

## 低温環境下におけるゴム支承の温度依存性に関する実験的研究

Experimental of about the temperature dependency of rubber bearing under the low temperature environment

北見工業大学 学生会員 ○入江 駿亮 住友理工株式会社 正会員 中村 保之  
 北見工業大学 正会員 齊藤 剛彦 北見工業大学 正会員 宮森 保紀  
 北見工業大学 正会員 山崎 智之 住友理工株式会社 正会員 竹ノ内 浩祐

### 1. はじめに

積層ゴムを用いた免震支承は橋梁の耐震性能を向上させる有力な選択肢の一つであるが、免震ゴム支承に使用されるゴム材料の剛性やせん断特性には温度依存性があり、特に高減衰ゴム支承は天然積層ゴム支承(NR)と比べると温度依存性が大きいことが知られている<sup>1)</sup>。このため、寒冷地域でゴム支承を用いる場合には、架橋地域の温度影響に対する性能が評価された材料を用いる必要がある<sup>2)</sup>。

また、支承の選定では、架橋地点の外気温に対応した最低支承温度における、支承の特性を把握することが望ましい。この支承の特性を確認するためには、ゴム支承供試体に対する載荷試験が行われるが、低温環境下で載荷試験が実施できる設備は限られている。

著者らは、 $-30^{\circ}\text{C}$ の低温室に設置していたアクチュエータの動的載荷能力を50kNから200kNに変更した低温載荷装置を整備した。これにより、従来よりも供試体の寸法を大きくした載荷試験を行うことが可能になった。そこで、本研究ではこの装置を用いて現在開発中の高減衰ゴム支承 HDReX、従来型の高減衰ゴム支承 HDR-S、分散ゴム支承 NR に対して、それらの温度依存性と寸法効果を確認する繰り返し載荷試験を行った。

### 2. 試験概要

載荷試験は文献 3)の方法に準じて、北見工業大学社会連携推進センターの低温室にある載荷装置(写真-1, 図-1)で実施した。

温度依存確認試験に用いる供試体は、住友理工(株)製 HDReX, HDR-S, NR の3種類でスケール効果確認試験は HDReX, NR の2種類を使用する。供試体諸元を表-1に示す。試験条件として、温度は $23^{\circ}\text{C}$ ,  $-10^{\circ}\text{C}$ ,  $-20^{\circ}\text{C}$ ,  $-30^{\circ}\text{C}(\pm 1^{\circ}\text{C})$ の4つとし、加振方法は振動数0.5Hzのsin波で完全両振り、繰り返し回数11回(NRのみ4回)で行った。また、せん断ひずみは175%とし、面圧は6MPa(スケール効果確認試験は3MPa)とした。また、履歴補正は $23^{\circ}\text{C}$ で専用の供試体を4回加振し近似関数の係数を求め、補正を行う。試験パターンは全120パターンでこれらに対応して45体の供試体を用いた。

温度依存性の評価方法として、試験より得られた変位-荷重の履歴特性から等価剛性、等価減衰定数を算出する。求め方は文献4)の方法に準じる。

### 3. 試験結果と考察

試験結果の一例として $23^{\circ}\text{C}$ ,  $-30^{\circ}\text{C}$ におけるせん断弾性係数G8の各ゴム供試体の履歴特性を図-2~7に示す。

履歴特性の形状について、NRは図-2, 3より $23^{\circ}\text{C}$ よりも $-30^{\circ}\text{C}$ におけるエネルギー吸収量が大きい。天然ゴムは常温ではエネルギー吸収量がほとんどないが低温キーワード ゴム支承, 繰り返し載荷試験, 温度依存性



写真-1 載荷装置

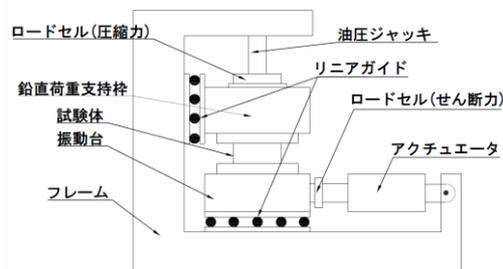


図-1 載荷装置の構成

表-1 供試体諸元

種類	せん断弾性係数	平面寸法	ゴム厚	
			te (mm)	n (層)
HDReX	G8, 10, 12	□120mm □170mm □240mm	7	3
HDR-S	G8, 12	□170mm	7	3
NR	G8, 12	□120mm □170mm □240mm	7	3

では一定のエネルギー吸収が行われることが分かる。HDR-Sでは、低温になることで1波目の最大荷重が約4倍になるとともに、2波目以降の荷重も大きくなっている。HDReXについて図-5, 7を比較するとHDR-Sと同様の傾向だが、低温時の1波目および2波目以降の荷重はHDR-Sより小さくなっている。

次に図-8, 9にNR, 図-10, 11にHDR-S, 図-12, 13にHDReXの等価剛性と等価減衰定数の $23^{\circ}\text{C}$ に対する変化率を示す。併せて文献5)の提案式を曲線で示す。

図-8, 9のNRにおいては、供試体を $-30^{\circ}\text{C}$ の試験室内に静置する期間によって等価剛性が大きく異なったため、静置期間を19日間, 4日間,  $-30^{\circ}\text{C}$ 到達直後と変化させて試験を行った。なお、常温の測定室から $-30^{\circ}\text{C}$ の試験室に供試体に移して供試体内部の温度が $-30^{\circ}\text{C}$ に達

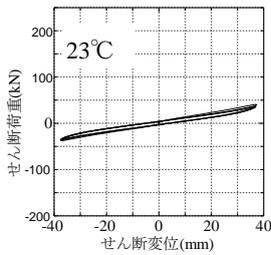


図-2 NR\_G8 履歴特性

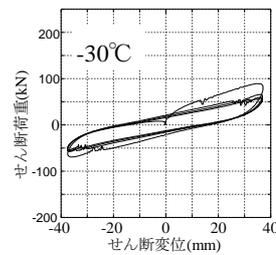


図-3 NR\_G8 履歴特性

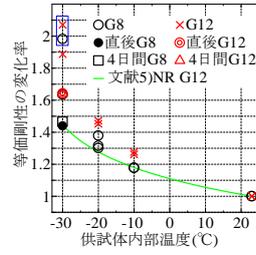


図-8 NR の等価剛性

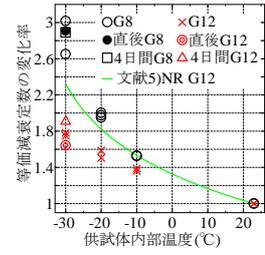


図-9 NR の等価減衰定数

(-30°Cの○, ×は19日間静置)

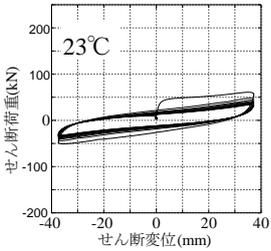


図-4 HDR\_S\_G8 履歴特性

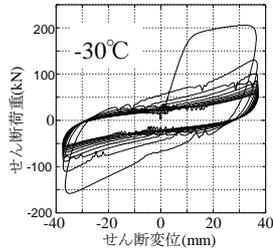


図-5 HDR\_S\_G8 履歴特性

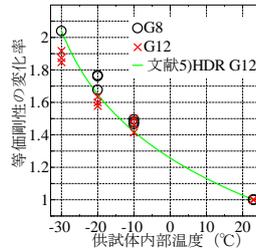


図-10 HDR-S の等価剛性

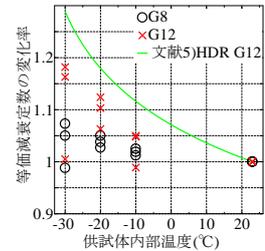


図-11 HDR-S の等価減衰定数

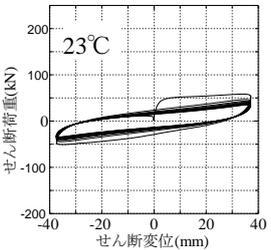


図-6 HDReX\_G8 履歴特性

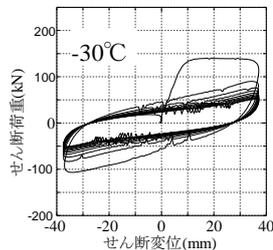


図-7 HDReX\_G8 履歴特性

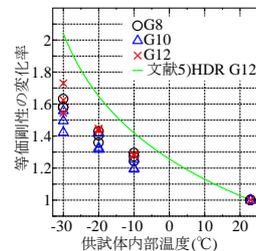


図-12 HDReX の等価剛性

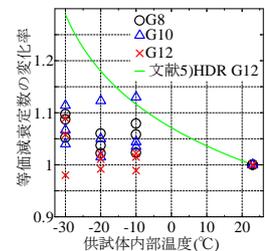


図-13 HDReX の等価減衰定数

するまで約 5 時間であった。NR において-30°Cでの静置期間が長いと等価剛性がかなり大きくなっているが、これはゴムの結晶化<sup>9)</sup>が原因であると考えられ、静置期間を短くすると文献 5)と同等になった。

HDR-S は NR と比べると等価剛性の変化率が大きくなっている。-10°Cから変化率が大きくなることから HDR-S は低温になるとゴムが硬化しやすいと考える。

HDReX についても他の供試体と同様に温度が下がるにつれて剛性が増加するが、-30°Cでの増加率が HDR-S より小さく、結晶化が進んでいない NR と同等である。

図-8, 10, 12 から、各供試体の G8 で 23°Cと-30°Cの変化率は、NR は 164%, HDR-S は 221%, HDReX は 174% となった。このことから、温度依存性は HDR-S が一番高く、次いで HDReX、一番低いのは NR という結果になった。また、せん断弾性係数による各供試体の等価剛性の変化率の傾向は大きな差がない。

等価減衰定数は、図-9 より NR は低温になると大きくなり、図-11, 13 から HDR-S と HDReX は変化がないか、少し大きくなっている。これは NR はもともとエネルギー吸収量が小さいため HDR-S, HDReX に比べ変化率が大きいと考えられる。また、せん断弾性係数による等価減衰定数の変化率の傾向は変わらない。

平面寸法の効果について、図-14 から等価剛性に変化率の傾向は供試体の種類によらず同等だったが、図-15 から等価減衰定数はばらつきがあった。

4. まとめ

3 種類の免震ゴム支承に対し、試験室ごと低温にすることによって供試体の内部温度を低温に保った状態で、載荷試験を行った。その結果得られた履歴特性、等価

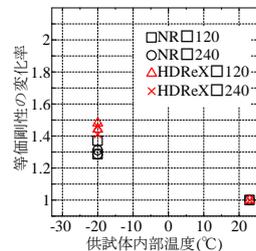


図-14 スケール効果試験の等価剛性

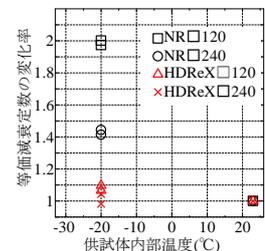


図-15 スケール効果試験の等価減衰定数

剛性、等価減衰定数から各供試体を比較すると、温度依存性は HDR-S が一番高く、HDReX と NR は同じか、HDReX の方が若干高くなることがわかった。また、低温ではエネルギー吸収量がどの供試体も大きくなることが確認できた。特に NR は増加率が大きい。さらに、長期間-30°Cに静置した NR の結晶化など低温下特有の現象も確認した。

参考文献

- 1) 日本ゴム協会 免震用積層ゴム委員会：設計者のための免震用積層ゴムハンドブック，2000.
- 2) 北海道土木技術会：北海道における鋼道路橋の設計および施工指針[第 1 編]設計・施工編，2012.
- 3) 北海道土木技術会：北海道における鋼道路橋の設計および施工指針[第 3 編]資料編，2012.
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，丸善，2012.
- 5) 北海道土木技術会：北海道における鋼道路橋の設計および施工指針の改定（2014 年 10 月 22 日），<http://www.koudourokyo.net/news/403/> (2017 年 4 月 2 日閲覧).
- 6) 日本道路協会：道路橋支承便覧，丸善，2004.