

弾性まくらぎ用弾性材の物性評価

○ [機] 間々田 祥吾 (鉄道総研) [機] 半坂 征則 (鉄道総研)

[土] 鈴木 実 (鉄道総研) 枡田 吉弘 (鉄道総研)

[土] 細田充 (鉄道総研)

Evaluation of properties of elastic material for resilient tie

○Shogo Mamada, (RTRI) Masanori Hansaka, (RTRI)

Minoru Suzuki, (RTRI) Yoshihiro Masuda, (RTRI)

Mitsuru Hosoda, (RTRI)

Resilient tie for directly fastened track which applies elastic material under the tie is used to reduce vibration of roadbed and trackside noise. For elastic materials applied for resilient tie have been estimated by some conservative specs such as JRS, however these were established when the resilient ties initially were developed and didn't reflected sufficiently the results of evaluation of endurance of resilient ties and technological progress afterward. Therefore, considering this situation, we have revised the evaluation method of properties of elastic material so as to make it more rational, for example by adjusting the condition of the fatigue test to the actual track condition.

キーワード：弾性まくらぎ，弾性材，疲労試験，物性評価

Key Words : Resilient tie, elastic material, fatigue test, evaluation property

1. はじめに

弾性まくらぎ直結軌道（以下、弾直軌道とする）の弾性まくらぎの下には、軌道の荷重を緩和して振動および騒音を低減することや軌道・構造部材を保護することなどを目的として、図 1 に示すように、まくらぎパッド（以下、弾性材と称する）が設置されている¹⁾。弾直軌道用まくらぎは日本国有鉄道規格 JRS 0321-27A-13CR7B(PCまくらぎ、弾性まくらぎ直結軌道用)で規格化されている（以下、同規格を単に JRS 規格とする）。その中に弾性材の物性についても仕様が定められており、これまで弾性材の物性は主として JRS 規格によって評価されてきた。しかしながら、JRS 規格は主として弾性まくらぎ開発の初期段階に導入した試験方法に基づくもので、例えば疲れ強さ試験において実軌道で想定される数倍の荷重条件を設定するなど、弾性まくらぎの軌道での使用実態やその後の技術発展を十分に考慮したものとはいえないものであった。その後、弾性まくらぎの使用実績が増え、その耐久性データも蓄積される一方で、材料開発が進められ、多種多様な弾性まくらぎ用

の弾性材が実用化されるに伴い、JRS 規格では実用に供されている弾性まくらぎを評価することが難しい部分が少なからず見出されている。また、改訂が進められている JIS 規格とも整合が取れない項目が出てきている。

そこで、弾直軌道の力学条件^{2),3)}や材料の現状を考慮した上で、新たな物性仕様案を策定した。また、最近開発された弾性材に対して新物性仕様案による物性試験を行った。それらの結果について報告する。

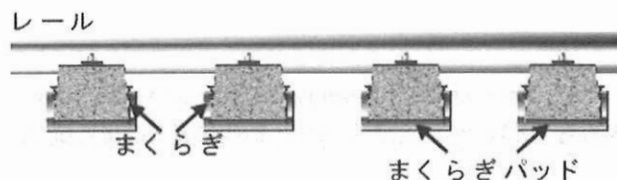


図 1 弾性まくらぎ弾直軌道（弾直軌道）の側面

2. JRS 規格の概要

JRS 規格の概要を表 1 に示す。

表 1 弾性材に関する JRS 規格の概要^{*1}

試験項目			主な試験方法・条件		単位	規格値
試験片 による 試験	比重		比重を測定		—	0.63±0.1
	ばね定数	老化前	速度約 1mm/min で 1～4 kN 間の静的ばね定数を測定		MN/m	0.65±0.2
		老化後	約 70℃・96 時間加熱後静的ばね定数の変化率を測定		%	—5～15
	圧縮永久ひずみ		30%歪み・約 70℃・22 時間保持後の歪み量を測定		%	15 以下
	疲れ強さ	外観	約 50mm×50mm×原厚の試験片に対して 5±4mm・5Hz・10 ⁶ 回載荷後、外観を観察、へたり量を測定		—	異常なし
		へたり量			mm	1.0 以下
	引張強さ	老化前	JIS K6301 (現在 JIS K 6251) に準じて引張強さを測定		kN/m	4.9 以上 ^{*2}
		老化後	約 70℃・96 時間加熱後、引張強さの変化率を測定		%	±20 以内
	伸び	老化前	JIS K6301 (現在 JIS K 6251) に準じて伸びを測定		%	100 以上
		老化後	約 70℃・96 時間加熱後、伸びの変化率を測定		%	90 以上
	引裂強さ	老化前	JIS K6301 に準じて引裂強さを測定		kN/m	0.49 以上
		老化後	約 70℃・96 時間加熱後、引裂強さを測定		kN/m	0.49 以上
実物まくらぎ による試験	吸水率		室温で蒸留水に 96 時間浸漬後質量変化を測定		%	5 以下
	耐水性		室温・蒸留水・96 時間浸漬前後の引張強さ、伸びの変化率を測		%	±20 以内
	耐アルカリ性		約 50℃・水酸化カリウム 5g/l と水酸化ナトリウム 5g/l の混合液・96 時間浸漬前後の引張強さ、伸びの変化率を測定		%	
実物まくらぎ による試験	ゴム硬度試験		SRIS 0101 の定める C 型硬度計で測定		°	40～80

*1) 接着はく離試験等、弾性材そのものの物性に関係しない項目は除く。

*2) JIS K6301 では引張強さは荷重を試験片断面積で除すことにより算出しており、その単位は MPa であるが、JRS 規格では kN/m 値が示されている。その詳細は不明である。

3. 新物性仕様案の概要

3.1 新物性仕様案の策定方針

以下に新物性仕様案の内容を示す。新仕様案では、ゴム材料の物性規格に関する最近の動向も考慮して、次の特徴を取り入れた。

(1) 機能・実用性重視の評価

特定材種の物性を規定するのではなく、軌道の弾性材としての実用的な性能および耐久性を評価することを重視する中で、疲れ強さ試験で実軌道での力学条件を考慮して荷重条件を定めるなど、実用的な物性評価を目指した。同時に必要な評価のみを行い、試験および評価の簡素化・効率化を目指した。以上の観点から、試験項目を材料の材質評価に関するものと性能・耐久性評価に関するものとに分類した。

(2) 指標値の導入

旧仕様案では材料の適否判定のための規格値を設定していたが、物性仕様だけで実軌道への適用性が完全に評価できるものではない。したがって、新仕様案では規格値ではなく、材料物性の良否判断の目安のための値（「指標値」とする）を設定することとした。

3.2 新物性仕様案の試験項目

前項の方針に基づき、新物性仕様案の試験項目を以下の通りと定めた。各項目の () 内には対応する JRS 規格項目を示す。

材質評価試験として、①表面硬さ（ゴム硬度試験）、②比重（比重試験）、③静的弾性特性（ばね定数）、④動特性（新規導入）、⑤引張特性（引張強さおよび伸び試験）

性能評価として、⑥吸水率（吸水率試験）、⑦圧縮永久ひずみ（圧縮永久ひずみ試験）、⑧疲れ強さ（疲れ強さ試験）、⑨浸水加振試験（新規導入）、⑩耐熱性（引張強さおよび伸び試験における老化後試験）、⑪耐水性（耐水性試験）、⑫耐アルカリ性（耐アルカリ性試験）

新物性仕様案で新規導入した項目は、④動特性と⑧浸水加振試験である。また、新物性仕様案において廃止した項目は引裂強さ試験である。ただし、名称の変更はないが、試験や評価の方法を大きく変えた項目がいくつかある。

3.3 新物性仕様案における主な変更内容

以下に、新物性仕様案において JRS 規格から大きく変更した主な内容とその理由をまとめる。

(1) 材質評価試験

① 表面硬さ（ゴム硬度試験）

弾性材の弾性特性の良否はばね定数を指標として評価できる⁴⁾などの理由から、表面硬さは省略可能な項目ともみなせる。一方、表面硬さは現在の JIS 規格では圧縮永久ひずみ試験で国際ゴム硬度 (IRHD) を参照して条件設定していることなどの理由から、同項目では IRHD の測定を行うが指標値は適用せず、記録のみとすることとした。

② 比重（比重試験）

JRS 規格では比重の値を規格化していたが、近年、多種多様な弾性材の開発が進み、それらが軌道への適用性を持つことが判明しつつある中⁵⁾、材種を限定するような物性規格の必要性は小さいと考えられる。したがって、新仕様案の比重試験では値自体を評価するのではなく、材質評価の一環としてばらつきに対して指標値を適用することとした。

③ 静的弾性特性 (ばね定数試験)

JRS 規格では静的ばね定数 (常態時) についても規格値を設けているが, 新物性仕様案では静的ばね定数に関しても値自体でなく値のばらつきの範囲に対して指標値を設ける。また, 近年の軌道弾性材の評価傾向⁵⁾を考慮して, 弾性率も併せて表記することとした。

④ 動特性 (新規導入)

近年, 弾性材の動特性が重要視される傾向があることなどを考慮して, 新物性仕様案では導入することとした。

⑤ 引張特性 (引張強さおよび伸び試験)

引張特性は弾性材の機能に対して明確な相関を持っているとはいいがたい^{5),6)}。一方で必要な性能・耐久性評価は疲れ強さ試験等で実施可能であることなどを考慮して, この物性に関しては指標値を設定せず, 記録のみとした。

⑥ 引裂強さ試験

実軌道で弾性材に強い引裂負荷が作用する状況が想定されないなどの理由から, 新物性仕様案から除外した。

(2) 性能評価試験

① 圧縮永久ひずみ (圧縮永久ひずみ試験)

旧仕様案の圧縮永久ひずみ試験は, もともと策定当時の JIS 規格とは一部異なる条件を用いていた上に, 1994 年に JIS 規格が変更されたため, 現在の JIS 規格とはかなり条件が異なるものとなっている。このため, 新仕様案では現在の JIS 規格に基づく試験条件に変更した。

② 疲れ強さ (疲れ強さ試験)

疲れ強さ試験での荷重条件を軌道の弾性まくらぎに関わる力学条件に考慮したものに変更した。この詳細は次節で改めて述べる。また, 疲労試験品に対する評価項目として, 新たに静的ばね定数変化率を加えた。

③ 浸水加振 (新規導入)

近年, 発泡系の軌道弾性材の開発が進んでいる。この材料では屋外での長期使用に伴い材料内部の気泡に水を含むことの可能性が否定できないので, その影響を評価するために, 新仕様案では試験片を浸水させながら加振して材料に強制的に含水させる試験を追加した。

④ 耐熱性 (引張強さ, 伸び試験内の 1 項目), 耐水性 (耐水性試験), 耐アルカリ性 (耐アルカリ性試験)

引張強さ試験および伸び試験内の 1 項目として個別に規定されていた熱に対する耐久性評価試験を耐熱性試験として集約した。また, 試験方法および指標値を最近の軌道弾性材試験の動向も考慮しつつ合理的なものに見直した。

3.4 新物性仕様案における試験方法の詳細

新物性仕様案の試験項目のうち, 新規に導入した動特性試験, 浸水加振試験および試験方法・条件を大きく変更した疲れ強さ試験について, その概要を示す。

(1) 材質評価試験

① 動特性

試験片形状は 100mm×100mm×原厚の板状とし, 個数は 5 個とする。試験片を動荷重 2.5±1.5kN, 周波数 10Hz で

2~3min 動的載荷し, 動的ばね定数および損失係数を測定する。そして, 次式により動倍率を算出する。

$$d = K_d / K_s \cdots (1)$$

ここで, d は動倍率, K_d は動的ばね定数(MN/m), K_s は静的ばね定数(MN/m)を示す。

(2) 性能評価試験

① 疲れ強さ

試験片形状は 100mm×100mm×原厚の板状とし, 個数は 2 個とする。予め算出した最大荷重を F_{max} , 最小荷重を 0.1kN とし, 試験片を 0.1~ F_{max} kN, 3Hz, 10^6 回の条件で動的載荷する。試験後目視により試験片外観にき裂等の異常の有無を確認するとともに, ヘタリ量 (試験片厚さの減少率) および静的ばね定数の変化率を算出する。

最大荷重は次式で与える。

$$F_{max} = (Wca/S)s \quad (1)$$

ここで, F_{max} は最大荷重(kN), W は軸重(kN), c は分散係数, a は疲労倍率, S はまくらぎ面積(m²), s は試料面積(m²)である。

W は弾性材の適用想定線区で区別し, 重量線区は 190kN (200 系新幹線の台車 DT201 相当), 軽量線区は 120kN (201 系の台車 DT48 相当) とする。 a は衝撃係数で, スラブ軌道の設計標準などを参考に 1.45 とする³⁾。

分散係数 c は一般には以下の式で算出される^{2),3)}。

$$c = 1 - e^{-\beta \cdot a/2} \cos(\beta \cdot a/2) \quad (2)$$

$$\beta = \sqrt[4]{K/(4EI_r)} \quad (3)$$

ここで, a はまくらぎ間隔, K は単位長さ当たりのレール支持ばね係数[(N/m)/m], EI_r はレール曲げ剛性である。

支持ばね係数 K は軌道パッドと弾性材の複合ばね係数から算出する。次章で対象とする弾性材のばね定数とその適用想定線区に関する標準的な軌道諸元を式(2), (3)に適用すると $c=0.31$ と求められるが, 物性仕様としては弾性材が適用可能ないかなる線区に対しても評価できることが望ましいので, 実用的な軌道諸元に対して得られる範囲で最大級の値として, $c=0.5$ とした³⁾。

② 浸水加振

試験片形状は 100mm×100mm×原厚の板状とし, 個数は 2 個とする。試験片を蒸留水の中に浸漬し, 前項の疲れ強さと同条件で動的載荷する。その後, 前項と同様に, 外観観察およびヘタリ量と静的ばね定数変化率の測定を行う。

4. 新規材料への適用結果

最近開発された弾性材に対して新物性仕様案による物性試験を行った結果を表 2 に示す。すべての項目が問題なく実施され, 新物性仕様案で弾性材が評価可能であることを確認すると同時に, 対象弾性材がすべての項目で指標値を満たし, 良好な品質および性能であることが評価された。

5. まとめ

弾性まくらぎ直結軌道（弾直軌道）用まくらぎの弾性材はこれまで JRS 規格を軸に物性評価されてきたが、JRS 規格では実用に供されている弾性材を評価することが難しい部分が少なからず見出されている。そこで、新たな物性仕様案を策定した。新物性仕様案は次の特徴を持っている。

- (1) 特定材種の物性を規定するのではなく、軌道の弾性材としての実用的な性能および耐久性を評価することを重視した。
- (2) 疲れ強さ試験で実軌道での力学条件を考慮して荷重条件を定めるなど、実用的な物性評価を目指した。
- (3) 圧縮永久ひずみ試験で現在の JIS 規格と整合を取るなど、最新のゴム物性規格の動向を考慮した内容とした。

最近開発された弾性材に対して新物性仕様案による物性試験を実施した結果、すべての試験が問題なく実施され、新物性仕様案で弾性材が評価可能であることを確認した。

参考文献

- 1) 安藤勝敏, 熊崎弘, 堀池高広: 新しい防振軌道構造の性能試験, 鉄道総研報告, Vol.8, No.6, 1994.
- 2) 須田正男等: 新しい線路, 社団法人日本鉄道施設協会, 1997
- 3) 東憲昭他: 軌道構造と材料—軌道・材料の設計と維持管理—, 交通新聞社, 2001
- 4) 例えば, 日本ゴム協会: ゴム技術の基礎, 1983
- 5) 御船直人, 半坂征則: 鉄道と騒音・振動低減材料, 新素材, Vol.7, No.6, 1996
- 6) 山田功司, 半坂征則, 鈴木実, 御船直人, 生駒信康: 軌道パッドの劣化, エラストマー討論会, 2002

表 2 供試材の新仕様案に基づく物性値

試験項目				単位	指標値	物性値
材質 評価	表面硬さ			IRHD	記録のみ	38
	比重			—	0.41±0.04	0.40~0.42
	静的弾性 特性	常態	静的ばね定数	MN/m	0.43±0.04	0.43~0.45
			静的弾性率	MPa	0.96±0.10	0.95~1.00
		加熱後静的ばね定数変化率			%	±15%以内
	動特性	動的ばね定数		MN/m	記録のみ	0.55
		動的弾性率		MPa		1.22
		動倍率		—	3.0 以下	1.27
		損失係数		—	記録のみ	0.12
	引張特性	引張強さ		MPa		3.2
		破断時伸び		%		192
		100%モジュラス		MPa		1.7
性能・ 耐久性 評価	吸水率			%	5.0 以下	0.6
	圧縮永久 ひずみ	外観		—	異常なし	異常なし
		歪み量		%	50 以下	40
	疲れ強さ	外観		—	異常なし	異常なし
		へたり量		%	5.0 以下	2.2
		静的ばね定数変化率			±20.0 以下	7.1
	浸水加振	外観		—	異常なし	異常なし
		へたり量		%	5.0 以下	2.5
		静的ばね定数変化率			±20.0 以内	7.7
	耐熱性	引張強さ変化率				3.0
		破断時伸び変化率				−1.6
		100%モジュラス変化率				0.0
	耐水性	引張強さ変化率				0.0
		破断時伸び変化率				−6.3
		100%モジュラス変化率				0.0
	耐アルカ リ性	引張強さ変化率				0.0
		破断時伸び変化率				−2.1
		100%モジュラス変化率				0.0