

高減衰ゴム支承を用いた免震橋梁の 低温下における耐震性能の検討

Seismic performance of isolated bridge with high damping rubber bearings
under low temperature environment

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においてはゴム支承が用いられることが多いが、その一つである高減衰ゴム支承（以下HDRとする）は、低温において剛性や減衰性能が大きく変化する特性（以下温度依存性とする）を持つため、使用環境の温度によって動的挙動が変化する。また、HDRは変形の際に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、その際に生じる温度上昇によっても特性が大きく変化する。地震力を低減するメカニズムが複雑である免震構造において、これらの特性は構造物の地震時挙動に重大な影響を与える可能性が危惧される。

そこで本研究では、低温下において硬化したHDRを想定したモデルを使用し地震応答解析及び固有値解析を行い、温度依存性が免震橋梁の耐震性能及び振動特性に与える影響を評価した。また、解析結果から地震時の自己発熱によるHDRの温度上昇量を推定し、その程度を確認することで、地震応答解析において自己発熱による影響を考慮することの必要性を検討した。

2. 温度補正式

文献1)で提案され得た温度補正式を用いて、HDRの低温下におけるバイリニアモデルのパラメータを決定した。図1, 2に内部温度とHDRの等価剛性(K_b)および等価減衰定数(h_b)の関係を示す。●▲などのマークは実験結果を、曲線は実験結果より最小二乗法で定められた補正式を表す。なお、同図において縦軸は常温(23℃)における値と任意の内部温度(T)における値との比を表す。この結果からG12のHDRの等価剛性に関する補正式は以下の様に表すことができる¹⁾。

$$K_b(T)/K_b(23) = 12.1(35 + T)^{-0.614} \quad (1)$$

$$h_b(T)/h_b(23) = 2.6(35 + T)^{-0.447} \quad (2)$$

ここで、T：任意の内部温度(℃)、 $K_b(T)$ 、 $h_b(T)$ ：それぞれT℃における等価剛性、等価減衰定数である。

3. HDRの温度依存性を考慮した地震応答解析

橋梁の耐震性能にHDRの温度依存性が与える影響

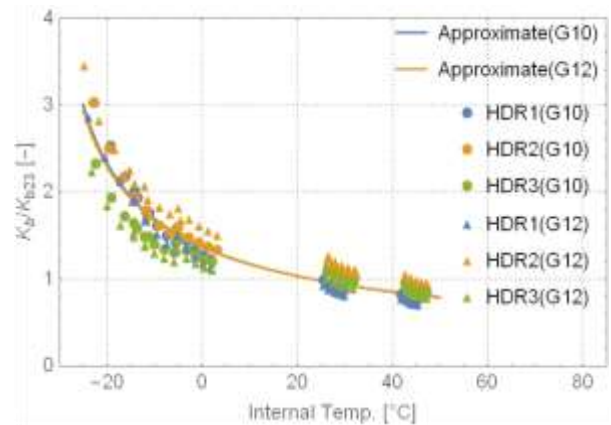


図1 試験から得たHDR等価剛性－内部温度関係及び等価剛性に関する温度補正式

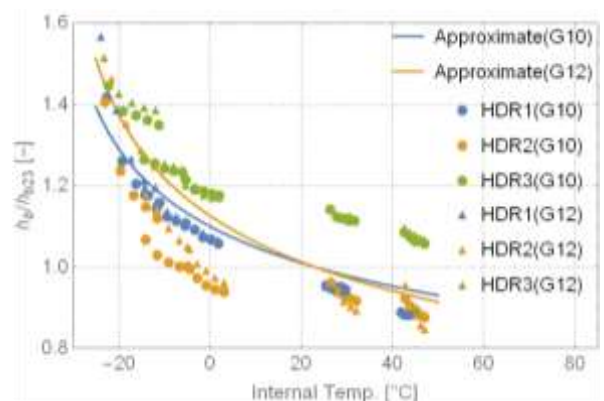


図2 試験から得たHDR等価減衰定数－内部温度関係及び等価剛性に関する温度補正式



図3 解析モデル概要

を評価することを目的に地震時応答解析を行った。地震応答解析においては、道路橋示方書²⁾の定めるレベル2地震動を入力地震動とし、地盤はⅠ種及びⅡ種を想定した。

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 048-858-355

解析モデルの概略を図3に示す。解析モデルは、道路橋示方書に従い、常温時に対して試設計されたものである。

解析モデルでは、HDR部分及び橋脚基部において塑性化によるエネルギー吸収を考慮した。また解析においては、+23, +10, 0, -5, -10, -15, -20, -25, -30℃の9ケースを雰囲気温度として想定し、温度依存性による影響を考慮するために、HDRのモデル作成の際に、前節で述べた温度補正式を用いて雰囲気温度に応じて作成したモデルを用いた。

I種地盤、タイプII地震動を想定した解析ケースにおける橋脚塑性ヒンジ部の回転角の最大値 ϕ_{max} とHDRのせん断ひずみの最大値 γ_{max} を左右の縦軸、想定した雰囲気温度を横軸としてプロットした結果を図4に示す。なお、橋脚の変形は限界値で除した値を表し、マークは3波の平均値、エラーバーは最大値と最小値を表す。温度の低下とともにHDRのひずみが減少し、橋脚の変位が増大する傾向が見られる。さらに、I種地盤タイプII地震動を想定した解析では、-10℃以下で橋脚の変位が限界値を超えるケースが発生している。

4. HDRの温度依存性を考慮した固有値解析

温度低下による橋梁の振動特性の変化をさらに詳しく検討する目的で、固有値解析を行った。解析モデルは、地震応答解析のモデルの非線形部を線形に修正したものを使用した。

図5は、各雰囲気温度を想定したモデルにおける最も支配的な固有モードの固有周期を設計地震動の標準加速度応答スペクトルと比較したものである。温度低下に伴い固有周期が短くなり、対応する応答スペクトルが上昇する様子が分かる。

また、図6及び図7はそれぞれ+23℃と-30℃における最も支配的なモードの固有モードを示したものである。+23℃においてはHDRの変形が支配的であるのに対し、-30℃では橋脚基部の変形が大きくなっていることが分かる。以上の結果から、低温下では短周期化による地震時応答の増大とモードの変化によって橋脚基部の塑性変形が増大したと思われる。

5. まとめ

本研究では、HDRを用いた免震橋梁に関して低温を想定した地震応答解析及び固有値解析を行った。1橋梁モデルの結果ではあるが、常温時で設計された場合、-10℃以下の低温下では免震橋梁の耐震性能が低下する可能性があることが確認された。したがって、寒冷地においてHDR免震橋を採用する場合、低温下での照査も行うなどの設計法の確立が必要と考える。

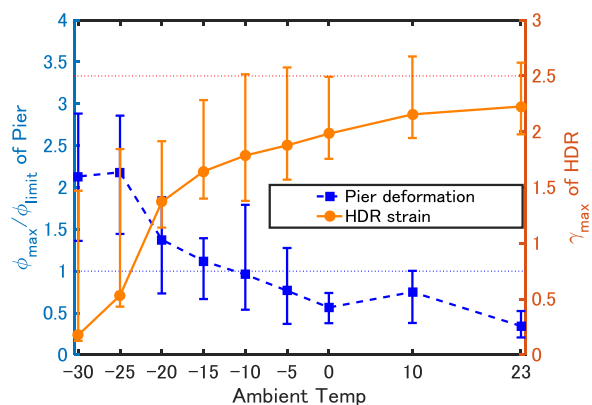


図4 橋脚最大回転角、HDR最大ひずみと温度の関係 (I種地盤、タイプII地震動)

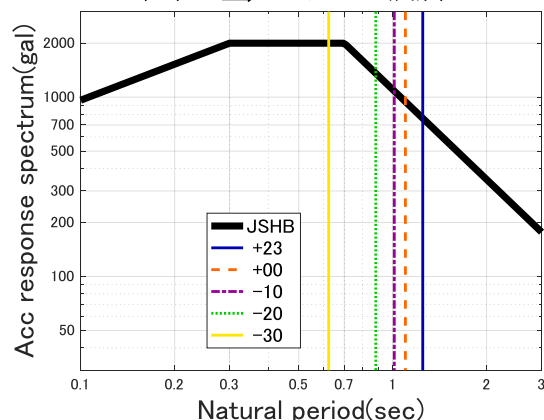


図5 解析結果 モデル固有周期vs 標準加速度応答スペクトル (I種地盤、タイプII地震動)



図6 解析結果 固有ベクトル (+23℃)



図7 解析結果 固有ベクトル (-30℃)

参考文献

- 1) 奥井ら、自己発熱の影響を考慮した高減衰ゴム支承の温度依存特性、土木学会論文集A1, Vol.73, 2017.
- 2) 社団法人日本道路協会、道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編、丸善出版、2012.