

スラブ軌道におけるC A モルタルの経年劣化

東日本旅客鉄道株式会社
北海道大学大学院工学研究科
北海道大学大学院工学研究科

○正会員 佐藤靖紀
正会員 原口征人
正会員 赤川 敏

1. はじめに

鉄道における省力化軌道の一つであるスラブ軌道とは、スラブ板と路盤コンクリートとの間にCAM(セメントアスファルトモルタル)を緩衝材としててん充し、全面でスラブ板を支持する形式の軌道のことである。昭和48年頃より本格的に敷設が開始され、特に東北・上越新幹線では延長の約9割に採用されている。スラブ板の高さ調整の他、適度な弾性が求められるCAMの主要材料は、セメント・アスファルト乳剤・細骨材で構成されている。

スラブ軌道はメンテナンスフリーを目指して導入されたが、敷設後十数年を経過するにつれCAM部に劣化が見られるようになってきた。現在各地で修繕が進められているが、多くのコストがかかっており、その対策が求められている。本研究においてはその発生原因を探り、今後の対処法を考えていくことを目的とする。

2. スラブ軌道の現状

(1) てん充層補修実績

東北・上越新幹線におけるてん充層修繕の実施状況を図1に示す。起点の東京から見て終点方に集中し、圧倒的に列車本数の多い東京方面ではほとんど修繕実績がないことから、列車本数との関わりはほとんどなく、寒冷地に起因する何らかの原因により劣化が促進

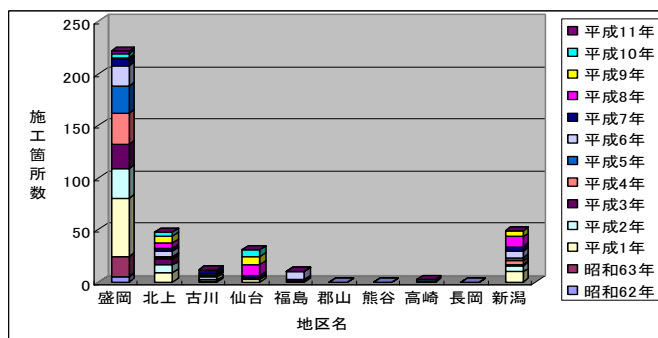


図1：新幹線スラブてん充層補修実績(1km当たり)

されているものと思われる。JR 東日本管内各地の月別日最低気温の平均値を表1に示す¹⁾。全ての地域において1, 2月は氷点下の値を示すことから、冬期間の凍結に伴う影響が考えられる。

表1：日最低気温の月別平均値 1961年～1990年の平均値

	盛岡	仙台	福島	熊谷	高崎	新潟
12月	-3.1	0.1	-0.1	0.6	1.0	2.0
1月	-6.5	-2.6	-2.5	-1.8	-1.7	-0.5
2月	-4.3	-2.4	-2.4	-0.9	-1.2	-0.6

(2) 目視による劣化の症状

これまでに、JR 東日本管内の盛岡地区などでCAMの調査を行った。その結果、CAMの欠落や苔・草の繁茂、コンクリートの白華現象²⁾にも似た白い流出跡が見られたほか、全体的に多孔質化している様子がうかがえた。

(3) 予備実験

CAMが劣化している各現場より採取してきたサンプルを用い、現状把握のための予備実験を行った。

1) 乾燥密度・飽和含水比の測定

古川地区の現場における新旧CAMの密度及び含水比の比較を表2に示す。古いものとは現場において欠け落ちていたものであり、新しいものとは修繕に用いているCAMである。これらを比較すると、古い方は乾燥密度が小さく、飽和含水比が大きいことから、何らかの成分の溶脱により空隙が増加していることが予想された。

表2：古川地区新旧試料の密度・含水比

	新試料	旧試料
乾燥密度(g/cm ³)	1.36	1.19
飽和含水比(%)	17.6	20.8

一方、表3は盛岡地区の現場におけるマクラギ方向に採取したコアからの測定データである。なお、コアはスラブ板中央付近のものである。同表に示すように、端部に近い程乾燥密度が小さく、飽和含水比が高くなった。これらのデータより空隙率を求めると、端部ほど空隙が多くなっていることがわかった。

表3：盛岡地区CAM・位置別の密度・含水比

試料 (板の中央付近)	端部からの位置(マクラギ方向)(mm)			
	70	180	280	430
乾燥密度(g/cm ³)	1.23	1.25	1.25	1.25
飽和含水比(%)	27.8	25.8	23.8	18.9
空隙率(%)	34.2	32.1	29.8	23.6

2) 一軸圧縮強度の分布

軟岩用ペネトロ計によりCAMの一軸圧縮強度を求めた結果、図2に示すように概ね端部は強度が低下していることがわかった。

以上のことか

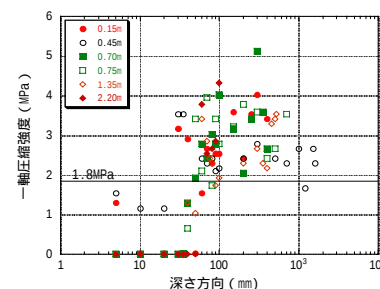


図2 CAMの一軸圧縮強度分布

キーワード：CAM(セメントアスファルトモルタル) 凍上

連絡先：〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目 北海道大学大学院工学研究科 社会基盤工学専攻
寒冷地鉄道工学講座 TEL (011)706-7247 FAX (011)706-7249

ら、敷設後十数年の間に外部と接する端部より徐々に劣化が進行していることが予想された。

3) C A M劣化の予想されるプロセス

各現場での調査及び予備実験の結果、C A Mの劣化には以下のようなプロセスが考えられた。

- (1) C A Mからの何らかの成分の溶脱
- (2) (1)による空隙の増加
- (3) 降雨や散水等による空隙の湿潤化促進
- (4) 低温下での凍結に伴う凍上による破砕

3. 実験による劣化プロセスの確認

(1) 化学分析による溶脱成分の特定

前節において、劣化したC A Mからは何らかの成分が溶脱していることが予想されたため、表3に示したCAMのコア試料を用い、その成分を端面からの距離別に特定することとした。

1) ソックスレー油分抽出およびICP分析

ソックスレー油分抽出により、試料中の油分量を算出した。これにより、試料中のアスファルト分の定量化を行った。次にソックスレー抽出後の試料残分を用い、ICP分析によりCa量を計量した。計量したCa量をポルトランドセメントの成分をもとに換算しセメント分の定量化を行った。

以上の分析結果を深度別に比較するために、各深度におけるアスファルトおよびセメント量の細骨材に対する比を求め、表4に示す結果を得た。

表4：盛岡地区C A M・細骨材に対する各成分比率

試料 (板の中央付近)	端部からの位置(マクラギ方向)(mm)		
	10	90	370
セメント分	0.50	0.65	0.63
アスファルト分	0.37	0.38	0.37
その他(細骨材)	1.00	1.00	1.00

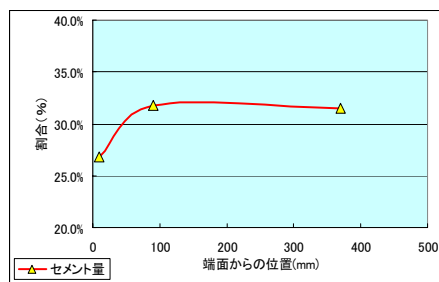


図3：盛岡地区C A M・深度別のセメント量

この結果、アスファルト分は深度方向に変化していないにもかかわらず、セメント分は図3に示すようにスラブ板の端部付近では減少していることがわかった。

2) X線回折

劣化したC A Mからは白濁した成分が析出している箇所が見受けられる。この成分を採取してX線回折を行った結果、炭酸カルシウムを主成分としていたことがわかり、セメント系材料にしばしば発現する白華現象に類似していることがわかった。このことから、ICP分析で減少が確認されたセメント分が、

実際に溶脱していることが確認できた。

(2) 空隙の増加の確認

水銀圧入法による細孔分布計測により細孔径と容積分布を求めた結果、表5に示すように端部ほど細孔直径及び気孔率が大きくなっていることがわかった。

表5：盛岡C A M・細孔分布測定結果

試料 (板の中央付近)	端部からの位置(マクラギ方向)(mm)		
	10	90	370
気孔率	32.0%	30.1%	29.0%
細孔直径(卓越値)	4.474 μm	1.794 μm	1.418 μm

(1)でのICP分析の結果を考慮すると、セメント分の減少に伴って気孔量が増加していることを確認した。

(3) 凍結膨張による劣化C A Mの剥離

劣化C A Mのような多孔質なモルタルも土と同様に凍結に伴う凍上が発生する。このため、ここでは劣化した外周面近傍(端部)のCAMを水飽和状態で凍結させ、凍上による剥離の可否を確認した。凍結方法はCAM試料の端面から24時間毎に凍結面が1cm前進するという特殊な冷却方法(ランプサム方式の両端面温度一定凍上試験)を採用した。この方法により供試体伸長方向を1cm毎にその部位の凍上性を試験することができる。実験条件としては温度勾配1 $^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ とし上載圧は10 kPaである。

第1回目の凍結においては明確な凍上は観察できなかったが、劣化の進んだ端部の局所的な剥離が進み、試料を持ち上げただけで端部の一部が剥離した。

第2回目の凍結では外周から5mm程の部位にアイスレンズが発生し、1mm程の凍上を計測した。

以上のことから、劣化CAMが湿潤状態で凍結環境に置かれることにより凍上が起き、結果として剥離することが実験的に確認された。また、劣化の進んでいない深部のCAMはこのようなことは起きないことも同時に確認された。

4. おわりに

以上の実験結果などから、当初予想したように、1) C A Mの劣化は外部の水分と触れるスラブ板端部側からセメント成分が溶脱することにより空隙が増加し、2) 冬期の散水や雪などによる水分が、増加した空隙に浸透し、3) 冬期間の低温により凍結が進み、4) 凍上による破壊的な劣化が発生していると考えられる。凍結破壊はC A Mに連続空隙が増加することにより発生することから、これら一連の劣化プロセスが進行しないようにするためにはセメント分の溶脱を防ぐ材料を用いるか、あるいは水分と触れにくいような構造にする必要がある。

現在修繕に用いているC A Mは改良が進んでいるものの、基本的な配合は建設時のものと大幅には変わっていない。従って、また同じ年数を経れば同じように劣化する懸念がある。今後は将来のライフサイクルコストを考慮した上で最適な使用材料を考えていく必要があるように思われる。

参考文献

- 1) 国立天文台：理科年表2000、丸善、1999.11
- 2) 田澤繁一・佐伯昇：コンクリート工学、技報堂出版、1998.10