

弾直スラブ軌道の防振効果

渡 邊 秀

整備新幹線の振動対策には様々な方法があるが、軌道構造による対策は、施工規模や費用の面から有効である。整備新幹線では、施工性や保守作業省力化の観点から「スラブ軌道」を標準軌道構造としている。一方で、振動対策が必要な区間では「弾性まくらぎ直結軌道」を採用している。今般、西九州新幹線（武雄温泉・長崎間）における事前の振動対策として、これらの特徴を併せもった「弾性まくらぎ埋込形スラブ軌道」の開発および敷設を行い、一定の防振効果があることを実証した。今後も改良を加えながら、振動対策を要する区間への導入を進めていく予定である。

キーワード：鉄道，新幹線，軌道構造，スラブ軌道，まくらぎ直結軌道，振動対策

1. はじめに

整備新幹線の開業後、一部の小土被りトンネルにおいて、直上の住民から騒音や振動に対する苦情が寄せられている。開業後のトンネルに追加で振動対策を実施することは困難であるため、必要に応じて建設時点で対応を行うことが重要である。振動対策には様々な方法があるが、軌道構造による対策は、施工規模や費用の面から有効である。整備新幹線では、施工性や保守作業省力化の観点から「スラブ軌道」を標準軌道構造としている。一方で、振動対策が必要な区間では「弾性まくらぎ直結軌道」を採用している。今般、西九州新幹線（武雄温泉・長崎間）における事前の振動対策として、「弾性まくらぎ埋込形スラブ軌道（以下、「弾直スラブ軌道」）」の開発および敷設を行った。本発表では新たな軌道構造の概要と、実車走行試験で確認された防振効果について報告する。

2. 弾直スラブ軌道の開発

(1) 構造検討

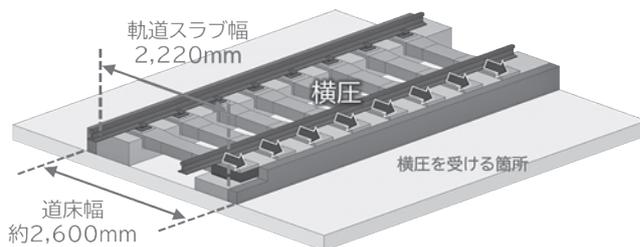
従来型の弾性まくらぎ直結軌道（写真—1）は一定の防振効果が確認されているが、道床コンクリートを場所打ちする必要があり、九州新幹線鹿児島ルートでの施工実績ではスラブ軌道の約5倍の工期を要した。また、上下線を同時に施工するため、電気工事等の車両が通行できず、工程に影響を及ぼすことが問題であった。そこで、道床コンクリートをプレキャスト化

し、軌道スラブと同等の形状とすれば、「スラブ軌道の施工性」と「弾性まくらぎ直結軌道の防振性」の双方を期待できると考え、「弾直スラブ軌道」の開発を行った。

従来型の弾性まくらぎ直結軌道は、列車走行時の横圧をまくらぎ両端部の道床コンクリートで受ける構造である（図—1）。この道床幅のままプレキャスト化



写真—1 弾性まくらぎ直結軌道



図—1 弾性まくらぎ直結軌道の道床幅と軌道スラブ幅

しても、従来の軌道スラブより広幅となるため、既存の工事用機械が使用できない。そこで、(公財)鉄道総合技術研究所(以下、「鉄道総研」)が開発した「S型弾性まくらぎ直結軌道(以下、「S型弾直軌道」)に着目した(写真-2)。これは、横圧をまくらぎ側面の拡幅部(以下、「せん断キー」)で受ける構造となっており、弾直スラブ軌道に用いるまくらぎにもこの構造を採用することで、まくらぎ長さで軌道スラブ幅を同一とすることができた。

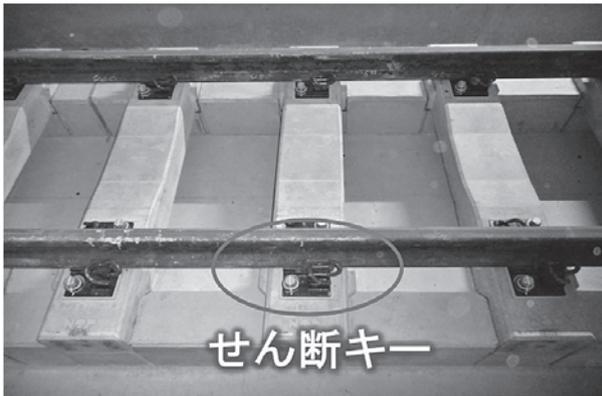


写真-2 S型弾性まくらぎ直結軌道

(2) 構造の特徴

弾直スラブ軌道は、まくらぎの埋め込み部を設けた軌道スラブの上に、底面弾性材を介してまくらぎを載せ、軌道スラブと同様の締結装置でレールを締結する構造とした(図-2)。

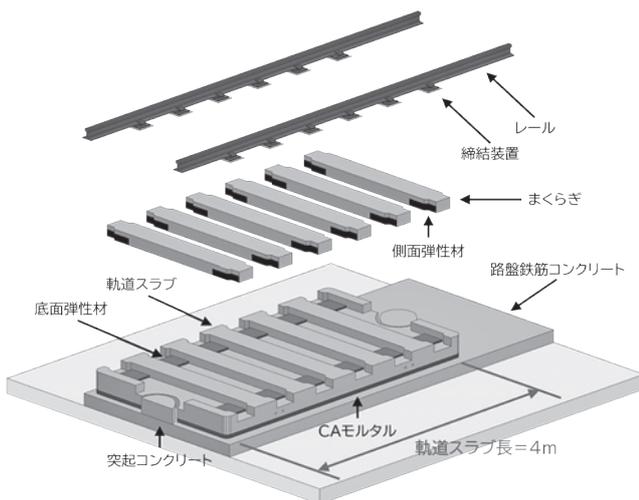


図-2 弾直スラブ軌道の構造

S型弾直軌道を含む弾性まくらぎ直結軌道では、まくらぎを配列した後に道床コンクリートを場所打ちするため、まくらぎと道床が密着し、列車の横圧を伝達している。一方、弾直スラブ軌道はプレキャスト部材

同士の組み合わせとなり、まくらぎと軌道スラブの間に隙間が生じてしまう。そこで、「せん断キー」部分の隙間に硬質ゴムと軟質ゴムを貼り合わせた「側面弾性材」を配置し、まくらぎと軌道スラブを密着させることで、軌道スラブへ横圧を伝達する構造とした。

また、軌道スラブにまくらぎが載るという構造上、R.L.から路盤鉄筋コンクリート表面までの「軌道構造所要高さ」が普通スラブと比較して165mm大きくなった。これを解消するため、弾直スラブの敷設区間では路盤鉄筋コンクリートの仕上げ高さを下げ、必要な高さを確保した。

さらに、弾直スラブは普通スラブに比べて部材が厚いことから、軌道スラブの標準的な長さであるL=5mで製作すると、製作工場内の天井クレーンの吊上げ重量や、敷設作業に用いる工事用機械の耐荷重を超過する懸念があった。そこで、軌道スラブ長さはL=4mに短くして重量を抑え、その上にまくらぎを6本配置する構造とした。

弾直スラブ軌道は、まくらぎ下に配置された底面弾性材の弾性効果により列車走行の振動を低減するという従来の弾性まくらぎ直結軌道の構造を踏襲しており、弾性まくらぎ直結軌道と同等の防振効果を期待することができる。

(3) 性能確認試験

上記の検討を踏まえ実物大の供試体を作成し、鉄道総研の試験場において、まくらぎ埋込部に着目して鉛直載荷試験や水平載荷試験などの性能確認試験を行った。鉛直載荷試験の結果、レール変位量は最大約3mm、まくらぎ変位量は最大約2mmであり、走行に必要な性能を満足していることを確認した。また、200万回の繰り返し載荷後も変位量の増加は見られなかった(図-3)。水平載荷試験では、まくらぎに対

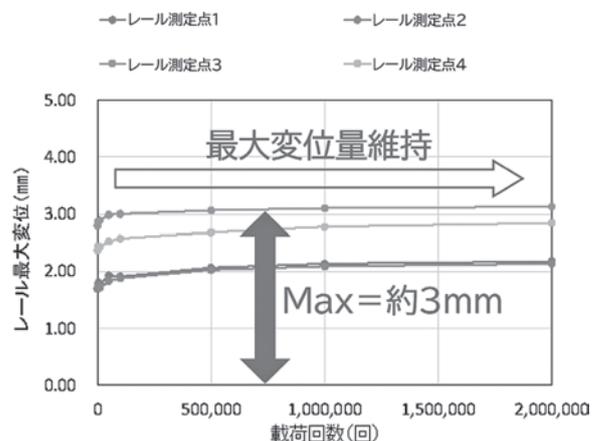


図-3 鉛直載荷試験結果(レール最大変位量)

して80 kN～85 kNの荷重を載荷した際に、軌道スラブのまくらぎ埋込部にひび割れが発生したが、これは設計破壊荷重(52.4 kN)を上回っていた。さらに220 kNまで載荷しても軌道スラブは終局破壊に至らなかった(図-4)。これらの試験結果から、弾直スラブ軌道の構造が実用上問題ないことを確認できた。

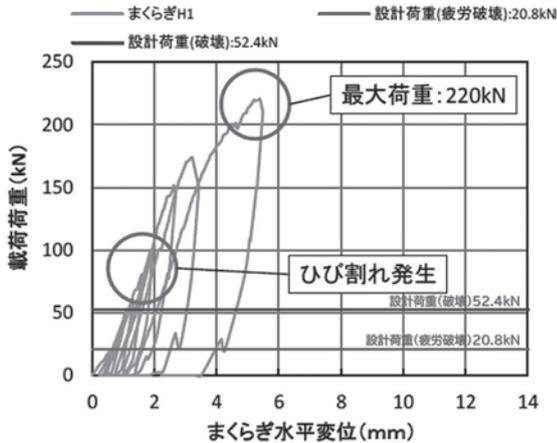


図-4 水平載荷試験結果(まくらぎ載荷)

3. 弾直スラブ軌道の施工

(1) 本線への敷設

弾直スラブは普通スラブと同等の形状となっているため、従前より使用している工事用機械を使って、普通スラブと同等の手順・施工速度で本線上へ敷設が可能である。ただし弾直スラブはその構造上、端部のまくらぎと突起コンクリートの隙間部分が干渉するため、突起部へ樹脂を注入する際に、樹脂注入袋を軌道スラブおよび突起コンクリートに接着する作業が困難となった(写真-3)。そこで、従来の接着型の注入袋に代わり、接着作業が不要な自立型の突起部注入袋を新たに開発し、これを用いることとした。注入袋の接着作業を省略することで、突起部の隙間とまくらぎ

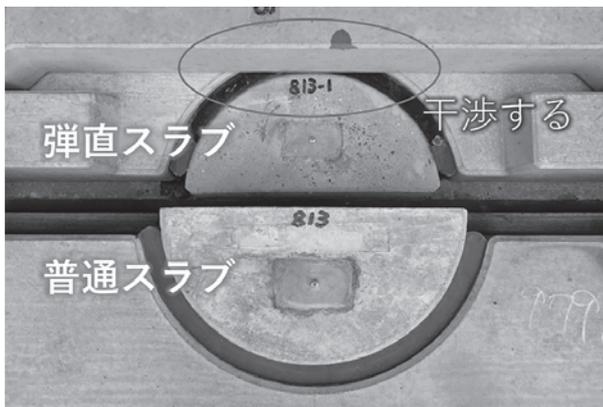


写真-3 突起注入部とまくらぎの干渉

が干渉するような狭い箇所での樹脂注入作業が可能となった。

西九州新幹線では、線路延長で1,532 m、計766枚の弾直スラブを敷設した(写真-4)。1日当りの敷設枚数は平均35枚で、普通スラブの場合とほぼ同等の速度で施工することができた。

(2) 保守管理

弾直スラブには、まくらぎと軌道スラブの間に「側面弾性材」および「底面弾性材」を使用しているが、これらは他部材とは縁切りされた構造となっている(写真-5)。そのため、営業開始後に経年劣化などにより弾性材を交換する必要が生じた場合でも、レールおよびまくらぎを扛上するだけで容易に交換でき、新幹線の作業時間帯内(0時～6時)で作業が可能である。このことから、弾直スラブは普通スラブとほぼ同等の保守性を有していると考えている。



写真-4 弾直スラブ軌道



写真-5 側面弾性材と底面弾性材

4. 弾直軌道スラブの防振効果

西九州新幹線の総合監査において実車走行試験を行い、弾直スラブ軌道の防振効果を確認した。

(1) 車上測定 (輪重・軸箱上下加速度)

車両の走行安全性および軌道状態を確認するため、高速走行時の輪重および軸箱上下加速度を測定し、普通スラブ区間と弾直スラブ区間の結果を比較した。

輪重は通常、走行速度が上がるにつれてその振幅が増大する傾向にあり、今回も普通スラブ区間ではその傾向がみられた。一方、弾直スラブ区間ではその傾向はほとんどみられず、時速 200 km 走行時の最大振幅を比較すると、普通スラブ区間の約半分であることが確認された (図-5)。

軸箱上下加速度についても輪重と同様に、弾直スラブ区間では速度向上に伴う振幅の増大傾向がみられなかった。時速 200 km 走行時の最大振幅を比較すると、普通スラブ区間の約 1/3 であることが確認された (図-6)。

(2) 地上測定 (レール上下変位・板ばね応力)

弾直スラブ区間と普通スラブ区間において、車両走行時の軌道変位などを測定し比較した。弾直スラブ区間では、沈下方向のレール変位量が普通スラブ区間と比べ大きくなったものの、弾直スラブ軌道の構造から想定される弾性変形量以内の数値であり、列車走行時の挙動としては問題のないことを確認した。一方で、

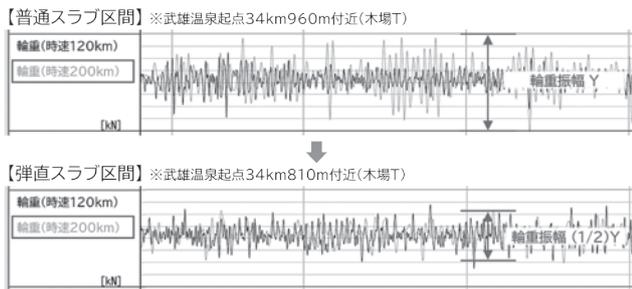


図-5 車上測定結果 (輪重)

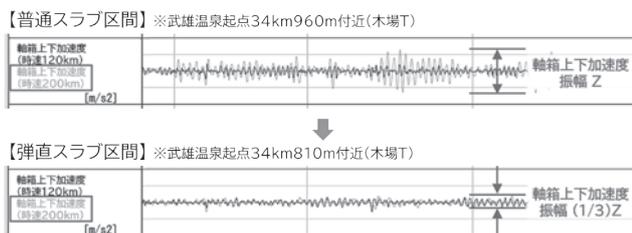


図-6 車上測定結果 (軸箱上下加速度)

締結装置の板ばねにかかる応力は約 2 割減少した。普通スラブでは、タイプレートが軌道スラブに固定されているため、レール変位量を可変パッドや軌道パッドで吸収した分、板ばねに応力がかかる。一方弾直スラブでは、タイプレートがまくらぎに固定され、そのまくらぎはレールとほぼ一体に挙動するため、相対的に板ばねの応力が減少したものと考えられる。

(3) 構造物振動測定

新幹線の高速走行に伴うトンネル構造物自体の振動は、トンネル直上にある家屋などの振動に影響を与えていると考えられる。そのため、弾直スラブ区間と普通スラブ区間の各断面において、軌道脇やトンネル側壁上部など複数点の構造物振動を測定した。このうち、下り列車が時速 180 km ~ 200 km で走行した際の、下り線軌道脇における振動測定結果を示す。弾直スラブ区間における線路直角方向の平均振動値は、普通スラブ区間と比較しておよそ 2 割減少していることが確認され (図-7)、また鉛直方向の平均振動値についても、同じくおよそ 2 割減少しているという結果が得られた (図-8)。これにより、弾直スラブ軌道が構造物振動の抑制に一定の効果を有していることが確認された。

(4) 地表面振動測定

一方、トンネル直上の地表面における振動測定からは、普通スラブ区間と弾直スラブ区間の平均振動値が変わらないという結果が得られた。これは、測定区間

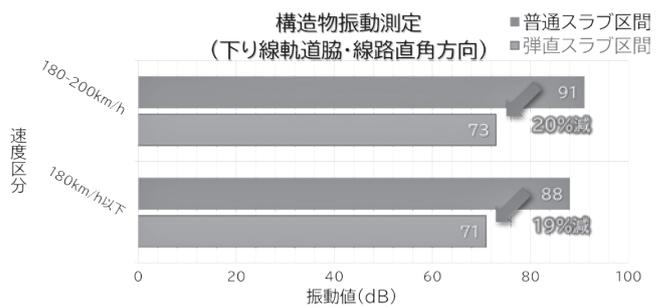


図-7 構造物振動測定結果 (線路直角方向)

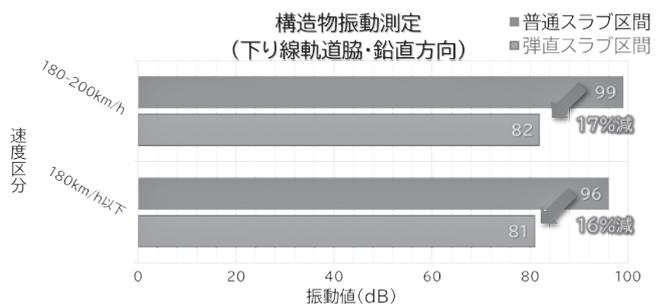


図-8 構造物振動測定結果 (鉛直方向)

ごとにトンネル直上地盤の振動伝播特性が異なることが要因の一つとして挙げられる。ただし、振動の発信源であるトンネル構造物の振動が低減していることから、弾直スラブ軌道は地表面に対しても振動低減効果があると考えられる。今後、地盤条件が同一の場合の防振効果を明確にしたいと考えている。

5. 今後の展開

(1) 導入区間

今後、北海道新幹線（新函館北斗・札幌間）の軌道工事が開始される予定である。弾直スラブ軌道は本報告のとおり、「構造物振動の低減」について定量的な防振効果が認められた。このことから、北海道新幹線においては、小土被りトンネルだけではなく、市街地直下のトンネルや、高架橋振動の低減を期待した市街地明り区間への採用も検討したいと考えている。

(2) 改良計画

現在の弾直スラブの設計は、開発期間の制約により既存の設計を流用した部分も多いことから、今後、製作効率や施工性の最適化を目指して、改良を加えることを計画している。主な改良案として、軌道スラブ本体の枠型化・薄肉化や、まくらぎの薄肉化により軽量化を図り、弾直スラブを5m化することで、製作に要する総コストの削減や敷設速度の向上に繋げることを

を考えている。また現在の設計では、軌道スラブやまくらぎの製作精度に対する不安から、それらの組み合わせ余裕を大きく確保した結果、ゴム製の側面弾性材が厚くなってしまった。各部材の製作精度に問題がなかったことから、さらなるコスト縮減を期待し、せん断キー部の構造を見直して側面弾性材を薄肉化することを検討している。

6. おわりに

今回開発した弾直スラブ軌道は、従来のスラブ軌道の施工性を確保しつつ、一定の防振効果が実証されたことから、今後の新幹線建設における振動対策に有効な技術であると考えている。今後は、設計の改良により製作効率や施工性の最適化を目指しながら、次の建設区間への導入に向けた検討を進めていく。最後に、弾直スラブ軌道の開発にあたって多大なるご協力をいただいたすべての皆様に、この場を借りて厚く御礼申し上げます。

JCMMA

【筆者紹介】

渡邊 秀（わたなべ すぐる）
 (株)鉄道建設・運輸施設整備支援機構
 設備部 軌道課
 課員

