

散水および反射塗料によるレール温度抑制効果の解析的検討

鉄道総研 正会員 ○浦川 文寛

鉄道総研 正会員 渡辺 勉

1. はじめに

夏季の軌道座屈防止を目的としたレール温度上昇の抑制法として、レールへの散水や反射塗料の塗布等の方法が提案されているが、その効果の詳細な検証はなされていない。そこで、本研究ではこれらレール温度抑制法の効果を、筆者らが開発したレール温度予測モデル¹⁾を用いて解析的に検証する。

2. レール温度予測モデル¹⁾

本モデルは、レールの位置情報や気象要素（日射量、気温、相対湿度、風速）等からレールの熱収支を計算し、レール長手方向に関する熱伝導方程式を解いてレール温度分布を求めるものである。その際、図1に示すとおり、吸収熱は日射（太陽の放射熱）、および大気と地面の赤外放射を、排出熱はレールの放射、空気への対流熱伝達、および軌道パッドへの熱伝導を考慮する。日射から吸収する熱量に関しては、日射とレール表面の相対角度、周囲の地形や建物およびレール自体の陰を考慮している。

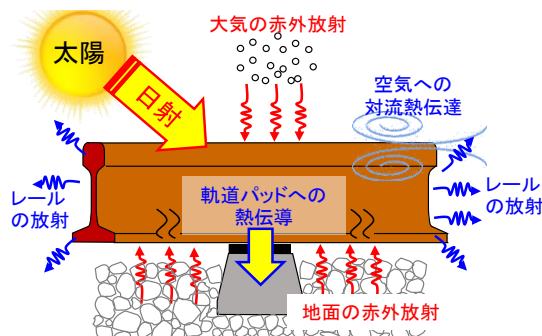
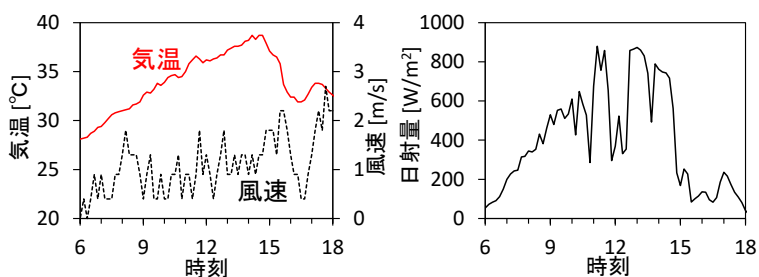


図1 レールの熱収支モデル

モデルの精度検証のため、実軌道にて日中のレール温度を測定し、解析値と比較した。試験日は2019年8月2日、天候は晴天、7時～16時の間で当該測点は日向であった。フィールドコーナ側のレール腹部に熱電対（T-FFF(M)、福電社製）を設置し、レール温度を10分間隔で測定した。解析に使用する気象要素（日射量、気温、相対湿度、風速）は、ウェザーステーション（Vantage pro 2、DAVIS社製）を地面から高さ1mの位置に設置して測定した。日射量、気温・風速の測定結果は図2(a),(b)に示すとおりである。また、日中の相対湿度は40%～85%の間で変化した。



(a) 気温、風速

(b) 日射量

図2 気象要素の測定結果

図3に、レール温度の測定値と解析値の比較を示す。図より、レール温度の測定結果は14時半～15時の間で最高温度56.4℃となるが、本解析モデルでは56.7℃であり、精度よく再現できていることが分かる。3章ではこのように解析精度を実証した本解析モデルを用いて、レール温度抑制効果を解析的に検討する。なお、9時以前のレール温度は解析値が測定値よりも低いのが、これは、対流熱伝達（風）や周辺建物の放射熱等の影響を十分に再現できていないことが原因と考えている。

3. 解析によるレール温度抑制効果の検討

前章の解析モデルを用い、レールへの散水および反射塗料を塗布した際の、無対策の状態（図3の解析値）からのレール温度の変化を求めた。

(1) 解析条件

散水について、レール温度が高温となる11時～15時の間で、軌道延長1m当たり30ml、50mlの少量の水を車上から30分毎に散布した場合を想定し、散水量に応じた蒸発熱（1

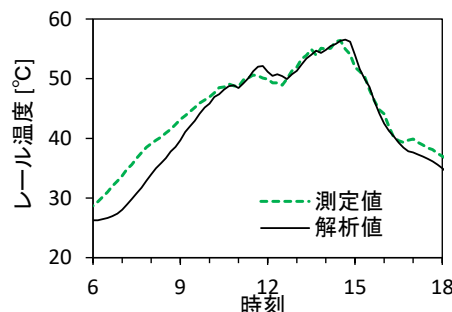


図3 レール温度の測定値と解析値の比較

気圧下の 100℃の水の蒸発熱 2257J/ml² ×散水量) を散水時刻における吸収熱から減じることで、散水の効果を解析上で模擬する。反射塗料については、図 4 に示すとおり、レール底部上面と腹部に塗布した場合を模擬するため、塗布箇所の日射反射率 ρ と放射率 ε を 10%~90%の間で変更する。当該レール（前章の測定箇所）はおおよそ南北方向に敷設されており、塗布箇所は、東側のみ、西側のみ、および両側の 3 通りとする。

(2) 解析結果

図 5 に散水によるレール温度抑制効果の解析結果を示すが、30ml/m の散水直後にレール温度が約 2℃、50ml/m の散水直後に約 3℃低下した。その後、レール温度が再び上昇を始め、30 分後の散水直後により再度低下した。これを繰り返すことで、最高レール温度が無対策時の 56.7℃から 30ml/m/30 分の散水で 5℃、50ml/m/30 分の散水で 7℃低下した。

図 6 に、高反射塗料（日射反射率 $\rho=90\%$ 、放射率 $\varepsilon=90\%$ ）³⁾塗布時のレール温度の解析結果を示す。図より、無対策時と比較し、最高レール温度が、塗布箇所が東側のみで 3℃、西側のみで 7℃、両側で 10℃低下した。塗布箇所が西側のみと東側のみとで比較すると、日射を東側から受ける午前中では両者の差はほとんどなく、日射を西側から受ける午後では西側のみの方がレール温度が低くなった。表 1 に、両側塗布の条件下での塗料の物性値と最高レール温度の関係を示す。表より、日射反射率 ρ が大きい程レール温度が下がることが分かる。また、放射率 ε については、 ρ が 40%以下では ε が大きい程、 ρ が 50%以上では ε が小さい程、レール温度が低くなった。これは、 ε が大きい程、レールの放射による排出熱、および大気と地表の赤外放射の吸収熱が増加するが、今回の解析条件下では、レール温度がおおよそ 54℃以上では前者、54℃未満では後者が優位となるためである。

4. まとめ

夏季の営業線において、レール温度が 56.4℃まで上昇した。これにレール温度の抑制法を適用した場合の効果を解析的に求め、以下の結果と知見を得た。

- ・ 日中に 30 分に 1 回の頻度でレールに散水した場合、日最高レール温度の低下量は、30ml/m の散水で 5℃、50ml/m の散水で 7℃である。
- ・ FC と GC の両側のレール腹部と底部上面に高反射塗料（日射反射率 $\rho=90\%$ 、放射率 $\varepsilon=90\%$ ）を塗布した場合の日最高レール温度の低下量は 10℃である。また、反射塗料によるレール温度の抑制効果は、日射反射率 ρ が大きい程、レール温度が 54℃以上場合では放射率 ε が大きい程、レール温度が 54℃未満では ε が小さい程高いことが分かった。

参考文献

1) 浦川文寛，他：GIS データを使用した広域レール温度予測法，鉄道総研報告，Vol. 34，No. 3，2020
2) 化学大辞典編集委員会（編）：化学大辞典—シー 縮刷版（4 巻），p. 817，1963
3) 櫻田将至：建造物における温度上昇抑制技術「高日射反射率塗料」，DNT コーティング技報，No. 16，2016

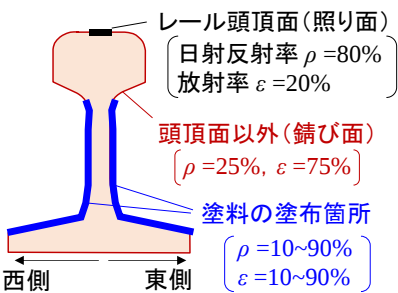


図 4 反射塗料の塗布箇所および物性値の設定

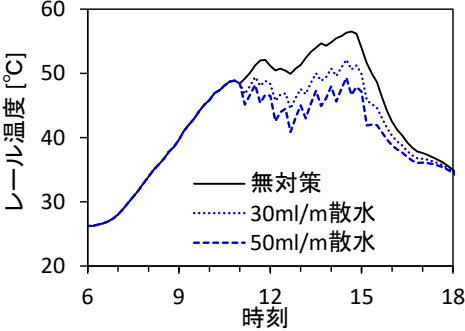


図 5 散水によるレール温度抑制効果

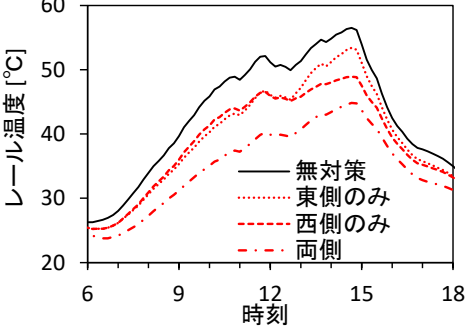


図 6 高反射塗料（ $\rho=90\%$ ， $\varepsilon=90\%$ ）によるレール温度抑制効果

表 1 塗料の物性値（日射反射率 ρ ，放射率 ε ）と最高レール温度の関係 ※両側塗布

単位:℃		放射率 ε								
		10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
日射反射率 ρ	10%	59.5	59.2	59.0	58.8	58.7	58.6	58.5	58.5	58.5
	20%	58.1	57.8	57.7	57.5	57.4	57.3	57.3	57.3	57.3
	30%	56.5	56.4	56.2	56.1	56.0	56.0	56.0	56.0	56.0
	40%	54.9	54.8	54.7	54.6	54.6	54.6	54.6	54.6	54.6
	50%	53.0	53.1	53.0	53.0	53.0	53.0	53.0	53.1	53.2
	60%	51.3	51.3	51.3	51.3	51.3	51.4	51.4	51.5	51.6
	70%	49.3	49.4	49.4	49.5	49.5	49.6	49.7	49.8	50.0
	80%	47.3	47.3	47.4	47.6	47.7	47.8	47.9	48.1	48.3
	90%	45.1	45.2	45.4	45.5	45.7	45.9	46.0	46.2	46.4