

砕石流れ抑止を考慮したトンネル用PCまくらぎの開発

東海旅客鉄道株式会社 ○正会員 山崎誠幸

正会員 曾田祥信

1. はじめに

東海道新幹線では、曲線部の道床砕石が列車通過時の振動により外軌側から内軌側へ移動する「砕石流れ」が恒常的に発生する区間があり、頻繁に補修作業を実施している。また、トンネル内においては、まくらぎ端部から中央通路の擁壁までの間隔が狭いため十分な砕石が充填できず、軌道狂いが発生するおそれがある。

今回、まくらぎを矩形断面として砕石流れを抑止するとともに、従来より長さを20cm短くして道床肩幅確保を図ったPCまくらぎを開発し、本線への試験敷設を実施した。ここでは、開発経緯から試験敷設結果までを紹介する。

2. 課題とした軌道状態

2.1 砕石流れ

砕石流れは、列車通過に伴う繰返し荷重により外軌側の砕石が内軌側に流動する現象であり、カントの大きい曲線部で発生する(図1)。砕石流れによる軌道沈下への影響は限定的だが、砕石の流動量が大きくなりまくらぎ外軌側端部の露出が著しくなると、通り狂いの誘因となるおそれがある。また、流動した砕石が内軌側レール付近に堆積することもあり、頻繁に道床整理を実施している。



図1 砕石流れの発生状況

2.2 トンネル内の道床肩幅

東海道新幹線のトンネルは、上下線間に保守用通路があり、通路両側に擁壁が設けられている。まくらぎ端部から擁壁までの間隔は、過去に速度向上に伴う平面線形の変更による軌道位置の変化もあり、主に曲線区間でまくらぎ端部から擁壁までの間隔が100mmに満たない箇所が存在

する。このような箇所では、道床肩に砕石を十分に充填できず、締固めも不十分になりがちとなる上、さらに砕石流れが発生しているような箇所は、軌道狂いが発生しやすく、頻繁に補修作業を実施する必要があるため、保守コスト増大の原因の1つとなっている。

3. トンネル用PCまくらぎの設計

3.1 設計時の検討条件

既往の研究⁽¹⁾により、砕石振動はまくらぎ振動に依存し、まくらぎ変位振幅が一定値以上になると砕石流れ発生に至ること、まくらぎ断面の台形形状により、台形部分の上にある砕石がまくらぎ振動の影響を特に受け易い等の知見が得られている。これらも踏まえ、まくらぎの主な検討条件は以下のとおりとした。

① 設計輪重	250kN
② まくらぎ長さ	2,200mm
③ まくらぎ幅	最大 340mm
④ 断面形状	可能な限り矩形とする
⑤ コンクリート強度	圧縮強度 70N/mm ² 以下
⑥ PC鋼材種別	φ4.22×3 本より線まで考慮
⑦ まくらぎ重量	最大 340kg 程度
⑧ 締結座面	H型まくらぎタイプ

ここで、まくらぎ幅は当社の既設まくらぎで最大である伸縮継目ケーブル防護用PCと同等まで許容し、重量は3Hまくらぎの319kgと同等程度に抑えることを目標とした。

3.2 付着定着長試験

まくらぎ長さを既存の2,400mmから200mm短縮するにあたり、レール直下でフルプレストレスが得られるか否かの確認試験を実施した。

試験では長さ1,500mm×幅60mm×高さ90mmのPC鋼材2本を埋め込んだ試験体を3体製作し、コンクリートひずみの分布状態をコンクリート表面に貼り付けたひずみゲージで測定した。緊張力の導入はプレテンション方式とし、緊張力はφ2.9mm×3本より線を1本として31.8kN/本を導入した。なお、ひずみのデータは、別途製作した乾燥収縮測定用試験体に貼り付けたひずみゲージの値を差し引くことで、乾燥収縮によるひずみ量をキャンセルして算出した。

図 2 にコンクリートひずみの分布図を示す. この結果から, ひずみのピーク値は端部から 290mm の位置と推定した.

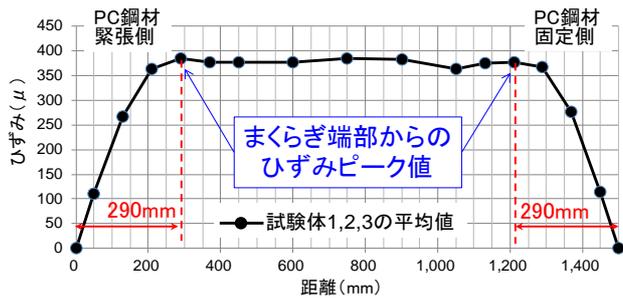


図 2 コンクリートひずみ分布図

トンネル用PCまくらぎは長さ 2,200mm であり, 端部からレール下断面位置までの長さは 346.5mm となる. 従って, 付着定着長試験結果より, レール下断面で所定の応力を導入可能と判断した.

3.3 断面形状, PC 鋼材配置の検討及び設計結果

断面形状は長方形を理想としたが, 脱型を考慮し, 端部の底面で 340mm, 上面で 330mm と若干の傾斜を設けた.

まくらぎ長さを短くした結果, レール直下からまくらぎ端部までの距離が従来より 100mm 短くなり, レール直下より外側の底面積が減少したため, 使用性外観・安全性破壊の設計限界は, 中央断面で最大となった.

以上を踏まえ, 決定したまくらぎ断面図及び平面図を図 3, 4 に示す. 主な検討条件に挙げた各項目のうち, 重量を 340kg 以下に抑えることが形状等を決定する上で最大の課題となった. 矩形にして中央断面上側の幅が大きくなったことを生かし, PC 鋼材の配置を H 型まくらぎの一律 4 列から最大 6 列とし, 断面応力に応じて配置を変えることで, まくらぎの最大厚さを 3H 型より約 10mm 薄くすることができた. 結果として, コンクリート強度は 50N/mm², PC 鋼材は φ2.9 × 3 本より線 20 本と, 現行の 3H まくらぎと同様であり, 重量は 335kg と 3H まくらぎから 5% の増加で済んだ.

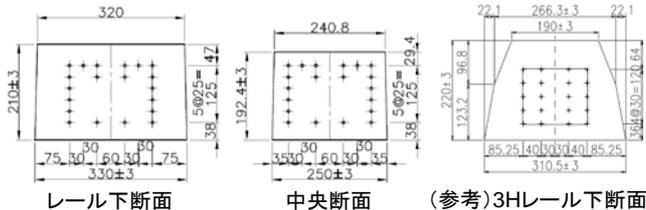


図 3 まくらぎ断面図

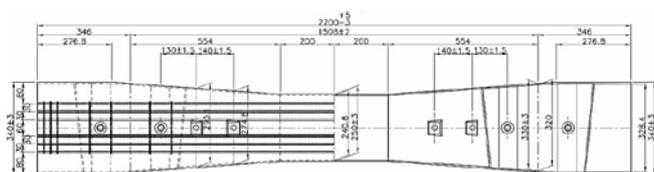


図 4 まくらぎ平面図

4. 本線敷設試験

設計したまくらぎの性能試験は JIS E 1201 に則って実施し, 必要な性能を満たすことを確認した後, 本線へ敷設して状況を確認することとした.

トンネル用 PC まくらぎは, 道床肩幅が狭く, 且つ碎石流れが多く発生している区間に 77 本(約 45m)を敷設した. 曲線半径 2,940m の本曲線及び手前の緩和曲線, 最大カント 180mm, 6% の上り勾配である. 当該箇所は平成 27 年度 4 月~1 月の 10 箇月間で, MTT によるつき固めを含め計 10 回の軌道整備実績があった. 敷設状況を図 5 に示す. 図中上方の 3H まくらぎと比べ, まくらぎ端から中央通路までの間に碎石がよく充填できていることが分かる.



図 5 敷設したトンネル用PC(手前)と3H型PC(奥)

敷設前及び 2 週間後の高低狂い(外軌側)を図 6 に示す. 敷設前に 80k50m~70m 付近で発生していた狂いは, 頻繁に軌道整備を行う一因であったが, 敷設後は落ち着いたことが分かる. また, 前後を含め MTT 定期修繕を実施した敷設 1 箇月後まで, 碎石流れの発生は無かった.

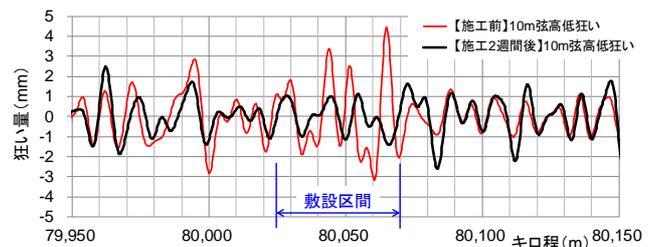


図 6 まくらぎ敷設前後の外軌側高低狂い

5. まとめ

今回, これまでの知見を基に, 碎石流れ抑止効果を期待して断面を矩形としたまくらぎを開発して敷設し, 一定の効果を確認した. 引き続き敷設後の経過を観察し, 碎石流れ抑止と合わせこれに起因する軌道狂い進みの抑制効果等も検証していく.

参考文献

(1) 平尾, 曾田: 碎石流れ発生に関するメカニズムの検討, 土木学会論文集, No. 366/IV, pp. 731-732, 2014.