

# 講演概要

## 下級線用PCまくらぎ凍上対策型締結装置の開発

伊東 謙悟<sup>1</sup>・熊倉 孝雄<sup>2</sup>・小西 俊之<sup>2</sup>・須江 政喜<sup>3</sup>・北澤 武<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 東日本旅客鉄道株式会社 JR東日本研究開発センター テクニカルセンター  
(〒331-8513 埼玉県さいたま市北区日進町2丁目479番地) E-mail:kengo-ito@jreast.co.jp

<sup>2</sup>正会員 東日本旅客鉄道株式会社 JR東日本研究開発センター テクニカルセンター

<sup>3</sup>正会員 東日本旅客鉄道株式会社 長野支社 長野新幹線保線技術センター

<sup>4</sup>東日本旅客鉄道株式会社 長野支社 松本保線技術センター

寒冷地のバラスト軌道では、冬期に凍上現象を起因とした高低変位が発生し、列車の走行安全性に大きな影響を与えている。凍上発生箇所の対策として木まくらぎ区間では、木まくらぎとレールの間に様々な厚さのはさみ木（パッキン材）を挿入し高低調整を行っている。

しかし、現在は軌道構造強化等の観点から下級線に対応したPCまくらぎ化が進められているが、この下級線用PCまくらぎは、線ばね系レール締結装置を使用しているため、木まくらぎと同様なパッキン材挿入によるレールの高低調整ができない構造である。

そこで本稿では、下級線用PCまくらぎにおいて、凍上発生時には既存のショルダーを活用してレールの高低調整が可能となる着脱式の線ばね系レール締結構造を考案し、室内での性能確認試験として組立試験・静的載荷試験・動的載荷試験等を実施した。各種試験の結果、部材に発生する応力等は許容範囲内であり、開発した着脱式の線ばね系レール締結装置が所要の性能を満足することを確認した。

**Key Words :** *spring clip, rail fastening system, countermeasure for frost heaving*

### 1. はじめに

寒冷地のバラスト軌道では、冬期に凍上現象を起因とした高低変位が発生し、列車の走行安全性に影響を与えている。凍上とは地盤中にアイスレンズ（氷晶）が発生・成長することにより地盤が隆起する現象であり、不均一に発生するため、凍上による持ち上がり量の相違により地盤に不陸が生じ、軌道変位の原因となる。凍上による高低変位に対して木まくらぎ区間では、図-1のようにレール下へはさみ木（パッキン材）を挿入することでレールの高さを調整しているが、下級線用PCまくらぎでは、図-2に示すように線ばね系レール締結装置でありe2009クリップを使用しているため、パッキン材挿入によるレールの高低調整ができない構造となっている。

そこで本稿では、下級線用PCまくらぎにおいて、凍上が発生した際にレールの高さ調整が可能な締結構造を検討・試作し、室内での性能確認試験によりレール締結装置の性能を照査した。



図-1 はさみ木の例



図-2 線ばね系レール締結装置

### 2. 凍上対策型レール締結装置の設計・試作

#### (1) 設計条件

設計における前提条件を次の3点とした。

- ① 既存の下級線用PCまくらぎを使用する。
- ② 冬期の凍上発生時、レール締結装置に着脱式の部材を取り付けることで、レールの高さを調整できる構造とする。
- ③ 過去の凍上量の実績から、高さ調整量は3mm～36mm程度に対応できる構造とする。

## (2) 凍上対策型レール締結の構造

検討した凍上対策型レール締結の構造を図-3に示す。このレール締結構造は、既存の下級線用PCまくらぎシヨルダーに新規に考案したシヨルダーキャップを被せ、それらをピンで固定し、シヨルダーキャップと高さ調整スペーサー・インシュレーターおよびレールを既存の線ばね系レール締結装置で使用しているe2009クリップで締結する構造とした。

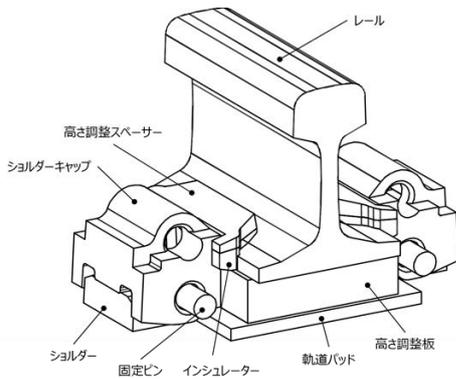


図-3 凍上対策型レール締結の構造

## (3) FEM解析による構造検討

図-3のレール締結構造をモデル化し、レールの高さ設定に対する構造実用化の実現性について判断するため、e2009クリップでの締結荷重および輪重が作用した際の締結部材等の最大応力発生部位をFEM解析により求め、形状変更および材料選定の判断資料とした。

FEM解析では、レール高さ最大調整量の36mmタイプについて、荷重分散を考慮した1締結あたりの曲線用A荷重およびB荷重相当を載荷することとした。

FEM解析の結果、新規に考案したシヨルダーキャップでは図-4に示す部位で応力が発生することを確認した。最大発生応力は下穴付近で147MPaであり、材質として検討していたFCD500の耐力(320MPa)以下であった。これ以外の部材では検討していた材質の耐力内であった。

この解析結果等より、シヨルダーキャップの形状に改良を加え、各部材の材質を決定した。

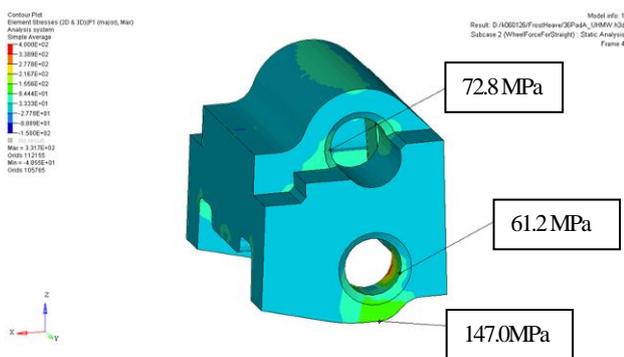


図-4 シヨルダーキャップの応力発生部位

## (4) 試作品の製作

決定した形状について、レール締結装置の性能確認試験で使用するための試作品を製作した(図-5)。凍上対策型レール締結装置1組に必要な部材点数は、既レール締結装置と共有する部材を除き、11~13点である。部材点数が変化する理由は、レール高さ調整量により高さ調整板の使用枚数が1~3枚と異なるためである。

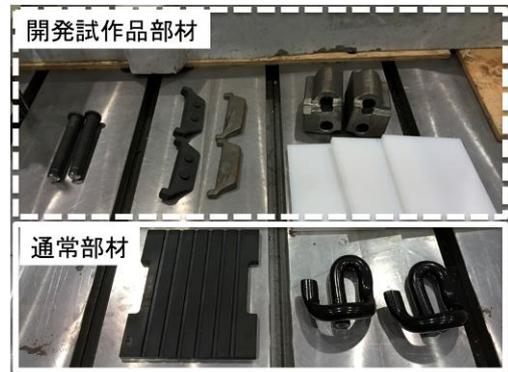


図-5 試作品部材

## 3. 試作品の性能確認試験

試作した凍上対策型レール締結装置に対して、レール締結装置疲労試験装置を用いて、性能確認試験を実施した。試験項目は、組立試験・ばね定数試験・静的載荷試験・動的繰返し載荷試験・ふく進抵抗力試験・電気絶縁抵抗試験である。なお、試験に用いる設計荷重は、在来線の曲線半径600m未満の区間への適用を考慮し、静止輪重を150kN、設計荷重の輪重および横圧は表-1に示す値とした<sup>1)</sup>。

表-1 設計荷重

荷重種別	直線・曲線別	A 荷重 (極まれに発生する極大荷重)	B 荷重 (しばしば発生する最大荷重)
輪重	直線・曲線	97.5 KN	86.3 KN
横圧	曲線 (R<600m)	60.0 KN	30.0 KN

### (1) 組立試験結果

組立試験では、組付け性の確認および、部材の締結時における初期発生応力の確認を行った。

組付け性の確認は、レール高さ調整量の最大値36mmと最小値3mmに対して実施した結果(図-6)、通常のパンドロール型締結装置の組立・解体と同様に不具合なく作業でき、各部材の勘合も問題ないことを確認した。

レール高さ調整量36mmタイプにおけるレール締結時の

部材の初期発生応力を測定した結果を図-7に示す。固定用ピンで発生応力が高めとなったが、各部材に発生する応力は耐力内であった。



(a) 調整量 36 mmタイプ (b) 調整量 3 mmタイプ

図-6 組立状況

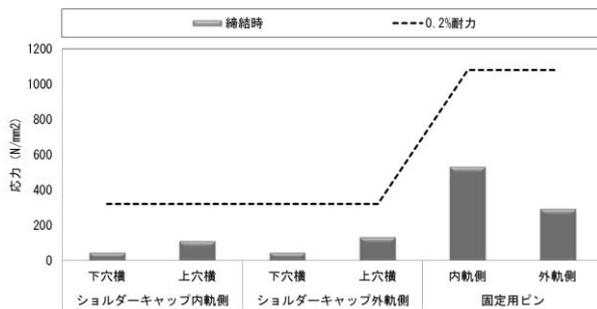


図-7 締結時における各部材への発生応力

## (2) ばね定数試験結果

2軸斜角荷重試験（静的荷重試験・動的繰り返し荷重試験）の試験荷重と荷重角度を求めめるため、各種ばね定数試験を実施した。試験結果より、図-8のとおり算出した値を用いて、2軸斜角荷重試験を実施した。

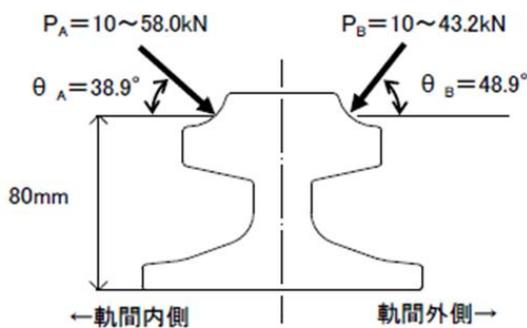


図-8 試験荷重と荷重角度

## (3) 静的荷重試験結果

レール締結装置1組に対して、図-8の条件で荷重を交互に繰り返し荷重を実施し、レール締結装置の各部の挙動およびレール頭部変位を確認した。なお、レール締結装置タイプは、レール高さ調整量36mmタイプと33mmタイプの2種類とした。

図-9に試験の実施状況を示す。静的荷重試験において、e2009クリップに発生した最大主ひずみの平均主ひずみ

および変動主ひずみについて、発生したひずみが大きかったレール高さ調整量36mmタイプについて、耐久限度線図を用いて照査した結果を図-10に示す。なお、e2009クリップに発生した最大主ひずみはA荷重作用時に軌間内側・外側のいずれもリアアーチで最大となり、発生ひずみは第1破壊限度内であり、疲労破壊に関する安全性を満足している<sup>2)</sup>。

レール頭部変位は、最大変位量2.6mmであり、在来線規定値7.0mm以下であった。

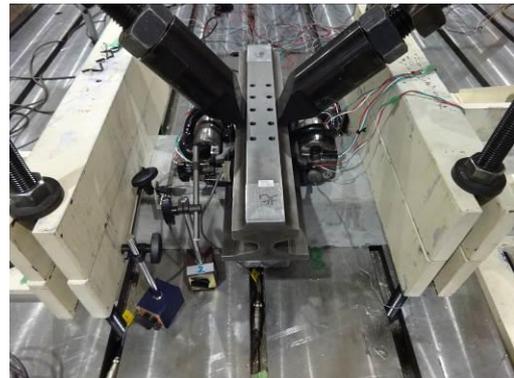


図-9 静的荷重試験の実施状況

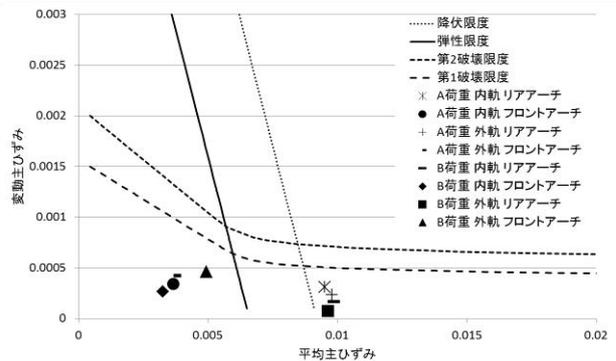


図-10 耐久限度線図による照査（調整量 36 mmタイプ）

## (4) 動的繰り返し荷重試験結果

静的荷重試験と同じ条件のA荷重およびB荷重により動的繰り返し荷重を実施し、レール締結装置の構成部材の耐久性を確認した。

試験では、PCまくらぎ上に組み立てた凍上対策型レール締結装置に、A荷重およびB荷重を180度の位相差で周波数5.5Hzの正弦波により100万回を動的に繰り返し荷重し、レール頭部の左右変位および各部材の発生応力等を測定した。また、試験終了時点の部材の損傷等の有無を確認した。

動的繰り返し荷重試験の結果、図-11のとおりe2009クリップの損傷やその他の構成部材の損傷等はなく100万回終了したことから、凍上対策型レール締結装置の耐久性に問題がないことを確認した。



(a) 軌道パッド等 (b) ショルダーキャップ等

図-11 動的繰返し载荷試験後の構成部材

### (5) ふく進抵抗力試験結果

ふく進抵抗力試験は、レールのふく進に対するレール締結装置1組あたりの抵抗力を測定する試験である。図-12のように試験体を試験機に設置し、レール長手方向に载荷した時のレール移動量3mm時の荷重を測定した。これを3回実施し2回目と3回目の平均値をふく進抵抗力とした。なお、レール締結装置タイプはレール高さ調整量33mmタイプで実施した。これは、レール高さ調整量36mmタイプと比較し、e2009クリップ先端がレールを押える位置がレール高さ調整量36mmタイプよりレール底面方向に3mm低くなりレール押え力が低下することから(図-13)、e2009クリップ先端が3mm低くなる組合せ(高さ調整板3mmと9mmを使用する組合せ)の中で最大調整量である33mmタイプで試験を実施した。

測定結果は1締結あたり平均8.4kNであり、十分なふく進抵抗力があることを確認した<sup>1)</sup>。

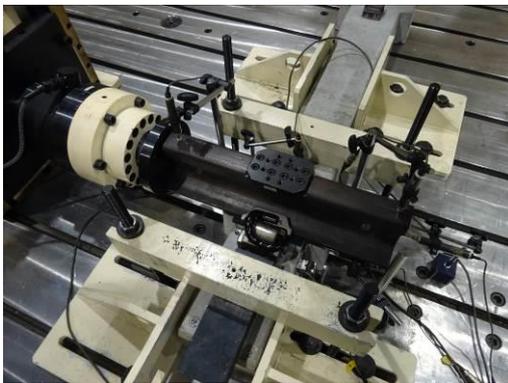


図-12 ふく進抵抗力試験の実施状況

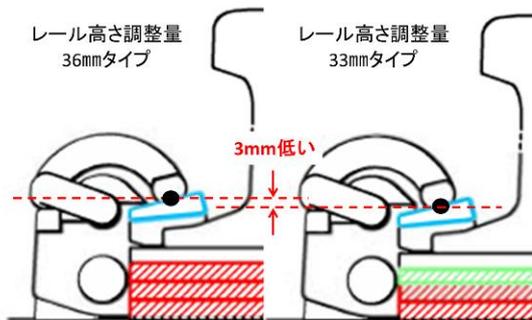


図-13 e2009クリップ先端のレール押え位置

### (6) 電気絶縁抵抗試験結果

電気絶縁抵抗は、信号システムの安定動作の条件等として目標値が定められており、目標値は在来線で1kmあたりに必要な電気絶縁抵抗値は2.0Ω/km以上である。敷設予定である軌道に対して、まくらぎ1本あたりに必要な電気絶縁抵抗値は3.5kΩ以上となる<sup>3)</sup>。

図-14のように乾燥時・降雨時および汚損時の状態を想定した電気絶縁抵抗試験を実施した結果、左右レール間の絶縁抵抗値は4.5kΩであり、目標値3.5kΩ以上を満たしていることを確認した。

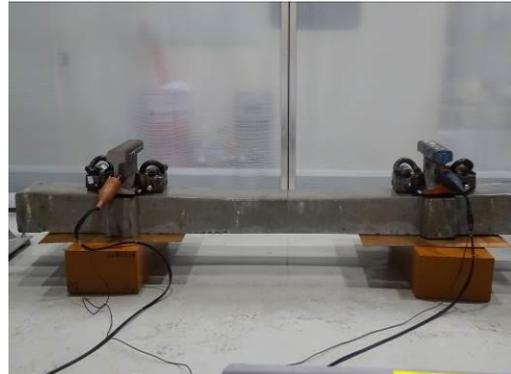


図-14 電気絶縁抵抗試験実施状況

## 4. 結論

下級線用PCまくらぎにおいて、既存のショルダーを活用し凍上発生時にはレールの高低調整が可能となる着脱式の線ばね系レール締結装置を開発した。

このレール締結装置の室内性能確認試験の結果、部材に発生する応力等は許容範囲内であり、所要の性能および耐久性を満足することを確認した。

今後は、在来線の下級線用PCまくらぎ使用区間での凍上対策用として、営業線への導入を進めていく。

謝辞：本開発を行うにあたり、設計・解析・試作品製作・性能確認試験に多大なる御協力を頂いた、株式会社スミハツの関係者の方々に対し謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説，pp.52-60 pp.248-253，丸善出版，2012。
- 2) 玉川新悟 他：塑性域を考慮した線ばね形レール締結装置の疲労耐久性の評価方法，RTRI REPORT Vol29，No.8，2015。
- 3) 新版軌道材料編集委員会編：新版軌道材料，pp.288-289，鉄道現業社，2011。