軌道パッドの劣化を評価する

半坂　征則
材料技術研究部
（防振材料　研究室長）

鈴木　　実
同
（同　主任研究員）

佐藤　大悟
同
（同　研究員）

間々田　祥吾
同
（同　副主任研究員）

はんさか　まさのり

すずき　みのる

さとう　だいご

ままだ　しょうご

はじめに

鉄道の軌道では，図1に示すように，レールと締結装置との間に軌道パッドと呼ばれるゴムパッドが使用されています。軌道パッドは，レール･締結装置間でいわばクッション（緩衝材）として機能し，車両走行に伴いレールからまくらぎや軌道スラブなどのレールより下の軌道部材に伝わる荷重を緩和することでそれらを保護するとともに，軌道で発生する振動とそれに伴う騒音を低減するなど，重要な役割を担っています。

一方，軌道パッドは屋外の軌道では，夏場を中心に高い温度（一般にレール温度は最高で60℃近くまで上昇します）にさらされる中，車両走行に伴い50～100kN，場合によってはそれ以上の大きな力が長期間繰り返し加えられるといった，ゴム材料にとっては厳しい条件下で使われています。軌道パッドに要求される敷設期間は車両の通過量などの条件によってまちまちですが，使用者からは最低でも10年間は使用したいという強い要望が寄せられています。このような劣化環境下におかれると，軌道パッドは一般的な傾向として硬くなり，さらに劣化が進むと材料の一部が破断してしまう可能性もあります。このような軌道パッドの劣化が軌道に与える影響には，次のようなものがあります。

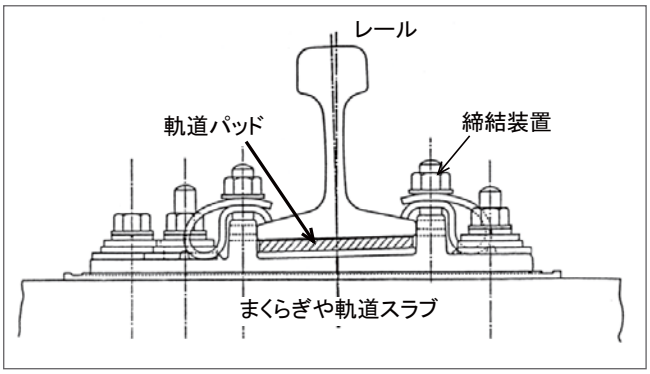


図１　軌道パッドの敷設位置の例（断面図）

①軌道パッドの荷重や振動を低減する性能（以下，この性能を“緩衝性能”と呼びます）は，パッドのばね定数が低くなると向上し，逆に，パッドのばね定数が増加すると低下します。これは，パッドのばね定数が低くなると，パッドに加えられた力を全体として柔らかく受け止め，パッドの”クッション“としての働きが高められるためです。したがって，軌道パッドが劣化し硬くなるとばね定数が増加して，軌道パッドの緩衝性能が低下し，軌道に伝えられる振動が大きくなるおそれがあります。

②軌道パッドのばね定数が増加すると，軌道に伝えられる荷重が大きくなり，軌道構造自体の劣化を早めたりその破壊につながるおそれがあります。

③軌道パッドの一部が破断され，極端な場合には軌道パッドが敷設箇所から飛び出してしまうおそれがあります。

軌道パッドは，現在は，多くの場合，レールの交換とともに定期的に交換されています。近年メンテナンスの省力化に対するニーズが高まる中，軌道パッドの劣化を評価し，その結果を踏まえて長寿命品を開発し，レールとともにその交換周期を長くするニーズが高まっています。以下に，軌道パッドの劣化評価の方法と事例とともに，長寿命化に向けた考え方を紹介します。

軌道パッドの種類

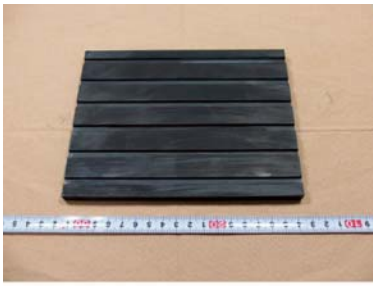
軌道パッドの主な種類を表1に，外観例を図2に示します。ここでは荷重と振動の低減を目的とした2種の軌道パッドを対象とします。

前に述べたように，軌道パッドの緩衝性能を高めるためにはそのばね定数を低くすることが重要ですが，中身の詰まった通常のゴムで平板状のパッドを作成した場合，材料内部でゴムが変形する空間がないために変形が拘束され，目的とする低いばね定数とすることは困難となります。そこで，図2(a)のように溝を付けるなど力を受ける面積（受

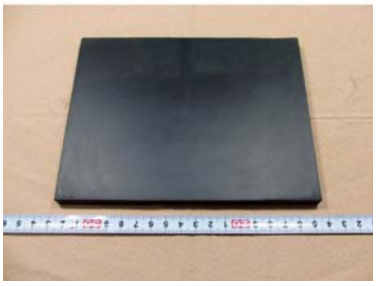
表１　軌道パッドの種類

種別	主な目的	形状[*1]	材料[*2]	製品タイプ
１種	パッキンやスペーサー	溝付きなど	天然ゴム（NR）とスチレンブタジエンゴム（SBR）の混合品などの汎用ゴム	－（細かな規定はない）
２種	軌道における荷重や振動の低減（緩衝）	溝付き	SBR，NRとSBRの混合品，シリコーン（SI），エチレンプロピレンゴム（EPDM）などの汎用ゴム	110MN/m（有道床用），60MN/m（直結軌道用），30MN/mなど
		表面に凹凸を設けた形状		
		平板	ウレタン（U），EPDMなどの発泡ゴム	20MN/m，30MN/mなど

*1）現在では溝付きおよび平板形状が主に使われている。
*2）SBR，NRとSBRの混合品およびウレタン発泡品以外は一部試験的に使われたか，現在開発が進められているもの。



（a）溝付き（通常ゴム，60MN/mタイプ）



（b）平板（発泡ゴム，20MN/mタイプ）

図２　軌道パッドの外観例

表２　軌道パッドの主な劣化評価試験項目

項目	主な内容
外観	軌道パッドの外観を観察し，き裂やへこみなどの異常の有無を確認する。
寸法	軌道パッドの縦，横，厚さの寸法を測定し，その変化を評価する。
硬さ	パッドの表面および内部の硬さを測定する。
引張特性	パッドから採取した引張試験片を引張り，破断するまでの強度（引張強さ）や伸び率（破断時伸び）を測定する。
電気抵抗	軌道パッドの電気抵抗を測定する。
ばね定数	ゆっくり（例えば1mm/min）力を加えたときの力と変位の関係から求める静的ばね定数と，振動的（例えば5～10Hz）に力を加えたときの動的ばね定数の2種類を測定する。
衝撃荷重に対する緩衝性能	軌道パッドに力を衝撃的に加えたときの緩衝性能を測定する。

圧面積）を小さくします。パッドのばね定数はおおむねその受圧面積に比例し厚さに反比例するので，受圧面積を小さくすることによってばね定数を小さくできます。これに対して，ゴム材料の中に小さな空洞（それぞれの大きさが1mmの1/1000～1/10程度）を均一に多数含ませた発泡ゴムによる軌道パッドの開発も進められています。発泡ゴムは内部に空洞を持つことにより材料自体を低ばね定数のものにできるため，図2（b）に示すように平板のままでも溝付き品と同等，あるいはそれより低いばね定数のパッドを作製できます。

軌道パッドの劣化評価方法

ゴム材料の劣化評価では，長期間実際に使用した後の材料の性能を測定・調査し，その変化程度を評価することが主要な課題となるため，以下に軌道パッドの長期敷設品の評価事例について示します。

表2は，軌道パッドの劣化評価試験項目のうち，標準的に行っている主なものです。このうち，引張特性は次のような目的のために試験します。軌道パッドの劣化が進むと材料がもろく，破断しやすくなるおそれがあります。そこで，軌道パッドから採取した試験片に対して引張試験を行い，破断するまでの強度や伸び率を測定し，材料の機械的強度の変化を評価します。

また，軌道パッドのばね定数は軌道パッドの主要な目的である緩衝性能と密接に係わるため，劣化評価には欠かせません。軌道パッドのばね定数として，従来は動的ばね定数の測定装置が普及していなかったなどの理由から，静的ばね定数の測定が主に行われてきました。しかし，ゴム材料は加える力を変化させるとそれに伴い変位が直線的に変化するのでなく複雑に変化する特性（非線形性）を持って

います。さらに，実際の軌道では軌道パッドに対して振動的に力が加えられていることから，動的ばね定数の測定も併せて行うことが必要と考えられます。

従来は，ここまで述べた項目の測定と評価を行い，力を衝撃的に加えたときの緩衝性能については，ばね定数で代用することが一般的でした。しかし，軌道パッドの複雑な荷重－変位応答特性を考えますと，力の条件に即した評価が重要です。衝撃的に加えられた力は1kHz以上の高い周波数範囲までの振動成分を持つため，このような力の条件は動的ばね定数測定装置では実現できません。そこで，図3に示すような衝撃実験装置を製作しました[1)]。この装置は，レールに衝突する箇所を車輪と同様の形状にした錘り（標準500kg）を一定高さ（標準10mm）からレール上に落下させて衝撃的な力を加え，そのときに，軌道パッドに加える力（レール圧力と呼びます）などを測定します。実際の軌道ではレールは複数の締結装置で支えられるため，この装置では6点の締結装置でレールを支えるようにし，実際の軌道での条件にできるだけ近づけるようにしました。

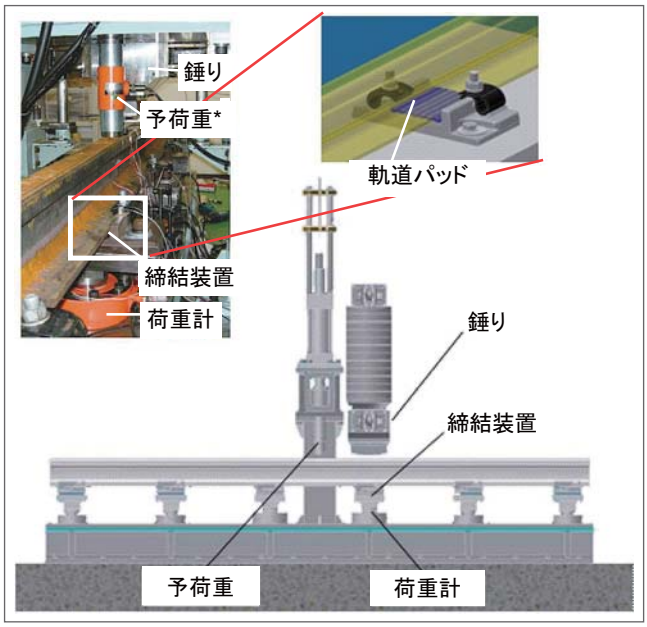


図3　開発した衝撃実験装置の外観

*）この装置では，車両の接近に伴って徐々にレールに加えられる非衝撃的な力に相当する荷重を先に与え，そこに錘りによる衝撃荷重を与えます。

軌道パッドの劣化評価の例

軌道パッドの劣化を評価した結果の一例を示します。新幹線のスラブ軌道で使われている60MN/mタイプ（溝付き，天然ゴムとスチレンブタジエンゴムの混合品）の軌道パッドの試験結果を中心に紹介します。この評価試験ではトンネルでない通常の区間（明かり区間と呼びます）とトンネル区間のそれぞれから軌道パッドを回収し，測定しました。

外観を調べる限りでは，明かり区間，トンネル区間ともにき裂やへこみなどの異常の発生はありませんでした。

引張試験の結果からは，軌道パッドの引張強さは明かり区間，トンネル区間ともに全体として使用に伴う変化が小さい（引張強さが全試験品で初期の70%以上）ことがわかりました。外観とその他の試験結果を考え合わせると，軌道パッドの材料は破断やパッドの離脱に至るような軌道で問題を起こすほどの劣化はないと考えられます。

寸法測定の結果では，図4に示すように，軌道パッドの厚さは，明かり区間では使用に伴い薄くなるのに対し，トンネル区間では25年間の使用を通じ変化は小さいことがわかりました。これは，明かり区間では直射日光にさらされ，夏場を中心に高温になり，高温度下で材料が柔らかくなる中で繰り返し力が加えられるために，材料が変形したまま元に戻らなくなる（塑性変形）ため，軌道パッドの厚さが薄くなると考えられます。一方，トンネル区間では四季を通じて軌道パッド周りの温度変化が小さいために，厚さ変化も小さいと考えられます。

図5に，軌道パッドの動的ばね定数（10Hz）の変化を示します。軌道パッドの動的ばね定数は，明かり区間，トンネル区間ともに使用に伴って増加する傾向が見られました。ただし，その増加の程度は明かり区間の方が大きくなっています。静的ばね定数についても値に違いはあるものの同様の傾向が見られます。このように軌道パッドのばね定数が使用に伴って増加する理由としては主として次の2点が考えられます。

① 材料が劣化に伴い全体的に硬くなった。
② パッドの厚さが減少した。

図6に，開発した衝撃実験装置による軌道パッドのレール圧力の測定結果例を示します。明かり区間で10年間使用したパッドのレール圧力は，新品と比べて約1.5倍に増加し，軌道パッドの緩衝性能が使用に伴い低下することがわかります。ただし，ここで述べた軌道パッドの使用に伴うレール圧力の増加は異常に大きなものではなく，その他の軌道部材の使用実績なども考え合わせると，この実験結果からは軌道パッドを明かり区間で10年間使用してもすぐに軌道が破壊されるような安全上の問題をもたらすことはないと考えられます。その一方で，軌道パッドの緩衝性能の低下は，軌道の振動を増大させたり，バラスト軌道で

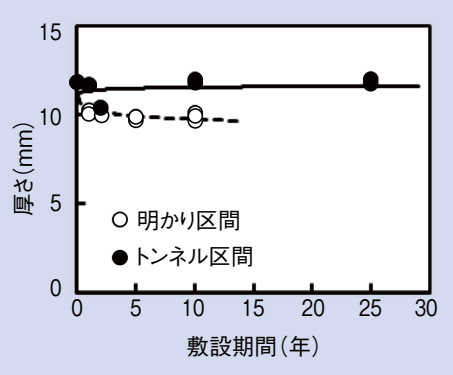


図４　軌道パッドの厚さの変化の例

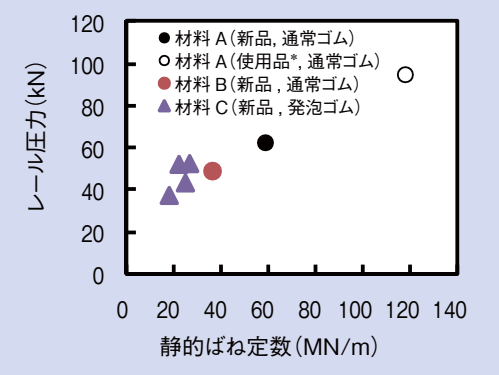


図６　衝撃実験装置によるレール圧力測定結果の例
＊）明かり区間１０年間使用品

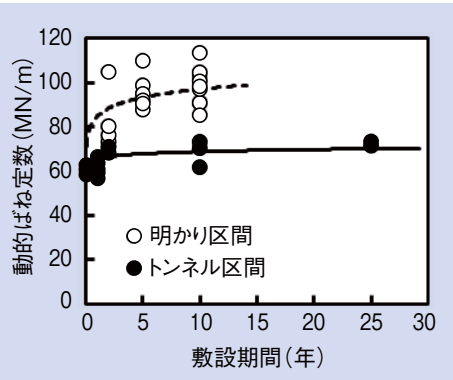


図５　軌道パッドの動的ばね定数の変化の例

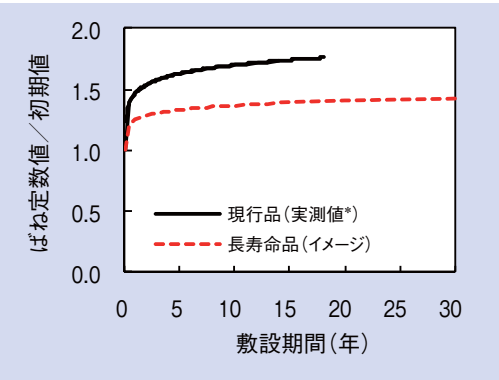


図７　長寿命品の性能イメージ(明かり区間)
＊）実測値は相関分析結果

は軌道の沈下を速めるなど，沿線環境の保全やメンテナンスの面では不利な変化といえます。したがって，これらの面から長期間使用しても緩衝性能の劣化が小さい軌道パッドの開発が望まれることがわかりました。

長寿命品の開発に対する方針

評価試験の結果より，軌道パッドの劣化をもたらす因子として，

①長時間，高温で使用すること，

②長期間，繰り返し力を加えること

の2つの影響が大きいことがわかりました。したがって，長寿命な軌道パッドの開発にあたっては，次のような方針に基づいて進める必要があると考えられます。

①高温度で使用しても劣化しにくい材料を用いる。

②繰り返し力を加えても劣化しにくい材料を用いる。

①については既に材料の開発が進められていますが，②については，現在のところ，①と両立させながら大幅に改善できる目途は得られていません。その一方で，②について，軌道パッドに対する力の条件をそのままにするのではなく，力自体を小さくすることが考えられます。具体的には，軌道パッドを低ばね定数にすることによって車両走行に伴いレールに作用する力をより広く分散させ，締結装置1個あたりの力を小さくします。このとき，図2 (a) に示すように溝などを付けるよりは，図2 (b) に示すように発泡ゴムを用いて平板のまま低ばね定数化する方が軌道パッドの耐久性に関しては有利と考えられます。なぜなら，溝を付けると角部などで応力が集中し，その部分が弱点箇所になるのに対して，平板形状では応力が均等化され弱点箇所がなくなることが期待されるからです。

これらを考慮し，軌道パッドの長寿命化に対するより具体的な方針として，②の代りに，

②’発泡ゴムを用いて平板形状による低ばね化を進める。

ことが挙げられます。現在，①，②’の方針に沿って，図7に示すような，条件の厳しい箇所でもばね定数の変化が小さいことを目標とすべく，長寿命軌道パッドの開発を進めています。RRR

文　献

1) 鈴木実：衝撃荷重下における軌道パッドの特性評価，鉄道総研月例発表会要旨，2010.4