

衝撃荷重下における軌道パッドの特性評価

材料技術研究部 防振材料

副主任研究員 鈴木 実

1. はじめに

車両走行に伴いレールと車輪の間の接触面には、継目、レール頭頂面の凹凸や車輪踏面の凹凸などの要因により、静止輪重の数倍になるとされる衝撃輪重（著大輪重ともいう）による力（接触力）が生じることが知られている。この接触力は、振動・騒音の増加要因の一つであるだけでなく、道床沈下などの軌道破壊の促進要因となるため、低減が求められている。その対策の一つとして軌道の低ばね化に資する低ばね定数軌道パッドがある。軌道パッドによる低ばね化は、比較的施工が容易で、コスト面でのメリットも大きいことから注目されている。一方で、ゴムなどの粘弾性体に特有の応力ひずみ関係の非線形性は、軌道パッドの効果や特性に対して未解明な点を多く残す要因となっている。このため、衝撃荷重に対する軌道パッドの緩衝性能についても、定量的評価が十分に行われていたとは言えない状況である。そこで、実軌道における荷重条件を考慮した衝撃試験装置を試作し、経年品や各種素材からなる供試品の特性評価について検討を行った。以下にその結果について報告する。

2. 衝撃荷重応答特性評価法の検討

2.1 衝撃試験装置の概要

衝撃荷重には、周波数領域で数 kHz オーダーまでの成分が含まれ、非線形性をもつ軌道パッドについて、従来の評価法において主流であった静的圧縮試験や高々数十 Hz までの動特性試験によって、その応答特性を正確に評価することは困難と考えられる。そこで、車輪を模擬した重錘を落下させ、衝撃加振する衝撃試験装置を新たに製作した。ここで、より正確な衝撃応答特性の評価のためには、次のような実軌道における力学条件を加味する必要がある。

- ① 軌道パッドによる荷重分散の効果
- ② 列車通過時に作用する静止輪重に相当する予荷重の影響

これらを考慮して製作した衝撃試験装置の概略を図 1 に示す。衝撃試験装置は、模擬軌道として直結 8 形締結装置 6 点で支持した 60kg レール、静止輪重相当の予荷重を加える油圧アクチュエータ、衝撃輪重相当の衝撃荷重を加えるための重錘からなる。これにより、実軌道で想定される軌道パッドの荷重分散効果や静止輪重に相当する予荷重の影響を考慮した試験を行うことが可能となる。

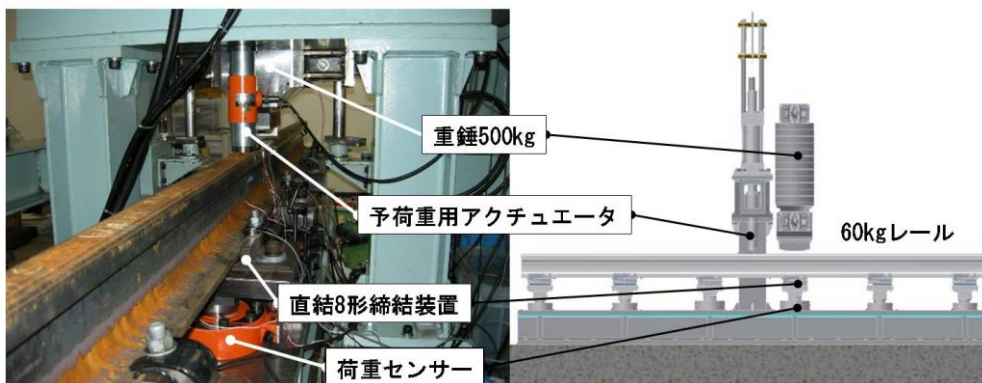


図 1 緩衝性能評価用衝撃試験装置の概要

2.2 試験方法

評価対象とする軌道パッドを衝撃試験装置に設置し、先端がΦ860mmの円弧形状の重錘（模擬車輪）をレール上に落下させ、締結装置に伝達する衝撃力（レール圧力）を荷重センサーで測定した。試験は以下の3条件で実施した。

条件1：本試験機と特性比較を行うことにより6締結装置支持による荷重分散や予荷重の効果を評価するために行う試験条件で、1締結装置支持・予荷重なしの条件

条件2：6締結装置支持・予荷重なしの条件

条件3：6締結装置支持に加えて予荷重35kNを加えた条件

2.3 試験結果と考察

衝撃試験で得られたレール圧力の時間波形の比較を図2に示す。1締結装置の支持条件では、荷重分散がないため、6締結装置の支持条件に比べてレール圧力の最大値は2倍程度になることがわかる。また、予荷重を加えた後に衝撃荷重を加えた場合は、レール圧力の最大振幅が大きくなることがわかる。また、作用時間に関しては、予荷重を加えた場合は加えない場合に比べて減少する傾向を示す一方で、1締結装置支持と6締結装置支持とで差異は小さいことが認められた。以上の結果より、軌道パッドの衝撃応答に対する予荷重や荷重分散の影響が明確であり、応答特性の評価にはこれらの条件を考慮することが不可欠と判断される。

レール圧力の増加は、道床沈下量の増加に直結し、その低下が道床沈下量の抑制に有効であることが知られている。したがって、軌道パッドの緩衝性能は本試験装置を用いたレール圧力の測定により定量的に評価することが可能であるものと考えられる。

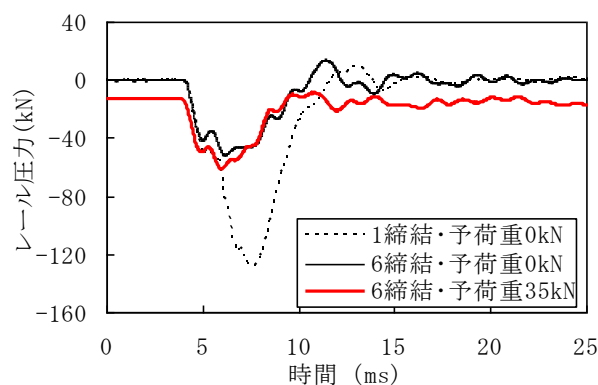


図2 レール圧力波形の比較

3. 経年劣化特性の調査

3.1 供試品

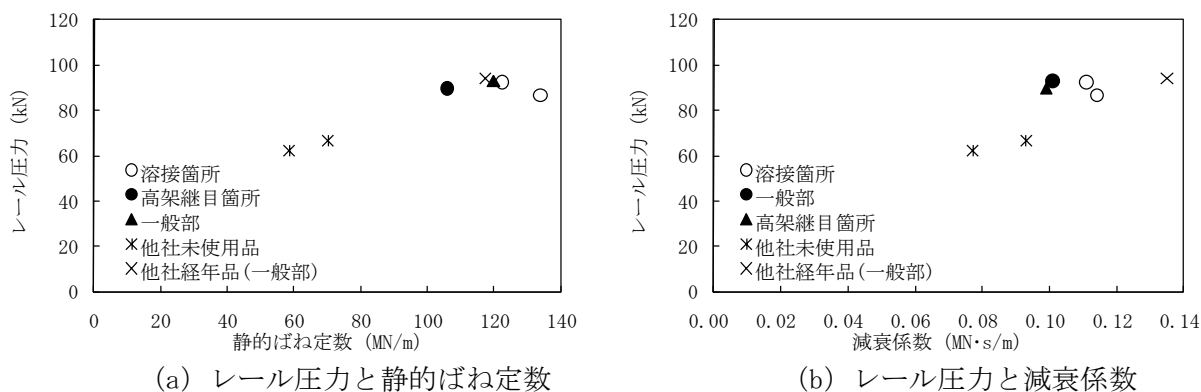
新幹線軌道に敷設されていたスチレンブタジエンゴム（SBR）製で、公称ばね定数 60MN/m、寸法形状が長さ 180×幅 140×厚さ 10mm の溝付き形状品を 2007 年度に回収し、本試験装置により評価を行った。これらの供試品は、一般箇所、溶接箇所、高架継目箇所の 3 つの異なる敷設環境に置かれた使用期間約 5 年間の経年品である。また、比較のため、2000 年度に新幹線有道床軌道（一般区間）より回収した SBR60MN/m 品（使用期間約 10 年間）も試験に供した。

3.2 試験結果と考察

別途実施した経年品に対する各種特性試験の結果、軌道パッドの物性は経年に伴い静的および動的ばね定数、および減衰係数などが増加傾向を示すことを確認している。これらの変化は軌道パッドの緩衝性能に影響を与えることが推定されるため、軌道パッドの特性値と本試験装置によるレール圧力測定値の関係を整理した。その結果を図4に示す。経年品では未使用品（他社製品）に比べてレール圧力が約 1.5 倍となる結果が得られた。レール圧力と静的ばね定数には、全体として図3(a)に示すような緩やかな相関がみられた。しかし、経年品に限って考えると、敷設箇所が異なり静的ばね定数が異なる場合でもレール圧力は概ね 120kN 前後の値を示し、敷設箇所の違いを反映した明確な影響は認められなかった。減衰係数に関しても同様の傾向であった。

これらの試験結果より、軌道パッドの緩衝性能は、経年に伴い低下する傾向が確認できたが、敷設

環境の影響は明確には明らかにならなかった。



(a) レール圧力と静的ばね定数 (b) レール圧力と減衰係数
 図3 軌道パッド経年品のレール圧力に対する静的ばね定数と減衰係数の関係

4. 軌道パッドの長寿命化に向けた特性評価

4.1 方針

前章の試験結果に加え、別途実施した軌道パッドの経年劣化の研究に関する知見も考慮すると、軌道パッドの長寿命化においては、素材の観点からは次の特性に優れることが重要であると考えられる。

- ①緩衝性能（荷重履歴を緩和）、②耐荷重性、③耐熱老化性

以上の点を踏まえ、長寿命化に向けた軌道パッド素材の検討を行った。

4.2 供試品

検討対象とした供試品の主な構成材料種は次のとおりである。

- 【ソリッドゴム】①スチレンブタジエンゴム (SBR)、②天然ゴム (NR)、③シリコンゴム (Q)、④エチレンプロピレンゴム (EPDM)

- 【発泡ゴム】⑤ポリウレタンゴム (PUR)、⑥エチレンプロピレンゴム (EPDM)

これらの供試品に対して 100~650Hz の高周波域における動特性試験を行うとともに、2.2 節で述べた方法により衝撃試験を行った。

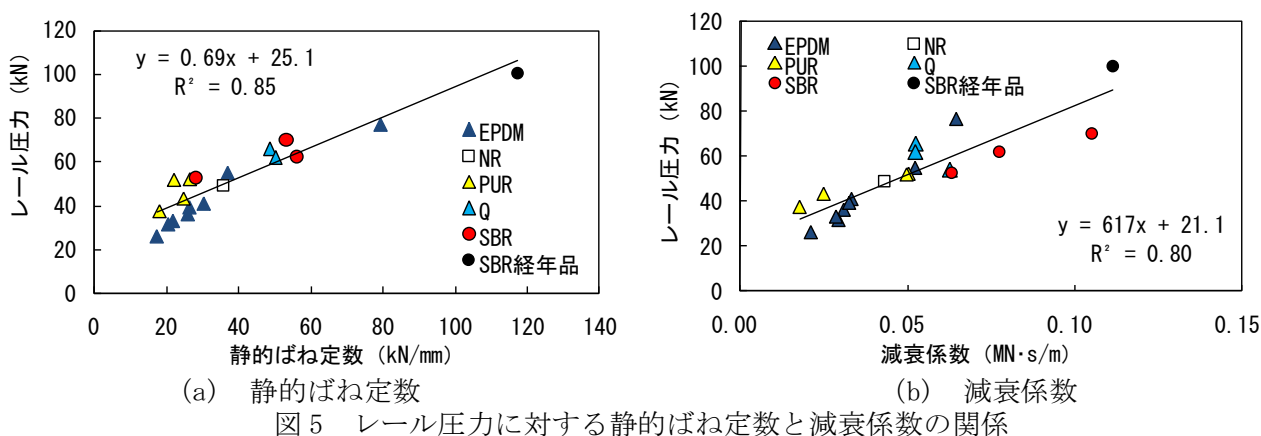
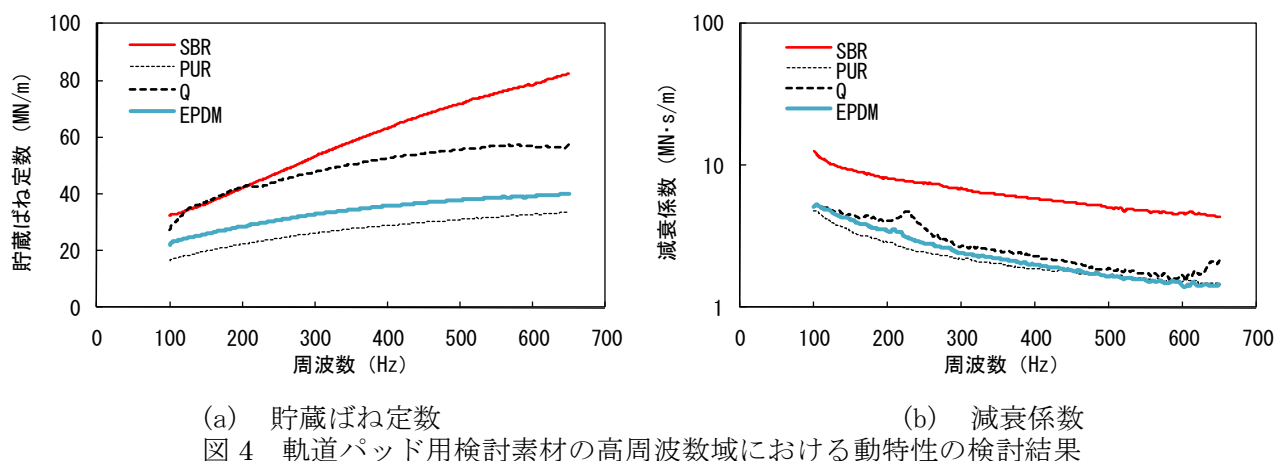
4.3 試験結果

図4に、軌道パッド用検討素材の高周波域における動特性の検討結果を示す。この結果より、PUR や EPDM の低ばね素材において、貯蔵ばね定数の値自体が小さいだけでなく、その速度依存性や減衰係数も低いことがわかり、緩衝性能が高いことが予測される。

次に、衝撃試験において測定したレール圧力と供試体の静的ばね定数の相関分析の結果を図5(a)、減衰係数の相関分析の結果を図5(b)に示す。レール圧力と静的ばね定数には、経年品の試験の結果と同様に相関性が認められる。その一方で、静的ばね定数が同等の供試品でもレール圧力が1.5~2倍程度異なる結果が得られた。この理由として、軌道パッドの緩衝性能に対しては、貯蔵ばね定数の速度依存性や減衰係数など、静的ばね定数以外の複数の因子が相乗的に影響を及ぼしていることが推察される。これらの因子については、今後の材料開発においても考慮する必要がある。

本結果においては、PUR などの従来素材の低ばね品に比べて、EPDM 製の低ばね軌道パッドの緩衝性能が高いことが示唆された。EPDM は、既に工業製品等において屋外環境での耐熱性や耐候性などの耐久性が実証されている材料である。鉄道では、従来より軌道パッドとしての敷設試験等の実績があるが、国内では耐油性が課題となり実用化に至らなかった経緯がある。一方、欧州では既に高速

鉄道新線(ICE)で実用化されている。これらのことから、実軌道における耐油性に関する評価を的確に行うことにより上記の課題を克服し得るものと考えられる。



5. まとめ

軌道パッドの衝撃荷重に対する応答特性を解析し、その緩衝性能を定量評価する手法の検討を行った。その結果、以下の知見を得た。

- (1) 軌道パッドによる荷重分散と列車の接近に伴い载荷される静止輪重に相当する予荷重の影響を反映できる衝撃試験装置を新たに製作した。
- (2) (1)の装置による衝撃試験を行った結果、レール圧力の時間波形が1締結装置支持や予荷重なしの条件のときの波形と異なり、荷重分散と予荷重の影響が明確であることを確認した。
- (3) 新幹線有道床軌道に敷設されていた経年品の緩衝性能を衝撃試験装置により評価した結果、経年品ではレール圧力が未使用品の1.5倍程度大きく、軌道パッドの経年に伴う緩衝性能の低下が確認された。
- (4) 軌道パッドの長寿命化に向けて、各種素材を用いた供試体に対し衝撃試験装置により緩衝性能を評価した結果、ポリウレタンゴム(PUR)などの従来素材の低ばね軌道パッドに比べ、エチレンプロピレンゴム(EPDM)製低ばね品の緩衝性能が高いことが示唆された。

参考文献

- 1) 名村明：土木学会論文集「道床軌道の繰返し変形特性に及ぼす荷重とまくらぎ形状の影響に関する試験的研究」, No. 4, Vol. 66, 2005