

論文 線ばね形レール締結装置に対応した 下級線継目部用PCまくらぎの開発

田中 俊史¹・吉川 秀平²・井上 拓也³・楠田 将之⁴

¹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: toshifumi-tanaka@westjr.co.jp (Corresponding Author)

¹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: syuuhei-kikkawa@westjr.co.jp

¹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 中央ビル 3F)
E-mail: inoue_takuya@railtec.jp

¹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: masanobu-kusuda@westjr.co.jp

下級線の軌道構造強化のためPCまくらぎ化を安価に実現する手法が検討され、部分的なPCまくらぎ交換が推進されてきた。更なる低コスト化かつ工事量縮減を目的として、まくらぎの敷設間隔を拡大させた全PCまくらぎ化による最適な軌道構造が提案されている。一方で構造上弱点箇所となり得る継目部については、継目用木まくらぎが劣化した場合に同種交換で対応している箇所が数多く存在する。そこで、施工性、既存部材との共通化および軌道沈下抑制などを勘案した下級線の継目部に使用するレール締結装置構造およびPCまくらぎの開発に取り組んだ。開発にあたっては、構造解析や万能試験機等を使用した各試験により基本性能を確認した後、性能評価試験を実施した。また、営業線での試験敷設を実施し、施工性や列車通過時の各部材の挙動を確認したので報告する。

Key Words: rail joint, prestressed concrete sleeper, rail fastening, laboratory test, field test

1. はじめに

輸送量の小さい閑散線区（以下、「下級線」という）の軌道構造強化のためPCまくらぎ化を安価に実現する手法が検討され、3本に1本の割合で木まくらぎをPCまくらぎに置き換え軌間保持機能の強化を図る部分的なPCまくらぎ交換が推進されてきた。また、将来予想される労働力不足を想定して更なる低コスト化かつ工事量縮減を目的として、残りの木まくらぎ2本をPCまくらぎ1本に置き換え、まくらぎの敷設間隔を拡大させた軌道構造に対する技術検証を行い、全PCまくらぎ化による下級線の最適な軌道構造が提案されている²⁾。一方で構造上弱点箇所となり得る定尺区間の継目部については、依然として木まくらぎが劣化した場合に同種まくらぎでの交換を行っている箇所が数多く存在する。

そこで、施工性、既存部材との共通化および軌道沈下

抑制などを勘案した下級線の継目部に使用する50kgNレール用のレール締結装置構造およびPCまくらぎの開発に取り組んだ。開発にあたっては、前後の一般区間と同様に検査性に優れた線ばね形レール締結装置の使用を前提とし、FEMによる構造解析や万能試験機等を使用した各試験により締結構造としての基本性能を十分に確認した後、鉄道構造物等設計標準・同解説（軌道構造）およびJIS E 1201に準拠した性能評価試験を実施した。また、営業線による試験敷設を実施し、施工性や列車通過時の各部材の挙動を確認したので報告する。

2. レール締結装置およびPCまくらぎの構造検討

(1) 基本方針

レール締結装置およびPCまくらぎの構造は、以下を

基本方針として検討した。

- ・既設の継目用木まくらぎを置き換えることを前提として、継目部は支え継ぎ構造とし、継目板は普通継目板とする
- ・前後の一般区間との部材共通化および検査性を考慮して、線ばね形レール締結装置を用いる
- ・継目部用のまくらぎをPCまくらぎとすることでまくらぎの長寿命化および軌道沈下抑制を図る

(2) レール締結装置

継目部のレール締結装置は、前後の一般区間で使用される線ばね形レール締結装置を基本とした。ただし、支え継ぎ構造ではレール継目板が介在しているため既存の線ばねとインシュレーターを用いてレールを締結することができない。そこで、図-1のように押さえ金具を介在させて線ばねでレール継目板を押さえる構造とし、対応する軌道パッドについても併せて新規に開発した。なお、既存の線ばねとインシュレーターを使用するため、前後の一般区間と同じ軌間調整機能を有している。

a) 押さえ金具

押さえ金具の材質は一般構造用圧延鋼材のSS400とした。形状は、以下を考慮して検討した。開発した押さえ金具を図-2に示す。

- ・線ばね締結時に押さえ金具と締結治具が干渉しない
- ・押さえ金具後端部を支点として押さえ金具先端でレール押さえ力が確実に発生する構造とする
- ・継目板を押さえる部位の大きさは、まくらぎがレール長手方向にある程度移動した場合でも継目板ボルトが干渉しない

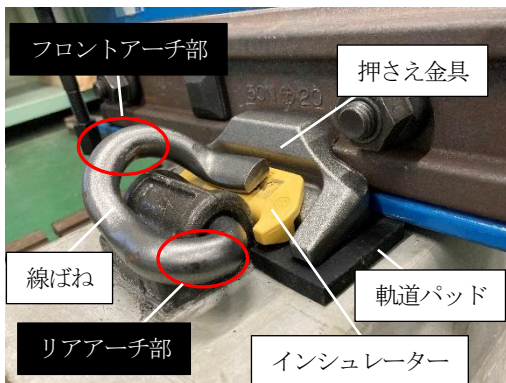
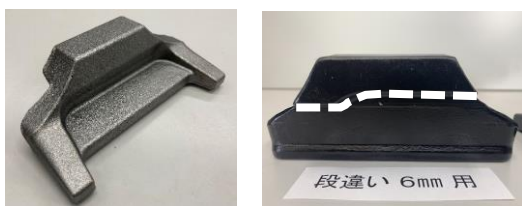


図-1 継目用線ばね形レール締結装置



(a) 通常品 (b) 段違い用継目板用

図-2 押さえ金具

- ・押さえ金具の強度を確保するために、継目板ボルトに干渉しない範囲に曲面部を設けて補強する
 - ・段違い用継目板や継目落ち用継目板などの異形継目板には押さえ金具の押さえ部を加工することで対応する
- 押さえ金具を介してレール継目板を押さえる構造では、線ばねの締結位置がレール底部を直接押さえている一般区間に比べてレールから離れた位置となるためレール押さえ力が小さくなることが懸念される。継目部という限られた使用条件ではあるものの、レール押さえ力が小さい場合にはレール小返り量が大きくなる可能性があることを考慮して、バラスト区間用レール締結装置の設計で一般的に用いられているレール押さえ力 5 kN⁹⁾を目標値に設定した。レール押さえ力を増加させるためには線ばねとインシュレーターの接点である締結位置を鉛直方向にこう上させる必要がある。図-3に一般区間で使用される線ばねのこう上量を 0 mm とした場合の締結位置のこう上量と締結時にフロントアーチ部およびリアアーチ部(図-1)に発生する最大主応力および最大主ひずみの関係を示す。なお、リアアーチ部は塑性変形が生じるためひずみ値で整理した。発生する応力およびひずみの値、締結時の作業性、レール押さえ力を考慮し継目部で使用される線ばねの締結位置のこう上量を 2 mm に設定した。

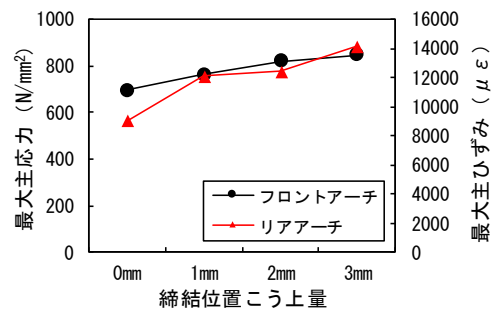


図-3 締結位置こう上量と部材応力の関係

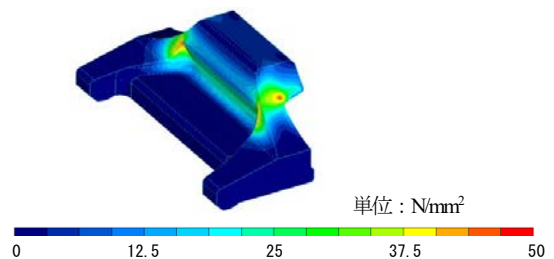


図-4 押さえ金具のミーゼス応力分布

b) 軌道パッド

軌道パットのばね定数は前後の一般区間と同様に 110 MN/m とした。軌道パッドは、レール直下の部位と押さえ金具直下の部位から構成される。当初は、レール直下を第2種軌道パッド（溝付き）、押さえ金具の直下を第2種軌道パッド（溝なし）としていたが、開発時の基礎試験において線ばね締結時に押さえ金具の支点直下の軌道パッド上面がへこみ（図-5(a)）、レール押さえ力の低下が確認された。そこで、押さえ金具の支点到反力がかかるようにするため、押さえ金具の直下を超硬質ゴム材である EB 材とし、レール直下の第2種軌道パッド（溝付き）と一体成形として製作することとした（図-5(b)）。

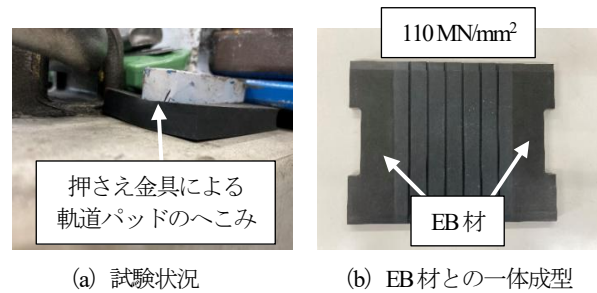


図-5 軌道パッド

(3) PC まくらぎ

a) まくらぎ形状

PC まくらぎはプレテンション方式とし、まくらぎの幅は、極力大きくして荷重分散効果を高めること、マルチプルタイタンパーによるつき固め作業に影響しないことを考慮した。さらに、継目部の保守低減のため道床振動低減によりバラスト流動を抑制する効果が確認されている矩形断面⁹⁾を採用した。設計においては PC まくらぎの設計に関するマニュアル⁹⁾に準じた方法で検討した。検討した PC まくらぎの形状および PC 鋼線の本数を表-1 に示す。

表-1 検討した PC まくらぎの条件

ケース	厚さ (mm) (座面位置/中央)	下縁幅 (mm)	PC 鋼線 本数 (本)
1	140/135	300	18
2	140/135	300	16
3	140/135	320	18
4	145/140	300	18
5	150/140	300	18

表-2 発生する曲げ応力の結果

ケース	圧縮応力の 最大値 (N/mm²)	引張応力の 最大値 (N/mm²)
一般形 PC (参考)	14.1	-0.7
1	19.0	-0.9
2	18.0	-1.9
3	17.7	-0.8
4	17.8	-0.3
5	16.8	0.1

検討にあたっては、設計輪重は 80 kN とし変動輪重係数を考慮した設計作用に対して、曲げひび割れに関する使用性と曲げ破壊に関する安全性について照査した。なお、設計応答値の算定には静的解析による算定法を用いることとし、継目部の速度衝撃率を考慮⁷⁾し分散係数は一般部の 1.5 倍である 0.75 を用いた。

机上検討の結果すべてのケースにおいて、使用性の照査については設計引張応力を、安全性の照査については設計曲げ耐力を満足する結果となった。ここで、継目の前後区間で使われており十分実績のある一般形 PC まくらぎ⁹⁾を比較対象とし、継目用 PC まくらぎのまくらぎの厚さ、まくらぎの下縁幅、PC 鋼線本数について使用性の照査の際に得られる曲げ応力に対して個別に検討した。ここで、曲げ応力は圧縮側を正とした。表-2 に設計荷重とプレストレスにより発生する圧縮応力および引張応力の最大値を示す。圧縮応力については PC まくらぎの設計基準強度である 49.1 N/mm² 以下とし、引張応力については一般形 PC まくらぎと同程度を目標値とした。検討した結果、前後のまくらぎと同じ道床厚の確保するためにまくらぎ厚さを 140mm とし、上記の目標におおむね適合するケース 3 のまくらぎ形状とすることとした。図-6 に採用した継目用 PC まくらぎの断面図を示す。

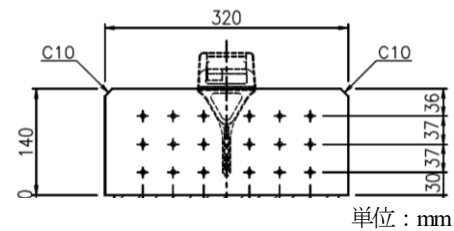


図-6 継目用 PC まくらぎの断面図（レール座面）

b) 弾性材

バラスト道床の列車荷重による道床振動低減および軌

道沈下抑制などに効果があるとされているまくらぎ底面粘弾性材⁹⁾の適用を検討した。今回使用する弾性材のばね定数は公称値で 0.15 N/mm/mm² とした。ここで、鉄道構造物等設計標準・同解説（軌道構造）⁴⁾に示される軌道沈下式を基本として、継目用木まくらぎと継目用 PC まくらぎの弾性材有り無しについて 1 軸あたりの継目部における道床沈下量を算出した。算出にあたっては、定常輪重を 50 kN とした場合の継目部に作用される動的輪重を算出し、まくらぎ種別、道床厚から求めた道床ばね定数および路盤ばね係数による合成ばね定数からレール圧力および道床沈下量を求めた。結果を表-3 に示す。継目用木まくらぎと比較して弾性材無しの PC まくらぎ継

表-3 沈下量の算出結果

項目	継目用 木まくらぎ	継目用 PCまくらぎ 弾性材無	継目用 PCまくらぎ 弾性材有
動的輪重 (kN)	102.7		
レール圧力 (kN)	42.3	46.8	32.8
道床沈下量 (10 ⁶ mm/1軸)	8.21	9.39	6.57
倍率	1.00	1.14	0.80

目用では道床沈下量は 1.14 倍, 弾性材有りの継目用 PC まくらぎでは 0.80 倍となった。ただし, 継目部における弾性材の効果は未解明な部分も多いため, 弾性材の有り, 無しをいずれも選択できるようにし営業線への試験敷設の結果と併せて引き続き検討していく。

3. レール締結装置の性能確認試験

(1) 試験概要

レール締結装置の性能を評価するため, 斜角載荷試験、2軸疲労試験および電気絶縁抵抗試験⁴⁾を実施した。また, これらの試験に先立って, 構造検討したレール締結装置の基本的な性能確認として, 組立試験, レール押さえ力試験およびふく進抵抗試験を実施した。

(2) 基本性能確認

a) 組立試験

レール締結装置を試験用まくらぎに設置し, 締結治具で線ばねを締め付け, 線ばねの最大主応力および最大主ひずみを測定した。測定箇所はフロントアーチ部およびリアアーチ部とした。組立試験の結果, 部材同士の組立状況は良好であり, 問題となる応力およびひずみは発生しなかった。試験状況を図-7に, 結果を表-4に示す。

b) レール押さえ力試験

図-8のようにレール底面に万能試験機台座からの反力が働き, 押さえ金具先端に鉛直方向上向きに力が加わるように治具を組み立てた。その後, 万能試験機により荷重を載荷し, レールと軌道パッドが離れた時点の荷重を読み取り, 押さえ金具1個あたりのレール押さえ力を算出した。なお, 本測定方法では, 配置後に押さえ金具先端にまくらぎおよび治具の一部の重量が加わっているため, それらの重量を荷重として換算し, 結果に反映させた。測定の結果, 押さえ金具1個あたりのレール押さえ力は 5.0 kN であり設計時に設定した目標値を満足することを確認した。

c) ふく進抵抗試験

試験用まくらぎを試験台座に固定した後, レール締結

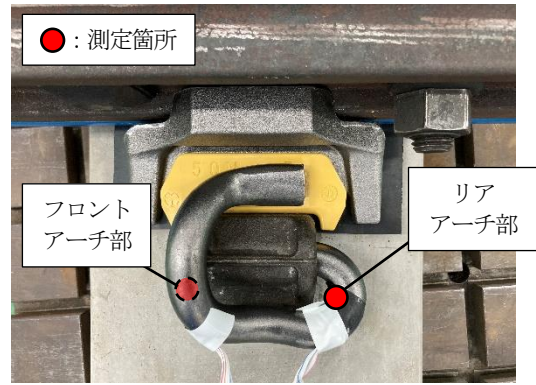


図-7 組立試験状況

表-4 組立試験の結果

項目	フロントアーチ部の 最大主応力 (N/mm ²)		リアアーチ部の 最大主ひずみ ($\mu\epsilon$)	
	軌間内側	軌間外側	軌間内側	軌間外側
値	834	898	13959	14732

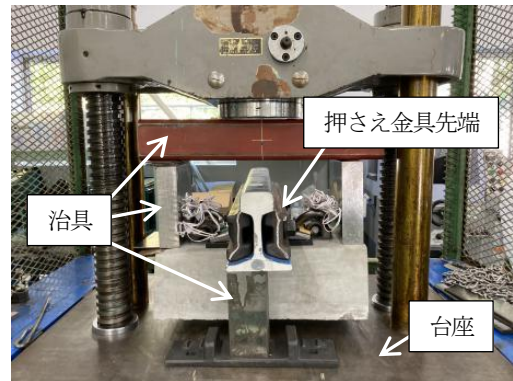


図-8 レール押さえ力試験の状況

装置を組み立て, レール底部にレール長手方向からの荷重を載荷した。荷重の載荷は油圧シリンダとロードセルを組み合わせて実施した。ふく進抵抗力は, 残留変位を考慮したレール長手方向変位に相当する荷重として算出した。図-9にふく進抵抗力測定状況を, 図-10および表-5に結果を示す。1締結あたりのふく進抵抗値は 7.9 kN であり, バラスト軌道の道床縦抵抗力⁴⁾に対し十分余裕がある値であった。

(3) 斜角載荷試験

破壊に関する安全性の照査のため, 7締結分のまくらぎおよび供試レール締結装置を用いて軌きょうを構成し斜角載荷試験を実施した。まくらぎ間隔は 26本/25m となるように, A間隔を 503mm, B間隔を 549mm, C間隔を 1041mm とした。設計作用は軸重を 150 kN とした上で, 曲線半径 600 m 未満の条件を採用し, 継目部の条件としてレール締結装置の設計荷重である A 荷重については列車速度を 130 km/h とした速度衝撃率を考慮し⁷⁾,



(a) 上から (b) 横から

図-9 ふく進抵抗力測定状況

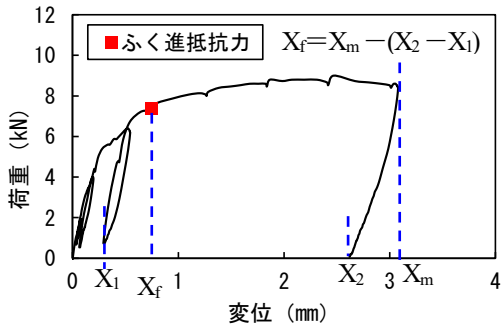


図-10 荷重とレール長手方向変位の関係

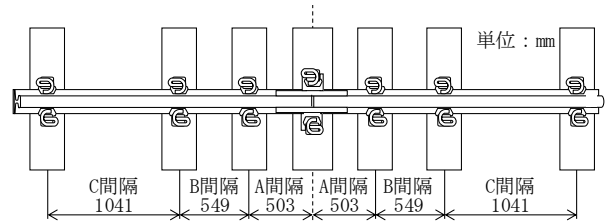
表-5 ふく進抵抗力の測定結果

回数	ふく進抵抗力 (kN)
1回目	7.4
2回目	7.9
3回目	8.5
平均値	7.9

輪重を 123.8kN、横圧を 76.2kN とした。供試レール締結装置を組み立てた後、設計作用から算出した試験角度と試験荷重を用いてレール頭部側面の斜め方向から载荷した⁴⁾。図-11 に試験の模式図および試験状況を、図-12 に押さえ金具の応力測定箇所を、図-13 および図-14 に線ばねおよび押さえ金具について耐久限度線図で照査した結果を示す。A 荷重を作用した場合は第 2 破壊限度内である必要があり、線ばねの応力・ひずみおよび押さえ金具の応力はすべての測点において照査を満足していた。なお、押さえ金具の材質である SS400 材の耐久限度線図については、JIS G 3101 および鉄道構造物等設計標準・同解説(鋼・合成構造物)に示された値を参考とした。また、上下変位から換算した 50kgN レールの頭部左右変位量は最大 2.59mm であり、在来線軌道における限度値 7.0mm¹⁰⁾以下であった。

(4) 2軸疲労試験

本試験では、斜角载荷試験と同様に設計作用から算出した試験角度と試験荷重を用いてレール頭部側面の斜め方向から繰り返し载荷した。試験の結果、レール左右変



(a) 試験の模式図



(b) 試験の状況

図-11 斜角载荷試験の状況

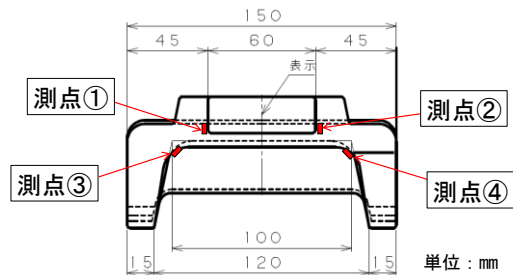
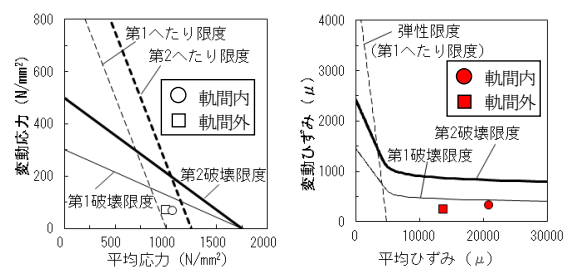


図-12 押さえ金具の応力測定箇所



(a) フロントアーチ (b) リアアーチ部

図-13 線ばねの耐久限度線図

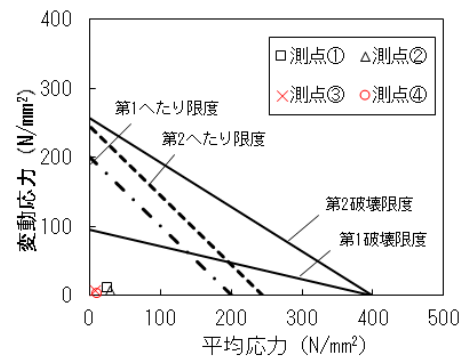


図-14 押さえ金具の耐久限度線図

位, 上下変位及および小返り角のいずれについても顕著な変動は認められなかった. また, 各構成部材について, 100 万回載荷後にき裂や顕著な摩耗等の変状は認められなかった.

(5) 電気絶縁抵抗試験

本試験では, 右レールと左レール間に 2.02 kHz の周波数の交流 10V を印加した際の以下の条件下における電極間の電流を測定し電気絶縁抵抗値を求めた.

- ・乾燥状態
- ・降雨状態: 時雨量 100 mm 相当の水道水
- ・汚損状態: 時雨量 100 mm 相当の塩水濃度約 0.1% の食塩水 (経時使用による塵埃等の汚損を想定)

図-15 に電気絶縁抵抗試験の状況を, 表-6 に試験結果を示す. 在来線の軌道回路に要求される漏れコンダクタンスから求める限度値 3.5 kΩ に対し, いずれの電気絶縁抵抗測定値も上回っていることを確認した.



図-15 電気絶縁抵抗試験の状況

表-6 電気絶縁抵抗試験結果

試験状態		左右レール間 (kΩ)
乾燥状態		570.0
降雨状態 (水道水)	飽和状態	67.0
	1分経過後	193.0
汚損状態 (食塩水 0.1%)	飽和状態	16.0
	1分経過後	56.0

4. PC まくらぎの各種試験

PC まくらぎの性能を評価するために, JISE 1201, 1202 に示される曲げ載荷試験およびショルダー引抜試験を実施した.

(1) 曲げ載荷試験

本試験では, 試験体に対して荷重を漸増させ, ひび割れの確認および最大荷重を測定した. 試験体は 3 本とし, 荷重載荷位置はレール位置断面およびまくらぎ中央断面とした. 図-16 に試験状況を, 表-7 に試験結果を示す. 荷重載荷位置ごとに曲げ保証荷重および曲げ破壊荷重の設計値が定められており, 曲げ載荷試験の結果いずれの試験体においても設計値を満足していることを確認した.

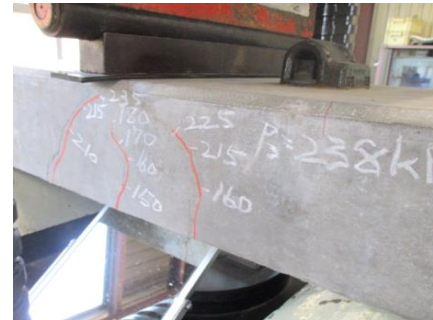


図-16 曲げ載荷試験の状況

表-7 曲げ載荷試験結果

載荷位置	曲げ保証荷重 (kN)		曲げ破壊荷重 (kN)	
	設計値	ひび割れ発生荷重	設計値	最大荷重
レール位置断面	77	139	184	227
		142		238
		149		236
まくらぎ中央断面	65	126	163	237
		122		232
		126		234

表-8 ショルダー引抜試験結果

(2) ショルダー引抜試験

本試験では, ショルダーに引抜荷重を漸増させ, 外観確認および最大荷重を測定した. 試験体は 3 本とし, 片側のショルダーに対して実施した. 表-8 に試験結果を示す. いずれの試験体においても引抜保証荷重および引抜破壊荷重の設計値を満足していることを確認した.

5. 営業線への試験敷設

性能評価試験により良好な結果が得られたことから, 設計した継目部用 PC まくらぎおよびレール締結装置の現地試験敷設を実施した. 敷設後, 列車荷重によるレール圧力およびまくらぎの曲げモーメントを測定した.

引抜保証荷重 (kN)		引抜破壊荷重 (kN)	
設計値	外観状態	設計値	最大荷重
50	異常なし	69	176
	異常なし		179
	異常なし		178

(1) 敷設状況

試験敷設を行った箇所軌道諸元を表-9に示す。弾性材付きPCまくらぎおよび弾性材無しPCまくらぎを各8本敷設した。測定を実施する箇所については、バラストの支持状態が悪く定期的に継目落ち整備をしている箇所を選定した。敷設後のまくらぎの状況を図-17に示す。本締結構造は押さえ金具を介して継目板を押さえる構造であり、一部で継目板の設置状態や部材公差の影響によりまくらぎのショルダーと継目板までの幅が設計値よりも狭く、インシュレーターが正常に設置できない状況が見受けられた。この状態でクリップを締結すると部材に過度な負荷がかかり、所定の性能が発揮されないため、施工にあたり十分に留意する必要があることがわかった。なお、当該箇所については軌陸バックホウにより一時的にショルダーと継目板との間隔を確保させ正常な状態で敷設した。

表-9 試験敷設箇所の軌道諸元

軌道構造	直線, 明かり, 道床, 定尺
レール種別	50kgN レール
年間通過トン数	260万トン
敷設前の構造	継目用木まくらぎ H改良形レール締結装置
その他	単線
敷設本数	弾性材付きPCまくらぎ: 8本 弾性材無しPCまくらぎ: 8本



(a) 全体 (b) 拡大

図-17 敷設後の継目部用PCまくらぎの状況

(2) 測定項目

敷設した弾性材無しPCまくらぎ1本に対して、レール圧力およびまくらぎのひずみ値を測定した。レール圧力は軌道パッドを一般的に用いられるレール圧力パッドに交換して測定し、まくらぎのひずみ値はレール位置とまくらぎ中央にひずみゲージを貼付して測定した。ひずみゲージの貼付位置を図-18に示す。得られたひずみ値から以下の式によりまくらぎの曲げモーメント(M)を算出した。なお、符号については下に凸となる場合を正の曲げモーメントとした。

$$M = E \times \varepsilon \times I / y \dots \text{式}$$

ここで、E: コンクリートのヤング率, ε: ひずみ, I: 断面二次モーメント, y: 図心からの距離とする。測定した列車は2両編成で6列車とし、いずれも車両通過時の時刻歴データを取得した。

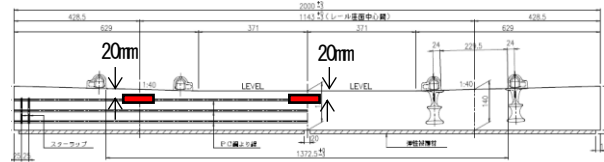
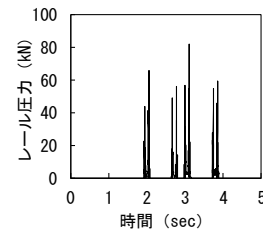
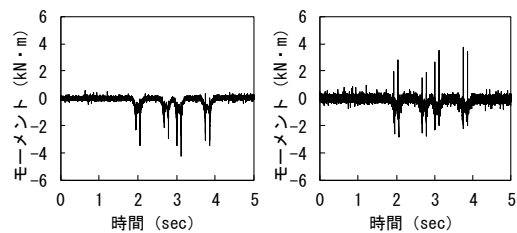


図-18 継目部用PCまくらぎの測定位置



(a) レール圧力



(b) 曲げモーメント(レール) (c) 曲げモーメント(中央)

図-19 測定結果の一例

(3) 測定結果

測定結果の一例を図-19に、全データの最大値および各ピーク値の平均値で整理した結果を表-10に示す。列車通過時のまくらぎのバタつきも大きく、比較的大きなレール圧力が検出された。まくらぎ曲げモーメントはレール位置で負のモーメントが、中央で正のモーメントが支配的であった。値は小さな値であるが、まくらぎが軌間内で中央支持されていた可能性がある。本PCまくらぎの設計曲げ耐力はレール位置および中央において正の曲げモーメントで26kN・m、負の曲げモーメントで-25kN・m程度であり軌道状態の悪い箇所においても十分な余裕があることが確認された。なお、現在のところ他のまくらぎやレール締結装置の状態について外観観察の結果は良好な状態であるが、まくらぎの発生曲げモーメントはまくらぎの支持状態の影響を受けるため、引き続き

表-10 平均および最大値による測定結果

項目	レール圧力 (kN)	まくらぎ曲げモーメント (kN・m)	
		レール位置	中央
平均	98.9	-4.7	1.7
最大	106.9	-6.7	-3.3

経過観察を行うこととしている。また、開発したレール締結装置については施工時における課題が見つかったため部材の改良を検討する。

6. まとめ

下級線の継目部に使用する線ばね形レール締結装置構造および PC まくらぎを開発した。レール締結構造については、検査性および既存部材との共通化を考慮し、押さえ金具を介在させて線ばねによってレール継目板を押さえる構造とした。PC まくらぎについては、軌道沈下抑制のため幅広かつ矩形断面とし、前後のまくらぎと同じ道床厚を確保する形状とした。上記の構造に対して各試験により基本性能を十分に確認した上で、営業線による試験敷設を実施した。敷設したまくらぎにおいて、列車通過時のまくらぎ曲げモーメントを測定し設計曲げ耐力に対して十分に余裕があることを確認した。現在のところ他のまくらぎやレール締結装置の状態について外観観察の結果は良好な状態であるが、まくらぎの発生曲げモーメントはまくらぎの支持状態の影響を受けるため、引き続き経過観察を行うこととしている。

REFERENCES

- 楠田将之, 田淵剛, 高山宜久: PCまくらぎ化の低廉化に向けた軌道構造の検討, 土木学会第 59 回年次学術講演会, pp. 147-148, 2004. [Kusuda, M., Tabuchi, T. and Takayama, Y.: Examination of track structure for cost reduction of PC sleeper, 59th Annual Academic Lecture of the Japan Society of Civil Engineers, pp. 147-148, 2004.]
- 藪中嘉彦, 高尾賢一: 下級線に適した PC まくらぎ化の検討, 日本鉄道施設協会誌, 56 巻 4 号, pp. 238-241, 2018. [Yabunaka, Y. and Takao, K.: A study of PC sleeper for the lower grade line, Japan Railway Civil Engineering Association, Vol. 56, No.4, pp. 238-241, 2018.]
- 弟子丸将, 山岡大樹, 伊藤壱記, 清水紗希: まくらぎ間隔拡大に対応したバラスト軌道の設計法, 鉄道総研報告, Vol.36, No.3, pp. 23-28, 2022. [Deshimaru, T., Yamaoka, D., Ito, I. and Shimizu, S.: Design Method for Ballasted Track Applicable to Widening of Sleeper Spacing, RTRI Report, Vol.36, No.3, pp. 23-28, 2022.]
- 国土交通省: 鉄道構造物等設計標準・同解説 軌道構造, (公財)鉄道総合技術研究所編, pp. 52-60, 2012.1 [MLIT: Design Standards for Railway Structures and Commentary (Track Structures), RTRI, pp. 52-60, 2012.1]
- 野村清順, 桃谷尚嗣, 中村貴久: 高カント曲線部のバラスト流動対策, 日本鉄道施設協会誌, 54 巻 4 号, pp. 299-303, 2016. [Nomura, S., Momoya, N. and Nakamura, T.: Ballast flow measures for high cant curves, Japan Railway Civil Engineering Association, Vol. 54, No.4, pp. 299-303, 2016.]
- 公益財団法人鉄道総合技術研究所鉄道技術推進センター: PC まくらぎの設計に関するマニュアル, pp. 11-40, 2017.5 [RTRI Technology Promotion Center: Manual of the PC sleeper design, pp. 11-40, 2017.5]
- 弟子丸将: レール締結装置の性能確認に用いる荷重算定式の改良点, 施設研究ニュース No.322, 2017.6 [Deshimaru, T.: Improvement to the load calculation used to check the performance of rail fastening system, Facility research news No.322, 2017.6]
- 田淵剛, 坂上直哉, 向井克幸, 松本竜也, 藤川雄輝: 一般形 PC まくらぎの敷設に関する検討, 土木学会第 60 回年次学術講演会, pp. 253-254, 2005. [Tabuchi, T., Sakagami, N., Mukai, K., Matsumoto, T. and Fujikawa, Y.: A study of general PC sleeper, 60th Annual Academic Lecture of the Japan Society of Civil Engineers, pp. 253-254, 2005.]
- 河野昭子, 鈴木実, 浦川文寛: 加振周波数に着目したまくらぎ底面粘弾性材の道床振動抑制効果の評価, 鉄道総研報告, Vol.32, No.6, pp. 29-34, 2018. [Kono, A., Suzuki, M. and Urakawa, F.: Evaluation of Reducing Effect of USP on Ballasted Track Vibration based on Loading Frequencies, RTRI Report, Vol.32, No.6, pp. 29-34, 2018.]
- 佐藤吉彦, 梅原利之: 線路工学, 社団法人日本鉄道施設協会, pp. 95, 1987. [Sato, Y. and Umehara, T.: Senro Kougaku, Japan Railway Civil Engineering Association, pp. 95, 1987.]

(Received April 1, 2022)

(Accepted June 3, 2022)

DEVELOPMENT OF JOINT PC SLEEPER FOR SPRING CLIP FASTENING SYSTEM IN LOCAL LINE

Toshifumi TANAKA, Shuhei KIKKAWA, Takuya INOUE and Masanobu KUSUDA

In local line, low-cost PC sleeper to reinforce the track structure was considered and partially wooden sleepers were replaced. For further cost reduction and labor saving, optimal track structure with widened sleeper spacing has been proposed. The rail joint is a weak point, damaged wooden sleepers have been replaced with the same ones. Therefore, we developed the rail fastening system and PC sleeper for the joint in local line, considering workability and rail subsidence. We evaluated the performance by structural analysis and each test, and, laid it on the track, confirmed the response when the train passed.