

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

# 軌道スラブ底面に生じる隙間の検査と補修により予防保全する

寒冷地に敷設されている一部のスラブ軌道では、てん充層に用いているCAモルタルの劣化によって、軌道スラブの底面に隙間が生じています。隙間の範囲が経年によって広がると、軌道スラブの支持状態が悪化することで、列車荷重によってひび割れなどの損傷が生じる可能性があります。新しい軌道スラブに交換することが困難なスラブ軌道を、今後も持続的に使用していくためには、隙間の範囲を検査し、軌道スラブに損傷が生じる前に補修する予防保全が必要です。ここでは、軌道スラブに対する重錘落下試験および打音試験により隙間の状態を検査し、CAミルクを用いて簡易に隙間を補修する方法について紹介します。

## スラブ軌道の概要

スラブ軌道は新幹線と在来線の両方で使用されている軌道構造の一つであり、図1に示すようにレールを設置したコンクリート板（軌道スラブ）をてん充層で支える構造になっています。工場で作製された軌道スラブは現地に運ばれ、レールが所定の高さになるように50～100mmの範囲で保持され、その下にてん充層が設けられます。スラブ軌道の敷設には専用の機械を用いるため施工速度が速く、また碎石でまくらぎを支えるバラスト軌道と異なり変形しにくいといった利点から、最近では新しく建設される新幹線の9割以上でスラブ軌道が用いられています。

## CAモルタルとは

てん充層には軌道スラブの高さ調整

の役割のほかに、1日に数十本も通過する列車を長期間にわたり安定的に支持し続ける機能も求められます。スラブ軌道の開発当初は、てん充層に合成樹脂を用いることも検討されましたが、最終的には図1に示したような一般的なスラブ軌道に対しては、より安い材料として旧国鉄で開発したCAモルタル（※参照）が用いられました。

スラブ軌道が開発された当初は、温暖な地域での使用が前提でしたが、東北新幹線や上越新幹線といった寒冷地に新幹線を延伸するにあたり、寒さに強いCAモルタルが求められました。そこで、微細な空気をたくさん含むことで凍結によって生じる膨張圧を緩和することが可能な寒冷地用のCAモルタル（旧タイプ）が開発され、耐凍害性を評価する凍結融解試験で温暖地用



**高橋 貴蔵**  
Takatada Takahashi  
軌道技術研究部  
軌道・路盤研究室  
主任研究員  
[専門分野] 直結系軌道、  
省力化軌道、コンクリート工学



**淵上 翔太**  
Shota Fuchigami  
軌道技術研究部  
軌道・路盤研究室  
副主任研究員  
[専門分野] 直結系軌道、  
省力化軌道、コンクリート工学



**谷川 光**  
Hikaru Tanigawa  
軌道技術研究部  
軌道・路盤研究室  
研究員  
[専門分野] 直結系軌道、  
省力化軌道、コンクリート工学



**桃谷 尚嗣**  
Yoshitsugu Momoya  
軌道技術研究部  
軌道・路盤研究室  
室長  
[専門分野] バラスト軌道、  
省力化軌道、地盤工学

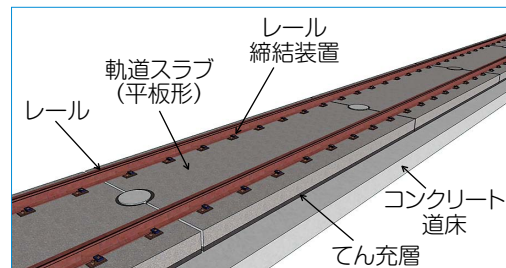


図1 スラブ軌道(平板形)の模式図

## CAモルタル

セメントとアスファルト乳剤を主材料とした複合材料がセメントアスファルトモルタル（CAモルタル）です。CAモルタルの圧縮荷重に対する強度は3N/mm<sup>2</sup>程度であり、コンクリートの約1/10です。

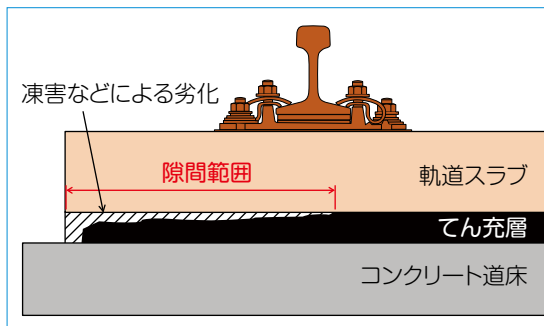


図2 凍害などによるてん充層の劣化例



図4 軌道スラブ上面における小型FWDを用いた重錘落下試験

のCAモルタルよりも耐凍害性が向上していることが確認されています。現在では、ポリマーを添加することでさらに耐凍害性が向上したCAモルタル(新タイプ)が用いられています。

### CAモルタルの劣化状況

気温が氷点下になる地域では、耐凍害性を向上させたCAモルタル(旧タイプ)であっても、図2に示すような劣化により軌道スラブとてん充層の間に隙間が生じています。隙間によって軌道スラブの支持状態が変化すると、列車の通過によって軌道スラブに変位が生じる場合があります<sup>1)</sup>。隙間の範囲が経年とともにさらに広がると、軌道スラブにひび割れが生じる可能性があります。ひび割れは鉄筋の腐食や破断の原因になりますので、ひび割れ幅によっては軌道スラブやてん充層の補修が行われます。

### スラブ軌道の予防保全の必要性

軌道スラブを設計する場合には、コンクリート内の鉄筋が腐食しないこと、

のような設計を行うためには、設計で対象とする期間である設計耐用年数をあらかじめ定める必要があります。スラブ軌道では50年としています<sup>2)</sup>。

寒冷地で用いられている新幹線のスラブ軌道は、あと10年程度で設計耐用年数の50年に達しますが、すぐにすべてのスラブ軌道を新しく交換することは不経済であり、新幹線の安定輸送・定時運行にも影響を与える可能性があります。そのため、維持管理によってスラブ軌道の走行安全性や乗り心地を確保し、これを設計耐用年数以降も持続的に使用していかなければなりません。

通常の維持管理では、図3に示すように補修の目安値に達したスラブ軌道に対して補修を行う事後保全が行われています。しかし、事後保全では、一度に多くのスラブ軌道で劣化が進行した場合、補修が間に合わなくなる可能性があります。

そこで、将来的に補修が必要になると予想されるスラブ軌道に対しては、予防的に事前に補修する予防保全が必要と考えられています。予防保全では、

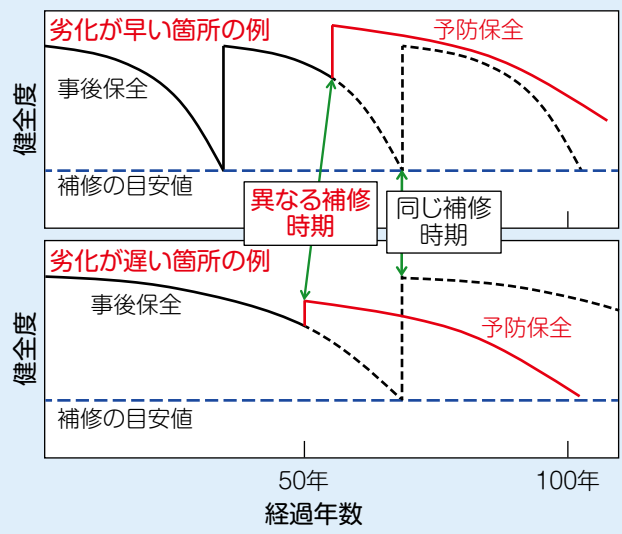


図3 スラブ軌道の保全の考え方

一度の大きな列車荷重で破壊したり損傷したりしないこと、列車荷重が繰り返されても疲労破壊しないことなどを確認しています。こ

一定の期間の中で順に補修を行うことができるため、計画的な補修が可能となります。効率的な予防保全を実現するためには、CAモルタルの劣化状態を判定する検査方法および劣化程度が小さい状態を対象とした低コストな補修方法が求められています。

以下では、予防保全の対象となるスラブ軌道の隙間に関する検査方法として、「重錘落下試験による隙間の有無の検査方法」および「打音試験による隙間の範囲の検査方法」について紹介します。また、比較的簡易な補修方法である「CAミルクによる隙間補修」についても紹介します。

### 重錘落下試験による隙間の有無の検査方法<sup>3)</sup>

軌道スラブの支持状態を簡易に判定する方法として、図4に示すように軌道スラブ上面での小型FWD(重錘落下式たわみ測定装置)を用いた重錘落下試験の適用を提案しており、隙間補修の前後で軌道スラブ隅角部の支持ばね係数が変化することを確認しています。同様の結果は、隙間を人工的に設けた実物大スラブ軌道供試体に対する重錘落下試験でも確認しています。

そこで、現地で列車通過時に変位が生じている軌道スラブに対して重錘落下試験を実施し、検証を行いました。なお、

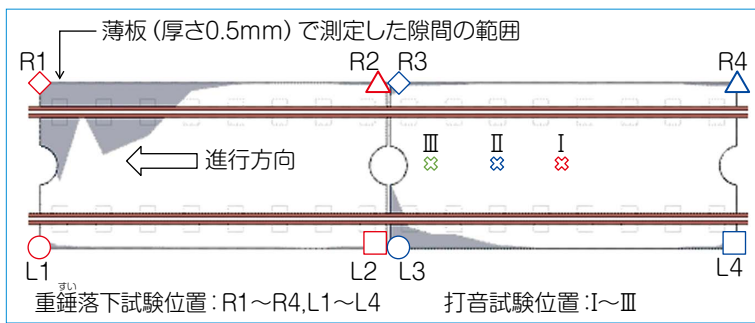


図5 隙間範囲と重錘落下・打音試験の位置



図7 打音試験の状況

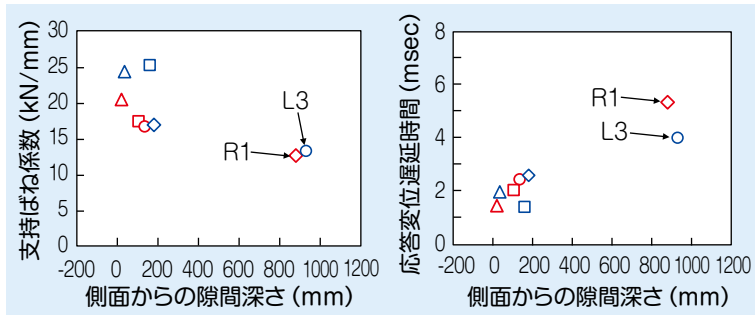


図6 重錘落下試験の結果

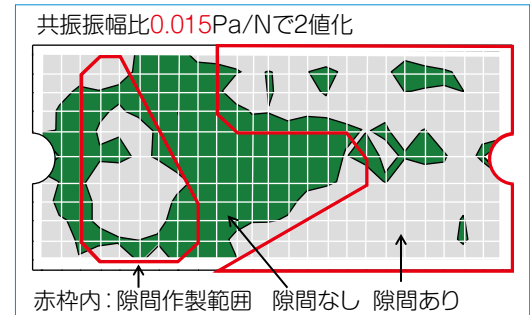


図8 打音試験より推定した隙間範囲

スラブ軌道の側面から0.5mmの薄板を差し込むことで測定した厚さ0.5mm以上の隙間の範囲は図5に示す通りです。図5には重錘落下試験のほか、のちほど紹介する打音試験の位置もあわせて示しています。重錘落下試験で得られた支持ばね係数および応答変位遅延時間の結果を図6に示します。ここで、支持ばね係数は荷重の最大値を変位の最大値で除した値、応答変位遅延時間は荷重と変位のそれぞれの最大値が測定される時間の差を表しています。

試験の結果、事前に実施した実物大スラブ軌道供試体に対する重錘落下試験と同様に支持ばね係数は隙間の範囲が深いほど小さく、応答変位遅延時間は逆に大きくなることを確認しました。これらの指標を用いることで、隙間の有無を簡易に評価することが可能になると考えており、実測値の蓄積を行っています。

#### 打音試験による隙間の範囲の検査方法<sup>4)</sup>

重錘落下試験よりも詳細にスラブ軌道に生じている隙間の範囲を検査する方法として打音試験を用いることを検

討しています。打音試験では図7に示すように軌道スラブの表面をインパルスハンマーで打撃した際の荷重波形と、マイクロホンで測定した音圧波形を用います。インパルスハンマーによる打撃力で音圧の大きさが変化するので、測定結果のばらつきの影響を小さくするために、周波数分析で得られる共振周波数の音圧の振幅を同じ周波数の打撃力の振幅で除した値を「共振振幅比」と定義し、この値が0.015～0.020Pa/Nよりも大きい場合に隙間が生じているものと判断しています。

隙間を設けたスラブ軌道供試体に対する共振振幅比の結果として0.015Pa/Nを境に隙間なしと隙間ありに区別したマップ図(2値化)を図8に示します。なお、図8中に示した赤枠内がスラブ軌道供試体作成時に設けた隙間の範囲になり、メッシュの全交点で打音試験を行いました。図8より、打音試験によって隙間の範囲をおおむね評価できることが確認できました。

そこで、図5に示した営業線のスラブ軌道に対して、0.5mmの薄板では隙間が生じていないと判定された3箇所(図5中に示すI～III)で打音試験を実

施しました。共振振幅比の結果を図9に示します。隙間の判定の境界値を0.020Pa/Nとした場合、IおよびIIの位置では隙間がなく、IIIの位置では隙間があるものと判定され、0.5mmの薄板で測定した結果とは異なりました。隙間の状況を確認するために、打音試験を実施した位置で軌道スラブの上面からCAモルタルの境界部まで削孔し、注水による水位の低下を確認したところ、共振振幅比によって隙間があると判定されたIIIのみで水位が低下し、打音試験の結果を裏付けることができました。したがって、薄板の挿入では判定することが難しい狭い隙間であっても、打音試験で評価することが可能になると考えており、現在は打音試験の機械化に向けた検討を進めています。

#### CAミルクによる隙間補修<sup>5)</sup>

「重錘落下試験」や「打音試験」などで軌道スラブとてん充層の間に隙間が生じていることを確認した場合、隙間の広さによっては補修が必要になります。「スラブ軌道各部補修の手引き<sup>7)</sup>」には合成樹脂系補修材による隙間の補修方法が示されていますが、CAモル

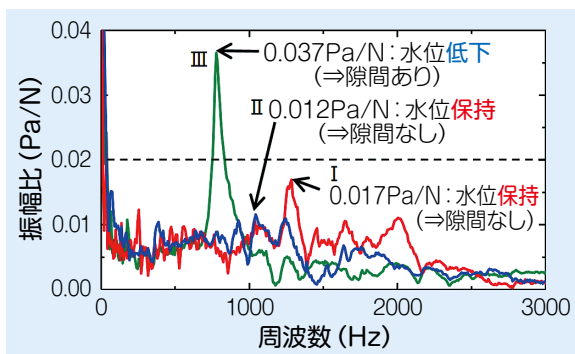


図9 隙間範囲と重錘落下試験の位置



図11 砂質材料型枠

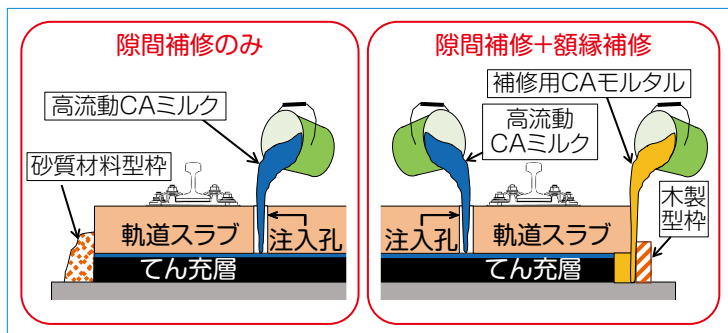


図10 高流動CAミルクの施工方法

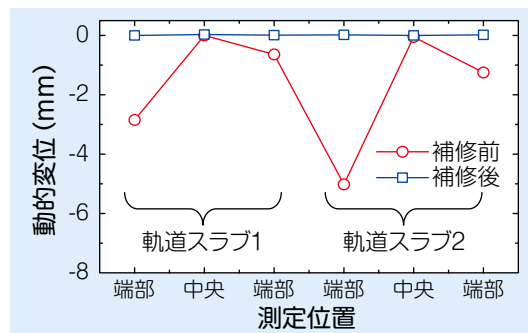


図12 補修前後の軌道スラブ変位

タル系注入材であるCAミルクについては、流動性や施工性について詳細な検討が実施されていないため、参考資料として示されているのみでした。CAミルクは合成樹脂系補修材と比べて材料費が40%程度と安価であり、また、軌道スラブとてん充層を付着させたくない鉄道事業者ではCAミルクの実用化が期待されていました。そこで、室内試験によりCAミルクの流動性、強度特性を確認したうえで、スラブ軌道模型供試体に対する繰り返し荷重試験を実施し、CAミルクを隙間補修に用いることが可能であることを確認しました。また、CAミルクの施工性を確認するため、鉄道総研の日野土木実験所に敷設されているスラブ軌道で隙間補修を実施しました。隙間補修では、図10の左側に示すようにCAミルクで隙間を充填する方法と、

図10の右側に示すように「額縁補修」(☞参照)と組み合わせる方法の2種類を行いました。隙間補修に合成樹脂系補修材を用いたこれまでの施工方法では、木製型枠の隙間や軌道スラブ間からの補修材の流出が課題としてあげられていましたが、図11に示す砂質材料型枠を用いることで簡易に型枠を施工することが可能となりました。

事前の検討結果を踏まえ、在来線のスラブ軌道において動的変位が大きい2枚の軌道スラブに対してCAミルクを用いた隙間補修を実施しました。なお、てん充層外周部の劣化が進んでいたことから額縁補修と隙間補修を組み合わせる施工方法(図10の右側)を選択しました。図12に補修前後における列車通過時の軌道スラブの変位を示します。図12より、補修前に5mm程度生じていた動的変位が補修後にほぼ0mmまで低減し、隙間補修の効果が確認されました。

### おわりに

スラブ軌道の通常の維持管理で行われている事後保全だけでなく、予防

保全にも有効な技術としてCAモルタルの検査方法と補修方法について紹介しました。これらについては、作業性や耐久性の改善に向けた研究を継続しているところであり、持続可能なスラブ軌道の維持管理に少しでも貢献できればと考えています。[RRR]

### 文献

- 1) 高橋貴蔵, 小滝康陽, 洲上翔太, 板倉真理佳: てん充層の劣化状態が軌道スラブの応答に与える影響に関する基礎的研究, 鉄道工学シンポジウム論文集, Vol.22, pp.115-121, 2018
- 2) 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, 丸善出版, pp.119-144, 2012
- 3) 小滝康陽, 高橋貴蔵, 桃谷尚嗣: 小型FWDを用いた軌道スラブの支持状態評価に関する研究, 土木学会第73回年次学術講演会, pp.1811-1812, 2018
- 4) 高橋貴蔵, 小滝康陽, 桃谷尚嗣, 板倉真理佳: 打音試験による鉄道用軌道スラブ底面の隙間の評価に関する基礎的研究, コンクリート構造物の非破壊検査シンポジウム論文集, Vol.6, pp.217-222, 2018
- 5) 洲上翔太, 高橋貴蔵, 吉川秀平, 桃谷尚嗣: 高流動CAミルクを適用したスラブ軌道てん充層隙間注入補修に関する研究, 鉄道工学シンポジウム論文集, Vol.20, pp.119-124, 2016

### ☞ 額縁補修

劣化が生じているてん充層の側面10cm程度をはつきり取り、補修用CAモルタルで打ち換える補修方法です。補修材に合成樹脂を用いる場合もあります。