

気象データに基づく CA モルタルの凍結融解回数の推定に関する基礎的検討

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○稲葉 紅子 高橋 貴蔵 桃谷 尚嗣

1. はじめに

CA モルタル (セメントアスファルトモルタル) は、スラブ軌道のてん充層に用いられる材料で、セメント、アスファルト乳剤等からなる複合材料である。

この CA モルタルにおいて、図 1 に示すような凍害が主要因であると考えられる劣化現象が発生している。長沼らの既往研究¹⁾では、てん充層表面の温度分布が劣化範囲に影響を及ぼす可能性が示唆された。本研究では、CA モルタルの凍結融解回数を推定することを目的として、気象状況がてん充層の温度変化に及ぼす影響について検討するために、既存のデータ (気象データ、てん充層内部温度) を用いて統計分析を行った。

2. 気象データと CA モルタル温度の統計分析

2. 1. 分析対象

本分析では、次の a, b を分析対象とした。

a. てん充層の内部温度

b. 測定地点の気象データ

a. については、試験線のスラブ軌道で、2012 年 9 月 26 日 15:00 から 2013 年 4 月 1 日 0:00 までに測定された 1 時間毎の温度データ²⁾を使用した。てん充層内部の温度測定箇所は、軌道スラブの長手方向中央であって、南面から、軌間中央に向かって、深さ 10mm の位置で測定した。図 2 に測定位置を示す。

b. については、気象庁の観測データ²⁾を用いた。参照した気象データは、気温ならびに湿度である。

2. 2. 分析手法

前節で得られた観測データおよび測定データについて重回帰分析ならびに度数分析を行った。重回帰分析では、てん充層内部温度を目的変数に、気温および湿度を説明変数にした。なお、説明変数については、気温の CA モルタルに対する熱伝導の影響ならびに大気中の水蒸気量が空気の熱伝達率の変化に及ぼす影響について評価するために、気温と湿度を選定した。また、度数分析では、てん充層の内部において、CA モルタルの凍結温度である -2°C 以下を観測した日 (以下、CA モルタル凍結温度観測日) 63 例の気温を分析対象とした。

なお、度数分析の結果については、5 章で詳述する。

3. 分析結果および考察

重回帰分析の結果を表 3 に、てん充層内部温度と気温の関係を図 3 に示す。なお、同図には、実測値と合わせて、重回帰分析による予測値と気温を説明変数とする単回帰直線を示した。また、重回帰分析の結果を表 1 に示す。ここで、同表に記載されている t 値は、ある説明変数の偏回帰係数を標準誤差で割った値で、その比率は、各説明変数の目的変数に対する寄与率を表す。同表の重相関係数 R および各説明変数の寄与率ならびに、図 3 の回帰直線の決定係数 R^2 から、てん充層の内部温度と気温の間には、強い正の相関がみられることが分かった。一方、湿度との相関はきわめて弱いことが分かった。

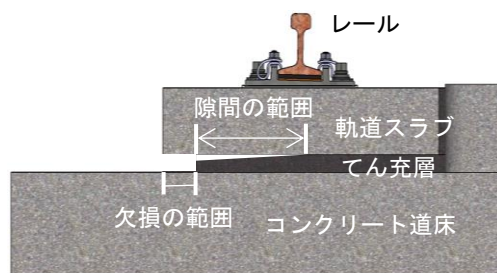


図 1 スラブ軌道てん充層における劣化箇所の模式図

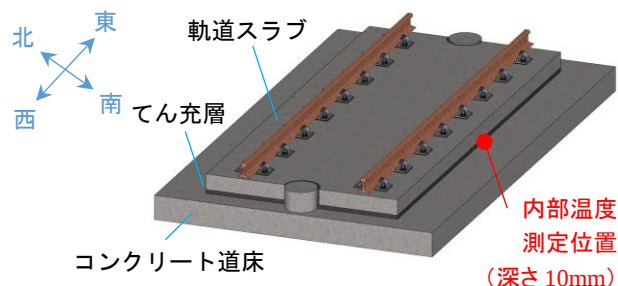


図 2 てん充層内部温度測定位置

表 1 重回帰分析の結果

回帰統計		説明変数	偏回帰係数		t 値	寄与率(%)
重相関係数 R	0.92		気温	1.08	157.72	89.73
重決定係数 R^2	0.85		湿度	-0.05	-18.05	10.27
観測数	4474		切片	6.41	33.44	

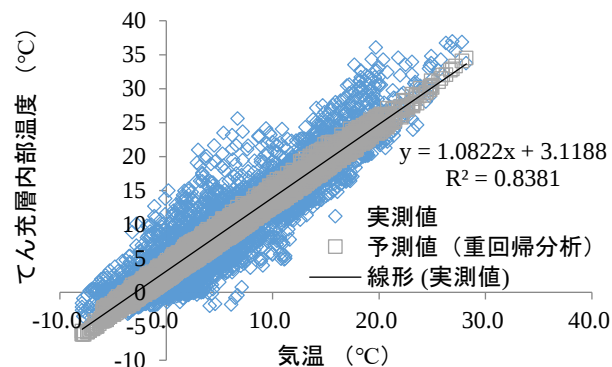


図 3 気温-てん充層内部温度分布

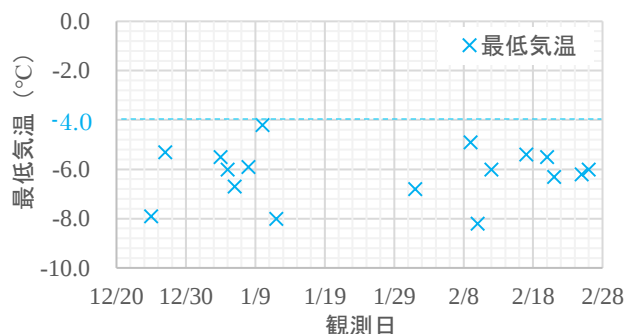


図 4 CA モルタル凍結温度観測日における最低気温の分布

キーワード CA モルタル (セメントアスファルトモルタル), 凍害, 劣化予測, スラブ軌道

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 軌道・路盤研究室 TEL:042-573-7276

次に、CA モルタルが凍結温度を下回った日における最低気温と観測日の関係を図 4 に示す。これより、最低気温が -4°C 未満の領域で CA モルタルの内部温度が凍結温度を下回ることを確認した。このような最低気温の上限値は、空気熱伝達率あるいは、CA モルタルやコンクリートの熱伝達率や比熱および密度といった材料特性さらに、スラブ軌道の形状によって決定され得る値であると考えられる。また、凍結時間は平均 3.7 時間で、24 時間以上凍結している事例は確認されなかった。これは、日中の気温上昇や日射の影響でてん充層が暖められることにより、内部の CA モルタルが融解するためであると考えられる。

したがって、気温データから CA モルタルの凍結融解回数を推定する際は、予測対象日だけでなく、その前後の気温変動から凍結条件や融解条件について検討する必要があると考えられる。

5. 凍結日数の推定に関する検討

5. 1. 気温データの分析

前章の考察から、凍結融解回数の推定に係わる基礎的検討として、天気と気温をもとに凍結条件を推定し、CA モルタルの推定凍結日数を算出した。

はじめに、2. 1 節で述べた CA モルタルの内部温度の測定期間と同一期間の気温データを対象に、その日の最低気温において -4°C 以下を観測したものを抽出した。その結果、最低気温が -4°C 未満であった観測日（以下、観測日）は 38 例あった。これらの観測日については、CA モルタルの凍結温度で、凍結した日および未凍結の日に区分した。さらに、区分した観測日の当日、前日および翌日の最高気温をそれぞれ平均し、 t 検定を行った。ただし、平均値の算出ならびに t 検定の際、検定統計量が有意点を逸脱した 2 例を図 5 に示す外れ値として除外した。得られた平均値および有意確率を表 2 に示す。なお、本研究では、有意水準を 5.0%とした。同表より、観測日の前日において有意確率が有意水準を下回ったことから、CA モルタルの凍結の有無は、観測日前日の最高気温が影響しているものと考えられる。

上述の結果から、観測日前日の最高気温について度数分析を行い、図 6 のヒストグラムにまとめた。これより、CA モルタル凍結時の観測日前日の最高気温は 3°C 未満の範囲に集中していることが分かった。

5. 2. 推定凍結日数の算出

前節の分析結果から、CA モルタルが凍結し得る条件として、下記の 2 条件を得た。この条件を満たす総日数を推定凍結日数 N_e とし、2. 1 節に示した気象データから算出した。算出した結果を表 3 に示す。同表から、 $N_e = 18$ となり、実際の凍結日数 $N_r = 17$ とほぼ等しくなることを確認した。なお、推定凍結日数 $N_e = 18$ に含まれる実際の凍結日数は 13 日で、一致率は 72.2% であった。

（CA モルタルの推定凍結条件）

- ・ 予測対象日の最低気温が -4°C 未満である
- ・ 予測対象日前日の最高気温が 3°C 未満である

さらに、上述の手法を用いて、気象庁のデータ²⁾から、取得可能な 3 地点の気温データより推定凍結日数 N_e を算出した。なお、気温データは 2. 1 節の測定期間と同期間とした。表 4 に示す算出結果の通り、CA

表 2 最低気温 -4°C 未満観測日における最高気温の平均値および有意確率の比較

	観測日	前日	当日	翌日
最高気温の平均値	凍結	1.6	3.9	5.1
	未凍結	4.2	2.9	3.6
t 検定	有意確率	7.2×10^{-4}	0.35	0.26
	有意水準(%)	5.0		

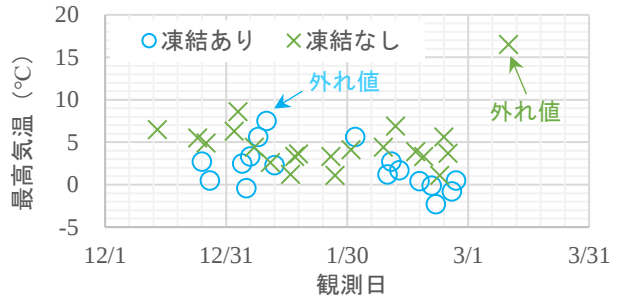


図 5 最低気温 -4°C 未満観測日前日の最高気温における外れ値

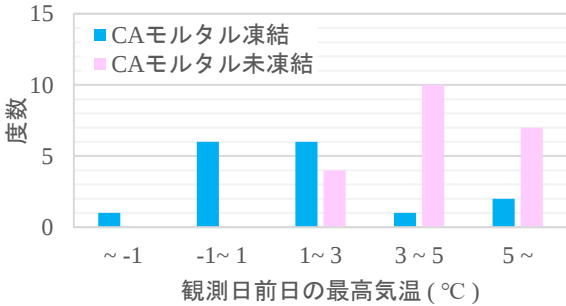


図 6 最低気温 -4°C 未満観測日前日の最高気温の度数分布

表 3 凍結日数の比較

	推定 N_e	実際 N_r
凍結日数 N	18	17

表 4 各地点における推定凍結日数の比較

	福島	盛岡	長岡
推定凍結日数 N_e	5	54	2

モルタルの推定凍結日数は地域によって異なることが分かった。以上から、凍害劣化状況を地域毎に分類する際に、こうした知見を活用できると考えられる。

6. 終わりに

本研究では、スラブ軌道のとん充層を対象に、既存の測定データならびに気象データから推測した CA モルタルの凍結条件から、推定凍結日数を算出し、実際の凍結日数とほぼ等しいことを確認した。さらに、異なる複数の地域で推定凍結日数を比較検討したところ、CA モルタルの凍害劣化の状況を地域ごとに分類する際に活用できる可能性が示された。また、今後の課題として、融解条件の検討や、実測に基づくデータの蓄積による精度の向上が必要であると考えられる。

参考文献

1) 長沼 光, 高橋貴蔵, 藪中嘉彦, 桃谷尚嗣: 寒冷地のスラブ軌道用てん充層の劣化深さに関する検討, 土木学会第 68 回年次学術講演会, 2013. 8
2) 気象庁: 過去の気象データ
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>