

フローティング弾性まくらぎ直結軌道用防振材の性能評価

(公財) 鉄道総研 正会員 ○ 枘田 吉弘
(公財) 鉄道総研 正会員 鈴木 実
(公財) 鉄道総研 正会員 湊上 翔太

1. 目的

列車走行時の騒音・振動の低減を目的として、大質量のコンクリートスラブ等の部材をコイルばね等の防振材で直接支持するフローティング軌道が開発・実用化されている。これらのフローティング軌道は地盤振動の低減に大変有効であるが、まくらぎがスラブ内で剛に支持されている場合、一部の急曲線区間では外軌波状摩耗が発生¹⁾するなどの保守面での課題があった。このような課題を解決するために、フローティング弾性まくらぎ直結軌道（以下、フローティング弾直軌道）が提案されており、数値解析や実物大試験による振動低減効果の評価²⁾や、弾性まくらぎ化による外軌波状摩耗の低減効果の検証³⁾が行われている。ここでは防振材の低廉化を目指し、樹脂系弾性材の適用可能性について検討した。

2. 防振材の概要

シミュレーション等による解析結果²⁾から、フローティング弾直軌道に使用する防振材の静的ばね定数の目標値は6.6MN/m²とした。防振材の厚さは列車通過時の目標とする変形量（約5mm）がひずみ換算で10%程度となるように50mmとし、受圧面の寸法は設置した際に軌道の重量に相当する荷重（下限荷重、19.1kN）から列車荷重が負荷された荷重（上限荷重、53.1kN）の荷重区間でのばね定数が約6.6MN/mとなるように設計した。防振材の材種については、軌道用の材料として使用実績のある発泡エチレンプロレンジエンゴム1種類および発泡ウレタン2種類を供試体として評価した（以下、それぞれEPDM、PUR

①、PUR②とする）。供試体の主な物性値および実際の軌道で使用する際の防振材の受圧面積を表1に示す。供試体は側面および内部はスポンジ状であるのに対して、上下面は成型型により無発泡の平滑な面（スキン層）である。

3. 評価項目

防振材の評価項目を表2に示す。

フローティング弾直軌道への適用を想定した場合、列車通過時に、防振材に作用する想定圧縮応力は約0.6MPaとなる。また、軌道重量により約0.2MPaの圧縮応力が常時負荷される。このような使用環境を考慮し、本検討では荷重の負荷条件が類似する弾性まくらぎ用弾性材の評価法⁴⁾を参考として各項目の特性の変化に対して許容できる範囲となる指標値を定めた上で各種性能を評価した。

4. 評価結果

評価結果を表3に示す。値は各評価項目における試験前の値からの変化率を示し、変化率が指標値を満たした上

表 1 供試体の主な物性

		EPDM	PUR①	PUR②
物性	表面硬さ	A83.8	A80.3	A69.8
	比重	0.724	0.728	0.714
	引張強さ	5.18MPa	3.60MPa	3.28MPa
	吸水率	0.08%	0.94%	1.53%
受圧面積		81490mm ²	80100mm ²	63000mm ²

表 2 防振材の評価項目

評価項目	評価特性	主な試験条件	指標値
浸水加振	静的ばね定数	荷重範囲 19.1kN～53.1kN 相当、1Hz で 24 時間加振後 19.1kN 相当で 24 時間静置	試験前に 対する 変化率 ±20%以内
耐熱性	引張強さ	70℃の気中に 96 時間暴露	
耐水性	100 % モジュラス	室温の水道水中に 96 時間浸漬	
耐アルカリ性	ラス	室温の飽和 Ca(OH) ₂ 水溶液中に 96 時間浸漬	
疲れ強さ	静的ばね定数 厚さ	荷重区間 19.1kN～53.1kN 相当応力、3Hz にて 500 万回載荷	5%以上*
クリープ特性	厚さ	クリープ荷重 19.1kN 相当応力、40℃	
温度特性	静的ばね定数	荷重範囲 19.1kN～53.1kN 相当応力でのばね定数、温度範囲-10～40℃	なし

*弾性変形分を除いた厚さの変化、クリープ特性は 1000 時間後の厚さ

キーワード 防振材, EPDM, ウレタン, 疲労, クリープ
連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38)
(公財) 鉄道総合技術研究所 防振材料研究室 TEL 042-573-7339

で、0に近いほど特性が優れているものと評価される。各項目の詳細について以下に示す。

- (1) 浸水加振：防振材が降雨などによる湿潤環境で荷重を受けることを考慮して、水中の供試体に対して列車荷重相当の動的荷重を繰り返し載荷する試験を行った。その結果、試験後の静的ばね定数は EPDM および PUR①の 2 つが指標値を満たした。
- (2) 耐熱性、耐水性、耐アルカリ性：防振材の使用環境を考慮し、熱、水、アルカリへの耐性評価を実施した。その結果、いずれの供試体も耐熱性における変化が比較的大きいものの、全て指標値を満足していた。
- (3) 疲れ強さ：列車通過時の負荷の影響を評価するため、繰り返し載荷試験を行った。この際、100 万回載荷毎に軌道重量を負荷した状態で 8 時間静置した後、静的ばね定数を測定した。その結果、いずれの供試体も指標値を満足していた。
- (4) クリープ特性：樹脂材料では継続的な負荷の下で変形量が時間の経過とともに増加（クリープ変形）する。そこで、圧縮クリープ試験を 40℃で実施し、軌道重量相当の応力を連続負荷した際の厚さの変化を確認し、長期的な変化量を推定した。その結果、いずれの供試体も指標値を満足していた。また、図 1 に圧縮クリープ試験による厚さの変化を示す。対数近似で外挿することにより、10 年後のクリープによる厚さ変化量を推定した結果、EPDM が約 1.4mm、PUR①が約 0.6mm、PUR②が約 0.7mm と推定され、いずれも 1000 時間後の指標値とした-5%（約 2.5mm）以内であり、10 年後でもこれらの供試体の厚さの変化は許容範囲内に収まると推定された。
- (5) 温度特性：樹脂材料は温度により特性が変化するため、使用環境を考慮して-10～40℃におけるばね特性の変化を確認した。図 2 に静的ばね定数の温度変化を示す。この温度範囲におけるばね定数の変化は、EPDM が±10%、PUR①が±15%の前後と比較的小さいのに対して、PUR②は低温で 40%以上の顕著な増加がみられた。

5. まとめ

3 種類の弾性材について検討した結果、EPDM および PUR①では全ての評価項目で指標値を満足し、フローティング弾直軌道への適用可能性を見出した。

参考文献

1) 田中博文, 清水惇, 古川敦, 菊地主介, 地子給和行: 振動特性に着目した直結系軌道における急曲線外軌波状摩耗の発生要因の推定, 鉄道工学シンポジウム論文集, No.15, pp.140-147, 2011

2) 洲上翔太, 渡辺勉, 高橋貴蔵: フローティング弾性まくらぎ直結軌道の開発, 土木学会第78回年次学術講演会, 2023 (投稿中)

3) 田中博文, 洲上翔太: 各種直結系軌道におけるレール波状摩耗の成長度合いの検証, 土木学会第78 回年次学術講演会, 2023 (投稿中)

4) 間々田祥吾, 半坂征則, 鈴木実, 栢田吉弘, 細田充: 弾性まくらぎ用弾性材の物性評価, 第18回鉄道技術連合シンポジウムJ-RAIL2011, 2011

表 3 評価結果

評価方法		指標値	EPDM	PUR①	PUR②
浸水加振	静的ばね定数	±20% 以内	-5.4	-2.1	-21.4
耐熱性	引張強さ		14.3	13.2	7.9
	100%モジュラス		16.8	18.4	17.7
耐水性	引張強さ		-3.7	-2.6	-7.1
	100%モジュラス		-0.8	9.8	8.1
耐アルカリ性	引張強さ		-0.5	-4.6	-4.7
	100%モジュラス		2.3	0.3	2.5
疲れ強さ	静的ばね定数	-5% 以上	10.7	-0.3	6.6
	厚さ		-4.4	-0.7	-2.6
クリープ特性	厚さ		-1.0	-0.5	-0.7

網掛け：指標値外

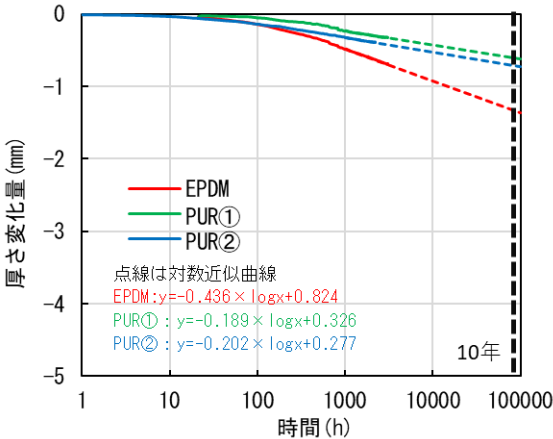


図 1 クリープによる厚さ変化

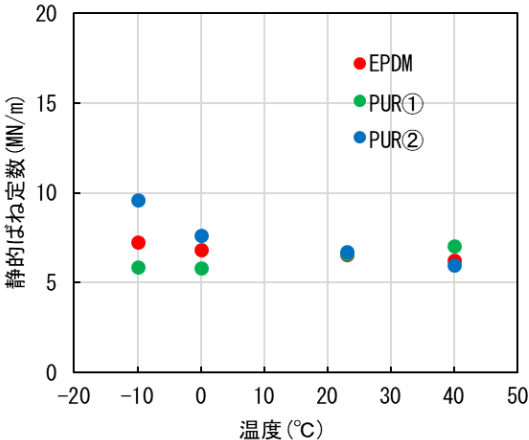


図 2 温度特性