

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

東日本旅客鉄道株式会社 正会員 ○水上 小紀子
東日本旅客鉄道株式会社 正会員 魚地 眞道
株式会社構造計画研究所 正会員 矢部 明人

1. 概要

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の修繕方法として、CA モルタルをスラブ軌道側面から深さ 100mm までのはつりてん充材を再注入する補修を主に実施している。2031 年度から始まる新幹線大規模改修では、深さ 700mm までの大断面補修¹⁾の実施を検討している。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ことから、打替境界部でてん充材の剛性に大きな差が生じてしまうことが想定される。本研究では、スラブ軌道てん充層の補修範囲及び補修材料の物性がスラブ軌道に与える影響を検証した。

2. 検証内容

(1) 解析モデル

寒冷地用スラブ軌道（PRCA-55C、3 枚）を想定した軌道モデル及び 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（²⁾構造計画研究所製）」を用いて解析を実施した。

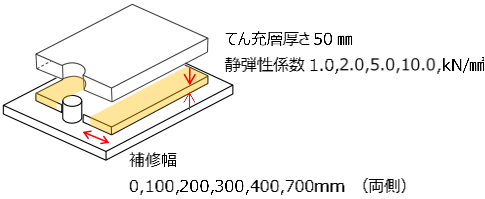
(2) 解析条件

補修用てん充材の打替範囲として、まずは現在主に実施されている深さ 100mm、打替境界が締結装置付近となる深さ 300mm、整備新幹線に導入されている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深さ 700mm、の 3 種類を想定した。その後、深さ 300mm での補修がスラブ軌道にとって厳しい条件であることが判明したため、深さ 200mm と 400mm を追加検証した。

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

No.	はつり 対象	補修幅	既存部 静弾性係数	打替部 静弾性係数
1	なし	0mm	1.0 kN/mm ²	—
2	両側	100mm		2.0 kN/mm ²
3				5.0 kN/mm ²
4				10.0 kN/mm ²
5		200mm		2.0 kN/mm ²
6				5.0 kN/mm ²
7				10.0 kN/mm ²
8		300mm		2.0 kN/mm ²
9				5.0 kN/mm ²
10				10.0 kN/mm ²
11		400mm		2.0 kN/mm ²
12				5.0 kN/mm ²
13				10.0 kN/mm ²
14		700mm		2.0 kN/mm ²
15				5.0 kN/mm ²
16				10.0 kN/mm ²



図－1 てん充層補修イメージ

3. 検証結果

(1) 応力伝達機構の違い

コンクリートのせん断強度について、外力が作用して部材内にどのように伝わるか（応力伝達機構）の違いにより、①輪重のほとんどが直下方向に流れる押し抜きせん断と、硬い材料で補修する場合に②軌道スラブ水平方向に力が流れる棒部材せん断の、二つの応力伝達機構が現われる結果となった。2つ応力伝達機構の違いを図－2に示す。

$$f_{vcd} = 0.2\sqrt[3]{f'_{cd}} \tag{1}$$

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

$$f_{pcd} = 0.2\sqrt{f'_{cd}} \tag{2}$$

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

$$f'_{cd} = f'_{ck}/\gamma_c$$

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

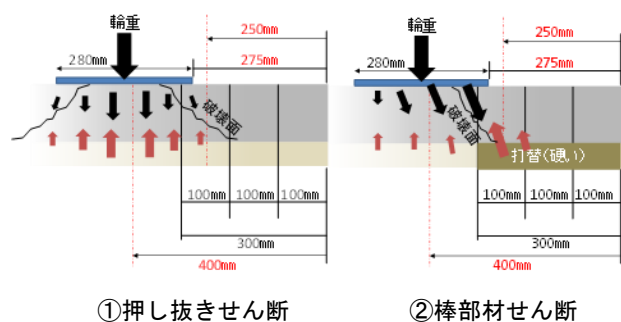


図-2 応力伝達機構の違い

設計基準強度に対する棒部材せん断強度、押し抜きせん断強度の関係を図-3に示す。設計基準強度 40N/mm^2 の場合、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。また、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なると考えられるが、実際の劣化を考慮したせん断強度の算出は難しい。そこで、応答せん断力が $\gamma c=1.0$ の場合のせん断耐力の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²⁾から、 $\gamma c=1.0$ とした場合の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ひび割れ強度の許容値とした。設計基準強度 40N/mm^2 の場合、せん断ひび割れ強度の許容値は 0.48N/mm^2 となる。

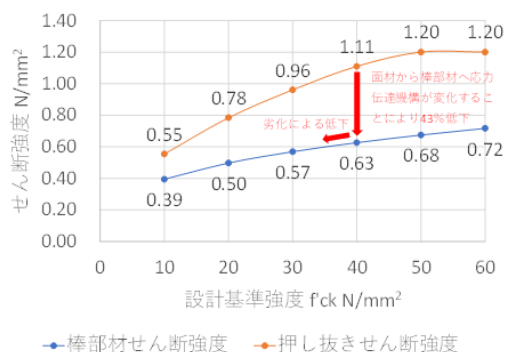


図-3 設計基準強度とせん断強度の関係

(2) 補修範囲と補修材料の静弾性係数

補修範囲と補修材料の静弾性係数と最大せん断応力度の関係を図-4に示す。補修材料の静弾性係数 2.0kN/mm^2 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。一方で、補修材料の静弾性係数 5.0kN/mm^2 及び 10.0kN/mm^2 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参考値を上回る結果となった。

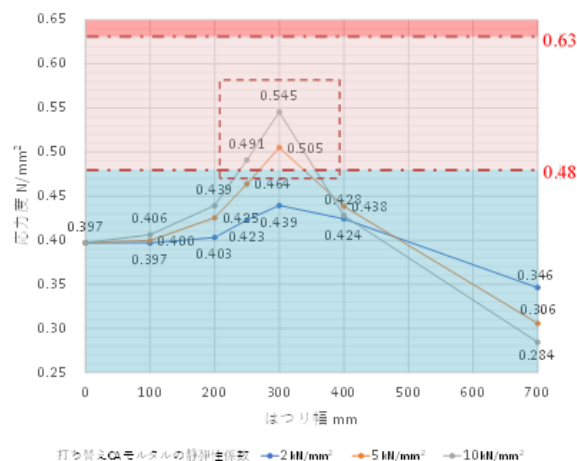


図-4 補修範囲及び静弾性係数と最大せん断応力度の関係

4. 事前はつり検証

スラブ軌道でん充層の補修に際して、施工性の向上のため、はつり作業を注入作業日より前に事前実施することが考えられる。その場合、でん充層の一部がない状態で列車が走行することになるため、スラブ軌道への影響を同様の解析モデルを使用して検証した。その結果、押し抜きせん断耐力 1.1N/mm^2 の70%を許容値としたところ、深さ 200mm までのはつり範囲で影響がないことを確認した。

5. まとめ

既存部よりも静弾性係数の大きい(硬い)材料で補修すると、輪重が直下にかかる面材的な応力の流れから棒部材的な応力伝達機構に変化する。また、軌道スラブ及びCAモルタルの劣化も想定されるため、 $\gamma c=1.0$ とした場合の棒部材せん断強度の70%の値を補修時のせん断ひび割れ強度の許容値とした。

その結果、再注入する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こと、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深さ $200\text{mm} \sim 400\text{mm}$ の範囲に打替境界を設定することは避けるべきであることが判った。その他、事前作業として深さ 200mm 以下の範囲ならばはつり作業のみを行った状態で列車を走行させても問題ないことが判った。

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，2021.3
- 2) 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