

自己発熱を考慮した雰囲気温度における 高減衰ゴム支承の特性値及び地震時温度上昇量の検討

埼玉大学大学院 学生会員 ○中村 圭佑
埼玉大学大学院 正会員 奥井 義昭

ゴム支承協会 正会員 今井 隆
土木研究所寒地土木研究所 正会員 佐藤 京

1. はじめに

現在広く普及している免震設計法はゴム支承が用いられるが、ゴム支承は一般に低温下では力学特性の変化が大きいと言われている。その中でも特に近年の高減衰ゴム支承（以下HDRと表す）はその力学的特性が温度に依存し、低温下では免震機能が有効に発揮しないことが危惧される。また、高減衰ゴムは、変形の際にひずみエネルギーを熱に変換することで減衰機能を発揮するため、自己発熱によって内部温度が上昇することで、減衰性能を発揮するため、変形に際して十分な自己発熱が不可欠となる。

一方、HDRでは繰り返し载荷に伴い剛性が低下する軟化挙動(Mullins効果)が現れることが知られている。全てのゴム支承はプレローディングを行いMullins効果が終了した状態で出荷するため、耐震設計用のバイリニアモデルの決定においても、繰り返し载荷実験を行い、軟化挙動がほぼ収束する4サイクル目以降の実験データに基づきモデルを設定している。しかし、自己発熱による内部温度と外部の雰囲気温度が異なる場合、雰囲気温度に基づく温度依存性の評価は、低温時において剛性を過小評価している可能性がある。

そこで、本研究では自己発熱の影響を考慮して内部温度に基づき繰り返し载荷実験結果を整理し、HDRの温度依存性を再評価することを目的とした。また、得られたバイリニアモデルを用いて動的解析を行うことで低温化の橋梁の地震時応答への影響を検討した。さらに、HDRの1地震波による自己発熱による温度上昇量を算定した。

2. 自己発熱の補正を行った低温時のモデル

低温時におけるHDRの耐震設計用バイリニアモデルを設定する目的で雰囲気温度-30、-20、23℃の基でHDRの正弦波繰り返し载荷実験（振幅：せん断ひずみ175%，振動数：0.5Hz）を行った。自己発熱の影響により内部温度は雰囲気温度と異なるため、次式を用

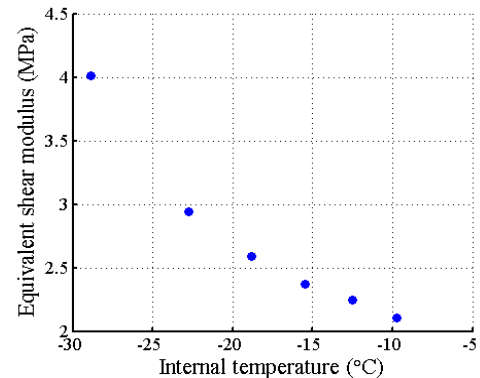


図-1 ゴム支承の等価剛性と内部温度の関係

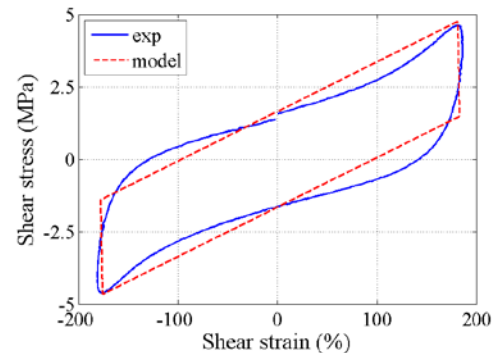


図-2 内部温度-20℃実験結果とバイリニアモデル

いて自己発熱による温度上昇量を算定した。

$$\Delta T = \frac{DV_r}{m_r C_{pr} + m_s C_{ps}} \quad (1)$$

ここで、 D ：散逸エネルギー密度[kJ/m³]、 ΔT ：温度上昇[℃]、 V_r ：高減衰ゴムの体積[m³]、 m_r, m_s ：それぞれゴムと鋼板の質量[kg]、 C_{pr}, C_{ps} ：ゴムと鋼板の比熱[kJ/(kg・℃)]である。

図-1に雰囲気温度-30℃実験結果を用いて求めた温度と等価剛性の関係を示す。青点が各サイクルの等価剛性を自己発熱の影響を補正した内部温度でプロットした結果である。同図より雰囲気温度-30℃で実験を行っても3サイクル目には内部温度は-20℃まで上昇することが分かる。次節ではこの3サイクル目の内部温度-20℃の実験結果から、バイリニアモデルを設定し、高架橋の地震時応答解析を試みる。作成したバイリニアモデルと基となった実験データを図-2に示す。

キーワード：高減衰ゴム，温度依存性，免震，Mullins効果，自己発熱

連絡先：〒338-8570 さいたま市桜区下大久保255 埼玉大学大学院 Tel/Fax 048-858-3558

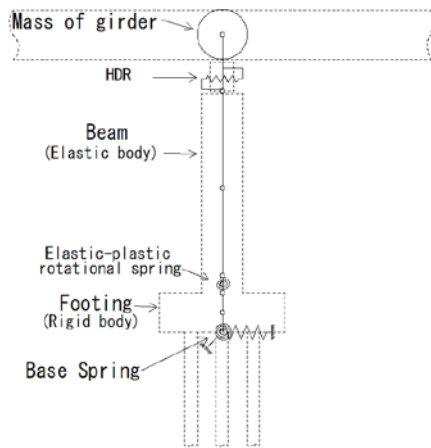


図-3 動的解析モデルの概要

3. 低温時の動的解析と地震時の温度上昇

作成したバイリニアモデルを用いた動的解析を行い、HDRの低温化が橋梁の地震時応答に与える影響を検討した。解析モデルは、文献1)における3径間連続鋼鈹桁橋の1橋脚を取り出したものを使用した。図-3に使用したモデルの概要を示す。

解析結果の代表としてI種地盤、Type2、1波目の橋脚M- θ 履歴図を図-4に、I種地盤、Type2における最大橋脚塑性率及びHDRの最大ひずみを温度間で比較したものを図-5に示す。中央点が3波の平均値、ひげ図の部分が最大値と最小値を示す。同図より、常温の解析結果に対して低温の橋脚塑性率は大きなものとなっており、低温の解析結果の一部は限界塑性率の20.2を超過し、実際には崩壊していることが分かる。低温化によってHDRの免震機能が十分に機能しないことが示唆された。

さらに解析より得た応力-ひずみ履歴曲線からHDRの地震時温度上昇を推定した。算出は(1)式より行った。代表してI種地盤-Type2-1波目のひずみ及び内部温度の時間推移図を図-6に示す。ひずみの大きい常温の解析においても温度上昇量は3℃に満たない程度であった事がわかる。さらに、低温における解析結果は常温のものに比べて温度上昇量が少なくなった。これは、低温下で硬化したHDRは常温の場合よりもひずみが小さいことによるものと思われる。

4. まとめ

動的解析の結果、低温下においては常温時よりも橋脚が大きく変形してしまい、その結果、橋脚の塑性率は限界塑性率を超えた。このことから、HDRは-20℃の低温下において免震機能を十分に発揮できない可能

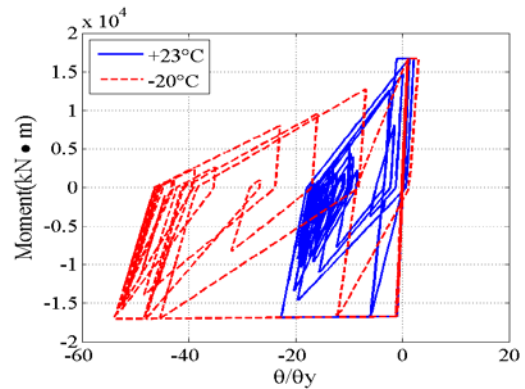
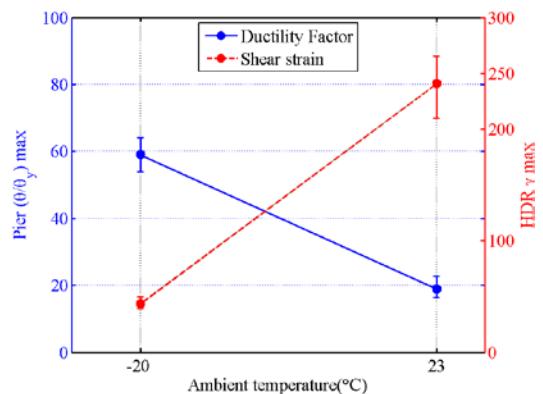
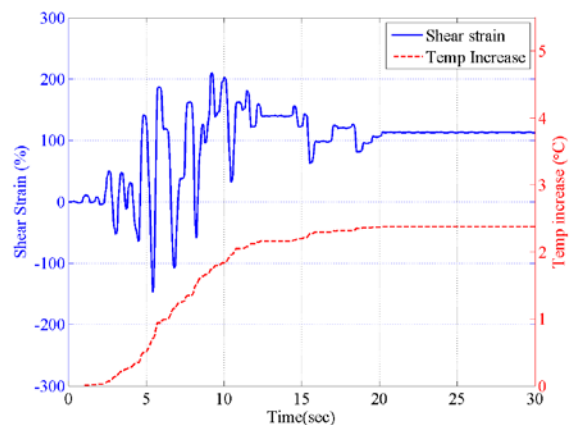
図-4 橋脚 M- θ 履歴図 I種地盤 Type2 1波目 低温-常温 比較図-5 橋脚最大塑性率温度間比較
I種地盤 Type2

図-6 I種地盤 Type2 1波目 常温 HDR ひずみ、温度上昇 時間推移

性があるといえる。また地震時挙動による内部温度推定の結果、常温での温度上昇は最大で5℃未満、低温での温度上昇は最大で3℃を下回る程度であった。よって、設計入力地震波に対する動的解析の際には温度上昇を考慮する必要はないと思われる。

参考文献

- 1) 寒地土木研究所：ゴム支承の低温時性能による橋梁設計への影響に関する解析検討業務 業務報告書、2013