

## 分岐器用 PC まくらぎ継手構造の検討

[土] ○唐須 崇 今城 正嗣 (西日本旅客鉄道株式会社)

## Examination Of the Structure Of The Joint Sleepers For Turnout

○Takashi KARASU, Shouji IMAJYO, (West Japan Railway Company)

We have adopted prestressed concrete sleepers to turnout from 2002 for the purpose of extending the period of maintenance of turnout and the life span of sleepers. However, when adopting the prestressed concrete sleeper at the back end of turnout, it is too long to be laid easily. Therefore, it is partially laid in new track. Then, we started examination of the structure of joint sleepers in order to raise the performance of laying. In this paper, focusing on the joint using elastic material which has been used overseas, we report the result of the evaluation test about it.

キーワード：分岐器 PC まくらぎ化，保守周期延伸，まくらぎ継手

Key Word：Turnout Sleeper Replaced Wooden With Prestressed Concrete Sleeper, Extending The Period Of Maintenance, Joint Sleepers

## 1. はじめに

JR 西日本では、分岐器における保守周期延伸及びまくらぎの寿命延伸を目的に PC まくらぎ分岐器を開発し、既設線では平成 14 年度から、部分交換によりポイント部へ本格的に導入している。一方、リード部・クロッシング部といった分岐器後端部では、その PC まくらぎの長さ及び重量から、部分交換時の施工性が悪く、分岐器全体の PC まくらぎ化の実施は大型クレーン等の使用スペースが確保可能である新設線の一部に留まっている現状である。

そこで、部分交換による分岐器全体 PC まくらぎ化を達成するため、長尺 PC まくらぎの施工性向上を目的として PC まくらぎ継手構造の検討に取り組んできた。これまでに剛締結により連結する PC まくらぎ継手構造（以下、剛締結継手と称す）は性能確認を完了している。今回、新たな一つの手段として海外で実績のある弾性材を用いた継手（以下、弾性継手と称す）に着目し、各種確認試験により性能評価及び弾性継手で連結された PC まくらぎ継手構造の載荷時の挙動を確認したので、その概要を報告する。

## 2. 分岐用 PC まくらぎ継手構造検討の経緯

分岐器後端部のリード部、クロッシング部や渡り線において、長く重い 1 本もの（以下、モノブロックと称す）の PC まくらぎでは交換する際の施工性が低下する。そこで、PC まくらぎ同士を現場で連結する PC まくらぎ継手構造を開発することとした。

## 2.1 剛締結継手

剛締結による継手構造は、ポストテンション方式の PC まくらぎの片側の支圧板を連結板と兼ね、PC 鋼棒を 4 本使用した鋼板付 PC まくらぎであり、連結板を互いに 6 本

のボルトで締結することにより、継手構造となる（図 1）。

なお、各種強度確認試験等は完了しており、剛締結により連結された PC まくらぎは、まくらぎとしてモノブロックと同等の性能を有することを確認している<sup>1)</sup>。しかしながら、分割 PC まくらぎを現場で連結することは達成されるが、ボルト 6 本をまくらぎ長手方向からの挿入及び締結が必要であり、施工性向上への寄与は小さいという問題点を有する。

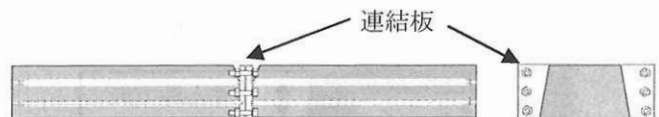


図1 剛締結によるPCまくらぎ継手構造

## 2.2 弾性継手を使用した継手構造

剛締結継手に引き続き PC まくらぎ継手構造の検討を進める中で、欧州で敷設実績のある弾性継手に注目した。今回、用いる弾性継手は、2 つの鋼材がゴム材により接合され、さらに継手全体が薄いゴムで被覆された構造である（図 2）。

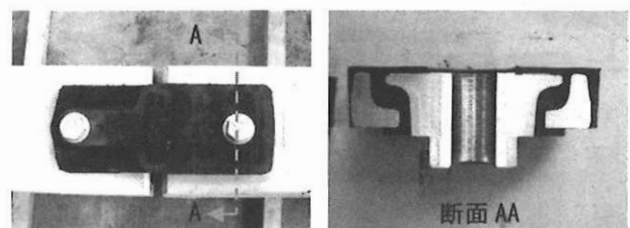


図2 弾性継手

現場における分割まくらぎの連結作業を想定すると、剛締結継手ではボルト 6 本を横から締結する必要があるのに対して、弾性継手では上側からボルト 2 本の締結であり、

大幅な施工性の向上が期待できる。しかしながら、分割 PC まくらぎ間に隙間を有すること、弾性継手自体がたわむ等、これまでのまくらぎ及び継手の設計思想とは大きく異なるため、実験的に検証を行うこととした。具体的には、弾性継手単体の性能確認試験、弾性継手で連結した PC まくらぎ継手構造に対する静的荷重試験、荷重時の挙動を確認するための繰返し荷重試験である。また、弾性継手の設置位置により PC まくらぎ継手構造の荷重パターンが異なるため、試験時の荷重パターンを分けることとした (図 3)。なお、各種確認試験に用いる分割 PC まくらぎには、先の剛縮継手の検討で設計及び強度確認済みものを使用した。

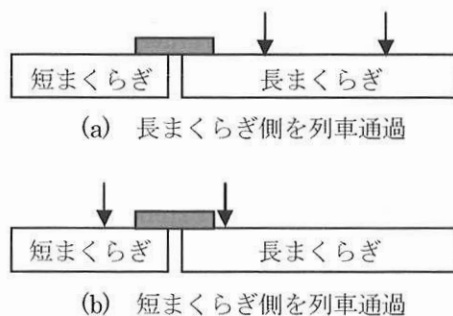


図3 PCまくらぎ継手構造の荷重位置

### 3. 弾性継手単体の性能確認

ゴム材で接合された弾性体であるため、新品の弾性継手単体に対して、せん断方向及び水平方向へ荷重し、それぞれのばね定数の測定を実施した。

弾性継手の側面からの概観を図4に、上面から見た構造図を図5に示す。左右対称な構造とはなっておらず、設置は長まくらぎ側及び短まくらぎ側の方向が決まっている。

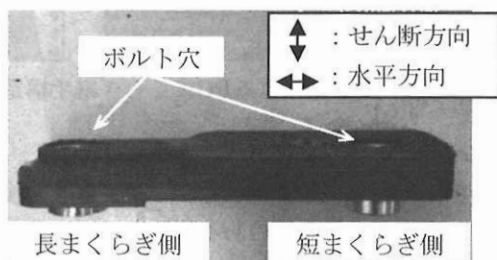


図4 弾性継手外観

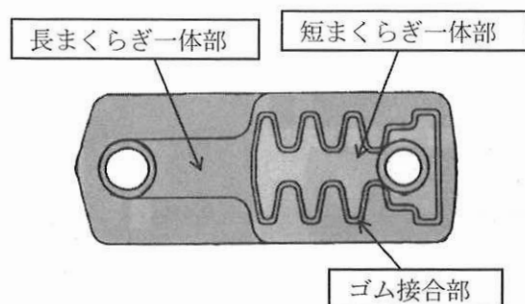


図5 弾性継手構造図

#### 3.1 試験項目

表1に試験項目を示す。せん断方向のばね定数測定試験では、長まくらぎ側荷重及び短まくらぎ側荷重の2通りを行った。

表1 弾性継手単体の試験項目

| 試験内容                          | 測定項目     | 試験条件                    |
|-------------------------------|----------|-------------------------|
| せん断方向荷重<br>・長まくらぎ側<br>・短まくらぎ側 | 荷重<br>変位 | 最大変位<br>・5mm<br>・10mm   |
| 水平方向荷重                        | 荷重<br>変位 | 最大荷重<br>・25kN<br>・100kN |

#### 3.2 試験方法

##### (1) せん断方向試験

弾性継手のボルト穴を片持ちで固定し、もう一方のボルト穴の部分にせん断方向に静的荷重を加えた。速度10mm/minの変位制御とし、荷重側変位0.3mm→5.0mm→0.3mmを3回、続けて0.3mm→10mm→0.5mmを1回の計4サイクルを行い、静的ばね定数の算出は3サイクル目と4サイクル目の測定値を用いた。測定された荷重・変位曲線から、次式によりばね定数を求めた。

$$K = \frac{F_1 - F_2}{\delta_1 - \delta_2}$$

ここで、 $K$ はせん断方向の静的ばね定数 (kN/mm)、 $\delta_1$ はばね定数算出における上限変位 (mm)、 $\delta_2$ は下限変位 (mm)、 $F$ はそれぞれのときの荷重 (kN) である。

##### (2) 水平方向試験

弾性継手のボルト穴と試験機ヘッドを固定し、水平方向に伸張するように荷重したときの荷重及びゴム接合部を挟んだ2点間の相対変位を測定した。荷重・除荷とも速度1mm/minの変位制御とし、0.1kN→25kN→0.1kNを3回、続けて0.5kN→100kN→0.5kNを1回の計4サイクルを行った。採用する測定値は3サイクル目、4サイクル目とし、ばね定数算出式はせん断方向試験と同様である。

#### 3.3 ばね定数測定試験結果

##### (1) せん断方向試験結果

図6にせん断方向試験における荷重・変位曲線を示す。

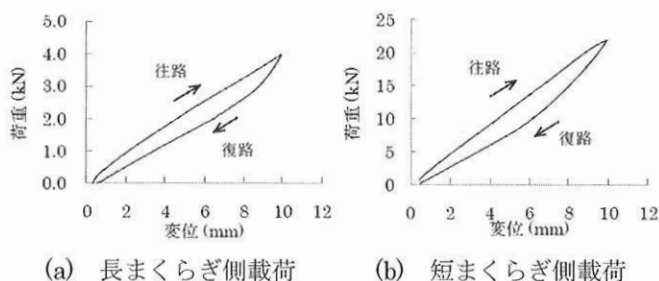


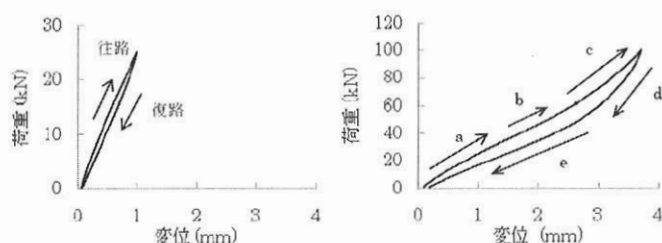
図6 せん断方向試験の荷重・変位曲線

長まくらぎ側荷重及び短まくらぎ側荷重の両条件ともに、往路では変曲点を持つことなくほぼ単調な線形性を示す一方で、復路ではヒステリシスループの形成が認められた。これらの特徴から、ゴム接合部が線形弾性領域にあることがわかる。また、せん断方向の静的ばね定数は、長ま

くらぎ側載荷 10mm 変位時で約 0.38kN/mm, 短まくらぎ側載荷 10mm 変位時で約 2.1kN/mm となり, 短まくらぎ側載荷時のばね定数の方が大きい。

## (2) 水平方向試験結果

図 7 にせん断方向試験における荷重-変位曲線を示す。25kN 載荷時では, 往路についてはほぼ線形の荷重-変位関係を有し, 復路については小さいヒステリシスループを形成している。次に 100kN 載荷時では, 荷重-変位曲線はヒステリシスループを有するうえに, 往路を含めて 5 つの特徴的な経路を示すことが確認できる。a 及び b 区間では, ほぼ線形関係を有するのに対して c 区間では荷重が急速に増加するように非線形曲線を示している。なお, それぞれの区間の静的ばね定数は, a 区間で 26~27kN/mm, b 区間で 22~24kN/mm に対し, c 区間では 42~44 kN/mm と大きく増加している。



(a) 最大荷重 25kN

(b) 最大荷重 100kN

図 7 水平方向試験の荷重-変位曲線

## 4. PC まくらぎ継手構造の静的載荷試験

列車からの荷重を想定し, 輪重に対して鉛直方向の載荷試験を, 横圧に対して PC まくらぎ同士が離れるように水平方向への載荷試験を実施し, あわせて埋込みカラー引抜き試験も実施した。

### 4.1 試験項目

表 2 に試験項目を示す。鉛直載荷試験では, 長まくらぎ側載荷及び短まくらぎ側載荷の 2 通りとした。試験条件は, 供試体の破壊まで, または試験機の設定上限までとした。

表 2 弾性継手単体の試験項目

| 試験内容                         | 測定項目                   | 試験条件                |
|------------------------------|------------------------|---------------------|
| 鉛直方向載荷<br>・長まくらぎ側<br>・短まくらぎ側 | 荷重、変位<br>発生応力<br>ボルト軸力 | まくらぎの相対変位<br>20mmまで |
| 水平方向載荷                       | 荷重、変位<br>発生応力<br>ボルト軸力 | 部材破壊まで載荷            |
| 埋め込みカラー引抜き                   | 荷重<br>変位               | 最大荷重 190kN          |

### 4.2 試験方法

#### (1) 鉛直方向静的載荷試験

図 8 に鉛直方向静的載荷試験の状況を示す。載荷しない側のまくらぎを治具により固定し, 載荷側まくらぎが弾性継手を支点到水平を保った状態で, 相対鉛直変位が 20mm になるまで, 長まくらぎ側及び短まくらぎ側それぞれ 3 試番の載荷を実施した。

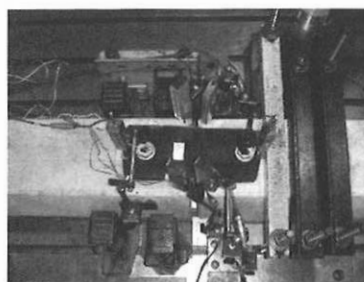


図 8 鉛直方向静的載荷試験

#### (2) 水平方向静的載荷試験

図 9 に水平方向静的載荷試験の状況を示す。まくらぎに対して反力治具を取り付け, 弾性継手で連結される 2 本のまくらぎが離れるように水平方向に載荷を実施した。載荷は弾性継手または PC まくらぎ, ボルト等のいずれかが破壊するまでとし, 3 試番行った。

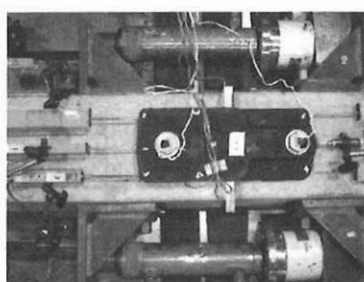


図 9 水平方向静的載荷試験

#### (3) 埋込みカラー引抜き試験

図 10 に埋込みカラー引抜き試験の状況を示す。PC まくらぎのコーン破壊を考慮し, 反力点をき裂発生のある範囲外に設置し, 試験機の設定上限である 190kN まで載荷した。

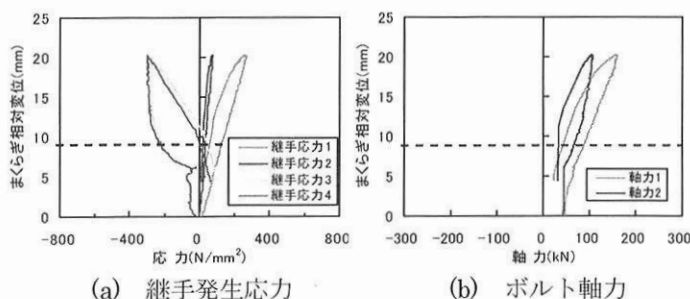


図 10 埋込みカラー引抜き試験

### 4.3 静的載荷試験結果

#### (1) 鉛直方向静的載荷試験結果

図 11 に継手発生応力とボルト軸力の変化を示す。



(a) 継手発生応力

(b) ボルト軸力

図 11 鉛直方向静的載荷試験結果 (長まくらぎ側載荷)

短まくらぎ側載荷と比較すると長まくらぎ側載荷では約 2 倍以上の応力が発生した。これは, 図 5 に示すように弾性継手の構造上, 短まくらぎ側載荷の場合は鋼材 2 つに載荷されるが, 長まくらぎ側載荷の場合は鋼材単体で載荷荷重を受けるからである。なお, 実使用環境に JR 西日本で PC まくらぎ分岐器を敷設する可能性のある 3 級線以上と

想定し、水準の整備目標値 9mm (静的) と同様の相対鉛直変位 9mm を目安とすると、各測定結果はほぼ線形的に推移し、その値からも破壊や損傷に至らないものと考えられ、載荷完了後の PC まくらぎにき裂の発生及び埋込みカラーの変形も見られなかった。

## (2) 水平方向静的載荷試験結果

載荷 200kN を超えたあたりから埋込みカラー周囲にき裂が発生し始め、約 230kN でコンクリートが破壊したことに加え、弾性継手に 5mm 程度の反りが見られた。これは、PC まくらぎの上部で弾性継手がボルトにより固定されていることから、まくらぎ同士を放す方向へ載荷していくにつれ、継手部を支点に曲げモーメントが発生し、弾性継手を構成する鋼材が塑性変形したものと考えられる。また、実際には 200kN を超える横圧が働くとは考えにくく、分岐器の設計 A 荷重である 60kN を目安とすると、各測定結果はほぼ線形的に推移しており、実使用にあたって問題はないものと考えられる (図 12)。

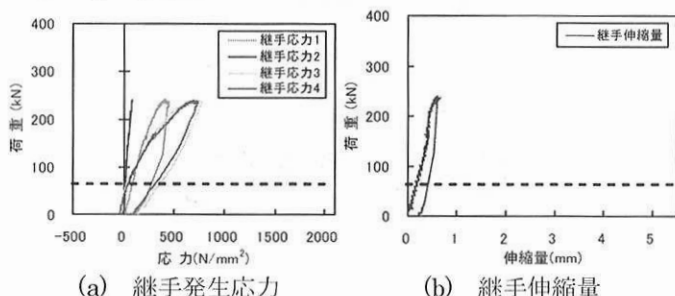


図 12 水平方向静的載荷試験結果

## (3) 埋込みカラー引抜き試験結果

最大引抜き荷重 190kN まで埋込みカラーは破壊することなく、PC まくらぎ及び埋込みカラー周囲にもき裂の発生は見られなかった。したがって、弾性継手用の埋込みカラーは十分な強度を有すると判断できる。

## 5. PC まくらぎ継手構造の繰返し載荷試験

弾性継手で連結された PC まくらぎ継手構造の載荷時の挙動を確認するため、繰返し載荷試験を実施した。本試験では沈下特性等に与える弾性継手の影響を判断するため、比較対象としてモノブロックの PC まくらぎを用いた。

### 5.1 試験項目

表 3 に試験項目を示す。モノブロックは 1 パターン、弾性継手は長まくらぎ側載荷及び短まくらぎ側載荷の 2 パターンとした。

表 3 弾性継手単体の試験項目

| 試験内容                           | 測定項目     | 試験条件                                                                      |
|--------------------------------|----------|---------------------------------------------------------------------------|
| モノブロック                         | 荷重<br>変位 | 以下、各試験共通<br>・最大荷重 47.8kN<br>・最小荷重 2.0kN<br>・周波数 2Hz (正弦波)<br>・載荷回数 100 万回 |
| 弾性継手<br>・長まくらぎ側載荷<br>・短まくらぎ側載荷 | 荷重<br>変位 |                                                                           |

### 5.2 試験方法

図 13 に繰返し載荷試験の状況を示す。3 本の PC まくら

ぎを並べて設置し、中央の PC まくらぎに載荷した。載荷時の挙動を把握するため、変位測定位置はまくらぎ端、レール位置、弾性継手を中心に 12~16 点とした。



図 13 繰返し載荷試験状況

### 5.3 繰返し載荷試験結果

図 14 及び図 15 に、モノブロックと弾性継手の沈下量の比較結果を示す。長まくらぎ側載荷では、初期沈下に僅かな違いがあるもののほぼ同様の挙動を示した。一方、短まくらぎ側載荷では、弾性継手の左右レールで沈下量が大きく異なっている。これは、短まくらぎ端部に近く左レールが配置されていたことで、短まくらぎにかかる荷重及び左レールの沈下量が大きくなったためであるが、右レールはほとんど沈下していないことから、弾性継手は、まくらぎ横断方向に作用する力と曲げモーメントを抑制、分断していると推定できる。したがって、弾性継手のまくらぎ上の配置位置及び短まくらぎの最小長さを別途検討することで、長尺 PC まくらぎの設計条件を緩和できると考えられる。

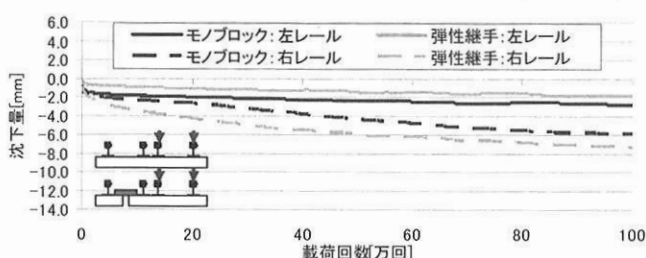


図 14 長まくらぎ側載荷時の沈下量比較

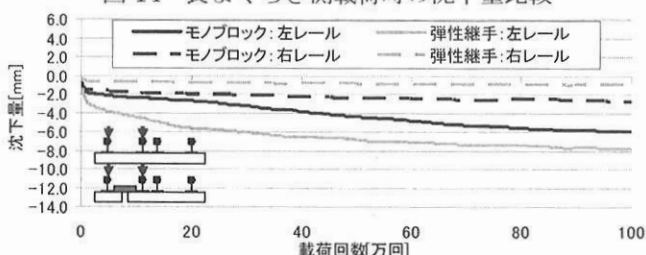


図 15 短まくらぎ側載荷時の沈下量比較

## 6. おわりに

今後は、これまで実施した試験結果を基に弾性継手をモデル化し、解析による PC まくらぎ継手構造の最適設計を実施した後、営業線へ試験敷設により施工性の検証及び軌道変位への影響を検証する予定である。

### 参考文献

- 住吉賢治, 楠田将之, 山口義信: 分岐器全体 PC まくらぎ化に関する技術開発, 第 11 回鉄道力学シンポジウム講演論文集, pp. 45-50, 2007. 7.