14) (昭55.5.22)
千葉市	山の手線 (千葉市中央港 ～「星久喜」 「千城台」)	モノレール (懸垂式)	17.7	85 000	第三セクター (千葉都市モノレ ール株式会社)	昭和52年度 ～ 昭和62年度 (60年度一部開業)	昭56.3.5 昭56.3.27 申請中
桜村 (茨城県)	筑波研究学園線 (筑波大学附属病院 ～花室バスセンター)	ガイドウェイ	1.5	4 200		昭和53年度 ～ 昭和59年度	
横浜市	金沢シーサイドライン (仮称) (国鉄新杉田駅～京 浜急行金沢八景駅)	ガイドウェイ	10.4	55 137		昭和54年度 ～ 昭和59年度	申請中
池田市 豊中市 吹田市 茨木市 小牧市	大阪モノレール (大阪国際空港～ 阪急電鉄南茨木駅)	モノレール (跨座式)	13.7	59 600	第三セクター (大阪高速鉄道 株式会社)	昭和55年度 ～ 昭和61年度 (59年度一部開業)	
	桃花台線 (名鉄小牧駅～桃花 台ニュータウン)	ガイドウェイ	7.7	24 552	第三セクター (桃花台新交通 株式会社)	昭和50年度 ～ 昭和60年度	昭55.4.26 昭55.7.9 申請中
那覇市	那覇モノレール (仮称) (那覇市字赤嶺～ 那覇市首里汀良町)	モノレール (跨座式)	11.1	42 114	第三セクター	昭和56年度 ～ 昭和64年度 (62年度一部開業)	

る北九州モノレール小倉線の鋼製軌道面に採用されたので、その概要についても述べる。

2. 開発の経緯

2.1 溝形状の選定

鋼板表面のすべり止め工法としては路面覆工板³⁾や床用鋼板に例をみるように圧延突起を表面に配列して摩擦抵抗を確保する方法がある。本研究ではこの原理を進展させ、さらに表面の突起を得るのに当社固有の角小突起圧延技術を応用したが、概念的には突起を粗大化し、突起相互間の溝ですべり摩擦抵抗を確保するものである。ゴムタイヤ走行用軌道面として開発製品に要求される項目は以下のとおりである。

- (1) 大径の硬質高圧タイヤで湿潤状態、かつ、60km/h 走行時にすべり摩擦係数 $\mu=0.25$ 程度を確保すること。
- (2) 走行面が軌道桁の主部材として併用できること。すなわち、溝配列にもかかわらず力学的疲労強度を確保できること。
- (3) 走行時のタイヤと溝の間で発生する走行騒音をできる限り低くすること。
- (4) 溝付与によるゴムタイヤの異常摩耗を極力さけること。
- (5) 製品コストが低廉であること。

上記諸問題を解決するにあたって以下のように考察した。溝形状の選定に関しては既往資料が皆無の状態であり、かつ、冒頭で述べたように製品を実プロジェクトである北九州都市モノレール小倉線へ適用すべき時期が切迫していたため、きわめて

大胆ではあるが、当社の角小突起付き路面覆工板の技術資料⁴⁾と後述のような簡単な乗用車を用いた室内すべり試験とにより決定した。文献4)によれば、突起付き鋼板と乗用車用ゴムタイヤとの間の湿潤時すべり摩擦抵抗に関して次のような知見が得られている。

- (i) 突起幅 3～12mm、溝幅 4～9 mm、溝深さ 3 mm の範囲では突起の形状を示すパラメータである突起幅と溝ピッチの比 K の増大に伴い、湿潤時摩擦係数 μ は 0.7～0.5 と減少する傾向にある。
- (ii) $K=0.5$ の製品に対し乗用車を用いた室内すべり抵抗試験と現場における実走行によるすべり抵抗試験とでは実験手法の差異から後者の結果は前者よりも小さくなる。したがって、 $K=0.5$ における現場湿潤時摩擦係数 $\mu=0.4$ と文献5)に示されている通常の黒皮つき平鋼板の湿潤時の $\mu=0.18$ をもとに、両者を単純に結んで得られる直線で上記(1)における要求 μ 値 0.25 に対する形状比 $K_1=0.82$ を求め、さらに $K=0.5$ 、 $\mu=0.4$ なる点に(i)の実験値から得られる勾配 $\Delta\mu/\Delta K$ を適用した直線に同様な操作をして $K_2=0.92$ を得た。 K_1 は摩擦の面で K_2 よりも、また K_2 は騒音の面で K_1 よりも有利であるが、所要 μ を得るための目安として両者の平均値に近く、かつ溝ピッチが整数値となる $K=0.867$ を求め、溝ピッチ 45 mm を決定した。溝の断面形状は圧延ロールの加工と圧延技術の制約および上記問題点(2)とから半径 3 mm の半円溝とし、溝幅約 6 mm、溝深さ 2.5 mm とした。つぎに溝の平面形状に関しては、圧延技術上、溝と製品全体の寸法精度を向上させることに重点を置き選定したが、圧延上からは単純な幾何形状が望ましく、これが(3)、(4)、(5)の問題

解決につながることから格子形状とした。すなわち、Fig. 1 に示すように摩擦を増すための横溝と以下に示す効用をもつ縦溝とを配置した。なお、図示のように、縦溝に関しては使用タイヤのトレッドパターンとでできる限り重複を避け、ピッチを80 mmとした。縦溝の効果として以下が期待される。

- (1) 縦溝の配置により、軌道面縦断方向の排水がよくなり、走行時のタイヤ水切り音を減少させることができる。
- (2) タイヤ接地部で圧縮空気が逃げやすく、圧縮空気開放による走行騒音を低減することができる。
- (3) (1)の効果により水膜が形成されにくいので2次的効果としてすべり抵抗の低下を防止することができる。
- (4) タイヤ走行の安定性を増すことができる。
- (5) 圧延製品の仕上がり精度が向上する。

2.2 圧延方法

2.1節で決定した製品を圧延するにあたり、製品コストの低廉化と製品精度を確保するため、縦溝および横溝の成形を分割し、2つの孔型を用いて圧延する方法を採用した。これは、従来一般的に行われている仕上げ圧延1パス法では、圧延ロールの製品溝部に相当する格子状突起の切削加工時に、特殊機械を用いねばならず、加工コストが高くなること、および、製品の縦溝、横溝の交差部のブルダウンが大きくなり、溝形状の精度が確保

しにくいこと、が考えられるためである。Fig. 2に圧延ミルのレイアウトを示す。また本製品の製造実績として、Table 2に圧延材の化学成分をTable 3に板厚25mmの鋼板の機械的性質を示す。さらに、寸法諸元のうち特に疲労強度に影響するため精度要求の厳しい溝深さ(2.5mm)の実績を代表例としてFig. 3に示すが、上述圧延法の採用により好結果が得られている。本製品の外観をPhoto. 1に示す。

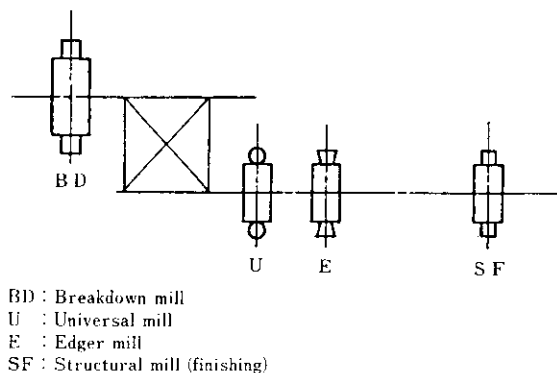


Fig. 2 Mill layout

3. すべり止め鋼板の諸特性

3.1 すべり摩擦係数

3.1.1 簡易室内実験

(a) 実験方法

2章で述べたような溝形状を有する圧延溝つき鋼板のすべり摩擦抵抗を調査するため、Fig. 4に示すように普通乗用車を用

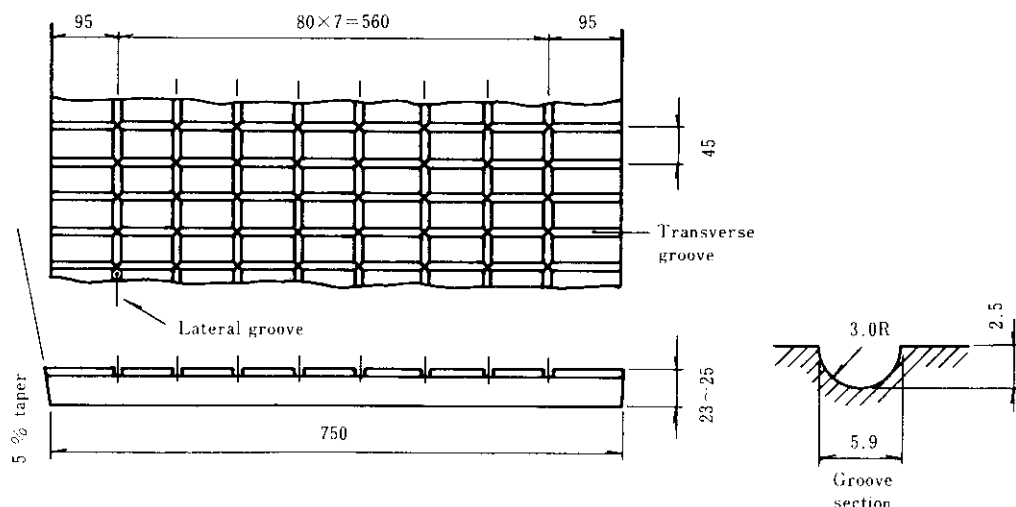


Fig. 1 Shapes and dimensions of developed slipless plates

Table 2 Chemical composition of test materials

Materials	C	Si	Mn	P	S	Nb	Al
A	0.15	0.20	0.90	0.014	0.005		0.029
B	0.16	0.34	1.30	0.015	0.07	0.032	0.030

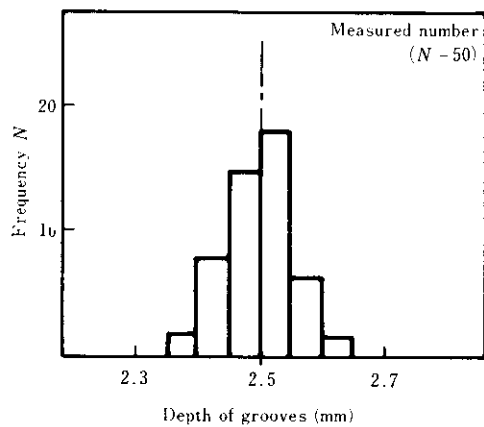


Fig. 3 Dimensional results of rolled groove depth

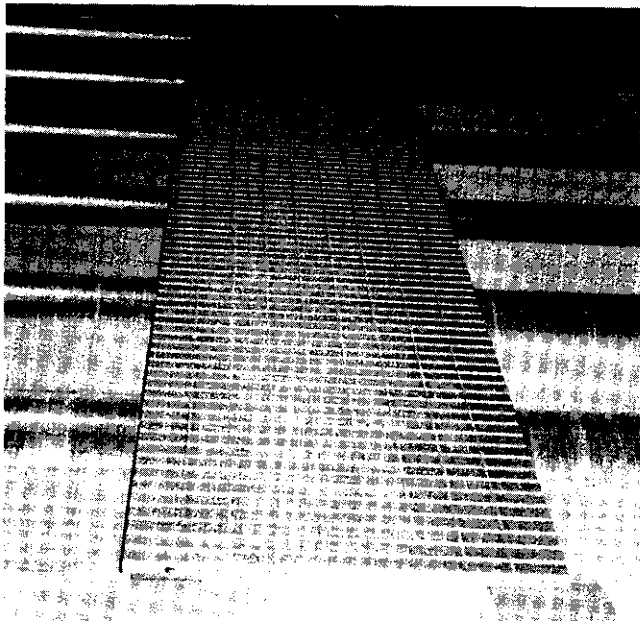


Photo. 1 Produced slipless plate with rolled lattice-shape grooves

いて室内実験を実施した。実験手法は乗用車前輪に発進止めを設置のうえ、床上に固定し、後輪部をクレーンにて懸垂したまま、エンジンを始動させ、後輪の回転が安定した段階で所定位置に設置された供試体上に載せて空転させる方式を採用した。

図のように供試体は3つの鉛直方向検力器と摩擦抵抗が無視できるコロにて鉛直支持され、水平方向検力器を中間に有する水平連結棒により水平支持されており、乗用車後輪が上載されるとき鉛直力 N と後輪ゴムタイヤが供試体と接触しながら空転するときの水平方向けり出し力 F とを計測のうえ、両実測値から $\mu = N/F$ をもとめ摩擦係数とした。なお、後輪タイヤの回転速度はタイヤに貼付した反射板に光線をあて、反射光をパルスメータを用いて計測して一定時間内の回転数とタイヤ周長とから時速を計算して求めた。また、当然のことながら、必要摩擦係数は湿潤時のものであるから、供試体全面に一樣に散水できるように工夫し、供試体とタイヤの間に十分なる水膜が形成されるよう毎分13.4lを連続散水した。

さらに実験に使用したタイヤはブリヂストン社製(5.60-13)であり、Photo. 2に示すような都市モノレールなどに用いられる可能性のあるトレッドパターン2種(b), (c)と比較対照のためのトレッドパターンのないスムーズタイヤ(a)および普通乗用車の標準タイヤ(d)である。なお、実験中の後輪荷重は220kgf、タイヤ内圧は1.7kgf/cm²と一定に保持した。

(b) 供試体

供試体および実験内容の一覧をTable 4に示す。表中ロール圧延溝つき板以外はすべて普通鋼板表面に機械切削により溝加工を施したものである。

なお、実験ケース3のショットプライマー処理はエポキシシンクリッチプライマーを2層(65 μ m)塗布したもの、本塗装は前記プライマー処理後エポキシM10塗料1層(100 μ m)を重ねたものである。

また、塗装面は14H以上気中養生したものを用いた。さらにケース4は比較対照資料を得るための実験である。実験ケース5は直交格子溝にかわりタイヤ走行直角方向と18°傾斜する斜交格子を有する溝つき鋼板に関する特性値を調査するためのものである。

供試体の代表例をPhoto. 3に示す。

(c) 実験結果

まず、実験の第1目的である実験ケース3の圧延溝つき板と各種タイヤとの間の湿潤時すべり摩擦係数とタイヤ回転速度との関係を示せば、Fig. 5のとおりである。図中には比較対照のため、ロール圧延品と同形状の機械切削溝つき板1-1と平滑板4-1の結果も併記した。すべり摩擦抵抗は他のコンクリートやアスファルト路面の場合と同様にタイヤ回転速度の上昇とともに

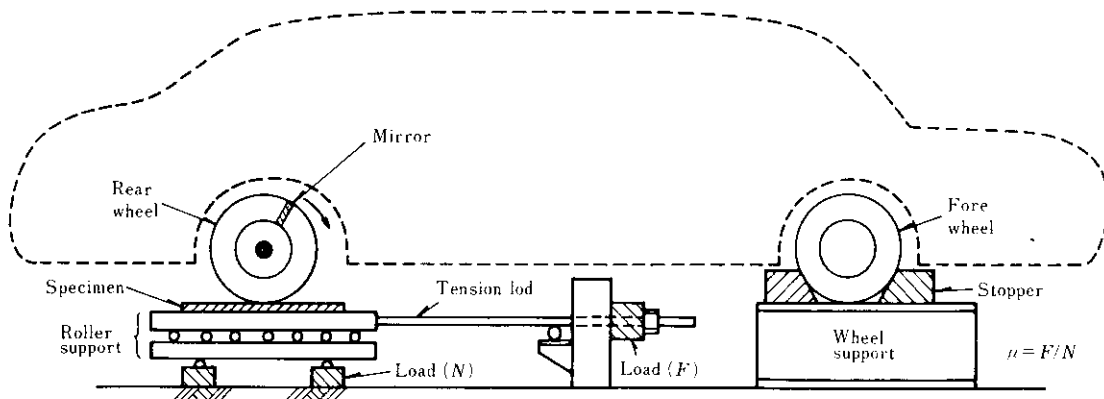
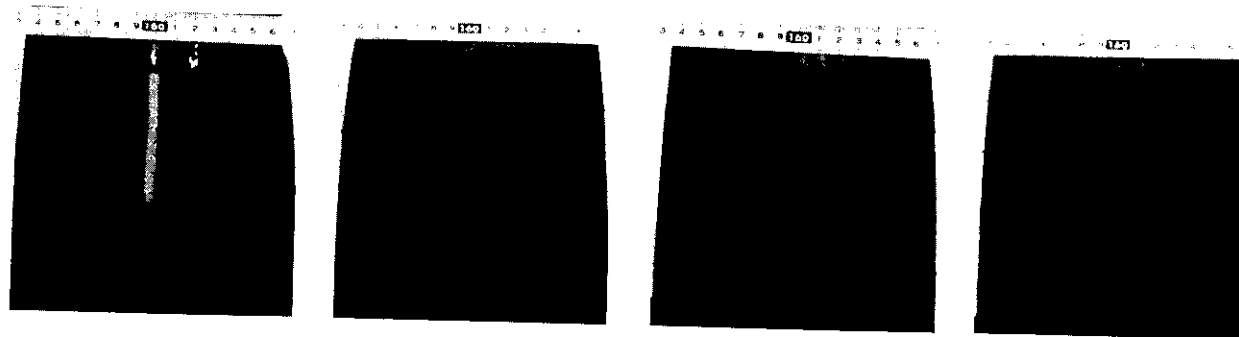


Fig. 4 Experimental equipment of friction resistance test in wet condition



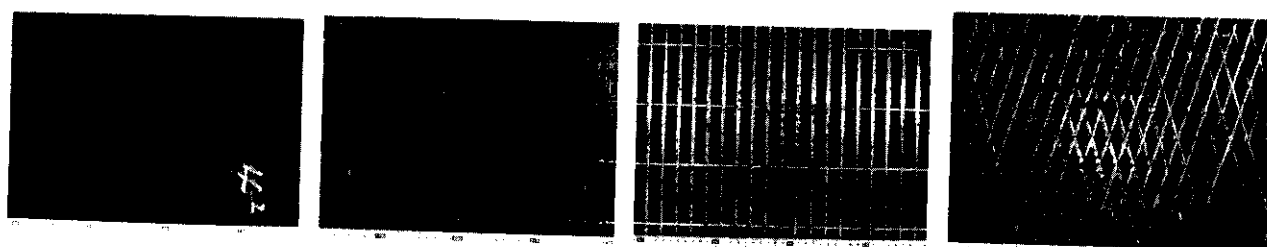
(a) Smooth

(b) Straight rib

(c) Zigzag rib

(d) Normal type

Photo. 2 Tire tread patterns used in laboratory test



(a) 3-1

(b) 1-2

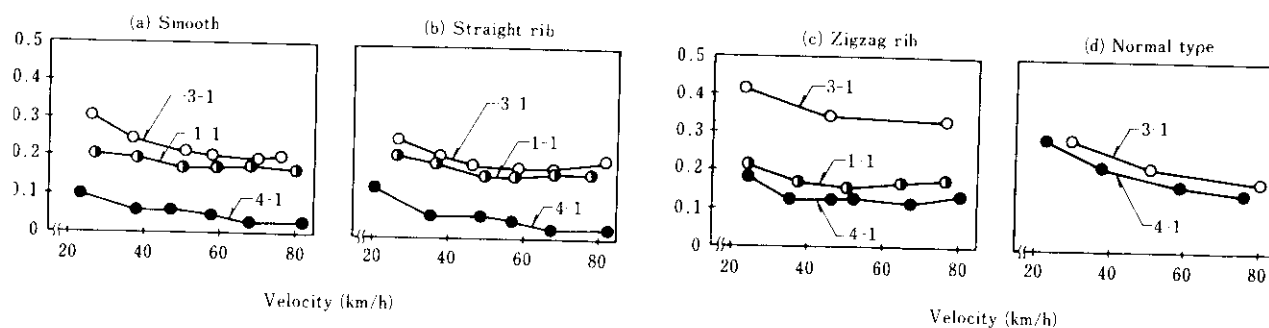
(c) 1-3

(d) 5-2

Photo. 3 External appearances of typical specimen shown in Table 4

Table 4 Types of specimens and experimental conditions

Experiment No.	Varieties	Specimen						Remarks
		No.	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	
1	Groove pitch	No.	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	Machined groove Groove radius : 3mm Groove depth : 2.5mm
		Pitch (mm)	45	30	20	15	12	
2	Groove width	No.	2-1	2-2	2-3	2-4		Machined groove Groove depth : 2.5mm Groove width: 8.7mm (R5mm), 10.7mm (R7mm)
		Pitch width (mm)	45	45	20	20		
			8.7	10.7	8.7	10.7		
3	Plate surface	No.	3-1	3-2	3-3	3-4		Rolled groove Groove pitch : 45mm Groove radius : 3mm, Groove depth : 2.5mm
		Condition	As rolled	Shot blasted Rz 55 μ m	Painted (Primer)	Painted (Epoxy)		
4	Flat plate	No.	4-1					As rolled plate (SS41)
5	Groove pattern (Skewed lattice)	No.	5-1		5-2			Machined groove Groove radius : 3mm Groove depth : 2.5mm Intersect angle between grooves : 36°
		Pitch (mm)	30		20			

Fig. 5 Coefficients of friction, μ , between rubber tires and steel plates with semicircular grooves in wet condition

単調減少する傾向があり、当然のことながら、タイヤのトレッドパターンが耐すべり型であるジグザグリブパターンの場合が最も大きく、ストレートリブタイヤおよびリブタイヤが摩耗した場合を想定したスムーズタイヤではほぼ同等の結果であった。タイヤ回転速度が60km/hにおけるロール圧延製品のすべり摩擦係数はジグザグリブパターン以外では0.18~0.21であり、目標とした0.25より約20%減の値を示したが、ジグザグリブパターンでは0.33で逆に約30%増の値であった。なおロール圧延品と機械加工品を比較すれば、圧延品のほうがいずれも値が高いが、これは前者の表面粗度が若干高いことおよび圧延溝近傍の平坦度が若干低いことが摩擦に対して有利に働いているものと思われる。また、溝つき板と平滑板とを比較すれば、タイヤ自身の摩擦増伸機能が低いスムーズおよびストレートリブタイヤでは値の格差が大きく、溝付加による効果が明確にあらわれているが、タイヤ自身に耐すべり機能を有するジグザグリブおよび標準タイヤでは両者の値は接近し、溝の効果は顕著ではない。

上記結果中、特に(a)図から明白なようにタイヤが供用中に摩耗し、スムーズタイヤに近いものとなっても、ロール溝つき板では60km/h程度の車速で0.2程度の湿潤すべり摩擦係数が確保されることは注目に値する。

ついで実験ケース1の溝ピッチを種々変化させた場合のすべり摩擦係数の変化を示せば、Fig. 6(a)のとおりである。この場合の使用タイヤはすべりに対して最も不利なスムーズタイヤであるが、図より明白なように溝ピッチが小さくなれば、タイヤの変形ヒステリシス損失が大きくなるので摩擦係数は上昇する傾向が見受けられる。Fig. 6(b)は溝ピッチと深さを一定にし、溝幅を変化させた場合であるが(実験ケース2)、図示のようにピッチ45mmおよび20mmの両方とも、溝幅6.0, 8.7, 10.7mmの範囲ではほとんどすべり摩擦係数の変化がなく、溝幅の摩擦係数への寄与はきわめて小さい。

Fig. 6(c)はロール圧延製品の鋼板表面の状態に対応するすべり摩擦係数値を示したものであるが(実験ケース3)、特に表面粗度の影響が顕著であり、すべり摩擦係数はショットブラスト面(Rz55 μ m) > 黒皮(Rz40 μ m) > 本塗装 > プライマー塗装、の順である。Fig. 6(d)は溝の断面形状は同一とし、平面形状を直交格子型から斜交格子型に変化させた場合のすべり摩擦係数を図示したものであるが、溝ピッチ30mm、および20mmの双方とも斜交格子型のほうが若干高い値が得られており、すべり防止に関しては有利な傾向が見受けられる。これは斜交格子の場合溝部がタイヤと常に連続して嵌合することに起因しているもの

と思われるが、今後製品化に関して圧延技術と対処して一考すべき問題と思われる。なお、実験ケース3ではロール圧延品の表面状態に関する諸データを求めたが、本製品が走行路面として使用される場合、長年月の供用期間中おびただしい回数のゴムタイヤ通過により、一定箇所を研磨される結果となることが予想されるため、現在供用中のモノレール軌道における鋼製フィンガージョイントのゴムタイヤ走行部および非走行部の表面粗度の調査を行った。当該調査部は取付け後約16年を経過しており、約76万列車が通過したものである。調査の結果、フィンガージョイントの走行部では表面粗度がRz20~25 μ m程度であり、非走行部と比較すれば約20 μ m程度小さくなっていることが判明した。したがって、すべり摩擦係数の追加実験として、ロール圧延品の表面をバフ研磨加工のうえ、その粗度をRz 2~5 μ mとしたものについて、すべりに関して最も不利な極限状態における係数を調査した。試験条件は前記実験と同様であるが、タイヤ後輪荷重を315kgfと若干大きくした。なお、比較対照のため、ロール圧延品と同表面粗度の平滑板についても同様の調査をしたが、タイヤはすべて乗用車用標準タイヤ(560-13)を用いた。結果をFig. 7に示すが、図における各曲線は同一の試験4~6回の実測値から最小2乗法により求めたものである。黒皮材では溝つき鋼板および平滑板ともに後輪荷重の増大によりFig. 6(d)の値より、かなり大きなすべり摩擦係数が得られている(曲線①, ②)。しかしながら表面粗度がRz 2~5 μ mと小さくなれば、溝つき鋼板は曲線③に、また平滑板は曲線④のように摩擦抵抗が減少し、さらにタイヤが摩耗した限界状態ではそれぞれ曲線⑤, ⑥のように摩擦抵抗が激減する。図よ

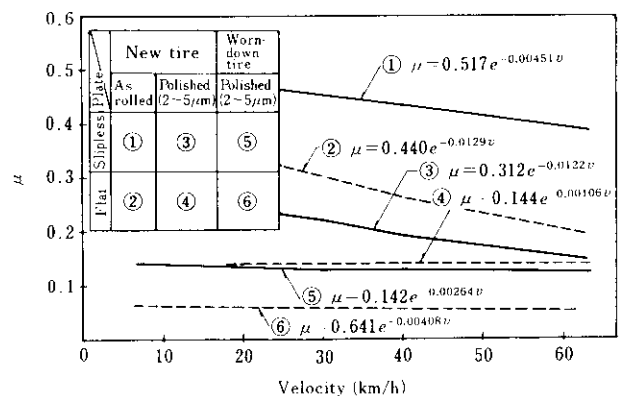


Fig. 7 Coefficients of friction between steel plate surface and rubber tires by changing both conditions

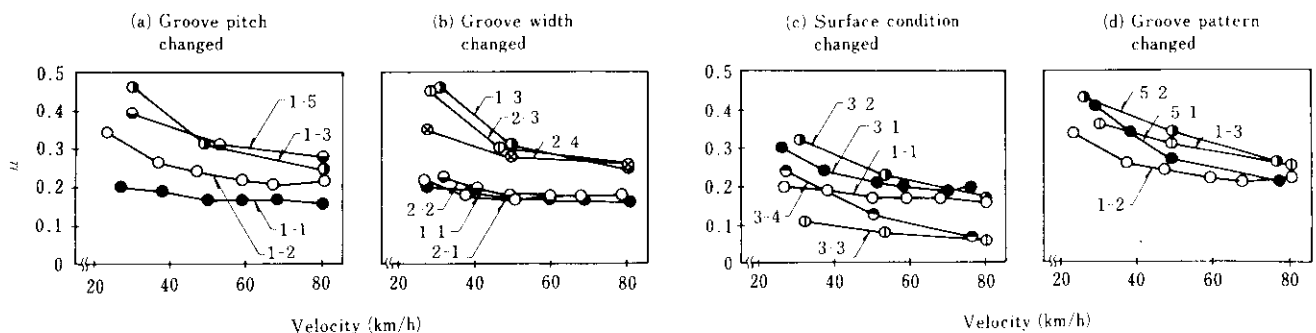


Fig. 6 Friction coefficients, μ , corresponding to the variation of groove shapes and plate surface condition when smooth rubber tire used

り明かなように各状態ともに溝つき鋼板が摩擦について有利であり、鋼板およびタイヤがともに摩耗した極限状態においても製品溝ピッチ45mmの場合、平滑板に対し相対的に約0.1程度高いすべり摩擦係数が得られることが判明した。

3・1・2 実物タイヤによるフィールド実験

(a) 実験方法

ゴムタイヤと鋼板表面との間のすべり摩擦係数に及ぼすタイヤ側の因子として、前項で述べたタイヤトレッドパターンのほかにタイヤの寸法、輪軸荷重の大きさ、タイヤ空気圧、タイヤの構造、タイヤのゴム質などが挙げられるが、ここではこれらの影響をすべて考慮できるよう実際にモノレールに使用されるタイヤを用い、さらに実大輪軸荷重5.5tfを載荷できる試験車によるロール圧延溝つき板のフィールド実験を実施した (Photo. 4 参照)。すなわち、幅750mm、厚さ24mm、長さ50mの圧延製品を路面上に敷きつめ、油圧ジャッキによる載荷装置とディスクブレーキとを有する台車にモノレール用実大試験タイヤ (径1006mm、幅341mm、タイヤ内圧10kgf/cm²、スチールラジアル) を装着のうえ、これをトレーラーにて牽引して加速走行し、鋼板上にさしかかった時点で試験タイヤのみに制動を加えて完全に回転を止め、そのままトレーラーにて牽引しつつ、各時点における牽引力、鉛直載荷荷重および走行速度とを計測してすべり摩擦係数を求める方法を用いた。また、路面の湿潤状態を再現するため、上述試験走行の直前に散水車により試験路面に十分なる散水を行った。なお、比較対照のため、試験タイヤのトレッドパターンは室内実験に用いたスムーズ、ストレートリブおよびジグザグリブを用い、試験路面には圧延溝つき板のほ



Photo. 4 Trailer and specimen tire used in field test

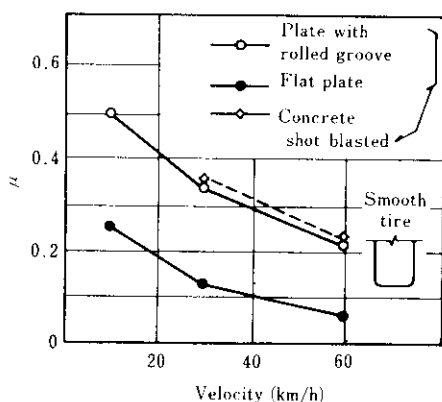


Fig. 8 Field test results corresponding to the various type tires

かに、平滑板およびコンクリート路面を用いたが、鋼板表面はいずれもショットブラスト (Rz55μm) とジंकリッチプライマー (膜厚15μm) を塗布したものを用いた。

(b) 実験結果

各種タイヤに対応するすべり摩擦係数の実測値を示せば、Fig. 8のとおりである。結果は定性的には前述の簡易室内実験のそれと類似しているが、本実験による値はいずれも室内実験値よりも大きな値となっている。当初目標とした60km/hにおける値が0.25程度を示すのはストレートリブタイヤおよびジグザグリブタイヤであるが、これらのタイヤが摩耗した状態と想定できるスムーズタイヤでも0.20以上の値を確保できることが判明する。各実験値とも当然のことながら平滑板より大きく、コンクリート路面とはほぼ同等であることがわかる。

3・2 疲労強度

本製品に課せられたもう一つの問題に構造部材としての疲労強度の保証がある。疲労強度に大きな影響を与えるのは横溝であるが、さらにこれに縦溝が交差して複雑なノッチ形状を呈することから、Fig. 9に示すような寸法の試験片を製品から切り出し、素材自身と裏面にリブを有するリブ十字継手の2種供試体について電気油圧式疲労試験機を使用のうえ、下限荷重を1

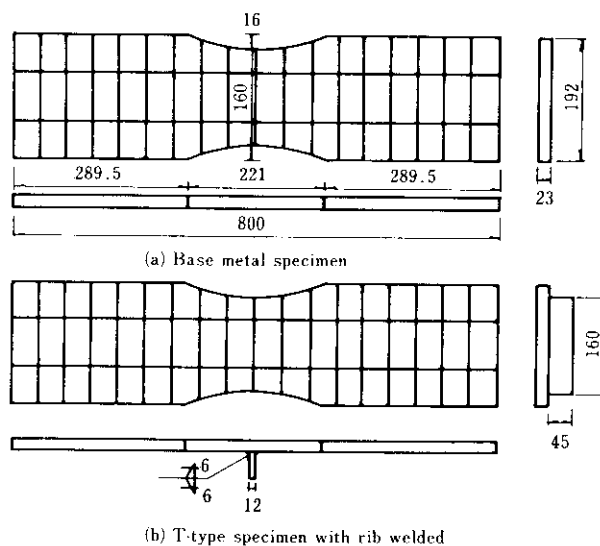
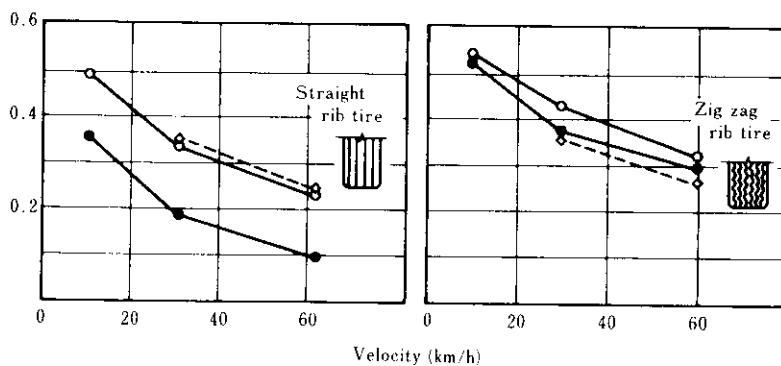


Fig. 9 Specimens of fatigue test



びとする片振り引張試験を実施した。加振速度は10Hzとし、試験波形は通常の正弦波とした。供試体の機械的性質および化学成分はTable 5に示すとおりである。供試体はFig. 9に示すように試験部に平行部はなく、半径390mmの円弧とした。これによる引張荷重導入時の応力集中は約1.14と推定されるが、試験結果には特にこれによる補正は施さなかった。試験結果を示せば、Fig. 10のとおりである。まず、素材のS-N曲線は実験結果に最小2乗法を適用して、次式が得られる。

$$\sigma_r = 90\,200 N_F^{-0.2856} \quad (\text{kgf/cm}^2) \quad (1)$$

式(1)の95%不破壊確率は、次のとおりとなる。

$$\sigma_r = 86\,900 N_F^{-0.2856} \quad (\text{kgf/cm}^2) \quad (2)$$

σ_r : 応力振幅

N_F : 破壊までのくり返し数

式(2)より、200万回疲労強度を求めると、約1380kgf/cm²が得られる。日本鋼構造協会の定める疲労設計指針⁹⁾を適用して200万回で疲労亀裂を生じないための許容応力を求めれば、約1219kgf/cm²と計算されるため、当該製品素材の疲労許容応力として1200kgf/cm²が提案できる。一方、リブ十字継手に関しては3体のみの実験値ではあるが、図より判明するように、素材と同等の疲労強度を有している。したがって通常のリブ十字継手の許容値が準用でき、本継手の200万回疲労許容応力の目安として、約1060kgf/cm²が提案できる。

以上の検討からも明らかなように溶接施工管理に万全をつくす限り、本製品は主部材に適用可能である。

Table 5 Chemical composition and mechanical properties of fatigue test specimen

Elements	C	Si	Mn	P	S
Weight (%)	0.15	0.18	0.65	0.019	0.010

Plate	Y.S. (kgf/mm ²)	T.S. (kgf/mm ²)	El (%)	vE_0 (kgf·m)
With rolled grooves	35.6	49.6	21A	15.6, 13.0, 15.2
Rib	35.4	47.0	26A	—

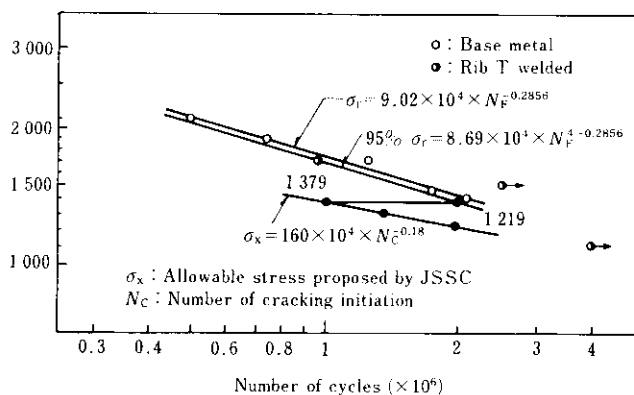


Fig. 10 Fatigue test results

1. 結 語

都市モノレールなどのゴムタイヤ走行路面に適用すべき湿潤時のすべり止め鋼板として、ロール圧延溝つき鋼板を開発のう

え、走行車輛の安全走行のために必要なすべり摩擦抵抗と疲労強度とを実験により求めたが、得られた結果を要約すれば次のとおりである。

- (1) すべり摩擦係数を求める簡易室内実験から、溝幅を一定にし、溝ピッチを順次小さくするとすべり摩擦係数は当然のことながら上昇する。
- (2) 溝ピッチおよび溝深さを一定にし、溝幅を6～10.7mmの範囲で変化させてもすべり摩擦係数は変化せず、溝幅はすべり摩擦にさほど寄与しない。
- (3) すべり摩擦抵抗には溝の配列のほか鋼板表面の粗度が大きく関与する。したがって、理想的なすべり止め鋼板として溝加工とともに表面粗度を上げるような微小凹凸の共存した製品を今後開発する必要がある。
- (4) 開発製品は直交格子溝を有する溝つき鋼板であるが、斜交格子のほうが合理的なように思われる。ロール圧延技術やコストなどの面から今後研究する余地がある。
- (5) 開発製品と実物タイヤとのすべり摩擦係数の目標値0.25は適当なタイヤパターンとにより、ほぼ確保することができる。また、タイヤトレッドが摩滅した場合でも60km/h走行において0.20のすべり摩擦係数を確保することができる。
- (6) タイヤ、路面双方が摩滅した場合でも60km/hにおいて最低0.12程度の摩擦係数は確保でき、溝加工を行わない平鋼板より0.1程度高い。
- (7) 開発製品の溝加工による疲労強度の低下はリブ十字継手の存在による低下よりも小さく、200万回における許容応力として1200kgf/cm²が保証される。
- (8) 同様に開発製品のリブ十字継手の200万回疲労許容応力は約1060kgf/cm²である。これは、通常鋼材の同種継手強度と同等であり、本製品は橋梁の主部材として使用可能である。

当該開発製品は北九州市モノレール小倉線における高架鋼製軌道桁のうち縦断勾配3%以上の個所に約200トン使用されたが、概要はPhoto. 5に示すとおりである。当該製品は以上に述べたような諸特性を有するもののさらに改良すべき点もかなりあり、小倉線での実車輦による走行試験結果と合わせて、より合理的なものとなるよう研究を重ね、後続プロジェクトにも積極的に適用を企図したい。

最後に本研究遂行にあたり北九州市役所ならびに北九州高速鉄道(株)の御指導をおおいだこと、および日立造船(株)、ブリヂストンタイヤ(株)に御協力いただいたことを付記し、深甚の謝意を表する。

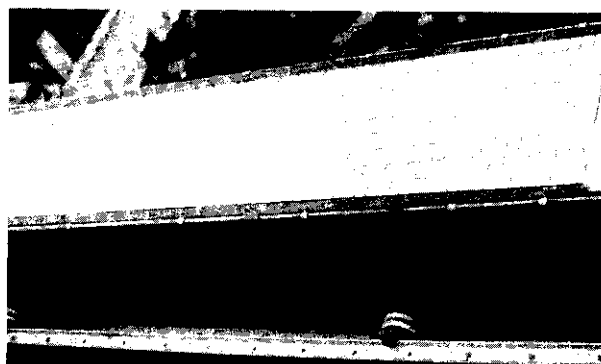


Photo. 5 Monorail runway girder using the slipless plate with rolled lattice-shape grooves

参 考 文 献

- 1) 北九州市都市モノレール小倉線設計仕様書, (1978, 9), 31
- 2) 檀野良介: 「ウェット路面におけるタイヤの特性」, 自動車技術, 34 (1980) 3, 235~240
- 3) 小野田ほか: 「路面覆工板上の走行車輛の安全性」, 土木技術資料, 15 (1973) 6, 279~283
- 4) 中西ほか: 「新しい覆工板の開発」, 川崎製鉄技報, 8 (1976) 1, 80~86
- 5) 市原, 金泉, 小野田: 「各種路面のすべり摩擦係数について」, 土木技術資料, 6 (1964) 6, 238~246
- 6) 多田: 日本鋼構造協会疲労設計指針・同解説 (案), JSSC, 10 (1974) 101, 22~34