

3608 有道床弾性まくらぎの分岐器への適用について

[土] ○本野 貴志 [土] 今城 正嗣 (西日本旅客鉄道株式会社)

[機] 間々田 祥吾 (公益財団法人鉄道総合技術研究所)

Application To The Turnout Of Resilient Sleeper For Ballasted Track

Takashi MOTONO, West Japan Railway Company 2-4-24, Shibata, Kita-ku, OSAKA

Syouji IMAJYO, West Japan Railway Company

Syogo MAMADA, Railway Technical Research Institute

For the purpose of extending the life of the sleepers and track maintenance cycle, we were advancing into prestressed concrete sleepers turnout since 2002. This time, the resilient sleeper for ballasted track was applied into turnout for the purpose of extension of the further track maintenance cycle. In this paper, report on the contents and results considered. Moreover, the basic examination for grasping aged deterioration of under sleeper pad is also reported.

Keywords : turnout, resilient sleeper for ballasted track, elastic material, spring constant

1. はじめに

分岐器は、構造が複雑なため軌道弱点箇所の一つであり、メンテナンスに苦慮しているのが現状である。加えて、分岐器を支持する分岐まくらぎには、従来から木まくらぎが使用されてきたが、資源の枯渇、腐朽劣化およびまくらぎの反りによる耐久性や支持力の低さが問題となっている。そこで、JR西日本では分岐まくらぎの寿命延伸および軌道沈下抑制による保守量低減を目的として、図1に示すように分岐器内ポイント部のPCまくらぎ化を進めてきた^{1), 2)}。また、近年では軌道改良工事などにおいて、大型機械により施工が可能な場合には分岐器全体のPCまくらぎ化も行っている³⁾。

ここでは、分岐器の更なる保守量低減を目的とし、有道床弾性まくらぎ（以下、「弾性まくらぎ」という）を分岐器に適用したので、適用に当たった検討内容、試験敷設の概要および試験敷設後の評価内容について報告する。



図1 ポイント部PCまくらぎ化の例

2. PCまくらぎ使用分岐器の概要

分岐器のPCまくらぎ化では、分岐PCまくらぎにe2009 クリップ用のショルダーを埋設し、e2009 クリップにより分岐タイプレートと締結する構造である。なお、PCまくらぎと分岐タイプレートの間には、ばね定数110MN/mのパッドを挿入している。分岐タイプレートを分岐器内レールの締結方法は従来と同様に、座金およびレールプレスにより締結している。このPCまくらぎ使用分岐器を敷設した結果、表1に示すように従来の木まくらぎ使用分岐器に比べ、高低狂い進み量が50%以下になることが確認されたため、その後敷設範囲を拡大し現在では200組強の分岐器に適用している。

表1 高低狂い進み量の平均

	木まくらぎ (mm/年)	PCまくらぎ (mm/年)	PC/木
右レール	2.49	1.01	0.41
左レール	3.18	0.69	0.22
平均	2.84	0.85	0.31

3. 弾性まくらぎ化の概要

3.1 分岐器内の弾性化の検討

PCまくらぎ使用分岐器内を弾性化するためには、以下に示す2種類の方法が考えられる。

(1)弾性まくらぎを使用する

(2)締結部を弾性化する

(2)については、弾性化した場合でも使用可能な締結構造を検討する必要があるため、既存のPCまくらぎ使用分岐器のまま弾性化が可能である(1)による方法を選択することとした。

3.2 使用する弾性材

今回使用した弾性材は、発泡ウレタンを使用したUnder Sleeper Pad（以下、「USP」という）である。この

USP は図2に示すように、まくらぎ接着側には線状突起物があり、その突起物がPCまくらぎのコンクリートに食い込み接着する構造である。また、USPのばね定数が低い軟らかいものについては、USPとバラストとの接触によりUSPが劣化することを防ぐため、表面に不織布を貼り付けている。

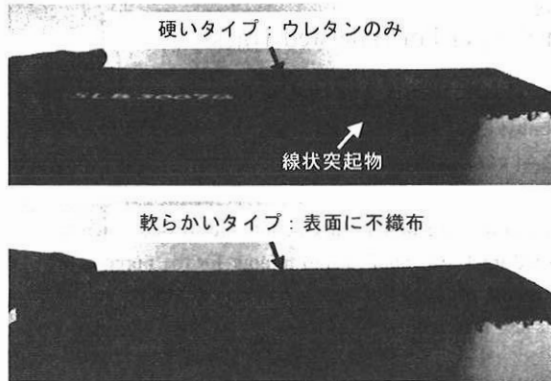


図2 弾性材の外観

3.3 弾性材のばね定数の設定

分岐器内はレールの固定方法の違いや、クロッシングがあるなど軌道の剛性が部位ごとに異なっている。そこで、列車通過時の分岐器内および一般軌道部の上下変位がほぼ一定となるように、有限要素解析を活用したシミュレーションにより決定する。その際、上下変位は分岐器全体をとおして1.5mm程度の沈下量となるように調整した。その結果、ポイント先端部では急激にばね定数を変化させないように10MN/mと最も硬くし、クロッシング乗り移り部では軌道の剛性が高いため、5MN/mと最も軟らかくした。それぞれの取付け部では、スムーズに変化させるため6.8MN/mとやや軟らかく設定した。分岐器内のばね定数の設定例を図3に示す。

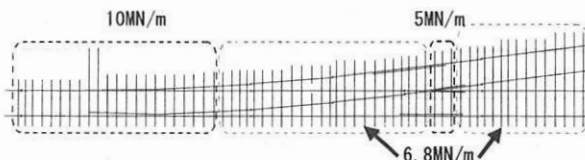


図3 USPのばね定数の設定例

3.4 PCまくらぎへの弾性材の定着

USPのPCまくらぎへの定着は、図4に示すようにPCまくらぎの製作工程中に可能である。PCまくらぎ型



図4 USPの定着状況

枠にコンクリートを流し込んだ後、PCまくらぎ下面となる面にUSPの線状突起物側から貼り付け、USPの上面(バラストと設置する面)から振動を加えることにより、USPを定着させる。

4. 弾性まくらぎを使用した分岐器の試験敷設

平成24年2月に弾性まくらぎを使用した分岐器を試験敷設した。試験敷設した分岐器諸元を表2に、試験敷設後の分岐器の状態を図5に示す。

表2 分岐器諸元

敷設年月日	平成24年2月17日夜
分岐器諸元	JRW T50N片12-451(全PC)※
列車進行方向	背向
列車最高速度	110km/h

また、試験敷設後の検証項目は以下の内容とした。

(1) 高低狂い進み量

PCまくらぎ使用分岐器との比較を行う。

(2) PCまくらぎ沈下量

分岐器内のPCまくらぎ沈下量を測定し、均一に沈下しているか確認する。

(3) USPの耐久性

同時期に一般軌道に敷設したUSP使用有道床弾性まくらぎの耐久性を検証する。



図5 試験敷設した弾性まくらぎ使用分岐器

5. 高低狂い進み量

敷設2ヶ月後から5ヶ月後までの分岐器内の高低狂いの推移を図6に、高低狂い進み量を表3に示す。なお、高低狂いの測定はJR西日本が所有する総合軌道検測車で行った。その結果、初期沈下が収束したと推定される敷設2ヶ月後から敷設7ヶ月後の高低狂いの推移を見ると、ほとんど変化していないことが分かる。また、敷設2ヶ月後からの5ヶ月間の高低狂い進み量を見ると、ポイント部が平均0.31mm/5ヶ月と最も狂い進み量が大き

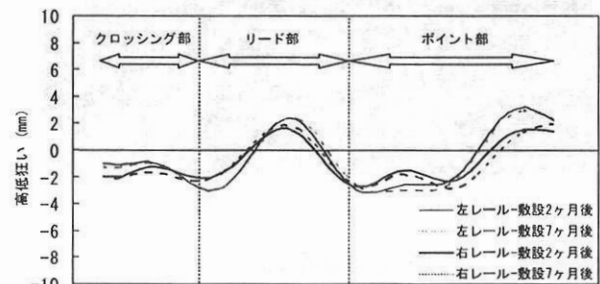


図6 高低狂いの推移

く、ついでクロッシング部の平均 0.17mm/5 ヶ月、リード部の平均 0.03mm/5 ヶ月の順であった。これをポイント部において1 ヶ月あたりに換算すると、PCまくらぎ使用分岐器は 0.07mm/月、弾性まくらぎ使用分岐器は 0.06mm/月であり、現時点では明確な差は現れていない。今後も継続して高低狂いおよび高低狂い進み量をトレースし、効果の検証を進めることとする。

表3 高低狂い進み量の平均

	弾性まくらぎ使用分岐器 (mm/5 ヶ月)		
	ポイント部	リード部	クロッシング部
右レール	0.39	0.00	0.23
左レール	0.23	0.06	0.12
平均	0.31	0.03	0.17

6. 弾性まくらぎ沈下量

敷設5ヵ月後の弾性まくらぎの沈下量を測定した。測定は、非接触式たわみ測定器⁴⁾を用い、図7および表4に測定点を示す。測定位置は、USPの差異および分岐器構造の変更点となる箇所から選定し、一般軌道との沈下量の比較も行うこととした。

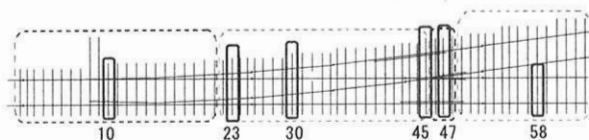


図7 弾性まくらぎ測定位置

表4 弾性まくらぎ沈下量測定位置の諸元

まくらぎNo.	USPばね定数	備考
10	10MN/m	トングレールから3本目
23	6.8MN/m	まくらぎ長の変化点
30	6.8MN/m	まくらぎ長の変化点
45	6.8MN/m	軌間欠線部
47	5MN/m	大幅弾性まくらぎ
58	なし	3号PCまくらぎ

弾性まくらぎの沈下量測定の結果を表5に、弾性まくらぎ沈下測定結果の例を図8に示す。表5より、まくらぎNo.45のみ約1mmの沈下量であったが、その他の測定箇所については約0.5mmの沈下量となっており、全体をとおして弾性まくらぎの沈下はほぼ均一であったといえる。また、まくらぎNo.58の一般軌道の沈下量も約0.6mmとなっており、弾性まくらぎ化の目的である一般軌道と分岐器区間の軌道沈下量の均一化が図れていることを確認した。

表5 弾性まくらぎ沈下量測定結果

まくらぎNo.	USPばね定数	沈下量(最大値)
10	10MN/m	0.49mm
23	6.8MN/m	0.50mm
30	6.8MN/m	0.57mm
45	6.8MN/m	0.95mm
47	5MN/m	0.54mm
58	なし	0.59mm

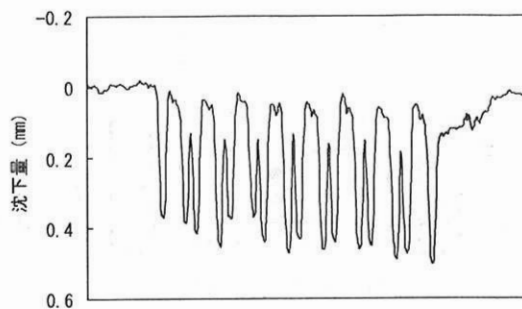


図8 まくらぎNo.23の弾性まくらぎ沈下測定結果例

7. USPの耐久性

USPの耐久性の検証をするための手段として、営業線に敷設している弾性まくらぎの打撃試験を行い、USPのばね定数を求め、その変化によりUSPの変状をとらえることとした。

7.1 試験概要

打撃試験は、加振力の大きさおよび周波数特性の測定が可能なインパルスハンマで試験体を打撃した際の試験体の振動応答を測定する試験である。打撃試験の状況を図9に示す。



図9 打撃試験の実施状況

7.2 試験体

試験対象としたまくらぎは、分岐器に使用した弾性まくらぎと同じUSPを使用し、一般軌道に敷設した弾性まくらぎ(重量:286kg)と同区間に敷設している特殊区間用PCまくらぎ(以下、「特殊まくらぎ」という)(重量:257kg)の2種類とした。この2種類のまくらぎは重量が若干異なるもののほぼ同じ形状をしている。試験では弾性まくらぎ3本、特殊まくらぎ3本の計6本を試験体とした。試験体の配置状況を図10に示す。



図10 試験体の配置状況

7.3 試験方法

打撃試験は、レール締結装置を外した状態でインパルスハンマにより打撃した。インパルスハンマは086050D型(PCB Piezotronics, inc.製)を用い、振動応答は振動加速度計ピックアップPV-85(リオン(株)製)で測定した。

また、測定結果は周波数解析機 SA-01（リオン株式会社）で解析した。打撃点および測定点を図 11 に示す。

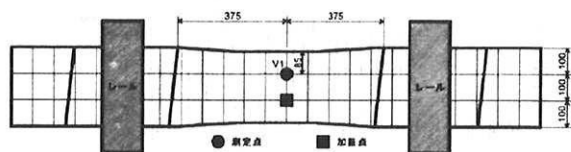


図 11 打撃点および測定点

7.4 試験結果

試験結果を図 12 に示す。試験結果は各周波数での単位加振力当りの振動加速度（以下、「アクセラランス」という）を求め、0dB を $10^{-5} \text{ ms}^{-2}/\text{N}$ とした。

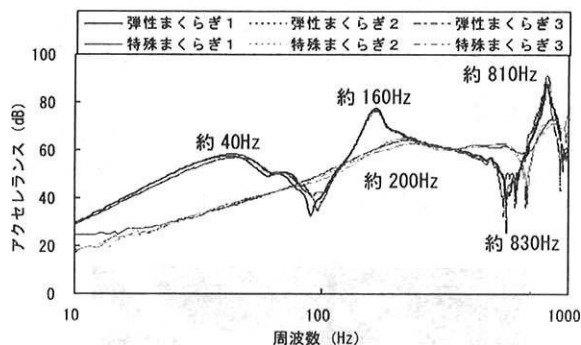


図 12 試験結果

試験結果より、次のことが分かる。

- (1) 弾性まくらぎおよび特殊まくらぎそれぞれのアクセラランスはほぼ同じ傾向であるが、まくらぎ種別によりその傾向は異なる。
- (2) 弾性まくらぎのアクセラランスには 3 つのピーク（約 40Hz、約 160Hz、約 810Hz）があり、特殊まくらぎには 2 つのピーク（約 200Hz、約 830Hz）がある。

以上より、弾性まくらぎと特殊まくらぎがほぼ同じ形状であることを踏まえると、アクセラランスの違いはまくらぎ下の状況の違いによるものと考えられる。

各まくらぎのアクセラランスのピークについて検証するため、有限要素法によるモデル計算を行った。その結果、図 13 に示すように試験結果と計算結果はほぼ一致している。その計算結果から求められたアクセラランスの各ピークにおける挙動から、弾性まくらぎの場合、約 40Hz が弾性まくらぎ全体が振動する周波数、約 160Hz が 1 次曲げの振動モード、約 810Hz が 2 次曲げの振動モードの周波数であることを確認した。

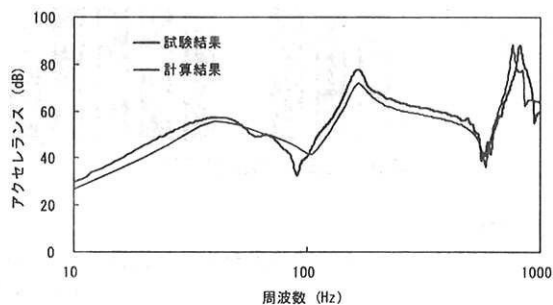


図 13 弾性まくらぎの試験結果と計算結果

7.5 ばね定数の算出

弾性まくらぎにおけるアクセラランスの約 40Hz のピークが弾性まくらぎ下の USP およびバラストのばね定数を反映しているため、この周波数に着目して USP のばね定数を算出した。ただし、弾性まくらぎの試験結果から得られるばね定数は USP とバラストのばね定数の合成であるため、特殊まくらぎの試験結果からバラストのばね定数を求めた後、USP のばね定数を算出した。特殊まくらぎにおけるアクセラランスの約 200Hz のピークを、まくらぎ 1 次曲げの振動モードによるものと仮定し、有限要素法によるモデル計算で求めた結果、バラストのばね定数は約 150MN/m であった。同様に弾性まくらぎ下のばね定数を求め、そのばね定数が USP とバラストばねの合成であることから、次式を用いて USP のばね定数を算出した。

$$K = (K_1 \times K_2) / (K_1 + K_2)$$

ここで、 K_1 はバラストのばね定数、 K_2 は USP のばね定数である。その結果、USP のばね定数は約 20MN/m であった。

7.6 耐久性の検討

今回の打撃試験結果では、USP のばね定数は約 25MN/m と求められた。ここで、USP が経年変化し、硬化することを想定すると、ばね定数が 1.5 倍となった場合の弾性まくらぎの共振周波数は約 50Hz、2 倍となった場合の共振周波数は約 60Hz となるため、共振周波数の変化からばね定数の変化を把握することは可能であると考えられる。また、ばね定数は経年だけでなく温度によっても変化する可能性がある。そこで、今回の試験時の最高気温は約 34℃（気象庁）であり、冬期と比較すると 30℃程度の温度差があるため、温度差によるばね定数を今後は把握するとともに、経年の変化を継続して測定することとする。

8. おわりに

弾性まくらぎを分岐器に適用したことにより得られた成果は以下のとおりである。

- (1) 列車通過時の軌道沈下量測定結果から、シミュレーション結果と若干の差はあるものの、分岐器内の軌道沈下傾向を均一化できることを確認した。
- (2) 高低狂い進み量は現時点で PC まくらぎ使用分岐器と同程度であることを確認した。
- (3) USP の耐久性について、弾性まくらぎの打撃試験を行うことにより、経年変化の傾向を把握する可能性を見出すことができた。

今後は、高低狂い進み量および USP のばね定数を継続して測定し、弾性まくらぎを適用した分岐器の効果の検証を行うこととする。

最後に本検討にあたり関係各社には多大なるご協力をいただいた。ここに謝意を表する。

参考文献

- 1) 福井義弘、大西康之、松崎孝志：分岐器ポイント部 PC まくらぎ化の試験敷設、新線路、pp.19-23, 2000.5
- 2) 吉田裕：分岐器 PC まくらぎ化のその後、新線路、pp.41-43, 2002.4
- 3) 吉田裕、鈴木喜也、塩見環：分岐器全体 PC まくらぎ化、新線路、pp.17-19, 2005.9
- 4) 高橋康将、坂本保彦、御崎哲一：デジタルカメラを用いた非接触式たわみ測定器の実用化、日本鉄道施設協会誌、2012 年 2 月