

異なる環境条件における橋梁用免震ゴム支承経年劣化評価のための支承温度推定法

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

1. 目的

橋梁用免震ゴム支承は、ゴムが経年劣化することにより剛性が増加し変形性能が低下することが知られている。橋梁用免震ゴム支承は通常桁と橋脚の間に設置されているので、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従来は考えられていた。しかし、実際の設置環境では、日射を受け、支承の温度が上昇するものが存在する。また、支承の寸法が異なれば、環境条件が支承温度に与える影響も変化することが予想される。本研究では、様々な条件におけるゴム支承の熱伝導解析を行い、支承の温度特性を把握した。また、その結果から異なる環境条件における日平均支承温度の推定式を考案し、有限要素法による熱伝導解析値と本研究の推定式による計算値による経年劣化を比較することで推定式が妥当であるか検証した。

2. 支承温度推定方法

2.1 寸法・日射・風速が支承温度に与える影響

支承温度は、支承の寸法、気温、日射、風速によって変化すると考えられる。支承の大きさや気象条件が支承温度に与える影響を検討するために、寸法、日射、風速の異なる解析を行った。解析モデルは、これまでに作成した HDR 支承モデルを使用した¹⁾。正方形断面の支承を想定し、1辺の長さは、400, 700, 1000mmの3種類とした。風速は日平均風速 V が0, 2, 4, 6, 8m/sの5種類を考え、熱伝達係数 h が風速 V に比例するとして、 $h = 5.8 + 3.75V$ によって、風速の影響を考慮した²⁾。また、日射は図1のようにピークが、200, 400, 600, 800, 1000W/m²となる全天日射量の時刻歴から支承側面が受ける日射量を算出した。解析では、日射のみの影響を見るため、気温を年平均気温16.6°Cで一定とし、1日目のみ日射を与え、その時の支承温度時刻歴を調べた。

支承中心温度の解析結果を図2に示す。図より、寸法、日射、風速が変わることで支承温度の時刻歴が異なることが分かる。気温と支承温度の差 ΔT を関数で表すと、関数は以下の3つの領域に分類することができる(図3)；①0時~6時($\Delta T = 0$)、②6時~最大時、③最大時以降。②は6時~最大時まで一次関数で上昇しており、領域③では指数関数で減少すると仮定すると、最大温度 ΔT_{max} 、最大時間 δ 、最大温度以降の減衰率 λ を寸法、日射、風速の関数で表すことで ΔT を算出することができる。よって、領域③の関数は以下ようになる。

$$\Delta T = \Delta T_{max} \exp\{-\lambda(t - \delta)\}$$

ここで、 ΔT_{max} は寸法、日射、風速の関数、 λ は寸法、風速の関数、 δ は寸法の関数となっており、それぞれ以下のように表すことができる。

$$\Delta T_{max} = \gamma Q [^{\circ}\text{C}]$$

$$\gamma = 3.1655V^{-0.533} - 9.1947V^{-0.778}L \ln(2 - \exp(-0.0348V + 0.3615/L)) [m^2^{\circ}\text{C}/M]$$

$$\lambda = (0.0904V + 1.2043)L^{-0.8728} [1/s]$$

$$\delta = 16533L + 50073 [s]$$

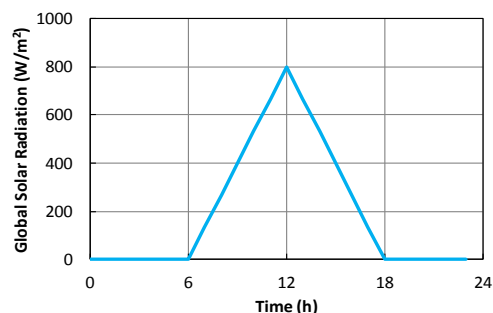


図1 全天日射量の時刻歴

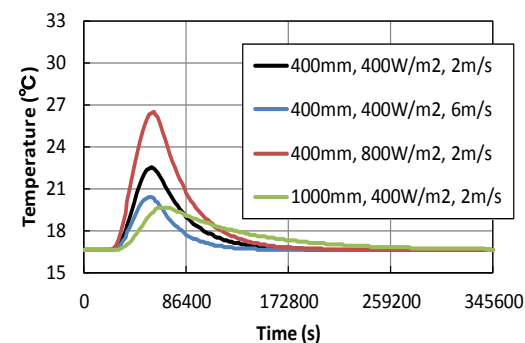


図2 支承中心温度の時刻歴

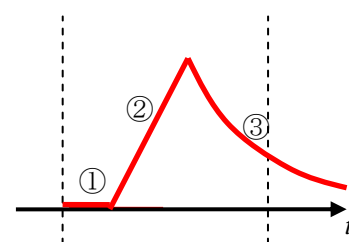


図3 時刻歴の概形

ここで、 $Q[MJ/m^2]$ ：支承側面が1日に単位面積あたりに受ける熱量、 $V[m/s]$ ：日平均風速、 $L[m]$ ：支承の寸法である。

2.2 前日の影響を考慮した時刻歴の合成

日平均支承温度 T_{Ave}^B は、日平均気温 T_{Ave}^A と日射による日平均上昇温度 ΔT_{Ave} の和として以下のように表わすことができる。

$$T_{Ave}^B = T_{Ave}^A + \Delta T_{Ave}$$

日平均支承温度は、当日の日射の影響だけでなく前日の日射や気温も当日の支承温度に影響を与え、これは支承の寸法によって変化すると考えられる。よって、前日の影響を考慮するため

に、2.1で記述した当日の影響による時刻歴（図4の赤線）と前日の影響を考慮した時刻歴（図4の青線）の和を合成温度（図4の緑破線）として支承温度を算出する。前日の影響による時刻歴は、当日と前日の気温差 ΔT_{Amb} と、前日の平均気温と24時の合成温度の差 ΔT_0 を用いて、 $\Delta T_{Amb} = (\Delta T_0 + \Delta T_{Amb})e^{-\lambda t}$ として表わされる。よって、当日の影響による時刻歴と前日の影響による時刻歴を順次合成し日平均をとることで、日平均支承温度を算出する。

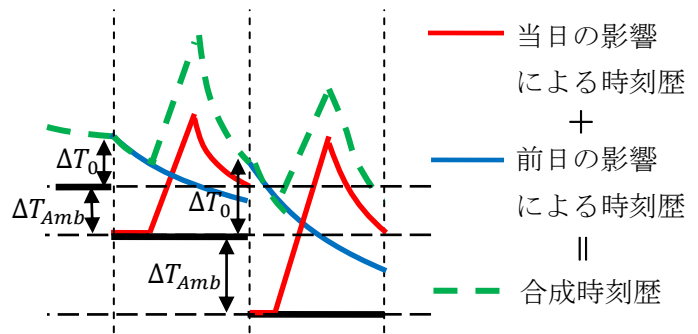


図4 気温差を考慮した時刻歴の合成

3. 推定方法の評価

1年間の日平均支承温度の有限要素法による熱伝導解析値と推定式による計算値の誤差を図5に示す。年平均誤差は400mmの支承が0.36°C、700mmが0.36°C、1000mmで0.32°Cとなった。最大誤差は400mmが2.11°C、700mmが1.93°C、1000mmが1.81°Cとなった。しかし、どの寸法でも誤差がほとんど1°C以内に収まっており、十分に精度良く日平均支承温度を推定できるといえる。

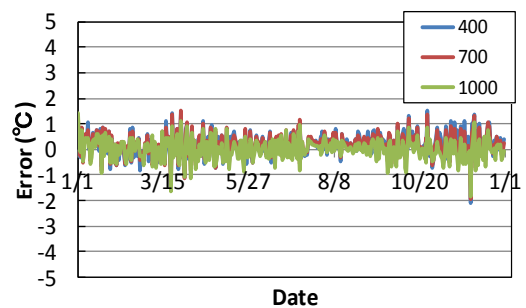


図5 解析値と計算値の誤差

さらに、推定式によって算出された支承温度を用いて、NR支承の等価水平剛性の100年間の経年劣化を伊藤ら³⁾の算定式によってそれぞれ計算した（図6）。一日毎の日平均支承温度から劣化を算出し、100年間積分することで経年劣化を求めている。100年後の等価水平剛性の変化率は、解析値と計算値のどちらの支承温度を用いてもほぼ等しくなり、本研究が提案する推定式による支承温度を用いて、正確に経年劣化を算出できるといえる。

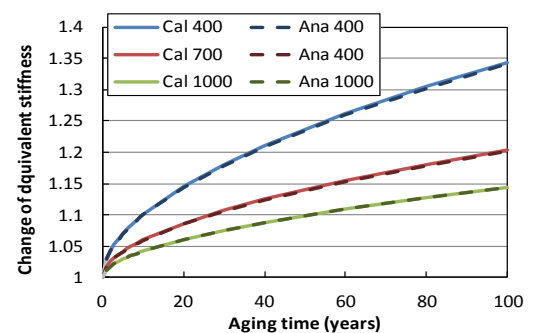


図6 等価水平剛性の変化率

4. まとめ

本研究が提案する推定方法により支承の寸法と環境条件が分かれば、支承温度を推定することができ、さらに、支承の経年劣化を推定することができることが確認された。

参考文献

- 1) 国井俊輔, 北根安雄, 伊藤義人(2013): 橋梁用ゴム支承の長期性能劣化に環境条件が与える影響, 橋梁用ゴム支承の長期性能劣化に環境条件が与える影響, 第68回土木学会全国次学術講演会公演概要集, 土木学会, pp. 71-72.
- 2) Palyvos, J.A. (2008): A survey of wind convection coefficient correlations for building envelope energy systems' modeling, Journal of Applied Thermal Engineering, Science Direct, Elsevier, Vol.28, pp.801-808.
- 3) 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.