

スラブ軌道てん充層の補修範囲及び補修材料の物性に関する検証



水上 小紀子*1



魚地 真道*2



吉田 謙一*3

Investigation of physical properties of scope of repair and materials used in slab track filling layers

Sakiko MIZUKAMI*1, Masamichi UOCHI*2, and Kenichi YOSHIDA*3

*1 Researcher, Track Maintenance Unit of Research and Development Center of JR EAST Group

*2 Chief Researcher, Track Maintenance Unit of Research and Development Center of JR EAST Group

*3 Principal Researcher, Track Maintenance Unit of Research and Development Center of JR EAST Group

Abstract

Repair work for slab track filling layers that have deteriorated due to frost damage within the jurisdiction of East Japan Railway is conducted by shaving off CA (cement asphalt) from the sides of slab tracks to a depth of 100 mm and have them reinjected with filling material. For the large-scale Shinkansen renovation starting in the 2031 fiscal year, it is presumed that the filling material used for repair work will have higher resistance to frost damage than the existing materials, and it is expected that the range of its usability will widen in range. In this study, we investigated the influence that the physical range of repair work in the slab track filling layer and physical properties of the repair material may have on slab tracks.

●**Keywords:** Slab tracks, CA mortar, Filling layer repair, Frost damage, Shear stress, Static elastic modulus

*1 JR東日本研究開発センター 線路技術メンテナンスユニット 研究員
*2 JR東日本研究開発センター 線路技術メンテナンスユニット 主幹研究員
*3 JR東日本研究開発センター 線路技術メンテナンスユニット 首席研究員

1. 緒言

JR東日本管内では凍害などによって劣化したスラブ軌道てん充層に対し、CAモルタルをスラブ軌道側面から100mmまではつりてん充材を再注入する補修を現在行っている。開業40年を迎えた上越・東北新幹線の線路設備を今後も維持するため2031年度から始まる新幹線大規模改修では、従来の幅100mmの補修に加えて幅700mmまでの大断面補修¹⁾の実施を検討している。具体的な補修範囲については、将来的な劣化が想定される箇所の先取り補修を行うため、エリア毎の劣化進展予測²⁾から決めることとしている。本研究では、使用する補修材料の物性的側面から避けるべき補修範囲や施工にあたっての留意点の検証を行った。

2. 補修範囲と補修材料の静弾性係数の影響

補修に使用するてん充材は、建設当時に使用したものに比べ、急硬性やより高い耐凍害性が要求される。しかし、材料の耐凍害性を高めると静弾性係数が高くなる傾向にあることから、補修後の打替境界部のてん充材の剛性に大きな差が生じることが想定される。本研究ではその影響を解析的に検証した。

2・1 解析条件について

寒冷地用スラブ軌道 (PRC A-55C、3枚) を想定した軌道モデルおよびE5系・E6系連結車両 (17両編成) を想定した車両モデルをそれぞれ作成し、サブストラクチャー法による動的相互作用を考慮できる走行振動シミュレーションソフトウェア「DALIA (株)構造計画研究所製」を用いて以下の条件の解析を実施した。

補修用てん充材の補修範囲は、従来の幅100mmに加え、幅200mm (タイププレート外)、300mm (締結装置付近)、400mm (レール中心付近)、700mm (整備新幹線の枠型スラブ軌道にてCAモルタルが敷設されている範囲と同等) の5種類を想定した。てん充材の物性については、既存部の静弾性係数を1.0kN/mm²とし、打替部の静弾性係数は既存部の2倍・5倍・10倍とした (表1、図1)。

表1 補修範囲と補修材料の静弾性係数

はつり対象	補修幅 (mm)	既存部 静弾性係数 (kN/mm ²)	打替部 静弾性係数 (kN/mm ²)
なし	0	1.0	—
両側	100		2.0、5.0、10.0
	200		
	300		
	400		
	700		

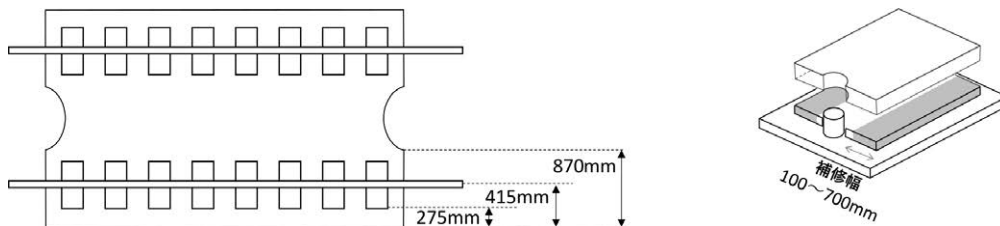
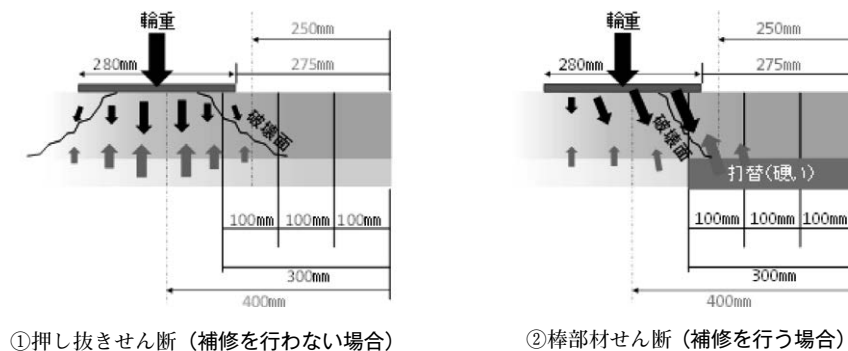


図1 補修範囲イメージ

2・2 補修による軌道スラブへの影響と応力伝達機構の違い

解析の結果、軌道スラブに発生するせん断応力について、二つの応力伝達機構の違いが見られた。補修を行わない場合は、外力に対して同心円状に応力が発生し輪重のほとんどが直下方向に流れる押し抜きせん断力(図2 ①)が発生するのに対し、既存部よりも硬い部材で補修を行う場合は、打替境界部付近で応力の発生に偏りが見られ、軌道スラブ水平方向に力が流れる②棒部材せん断力(図2 ②)が発生することがわかった。



①押し抜きせん断 (補修を行わない場合)

②棒部材せん断 (補修を行う場合)

図2 応力伝達機構の違い

2・3 補修範囲と補修材料の静弾性係数がせん断強度に与える影響

$\gamma_c=1.3$ の場合の設計基準強度 40N/mm^2 に対する棒部材せん断強度は押し抜きせん断強度より43%小さい値となる(図3)。経年劣化による影響を鑑みるとせん断強度の値は棒部材せん断強度の値よりもさらに小さく考えられるため、 $\gamma_c=1.0$ の場合の応答せん断力がせん断耐力の70%以下ならば、せん断ひび割れ照査を省略できるという考え方³⁾から、 $\gamma_c=1.0$ における棒部材せん断強度の70%の値を、経年劣化などの不確定な強度低下も想定したせん断強度と推定した。設計基準強度 40N/mm^2 の場合の棒部材せん断強度は 0.68N/mm^2 であるため、せん断ひび割れ強度の許容値を 0.48N/mm^2 とした。

<押し抜きせん断強度>

$$f_{pcd} = 0.2\sqrt{f'_{cd}} \quad (1)$$

ただし、 $f_{pcd} > 1.2N/mm^2$ となる場合は $f_{pcd} = 1.2N/mm^2$

<棒部材せん断強度>

$$f_{vcd} = 0.2\sqrt[3]{f'_{cd}} \quad (2)$$

ただし、 $f_{vcd} > 0.72N/mm^2$ となる場合は $f_{vcd} = 0.72N/mm^2$

$f'_{cd} = f'_{ck}/\gamma_c$ f'_{cd} : 設計圧縮強度 f'_{ck} : 設計基準強度 (N/mm²) = 圧縮強度の特性値
 γ_c : コンクリートの材料係数 (安全性・復旧性検討時 1.3 使用性検討時 1.0)

補修材料の静弾性係数2.0kN/mm²では、解析した全ての補修材料の静弾性係数条件で、最大応答せん断力はせん断ひび割れ強度の許容値を下回った。一方補修材料の静弾性係数5.0kN/mm²及び10.0kN/mm²では、補修幅200mmを超えて400mm未満の条件では最大応答せん断力はせん断ひび割れ強度の許容値0.48 N/mm²を上回る結果となった(図4)。

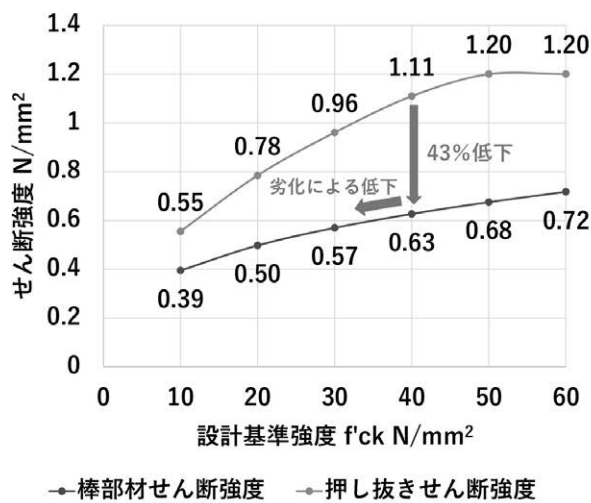


図3 設計基準強度とせん断強度 ($\gamma_c=1.3$)

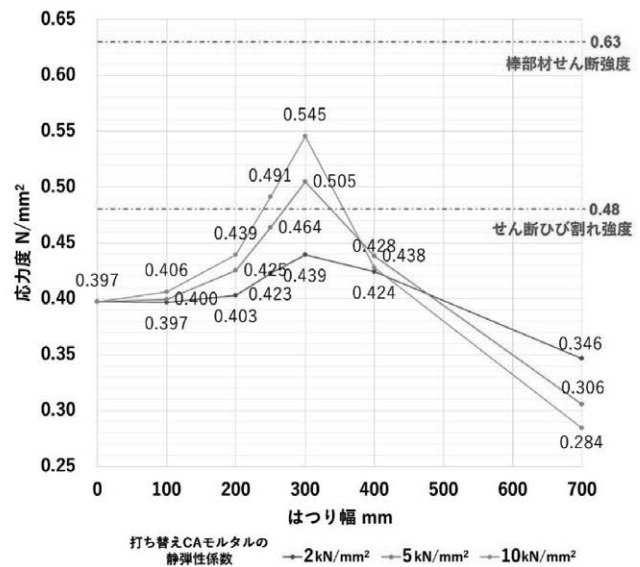


図4 補修範囲と最大応答せん断力

3. 施工時の事前はつり作業の影響

前項の解析結果より、幅200mm~400mmの範囲では軌道スラブに生じる最大応答せん断力が許容値を超えることから、補修を避けるべきであることが示唆された。締結装置よりも外側となる幅200mmまでの補修については、現行の幅100mmの補修時と同様に、施工性の向上のため、事前のはつり作業を補修材注入作業日より前に実施することが想定される。そこで、幅100mm~200mmの範囲で事前のはつりを行ってん充層の一部がない状態で列車が走行する場合の、スラブ軌道への影響を打替物性の検証と同様の解析モデルを使用して検証した。

本解析では事前のはつり時の状況を想定するため、検討対象スラブへの輪重分担がレールを介して前後のスラブに分散しないよう、検討対象スラブ前後のCAモルタルも事前のはつりを行う前提とした。また、隅部が劣化してはつり時に一緒に掘削してしまう可能性があるため、図5のように隅部をはつる場合も想定した切り欠きモデルを作成した。端部からのはつり幅は現行の補修幅100mmと最大補修幅200mmとし、200mmについては隅部を同時にはつるケースも想定した。既存部の静弾性係数は1.0kN/mm²と3.0kN/mm²とした(表2)。

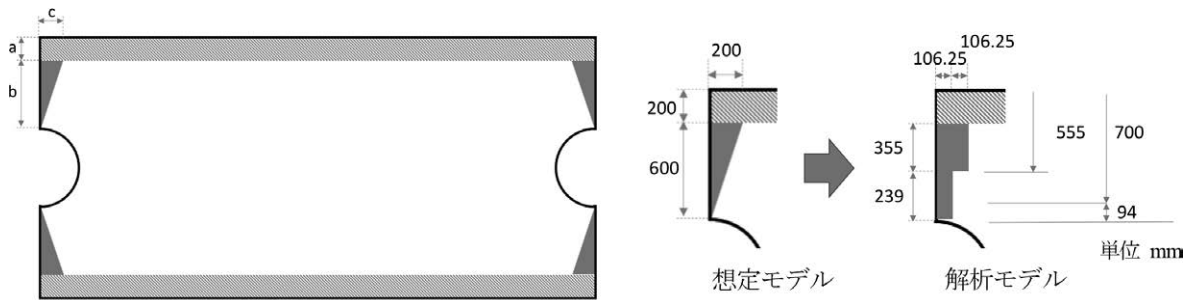


図5 てん充層のはつり幅と隅部切り欠きモデル

表2 はつり範囲と既存材料の静弾性係数

はつり対象	想定はつり幅 (mm)			既存部 静弾性係数 (kN/mm ²)
	a	b	c	
両側	100	0	0	1.0、3.0
両側	200	0	0	
両側+隅部	200	600*	200*	

※解析モデル上の実寸法は図5参照

軌道スラブの押し抜きせん断耐力 1.1N/mm^2 の70%である 0.77N/mm^2 を許容値としたところ、200mmまではつる場合、さらに締結装置端直下まで隅部をはつった場合のいずれも最大応答せん断力が許容値を下回り、損傷が生じる懸念はないことが明らかとなった。

スラブ軌道てん充層については、隅部を切り欠かずに200mmまではつる場合に生じる圧縮応力は許容応力度の10%以下であり、CAモルタルに損傷が生じる懸念はないことが明らかとなった。一方、200mmまではつりかつ隅部を切り欠く場合は、許容圧縮応力度の97%程度の圧縮応力が発生する箇所があるものの、許容応力度以下であった。したがって、隅部を切り欠いた残存部のCAモルタルの強度が設計当初の強度を維持している限りにおいては、列車走行時に損傷に至るような影響は生じないことが明らかとなった。しかしながら、切り欠き残存部のCAモルタルの劣化により、強度低下が想定されるような場合は、隅部の切り欠きを行わず幅200mmまではつりに留めておくことが望ましいと言える。

4. 結言

本研究により、以下のことが明らかとなった。

- ・補修材料の静弾性係数が既存部の2倍以内であればどの範囲での補修も問題ない。
- ・補修材料の静弾性係数を既存部の10倍まで許容するには、幅200mm～400mmの範囲に打替境界を設定することは避けるべきである。
- ・事前作業としてはつり幅200mm以下であれば、はつり作業のみを行った状態での列車の走行に影響はない。
- ・上記に加えて隅部まではつる場合は、既存CAモルタルの劣化状態を事前に確認する必要がある。

現在、新幹線大規模改修を見据えた耐凍害性及び冬期の施工性に着目した各種補修材料の開発も行っており、本研究結果および開発した補修材用の物性、補修数量などを含め、2031年度からの施工計画を策定する。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所発行、スラブ軌道各部補修の手引き、2022.3
- 2) 高橋貴蔵、三澤祥文、瀧上翔太、桃谷尚嗣、スラブ軌道の劣化進展を予測する、RRR、Vol.78、No.12、pp.16-19
- 3) 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、2012