

講演概要 スラブ軌道てん充層の 内部劣化に関する調査

佐藤 咲¹・神津 大輔²・板倉 真理佳³

¹正会員 研究員 JR東日本研究開発センター（〒331-8513 埼玉県さいたま市北区日進町2-479）

E-mail:saki-satou@jreast.co.jp

²正会員 主幹研究員 JR東日本研究開発センター（〒331-8513 埼玉県さいたま市北区日進町2-479）

E-mail:koudu@jreast.co.jp

³正会員 研究員 JR東日本研究開発センター（〒331-8513 埼玉県さいたま市北区日進町2-479）

E-mail: marika-itakura@jreast.co.jp

当社では2031年より新幹線大規模改修においてスラブ軌道てん充層の打替え工事を予定している。対象数量が膨大であることから、劣化状態に応じた補修方法を検討するため、本研究では新幹線本線におけるスラブ軌道てん充層の内部劣化調査を行った。

その結果、温暖地ではスラブ板とてん充層の間に隙間がみられるものの圧縮強度はほぼ低下していないこと、寒冷地では隙間は少ないが外周部・内部によらず圧縮強度が低下していることが分かった。このことから、外観目視のみでは劣化状態の判断が難しいこと、劣化には隙間発生と圧縮強度の低下があり発生原因が異なるため分けて考える必要があることが分かった。

Key Words : slab track, CA mortar, compressive strength, gap

1. はじめに

東北新幹線大宮～盛岡間、上越新幹線大宮～新潟間は1982年の開業以降2020年時点で38年が経過し、各地で経年による劣化が見られている。軌道延長の大部分を占めるスラブ軌道では、スラブ板を支えるてん充層（以下、「CAモルタル」という）において欠損や隙間が発生し、定期検査によるランク判定結果に応じた計画的な補修を行っている。一方で、経年に伴い今後集中的な劣化・変状の発生が懸念されることから、当社では2031年より10年間で各構造物の全面的な改修工事を行う「新幹線大規模改修」を予定しており、軌道ではスラブ軌道の埋込枠取替工およびCAモルタル打替工を予定している。

CAモルタル打替工は、特に劣化が見られる明かり区間を対象としているが、対象数量が約15万枚と膨大であるため、現状の劣化度及び今後の劣化進展予測結果に応じた適切な補修方法を選定する必要がある。一方で現行の劣化判定方法は目視によるランク判定であり、検査者の主観が影響すること、目視では確認できない内部の劣化状況が不明であること等の課題も挙げられる。そこで本研究では、CAモルタルの内部劣化状況の把握を目的として、新幹線本線のスラブ軌道においてCAモルタル

の劣化状態調査を行った。

2. 気象条件がCAモルタル内部劣化に与える影響調査（保守基地線）

CAモルタルの劣化は凍結融解と列車荷重の相互作用で進行すると考えられるが、まずは凍結融解作用による劣化傾向を把握するため、本線と同等の経年数を有する保守基地線のスラブ軌道において内部劣化発生状況の調査を行っている¹⁾。調査概要を以下に示す。

(1) 調査箇所と調査項目

場所：盛岡保守基地線（岩手県盛岡市天昌寺）

保守用車庫の奥に位置し荷重はほぼ掛からない

対象：経年35年程度のスラブ3枚

項目：・目視確認および強度特性（圧縮強度、静弾性係数、上下比重、細孔径分布）

・衝撃載荷試験（小型FWD）による劣化評価

・冬期間のCAモルタル内部の温度変化

(2) 調査結果

a) 目視および強度特性

圧縮強度は外周部で内部よりも低い傾向がみられたが（外周平均：3.6N/mm²、内部平均：4.5N/mm²）、品質管理上の設計基準強度1.8 N/mm²以上であった。弾性係数も内部と比較し外周部で低い傾向がみられた。上下比重、細孔径分布とともに凍結融解作用による劣化傾向がみられた。

b) 衝撃載荷試験（小型FWD）

外周部の圧縮強度低下箇所と概ね同じ位置で支持ばね係数が低下しており、小型FWD測定において劣化傾向を捉えられる可能性を得た。

c) 外気温とCAモルタル内部の温度変化

外気温が-5℃以上ではCAモルタル内部は0℃を下回らず、端部ほど外気温の影響を受けやすいことが分かった。

(3) まとめ

気象の影響を受けやすい外周部200mmの範囲で凍結融解作用による劣化傾向がみられた。このことから気象データから凍結融解回数を想定し劣化進展予測につなげられる可能性があることが示唆された。

3. 気象条件と劣化荷重の複合要因がCAモルタル内部劣化に与える影響調査（新幹線本線）

2章では列車荷重を受けない寒冷地スラブにおいて概ね外周部から200mm程度まで凍結融解作用による材料劣化が進行している様子が確認された。新幹線本線では更に列車荷重が作用することから、凍結融解と列車荷重が作用した場合の材料劣化状態の調査を行った。

(1) 調査箇所

「東北/上越新幹線」「寒冷地/温暖地」「通トン」「スラブ検査結果」をパラメータとして、12パターン計57スラブを対象に調査を行った。

表-1 新幹線本線における調査対象箇所

線名	環境	通トン	エリア	スラブ検査ランク	調査スラブ枚数	調査No.
東北	温暖地	多	エリア1	無/A	9	①
				B/C	3	②
	寒冷地	多	エリア2	無/A	3	③
				無/A	3	④
			エリア3	B/C	3	⑤
				路盤損傷	3	⑥
				スラブひび割れ	3	⑦
上越	温暖地	多	エリア4	B/C	6	⑧
				無/A	9	⑨
	寒冷地	少	エリア5	B/C	3	⑩
				無/A	9	⑪
				B/C	3	⑫

調査スラブ合計 57 枚

(2) 調査項目

各調査対象スラブにおいて、以下の調査を行った。

- ・スラブ板およびCAモルタルの目視確認
- ・欠損・隙間量の測定
- ・CAモルタル表層の確認（ファイバースコープ）
- ・隙間有無の確認（注水試験）
- ・採取試料の一軸圧縮強度試験
- ・衝撃載荷試験（小型FWD）

試料はスラブ板上面より穿孔し採取した。本線上では水の確保および汚水処理が難しいことから乾式穿孔機を使用し、ビット径はスラブ板の配筋を考慮しφ50mmとした。穿孔位置は以下に示すように、スラブ検査のランクが無/Aランク箇所からは3コア、B/Cランク箇所からは9コア採取する計画とした。

(3) スラブ板およびCAモルタルの目視確認

スラブ板については、調査No.③の1枚に0.2mm程度のひび割れが1点確認されたのみで、それ以外の箇所ではひび割れは確認されず良好な状態であった。スラブ検査データでひび割れありと判定されていた調査No.⑦についても、周辺のスラブ板も含めひび割れは確認されなかった。

CAモルタルについては、すべての箇所において樹脂またはガラス繊維を混ぜたCAモルタルにより補修が行われていることが確認された。

(4) 欠損・隙間量の測定

欠損量については、メジャーにより欠損幅と奥行を測定しランク判定を行った。スラブ検査データのランク判定結果とは異なり、欠損幅1m・奥行10cm以上のCランク判定箇所は0箇所、欠損幅1m・奥行5cm以上10cm未満のBランク判定箇所が調査No.⑧で4箇所（スラブ板1枚の左右片側を1箇所とした場合）確認された。それ以外の箇所はすべて無/Aランクであった。

隙間量については、0.5mm厚のステンレス鋼板をレーン直角方向に差込み、挿入された長さを奥行としてランク判定を行った。奥行30cm以上のCランク箇所は全体の22%にあたる25箇所を確認され、いずれも樹脂ではなくCAモルタルによる補修がなされた箇所であった。また、うち17箇所はエリア1であった。ただし、これはエリア1が短桁が多いこと、桁の目地部のCAモルタル層端部で見られていることから、凍結融解作用ではなく構造的な理由であると考えられる。

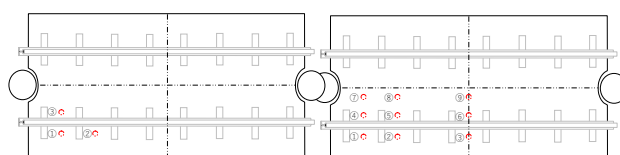


図-1 試料採取位置（左：無/Aランク、右：B/Cランク）



図-2 CAモルタル表層（左：隙間なし、右：隙間あり）

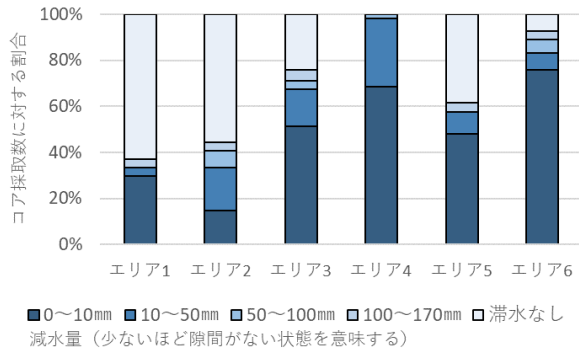


図-3 注水試験結果

(5) CAモルタル表層の確認（ファイバースコープ）

CAモルタル試料採取のためスラブ板コンクリートを穿孔した際に、ファイバースコープによりCAモルタル表層の状態を確認した（図-2）。軌道スラブとCAモルタルが密着している場合にはCAモルタル表層部にコンクリートが付着している傾向にあった。一方、同一スラブの中央部であっても穿孔位置によっては軌道スラブとCAモルタルの間に隙間が確認される場合もあった。

(6) 隙間有無の確認（注水試験）

ファイバースコープによるCAモルタル表層部を確認したのち同穴に水0.37ℓを注入し、減水の有無により隙間の有無を確認した。東北新幹線（エリア1～4）、上越新幹線（エリア5～6）ともに、寒冷地に向かうにしたがって減水量が少なくなる傾向にあった（図-3）。軌道スラブとCAモルタル間の隙間は凍結融解作用により発生しているのではなく、列車通過トン数や施工時の敷設状態の影響があると考えられる。

(7) 物性試験（1軸圧縮強度）

a) 採取した試料の状態

57 スラブで計 351 穴の穿孔を行い、うち 111 個（32%）の試料で 1 軸圧縮強度試験を行った。これは、粉碎、上下に分離、多層に分かれる等、コアとしての形状を留めないものも多く採取されたためである。原因としては、穿孔時の衝撃や振動、摩擦熱等により CA モルタルが破損したためと考えられる。

表-2 圧縮強度試験結果

エリア	1-2月 平均 気温※1 [℃]	凍結 融解 日数※2 [日/年]	スラブ検査 ランク (スラブ数)	平均 圧縮 強度※3 [N/mm ²]	圧縮強度試験		
					実施済	実施不可	
					コア取得率	供試体不良※4	細粒化等
東北新幹線	エリア1	3.3	3	A (9)	4.4	48%	41%
				B/C (3)	4.6	48%	41%
	エリア2	1.1	24	B/C (3)	2.8	11%	4%
	エリア3	0.7	16	B/C (12)	2.5	6%	6%
上越新幹線	エリア4	-0.6	16	B/C (6)	1.8	9%	2%
	エリア5	4.1	0	A (9)	4.6	67%	22%
				B/C (3)	6.0	85%	8%
	エリア6	-0.3	14	A (9)	3.7	67%	29%
				B/C (3)	4.6	44%	49%

※1 気象情報は気象庁提供データ

※2 「凍結融解日数」は気温から算出、最低気温-5℃以下かつ最高気温0℃以上と定義

※3 材齢8日の強度は4.5～6.0N/mm²、※4 供試体不良は供試体高さ不足等

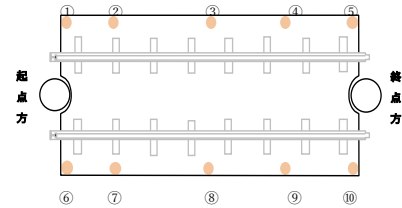


図-4 小型FWD測定位置

東北新幹線では、温暖地に関しては穿孔数に対する圧縮強度試験可能な試料の割合がおおよそ半数程度であったのに対し、寒冷地に関しては2割以下となった。上越新幹線では、温暖地・寒冷地ともに半数以上の試料が圧縮強度試験可能なものであった。特に温暖地では7割以上が圧縮強度試験可能であった。

b) 一軸圧縮強度試験結果

採取した試料の一軸圧縮強度を表-2に示す。寒冷地では試料を採取する位置（外周部・内部）によらず圧縮強度が低下していることが確認された。特に、東北新幹線では凍結融解日数が多い寒冷地において強度低下が顕著であった。一方で、上越新幹線のエリア6は寒冷地であるものの圧縮強度の低下や細粒化があまり見られなかった。これは、上越新幹線では冬期に融雪を目的とした散水を昼夜連続して行っていることによりCAモルタル層の温度が低下せず凍結融解作用が実際には生じていなかったためと推察される。また、スラブ検査のランクとの相関は見られなかった。

全体としては、圧縮強度の低下が見られる地域があるもののいずれも平均圧縮強度が品質管理上の設計基準強度1.8 N/mm²以上であったことから走行安全性に問題はないといえる。

(8) 衝撃載荷試験（小型FWD）と劣化箇所の相関

小型FWDによる衝撃載荷試験は図-4に示す10点/枚で実施した。

全てのスラブにおいて、隅角部である①/⑤/⑥/⑩の応答値が小さく、軌道スラブ中央部③/⑧は隅角部の応答値比べ2倍以上の値を示していた（図-5）。B/Cランク

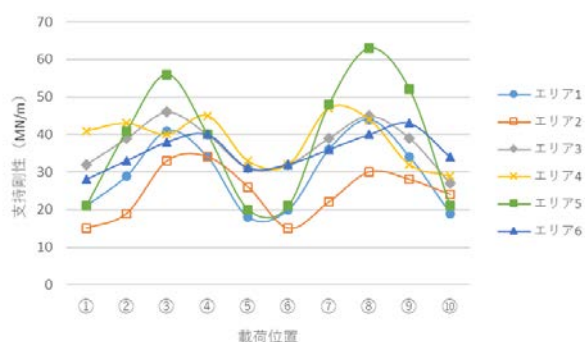


図-5 小型 FWD 測定結果（平均）

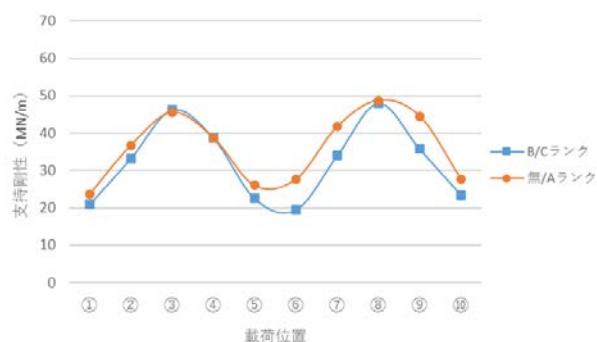


図-6 小型 FWD 測定結果（ランク別）

判定箇所と無/A ランク判定箇所を比較すると、スラブ隅角部では B/C ランク判定箇所のほうが平均 3MN/m 程度小さい傾向を示した（図-6）。

以上から、本調査結果においてはスラブ隅角部であれば、小型 FWD の応答値により CA モルタル層の隙間を判定できる可能性を得た。ただし、隙間の生じている範囲の特定まではできないため、別途非破壊検査手法の確立が必要である。

3. 今後の課題

新幹線大規模改修では、現状悪化している箇所だけではなく将来的に劣化が懸念される箇所も抽出し補修を行っていく必要がある。今後劣化進展予測を踏まえた補修方法の選定が必要である。

また、今回はスポット的に調査を行ったが新幹線はエリアが広く条件がそれぞれ異なることから、対象を増やしより詳細な調査を行う必要がある。

4. まとめ

- (1) 外観によるスラブ検査では、補修することで無/A ランクになるため、内部の状態が健全か否かは別途判断が必要である。
- (2) 「隙間」は寒冷地に向かうに従い小さくなる傾向にあった。列車通過トン数や施工時の敷設状態の影響が大きいと考えられる。
- (3) 寒冷地では外周部・内部によらず圧縮強度の低下がみられた。またスラブ検査結果との相関はなかった。
- (4) 圧縮強度の低下が見られる地域があるものの、いずれも平均圧縮強度が品質管理上の設計基準強度 1.8 N/mm² 以上であったことから、走行安全性に問題はないといえる。
- (5) 小型 FWD 測定により隙間有無の判定が出来る可能性を得たが、隙間が生じている範囲の特定までは難しく、別途非破壊検査手法の確立が必要である。

参考文献

- 1) 板倉真理佳，神津大輔，小西俊之：凍害発生地域（盛岡保守基地）の CA モルタル内部の劣化調査，土木学会第 73 回年次学術講演会，2018。

(2020.4.3 受付)

INVESTIGATION OF THE INTERNAL DETERIORATION OF CA MORTAR FOR SLAB TRACK

Saki SATOU, Daisuke KOUDU and Marika ITAKURA

Our company plans starting the replace construction of CA mortar layer for slab track in 2031 as Shinkansen large repair construction. Because amount of the object is enormous, we need to consider a repair method depending on a deterioration state, and investigated the internal deterioration of CA mortar for slab track in Shinkansen in this study.

As a result, in warm district there were gaps between concrete slab and CA mortar but the compressive strength was not decreased. In cold district, gaps were smaller than warm district but compressive strength was decreased at inside and outside of CA mortar. In this research, we confirmed that it is difficult to judge the deterioration state by the appearance and there are 2 types of deterioration, gaps and decrease of compressive strength caused different factor.