レール高低調整用可変パッドの損傷低減対策品に関する検討

鉄道総研　正会員　○鈴木　実
鉄道総研　枡田　吉弘

1. 背景と目的

直結 8 形などの直結軌道の締結装置ではレール高さ調整のため，ラミネート袋内に反応硬化型樹脂を注入する可変パッドが用いられている．この可変パッドは列車荷重の他，レールの温度伸縮に伴うふく進力などが作用し，ふく進量が多い伸縮継目や橋梁などの構造境界付近では可変パッドの損傷や抜け出しが生じる場合がある．可変パッドの樹脂硬化物の温度特性に着目した結果，一部の製品では高温時の材料強度の低下が損傷要因の 1 つとなる可能性が示唆された．このため，従来と異なる樹脂や補強繊維を用いた損傷低減対策品を試作し，温度特性の改善効果などを検証した．

2. 損傷低減対策品

2.1 概要

可変パッドの表面温度はレール温度と図 1 の相関を有しており，レール温度を基準とすると実使用温度は-10～50℃程度と想定される．ただし，レール温度は日射や気温の影響が大きいことから [1]，一部の地域では低温側-20℃，高温側 60℃程度を想定する必要がある．損傷低減対策品は，これらの地域や頻繁に補修を必要とする特定の箇所への適用を意図したものである．温度特性や耐衝撃性などの改善による耐久性の向上を図るため，表 1 の改良品と開発品の 2 種を試作した．以下にその内容を述べる．

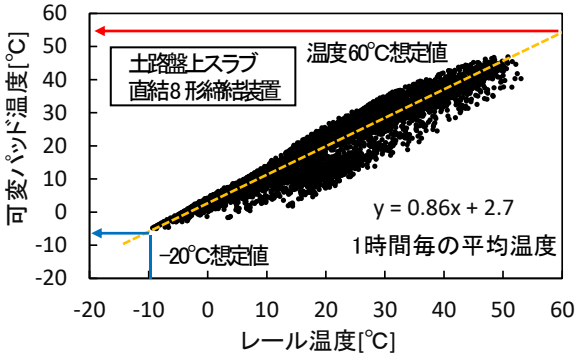

図1 レール温度と可変パッド温度の関係
鉄道総研構内(東京都国分寺市, 計測期間2017年4月～翌年2月)

表 1 損傷低減対策品の概要

	改良品	開発品
樹脂	ポリエステル系 → **変更なし** ※耐熱性，耐寒性が高いウレタン変性ポリエステル	ポリエステル系 → **環状オレフィン** ① 耐熱性，耐寒性，耐衝撃性に富む ② 延性材料．損傷時に飛散しない
補強繊維	ガラス → **ポリアリレート** ① ガラス繊維に比べて低弾性 ② 樹脂との接着性が高い	**補強繊維 → 不要** ① 損傷時に樹脂が飛散しない
期待される効果	①集中荷重や衝撃荷重の緩和 ② 接着性の改善	① 集中荷重や衝撃荷重の緩和 ② 耐熱性，耐寒性の改善

(1) 改良品

可変パッドには，主に損傷時の飛散防止のため，平織り構造のガラス繊維（GF）シートが用いられている．この代替品として合成繊維の 1 つであるポリアリレート繊維（PARF）の適用を検討した．一般に，合成繊維は GF に比べて低弾性であり，高分子材料特有の粘弾性を有するため，応力集中や衝撃荷重の緩和の効果が期待される [2]．PARF は同様の効果が期待されるが，合成繊維の中では高強度繊維に分類され，GF に匹敵する高弾性素材であり，温度特性も良好なため，可変パッドの補強繊維に適していると考えられる．ここでは，予め 2 枚の PARF シートを内側上下面に点融着した可変パッド袋を用意し，内部に樹脂を注入して可変パッドを試作した．

(2) 開発品

可変パッドは，レール高さを 3～14mm の間で無段階に調整するため，現場注入が可能な反応硬化型樹脂が用いられている．この代替品として，表 2 の環状オレフィンポリマー樹脂（COP）の適用を検討した．COP は耐衝撃性に優れる他，従来の脆性材料とは異なり損傷時に破片が飛散しないため，補強繊維が不要となる．

表 2 COP の性状

項 目		特性値
A材	色調	透明琥珀色
	比重	0.98±0.02
	粘度	0.30±0.10Pa·s
B材	色調	透明緑色
	比重	0.98±0.02
	粘度	0.30±0.10Pa·s
混合液	可使時間	30±5 秒
	硬化時間	100±10 秒
硬化収縮率		0.9%

2.2 温度特性評価試験

(1) 試験方法

損傷低減対策品の温度特性は，改良品と開発品，および比較のため現用の製品 2～3 種の試験片について表

キーワード　レール高低調整，可変パッド，補強繊維，環状オレフィン樹脂，ポリアリレート繊維
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　TEL042-573-7339

© Japan Society of Civil Engineers

3 の評価試験を実施した．これらの試験片は，実物大の可変パッド袋に液状樹脂を注入して製作した試験板からウォータージェットを用いて切り出した．なお，改良品と現用品は補強繊維入りの試験片とした．

(2) 試験結果

図 2 に-20℃曲げひずみと 60℃曲げ強さの関係を示す．現行の製品 A は-20℃曲げひずみが 3.6%と低温時の可撓性が低いが，60℃曲げ強さは 70MPa と高温時も十分な強度を保持している．一方，製品 B，C は-20℃曲げひずみが 4～5%と比較的可撓性が高いものの，60℃曲げ強さは各々6.0MPa，1.8MPa と顕著な低下がみられた．これらの現用製品に対し，改良品と開発品は 60℃曲げ強さが各々 67MPa，49MPa，-20℃曲げひずみが各々5.9%，6.4%となり，高温時の機械的強度と低温時の可撓性が向上することが確認された．

次に，耐衝撃性に関する評価では，図 3 に示すように改良品と開発品のシャルピー衝撃強さが-20℃と 23℃の各温度ともに製品 A，B の 2～4 倍の結果を示した．特に，-20℃での改善効果が高く，脆化傾向が現れる低温時の特性が向上することが期待される．

表 3 樹脂硬化物の材料特性評価試験

試験項目	試験方法（引用JIS，試験条件）
曲げ特性	JIS K7171，試験速度 2mm/min，支点間 64mm，圧子 r=5mm，試験片 100×80×4mm
シャルピー衝撃強さ	JIS K7111-1，秤量 5J，試験片 80×10×4mm，タイプ1 フラットワイズ

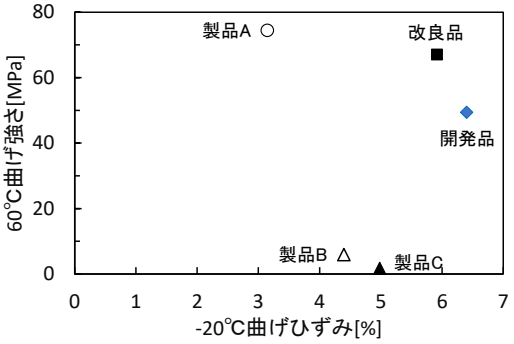

図 2 60℃曲げ強さと-20℃曲げひずみの比較

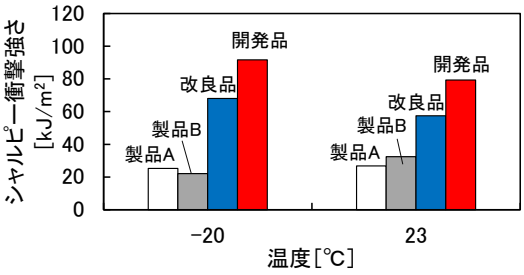

図 3 -20℃と 23℃のシャルピー衝撃強さの比較

2.2 その他の特性と損傷対策品の仕様

改良品，開発品のその他の特性評価試験結果を提案する要求特性の提案基準とともに表 4 に示す．圧縮特性，引張特性などの 6 項目について評価を行った結果，改良品と開発品は全項目で要求特性を満たすとともに，-20℃または 60℃での下限値を満たした．これより，脆化や軟化に起因した損傷が抑制され，耐久性が向上することが期待される．

なお，同表の要求特性は，経年品の劣化状況の他，レール小返り時の軌道パッド下面応力の解析，レールふく進試験などを基に，損傷低減対策品の特性の目標値として定めた数値である．

表 4 可変パッド損傷低減対策品の樹脂硬化物の要求特性と改良品，開発品の特性値

評価項目		単位	提案基準			損傷低減対策品特性値						備考(試験片
			基準値	下限値		改良品			開発品			
			23℃	60℃	-20℃	23℃	60℃	-20℃	23℃	60℃	-20℃	
圧縮特性	圧縮強さ	MPa	140	40	－	307.9	300		398.9	352		試験片:樹脂単体
	降伏点	MPa	40	10	－	127	76.6		79.9	60		
	弾性率	GPa	0.2	0.2	－	3.4	2.3		2.0	1.6		
引張特性	引張強さ	MPa	35	－	－	90.6			48.7			試験片:樹脂単体
	破断点ひずみ	%	5	－	－	6			24.9			
曲げ特性	曲げ強さ	MPa	50	35	－	129.6	67.1		74.7	49.4		試験片:複合材[注1]
	曲げひずみ	%	5	－	5	5.5		5.9	6.4		6.4	
	弾性率	GPa	1	1	－	3.6	1.7		2.1	1.6		
耐衝撃性	シャルピー衝撃強さ	kJ/m²	50	－	25	57.4		6.8	79.3		91.7	試験片:複合材[注2]
	引張衝撃強さ	kJ/m²	100	－	－	141	109.3		227.2	269.2		試験片:複合材[注1]
耐熱性	荷重たわみ温度	℃	60℃	－	－	81.2	－	－	142.1	－	－	試験片:樹脂単体

注1）試験片は、実施工時に使用する袋体内部に樹脂を注入した硬化物から切り出して製作する。補強繊維の偏在などで表と裏が異なる強度の場合は特に指定のない限り，原則として各々を評価する。
注2）試験片は、従来のU型ノッチ入り試験片から短冊形状のノッチなし試験片とする。

3. まとめ

可変パッドの温度特性に着目し，温度特性を改善するため， PARF を用いた改良品と COP 樹脂を用いた開発品を試作した．これらの樹脂硬化物の材料特性を評価した結果，-20℃の可撓性および 60℃の機械的強度の他，耐衝撃性が 2～4 倍に改善することなどが確認された．また，圧縮特性などに関する要求特性の提案基準も満たし，損傷が頻発する箇所などへの導入で耐久性の向上が期待される．

参考文献

1） 浦川文寛：日射を考慮したレール温度予測モデル、鉄道技術連合シンポジウム講演論文集 J-RAIL、2017.8
2） 長谷川真吾、山中貞勇、保坂信克、植松宗弘：繊維形状を変えた新幹線スラブ軌道用可変パッドの開発、土木学会第66回学術講演会、2011

© Japan Society of Civil Engineers