

日射を受ける橋梁用ゴム支承の熱伝導解析による内部温度推定

名古屋大学大学院 正会員 ○北根 安雄
 名古屋大学大学院 学生会員 Paramashanti
 名古屋大学大学院 フェロー会員 伊藤 義人

1. 研究目的

ゴム材料は、酸素、温度、紫外線、オゾン、酸、または湿度など様々な環境要因により材料劣化を起こす。これまでの研究^{1),2),3)}により、橋梁用ゴム支承の長期性能に最も影響を与える劣化現象は熱酸化劣化であることが示され、支承設置場所の年平均気温を用いて、ゴム支承の経年劣化により変化する支承等価水平剛性の評価式が提案されている。

通常、ゴム支承は橋脚と桁の間に設置されており、常に日陰に存在し、支承の温度は外気温とほとんど差がないと考えられているが、設置場所によっては、直射日光にさらされる支承も存在する。ゴムの温度が高いほど材料劣化が進むため、日射により支承温度が上昇する場合は、ゴム支承の経年劣化を正確に評価するために、その温度を把握する必要がある。

実橋に設置された高減衰ゴム (HDR) 支承の表面温度を測定した結果⁴⁾、日射を受ける支承表面温度は、夏期には 50°C 以上、冬季でも 40°C 以上になる場合があり、気温との差が 30°C 以上にもなることが明らかとなった。また、屋外に橋梁用ゴム支承モデルを設置し、日射を受けた状態の内部温度を測定した結果⁵⁾、実橋梁での測定結果と同様に表面温度は非常に高くなったが、表面から 20mm 程度以上内部ではその影響は小さく、内部温度と気温との差は、最大で 10°C 以下、日平均では 2~3°C しか差がないことが明らかとなった。

そこで本研究では、ゴム支承の様々な設置場所における特有の環境条件 (気温や日射量など) を考慮して、ゴム支承の長期劣化特性を予測可能とするために、日射を受けるゴム支承の内部温度を熱伝導解析により予測する手法を確立することを目的とする。

2. 解析条件

本研究では、汎用有限要素解析プログラム ABAQUS を用いて非定常熱伝導解析を行う。解析対象は、文献 5)において内部温度を測定した 420×420mm の HDR 支承であり、厚さ 9mm のゴム層が 6

層、厚さ 3.2mm の内部鋼板 5 枚、および厚さ 32mm の端部鋼板 2 枚から構成される。また支承には、厚さ 10mm の被覆ゴム (天然ゴム: NR) が巻かれている。使用した解析モデルを図-1に示す。使用した要素は、8 節点 3 次元ソリッド伝熱要素である。使用した材料定数を表-1に示す

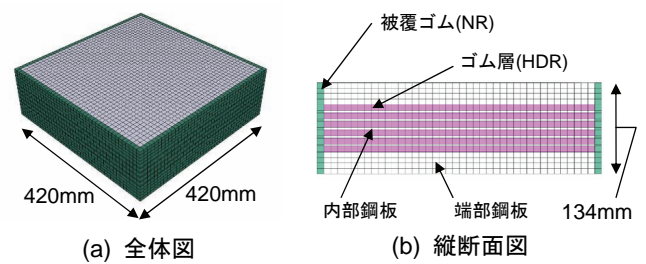


図-1 解析モデル

表-1 解析に使用した材料定数

材料	熱伝導率 [W/(m·K)]	比熱 [J/(kg·K)]	密度 [kg/m ³]
NR	0.27	1,688	1,100
HDR	0.34	1,619	1,160
鋼	62.3	455	7,850

境界条件としては、文献 5)の内部温度測定実験を模擬できるように、支承上下面は断熱境界条件を設定した。支承側面の表面では、対流熱伝達を考慮し、その熱伝達係数は、恒温室における支承内部温度測定実験結果から同定した $h=11.7 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ を用いた。

また、日射の影響は、実験で測定された全天日射量から、それぞれの支承側面が受ける日射量を支承の向きや太陽の向きを考慮して計算し、その日射量を支承側面における熱流束として考慮した。全天日射量は、水平面での値に換算した直達日射量と散乱日射量の和に等しい。太陽光線と直交する平面における直達日射量を I_{BN} とする時、水平面における直達日射量 I_{BH} は、太陽高度 α を用いて式(1)で表される。

$$I_{BH} = I_{BN} \sin \alpha \quad (1)$$

ここで、太陽高度 α は、観測点の緯度 ϕ 、太陽赤緯 δ 、太陽時角 θ_h から以下のように求められる。

$$\sin \alpha = \cos \varphi \cos \delta \cos \theta_h + \sin \varphi \sin \delta \quad (2)$$

米国暖房冷凍空調学会 (ASHRAE) は、太陽光線と直交する平面における直達日射量 I_{BN} から水平面における散乱日射量 I_{DH} を推定する式として、散乱日射量比 C を用いて式(3)を提案している。

$$I_{DH} = I_{BN} C \quad (3)$$

日射計で測定された全天日射量 I_H は、水平面における直達日射量を I_{BH} と水平面における散乱日射量 I_{DH} の和であるので、太陽光線と直交する平面における直達日射量 I_{BN} は、式(4)のように計算できる。

$$I_{BN} = \frac{I_H}{C + \sin \alpha} \quad (4)$$

傾斜面における直達日射量 I_{BT} は、式(5)で表される。

$$I_{BT} = I_{BN} \cos \beta \quad (5)$$

$$\cos \beta = \sin \alpha \cos t + \cos \alpha \sin t \cos |Z - p| \quad (6)$$

ここで、 t は傾斜面の傾斜角度、 Z は太陽方位角、 p は傾斜面の方位角である。傾斜面散乱日射量 I_{DT} は、傾斜面の傾斜角度 t と水平面における散乱日射量 I_{DH} から式(7)のように表される。

$$I_{DT} = \frac{1 + \cos t}{2} I_{DH} \quad (7)$$

最後に、傾斜面日射量 I_T は、傾斜面直達日射量 I_{BT} 、傾斜面散乱日射量 I_{DT} 、および反射日射量の和として表され、式(8)で計算される。

$$I_T = I_{BT} + I_{DT} + \rho \frac{1 - \cos t}{2} (I_{BH} + I_{DH}) \quad (8)$$

ここで、 ρ は地面での日射反射率であり、本研究では 0.22 とした。解析では、日射の影響はゴム支承表面での熱流束 q_{solar} として与え、傾斜面日射量 I_T とゴム支承表面での吸収率 α_{solar} の積 ($=\alpha_{solar} I_T$) として計算した。ゴム支承表面での吸収率 α_{solar} は 0.9 とした。

図-3に2009年2月6日から2月12日にかけて、HDR 支承モデル設置場所で測定された全天日射量と式(8)で計算されたゴム支承側面 (東面, 西面, 南面) の日射量を示す。

3. 解析結果

図-3の日射量と測定された気温を入力条件として解析を行い得られた支承中心位置における支承温度と、実際に HDR 支承モデルで測定された温度の比較を図-2に示す。図-2には、支承モデル設置場所

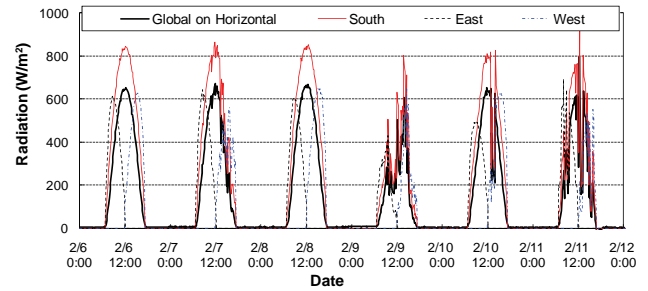


図-3 測定全天日射量と支承側面での日射量

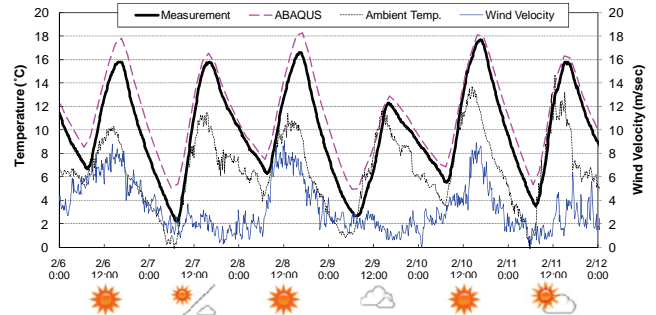


図-2 支承中心温度の解析と測定結果の比較

で測定された気温と名古屋地方気象台での風速を合わせて示す。測定値と解析値を比較すると、日変動の傾向は非常に良く一致しているが、解析が常に支承温度を高く予測している。最大誤差は2月7日の 3.2°C であり、解析期間全体の平均誤差は約 1.3°C であった。誤差の大きかった2月6日と2月9日は、日平均風速が 5.6m/s と 4.5m/s であり比較的風速の大きい日であることから、風速によらず熱伝達係数を一定としたことが誤差の原因である可能性がある。

4. まとめ

日射を受けるゴム支承内部温度を観測全天日射量から熱伝導解析により推定する手法を検討し、内部温度を 3°C 程度以内の誤差で推定できた。今後、推定精度を高めるには、風速の影響等を考慮する必要がある。

参考文献

- 1) 伊藤義人, 佐藤和也, 顧浩声, 山本吉久 (2005): 橋梁支承用天然ゴムの長期劣化予測に関する基礎的研究, 土木学会論文集, No. 801/I-73, pp. 185-196.
- 2) 伊藤義人, 佐藤和也, 顧浩声, 山本吉久 (2006): 橋梁用天然ゴム支承の性能劣化特性に関する研究, 土木学会論文集, Vol. 62, No. 2, pp. 255-266.
- 3) Itoh, Y., and Gu, H. (2009): Prediction of Aging Characteristics in Natural Rubber Bearings Used in Bridges, Journal of Bridge Engineering, Vol. 14, No. 2, pp. 122-128.
- 4) Paramashanti, Kitane, Y., and Itoh, Y. (2008): Effect of Solar Radiation on Temperature of Bridge Rubber Bearing, 第63回土木学会次学術講演会講演概要集, pp. 1223-1224.
- 5) 北根安雄, Paramashanti, 伊藤義人 (2009): 日射を受ける橋梁用免震ゴム支承の長期劣化特性推定のための内部温度測定, 第64回土木学会次学術講演会講演概要集, pp. 763-764.