

# 論文 在来線用薄型分岐PCまくらぎの開発

正木 亮<sup>1</sup>・青松 功輝<sup>2</sup>・唐須 崇<sup>3</sup>・楠田 将之<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 株式会社レールテック 軌道事業部 技術コンサルティング部  
(〒532-0011 大阪府大阪市淀川区西中島 5-4-20)

E-mail: masaki\_ryou@railtec.jp

<sup>2</sup>正会員 西日本旅客鉄道株式会社 施設部 施設技術室 (〒530-8341 大阪府大阪市北区芝田 2-4-24)  
E-mail: kouki-aomatsu@westjr.co.jp, masanobu-kusuda@westjr.co.jp (Corresponding Author)

<sup>3</sup>非会員 大和軌道製造株式会社 技術部 開発課 (〒671-1133 兵庫県姫路市大津区吉美 380)  
E-mail: tkarasu@yamatokido.co.jp

本開発では、在来線用のPCまくらぎ分岐器の構造改良として、まくらぎの薄型化およびまくらぎ配置間隔を拡大したPCまくらぎ分岐器に適用する、薄型分岐PCまくらぎを開発した。新たに開発した分岐PCまくらぎは、PC鋼線の配置本数およびコンクリートの設計基準強度を変更することで、木まくらぎと同等のまくらぎ高さで強度上成立することが明らかとなった。また、分岐PCまくらぎの性能確認試験および営業線での試験敷設を実施し、所定の性能を有することを確認した。

**Key Words:** turnout, prestressed concrete sleeper, spacing of sleepers, design strength

## 1. はじめに

各鉄道事業者では分岐器の保守周期の延伸や省力化を目的として、分岐まくらぎに使用されてきた木まくらぎにおける耐久性や軌道沈下等に対する支持力の低さ等の課題に対し、PCまくらぎやまくらぎをレール長手方向に連結した構造を適用した分岐器の開発が進められてきた<sup>1)2)</sup>。中でもPCまくらぎ分岐器<sup>2)</sup>は、木まくらぎ分岐器と比較して、軌道狂い進み量が1/3程度になる等、一定の沈下抑制が確認されている<sup>4)</sup>。加えて、更なる保守低減や作業性の向上を目的に、弾性まくらぎの適用<sup>4)</sup>や弾性継手を用いた分岐PCまくらぎの分割化<sup>5)</sup>等の開発が行われてきた。一方で、分岐PCまくらぎのまくらぎ高さは木まくらぎよりも高く、敷設に労力を要する課題がある。また、現行のPCまくらぎ分岐器（以下、現行PC分岐器）のまくらぎ配置間隔（以下、配置間隔）は、鉄道構造物等設計標準・同解説<sup>6)</sup>（以下、設計標準）で示される標準の間隔が適用されている木まくらぎ分岐器と大きく変更しておらず、PCまくらぎ化による構造強化にあわせて拡大し、投入コストを低減できる可能性がある（表-1）。

そこで、まくらぎの薄型化および配置間隔を拡大したPCまくらぎ分岐器（以下、薄型PC分岐器）に適用する、薄型分岐PCまくらぎの開発を実施した。

表-1 まくらぎの配置間隔（標準）

位置	間隔(mm)
継目部	450
継目の隣接部	500±50
中間部	600±50
転てつ機部	600

## 2. まくらぎ断面形状および配置間隔拡大の検討

### (1) 検討条件

断面形状の検討条件として、まくらぎ高さは木まくらぎと同等の140 mm、まくらぎ幅は在来線の一般軌道（特殊区間用）で標準的に使用されているまくらぎの底面幅300 mmを上限値とした。PC鋼線のあきやかぶりはJIS E 1201(プレテンション式PCまくらぎ)（以下、JIS規格<sup>7)</sup>で示されるPCまくらぎに準拠し、PC鋼より線1本あたりの緊張力は在来線用の6号まくらぎ、新幹線用の3Tまくらぎ等に準拠した標準的なものとした。配置間隔は、締結装置に保守省力化に一定の効果が確認されているパンドロール分岐器<sup>8)</sup>で用いられている線ばねクリップ（以下、クリップ）を適用し、一般区間における配置間隔の適用範囲である750 mm<sup>9)</sup>を最大とした。なお、継目部や継目の隣接部では、中間部よりもまくらぎに作用する応力が大きく<sup>10)</sup>、モータ部では、電気転てつ機の締結

位置の制約があることから、現行通りの配置間隔とした。

断面形状の照査は限界状態設計法により、設計応答値の算定は静的解析法で実施した<sup>11)</sup>。JIS 50 kgNレール用12番分岐器<sup>12)</sup>を基本に中間部の配置間隔を750 mmとした分岐器の各種レールおよびまくらぎ位置において、まくらぎ1本ごとに輪重による曲げモーメントと横圧による曲げモーメントをそれぞれ別に算出し、それらを足し合わせることで、まくらぎに発生する曲げモーメントを算定した(図-1)。加えて、ガード部では背面横圧も作用させた。ここで、輪重による曲げモーメントは弾性床上の梁理論による有限長の梁の公式<sup>13)</sup>で算出した。横圧および背面横圧による曲げモーメントは、まくらぎ端を固定端とした片持ち梁で算出した。

荷重条件は、輪重 80 kN、常時横圧30 kN、偶発横圧および背面横圧60 kNの静的荷重に、それぞれ割増係数(変動係数)および作用の線路方向の荷重分散を考慮した分散係数を乗じたものとした。なお、本検討において変動輪重係数は、一般にPCまくらぎの設計で用いられる安全性4.0、使用性2.0<sup>11)</sup>、変動横圧係数は、設計標準<sup>6)</sup>の「7章 直結系軌道の性能照査」で用いられる安全性0.8、使用性0.4とした。また、分散係数は、配置間隔に依存する荷重分散を考慮し、600 mmでは0.42、750 mmでは0.49とした<sup>14)</sup>。

(2) 検討結果

まくらぎ高さを140 mmかつ、配置間隔の最大を750 mmとした条件で強度が成立する断面を検討した結果、一般的なPCまくらぎで使用するコンクリート(設計基準強度49.1 N/mm<sup>2</sup>)では成立せず、高強度コンクリート(設計基準強度80 N/mm<sup>2</sup>以上)を使用し、PC鋼線の本数を増やすことで設計強度を満足することを確認した。なお、背面横圧が作用するガードとクロッシング部では、750 mmの配置間隔では断面が成立しなかったため、現行通りの配置間隔とした。薄型分岐PCまくらぎの断面形状については、強度上成立させるため、図-2に示すように使用する部位ごとに断面形状およびPC鋼線の配置を変化させている。

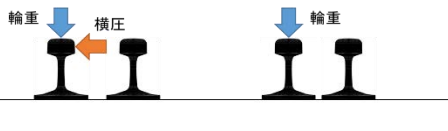


図-1 荷重の作用方法の一例

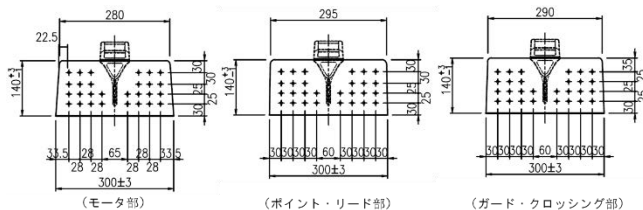


図-2 薄型分岐PCまくらぎの断面形状

3. 分岐器走行シミュレーション

まくらぎ断面形状の変更および配置間隔の拡大によって分岐器の支持条件を変更した場合、軌道沈下量の増加など保守面への影響が懸念されたため、分岐器走行シミュレーションを実施した<sup>15)</sup>。

(1) 概要

本シミュレーションでは、JIS 50 kgNレール用12番分岐器<sup>12)</sup>の線形をモデル化し、まくらぎ断面形状および配置間隔の分岐器の支持条件ならびに車両走行速度を変更し、輪重、レール変位およびまくらぎ下面圧力を比較した。

解析モデルは、レールとまくらぎをFEM梁要素で構成し、レールとまくらぎ間、まくらぎと地盤間をばね要素で連結し、地盤を剛体として構成した。配置間隔は、分岐器区間内を一律で固定し、まくらぎ長さは図面によらず分岐器の線形に応じて一律に増加するモデルとした。

まくらぎの断面形状は、高さ210 mmの現行の分岐PCまくらぎと高さ140 mmの薄型分岐PCまくらぎの2パターン、配置間隔は650 mmと750 mmの2パターンとした。表-2に解析に用いたまくらぎと支持ばねの諸元を示す。支持ばね係数は、まくらぎ配置間隔等の諸条件から定まる値を用いた。なお、まくらぎ支持ばね係数はまくらぎ長さ2000 mmあたりの値を示している。

車両条件は、静止輪重約63.6 kNの旅客列車相当の車両モデル<sup>16)</sup>を用い、車両の走行は分岐器の基準線側を対向走行させる条件とし、車両走行速度は100 km/hと130 km/hの2パターンとした。表-3に解析ケースを示す。解析は

表-2 まくらぎの物性値および各支持ばね諸元

		一般区間	分岐器区間			
レール支持ばね (MN/m)		110				
まくらぎ種別		PC	現行 PC	薄型 PC		
断面形状(mm)		上面 196.8 底面 240 高さ 130	上面 250 底面 270 高さ 210	上面 290 底面 300 高さ 140		
配置間隔(mm)		581	650	750	650	750
まくらぎ支持ばね (MN/m)	上下	45.9	50.2		54.3	
	前後	8.8	20.7	20.9	10.5	10.6
	左右	3.5	7.3	7.5	4.6	4.8

表-3 解析ケース

CASE	条件		
	配置間隔(mm)	断面(mm)	速度(km/h)
1	650	高さ 210 (現行分岐 PC)	100
2	750		
3	650		
4	750	高さ 140 (薄型分岐 PC)	130
5	650		
6	750	高さ 210 (現行分岐 PC)	130
7	650		
8	750	高さ 140 (薄型分岐 PC)	

上記の分岐器の支持条件および車両条件を変更し、8CASEで実施した。なお、現行および薄型PC分岐器における標準的な分岐器の支持条件は、現行PC分岐器はCASE1と5、薄型PC分岐器はCASE4と8である。解析結果のうち、輪重は、車両の1軸目の値、レール変位は、ほぼ同等の値である車両モデルの車輪変位量で輪重と同様車両の1軸目の値を整理した。まくらぎ下面圧力は、車両走行時にまくらぎの支持ばねに作用する最大値をまくらぎの底面積で除して求めた。

(2) シミュレーション結果

シミュレーション結果を表-4に示す。解析結果は、全て10ms刻みの時刻歴で整理した。

a) 輪重

現行PC分岐器と薄型PC分岐器の比較（CASE1と4、CASE5と8）では、分岐器の支持条件や車両走行速度の条件の違いによる傾向は確認されず、差は最大2.0 kN程度であった。

b) レール変位

レール変位は下方向への変位量のうち、最大値および最小値を整理した。現行PC分岐器と薄型PC分岐器の比較（CASE1と4、CASE5と8）では、配置間隔の拡大によりレール変位が増加する傾向となったが、最大でも0.1 mm程度の増加であった。また、車両走行速度の差異による影響も確認されなかった。

c) まくらぎ下面圧力

現行PC分岐器および薄型PC分岐器のそれぞれのケースにおいて、配置間隔を変化させた条件の比較（CASE1と2、CASE3と4、CASE5と6およびCASE7と8）では、配置間隔の拡大によりまくらぎ下面圧力が増加する傾向となった。しかし、現行PC分岐器と薄型PC分岐器の比較（CASE1と4、CASE5と8）では、最大で0.001 N/mm<sup>2</sup>程度の差であった。これは、薄型分岐PCまくらぎが現行分岐PCまくらぎよりもまくらぎの底面積が大きく、圧力の分散面積が増加したことによる影響だと考えられる。

以上の結果より、まくらぎ断面形状の変更および配置間隔を拡大した場合でも、保守面へ与える影響は小さく、実用上問題ないことを確認した。

表-4 分岐器走行シミュレーションの結果

CASE	輪重(kN)		レール変位 (mm)		まくらぎ下面圧力(×10 <sup>2</sup> N/mm <sup>2</sup> )	
	最大	最小	最大	最小	最大	最小
1	70.3	57.7	1.22	1.00	7.7	4.2
2	70.7	58.3	1.36	1.12	8.7	4.7
3	70.2	58.9	1.20	0.99	7.1	3.9
4	68.4	59.5	1.35	1.11	7.6	4.2
5	67.8	58.9	1.19	0.99	7.3	4.0
6	67.9	59.9	1.35	1.11	8.5	4.4
7	67.7	59.6	1.18	0.98	6.5	3.6
8	68.1	60.1	1.33	1.10	7.4	3.9

4. 性能確認試験

(1) 試作

性能確認試験のために試作した薄型分岐PCまくらぎを表-5に示す。使用する部位ごとに断面形状を変化させているため、断面形状の異なる3種類の薄型分岐PCまくらぎを各3本試作した。試作に際し、事前検討により、プレストレスや断面形状等の影響によりまくらぎが長さ方向に数mm縮むことを認めたため、予め縮み量分だけ型枠を大きく製作した。また、まくらぎの反りについても、想定される反り量等を考慮し、予め逆反り加工を施した。コンクリートは、従来よりも高強度にするため、混和材として高炉スラグ等を含有了したものを使用した。なお、高強度コンクリートは水和熱が高く、製作後のひび割れが懸念されたため、脱型後は散水養生を実施した。試作した薄型分岐PCまくらぎは反り量や寸法公差がJIS規格<sup>7)</sup>で定められるPCまくらぎにおける許容差や設定した基準値内に収まっており、製造上の問題がないことを確認した。

(2) 電気絶縁抵抗試験

a) 試験概要

現行の分岐PCまくらぎよりまくらぎ高さを低くした一方で、PC鋼線の本数を増加させたことから、電気絶縁性への影響が懸念された。そこで、設計標準<sup>9)</sup>の「付属資料12 レール締結装置の絶縁抵抗照査例」に基づき、電気絶縁抵抗値を測定した。設計限界値は、在来線の軌道回路における漏れコンダクタンスの目標値0.5 s/km、配置間隔を450 mmとして算出したまくらぎ1本あたりに必要な電気抵抗値4.4 kΩを採用した。

b) 試験結果

試験結果を表-6に示す。電気絶縁抵抗の最小値は、2400 mmの汚損状態における飽和状態の5.4 kΩであり、設計限界値4.4 kΩ以上であることから、いずれの薄型分岐PCまくらぎも必要な絶縁性能を有することを確認した。

表-5 試作した薄型分岐PCまくらぎ

長さ(mm)	使用部位	本数
2400	ポイント・リード	3
3300	モータ	3
3400	クロッシング・ガード	3

表-6 電気絶縁抵抗の試験結果

試験条件	電気抵抗値 (kΩ)			
	2400 mm	3300 mm	3400 mm	
乾燥状態	258.2	535.7	848.9	
降雨状態	飽和	21.4	17.4	32.2
	1分後	51.2	39.5	83.1
汚損状態	飽和	5.4	6.2	7.7
	1分後	15.2	18.2	22.4

(3) 曲げ試験およびショルダー引抜試験

a) 試験概要

薄型分岐PCまくらぎの強度確認のため、JIS規格<sup>7)</sup>で定める曲げ試験およびショルダー引抜試験を実施した。曲げ試験では、一軸式試験機（株東京衡機製、アムスラー式）を使用した。

b) 試験結果

コンクリートの材齢28日の圧縮強度の測定結果を表-7に示す。表中の値は最小値を示す。また、括弧内の数値は3本の平均値を示す。いずれも設計基準強度に対して2～3割程度大きく、十分な強度が確保されていた。

曲げ試験およびショルダー引抜試験の結果を表-8に示す。コンクリートの圧縮強度と同様に、表中の試験値は最小値、括弧内の数値は3本の平均値を示す。曲げ試験における設計値は、まくらぎ長さや載荷条件から定まる値、ショルダー引抜試験における設計値は、JIS規格の埋込カラーの値<sup>7)</sup>を適用した。曲げ試験では、保証荷重および破壊荷重ともにレール位置断面の試験値は設計値の約1.5倍、まくらぎ中央部では設計値の約1.7倍となった。また、ショルダー引抜試験では、破壊荷重での試験値が設計値の2倍以上となり、いずれのまくらぎにおいても十分な強度を有していることを確認した。

点とし、図-3に示す位置で測定した。まくらぎ曲げモーメントは長さの異なる4本（分岐器前端より長さ2000mm、3300mm、2200mmおよび2400mm）を対象に、得られたひずみより、式(1)を用いて換算した。

$$M = \frac{E \cdot \varepsilon}{y} \times I \quad (1)$$

ここで、

M：曲げモーメント

E：コンクリートのヤング率

ε：ひずみ

y：コンクリートの図心からのひずみゲージまでの距離

I：断面二次モーメント である。

ひずみゲージ（株東京測器研究所製、MFLA-60-350-11-3LS）はまくらぎ1本に対しレール位置2断面とまくらぎ中央1断面の3断面に対し、まくらぎの上縁および下縁に2枚の、計6枚貼付けした。なお、レール位置断面におけるひずみゲージの貼付け位置は基準線側のレール直下とした。輪重および横圧ゲージ（日本電子応用機製、PG-205およびQG-205）は、図-3に示すように分岐器前端側から3本目と4本目のまくらぎ間（トンダレール先端から3200mm位置）に設置した。この箇所としたのは、前端側から2本目と3本目のまくらぎ間に溶接継目があり、

5. 試験敷設

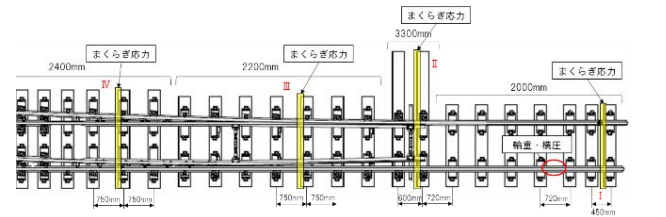
(1) 試験概要

薄型分岐PCまくらぎの敷設工事における施工性の確認および、列車通過時に生じる応力等の確認を目的に、営業線への試験敷設を実施した。敷設箇所の諸元を表-9に示す。当該箇所は、貨物列車の高密度走行線区かつ年間通過トン数が多く、現地試験の測定環境を確保できることから敷設箇所に選定した。

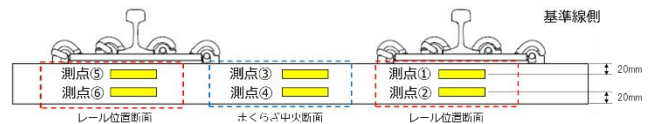
現地における応力等の測定項目および測点数は、まくらぎ曲げモーメント24測点、輪重1測点および横圧1測

表-9 敷設箇所の諸元

分岐器形式	JRW T50N 片 12-451 右開き
年間通過トン数	基準線側：32.1百万トン/年 分岐線側：0.5百万トン/年
列車進入方向	対向
列車速度(最高)	基準線側：130 km/h 分岐線側：45 km/h



(a) 測定箇所全体



(b) まくらぎへのひずみゲージ貼付け位置

図-3 現地試験の測定位置

表-7 コンクリートの圧縮強度

まくらぎ長さ (mm)	設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )
2400	80	106.5 (107.2)
3300		
3400	100	129.8 (131.5)

表-8 曲げ試験・ショルダー引抜試験の結果

長さ (mm)	曲げ試験(kN)								ショルダー引抜試験(kN)			
	レール位置断面				中央断面				保証荷重		破壊荷重	
	保証荷重		破壊荷重		保証荷重		破壊荷重		設計	試験	設計	試験
	設計	試験	設計	試験	設計	試験	設計	試験				
2400	121	180 (185)	237	365 (372)	87	145 (147)	189	325 (337)	50 以上	50 以上	69	142 (151)
3300	125	190 (192)	235	375 (393)	90	145 (150)	191	350 (360)			153 (157)	
3400	133	191 (195)	258	392 (407)	90	155 (157)	196	325 (331)			154 (166)	

継目前後での輪重変動を確認するためである。また、準備作業の効率上、横圧ゲージも同様の位置に設置した。ひずみゲージはブリッジボックス（㈱共和電業製、DB350T8）および接続ケーブル（多治見無線㈱製）を介して動ひずみ計（NEC三栄製、6G02）に接続し、オムニエース（NEC三栄製、RA2300）にデータを収録した。サンプリング周波数は5 kHzとした。

測定列車は、旅客列車および貨物列車とし、旅客列車は基準線側走行の特急列車および普通列車、分岐線側走行の普通列車、貨物列車は基準線側走行の6軸および4軸の車両形式とした。測定列車の列車速度は、輪重のひずみの測定値を用い、先頭車両の1軸目および2軸目が通過した際のピーク値間の時刻歴と測定列車の固定軸距から算出した（図-4）。

(2) 試験敷設

当該分岐器の分岐器前端継目からポイント後端継目までの範囲を対象に薄型分岐PCまくらぎへ交換した。まくらぎ交換に先立ち、ポイント後端継目に敷設されている絶縁継目をリード部へ移設した。また、モータ部のまくらぎ上面幅が現行の分岐PCまくらぎよりも広がったため、まくらぎとフロントロッドの離隔を確保するため、フロントロッドの交換も実施した。まくらぎ交換は、分岐まくらぎ28本を撤去し、薄型分岐PCまくらぎを24本挿入する施工内容で、敷設箇所の線路閉鎖間合および電気融雪器の撤去復旧やロック調整等の信号作業時間を考慮し、1日あたり5~7本交換し、4日間を実施した。当該箇所は、線路閉鎖工事間合が2時間程度であったが、事前の準備作業等を効率的に実施する工事計画を立案することにより、比較的短期間で施工が可能であった。

(3) 応力等の測定結果

a) 輪重の測定結果

輪重の測定結果と列車速度の関係を図-5に示す。測定値は各列車の最大値を示している。同図では、一例として、設計標準<sup>9)</sup>の「付属資料15 バラスト軌道の性能照査に用いる作用の算定方法」により算出した貨物列車（6軸）の輪重の推定値も示している。図より、貨物列車（6軸）の輪重の測定値は推定値を下回る結果となった。また、他の車両形式でも同様の傾向が確認された。測定最大値は、貨物列車で104.2 kN、旅客列車（特急列

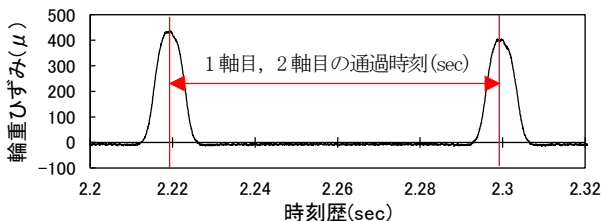


図-4 列車速度の波形読み取りの一例

車) では79.9 kN、旅客列車（普通列車）では65.6 kNであり、全ての測定列車で輪重80 kNに変動輪重係数2.0を考慮した設計輪重160 kN以下であった。

b) 横圧の測定結果

横圧の測定結果と列車速度の関係を図-6に示す。横圧についても輪重と同様に測定最大値を示している。図より、横圧は車両形式や列車速度による増加傾向は確認されず、旅客列車（普通列車）の分岐線側通過時に最大で10.7 kNであり、全ての測定列車で偶発作用の横圧60 kN以下であった。なお、分岐線側走行時の横圧測定を目的としたが、測定箇所がトングレール先端より3200 mmと分岐器内曲線から離れた位置であったため、必ずしも大きい値が測定される箇所となっていない可能性がある。

c) まくらぎの曲げモーメントの測定結果

表-10に薄型分岐PCまくらぎの発生曲げモーメントの測定結果を示す。表には、まくらぎごとにレール位置断面2箇所（測点①と②、測点⑤と⑥）およびまくらぎ中央断面1箇所（測点③と④）で測定された最大の正曲げモーメントについて、最大値および平均値をそれぞれ整理した。なお、表では、基準線側基本レール直下のレール位置断面（測点①と②）をレール①、測点⑤と⑥の位置をレール②と表記している。

最大曲げモーメントは、モータ部の3300 mmまくらぎのレール②の位置で、貨物列車（6軸）走行時に8.4 kN・mであった。また、その他の測定列車においても、同位置での発生曲げモーメントが最大となった。

基準線側走行の貨物列車（6軸）と旅客列車（普通列車）の発生曲げモーメントの平均値の比率は、測点によってばらつきがあり、最大で3.0倍であった。また、基準線側走行と分岐線側走行の旅客列車（普通列車）の平

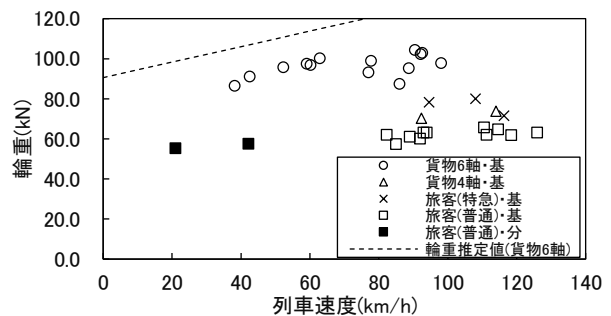


図-5 輪重の測定結果

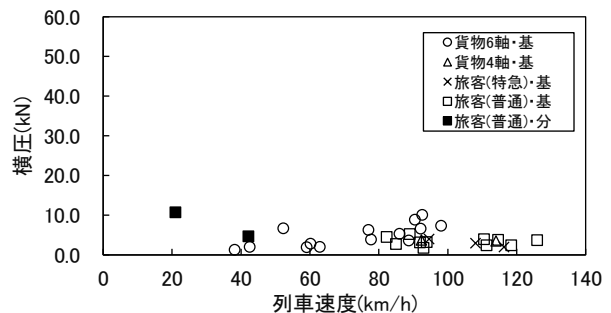
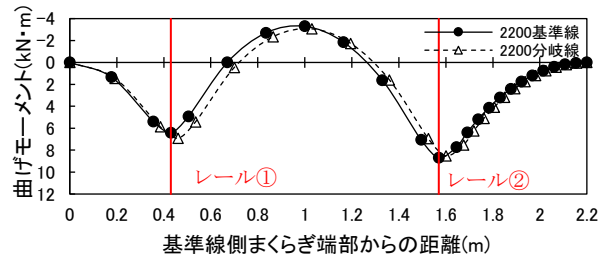


図-6 横圧の測定結果

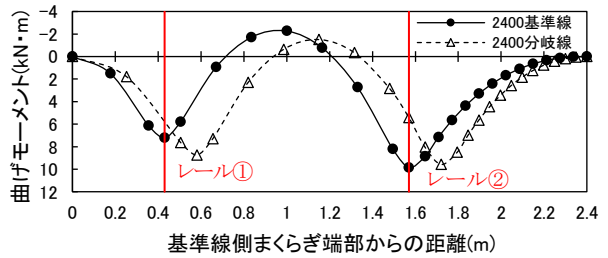
表-10 発生曲げモーメント（正曲げ）の測定結果

測点	2000mm			3300mm			2200mm			2400mm			
	レール①	中央	レール②	レール①	中央	レール②	レール①	中央	レール②	レール①	中央	レール②	
貨物6軸	最大値	2.3	0.7	2.1	3.6	2.7	8.4	2.3	1.6	3.2	2.4	1.3	3.6
	平均値	1.6	0.3	1.7	2.3	2.2	5.6	2.0	1.4	2.8	1.8	0.8	3.0
貨物4軸	最大値	1.2	0.1	1.2	1.6	1.9	3.7	1.5	1.3	2.7	1.2	0.5	2.6
	平均値	1.1	0.1	1.2	1.6	1.8	3.6	1.4	1.2	2.4	1.2	0.5	2.5
旅客(特急)	最大値	1.3	0.2	1.4	1.8	2.1	4.6	2.0	1.8	3.6	1.5	0.6	3.0
	平均値	1.2	0.2	1.3	1.7	2.0	4.5	1.8	1.5	3.3	1.4	0.5	2.9
旅客(普通)・基	最大値	1.1	0.3	1.1	1.5	2.2	4.2	1.5	1.8	3.8	1.2	0.9	2.4
	平均値	1.0	0.1	0.9	1.3	1.9	3.4	1.4	1.3	3.2	1.0	0.6	2.2
旅客(普通)・分	最大値	1.0	0.3	1.0	1.5	2.0	3.5	1.8	1.5	0.9	1.5	0.8	1.0
	平均値	1.0	0.2	1.0	1.4	1.8	3.4	1.8	1.4	0.8	1.4	0.8	1.0
平均値の比率 貨物6軸/旅客(普通)	1.6	3.0	1.9	1.8	1.2	1.6	1.4	1.1	0.9	1.8	1.3	1.4	
平均値の比率 旅客(普通)・基/分	1.0	0.5	0.9	0.9	1.1	1.0	0.8	0.9	4.0	0.7	0.8	2.2	

均値の比率では、ほとんどの測点では同程度であったが、2200mmおよび2400mmまくらぎのレール②の位置で基準線側走行の平均値が分岐線側走行の平均値に対して、2200mmのまくらぎで4.0倍、2400mmのまくらぎで2.2倍となった。ここで、図-7に弾性床上の梁理論の有限長の梁の公式<sup>13)</sup>により算出した輪重による曲げモーメントの結果を示す。荷重条件は輪重80kNとした。図では、輪重の荷重位置を基準線側および分岐線側とした場合の結果を示している。また、分岐線側の荷重位置については、現地測定を実施したまくらぎにおけるレールの位置関係を考慮している。図のレール②の位置に着目すると、2400mmまくらぎでは、基準線側荷重における曲げモーメントが分岐線側荷重の約2倍となったことから、荷重の作用位置とひずみゲージの設置位置の関係により、現地測定で得られた発生曲げモーメントに差が生じているものと考えられる。一方で、2200mmのまくらぎについては、基準線側および分岐線側で荷重の作用位置がほとんど変わらず、曲げモーメントの発生傾向が同等であることから、荷重の作用位置による影響ではないことがわかる。図-8にまくらぎ長さを2000mm、2200mmおよび2400mmとした場合の曲げモーメントの結果を示す。検討条件等は図-7と同様にし、輪重の荷重位置は基準線側のみとした。図より、発生する正曲げモーメントはまくらぎが長くなるにつれて増加する傾向であったが、表-10に示す旅客列車（普通列車）の基準線側走行のレール②の位置における測定結果に着目すると、3300mmまくらぎの発生曲げモーメントが最も大きく、次に2200mmのまくらぎとなった。同様に、旅客列車（特急列車）も同様の傾向を示した。この明確な要因について特定できなかったが、当該まくらぎ上にある基準線側トングレールの頭頂面にレール傷があったため、これにより衝撃荷重が加わっていることや、道床の支持状態、測定列車



(a) 2200mmまくらぎ



(b) 2400mmまくらぎ

図-7 輪重による曲げモーメント（荷重位置別）

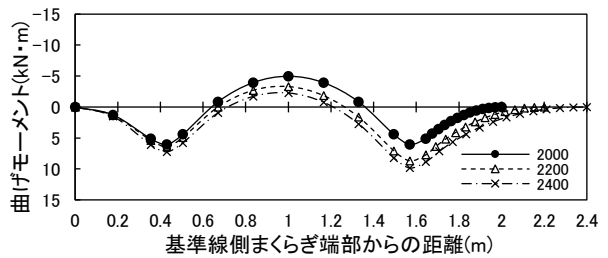


図-8 輪重による曲げモーメント（まくらぎ長さ別）

の車輪踏面形状などが影響していると推定される。

図-9に分岐PCまくらぎの発生曲げモーメントと列車速度の関係の一例を示す。ここでは、誌面の関係上4箇所（3300mm（中央）、3300mm（レール②）、2200mm（中央）および2400mm（レール②））の例を示している。また、同図では、まくらぎのデコンプレッションモ

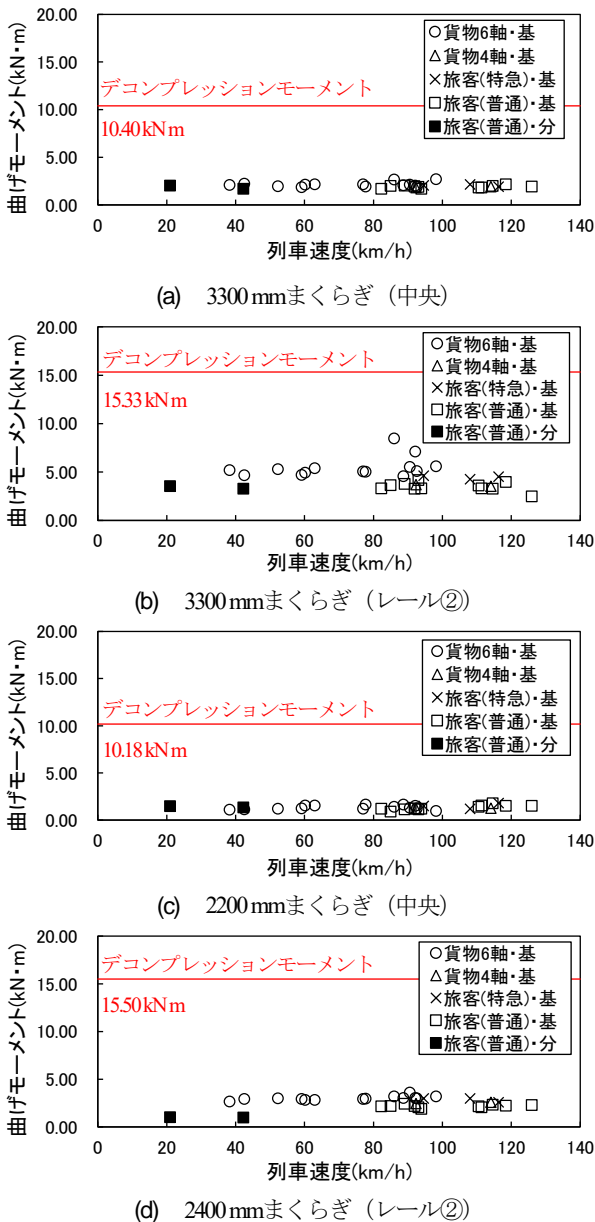


図-9 発生曲げモーメントの測定結果

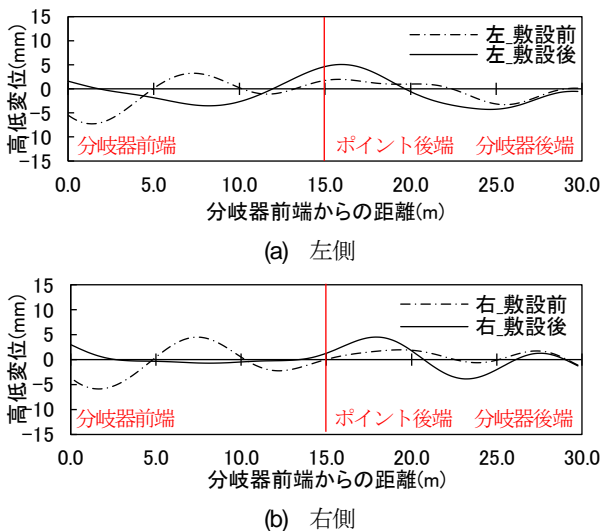


図-10 軌道検測車による高低変位の測定結果

ーメントも示しており、モータ部まくらぎのレール位置断面では15.33 kN・m、中央部では10.40 kN・m、モータ部以外のポイント部まくらぎでは、レール位置断面で15.50 kN・m、中央部では10.18 kN・mである。

図より、現地試験での分岐PCまくらぎの発生曲げモーメントの最大値8.4 kN・m（貨物列車走行時の3300mmまくらぎのレール②の位置）で、デコンプレッションモーメントの6割程度であったことから、強度上、十分な余裕があり、使用上の問題はないと考えられる。

(4) 試験敷設後の軌道状態

薄型分岐PCまくらぎの試験敷設後、軌道検測車で測定された軌道変位の結果を図-10に示す。軌道検測車での軌道検測は、当該分岐器の基準線側を対向走行で測定しており、敷設から20日、現地試験から5日経過後の結果である。ここでは、高低変位の結果のみを示しており、左右については分岐器前端側から見た位置関係である。また、比較として敷設前の高低変位の結果も示している。図より、まくらぎ交換を実施した分岐器前端からポイント後端継目の範囲では、在来線一般区間の高低変位の仕上がり基準値である±4mm以内<sup>10)</sup>に仕上がっていることがわかり、良好な軌道状態で現地試験を実施することができた。また、その他の軌道変位についても、在来線甲線の整備基準値<sup>10)</sup>以下であった。なお、薄型分岐PCまくらぎ化による軌道変位進みの抑制効果については、今後検証することとしたい。

6. まとめ

本開発で得られた知見は以下の通りである。

- 1) 混和材に高炉スラグ等を含有した高強度コンクリートを使用し、PC鋼線の本数を増加させることで、まくらぎの薄型化と配置間隔の拡大が可能となる分岐PCまくらぎの成立可能性を示した。
- 2) 性能確認試験の結果、曲げ試験では、保証荷重および破壊荷重ともにレール位置断面の試験値は設計値の約1.5倍、まくらぎ中央部では設計値の約1.7倍となった。また、ショルダー引抜試験では、破壊荷重での試験値が設計値の2倍以上となり、十分な強度を有していた。さらに、必要な電気絶縁性能も有していた。
- 3) 現地試験の結果、分岐PCまくらぎの発生曲げモーメントの最大値は貨物列車走行時に8.4 kN・mで、デコンプレッションモーメントの6割程度であった。強度上、十分な余裕があることから、使用上の問題はないと考えられる。

謝辞：本研究のまくらぎの断面形状の検討は、(公財) 鉄道総合技術研究所 鉄道力学研究部 軌道力学研究室、分岐器走行シミュレーションは軌道技術研究部 軌道構造研究室に多大なるご協力を得た。ここに記して感謝の意を表す。

## REFERENCES

- 1) 辻崇, 楠田将之, 吉田裕: ポイント部 PC まくらぎ分岐器標準化の取り組み, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.58, pp. 165-166, 2003 [Tuji, T., Kusuda, M. and Yoshida, Y.: Efforts to standardize prestressed concrete sleeper turnouts for point, Proceedings of Annual Conference of the Japan Society of Civil Engineers, Vol.58, pp.165-166, 2003]
- 2) 安達大将, 相原宏任, 横瀬浩一: 首都圏用 PC まくらぎ分岐器の開発, 鉄道工学シンポジウム論文集, 第 25 号, pp.187-190, 2021 [Adachi, D., Aihara, H. and Yokose, H.: Development of prestressed concrete sleeper turnout for the metropolitan area, Journal of Railway Engineering, JSCE, Vol.25, pp.187-190, 2021]
- 3) 小尾実, 堀雄一郎: 次世代分岐器の開発, JREA, Vol.46, No.7, pp.29359-29362, 2003.7 [Obi, M. and Hori, Y.: Development of next generation turnout, JREA, Vol.46, No.7, pp.29359-29362, 2003.7]
- 4) 東原孝展, 本野貴志: 分岐器ポイント部 PC まくらぎ化の更なる保守省力化に向けた検討, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.72, VI-444, 2017 [Higashihara, T. and Motono, T.: Examination for further maintenance labor saving of prestressed concrete sleeper turnout for point, Proceedings of Annual Conference of the Japan Society of Civil Engineers, Vol.72, VI-444, 2017]
- 5) 唐須崇, 今城正嗣: 分岐器用 PC まくらぎ継手構造の検討, 第 18 回鉄道技術・政策連合シンポジウム, pp.73-76, 2011.12 [Karasu, T. and Imajyo, S.: Examination of the structure of the joint sleepers for turnout, J-RAIL2011, pp.73-76, 2011.12]
- 6) 鉄道総合技術研究所 編: 鉄道構造物等設計標準・同解説 軌道構造, 丸善, 2012 [Railway Technical Research Institute: Design Standards for Railway Structures and Commentary (track structure), Maruzen, 2012]
- 7) 一般財団法人日本規格協会: JISE 1201, プレテンション式 PC まくらぎ, 1997 [Japanese Standards Association: JISE 1201, Prestressed concrete sleepers—Pretensioning type, 1997]
- 8) 西田哲郎, 青野正, 福井義弘: パンドロール分岐器の試験敷設, 日本鉄道施設協会誌, Vol.30, No.2, pp.109-111, 1992.2 [Nishida, T., Aono, T. and Fukui, Y.: Test laying of Pandrol turnout, The Journal of Japan Railway Civil Engineering Association, Vol.30, No.2, pp.109-111, 1992.2]
- 9) 弟子丸将, 本野貴志, 片岡宏夫, 若月修: 急曲線部における線ばね形レール締結装置の適用区分の提案, 鉄道総研報告, Vol.26, No.2, pp.37-40, 2012.2 [Deshimaru, T., Motono, T., Kataoka, H. and Wakatsuki, O.: Laying standards of wire spring clip fastening system in the curved section, Railway Technical Research Institute Report, Vol.26, No.2, pp.37-40, 2012.2]
- 10) 渡辺勉, 松岡弘大, 箕浦慎太郎, 山根寛史: PC まくらぎの動的応答性状に対するレール継目部の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.2, pp.985-990, 2016 [Watanabe, T., Matsuoka, K., Minoura, S. and Yamane, H.: Effect of rail joint on dynamic response of prestressed concrete sleeper, Proceedings of the Japan Concrete Institute, Vol.38, No.2, pp.985-990, 2016]
- 11) 鉄道総合技術研究所 編: 前掲書, pp.61-68 [Railway Technical Research Institute: op.cit., pp.61-68]
- 12) 一般財団法人日本規格協会: JISE 1304, 鉄道用分岐器類の線形, 2001 [Japanese Standards Association: JISE 1304, Geometry of turnouts and crossings, 2001]
- 13) 土木学会: 構造力学公式集 (昭和 61 年度版), 丸善, pp.173-180, 1997 [Japan Society of Civil Engineers: The structural mechanics handbook (1986 version), Maruzen, pp.173-180, 1997]
- 14) 渡辺勉, 松岡弘大, 後藤恵一, 箕浦慎太郎: PC まくらぎの設計荷重係数の妥当性の検証と各種パラメータの影響評価, 日本鉄道施設協会誌, Vol.57, No.3, pp.196-199, 2019.3 [Watanabe, T., Matsuoka, K., Goto, K. and Minoura, S.: Validation of design load factor of prestressed concrete sleeper and evaluation of the impact of various parameters, The Journal of Japan Railway Civil Engineering Association, Vol.57, No.3, pp.196-199, 2019.3]
- 15) 清水紗希, 及川祐也, 西宮裕騎: 分岐器区間における弾性化の検討, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.67, VI-520, 2012 [Shimizu, S., Oikawa, Y. and Nishinomiya, Y.: Examination of elasticity in turnout section, Proceedings of Annual Conference of the Japan Society of Civil Engineers, Vol.67, VI-520, 2012]
- 16) 鉄道総合技術研究所 編: 前掲書, p.317 [Railway Technical Research Institute: op.cit., p.317]

(Received April 1, 2022)

(Accepted June 3, 2022)

## DEVELOPMENT OF THIN PRESTRESSED CONCRETE SLEEPER FOR TURNOUT FOR CONVENTIONAL LINES

Ryo MASAKI, Kouki AOMATSU, Takashi KARASU and Masanobu KUSUDA

In this development, as a structural improvement of the prestressed concrete sleeper turnout for conventional lines, we have developed a thin prestressed concrete sleeper for turnout to apply to prestressed concrete sleeper turnout with thinning the sleeper and wider spacing of sleepers.

It was clarified that the newly developed prestressed concrete sleeper for turnout can be established in terms of strength at the same sleepers height as wooden sleepers by changing the number of prestressed concrete steel wires arranged and the design strength. We conducted a performance confirmation test and test laying on commercial line of the prestressed concrete sleeper for turnout and confirmed that it had the required performance.