

# 論文 実物大供試体による弾性まくらぎ埋込形スラブ軌道の性能確認試験

湧上 翔太<sup>1</sup>・高橋 貴蔵<sup>1</sup>・三澤 祥文<sup>1</sup>・桃谷 尚嗣<sup>1</sup>・曾我 周作<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正会員 (公財) 鉄道総合技術研究所 軌道技術研究部 (〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38)

E-mail: fuchigami.shota.84@rtri.or.jp, takahashi.takatada.80@rtri.or.jp,

misawa.yoshifumi.62@rtri.or.jp, momoya.yoshitsugu.29@rtri.or.jp

<sup>2</sup>正会員 (独行) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 九州新幹線建設局

(〒812-8622 福岡県福岡市博多区祇園町2-1 (シティ17ビル))

E-mail: sogu.shu-4n4m@jrtt.go.jp

整備新幹線における騒音・振動対策として、弾性まくらぎを埋め込んだ軌道スラブをCAモルタルで支持する「弾性まくらぎ埋込形スラブ軌道」が開発されている。本研究では、実物大供試体の弾性まくらぎ埋込形スラブ軌道について、鉛直载荷および水平载荷による性能確認試験を行った。鉛直方向の繰返し载荷試験(200万回)の結果、弾性まくらぎの周囲に配置した側面材の抜け出し等は確認されず、底面弾性材のへたり量は指標値の5%以下であった。また、設計横圧作用時にまくらぎおよび軌道スラブにひび割れは発生せず、まくらぎの水平変位の最大値は2mm以下かつ変位振幅は1mm以下であり、走行安全上の問題は生じないと考えられる。

**Key Words :** sleepers integrated slab track, under sleeper pad, full-scale track model, loading test

## 1. はじめに

整備新幹線における主要な軌道構造の一つとして、施工性や保守性に優れたスラブ軌道が採用されている。スラブ軌道は、レールに締結されるまくらぎや軌道スラブがコンクリート道床やCAモルタル(てん充層)などの支持部材により高架橋などの剛性路盤上に連結・設置される直結系軌道の一種である<sup>1)</sup>。一般に、鉄道における騒音・振動対策はスラブ軌道のような直結系軌道に対して講じられる場合が多く、軌道パッドの低ばね化<sup>2)</sup>や軌道スラブをスラブマット<sup>3)</sup>あるいはコイルばね防振装置<sup>4)</sup>等で支持する防振スラブ軌道、まくらぎ下に底面弾性材を設置した弾性まくらぎ直結軌道<sup>5)</sup>などの防振軌道が開発・実用化されている。これらの防振軌道に加え、近年、筆者らは弾性まくらぎ(PCまくらぎに底面弾性材を貼付したもの)を軌道スラブに埋め込んだプレキャスト部材をCAモルタルで支持する「弾性まくらぎ埋込形スラブ軌道」(以下、弾直スラブ)の開発を行い、軌道構造における新たな騒音・振動対策としての適用を検討している<sup>6)</sup>。弾直スラブの施工については、プレキャスト製の軌道スラブ(弾性まくらぎを含む)を敷設箇所に搬入し、現場でCAモルタルを打設する施工方法であるため、従来のスラブ軌道と同等の施工性が確保されて

いる。

本研究では、前述した弾直スラブについて直結系軌道としての基本性能を確認するため、実物大供試体を用いた性能確認試験を行った。

## 2. 弾性まくらぎ埋込形スラブ軌道の概要

図-1に弾直スラブの概要図を示す。弾直スラブには、まくらぎの側面部にせん断キーと称した凸部を有するPCまくらぎが用いられる(図-2参照)。このPCまくら

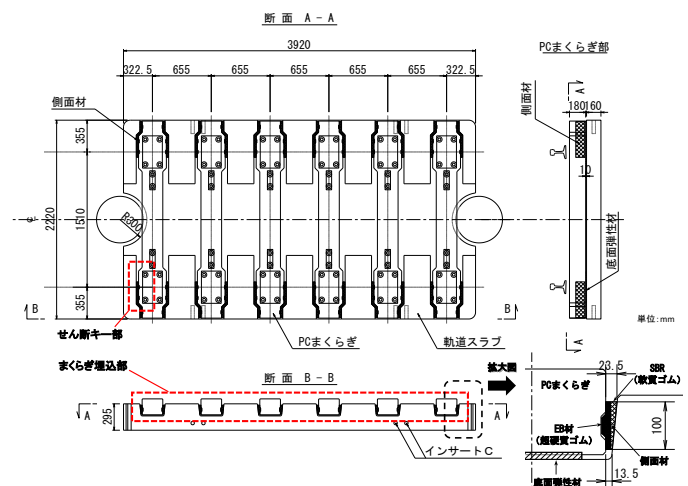


図-1 弾性まくらぎ埋込形スラブ軌道の概要



図-2 PC まくらぎのせん断キ一部

表-1 側面材の仕様一覧

| 種別    | 構成                                 | 詳細図 |
|-------|------------------------------------|-----|
| 側面材 A | 可変パッド+SBR5mm                       |     |
| 側面材 B | EB 材 5mm+SBR (くさび形状 (8.5~18.5mm))  |     |
| 側面材 C | EB 材 10mm+SBR (くさび形状 (3.5~13.5mm)) |     |

ぎは軌道スラブ上面の凹凸部（以下、まくらぎ埋込部）に埋め込まれており、せん断キとまくらぎ埋込部の嵌合部において軌道に作用する横方向の荷重を支持する。せん断キ部周辺の構造については、S 型弾性まくらぎ直結軌道<sup>7)</sup>（以下、S 型弾直）の弾性まくらぎの固定方法と類似しているが、S 型弾直では弾性まくらぎが現場打設するコンクリート道床により固定・支持されるのに対し、弾直スラブでは上述したとおり別途製作されたプレキャスト製の軌道スラブのまくらぎ埋込部に弾性まくらぎが埋め込まれる。PC まくらぎのせん断キ部周辺には側面材が、底部には底面弾性材（発泡 EPDM ゴム：ばね定数 30MN/m）が設置される（図-1 参照）。

表-1 に本研究で検討した側面材の仕様一覧を示す。側面材 A において、可変パッドに使用したビニルエステル樹脂は樹脂を注入する専用の袋からまくらぎ埋込部側（軌道スラブ側）のみに滲み出して付着し、可変パッドは PC まくらぎに貼付した SBR（軟質ゴム）との間で滑動する構造である。一方、側面材 B および C は SBR（軟質ゴム）と EB 材（超硬質ゴム）が一体成型されたものであり、PC まくらぎやまくらぎ埋込部には貼付されず、PC まくらぎの側面部に設けた楕円形の凹部に側

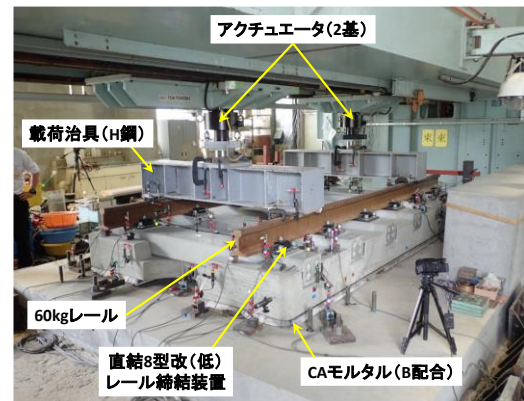


図-3 実物大供試体の概要

表-2 鉛直荷重試験ケース

| 載荷方法  | 静的載荷<br>(繰返し載荷前)   |            | 繰返し載荷              |            | 静的載荷<br>(繰返し載荷後)   |            |
|-------|--------------------|------------|--------------------|------------|--------------------|------------|
| 試験ケース | CASE 1-1-1         | CASE 1-1-2 | CASE 1-2-1         | CASE 1-2-2 | CASE 1-3-1         | CASE 1-3-2 |
| 側面材種別 | A                  | C          | A                  | C          | A                  | C          |
| 荷重振幅※ | 160kN<br>(5～165kN) |            | 160kN<br>(5～165kN) |            | 160kN<br>(5～165kN) |            |
| 載荷周波数 | —                  |            | 10Hz               |            | —                  |            |
| 載荷回数  | 3回                 |            | 200万回              |            | 3回                 |            |
| 測定項目  | 図-4参照              |            |                    |            |                    |            |

※アクチュエータ 1 基あたり、() 内の数値は最小・最大荷重

面材の凸部（EB 材、円形）をはめ込むことで固定・滑動する構造である。側面材の硬度については、SBR が硬度 76（A 型硬度計）、EB 材が硬度 78（D 型硬度計）であった。なお、まくらぎ埋込部側に接する SBR はまくらぎ埋込部のコンクリート面（傾斜面）に沿ってくさび型の形状をしている。本研究では、材質や形状の異なる側面材 A～C について、鉛直方向に作用する設計軸重の繰返し荷重に対する側面材の変位量や、水平方向に作用する設計横圧の静的荷重に対する弾性まくらぎの変位量を確認した。

### 3. 鉛直荷重試験

#### (1) 試験条件

図-3 に弾直スラブ実物大供試体の概要を示す。レールは 60kg レール、レール締結装置は直結 8 型改（低）レール締結装置（軌道パッド：30MN/m）、てん充層には CA モルタル（B 配合）を用い、軌道スラブ 1 枚分の実物大供試体を作製した。本試験では、新幹線車両の標準的な軸距間隔（2.5m）でアクチュエータ 2 基により 2 輪軸分の荷重を行った。荷重位置は第 1・第 2 締結中間位置および第 5 締結位置とし、荷重治具（H 鋼）を介してレールに荷重した。表-2 に試験ケースを示す。本試験では、側面材 A および C を適用した場合について、同表に示す条件で荷重試験を行った。ここで、SBR と EB 材が一体成型された側面材 B および C については、後述する水平荷重試験において、本研究で提案する「弾直スラブにおける

水平変位量の考え方」を満足する側面材Cについてのみ本試験を実施した。載荷時の荷重振幅は160kN（新幹線の標準列車荷重H-16（350%乗車時）<sup>1)</sup>，最小5kN～最大165kN）とした。図-4に計測機器の設置位置を示す。本試験ではレール，まくらぎおよび側面材の鉛直変位（いずれも軌道スラブからの相対変位）を測定した。なお，後述する試験結果において，別途測定した軌道スラブの鉛直変位の最大値および変位振幅はいずれのケースにおいても0.1mm程度と微小であった。

## (2) 試験結果

図-5に静的載荷試験（CASE1-1-1,1-1-2,1-3-1,1-3-2）にお

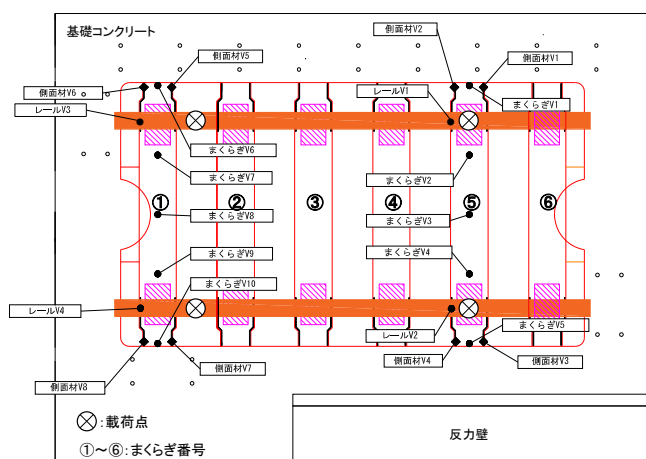
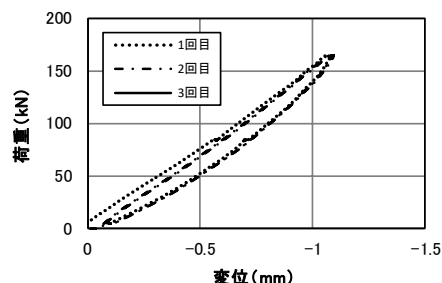
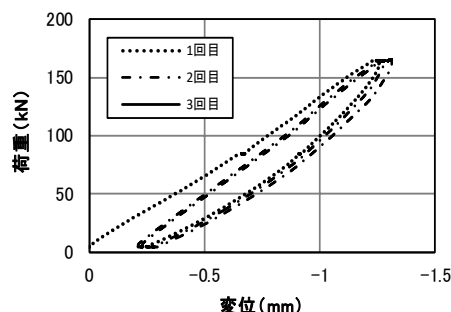


図-4 計測機器の設置位置 (鉛直変位試験)



(2) 繰返し載荷試験後 (側面材 C まくらぎ V5)

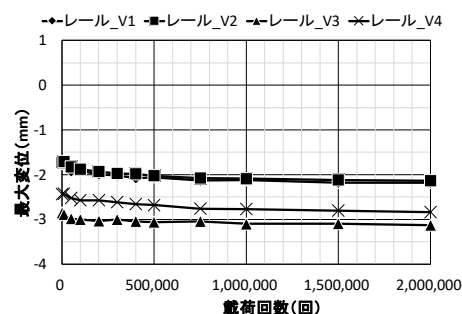
図-5 静的載荷試験におけるまくらぎ変位の例

表-3 静的載荷3回目における変位振幅の比較

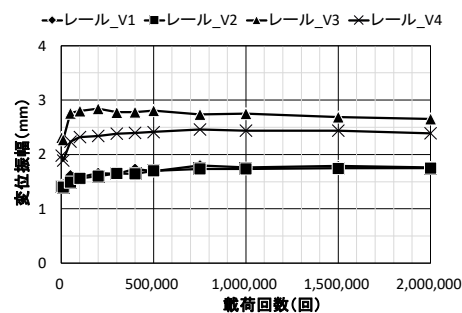
| 側面材<br>種別 | 載荷<br>条件 | 繰返し載荷前               |                       | 繰返し載荷後               |                       | 変位振幅の<br>変化率<br>(%) |
|-----------|----------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|
|           |          | 変位振幅の<br>平均値<br>(mm) | 載荷・除荷の<br>平均値<br>(mm) | 変位振幅の<br>平均値<br>(mm) | 載荷・除荷の<br>平均値<br>(mm) |                     |
| 側面材A      | 載荷時      | 1.13                 | 1.12                  | 1.08                 | 1.09                  | 2.7                 |
|           | 除荷時      | 1.10                 |                       | 1.09                 |                       |                     |
| 側面材C      | 載荷時      | 0.99                 | 0.97                  | 0.88                 | 0.87                  | 10.3                |
|           | 除荷時      | 0.95                 |                       | 0.86                 |                       |                     |

けるまくらぎ変位の例として，側面材 C の場合におけるまくらぎ⑤の測点「まくらぎ V5」の荷重－変位関係を示す（まくらぎ番号は図-4参照）。図中の変位は沈下方向（下向き）が負値である。同図より，1回目の載荷の除荷後に初期のなじみによるものと考えられる残留変位が生じており，その後の2回目および3回目の載荷ではほぼ同じ荷重－変位曲線を示した。このように，部材の製造誤差や設置時の施工誤差等により生じる部材間のなじみにより，初期の荷重履歴におけるまくらぎ毎の荷重－変位関係は変化する可能性があるが，その後の荷重履歴により一定の荷重－変位関係を示すものと考えられる。表-3にまくらぎ⑤の測点「まくらぎ V1」～「まくらぎ V5」における，静的載荷 3 回目の変位振幅の平均値の一覧を示す。表中に示す変位振幅の変化率を静的ばね定数の変化率と捉えたと，側面材 A の場合は 2.7%，側面材 C の場合は 10.3%となる。ここで，弾性まくらぎ直結軌道用弾性材の性能評価試験における試験項目「疲れ強さ」の指標値である「静的ばね定数変化率：±20.0%以下<sup>9)</sup>」を参考にすると，側面材 A に比べて側面材 C の変化率がやや大きかったものの，本試験結果はこれを満足することを確認した。

図-6～図-9に繰返し載荷試験（CASE1-2-1,1-2-2）におけるレール変位または側面材変位と載荷回数の関係を示す。図中の最大変位は沈下方向（下向き）が負値である。図-6および図-7より，レール変位については側面材 A および C とともに，載荷点がレール端部に近いまくらぎ①の測点「レール V3」「レール V4」の方がまくらぎ⑤の測点「レール V1」「レール V2」よりも最大変位および変位振幅ともに大きな値となった。側面材 A の場合は

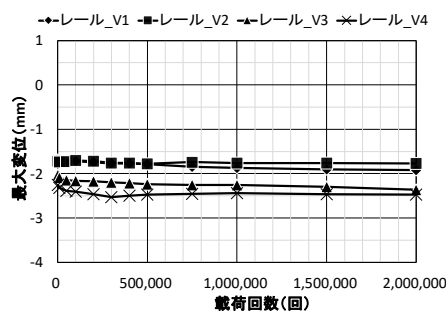


(1) レールの最大変位

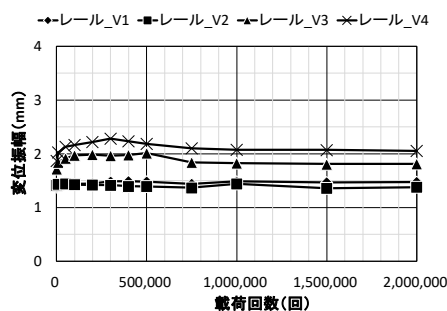


(2) レールの変位振幅

図-6 レール変位と載荷回数の関係 (側面材 A)

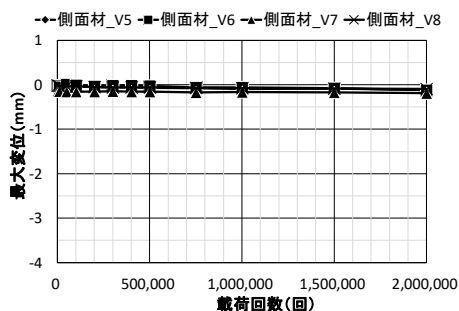


(1) レールの最大変位

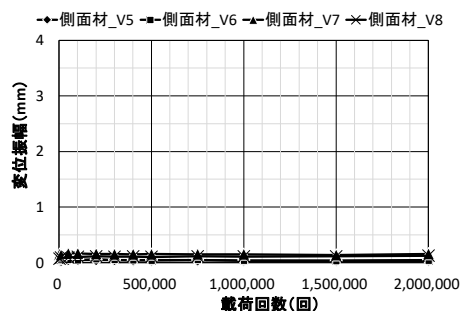


(2) レールの変位振幅

図-7 レール変位と载荷回数との関係（側面材 C）

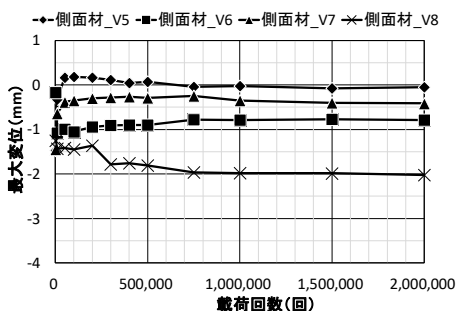


(1) 側面材の最大変位

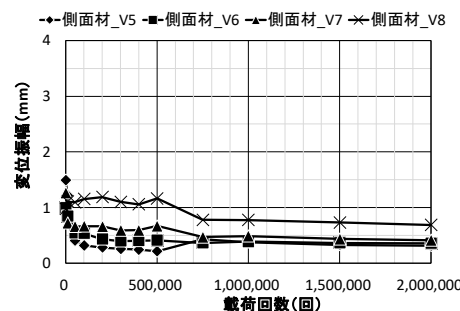


(2) 側面材の変位振幅

図-8 側面材変位と载荷回数との関係（側面材 A）



(1) 側面材の最大変位



(2) 側面材の変位振幅

図-9 側面材変位と载荷回数との関係（側面材 C）

200 万回载荷時の最大変位は 3.2mm，変位振幅は 1.8～2.6mm，側面材 C の場合は 200 万回载荷時の最大変位は 2.5mm，変位振幅は 1.4～2.0mm であった。なお，繰返し载荷による最大変位および変位振幅の増加はほとんど見られなかった。

側面材については，レール変位が相対的に大きかったまくらぎ①の測点「側面材 V5」～「側面材 V8」の変位を示す。図-8より，側面材 A の場合は可変パッドがまくらぎ埋込部に貼付されているため，最大変位および変位振幅ともに 0.2mm 以下と微小であった。一方，図-9より，側面材 C は側面材 A のようにまくらぎ埋込部に貼付されておらず，最大変位のばらつきが大きく，最大で 2.0mm 程度となった。しかし，繰返し载荷による最大変位や変位振幅の増加はほとんど見られず，200 万回载荷時の変位振幅は 0.2～0.7mm であった。なお，側面材 A および C とともに，200 万回载荷後に側面材のずれや抜け出し等は確認されなかった。

また，繰返し载荷試験による底面弾性材のへたり量を

測定するために，側面材 C の場合において繰返し载荷後の底面弾性材の厚さを測定した。測定対象は载荷点直下のまくらぎ⑤に設置されている底面弾性材とし，測点数は底面弾性材 1 枚当たり 6 点とした。なお，繰返し载荷前の底面弾性材の厚さは規定値の 15mm とした。表-4 に測定結果を示す。同表より，繰返し载荷による底面弾性材のへたり量は最大で 0.8% であった。ここで，弾性まくらぎ直結軌道用弾性材の性能評価試験における試験項目「疲れ強さ」の指標値である「へたり量：5%以下<sup>9)</sup>」を参考にすると，本試験結果はこれを満足することを確認した。

## 4. 水平载荷試験

### (1) 試験条件

図-10に水平载荷試験の状況，表-5に試験ケースを示す。本試験では，側面材 A～C を適用した場合について，同表に示す条件で载荷試験を行った。試験方法については，供試体拘束用治具（以下，拘束治具）を用いて軌道

表-4 底面弾性材のへたり量（側面材Cの場合）

| 測定位置  | 測点 | 測定値<br>(mm) | 平均値<br>(mm) | 変化率※<br>(%) | へたり量<br>(%) |
|-------|----|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 右レール側 | 1  | 14.67       | 14.88       | 99.2        | 0.8         |
|       | 2  | 15.05       |             |             |             |
|       | 3  | 14.85       |             |             |             |
|       | 4  | 14.76       |             |             |             |
|       | 5  | 14.89       |             |             |             |
|       | 6  | 15.07       |             |             |             |
| 左レール側 | 1  | 14.98       | 14.98       | 99.8        | 0.2         |
|       | 2  | 14.91       |             |             |             |
|       | 3  | 15.16       |             |             |             |
|       | 4  | 14.86       |             |             |             |
|       | 5  | 14.99       |             |             |             |
|       | 6  | 14.95       |             |             |             |

※15mmを100とした時の値

スラブの水平移動を拘束し、鉛直荷重として無負荷（0kN）あるいは実軸重相当（100kN（100%乗車時）または160kN（350%乗車時））の鉛直荷重をレールに作用させた状態で、油圧ジャッキを用いてまくらぎ④直上のレール腹部を水平方向に載荷した。なお、鉛直荷重作用時は載荷治具（H鋼）とアクチュエータとの間にローラーによる移動機構を設け、供試体の水平移動を拘束しない機構とした。また、水平方向の載荷荷重は、以下に示す軌道スラブに作用する設計横圧を含む漸増載荷（載荷・除荷の繰返し）を基本とした。本試験では、横圧は同一箇所では同じ方向に作用するという仮定の下、一方向に対して載荷を行った。

## ○設計横圧

- ・安全性（破壊）： $L = P_0 \times \gamma_{vl} = 80 \times 0.8 = 64 \text{ kN}$

ここに、 $L$ ：横圧（kN） $P_0$ ：静的輪重（80kN） $\gamma_{vl}$ ：変動横圧係数

- ・安全性（疲労破壊）： $L = P_0 \times \gamma_{vl} = 80 \times 0.4 = 32 \text{ kN}$

図-11に計測機器の設置位置を示す。測定項目はまくらぎ、軌道スラブおよび拘束治具の鉛直・水平変位、レールの水平変位、まくらぎおよび軌道スラブのひずみとし、まくらぎとレールは軌道スラブからの相対変位、軌道スラブと拘束治具は基礎コンクリートからの相対変位を測定した。なお、後述する試験結果において、軌道スラブおよび拘束治具の鉛直・水平変位の最大値はいずれのケースも0.05mmと微小であった。

## (2) 試験結果

### a) 側面材Aの場合（CASE2-1-1）

図-12にレールへの載荷荷重（横圧）とまくらぎの水平変位の関係、図-13にレールへの載荷荷重（横圧）とまくらぎおよび軌道スラブのひずみの関係を示す。図中のひずみは引張方向が正值、圧縮方向が負値である。なお、側面材Aについては鉛直荷重による水平変位が十分に小さかったことから無負荷の場合のみとした。また、本試験を実施するまでは軌道スラブのひび割れ発生荷重が不明であったため、載荷荷重（横圧）の最大値は60kNとした。その後、別途実施した側面材Aの場合に

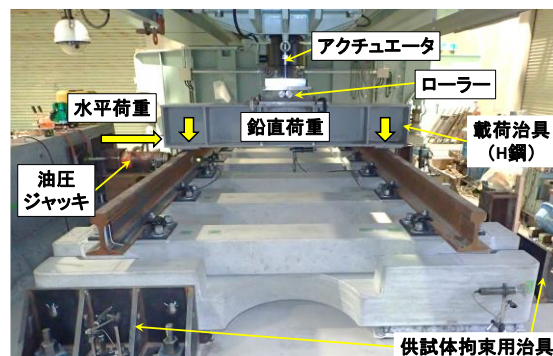


図-10 水平載荷試験の状況

表-5 水平載荷試験ケース

| 載荷方法            | 静的載荷                                                                                     |            |            |            |            |            |            |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 試験ケース           | CASE 2-1-1                                                                               | CASE 2-1-2 | CASE 2-1-3 | CASE 2-2-1 | CASE 2-2-2 | CASE 2-3-1 | CASE 2-3-2 |
| 側面材種別           | A                                                                                        | B          | C          | B          | C          | B          | C          |
| 載荷荷重※<br>(鉛直方向) | 0kN                                                                                      |            |            | 100kN      |            | 160kN      |            |
| 載荷荷重※<br>(水平方向) | 漸増載荷<br>側面材 A の場合：5, 10, 20, 40, 60kN<br>側面材 B および C の場合：5, 10, 20, 32, 40, 50, 60, 64kN |            |            |            |            |            |            |
| 測定項目            | 図-11 参照                                                                                  |            |            |            |            |            |            |

※アクチュエータ1基あたり

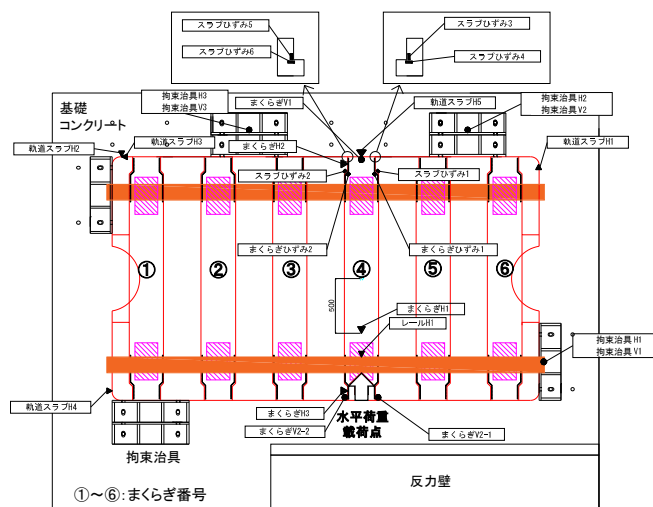


図-11 計測機器の設置位置（水平載荷試験）

おけるまくらぎへの水平載荷試験においてまくらぎ埋込部のひび割れ発生荷重が80kN程度であることを確認したため、側面材BおよびCのケースではレール載荷においても64kNまで載荷した。ここで、軌道スラブのコンクリートの設計基準強度40N/mm<sup>2</sup>（弾性係数：31,000N/mm<sup>2</sup>（鉄道構造物等設計標準・同解説コンクリート構造物<sup>10</sup>より））から、コンクリートの引張強度を40N/mm<sup>2</sup>の1/10と仮定すると、ひび割れ発生時に想定されるひずみは約130×10<sup>-6</sup>となる。

図-12より、設計横圧32kN（80×0.4：安全性（疲労破壊））載荷時のまくらぎの水平変位は1.40mmであった。なお、本試験では漸増載荷を行っており、20kN載荷後

の除荷時においてまくらぎ側面のなじみによるものと考えられる残留変位が生じていた。この残留変位（0.72mm）発生以降のまくらぎ水平変位（変位振幅）は 0.68mm となった。本試験では最大荷重 60kN まで載荷しており、60kN 載荷時の変位は 1.84mm、除荷時の残留変位は 1.29mm であり、変位振幅は 0.55mm であった。

図-13より、まくらぎのひずみは最大で  $3 \times 10^6$  程度、軌道スラブのひずみは最大で  $16 \times 10^6$  程度であり、レールへの設計横圧（安全性（疲労破壊））作用時にひび割れは発生しなかった。

#### b) 側面材Bの場合（CASE2-1-2, 2-2-1, 2-3-1）

図-14にレールへの載荷荷重（横圧）とまくらぎの水平変位の関係、図-15にレールへの載荷荷重（横圧）とまくらぎおよび軌道スラブのひずみの関係を示す。図-14より、鉛直荷重 0kN の場合、設計横圧 32kN（80×0.4：安全性（疲労破壊））載荷時のまくらぎの水平変

位は 1.77mm、除荷後の残留変位に対する変位振幅は 0.95mm であった。また、設計横圧 64kN（80×0.8：安全性（破壊））載荷時のまくらぎの水平変位は 3.45mm、除荷後の残留変位に対する変位振幅は 2.02mm であった。鉛直荷重 100kN の場合、設計横圧 32kN 載荷時のまくらぎの水平変位は 0.81mm、除荷後の残留変位に対する変位振幅は 0.63mm であった。また、設計横圧 64kN 載荷時のまくらぎの水平変位は 1.87mm、除荷後の残留変位に対する変位振幅は 1.42mm であった。鉛直荷重 160kN の場合、設計横圧 32kN 載荷時のまくらぎの水平変位は 0.72mm、除荷後の残留変位に対する変位振幅は 0.54mm であった。また、設計横圧 64kN 載荷時のまくらぎの水平変位は 1.83mm、除荷後の残留変位に対する変位振幅は 1.34mm であった。

図-15より、鉛直荷重0kNの場合、まくらぎのひずみ

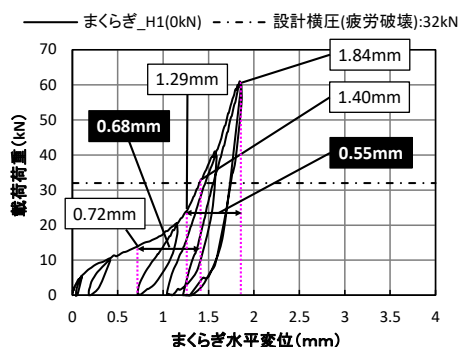


図-12 載荷荷重とまくらぎ水平変位の関係（側面材 A）

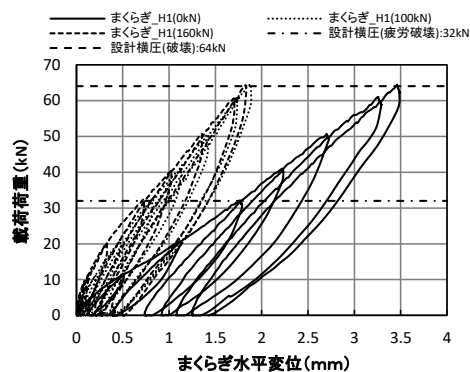


図-14 載荷荷重とまくらぎ水平変位の関係（側面材 B）

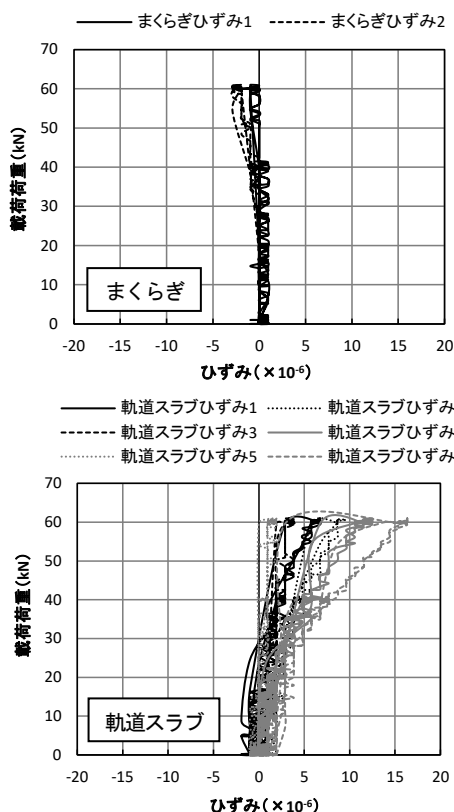


図-13 載荷荷重とひずみの関係（側面材 A 鉛直荷重 0kN）

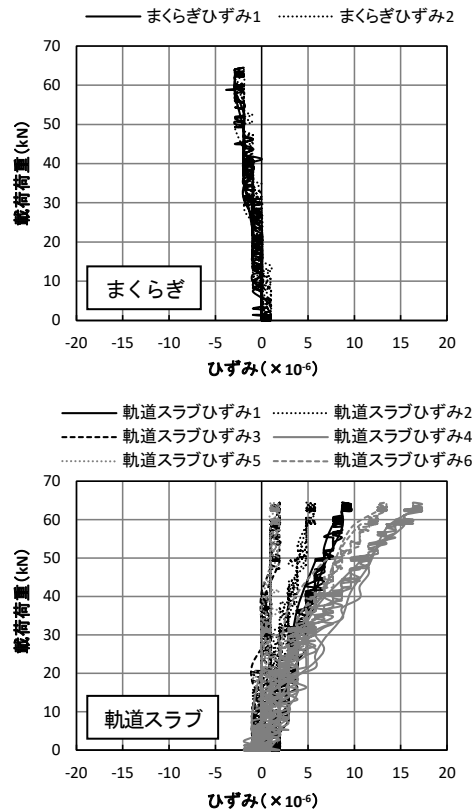


図-15 載荷荷重とひずみの関係（側面材 B 鉛直荷重 0kN）

は最大で $3 \times 10^6$ 程度、軌道スラブのひずみは最大で $17 \times 10^6$ 程度であり、レールへの設計横圧（安全性（破壊））作用時にひび割れは発生しなかった。なお、鉛直荷重100kNおよび160kNの場合におけるまくらぎと軌道スラブのひずみ量は上記の値以下であった。

### c) 側面材Cの場合（CASE2-1-3, 2-2-2, 2-3-2）

図-16にレールへの載荷荷重（横圧）とまくらぎの水平変位の関係、図-17にレールへの載荷荷重（横圧）とまくらぎおよび軌道スラブのひずみの関係を示す。図-16より、鉛直荷重 0kN の場合、設計横圧 32kN 載荷時のまくらぎの水平変位は 1.42mm、除荷後の残留変位に対する変位振幅は 0.59mm であった。また、設計横圧 64kN 載荷時のまくらぎの水平変位は 1.94mm、除荷後の残留変位に対する変位振幅は 0.87mm であった。鉛直荷重 100kN の場合、設計横圧 32kN 載荷時のまくらぎの水平変位は 0.69mm、除荷後の残留変位に対する変位振幅は 0.57mm であった。また、設計横圧 64kN 載荷時のまくらぎの水平変位は 1.25mm、除荷後の残留変位に対する変位振幅は 0.98mm であった。鉛直荷重 160kN の場合、設計横圧 32kN 載荷時のまくらぎの水平変位は 0.73mm、除荷後の残留変位に対する変位振幅は 0.44mm であった。また、設計横圧 64kN 載荷時のまくらぎの水平変位は 1.37mm、除荷後の残留変位に対する変位振幅は 0.87mm であった。

図-17より、鉛直荷重 0kN の場合、まくらぎのひずみは最大で  $4 \times 10^6$  程度、軌道スラブのひずみは最大で  $55 \times 10^6$  程度であり、レールへの設計横圧（安全性（破壊））作用時にひび割れは発生しなかった。なお、鉛直荷重 100kN および 160kN の場合におけるまくらぎと軌道スラブのひずみ量は上記の値以下であった。

### (3) 弾直スラブの水平変位量に関する考察

直結系軌道におけるまくらぎと軌道スラブの水平変位量の許容値については、各種設計標準等において明記されていない。よって本研究では、弾直スラブにおける水平変位量の考え方として「鉄道事業者における新幹線軌道の整備目標値<sup>11)</sup>」および「新設時における軌道の仕上がり基準値<sup>12)</sup>」を参考にすることとした。なお、整備目標値や仕上がり基準値はレールの変位を対象としているが、本試験ではレールを含めた供試体の全長が 4m 以下であること、また試験の都合上、レールの腹部を水平方向に載荷していることから、レールの小返り量を含めた通り変位（10m 弦）を評価できなかったため、まくらぎの水平変位量を評価指標とした。表-6に各試験体におけるまくらぎの水平変位および変位振幅の一覧を示す。

「鉄道事業者における新幹線軌道の整備目標値」において通り変位の整備目標値は 4mm と定められており、これに「新設時における軌道の仕上がり基準値」における

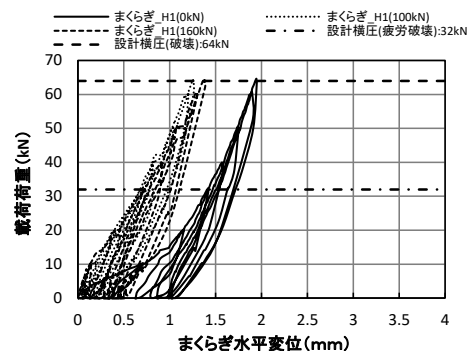


図-16 載荷荷重とまくらぎ水平変位の関係（側面材 C）

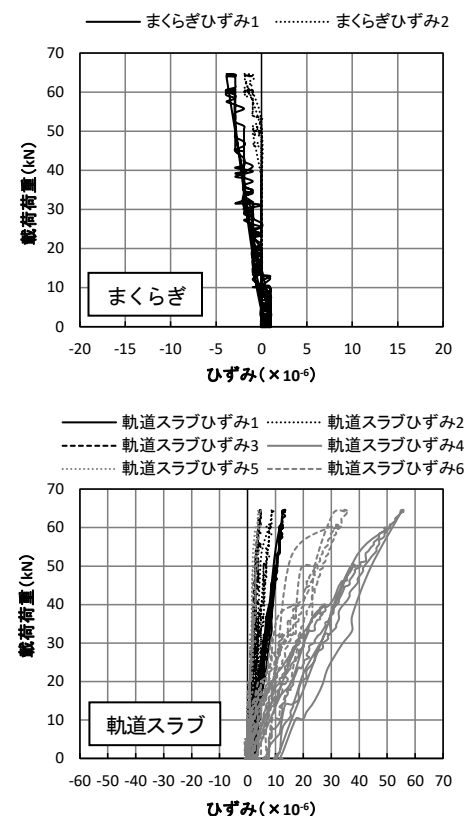


図-17 載荷荷重とひずみの関係（側面材 C 鉛直荷重 0kN）

通り変位の仕上がり基準値 $\pm 2\text{mm}$ を考慮すると、設計荷重作用時におけるまくらぎの水平変位は最大値が 2mm 以内程度、変位振幅が 1mm 以内程度であれば走行安全上の問題は生じないと考えられる。これを適用すると、表-6よりすべての設計横圧に対して本条件を満足するのは側面材 A および側面材 C であった。

## 5. 結論

本研究により得られた知見を以下に示す。

- (1) 側面材 A および C を適用した実物大の弾直スラブ軌道に対して鉛直載荷試験を実施した。繰返し載荷（200万回）前後における底面弾性材の静的ばね定数変化率およびへたり量は指標値以下であった。なお、部材の製造誤差や設置時の施工誤差等により生じる部材間のなじみにより、初期の荷重履歴におけるまくらぎ毎の荷重－変位関係は変化する

表-6 各試験体におけるまくらぎの水平変位および変位振幅の一覧

| 側面材の種別                       | 水平荷重<br>(kN) | 鉛直荷重:0kN     |              |              | 鉛直荷重:100kN   |              |              | 鉛直荷重:160kN   |              |              |
|------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                              |              | 水平変位<br>(mm) | 残留変位<br>(mm) | 変位振幅<br>(mm) | 水平変位<br>(mm) | 残留変位<br>(mm) | 変位振幅<br>(mm) | 水平変位<br>(mm) | 残留変位<br>(mm) | 変位振幅<br>(mm) |
| 側面材A<br>(可変パッド)              | 32           | 1.40         | 0.72         | 0.68         | —            | —            | —            | —            | —            | —            |
|                              | 60           | 1.84         | 1.29         | 0.55         | —            | —            | —            | —            | —            | —            |
| 側面材B<br>(EB材5mm+SBR (一体成型))  | 32           | 1.77         | 0.82         | 0.95         | 0.81         | 0.18         | 0.63         | 0.72         | 0.18         | 0.54         |
|                              | 64           | 3.45         | 1.43         | 2.02         | 1.87         | 0.45         | 1.42         | 1.83         | 0.49         | 1.34         |
| 側面材C<br>(EB材10mm+SBR (一体成型)) | 32           | 1.42         | 0.83         | 0.59         | 0.69         | 0.12         | 0.57         | 0.73         | 0.29         | 0.44         |
|                              | 64           | 1.94         | 1.07         | 0.87         | 1.25         | 0.27         | 0.98         | 1.37         | 0.50         | 0.87         |

可能性があるが、その後の荷重履歴により一定の荷重—変位関係を示すものと考えられる。

- (2) 繰返し載荷試験の結果、側面材Aの場合は可変パッドがまくらぎ埋込部に貼付されているため最大変位および変位振幅ともに0.2mm以下と微小であった。一方、側面材Cの場合はまくらぎ埋込部に貼付されていないため、最大変位は2.0mm程度、変位振幅は0.2～0.7mmであったが、いずれの側面材も繰返し載荷による最大変位や変位振幅の増加はほとんど見られず、側面材のずれや抜け出し等も確認されなかった。
- (3) 側面材A～Cを適用した実物大の弾直スラブ軌道に対して水平載荷試験を実施した。設計横圧作用時にまくらぎおよび軌道スラブのコンクリートにひび割れは発生しなかった。
- (4) 「鉄道事業者における新幹線軌道の整備目標値」に基づく通り変位の整備目標値4mmと「新設時における軌道の仕上がり基準値」に基づく通り変位の仕上がり基準値±2mmを考慮すると、設計荷重作用時におけるまくらぎの水平変位は最大値が2mm以内程度、変位振幅が1mm以内程度であれば走行安全上の問題は生じないと考えられる。これを適用すると、本条件を満足するのは側面材Aおよび側面材Cであった。

#### 参考文献

- 1) 公益財団法人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
- 2) 守田武史, 田中靖幸, 廣本勝昭, 横山秀史, 岩田直泰：低ばね定数軌道パッド敷設による地盤振動に対する影響,

土木学会第60回年次学術講演会, pp.221-222, 2005.9

- 3) 佐藤吉彦, 大石不二夫, 安藤勝敏, 三浦重：防振G型スラブ軌道の開発実用化, 日本鉄道施設協会誌, Vol.25, No.8, pp.926-928, 1987.12
- 4) 桃谷尚嗣, 鈴木健司, 木村和夫, 中島高志, 名村明, 安藤勝敏, 堀池高広：コイルばね防振軌道の走行安全性に関する検討, 第7回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, pp.59-62, 2000.12.
- 5) 洲上翔太, 渡辺勉, 横山秀史, 高橋貴蔵, 桃谷尚嗣：鉄道車両の高速走行に伴う地盤振動の低減効果に関する基礎的研究, 構造工学論文集, Vol.65A, pp.293-304, 2019.3
- 6) 楠田将之, 堀池高広, 安藤勝敏, 須永陽一, 高尾賢一：着脱式弾性まくらぎ直結軌道(D型弾直軌道)の開発, 第6回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集, pp.25-28, 1999.12
- 7) 谷川光, 高橋貴蔵, 桃谷尚嗣, 吉川秀平：S型弾性まくらぎ直結軌道に対する性能確認試験, 土木学会第72回年次学術講演会, pp.257-258, 2017.9
- 8) 曾我周作, 大野哲夫：弾性まくらぎ埋込形軌道スラブの開発, 日本鉄道施設協会誌, 2020.4
- 9) 間々田祥吾, 半坂征則, 鈴木実, 栢田吉弘, 細田充：弾性まくらぎ用弾性材の物性評価, 第18回鉄道技術連合シンポジウムJ-Rail2011, 2011.12
- 10) 公益財団法人鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物,丸善,2004
- 11) 保線工学編集委員会編：保線工学（下）, (株)鉄道現業社, 2018.2
- 12) 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構編：軌道関係工事標準示方書, 2006.2

(2020.4.3受付)

## PERFORMANCE TEST OF SLEEPERS INTEGRATED SLAB TRACK WITH USP

Shota FUCHIGAMI, Takatada TAKAHASHI, Yoshifumi MISAWA,  
Yoshitsugu MOMOYA, and Shusaku SOGA

In recent years, the sleepers integrated slab track with USP has been considered for application to Shinkansen as a measure against noise and vibration. In this study, vertical and horizontal loading tests for full-scale track model were performed to evaluate the basic performance under the design load. As the results of the tests, it was confirmed that the sleepers integrated slab track with USP had sufficient performance as a ballastless track.