

寒冷地における CA モルタルの温度変化の影響に関する基礎的検討

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○三澤 祥文
 (公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 高橋 貴蔵
 (公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 桃谷 尚嗣

1. はじめに

スラブ軌道は、セメントアスファルトモルタル（以下、CA モルタル）を用いたてん充層によりコンクリート製の軌道スラブを支持する軌道である（図 1）。寒冷地に敷設された一部の区間のスラブ軌道では、てん充層の外周部において凍害が原因と考えられる CA モルタルの剥落等の損傷が発生している。凍害は、てん充層の温度が低下することで CA モルタル内部に浸入した水分の凍結と融解の繰返しにより生じると考えられる。凍結融解による CA モルタルの劣化を予測するためには、外気温の変化と CA モルタル内部の温度変化の関係を把握する必要がある。本研究では、恒温室内に CA モルタルおよび比較用のコンクリート供試体を静置して室温を変化させた場合の温度の挙動を検討した。併せてひずみを測定することで、凍結による線膨張係数の変化についても検討を行った。



図 1 スラブ軌道

2. 試験方法

CA モルタルおよびコンクリート製の $100 \times 100 \times 400\text{mm}$ の角柱供試体を各 1 体ずつ作製し、供試体の中心に長手方向と平行の向きで熱電対付きひずみゲージを埋設した。なお、CA モルタルの配合は東北新幹線（大宮ー盛岡間）等に用いられている No.33 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。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 日とし、内部の水分量が変わらないように各供試体をビニール袋に入れて密封した。

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 日の気温変化を模擬して最高温度を 5°C 、最低温度を -10°C とした。温度を変化させる時間は 5°C から -10°C までの降温を 15 時間、 -10°C から 5°C までの昇温を 9 時間とし、5 日分の温度変化試験を実施した。なお、本検討は恒温室内の温度のみを変化させるものとし、日射等の影響を受けない環境とした。

3. 試験結果

3.1 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（中心温度）および恒温室内の室温の経時変化を図 2 に示す。コンクリートの中心温度は、降温時および昇温時ともに時間に対してほぼ線形に変化した。一方、CA モルタルの場合は、降温時に中心温度が -5°C 付近に達した際に最大で 1.4°C 昇温した。また、昇温時に中心温度が -3°C 付近に達した際に、中心温度の増加勾配が変化することが確認された。

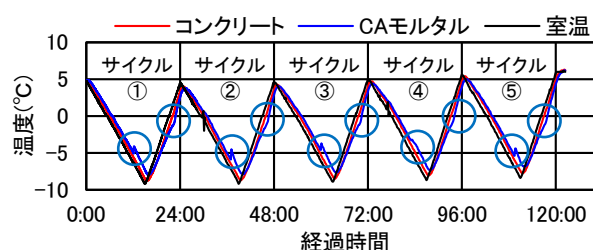


図 2 角柱供試体の中心温度の経時変化

3.2 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 3 に示す。ここで、圧縮ひずみを負の値で示す。ひずみは温度ひずみと収縮ひずみの

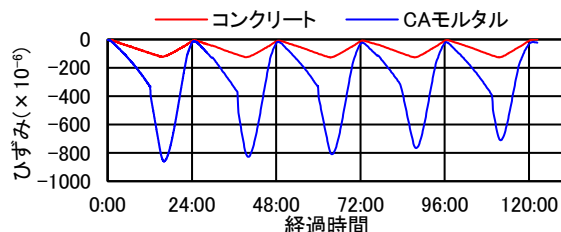


図 3 角柱供試体のひずみの経時変化

キーワード スラブ軌道, CA モルタル, 温度変化, ひずみ, 凍害

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 TEL 042-573-7276

合計値となるが、材齢が経過していることを考慮すれば、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はともに降温時に圧縮ひずみが生じた。コンクリートのひずみは降温時および昇温時ともに時間に対してほぼ線形に変化した。一方、CA モルタルの場合は、降温時にひずみが $-330 \sim -400 \times 10^{-6}$ 程度に達した際にひずみの減少勾配が変化した。CA モルタルとコンクリートの測定結果を比較すると、最低気温時は CA モルタルの圧縮ひずみの方が大きく、ひずみの温度依存性が大きいことを確認した。

3.3 温度とひずみの関係

角柱供試体のひずみと温度の関係を図 4 に示す。コンクリートのひずみと温度の関係は降温時および昇温時ともにほぼ同じ挙動を示し、両者の間に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、設計標準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¹⁾。

CA モルタルの温度とひずみの関係はコンクリートの場合と異なり、図 5 に示すような複雑な挙動を示した。降温時に圧縮ひずみが線形的に増加した後、 -5°C 付近において一時的な温度の上昇と圧縮ひずみの増加が生じた。その後、 -7.9°C までの降温および -0.9°C までの昇温に対して圧縮ひずみは線形的に減少および増加した。 -0.9°C 以上の昇温では圧縮ひずみの変化の勾配が減少し、初期の降温時と同程度となった。

4. 考察

CA モルタル供試体の降温過程において確認された -5°C 程度における温度上昇は、図 6 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²⁾。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 モルタル内の水分の凍結温度は -5°C であることが示唆された。なお、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条件では CA モルタル中の水分の凍結温度が -5°C より高くなる可能性がある。

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、細孔内の水が供試体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、 -0.9°C 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に変化したものと考えられる。なお、 -0.9°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融点降下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³⁾。CA モルタルの水結合材比は乳剤中の水分を含めると約 77% であることから、降温時および昇温時に温度変化が生じたと推察される。コンクリート供試体の水セメント比は 30% 程度と CA モルタルよりも低く、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が明確に確認されなかったと考えられる。

参考文献

- 1) コンクリート標準示方書 [構造性能照査編], 土木学会, 2002.
- 2) 岸本嘉彦ほか: 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, Vol.38, No.1, 2016.
- 3) 長谷川真吾ほか: 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, Vol.28, No.1, 2006.

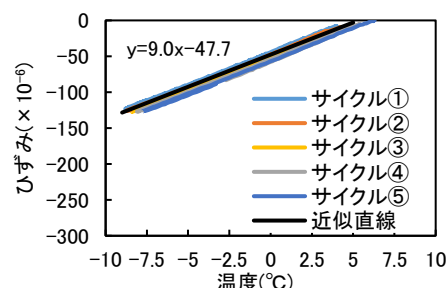


図 4 ひずみ-温度関係
(コンクリート供試体)

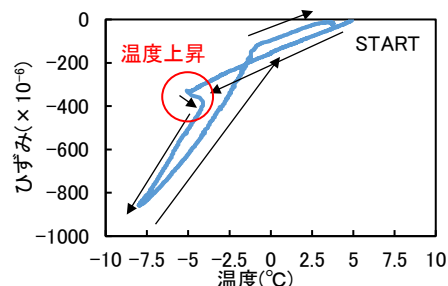


図 5 ひずみ-温度関係
(CA モルタル供試体, サイクル①)

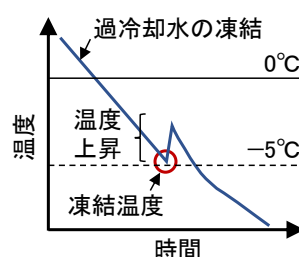


図 6 温度変化の概要図