

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

スラブ軌道の劣化進展を予測する

スラブ軌道はメンテナンスの省力化を目的として開発された軌道であり、新幹線の主要な軌道として用いられています。ただし、寒冷地に敷設された一部の区間では、スラブ軌道のでん充層で劣化が確認されており、10年程度の短期間に集中して実施する補修が計画されています。計画されている補修では、現在劣化の程度が小さくても、今後進行することが想定されるスラブ軌道も対象となるため、劣化進展の予測が必要とされています。ここでは、でん充層の劣化メカニズムを概説するとともに、補修対象の選定を目的として検討した劣化進展予測の方法について紹介します。



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



三澤 祥文
Yoshifumi Misawa
軌道技術研究部
軌道・路盤研究室
研究員



瀧上 翔太
Shota Fuchigami
軌道技術研究部
軌道・路盤研究室
副主任研究員



桃谷 尚嗣
Yoshitsugu Momoya
軌道技術研究部
軌道・路盤研究室長

はじめに

山陽新幹線の建設が具体化し、全国新幹線鉄道網の構想が打ち出された1960年代中頃に、バラスト軌道と比べてメンテナンスの省力化が可能な省力化軌道の開発が行われました。提案されたさまざまな省力化軌道のうち、**図1**に示すA形スラブ軌道(以下、「スラブ軌道」とする)が山陽新幹線岡山-博多間開業以降に建設された新幹線

および在来線で本格的に採用されることとなりました¹⁾。

スラブ軌道の開発以後、でん充層に用いられる材料や軌道スラブの形状・構造に対する改良が行われ、スラブ軌道は寒冷地にも敷設されるようになりました²⁾。ただし、寒冷地に敷設された初期のスラブ軌道のでん充層では、**図2**に示すような劣化(欠損、隙間)が生じる場合があるため、軌道スラブにひび割れが発生しないように定期検査の結果に基づいた補修が行われています。これらのスラブ軌道は使用してから40年程度が経過しており、設計する際に設定した耐用年数である50

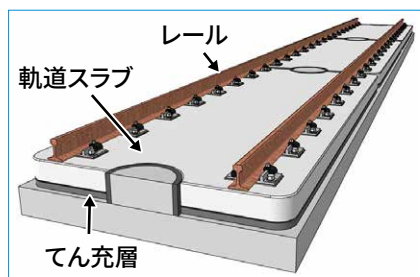


図1 スラブ軌道(A形)

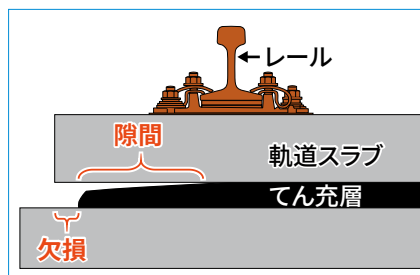
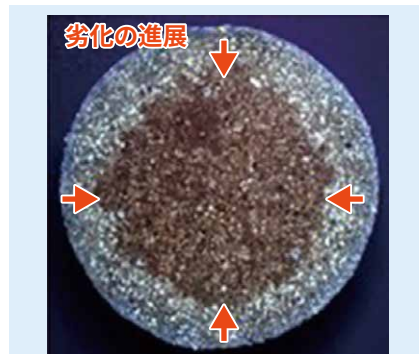


図2 でん充層の劣化の模式図



※外周の白色部：
凍結融解作用による劣化の範囲

図3 凍結融解作用によるCAモルタルの劣化範囲の例

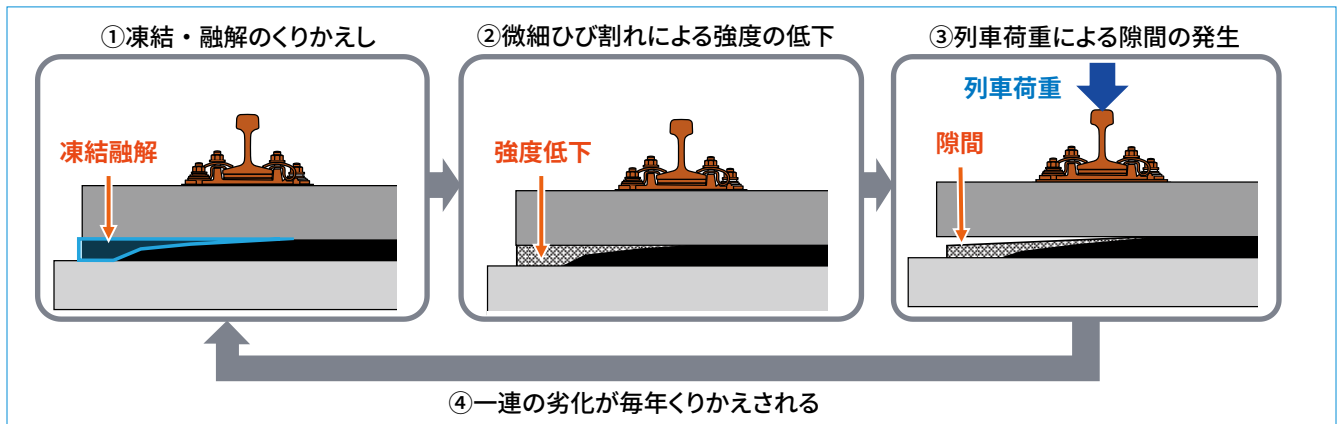


図4 てん充層の劣化メカニズム

年に間もなく達します。耐用年数に達するスラブ軌道に対しては、新しいスラブ軌道に交換することが考えられますが、劣化したてん充層を補修し、軌道スラブが健全で列車が安全に走行できることを確認できれば、既存のスラブ軌道を継続的に使用していくことが可能です。

スラブ軌道の補修はこれまでと同じように定期検査に基づいて行われるほかに、短期間（例えば10年程度）に集中して実施する補修も計画されています。定期検査の結果、補修の対象外と判定されるてん充層であっても、将来的に劣化が進行して補修が必要になると想定されるスラブ軌道については、短期間に集中して実施する補修の対象になる可能性があります。しかし、これまでてん充層の劣化の進展を予測する方法がなかったため、補修の対象となるスラブ軌道の適切な選定が難しい状況にありました。

ここでは、材料試験の結果から推定したてん充層の劣化メカニズムを概説するとともに、短期間に集中して実施する補修の対象となるスラブ軌道を選定するための劣化進展予測法について紹介します。

てん充層の劣化の状況

特殊な区間を除き、てん充層にはセメント、砂、アスファルト乳剤などの

混合物であるCAモルタルが用いられています。CAモルタルの強度はコンクリートの1/10程度ですが、軌道スラブを支えるのに十分な強度を有しており、じん性が高くひび割れが生じにくいという特徴があります。

スラブ軌道の代表的な劣化として、**図2**に示したてん充層の側面に生じる欠損³⁾あるいはてん充層と軌道スラブの間に生じる隙間⁴⁾があります。このような劣化が確認されているてん充層ではCAモルタルの強度の低下も確認されています⁵⁾。

劣化進展のメカニズム⁶⁾

寒冷地で発生しているてん充層の劣化は凍結融解作用による凍害(☞参照)が主な原因として考えられています。凍結融解作用を人為的にくりかえし与えたCAモルタル(円柱供試体)の切断面を**図3**に示します。円柱供試体には蛍光塗料を浸透させてあり、凍結融解作用による目に見えないような微細なひび割れが可視化されています。**図3**より凍結融解作用を受けることで微細なひび割れが円柱供試体の外周部に発生し、内部にも進展している様子が確認できます。このような微細なひび割れが生じるとCAモルタルの強度は低下し、荷重のくりかえしによる変形量が大きくなります。

寒冷地のCAモルタルでは、以下に

示すような現象が毎年くりかえされることで劣化が進展していると考えられます(**図4**)。

- ①てん充層の外周部で凍結融解作用がくりかえされる。
- ②凍結融解が生じた範囲で強度が低下する。
- ③列車荷重がくりかえし作用することで強度が低下した範囲のCAモルタルの変形が進み、軌道スラブとてん充層の間に隙間が生じる。

軌道スラブとてん充層の間に生じる隙間に関しては1日の気温の変化に応じて軌道スラブに生じるそり変形⁴⁾も影響していると考えられます。そり変形は軌道スラブの上面と下面の温度差によって生じます。上面が温まる日中の時間帯では**図5**に示すように軌道スラブが上に凸の形状でそり変形し、列車の通過によっててん充層の外周部に大きな圧縮応力が生じます。軌道スラブとてん充層の間に生じる隙間が、てん充層の外周部、とくに隅角部から広がっているのは、軌道スラブのそり変形の影響も大きいと考えられます。

☞ 凍結融解作用による凍害

材料中の水分が凍結と融解をくりかえすことでひび割れが進展する劣化現象。水分が凍結すると体積が9%程度増加し、これによりひび割れが発生します。

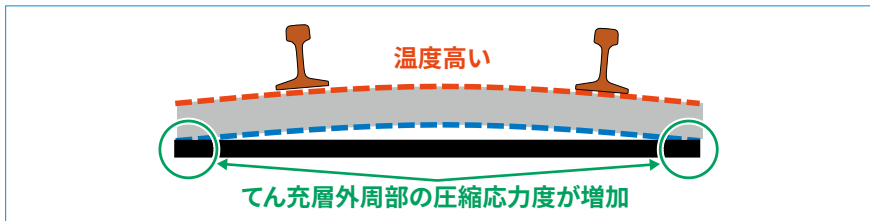


図5 温度差による軌道スラブのそり

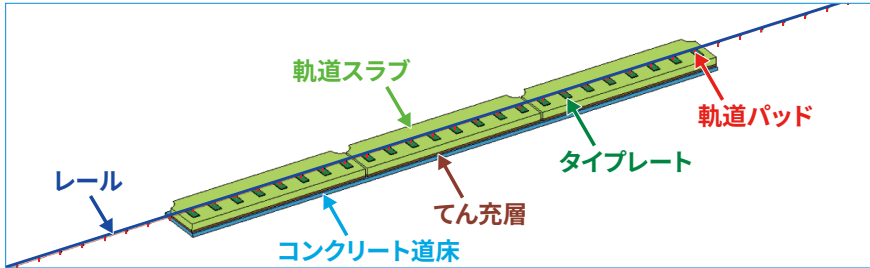


図6 スラブ軌道の数値解析モデル

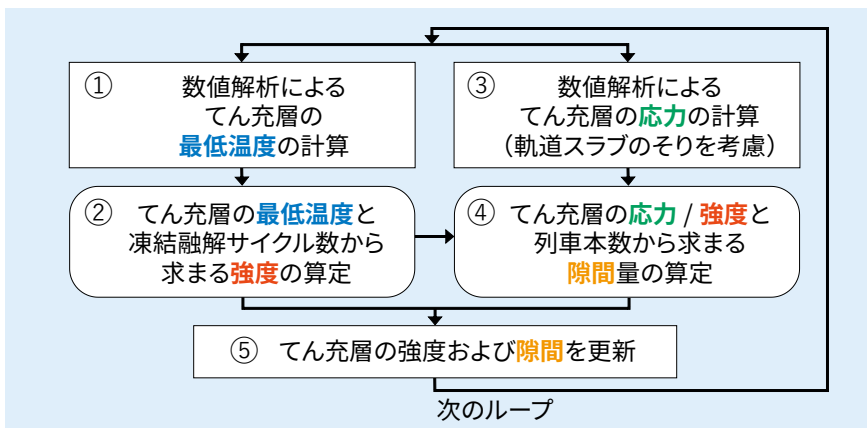


図7 劣化進展予測のフローチャート

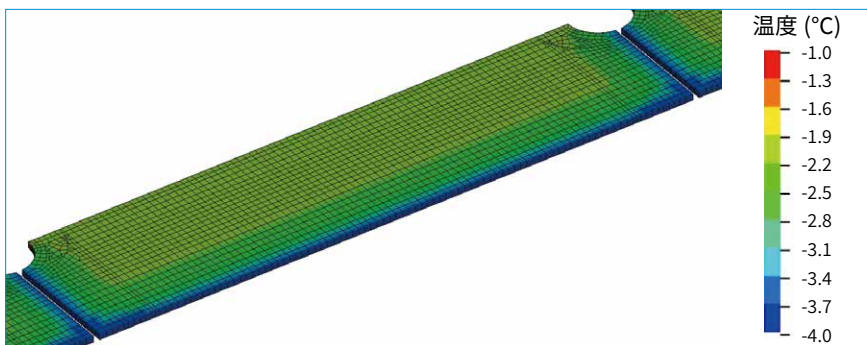


図8 数値解析によるてん充層の最低温度の例

劣化進展予測の方法

てん充層の劣化進展予測では図4に示した劣化メカニズムに基づき、さらに図5に示した軌道スラブのそり変形の影響も考慮する必要があります。そこで、劣化進展予測には、これらの影響を考慮することができる数値解析モデルを用いることとしました。数値解

析モデルは、図6に示すように軌道スラブ3枚分とし、軌道中央での対称性を考慮して、スラブ軌道の片側のみをモデル化しています。

劣化進展予測のフローチャートを図7に示します。また、フローチャートに示す①～⑤の概要を以下に示します。

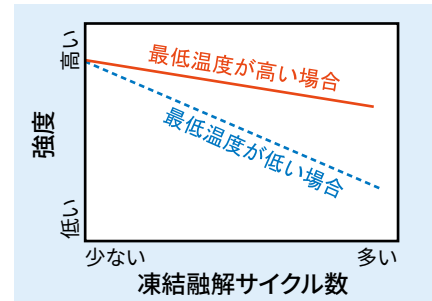


図9 強度と凍結融解サイクル数の関係

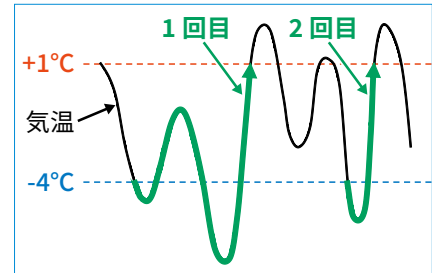


図10 凍結融解サイクル数の数え方

- ①数値解析モデルに対してスラブ軌道の表面温度を変化させ、てん充層に伝わる温度を計算し、図8に示すようなてん充層の最低温度を求めます。
- ②数値解析で得られた最低温度と凍結融解サイクル数を用いて、凍結融解作用によって低下するてん充層の強度を算定します。CAモルタルの強度は図9に示すように、最低温度が低いほど、また凍結融解サイクル数が多いほど低下する傾向があります。凍結融解サイクル数は、CAモルタル内部の水分が凍結した後に融解することで1回と数え、具体的には、図10に示すように気温が-4℃以下となり、その後1℃以上となる場合を1回と数えています。
- ③数値解析モデルに対して軌道スラブの上下面間に温度差を与え、図5に示したように軌道スラブにそり変形を生じさせます。軌道スラブの上面と下面の1日あたりの温度差は、季節および温暖地・寒冷地にかかわらず1年を通しておおむね5～10℃程度になります。実際の温度差は一日の間でさまざまに変わりますが、数値解析モデルでは、図11に示すよ

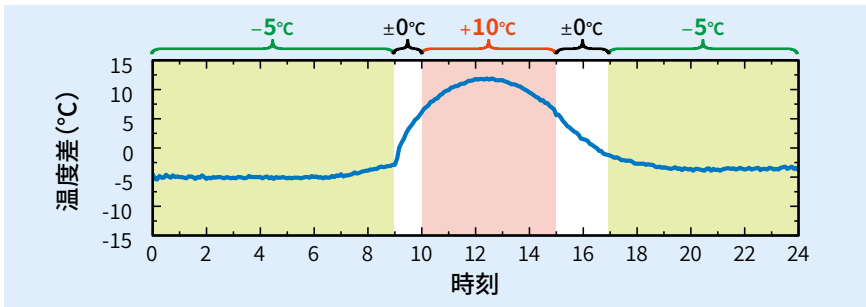


図11 軌道スラブの上下面間の温度差と時間の関係

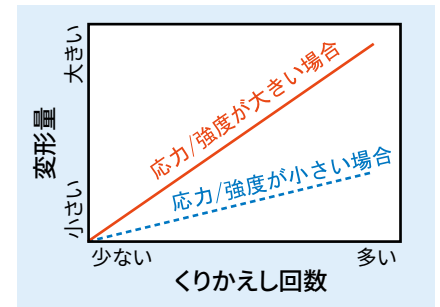


図12 変形量とくりかえし回数の関係

うに-5°C, ±0°C, +10°Cの3段階に単純化した温度差を与えます。ここで、上面の温度が高い場合に温度差をプラスとしています。軌道スラブにそり変形が生じている状態で列車荷重(1台車分)を載荷し、3段階の軌道スラブの温度差に応じて、てん充層の応力が3種類得られます。

④ 図12に示すようなCAモルタルの変形量とくりかえし回数の関係から隙間量を算定します。強度に対する応力の比を用いるのは、同じ応力であっても強度が小さいほど隙間量が大きくなるためです。3種類の応力に対するそれぞれのくりかえし回数は、図11に示した3種類の温度差で分けられた時間帯に通過する列車本数から求めます。1年間当たりの列車本数から算定したくりかえし回数に対して、各温度差におけるくりかえし回数の割合は、温度差-5°Cで30%、温度差±0°Cで20%、温度差+10°Cで50%程度となります。

⑤ 解析モデルにおけるてん充層の強度と隙間量を更新し、以上の解析をくりかえし実施することで、図13に示すように数十年後のてん充層の強度および隙間の範囲を予測できます。短期間に集中して実施する補修では、将来補修が必要とされるスラブ軌道も対象とするため、劣化進展予測の活用により補修対象となるスラブ軌道を適切に選定できるようになります。また、劣化進展予測では、強度低下の範囲あるいは隙間の範囲を予測できるので、

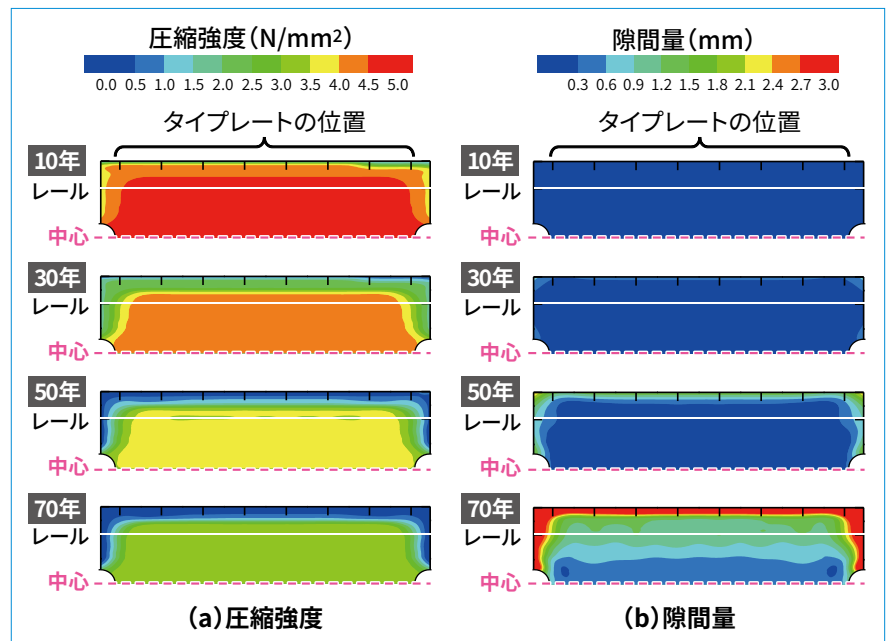


図13 劣化進展予測の結果の例

補修の順番を劣化程度に応じて決定する際にも活用できます。

おわりに

今後、地域ごとに気温、凍結融解サ

イクル数および列車本数を分類して劣化進展予測を行い、短期間に集中して実施する補修の対象となるスラブ軌道を選定する際に得られた結果を活用していきたいと考えています。RRR

文献

- 1) 高橋貴蔵：スラブ軌道，RRR，Vol.71，No.4，pp.28-31，2014
- 2) 宮田尚彦，上野眞，板井則之：改良型寒冷地用CAモルタルの開発試験，鉄道技術研究所速報，No.A-86-4，1986
- 3) 佐藤靖紀，原口征人，赤川敏：スラブ軌道におけるCAモルタルの経年劣化，土木学会第56回年次学術講演会，pp.548-549，2001
- 4) 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，No.22，pp.115-121，2018
- 5) 高橋貴蔵，洲上翔太，桃谷尚嗣，谷川光：スラブ軌道てん充層の大断面補修に関する研究，鉄道工学シンポジウム論文集，Vol.20，pp.111-118，2016
- 6) 高橋貴蔵，斉藤成彦，三澤祥文，桃谷尚嗣：凍害を受けたCAモルタルの強度特性に関する基礎研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.42，No.1，pp.695-700，2020
- 7) 高橋貴蔵，桃谷尚嗣，長沼光：スラブ軌道てん充層の疲労寿命に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.37，No.2，pp.619-624，2015