

論文 スラブ軌道てん充層の凍結融解回数 の推定に関する検討

三澤 祥文¹・高橋 貴蔵²・稲葉 紅子³

¹正会員 (公財) 鉄道総合技術研究所 軌道技術研究部 (〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38)
E-mail: misawa.yoshifumi.62@rtri.or.jp

²正会員 (公財) 鉄道総合技術研究所 軌道技術研究部 (〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38)
E-mail: takahashi.takatada.80@rtri.or.jp (Corresponding Author)

³正会員 (公財) 鉄道総合技術研究所 軌道技術研究部 (〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38)
E-mail: inaba.kohko.74@rtri.or.jp

本研究では熱電対付きひずみゲージを埋設した CA モルタルの角柱供試体に対して温度変化試験を実施し、温度とひずみを測定した。また、営業線のスラブ軌道のてん充層に熱電対を埋設し、冬季の温度変化を測定した。これらの測定結果から、CA モルタル中の間隙水の凍結・融解時の挙動を評価するとともに、気温からてん充層の温度を推定する方法を提案した。さらに、新幹線沿線における気象庁の気温データからてん充層の温度を推定し、新幹線沿線の地域ごとに CA モルタルの凍結融解回数を推定した。

Key Words: slab track, filling layer, CA mortar, freezing and thawing

1. はじめに

A 形スラブ軌道 (以下、「スラブ軌道」という) は図-1に示すように、レール締結装置によってレールを固定した軌道スラブをてん充層で支持する構造である。てん充層にはセメントとアスファルト乳剤等からなるセメントアスファルトモルタル (以下、「CA モルタル」という) が用いられている。

新幹線の一部の路線においては、間もなく設計耐用年数である 50 年に到達するスラブ軌道があり、寒冷地に敷設された一部ではてん充層として用いられている CA モルタルにおいて凍害が原因の 1 つとして考えられる劣化が発生している¹⁾。将来にわたり安定的な輸送を持続するためには、スラブ軌道の長寿命化が必要とされており、通常の補修に加え、短期間に集中した補修も計画さ

れている。このような補修では、将来補修が必要となるてん充層も対象となる。そのため、凍害によって進行する CA モルタルの劣化を予測する方法の開発が期待されている。凍害は CA モルタル中の間隙水の凍結と融解の繰り返しにより生じることから、劣化を予測するためには CA モルタルの凍結融解回数が重要となる。

そこで、CA モルタルおよびコンクリートの角柱供試体に対して温度変化試験を実施するとともに、営業線のスラブ軌道のてん充層で冬季の温度変化を測定した。これらの結果から、CA モルタル中の間隙水の凍結・融解時の挙動を評価するとともに、気温からてん充層の温度を推定する方法を提案した。また、新幹線沿線における気象庁の気温データからてん充層の温度を推定し、地域ごとに CA モルタルの凍結融解回数を推定した。

2. 恒温室における温度変化試験

(1) 試験方法

温度変化試験では、熱電対付きひずみゲージを埋設した CA モルタルおよびコンクリートの角柱供試体を恒温室に静置し、室温を変化させたときの温度およびひずみ

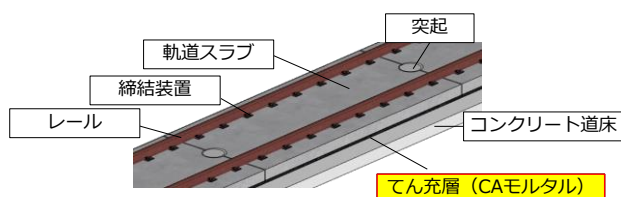


図-1 A形スラブ軌道の構造

表-1 CAモルタルの配合 (配合No.33) (kg/m³)

セメント	混和剤	アスファルト乳剤	細骨材	水	AE剤	アルミニウム粉末	消泡剤	AE剤
255	45	480	600	33	7.5	0.040	0.15	7.5

表-2 コンクリートの配合 (kg/m³)

水	セメント	細骨材	粗骨材	AE剤	減水剤
150	400	820	1017	0.02	2.8



図-2 温度変化試験に用いた供試体 (左: CAモルタル, 右: コンクリート)

を1分間隔で測定した。温度変化試験に用いた角柱供試体を図-2に示す。供試体の寸法は100×100×400mmとし、熱電対付きひずみゲージは供試体の中心に長手方向と平行の向きに埋設した。CAモルタルおよびコンクリートの配合を表-1および表-2に示す。CAモルタルの配合は寒冷地で劣化が確認されている配合No.33²⁾とし、コンクリートの配合は軌道スラブに用いられるものと同じとした。水結合材比は、CAモルタル供試体が約77%で、コンクリート供試体が37.5%である。なお、CAモルタルの水結合材比にはアスファルト乳剤中の水分も含めている。試験開始時の材齢はコンクリート供試体が56日、CAモルタル供試体が35日であり、内部の水分量が変化しないように各供試体をビニール袋に入れて密封した。なお、供試体は拘束がない条件とし、自由に膨張および伸縮できる状態とした。

作製したCAモルタルおよびコンクリートの角柱供試体を恒温室内に静置して室温を変化させた。試験温度は寒冷地の冬期の1日の気温変化として午後3時に最高気温、午前6時に最低気温となることを想定し、最高温度を5℃、最低温度を-10℃とした。温度を変化させる時間は5℃から-10℃までの降温過程を15時間、-10℃から5℃までの昇温過程を9時間とし、5日分の温度変化を与えた。

(2) 試験結果

a) 温度測定の結果

コンクリートおよびCAモルタルの角柱供試体の中心で測定した温度(以下、「中心温度」という)および恒温室内の室温の経時変化を図-3および図-4に示す。コンクリート供試体の中心温度は、降温過程および昇温過程ともに室温に追従してほぼ線形に変化した。また、コンクリート供試体の最高温度および最低温度は室温と比較して約0.5℃の差があった。

CAモルタル供試体の場合は、コンクリート供試体と

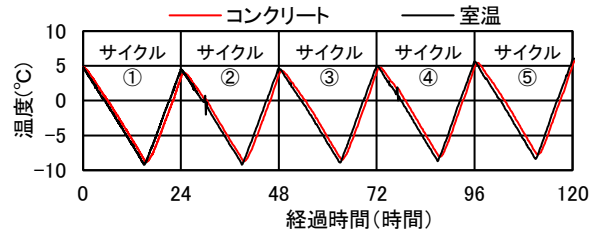


図-3 コンクリート供試体の中心温度の推移

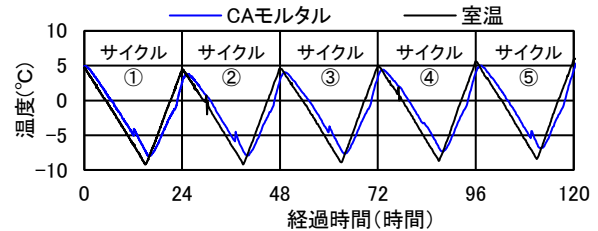


図-4 CAモルタル供試体の中心温度の推移

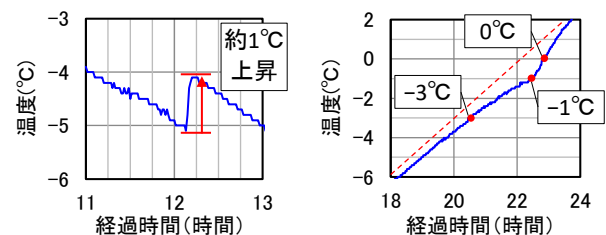


図-5 CAモルタル供試体の温度勾配の変化の例 (左: 降温過程, 右: 昇温過程)

比較して室温の変化よりやや遅れて中心温度が変化しており、最高温度および最低温度は室温と比較して約1.5℃の差があった。

供試体内部の水分の凍結温度および融解温度を推定するために、0℃付近の温度変化に着目した。CAモルタル供試体の降温過程および昇温過程において、コンクリート供試体では観測されなかった特徴的な温度勾配の変化が確認された。温度勾配の変化の例を図-5に示す。降温過程では-5℃付近で約1℃の温度上昇が生じた。また、昇温過程では-3℃付近に達した際に温度の増加勾配が緩やかになった後、-1℃付近で増加勾配が急になり、さらに0℃付近で元の勾配に戻る挙動が確認された。

b) ひずみ測定の結果

CAモルタルおよびコンクリートの角柱供試体の中心で測定したひずみの経時変化を図-6に示す。ここで、

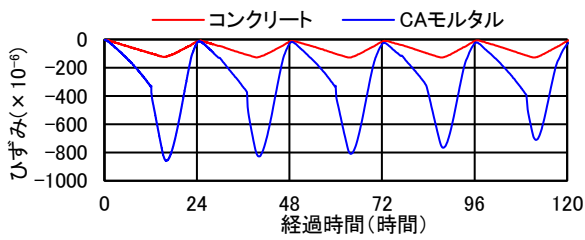


図-6 ひずみの測定結果

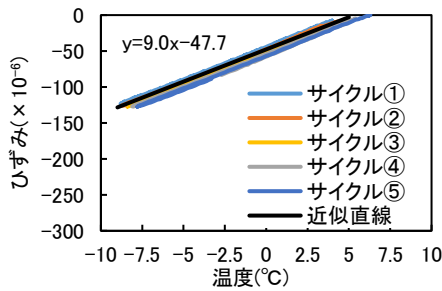


図-7 コンクリート供試体における温度とひずみの関係

圧縮ひずみを負の値で示す。なお、ひずみは温度ひずみと収縮ひずみの合計値となるが、材齢が経過していることで収縮ひずみが収束していると考えられるため、測定されるひずみはほぼ温度ひずみによるものと考えられる。

CA モルタルおよびコンクリート供試体はともに室温低下時に圧縮ひずみが生じた。コンクリート供試体のひずみは室温の変化に対してほぼ線形に変化した。CA モルタル供試体の場合は、降温過程においてひずみが $-330 \sim -400 \times 10^6$ 程度に達した際にひずみの減少勾配が急になるように変化した。また、昇温過程ではひずみが -200×10^6 に達した際にひずみの勾配がやや緩やかになるように変化が生じた。CA モルタルとコンクリートの測定結果を比較すると、気温変化により生じる圧縮ひずみはCA モルタルの方が大きく、既往研究²⁾と同様にCA モルタルのひずみの温度依存性が高いことを確認した。

c) 温度とひずみの関係

CA モルタルおよびコンクリートの角柱供試体について、測定した温度とひずみの関係を整理した。コンクリート供試体の温度とひずみの関係を図-7 に示す。コンクリート供試体の温度とひずみの関係は降温過程および昇温過程ともにほぼ同じ挙動を示し、両者の間には線形の関係が確認された。また、その傾きは $9.0 \times 10^6/^\circ\text{C}$ であり、コンクリート標準示方書に示されているコンクリートの線膨張係数である $10 \times 10^6/^\circ\text{C}$ と同程度であった³⁾。

CA モルタル供試体の温度とひずみの関係を図-8 に示す。図-8 には3サイクル目の結果のみを示したが、他の4サイクルについても同様の挙動を示した。CA モルタル供試体の温度とひずみの関係は、 5°C からの降温過程において圧縮ひずみの増加が確認された後、 -5°C 付近で

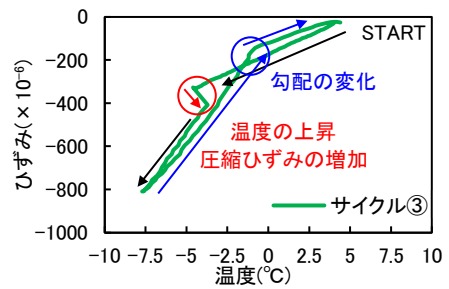


図-8 CA モルタル供試体における温度とひずみの関係の例

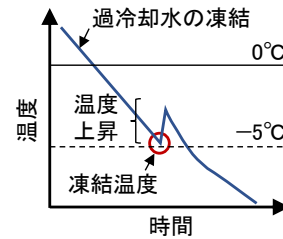


図-9 温度変化の概念図

温度の上昇と圧縮ひずみの増加が約5分以内の短時間で生じた。その後は初期の降温過程よりも大きな勾配で圧縮ひずみが増加した。昇温過程では、直前の降温過程と同程度の勾配で圧縮ひずみが減少した。ただし、 -1°C 付近で圧縮ひずみの減少勾配が緩やかになり、 0°C 付近で初期の降温過程と同程度となった。本条件におけるCA モルタルの線膨張係数は、図-8 より -2°C 以上で $20 \times 10^6/^\circ\text{C}$ 程度、 -5°C 以下では $100 \times 10^6/^\circ\text{C}$ 程度であると考えられる。

(3) 考察

CA モルタル供試体の温度とひずみの関係は、コンクリート供試体とは異なる挙動を示した。特に、降温過程において確認された -5°C 付近における温度上昇はCA モルタルの凍結融解温度を推定する際の重要な手掛かりとなる事象であると考えられる。そこで、本試験により得られた温度とひずみの関係について考察した。

CA モルタル供試体の降温過程において確認された -5°C 付近における温度上昇は、図-9 に示すような過冷却状態を解消する際の潜熱の放出が原因であると考えられる⁴⁾。また、この際に瞬間的な結氷が増加したため、圧縮ひずみが急激に増加したと考えられる。以上より、本条件でのCA モルタルの間隙水の凍結温度は約 -5°C であることが示唆された。なお、本条件では供試体に振動等の外部刺激がほとんどない状況で試験を実施した。過冷却状態は振動等の刺激により解消されやすくなるため、列車荷重等が加わる営業線ではCA モルタル中の間隙水の凍結温度が -5°C より高くなる可能性もあると考えられる。

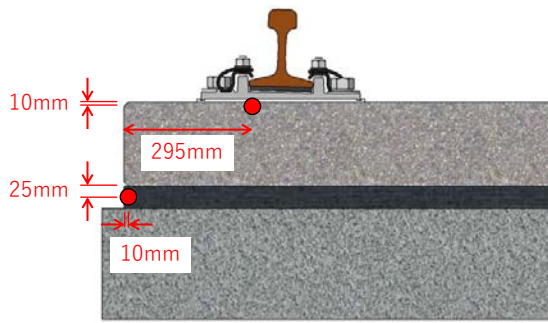


図-10 熱電対の設置位置

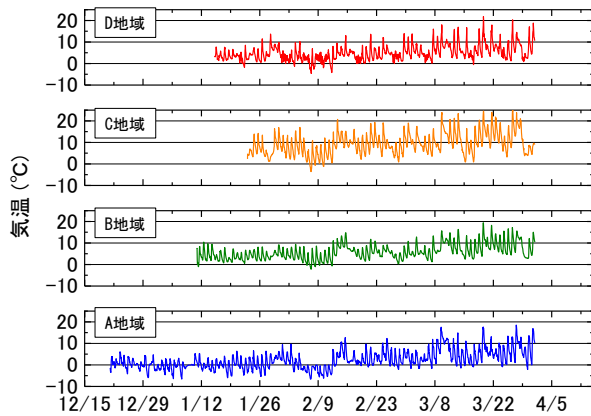


図-11 各地域の気温

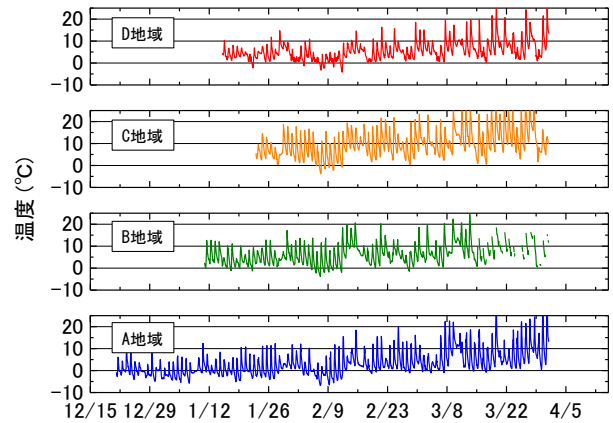


図-12 各地域の軌道スラブ上面から 10mm 内部の温度

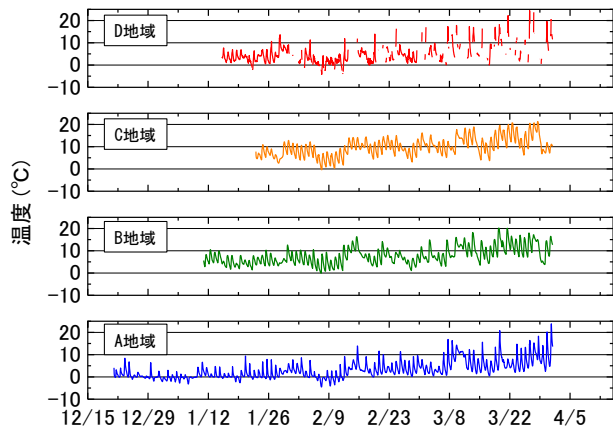


図-13 各地域のてん充層側面から 10mm 内部の温度

「a) 温度測定の結果」で示したように昇温過程において -3°C 付近に達した際に中心温度の増加勾配が変化する現象が生じたのは、間隙水が供試体の外周部から徐々に融解した際に、氷から水に相転移するときに潜熱として熱が吸収されたためと考えられる。また、 -1°C 付近において細孔内の全ての氷が融解したことで、圧縮ひずみが減少する傾きが変化したものと考えられる。したがって、本条件における CA モルタルの間隙水の融解温度は -1°C であると考えられる。なお、 -1°C で融解したのは、セメント由来の金属イオンの溶出による凝固点降下⁹⁾が生じたためと推察される。

一方、コンクリート供試体では、CA モルタル供試体のような特徴的な温度変化は確認されなかった。セメントペーストにおいて、過冷却状態の解消に伴う潜熱の放出による温度上昇は、内部の水分量が多いほど温度上昇の幅が大きくなるという知見がある⁹⁾。コンクリート供試体の水セメント比は CA モルタルよりも低く、供試体内部の水分量が CA モルタルよりも少ないため、潜熱の放出による温度上昇および潜熱の吸収による温度勾配の変化が明確に確認されなかったと考えられる。

3. 新幹線におけるスラブ軌道の温度測定

(1) 測定方法

新幹線の営業線に敷設されているスラブ軌道において軌道スラブとてん充層の温度、および気温を測定した。測定位置は図-10 に示すように、軌道スラブは側面から 295mm、上面から 10mm の位置とし、てん充層は側面から 10mm、上面から 25mm の位置とした。なお、レール長手方向の位置は軌道スラブおよびてん充層のいずれも軌道スラブ中央とした。軌道スラブおよびてん充層の温度測定では、測定位置まで削孔して熱電対を仮止めした後、それぞれの削孔箇所にてセメント系あるいは CA モルタル系の速硬性補修材料を注入して埋め戻すことで熱電対を固定することとした。また、気温はスラブ軌道脇の通路または配線溝内に設置したボックス内でデータロガー付き温度計で測定した。温度および気温の測定間隔はいずれも 1 時間とした。

測定地域はそれぞれ 100km 以上離れた A~D の 4 地域とし、それぞれの地域の 1 か所で測定した。なお、一部の寒冷地域で軌道スラブの劣化が確認されている⁷⁾。熱

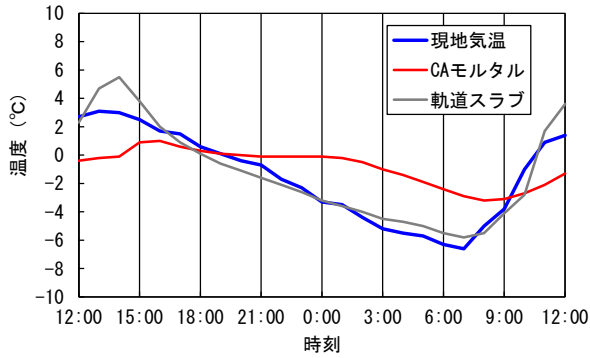


図-14 1日の温度変化の例 (A地域)

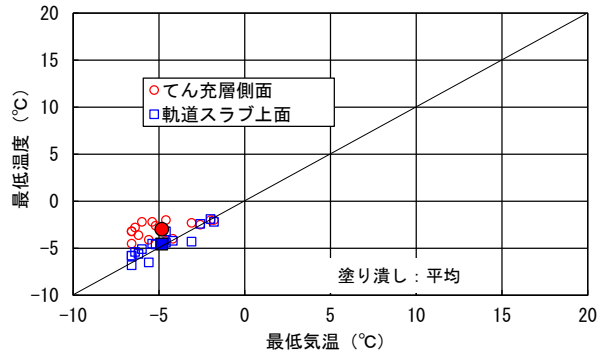


図-16 最低気温が -2°C 以下となった日の最低気温とてん充層側面および軌道スラブ上面の最低温度の関係

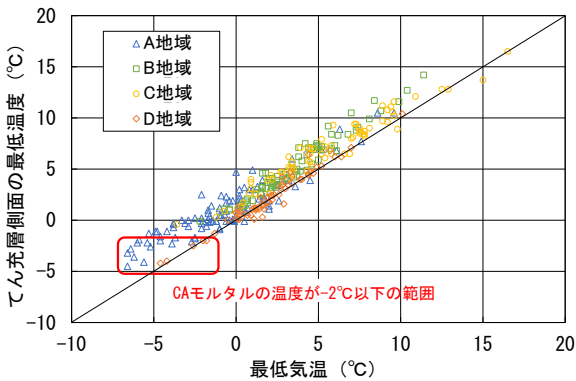


図-15 最低気温とてん充層側面の最低温度の関係

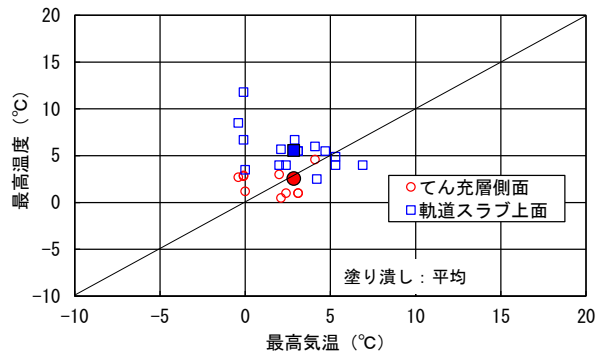


図-17 最低気温が -2°C 以下となった日の最高気温とてん充層側面および軌道スラブ上面の最高温度の関係

電対を設置する際に測定箇所の軌道スラブの外観を目視で確認したが、本検討を行った箇所においては、寒冷地域を含む全ての測定箇所でも軌道スラブの変状は確認されなかった。測定開始の時期は、A地域が2019年12月21日、B地域が2020年1月11日、C地域が2020年1月23日、D地域が2020年1月15日とし、検討に用いたデータは各地域の測定開始日から2020年3月31日までとした。

(2) 温度測定の結果

各地域で測定した気温、軌道スラブ上面から10mm内部およびてん充層側面から10mm内部の温度履歴を図-11、図-12および図-13に示す。なお、B地域の軌道スラブ上面の温度およびD地域のてん充層側面の温度について、熱電対とデータロガーの接触不良が原因と考えられる測定の不具合により、一部データが途切れている。

軌道スラブ上面およびてん充層側面の温度は1日の間で気温と同様に变化するものの、両者の変化量は異なっていた。1日の温度変化の例を図-14に示す。軌道スラブ上面の温度は気温の変化とほぼ同様の挙動を示したが、てん充層側面の温度は軌道スラブ上面よりも変化しにくく、ピークを示す時間は気温とやや異なることを確認した。これは、CAモルタルとコンクリートの材料特性に

表-3 温度と気温の差

測定箇所	温度差 (°C)	
	最低温度-最低気温	最高温度-最高気温
てん充層側面	+1.9	-0.3
軌道スラブ上面	+0.3	+2.7

加えて、てん充層側面は軌道スラブ表面よりも外気と接触する面積が小さいことが影響していると考えられる。

各地域で測定したてん充層側面の最低温度と最低気温の関係を図-15に示す。てん充層側面の最低温度は最低気温よりも高くなる傾向にあった。特に最低温度が低いほどこの傾向が明確に表れた。また、てん充層側面の温度変化について、角柱供試体で観測された降温過程の温度上昇を確認できなかった。これは、測定間隔が角柱供試体の観測時よりも長い1時間であるために短時間で生じる温度上昇を測定できなかったこと、あるいはCAモルタルの含水率が低いことや外部からの刺激により過冷却状態になりやすかったことが原因として考えられる。また、今回の温度測定ではいずれの地域においてもてん充層の温度が -5°C を下回ることにはなかったが、いずれの地域においても凍害が原因と考えられるてん充層の劣化が生じている。したがって、営業線のスラブ軌道においてはCAモルタルの間隙水の凍結温度は -5°C より高い可能性がある。そのため、以降の検討ではCAモルタルの

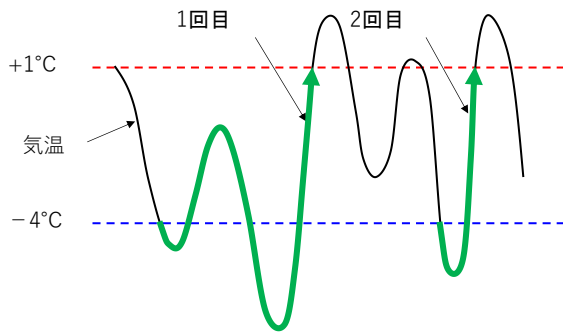


図-18 凍結融解回数の推定の考え方

表-4 調査した地点の一覧

路線名	駅名 (地域気象観測所名)
東北新幹線	東京 (東京), 大宮 (さいたま), 小山 (小山), 宇都宮 (宇都宮), 那須塩原 (黒磯), 新白河 (白河), 郡山 (郡山), 福島 (福島), 白石蔵王 (白石), 仙台 (仙台), 古川 (古川), 一ノ関 (一関), 水沢江刺 (江刺), 北上 (北上), 新花巻 (花巻), 盛岡 (盛岡), 二戸 (二戸), 八戸 (八戸), 七戸十和田 (十和田), 新青森 (青森)
上越新幹線	熊谷 (熊谷), 高崎 (前橋), 上毛高原 (みなかみ), 越後湯沢 (湯沢), 浦佐 (小出), 長岡 (長岡), 燕三条 (三条), 新潟 (新潟)
北陸新幹線	軽井沢 (軽井沢), 佐久平 (佐久), 上田 (上田), 長野 (長野), 飯山 (飯山), 糸魚川 (糸魚川), 富山 (富山), 金沢 (金沢)
北海道新幹線	木古内 (木古内), 新函館北斗 (北斗)

間隙水の凍結温度は過去の知見を参考に -2°C とした²⁾。
 てん充層側面の最低温度が -2°C 以下となった日数は、A地域で11日、D地域で5日であり、その他の地域では 2°C を下回る日はなかった。

てん充層側面の温度が -2°C 以下となった16日分に対して、最低気温とてん充層側面および軌道スラブ上面の最低温度の関係を図-16に、最高気温とてん充層側面および軌道スラブ上面の最高温度の関係を図-17に示す。なお、図中の塗り潰しのプロットは平均値である。また、てん充層側面および軌道スラブ上面に対する温度(平均値)と気温(平均値)の差を表-3に示す。最低温度に着目すると、てん充層側面の最低温度の平均値と最低気温の平均値の差は $+1.9^{\circ}\text{C}$ であった。一方、軌道スラブ上面における両者の差は $+0.3^{\circ}\text{C}$ となった。最高温度に着目すると、てん充層側面の最高温度の平均値と最高気温の平均値の差は -0.3°C であったのに対して、軌道スラブ上面における両者の差は $+2.7^{\circ}\text{C}$ となった。てん充層を構成するCAモルタルはコンクリートよりも比熱が大きいため、温度が変化しにくいことが知られている²⁾。また、

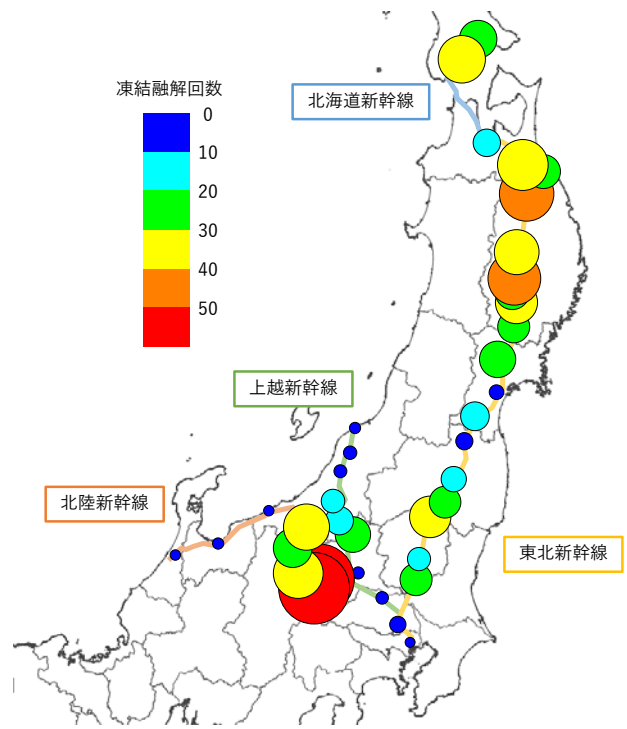


図-19 凍結融解回数のマップチャート

てん充層側面は軌道スラブ上面と比較して外気と接触する面積が小さい。そのため、CAモルタルの温度が気温に影響されにくく、てん充層側面の最低温度が最低気温よりも高くなったと推測される。一方、てん充層側面の最高温度と最高気温に差がほとんどなかったのは、軌道スラブからの熱伝導および赤外線の影響が考えられる。軌道スラブからの熱伝導に関して、表-3より軌道スラブの最高温度は最高気温よりも高くなっていることから、軌道スラブの熱がCAモルタルに伝わった可能性がある。また、アスファルトの赤外線吸収に関する既往の研究では、赤外線の吸収率が低い遮熱塗料をアスファルト舗装の表面に塗布することで、日射のない曇りの日においても舗装表面の温度上昇が抑制されたという知見がある⁸⁾。これは、アスファルトが赤外線を吸収することで温度が上昇することを示している。したがって、日中にCAモルタルが赤外線を吸収することによる温度上昇によって、てん充層側面の最高温度と最高気温との差が小さくなった可能性がある。

4. 新幹線沿線におけるてん充層の凍結融解回数の推定

てん充層の凍結融解回数の程度を推定し、地域による傾向を把握することは、凍害による劣化に対するてん充層の管理のために有用であると考えられる。そこで、東北新幹線、上越新幹線、北陸新幹線および北海道新幹線の各駅の近傍の気象庁の地域気象観測所で測定された気

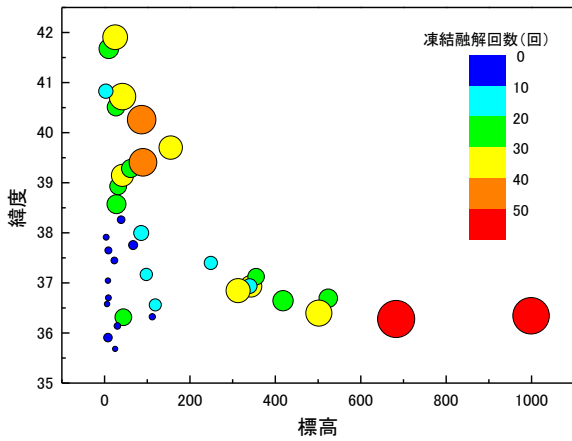


図-20 凍結融解回数に対する標高と緯度の関係

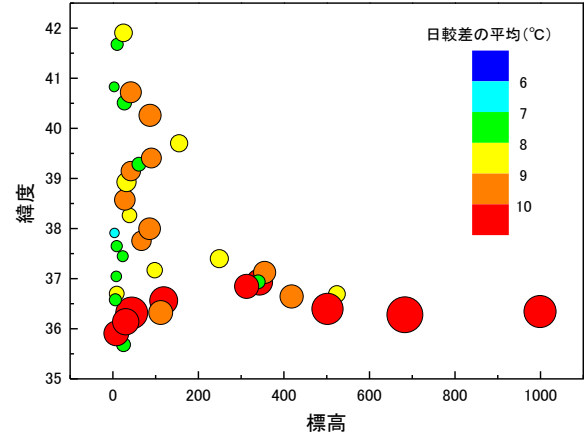


図-22 最高気温と最低気温の日較差の平均に対する標高と緯度の関係

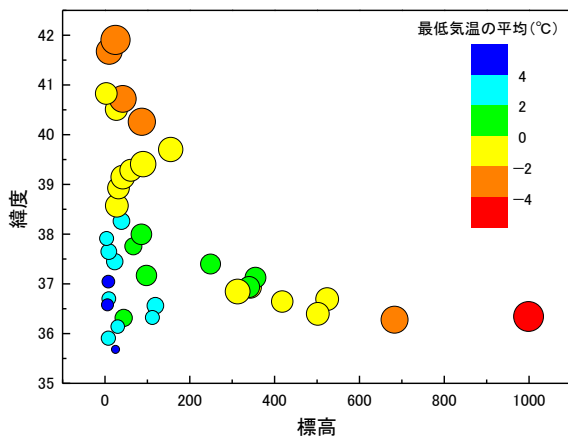


図-21 最低気温の平均に対する標高と緯度の関係

温データを用いて凍結融解回数を推定し、その地域特性を考察した。

凍結融解回数の推定の考え方を図-18に示す。CAモルタルの間隙水の凍結温度は、3章の「(2) 温度測定の結果」に示したように -2°C 以下とした。融解温度については、角柱供試体を用いた温度変化試験の結果からCAモルタルの間隙水が完全に融解すると考えられる 0°C とした。また、表-3よりてん充層側面の最低温度は最低気温より約 2°C 高く、最高温度は最高気温とほぼ等しいとすると、CAモルタルの間隙水は気温が -4°C 以下において -2°C となって凍結し 0°C 以上で融解すると考えられる。そこで、各地域の日ごとの最高気温、最低気温およびその気温を観測した時刻を取得して時刻順に並び変えた後に、図-18に示す考え方に従って凍結融解回数を推定した。推定に用いた期間は2001年から2020年の11月から翌4月の120か月分であり、凍結融解回数は合計回数を20で除した20年間の平均値とした。調査した地域は東北新幹線、上越新幹線、北陸新幹線および北海道新幹線の各駅から約15km以内に位置する気象庁の地域観測所とした。調査した地点の一覧を表-4に示す。

推定した凍結融解回数のマップチャートを図-19に示

す。なお、円の中心は地域気象観測所の位置であり、円の大きさおよび色は推定した凍結融解回数を示している。また、凍結融解回数に対する標高と緯度の関係を図-20に示す。図-19および図-20より、標高が高い地域および緯度が高い一部の地域では凍結融解回数が多くなる傾向にあることが示された。

この傾向について、観測点の緯度と標高の観点から考察した。最低気温の平均に対する標高と緯度の関係を図-21に、最高気温と最低気温の差である日較差の平均に対する標高と緯度の関係を図-22に示す。図-21より、標高が高い地域および緯度が高い地域では、最低気温の平均が低く、凍結する日数が増えることで凍結融解回数が増加したと考えられる。ただし、最低気温の平均が低い場合であっても、凍結融解回数が比較的少ない地域も確認された。このような地域では、図-22に示したように凍結融解回数が多い地域よりも日較差が小さく、融解する日数が少なくなることで凍結融解回数が減少したと考えられる。

5. まとめ

スラブ軌道てん充層の凍結融解回数を推定するためにCAモルタルの温度変化に関する室内試験および現地調査を実施した。また、それらの試験結果を基に、気象データを活用して凍結融解回数を推定した。得られた知見を以下に示す。

- ・角柱供試体を用いた温度変化試験の結果、コンクリートの場合は温度とひずみの関係が直線になったのに対し、CAモルタルの場合は特徴的な挙動を示した。降温過程において -5°C 付近で過冷却状態の解消に伴う潜熱の放出と考えられる温度上昇が確認され、昇温過程では -1°C 付近でひずみ-温度関係の勾配の変化が確認

された。以上より、本条件においては CA モルタルの間隙水の凍結温度は -5°C 、融解温度は -1°C と推定された。

- 新幹線の営業線に敷設されているスラブ軌道の温度測定の結果、角柱供試体を用いた温度変化試験で得られたような CA モルタルの特徴的な温度変化は観測されなかった。これは、測定間隔が角柱供試体の観測時よりも長い1時間であるために短時間で生じる温度上昇を測定できなかったこと、あるいは CA モルタルの含水率が低いことや外部からの刺激により過冷却状態になりにくかったことが原因として考えられた。そのため、以降の検討ではてん充層の凍結温度を既往の研究を参考に -2°C とした。気温が -2°C 以下となる日において、てん充層側面の最低温度は最低気温よりも約 2°C 高く、最高温度は最高気温と同等であった。
- 気象庁の地域観測所の気温データを用いた新幹線沿線の CA モルタルの間隙水の凍結融解回数を推定方法を提案した。室内試験および営業線での温度測定の結果から、CA モルタルの間隙水は気温が -4°C で凍結し、 0°C で融解するものとして凍結融解回数を推定した結果、標高が高い地域または緯度が高い一部の地域においててん充層の凍結融解回数が増える傾向にあった。

謝辞：現地調査にご協力いただいた東日本旅客鉄道株式会社の関係者の皆様に御礼申し上げます。

REFERENCES

- 1) 高橋貴蔵, 齊藤成彦, 三澤祥文, 桃谷尚嗣: 凍害を受けた CA モルタルの強度特性に関する基礎研究, コンクリート工学年次論文集, 42 巻 1 号, pp. 695-700, 2020. [Takahashi, T., Saito, S., Misawa, Y. and Momoya, Y.: Fundamental study on strength properties of CA mortar with frost damage, *Proceedings of the Japan Concrete Institute*, Vol. 42, Issue 1, pp. 695-700, 2020.]
- 2) 原田豊, 鳥取誠一, 板井則之, 野戸嵩治: 耐凍害性セメントアスファルトモルタルの開発に関する研究, 鉄道技術研究報告, No. 1208, 1982.3. [Harada, Y., Tottori, S., Itai, N. and Noto, T.: Research on the development of cement asphalt mortar, *Railway technical research report*, No. 1208, 1982.3.]
- 3) 土木学会: コンクリート標準示方書 [設計編], p.44, 2002. [Japan Society of Civil Engineers: *Standard Specifications for Concrete Structures[Design]*, p.44 2002.]
- 4) 岸本嘉彦, 高橋光一, 濱幸雄: 過冷却解消温度の確率分布に基づく熱力学的非平衡凍結水量予測モデルの構築, コンクリート工学年次論文集, 38 巻 1 号, pp. 981-986, 2016. [Kishimoto, Y. Takahashi and K. Hama, S.: Thermodynamic non-equilibrium frozen water volume prediction model based on probability distribution of supercooling resolution temperature, *Proceedings of the Japan Concrete Institute*, Vol. 38, Issue 1, pp. 981-986, 2016.]
- 5) 鎌田英治: 硬化コンクリート中の水分凍結, コンクリート工学, 32 巻 9 号, pp. 43-48, 1994. [Kamada, E.: Moisture freezing in hardened concrete, *Concrete Journal*, Vol. 32, Issue 9, pp. 43-48, 1994.]
- 6) 長谷川真吾, 光石尚道, 赤堀弥生, 名和豊春: セメント硬化体中水分の凍結水量測定手法の一提案, コンクリート工学年次論文集, 28 巻 1 号, pp. 851-856, 2006. [Hasegawa, S., Mitsuishi, N., Akahori, Y. and Nawa, T.: A proposal for a method of measuring the amount of frozen water in hardened cement, *Proceedings of the Japan Concrete Institute*, Vol. 28, Issue 1, pp. 851-856, 2006.]
- 7) 川瀬 俊明, 菅原 健也, 鈴木 了平, 平賀 有輝: 凍害により損傷したスラブ板における補修方法の検討, 第 75 回土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.75, p. VI-913, 2020. [Kawase, T., Sugawara, K. and Hiraga, Y.: Investigation of repair methods for track slab damaged by frost damage, *Proceedings of the 75th Annual Conference of the Japan Society of Civil Engineers*, Vol.75, p. VI-913, 2020.]
- 8) 吉中保, 根本信行: 路面温度のヒート抑制を目的とした機能性舗装に関する一検討, 土木学会舗装工学論文集, 第 6 巻, pp. 29-38, 2001.12. [Yoshinaka, T., Nemoto, N.: Evaluation of a Pavement for Heat Control of Road Surface Temperature, *Journal of pavement engineering*, Vol. 6, pp. 29-38, 2001.12.]
- 9) 気象庁: 各種データ・資料, <<https://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>>, (入手 2022.1.28) [Japan Meteorological Agency: <<https://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>>, (accessed 2022.1.28)]

(Received April 1, 2022)

(Accepted June 3, 2022)

STUDY ON ESTIMATION OF THE NUMBER OF FREEZE-THAW CYCLES OF SLAB TRACK FILLING LAYER

Yoshifumi MISAWA, Takatada TAKAHASHI and Kohko INABA

We carried out the temperature change test with specimens of CA mortar and cement concrete. In addition, thermocouples were embedded in commercial lines of slab track to measure the temperature change of filling layer and track slab in winter. Using the results of these measurements, the number of freeze-thaw cycles of CA mortar was estimated using the temperature data from the Japan Meteorological Agency along the Shinkansen line.